

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



TESIS

**“ESTUDIO DE PRE-INVERSIÓN A NIVEL DE PERFIL DE SISTEMAS DE
TRANSPORTE MASIVO ALTERNATIVOS PARA EL TRAMO ESTACIÓN
CAQUETÁ - NARANJAL”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

RHOMEL ALEXIS RAMOS HUAMANÍ

ASESOR

DR. ING. JOSÉ C. MATÍAS LEÓN

Lima- Perú

2021.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	16
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA	16
1.1.1. Problema General	17
1.1.2 Problema Específico	17
1.2. OBJETIVOS	17
1.2.1. Objetivo General	17
1.2.2 Objetivo específico	18
1.3. HIPÓTESIS	18
1.4. METODOLOGÍA	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	18
2.1. PROYECTO	19
2.2 CALIDAD DE TRANSPORTE PÚBLICO	19
2.3. TIPOS DE TRANSPORTE URBANO	21
2.4. BUSES DE TRÁNSITO RÁPIDO	22
2.5. LIGHT RAIL TRANSPORT	23
2.6. METRO SUBTERRÁNEO	24
2.7. ESTUDIO DE PRE-INVERSIÓN A NIVEL DE PERFIL	25
CAPÍTULO III: ESTADO DEL ARTE	27
3.1.METAS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	27
3.2.TRANSPORTE SOSTENIBLE	27
3.3. COMPARACIONES DE MODOS DE TRANSPORTE	28
3.3.1..Emsión de CO2	28
3.3.2. Consumo de Energía	28
3.3.3. Uso de espacio	28
3.3.4. Ruido	29
3.4. SISTEMAS DE TRANSPORTES BRT	29
3.4.1. Curitiba	29
3.4.2. Bogotá	31
3.5. SISTEMAS DE TRANSPORTES LRT	34
3.5.1. Montpellier	34
3.5.2. Londres	36
3.5.3. Lima	38
3.6. SISTEMAS DE TRANSPORTES METRO SUBTERRÁNEO	40

3.6.1. Santiago de Chile	40
3.6.2. Buenos Aires	42
3.7. PLAN MAESTRO DE TRANSPORTE URBANO PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO EN LA REPÚBLICA DEL PERÚ	44
CAPÍTULO IV: IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO	47
4.1. DIAGNÓSTICO	47
4.1.1. Situación y problemática actual del servicio de Transporte Público en el COSAC I	47
4.1.1.1. Nivel de servicio	47
4.1.1.2. Infraestructura vial	47
4.1.1.3. Tiempos en el COSAC I	52
4.1.1.4. Antigüedad de la flota	56
4.1.1.5. Seguridad Vial	57
4.1.1.6. Contaminación Ambiental	58
4.1.1.7. Tarifa	60
4.1.2. Gravedad de la situación actual	61
4.1.3. Área y población de estudio	62
4.1.3.1. Área de estudio	62
4.1.3.2. Población de estudio	62
4.1.4. Identificación de los grupos de interés	72
4.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y SUS CAUSAS	74
4.2.1. Definición del problema central	74
4.2.2. Causa del problema central	74
4.2.3. Efectos del problema central	75
4.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE INVERSIÓN	75
4.3.1. Definición del objetivo central	75
4.3.2. Objetivos contractuales	76
4.3.3. Medios del objetivo central	76
4.3.4. Fines del objetivo central	77
4.4. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	77
4.4.1. Análisis de los medio fundamentales	78
4.4.2. Alternativas a ser evaluadas	78
CAPÍTULO V: FORMULACIÓN DEL PROYECTO	80
5.1. ANÁLISIS DE LA OFERTA	80
5.1.1. Oferta de transporte público	80

5.1.2. Oferta de red vial.....	83
5.2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA	86
5.2.1 Actualización y calibración del modelo de demanda.....	86
5.2.2. Demanda proyectada para el año 2050	88
5.3. BALANCE OFERTA-DEMANDA.....	89
5.3.1 Transporte público	89
5.3.2 Infraestructura vial	91
5.4. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	93
5.4.1 Estudios básicos de las alternativas	93
5.4.2. Criterios para el diseño de la obra lineal	97
5.4.3 Alternativas técnicas.....	101
5.4.3.1. <i>Alternativa 1 Metro Pesado Caquetá-Naranjal</i>	101
5.4.3.2 <i>Alternativa 2 Tren Ligero Caquetá-Naranjal</i>	110
5.4.3.3 <i>Alternativa 3 Tren Ligero Caquetá-Chimpu Ocllo</i>	116
5.5. COSTOS.....	117
CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN DEL PROYECTO	121
6.1. IDENTIFICACIÓN DE BENEFICIOS.....	121
6.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	123
6.3. EVALUACIÓN PRIVADA	126
6.4. SOSTENIBILIDAD.....	126
6.5. IMPACTO AMBIENTAL.....	126
6.6 PLAN DE IMPLEMENTACIÓN.....	129
6.7. FINANCIAMIENTO.....	130
6.8. ASPECTO LEGAL.....	130
6.9. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	130
CONCLUSIONES	132
RECOMENDACIONES	132
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
ANEXOS.....	136

RESUMEN

¿Cuánto dinero pierde la población limeña debido a la congestión vehicular? Esta pregunta la respondió la fundación Transitemos en un estudio del 2018. La suma asciende a 27 mil millones de soles al año. Debido a esto y muchos otros factores, Lima necesita de manera urgente una mejora en el sector transporte.

Una solución fue planteada y puesta en operación el año 2010, El Metropolitano, cuya calidad de servicio ha ido empeorando con el paso de los años, dejando actualmente un sistema casi en colapso. Para solucionar este problema, la presente tesis plantea soluciones modernas, eficientes, eco amigables y de bajo costo de operación y mantenimiento a largo plazo.

Si se da un vistazo a la actualidad mundial, se puede apreciar que un gran número de países han optado como solución a los sistemas ferroviarios, de diversas maneras. Por ejemplo, Santiago de Chile, tiene tanto una red de 6 líneas de metro, el cual ha mantenido un desempeño admirable. Por otro lado, en ciudades como Londres o Montpellier, se ha optado por una red de metros ligeros, que han dado grandes resultados desde varios puntos de vista; aumentando las velocidades promedio de viaje en la ciudad y por consiguiente mejorando la calidad de vida de los habitantes.

Como paso inicial se identificó y analizó la situación actual de El Metropolitano, desde el punto de vista operativo como es el tiempo de viaje, la infraestructura actual y antigüedad de la flota hasta el impacto ambiental y tarifas de viaje. Asimismo, se identificó el área a ser afectada por el estudio la cual comprende los distritos de El Rímac, San Martín de Porres, Independencia, Comas y Los Olivos, estos datos serán usada para proyectar la demanda a futuro del sistema mediante la información dada por el censo 2017 del INEI, la demanda actual del BRT obtenido desde Protransporte y la matriz origen en la zona de influencia del proyecto, dad por JICA.

En consiguiente se procede a definir las causas, efectos y planteamiento de las alternativas a evaluar las cuales son un Metro Pesado Subterráneo (MP), un Metro Ligero (LRT) y la proyección del sistema actual de El Metropolitano. Con esto planteado se procede a analizar la oferta con proyecto y sin proyecto tanto infraestructura vial como cantidad de unidades a ser utilizadas. Además de la

demanda, para lo cual se utilizó una matriz de carga realizada para El Metropolitano.

Se trazó en planta y se definió los parámetros para el diseño geométrico en perfil con ayuda de los estudios básicos de topografía y geotecnia. Asimismo, se planteó secciones de ambas alternativas ferroviarias y el análisis dinámico de los coches desde el arranque hasta la velocidad pico.

Con esta información se realizó la estimación de costos de infraestructura, material rodante, estaciones, electrificación, señalización, contingencias y el expediente técnico adicionalmente a los costos de operación y mantenimiento que se darán dentro de la vida útil del proyecto.

Finalmente se obtuvo del análisis económico los valores del VAN y TIR, los cuales resultaron mejores para la alternativa N°2 Metro Ligerero LRT (VAN:268.10 MUSD y Tir: 41.87%) en comparación de la primera Metro Pesado (VAN:170.67 MUSD y Tir: 25.30%). Por otro lado, el tiempo de reducción del viaje para el tramo en estudio resultó con una reducción del 45% similar en ambas alternativas. De esta manera, se concluye que la alternativa del Tren Ligerero LRT es el más favorable.

Palabras Clave: Ferrocarril, El Metropolitano, Proyecto de Inversión, Transporte Urbano, Lima.

ABSTRACT

How much money do Lima's people lose due to traffic jam? Well, this question was answered by Transitemos foundation in 2008. The sum rises to S/. 27 000 million per year. Because of this and other factors, Lima really needs an improvement in urban transportation.

A solution was developed and run in 2010, El Metropolitano, which service quality has been getting worse through years so currently it is almost collapsed. In order to solve the problem, this thesis propose modern, efficient, green, low-cost in the long-term solutions.

Currently, several countries have been running ferro via systems in many ways. For instance, Santiago de Chile has six metro lines which has had a admirable performance. Other cities, such as London and Montpellier decided to run a light rail transit that show good results from many points of view. They increase operating velocity so they improve people life quality.

As a first step, it was identified and analyzed current situation of El Metropolitano, for example travel time, infrastructure, busses' lifetime, Ambiental impact and fee. Moreover, influenced area was identified and it includes Los Olivos, El Rimac, San Martin de Porres, Independencia y Comas. This information is going to be used in order to estimate number of people who will use the system. It was necessary INEI data and current demand of BRT obtained from Protransporte webpage.

Then, causes and effects were defined so it was possible to propose two alternatives which are a Subway, Light Rail Transit and El Metropolitano projection. Having decided this, current offer with and without project was analyzed from infrastructure to number of units to be used. Also, a load matrix was used to get the passengers demand on the future.

Plant design and parameters were made after topography and geotechnical basic studies. Furthermore, cross sections were drawn and dynamic analysis of bogies and railroad car was carried out since the start of movement to peak velocity.

Now, infrastructure, rolling stock, stations, electrification, signaling, definitive study costs were estimated. On the other hand, maintenance and operating spending were calculated within project lifetime.

Finally, economic analysis was made obtaining NAV and IRR. LRT (NAV: 268.10 MUSD & IRR:41.87) performed better than Metro (NAV: 170.67 MUSD & IRR: 25.30%). On the other hand, travel time was reduced in 45% in both alternatives. On the whole, Light rail Transit is the most efficient and favorable.

Key words: Railway, El Metropolitano, Investment Project, Urban Transport, Lima

PRÓLOGO

La ingeniería civil tiene un gran campo de aplicaciones entre los cuales encuentro la movilidad sostenible y ciudades inteligentes como el más completo, integrador y en mi opinión personal, el más interesante y fueron introducidas no hace muchos años dentro del léxico ingenieril.

Ambos abarcan diversos ámbitos para realizar investigaciones ergo proyectos de inversión, sin embargo, el tema del transporte urbano sostenible es algo que simplemente me fascina. Sería principalmente por llevar la vida de estudiante que me convirtió en usuario activo del sistema de transporte de Lima y ver en primera persona el desastre al cual ya varios nos hemos acostumbrado. Serían las enseñanzas del Ing. Elifio Quiñonez en las aulas de la FIC que nos conversaba de las múltiples ventajas de utilizar ferrocarriles para transportar bienes. O será la suma de eso más la inspiradora clase del Dr. Jose Matías, al comentarnos de la actualidad que viven países europeos, donde el tráfico se diseña en tiempo real.

Al parecer todos los factores en conjunto me hicieron creer que Lima merece un transporte más eficiente y más productivo para beneficio de su población. Revisando el estado del arte en materia de transporte, bibliografía y experiencias extranjeras, es fácil concluir que Lima va por mal camino al apostar por los buses como rutas troncales o principales.

Por esta razón decidí que lo que se necesitaba era un sistema de transporte masivo distinto al habitual en Perú, es decir el ferrocarril. Solo quedaba decidir el tipo de estructura ferroviaria que se debía construir de tal manera que siga siendo provechoso desde los puntos de vista dados en la evaluación de proyecto y beneficioso para sus usuarios.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Comparación entre tipos de transportes	22
Tabla 2 Características de las líneas de metro en Latinoamérica	25
Tabla 3 Emisión de CO2 según tipos de transportes	28
Tabla 4 Consumo de energía de los tipos de transportes	28
Tabla 5 Espacio ocupado por distintos de transporte	28
Tabla 6 Ruido provocado por los tipos de transportes.....	29
Tabla 7 Características del BRT de la ciudad de Curitiba	31
Tabla 8 Características del BRT Bogotá	33
Tabla 9 Características del coche del LRT de Montpellier	35
Tabla 10 Características del DLR de Londres.....	36
Tabla 11 Tarifa del metro de Santiago de Chile.....	42
Tabla 12 Características de las estaciones de EL Metropolitano.....	48
Tabla 13 Características de las vías de El Metropolitano.....	50
Tabla 14 Tiempo de espera.....	52
Tabla 15 Desviación estándar de tiempos de espera	53
Tabla 16 Variabilidad de los tiempos de espera	53
Tabla 17 Tiempo de viaje-Lunes.....	54
Tabla 18 Tiempo de viaje-Martes	54
Tabla 19 Tiempo de viaje-Miércoles	55
Tabla 20 Velocidad Comercial	56
Tabla 21 Comparación de velocidad Comercial.....	56
Tabla 22 Antigüedad de transporte público.	57
Tabla 23 Tarifa actual de El Metropolitano.	61
Tabla 24 Estaciones por distritos.....	62
Tabla 25 Población por distritos.....	63
Tabla 26 Población proyectada	64
Tabla 27 Población por sexo.....	65
Tabla 28 Grupos de edad	65
Tabla 29 Limitaciones permanentes (1)	66
Tabla 30 Limitaciones permanentes (2)	66
Tabla 31 Hospitales en la zona de estudio).....	67
Tabla 32 Causas de mortalidad	67
Tabla 33 Colegios en la zona de influencia	68

Tabla 34 Institutos en la zona de influencia.....	69
Tabla 35 Analfabetismo.....	69
Tabla 36 Nivel Educativo Alcanzado.....	70
Tabla 37 Número de viviendas	71
Tabla 38 Población Económicamente Activa	71
Tabla 39 PEA por actividad económica.....	72
Tabla 40 Centros Económicos	72
Tabla 41 Conteo de buses El Metropolitano-Estación UNI	82
Tabla 42 Conteo de buses-Estación Independencia.....	82
Tabla 43 Capacidad del BRT Lima	82
Tabla 44 Usuarios de El Metropolitano.....	87
Tabla 45 Usuarios de El Metropolitano proyectados.....	88
Tabla 46 Formaciones necesarias para metro pesado.....	89
Tabla 47 Formaciones necesarias para LRT.....	90
Tabla 48 Balance sin proyecto.....	91
Tabla 49 Ubicación del inicio y fin del COSAC I	96
Tabla 50 Ubicación de las estaciones de El Metropolitano	96
Tabla 51 Características del Alstom 9000.....	100
Tabla 52 Características del Alstom Citadis Spirit	100
Tabla 53 Datos básicos de diseño	102
Tabla 54 Radios mínimos	103
Tabla 55 Reducción de peralte	104
Tabla 56 Longitud de transición mínima.....	104
Tabla 57 Longitud de parábola en cambios de pendiente.....	105
Tabla 58 Desde el arranque hasta uso de motores.....	107
Tabla 59 Uso de motores.....	107
Tabla 60 Parámetros básicos para diseño.....	111
Tabla 61 Radios mínimos LRT.....	111
Tabla 62 Reducción de peralte LRT.....	112
Tabla 63 De arranque hasta uso de motores LRT.....	113
Tabla 64 Uso de motores hasta velocidad máxima LRT	113
Tabla 65 Costo por km de construcción y O&M.....	120
Tabla 66 Tiempo del LRT	121
Tabla 67 Tiempo del Metro pesado.....	122

Tabla 68 Unidades móviles por escenario	123
Tabla 69 Cálculo de VAN y TIR del metro pesado	124
Tabla 70 Cálculo del VAN y TIR del Metro Ligero	125
Tabla 71 Matriz de impacto ambiental del Metro Pesado.....	127
Tabla 72 Matriz de impacto ambiental del Metro Ligero	128
Tabla 73 Plan de implementación del Metro Pesado	129
Tabla 74 Plan de implementación del Metro Ligero	129
Tabla 75 Cuadro resumen de alternativas	131
Tabla 76 Comparación de costo por km con otras líneas de metro.	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Bus del BRT de la ciudad de Curitiba	23
Figura 2 Coche del LRT de la ciudad de Guadalajara	24
Figura 3 Red de BRT en la ciudad de Curitiba.....	30
Figura 4 Red de BRT Bogotá.....	32
Figura 5 Red de LRT Montpellier.....	35
Figura 6 Red de LRT Londres.....	38
Figura 7 Coche de tranvía eléctrico-Lima	39
Figura 8 Rutas del tranvía de Lima	40
Figura 9 Red de metro de la ciudad de Santiago de Chile.....	41
Figura 10 Plano de metro de Buenos Aires	43
Figura 11 Coche del Metro de Buenos Aires.....	44
Figura 12 Estaciones de El Metropolitano.....	48
Figura 14 Terminal Naranjal en hora punta	49
Figura 13 Alimentadora Norte	49
Figura 15 Avenida Caquetá con avenida Túpac Amaru	51
Figura 16 Accidentes de tránsito 2006-2019.....	57
Figura 17 Accidente de tránsito en estación Caquetá.....	58
Figura 18 SO2 en Lima Callao 2000-2014.....	59
Figura 19 NO2 en Lima Callao 2000-2014	59
Figura 20 PM2.5 en Lima Callao 2000-2014	60
Figura 21 PM10 en Lima Callao 2000-2014	60
Figura 22 Aumento de pasajes de El Metropolitano.....	61
Figura 23 Población distritos	63
Figura 24 Población a través de los años	64
Figura 25 Educación alcanzada.....	70
Figura 26 Sección transversal Caquetá-Abascal	83
Figura 27 Sección transversal Tupac Amaru-John Dunnet.....	83
Figura 28 Sección transversal Tupac Amaru-Ramon Castilla	84
Figura 29 Sección transversal Tupac Amaru-Gerardo Unger.....	84
Figura 30 Sección transversal Tupac Amaru-Huaca Aliaga.....	84
Figura 31 Sección transversal Tupac Amaru-Miguel Ángel	85
Figura 32 Sección transversal Tupac Amaru-Miguel Ángel	85
Figura 33 Sección transversal Tupac Amaru-Est. Independencia	85

Figura 34 Sección transversal Tupac Amaru-23 de diciembre	85
Figura 35 Usuarios por estación	87
Figura 36 Demanda real y proyectada a lo largo de los años.....	88
Figura 37 Microzonificación sísmica	94
Figura 38 Geología de Lima	95
Figura 39 Diámetro vs F.S. para una profundidad de 40m	102
Figura 40 F adherente vs F tracción	106
Figura 41 Esquema de la ruta del Metro Pesado.....	109
Figura 42 F. Adherente vs F. Tracción LRT.....	113
Figura 43 Esquema de planta del LRT	115

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

AREMA: American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association

BRT: Bus Rapid Transport

FAO: Food and Agriculture Organization

LRT: Light Rail Transport

ONU: Organización de Naciones Unidas

PMI: Project Management Institute

UIC: Worldwide Railway Organization

DLR: Dockland Light Railway

HPM: Hora Punta Mañana

HV: Hora valle

HPT: Hora punta tarde

MUSD\$: Millones de dólares americanos

EFQM: European Foundation for Quality Management

ATP: Automatic Train Protection

ATC: Automatic Train Control

O&M: Operación y Mantenimiento

Hab: Habitantes

Pax.: Pasajeros

IGP: Instrucciones Generales para los proyectos de Plataformas

ETI: Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

El Perú es un país que presenta una gran brecha de infraestructura de transporte que según el Marco Macroeconómico Multianual 2017-2019, asciende a poco más de 57 mil millones de dólares, es decir es la brecha más grande por cerrar. Además, este sector es el de menor avance en los últimos años registrándose en promedio un pésimo estado de las vías departamentales y vecinales. Principalmente se debe a un deficiente gestor público, lo cual genera constantes paralizaciones de obra, así como, una inadecuada política de mantenimiento que generó pérdidas de 718 millones de dólares el 2008 según el Instituto Peruano de Economía. ³²

Específicamente, Lima, actualmente con más de diez millones de habitantes, es la ciudad más poblada del Perú, a pesar de ello solo tiene dos sistemas de transporte público masivo: la línea uno del Metro de Lima y El Metropolitano. Notándose que Lima presenta una brecha considerable en el sector transporte público. (IPE, 2016)

El sistema BRT de Lima, El Metropolitano, presenta graves problemas en la calidad de servicio que se pueden reflejar en la disconformidad de los usuarios; esto ha sido registrado en encuestas donde se aprecia que la calificación de muy buena del servicio ha ido disminuyendo a lo largo de los años (Lima como vamos, 2015, 2014). El discomfort generado se debe principalmente a los tiempos de espera en las diversas estaciones de la ruta troncal de El Metropolitano los cuales en promedio son de quince minutos, lo cual al compararlo con otros sistemas BRT en Sudamérica como el de Curitiba, Brasil con cinco minutos y Cali, Colombia con ocho minutos; se ve que el BRT de Lima tiene excesivos tiempos de espera. (UNAM, 2013)

En parte este tiempo de espera se debe a la capacidad de los buses el cual es muy inferior respecto a otros medios de transporte como tranvías y metros pesados, pudiendo solo transportar hasta 160 pasajeros en una unidad articulada, generando así que las personas tengan que esperar al siguiente bus para realizar su viaje. (Jara, 2016).

Además, en los últimos años se están comprando más buses como una posible solución a la excesiva demanda del servicio, mientras que los buses originales no se renuevan a pesar de que ya tienen más de 8 años en funcionamiento cuando lo recomendado y por contrato es de solo 7 años y es mucho menor a otros

sistemas de transporte masivo como los trenes que tienen 50 años de vida útil (AU445, 2018-2) ²⁵ ²⁶. Esto genera mayores gastos en mantenimiento y problemas de contaminación ambiental por la emisión de gases de efecto invernadero al quemar los hidrocarburos. (Jara, 2016)

El tramo comprendido entre las estaciones Caquetá y Naranjal es según datos oficiales de El Metropolitano el de mayor demanda en los últimos 10 años, por tal razón es fácil notar que es el tramo con peor calidad de servicio en horas punta. Asimismo, es importante recalcar que la incomodidad de viajar en un bus repleto no será considerada como un problema a resolver ya que las empresas operadoras han restringido el número de pasajeros por bus debido a la emergencia sanitaria. De todas maneras, será evaluada en los análisis posteriores.

1.1.1. Problema General:

¿Qué sistema de transporte alternativo disminuirá los tiempos de espera y gastos en operación y mantenimiento, así como disminuir los efectos ambientales al aplicarlo en el tramo en estudio: Estación Caquetá - Naranjal?

1.1.2. Problema Específico:

- ¿Qué magnitud tienen los factores que definen la conformidad del pasajero frente al BRT El Metropolitano?
- ¿Es posible implementar un sistema alternativo de transporte en la ruta actual de El Metropolitano en el tramo Caquetá-Naranjal?
- ¿Es viable económicamente y ambientalmente las alternativas a plantearse?

1.2. Objetivos:

1.2.1. Objetivo General:

Evaluar las alternativas de transporte masivo para disminuir el tiempo de espera y reducir costos de operación y mantenimiento en la vía BRT: Aplicación en el tramo Caquetá - Naranjal de El Metropolitano.

1.2.2. Objetivos Específicos:

- Determinar las magnitudes que definen la conformidad del pasajero en el sistema de transporte masivo “El Metropolitano”.
- Diseñar a nivel de perfil las alternativas que mejoren el servicio, ya sea trenes ligeros o metro subterráneo para el tramo en estudio.
- Evaluar económica, técnica y ambientalmente las alternativas planteadas con el fin de decidir la mejor opción.

1.3. Hipótesis:

Un sistema de transporte masivo alternativo al BRT mejorará la conformidad manifiesta de los pasajeros implementando un sistema alternativo económico y ambientalmente superior al existente en el tramo considerado.

1.4. Metodología:

La metodología usada para el desarrollo de la presente tesis estará constituida de la siguiente manera:

- Revisión del estado del arte, bibliografía y la definición de base conceptual.
- Análisis de sistemas de transporte masivo en ciudades metrópolis como Lima.
- Diagnóstico del tramo en consideración del sistema de transporte masivo BRT El Metropolitano en su situación actual.
- Estimación de la demanda y oferta futura en la zona de estudio.
- Diseño del tramo en mención considerando una línea de tren ligero (LRT).
- Diseño del tramo en mención considerando una línea de metro subterráneo.
- Análisis costo beneficio y de calidad de transporte de ambas alternativas.
- Comparación de resultados obtenidos.
- Presentación de conclusiones.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se procede a exponer el fundamento teórico de la presente tesis. En el cual se mencionarán definiciones respecto a proyectos de inversión a nivel de perfil y tecnologías de transporte urbano.

2.1. Proyecto

Existen diversas maneras de definir a un proyecto, esto dependerá del sector en el cual se esté desarrollando. Pero de manera muy general se puede utilizar la definición dada por el Project Management Institute (PMI), 2018:

Lo define como una actividad grupal temporal para producir un producto, servicio o resultado que es único. Es temporal, debido a que tiene un comienzo y un fin definido en consecuencia tiene alcance y recursos definidos. Y es único ya que no es rutinario, sino que es un conjunto de operaciones diseñadas para lograr una meta en particular.

Lo separa en cinco grupos: Iniciación, planificación, ejecución, monitoreo y control y cierre.

2.2. Calidad de transporte público

El término calidad es usado en diversos ámbitos de la sociedad, antiguamente la calidad se definía como un término vago e impreciso, pero en la actualidad se considera a la calidad un aspecto importante en todas las actividades para eso se ha generado distintos enfoques, modelos, filosofías y herramientas.

Según la European Foundation for Quality Management (EFQM), 2018, la calidad es:

“Todas las formas a través de las cuales la organización satisface las necesidades y expectativas de sus clientes, su personal, las entidades implicadas financieramente y toda la sociedad en general”

Sin embargo, este concepto es difícil de medir directamente, para eso se hace uso de distintos indicadores los cuales al unirse demuestran si un sistema u organización están realizando sus actividades exitosamente.

En materia de transporte público en base a ferrocarriles (trenes ligeros, metros entre otros), se utilizan ciertas ratios para definir la calidad de servicio de este. Las ratios son los siguientes:

Cumplimiento de la programación del servicio, cobertura de intervalos, Velocidad comercial, disponibilidad de trenes e instalaciones, fiabilidad de las instalaciones, trenes socorridos, limpieza, calidad de vía, reclamos de usuarios e inseguridad ciudadana. (Melis, 2008)²⁸

Cumplimiento de la programación del servicio

Indica el cumplimiento de los itinerarios que se programaron y fueron dados a conocer a los usuarios del sistema ferroviario.

Cobertura de intervalos

Es la cobertura de la ruta del material móvil y la regularidad con que se brinda servicio en cada tramo y línea de red en cuestión.

Velocidad comercial

Es un parámetro que se determina mediante la división de la distancia recorrida y el tiempo entre estaciones y la misma estación. Una mayor velocidad comercial significará menores tiempos de viaje.

Capacidad de los coches

Es la cantidad de pasajeros que pueden ser trasladados en un viaje, para lo cual se tiene que definir inicialmente la densidad. Una mayor capacidad significa mejor desempeño del sistema.

Disponibilidad de trenes e instalaciones

Este valor define la cantidad en porcentaje de los trenes e instalaciones útiles para el servicio de viajeros en comparación del total. Se genera estos índices cada cierto tiempo o a una hora específica del día.

Fiabilidad de trenes e instalaciones

Mide el número de averías por kilómetro recorrido que ha sufrido cierto tren o alguna instalación de este en un determinado periodo. Este ratio es importante ya que permite conocer la calidad de mantenimiento que se le da al tren.

Trenes socorridos

Es la cantidad de trenes que han tenido que detenerse por completo y realizar un desalojo en su totalidad de los pasajeros y por consiguiente llevados al patio de maniobras para su reparación.

Nivel de limpieza

Analiza el grado de limpieza de la estación y del tren.

Calidad de vía

Permite conocer las imperfecciones que tiene la vía como roturas de carriles, desgastes, deformaciones, faltas de nivelación u otros defectos.

Reclamos de usuarios

Mide la calidad que aprecia el usuario al usar el sistema de trenes, a medida este valor aumenta se tendrá un indicio de que el servicio empeora, por lo tanto, se debe contrastar estos valores con encuestas periódicas.

Inseguridad ciudadana

Indica la cantidad de viajeros que han sufrido algún delito como robos, atracos, acoso, etc.

2.3. Tipos de transporte urbano

En el mundo se han desarrollado a lo largo de la historia distintas maneras de transportar a las personas en las ciudades. Se han utilizado diversas fuerzas motrices para realizarlo, desde la fuerza animal por medio del uso de caballos tirando de carrozas o tranvías, hasta la electricidad, pasando por los combustibles fósiles.

En la presente tesis se hará el estudio de tres tipos, específicamente buses articulados, trenes ligeros y metros pesados. Estas tecnologías presentan grandes diferencias en diversos aspectos como el costo de construcción, costos de operación, costos de mantenimiento, frecuencias, velocidad comercial, impacto ambiental, social y visual, capacidad de pasajeros, etc. Ver Cuadro N°1

La gran mayoría de ciudades desarrolladas en el mundo actualmente cuenta con unos tipos de transporte como los mencionados anteriormente integrados entre ellos y con la red de buses para generar un transporte ordenado y eficiente de la ciudad. Sin embargo, existen otras ciudades grandes, por su población y extensión, que no poseen estos sistemas o solo uno sin formar una red completa, por lo tanto, se genera un colapso de los ya existentes. ¹⁹

A continuación, se presenta un cuadro indicando las principales diferencias entre estos:

	Buses de Transito Rápido	Tren Ligero	Metro
Costo de Construcción (MUSD\$/km)	5-20	15-50	70-200
Costo de O & M (MUSD\$/km/año)	0.5-1.5	0.5-1.5	1.5-2.0
Velocidad comercial (Km/h)	40-80	60-90	70-110
Capacidad por sentido (pax)	11220	21448	71808
Fuente de energía	Combustible fósil	Eléctrico	Eléctrico
Independencia	Parcial	Parcial	Completa
Control	Manual	ATP-Manual	ATC- ATP
Sep. entre estaciones (m)	250-1200	350-1500	500-2000

Cuadro 1
Comparación entre tipos de transporte
Fuente: Ferrocarriles Metropolitanos- Melis (2008)²⁸
Costos de Inversión en metros de Latinoamérica-Pardo
BRT Planning guide

Definida las diferencias que hay en entre ellas, se presenta a continuación el desarrollo de cada uno de ellos, así como sus ventajas y desventajas.

2.4. Buses de transito rápido

También llamado por sus siglas en inglés BRT, es un tipo de transporte basado en buses que opera en vía exclusiva y emula lo proporcionado por un sistema ferroviario, pero que tiene menos costo de construcción en la proporción de entre 10 y 100 veces la de un metro pesado. Este tipo de transporte se ha implementado en varias ciudades del mundo. En Sudamérica, ciudades como Lima, Bogotá, Curitiba, Santiago de Chile han confiado en los buses para el desarrollo de su transporte público.²⁰

Aparte de ser más barato también presenta un tiempo de construcción muy reducido lo cual permite que se tenga un sistema en corto plazo. En contraparte, los costos de operación y mantenimiento son mayores principalmente debido a la vida útil del bus respecto a la del tren. ¹⁰



Figura 1
Bus del BRT de la ciudad de Curitiba
Fuente: Plataforma Urbana

2.5. Light Rail Transit (LRT)

Traducido al español como tren ligero, es un tipo de transporte segregado de otros medios de transporte, posee sus propias estaciones y mayor velocidad al automóvil común.

Tiene como características principalmente ser limpio y verde, debido a que usa energía eléctrica para su movimiento. Tiene prioridad de movimiento, al contar con semáforos que favorecen su movilidad continua. Posee una de las mayores capacidades en transporte público terrestre superando al BRT y solo es superado por el metro pesado. Es muy versátil al poder ir en diferentes velocidades, pudiendo emplearse tanto en vías rápidas como en centros históricos. Además, puede ser subterráneo, en superficie y elevado donde mejor convenga.

Consta de una infraestructura, material rodante (Ver Figura N°2) y equipo fijo. Dentro de la infraestructura se encuentra las estaciones que puede ser desde una simple plataforma hasta elaboradas estructuras por encima o debajo de la superficie, el camino de rodadura y el patio de maniobras. ^{42 43}

Dentro del equipo fijo se encuentra el centro de operaciones y mantenimiento, el suministro de energía eléctrica, la señalización e instalaciones de comunicación.



Figura 2
Coche del LRT de la ciudad de Guadalajara
Fuente: Obrasweb

2.6. Metro subterráneo

Según la Unión Internacional de Transporte Público, un metro es un sistema de transporte eléctrico urbanos con alta capacidad y frecuencia de servicio, esta tecnología está totalmente separados de otra forma de transporte, camino o peatones. Por lo tanto, está diseñados para funcionar en túneles, viaductos elevados o en superficie principalmente. Es la forma perfecta de transporte público para una ruta de alta demanda. Tiene una capacidad por encima de los 20000 pasajeros por hora por dirección y las estaciones están distanciadas cada kilómetro aproximadamente. Otra característica que los diferencia de los otros dos anteriores es que el metro no sigue el alineamiento de las calles, por lo tanto, tienen radios de giro más amplios permitiéndose así velocidades comerciales mayores.

Un punto en contra de este tipo de transporte es el alto costo de construcción, por lo tanto, el metro se construye generalmente en ciudades donde la demanda lo justifique, por recomendación una línea de metro por millón de habitantes. ¹⁴

propuesta en términos de inversión y de costos operativos, requerimientos de mano de obra y escala de las operaciones.

Evita que se desperdicien esfuerzos en la preparación detallada de proyectos incoherentes, que carecen del apoyo de los solicitantes o que no pasan las pruebas básicas de viabilidad. Si los recursos humanos y financieros requeridos para apoyar la formulación del proyecto son limitados. Así, si la comunidad recibe fondos solamente para apoyar la preparación de un único proyecto completo al año, es mejor no desperdiciar estos recursos en un proyecto que no tiene posibilidades de éxito.

Desde otro punto de vista, se puede decir que el perfil es una toma instantánea del proyecto, debido a que este solo analiza la operación del sistema en un año promedio de la vida del proyecto.

Un estudio de perfil de proyecto presenta tres partes: Identificación del proyecto, formulación del proyecto y evaluación del proyecto.

Identificación del proyecto

Presenta información general acerca de los solicitantes, la ubicación del proyecto y sus características.

Formulación del proyecto

Se debe indicar todos los elementos que se deberá obtener para que la inversión lleve a lugar.

Evaluación del proyecto

Para conocer la viabilidad del proyecto, se calcula ingreso neto anual, ingreso anual neto menos costos de inversión anual y número de años requeridos para cubrir la inversión.

A su vez es importante conocer las posibles fuentes de financiación del proyecto para la operación y mantenimiento, en caso sea un proyecto para la población, la gran mayoría de veces se tendrá al gobierno como principal financista.

CAPÍTULO III: ESTADO DEL ARTE

3.1. Metas de desarrollo sostenible:

Todos los miembros estados asociados a la Organización de Naciones Unidas en el año 2015 acordaron una serie de 17 metas de desarrollo sostenible (SDGs), los cuales se desarrollaron para asegurar la prosperidad y paz para las personas desde ahora hacia el futuro. En estos se reconoce que finalizar la pobreza debe ir de la mano con estrategias que mejoren la salud y educación, reducir la desigualdad todo esto mientras se enfrenta al cambio climático y trabajar por la preservación de los bosques. Las metas son las siguientes:

- No pobreza
- Hambre Cero
- Buena salud y bienestar
- Educación de calidad
- Igualdad de género
- Agua limpia y sanidad
- Energía limpia
- Trabajo decente y crecimiento de economía
- Industria, innovación e infraestructura
- Reducción de desigualdad
- **Comunidades y ciudades sostenibles**
- Producción y consumo responsable
- Acción en el clima
- Vida bajo el agua
- Vida sobre la tierra
- Paz, justicia e instituciones fuertes
- Compañerismo por las metas

La presente tesis se basa en la número 11, comunidades y ciudades sostenibles, dentro de la cual se encuentra el transporte sostenible reconocido el año 1992.

3.2. Transporte Sostenible

Se presentan 4 principios para la movilidad de personas y bienes:

Equitativo: Asegurar que el transporte este conectando a las personas y comunidades a sus trabajos, escuelas y centros de salud. Además del envío de bienes y servicios a las zonas rurales y urbanas.

Eficiente: Asegurar que la demanda por la movilidad sea conocida por el más pequeños costo posible por la sociedad. Esto incluye carreteras, rieles, marítimos, transporte aéreo, ciclismo y caminata.

Seguro: Reducir choques, lesiones y fatalidades del transporte en todas sus modalidades.

Limpio: Disminuir la huella ambiental del sector transporte.

3.3. Comparaciones de modos de transporte:

Se comparará a continuación los modos de transportes aéreo y terrestre en 4 diferentes aspectos: Emisión de CO₂, consumo de energía, uso de espacio y ruido.

3.3.1. Emisión de CO₂: Según la ONU, este es un pilar de sus metas para el transporte sostenible. Ver Cuadro N°3

Emisión de CO ₂				
Tren	Bus	Auto	Avión	Unidad
14	68	104	285	g/pasajero.Km

Cuadro 3
Emisión de CO₂ según tipos de transportes
Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente

3.3.2. Consumo de energía:

Consumo de energía			
Tren	Bus	Auto	Unidad
4.3	4.1	19.3	GEP/pasajero/km

Cuadro 4
Consumo de energía de los tipos de transportes
Fuente: CAF-Colombia

3.3.3. Uso de espacio:

Uso de espacio				
Tren	Bus	Bicicleta	Auto	Unidad
2	3	8	18	m ² .h

Cuadro 5
Espacio ocupado por distintos tipos de transporte
Fuente: CAF-Colombia

3.3.4. Ruido:

Ruido			
Tren	Auto	Avión	Unidad
80	80	150	dB

Cuadro 6
Ruido provocado por los tipos de transportes
Fuente: Universidad Autónoma Metropolitana
EOI Escuela de Negocios

3.4. Sistemas de transportes BRT:

Como se mencionó es un sistema de corredores que viajan en una vía segregada. Se verá un caso del otro modo de transporte, BRT, en una ciudad donde resulto ser eficiente, logró su objetivo y lo mantiene, Curitiba y otra donde empezó como solución, pero terminó siendo un problema, Bogotá. ⁶

3.4.1. Curitiba

Es la capital del estado de Paraná y tiene un número de habitantes igual a 1.8 millones de habitantes al año 2010, con una densidad poblacional de 4250 habitantes/km².

Se inauguró el año 1977, siendo uno de los pioneros del BRT junto con Perú cual poseía la línea ENATRU en 1976. Su éxito se debe principalmente a tres factores vitales: la planificación durante los años 40, la integración con el resto de los tipos de transporte mediante la Red Integrada de Transporte (RIT) y la expansión metropolitana y mejoras del sistema de buses en la actualidad (Jara, 2010).

La red BRT de Curitiba tiene una extensión de 81 Km y lleva 505 millones de pasajeros en un día. Tiene un total de 113 estaciones y 30 terminales. Ver Figura N°3.

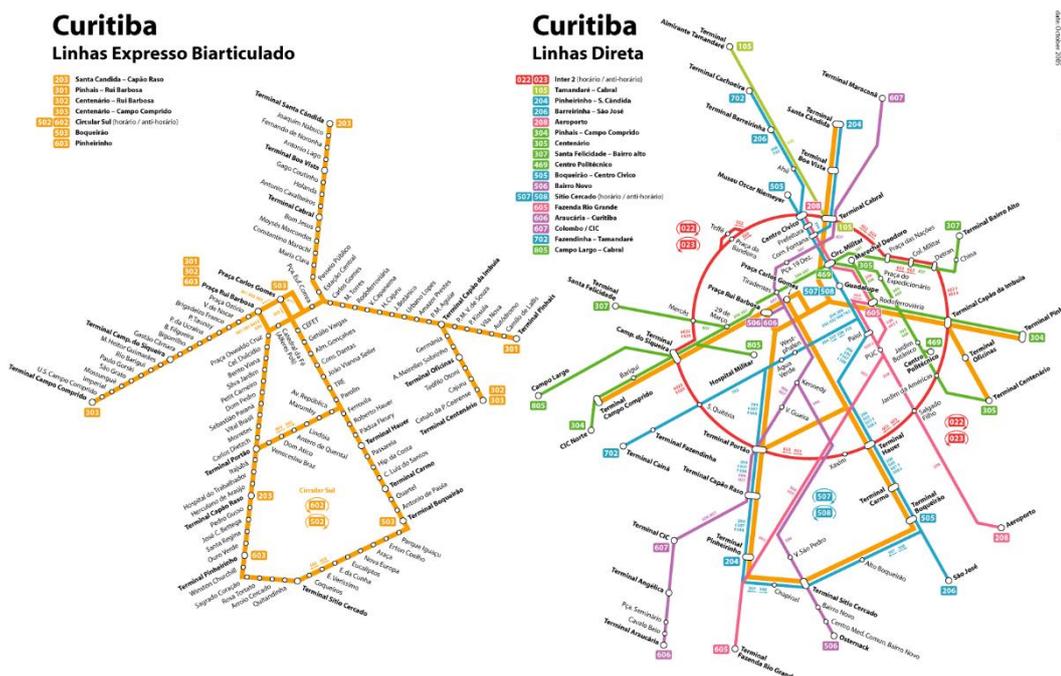


Figura 3
Red de BRT en la ciudad de Curitiba
Fuente: The City Fix

Actualmente el sistema tiene la línea expresa roja, líneas alimentadoras naranjas, inter-barríos de color verde, “Ligeirinho” o rápido de color gris, convencional amarillo, los de carácter especial de color verde, blanco y azul, los inter-hospitales y los de atracción turística que unen parques y zonas turísticas (McKinsey, 1999; Ippuc, 2001).

A continuación, en el cuadro N°7 se presentan datos sobre los buses y el BRT de Curitiba:

Sistema	BRT Curitiba
Longitud de la ruta troncal	64.6 Km
Capacidad de vehículos de ruta troncal	270 personas
Demanda hora pico (Pasajero/hora/dirección)	20 mil usuarios
Total de pasajeros por día	562 mil usuarios
Velocidad comercial promedio	19 km/h
Frecuencia Hora Valle	6 minutos
Frecuencia Hora Pico	2 minutos
Costo total (Euros por Km)	988,955 a 5'394,300
Buses	
Marca	AB Volvo, Busscar Onibus, Mercedes Benz

Tipo	Convencional, Articulado, Biarticulado y microbuses
Piso	A nivel
Costo promedio de bus (Euros)	355164
Propulsión	Biocombustible
Flota	1500 buses urbanos y 600 buses metropolitanos

Cuadro 7
Características del BRT de la ciudad de Curitiba
Fuente: Jara (2010)²⁴

Entre los aspectos positivos se puede empezar por la parte financiera, Curitiba tenía un ingreso per-cápita de US\$ 8000 en el año 2005 y apostó por este sistema barato y creativo, tanto así que en 2 años se logró construir 15 terminales que a pesar de ser sencillos cuentan con baños, teléfonos y tiendas. A su vez apostó por la innovación tecnológica local evitando de esta manera altos costos de importación.

Otro aspecto es la gestión del BRT. La ciudad de Curitiba cuenta con un único gestor del sistema de transporte con el poder de garantizar el funcionamiento de este, un ejemplo de esto es la disminución de 150 empresas de transporte a solo 12. Gestionado por la URBS, la cual se asoció al sector privado para garantizar el transporte sostenible y organizado.

Sin embargo, este también presenta algunos problemas como la falta de transparencia y el uso de este sistema por personas de bajos recursos le da un factor de discriminación. A su vez también se planteó el cambio del BRT por un LRT, ya que los buses necesitan una frecuencia muy alta para cubrir la demanda, por lo que el tren se tomó como alternativa posible, pero se vio detenida por las autoridades locales debido a un alto costo inicial (Duarte y Ultramari, 2012).

3.4.2. Bogotá

Actualmente la ciudad de Bogotá tiene una población de 8 millones de personas y una densidad poblacional de 13500 hab/Km².

Inició operaciones el año 2000, bajo el nombre de Transmilenio. Tiene una extensión total de 115 Km, transporta 2'213,236 pasajeros al día, cuenta con 114 estaciones y 7 terminales. Ver Figura N°4

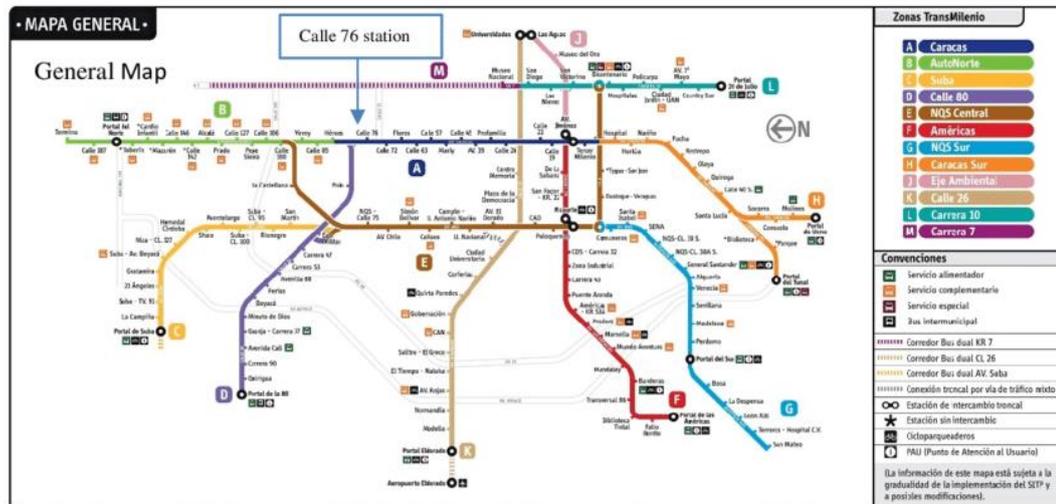


Figura 4
Red de BRT en Bogotá
Fuente: Researchgate

Es un sistema cuya infraestructura se desarrolla con recursos públicos mientras que el material móvil es decir los buses los administra el sector privado. El 3% de las utilidades pertenecen a la municipalidad, el resto es de los transportistas.⁷

Existen tres servicios:

- Corriente: Se detiene en todas las estaciones del recorrido.
- Expreso: Se detiene algunas estaciones.
- Alimentador: Autobuses de menor capacidad que acceden a barrios cercanos.

Existen 5 tipos de estaciones:

- Sencillas: Ubicadas cada 500 metros, son la mayoría.
- De transferencia: Permite el cambio de rutas troncales.
- Sin intercambio: No permite el cambio entre sentidos sur-norte y norte-sur.
- Intermedias: A las cuales tienen acceso los alimentadores.
- Cabecera (Terminales): Cuentan con servicios adicionales como ciclo parqueos, teléfonos y baños.

En todas las estaciones existen tableros electrónicos donde se puede conocer el tiempo de llegada de los buses, a su vez se puede informar a la ambulancia en caso suceda alguna emergencia.⁴⁵

Actualmente el pasaje es de casi 1 dólar y se hace uso de tarjeta electrónica para el ingreso.

Algunas características del BRT Transmilenio se presentan en el cuadro a continuación: ¹⁸

Sistema	BRT Transmilenio
Longitud de la ruta troncal	115 km
Capacidad de vehículos de ruta troncal	250
Demanda hora pico (Pasajero/hora/dirección)	40 mil usuarios
Total de pasajeros por día	2213236
Velocidad comercial promedio	26 km/h
Frecuencia Hora Valle	5 minutos
Frecuencia Hora Pico	3 minutos
Costo total (Euros por Km)	4'765,760 a 13'300,000
Buses	
Marca	Volvo, Scania
Tipo	Articulado
Piso	A nivel
Costo promedio de bus (Euros)	179880
Propulsión	Diesel
Flota	1452 buses urbanos y 313 buses biarticulados

Cuadro 8
Características del BRT de Bogotá
Fuente: Jara (2010)²⁴

Este sistema de transporte masivo inició como la mejor solución años atrás, pero debido a malas decisiones políticas y el crecimiento constante de la población bogotana, el Transmilenio ha ido deteriorándose tanto en calidad de viaje como económicamente. Uno de los problemas más notorios es el hacinamiento de personas en las estaciones y buses lo cual es motivo de quejas diariamente.

Además, este sistema tiene déficits financieros debido a pasajes que se impusieron en vista de la baja demanda en horas valle, dejando como resultado un déficit total de 200 millones de dólares. En consecuencia, no se tenía dinero para continuar las obras, ni para dar mantenimiento tanto a los buses como a las estaciones.

Por otro lado, la cantidad de rutas que tiene hace difícil el uso para sus pasajeros y limita el beneficio que estos extraen del servicio. Otro problema presente en el actual BRT son los buses que de provisionales pasaron a ser permanentes sin

renovación y mínimo mantenimiento durante toda la operación, esto resultó en una serie de accidentes que se ha sufrido en el BRT de Bogotá.

3.5. Sistemas de transportes LRT:

Este tipo de transporte como se dijo previamente tiene como material rodante al tren. Actualmente este sistema se ha ido implementando en varias ciudades del mundo, principalmente por ser más barato que el metro pesado y tener mayor capacidad que los buses. ⁵

Se analizarán dos casos de trenes ligeros en ciudades como Montpellier en Francia y Londres en Reino Unido

3.5.1. Montpellier

Montpellier es una ciudad ubicada en Francia, actualmente tiene una población de poco más de 275 mil habitantes y una densidad poblacional de 4524 habitantes/km², aunque debido a ser una de las ciudades más importantes en la medicina, se mueven alrededor de medio millón de personas.

El gobierno de la ciudad decidió iniciar con la construcción de este sistema debido a los objetivos que tiene Europa de lograr un aire de calidad y sostenibilidad de las ciudades.

El tren ligero fue abierto en el primero de julio del 2000 fecha en que se apertura la primera línea. Esta línea desde la estación Mosson hasta Oddyseum tiene una longitud de 15.8 km. y cuenta con 28 estaciones, espaciadas aproximadamente cada 500 metros. En línea recta tiene una velocidad máxima de 70 km/h, aunque la velocidad comercial es de solo 20 km/h. ³⁵

Posteriormente se construyó 3 líneas más de trenes ligeros e incluso se está proyectando una quinta línea, debido al gran desempeño de las anteriores.

Algunas características del material rodante son presentadas en el cuadro N°9:

Longitud	29.82 m
Ancho	2.65 m
Altura	3.27 m
Peso (t)	37.9 t
Altura del piso	350 mm
Capacidad	64 sentados +141 de pie
Velocidad máxima	70 km/h

Cuadro 9
Características de los coches del LRT de Montpellier
Fuente: Lrta.org

La línea 2 abrió el año 2006 y tiene una longitud total de 17.5 km y 28 estaciones. Utiliza material rodante similar al de la línea 1, marca Alstom. Ver Figura N°5

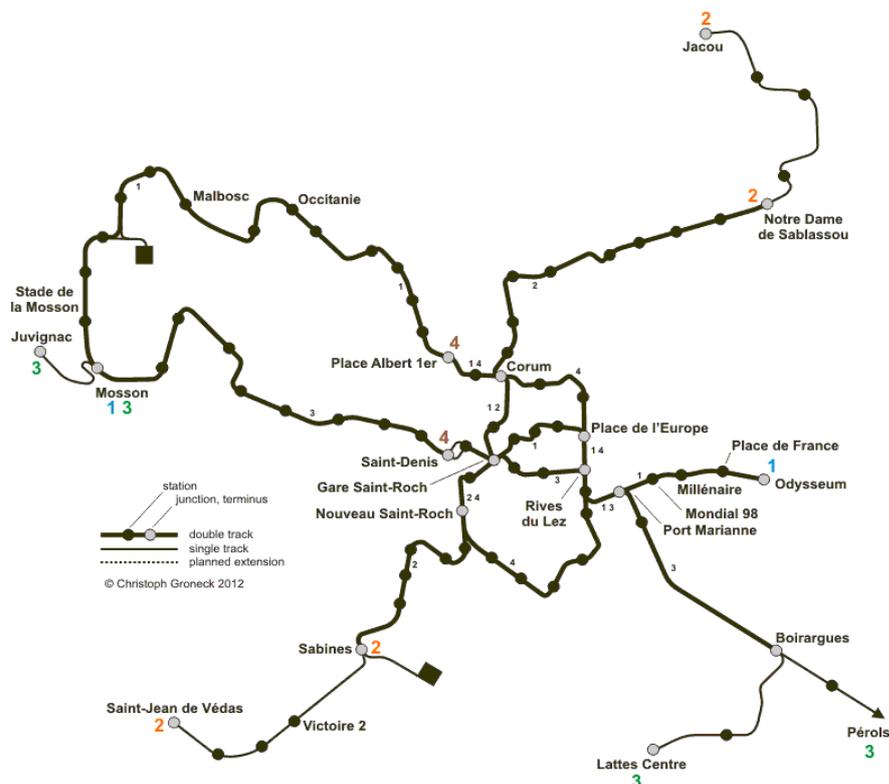


Figura 5
Red de LRT en Montpellier
Fuente: Trams-in-france

La línea 3 fue inaugurada en 2012 y tiene una longitud de 23.0 km y un total de 29 estaciones. Su ruta empieza en la estación Juvignac y finaliza en Pérois-Etang. Tuvo un costo total de 530 millones de euros.

La línea 4 también fue inaugurada en 2012, la peculiaridad es que su ruta es circular y tiene 9.2 km de longitud. Cuenta con 18 estaciones.

La operadora de este sistema es Transports de l'Agglomération de Montpellier (TAM), la cual es una conglomeración compleja de 96 compañías individuales ya tienen experiencia en más de 50 ciudades.

La construcción del LRT tuvo como costo aproximado 21.8 millones de dólares por km. El costo del pasaje es único y tiene el valor de 1.10 euros por viaje o un pase semanal de 11.10 euros.

La frecuencia de llegada en horas punta es igual que en horas valle y es de aproximadamente 4 minutos, lo cual demuestra un gran desempeño del sistema, eliminando muchos tiempos de espera.

El LRT de Montpellier no ha sufrido aún problemas considerables para el análisis, por lo que los usuarios muestran una gran aprobación de este.

3.5.2. Londres

Londres es la capital de Inglaterra, tiene una población de poco más de 8 millones de habitantes y una densidad poblacional de 5163 habitantes/km². A pesar de ser una de las ciudades más visitadas del mundo, recibiendo aproximadamente 5 millones de turistas al año, no tiene graves problemas en el sistema de transporte que ha implementado.

Londres tiene una red de metros, tranvías, trenes ligeros, “double-deck busses” y una red de semaforización que mantiene a la ciudad en constante movimiento de manera limpia, ordenada y sostenible.

En esta sección se analizará su tren ligero, ubicada en el este de Londres. Está compuesto por 7 líneas, estaciones a niveles superiores y montados sobre bogies metálicos convencionales. Ver Figura N°6

Es conocido como Docklands Light Railway (DLR), el cual tiene las siguientes características:

Características del DLR	
Longitud	34 km
Número de estaciones	45
Destinos	Central London; Stratford; Beckton; Woolwich Arsenal
Pasajeros al año	101.5 millones
Frecuencia	83%
Velocidad comercial	60 km/h
Independencia del transporte público	41%

Cuadro 10
Características del DLR de Londres
Fuente: Agajere et al.(2013)

El DLR abrió el año 1987, empezó con tres líneas las cuales unían Stratford, Island Gardens y Tower Gateway. En 1997, se concesionó a una empresa privada para la operación y dirección de las líneas. Esto se dio para asegurar ahorros en los

costos de poner en marcha los trenes mientras se incrementaba la calidad y el desempeño. En el año 2010 se añadió un coche más a las formaciones del tren ligero con el fin de disminuir los tiempos de espera y las colas. Esto generó una gran aprobación de los usuarios que aseguraban que su viaje era más rápido y barato que el carro privado.

Además, el año 2012 se llevó a cabo los Juegos Olímpicos, lo cual significó una gran mejora en el sistema. Por ejemplo, se construyó una línea adicional que cruzaba el río, de esta manera el DLR reemplazo al clásico ferry.

A continuación, se presentan algunos indicadores de calidad de este: (Agajere et al., 2014):

- **Confiabilidad:** El 82% de los usuarios confía en el buen funcionamiento del sistema.
- **Puntualidad:** El 96% de los trenes está a tiempo.
- **Precio:** El 65% de los pasajeros lo considera un precio justo.
- **Tiempos de viaje:** El 96% considera que los tiempos de viaje son los correctos.
- **Conexión intermodal:** Tiene conexiones con otros sistemas como el subterráneo, otras líneas del DLR y el sistema de buses; siendo posible el viaje con un boleto único.
- **Limpieza de trenes y estaciones:** Los espacios en estaciones y en los trenes son limpiados de manera diaria.
- **Accesibilidad:** Todas las estaciones tienen vías de acceso con elevadores o rampas, espacios para sillas de ruedas y líneas guía para personas con problemas visuales.
- **Personal:** Al menos un miembro del personal está siempre dentro de los trenes o estaciones.
- **Servicio de tickets:** Máquinas de tickets con chip y número PIN. Pueden ser adquiridos en el aeropuerto, paraderos con tickets y en Canary Wharf.
- **Seguridad:** CCTV cámaras y alarmas.
- **Información al usuario:** Un sistema audiovisual avisa al pasajero sobre las paradas y tiempos. En cada estación hay un agente de servicio al pasajero y centro de control.

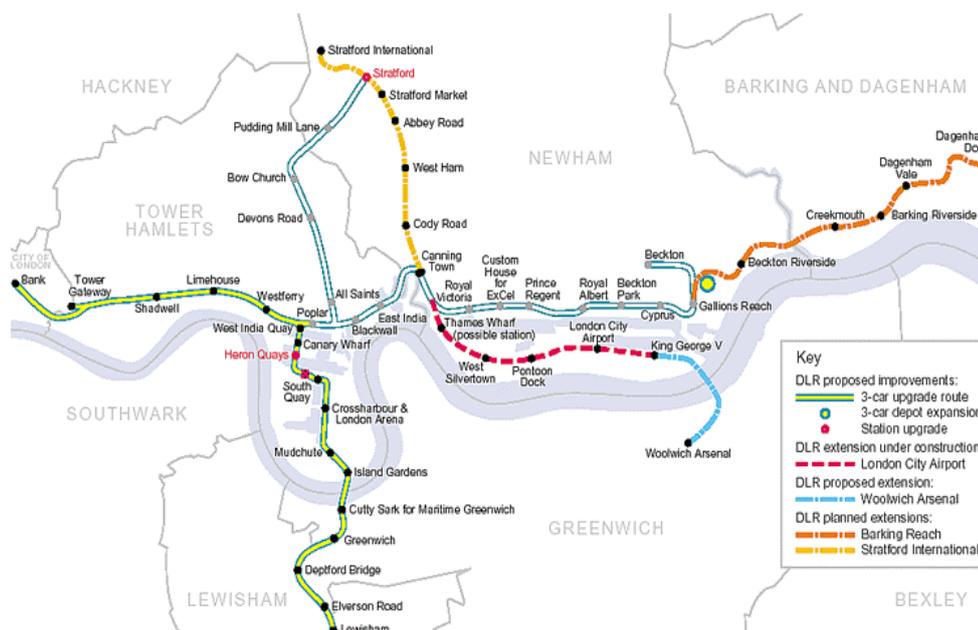


Figura 6
Red de LRT en Londres
Fuente: Transport for London

3.5.3. Lima

En el siglo XIX, la ciudad de Lima tenía en operación una red de metros ligeros y tranvías que fueron puestos en marcha el año en 1878 usando primeramente fuerza de tracción animal también conocido como tranvía de sangre. Se compraron aproximadamente 20 coches y se establecieron 4 rutas:

- Descalzos- Exposición
- Matienzo – Santa Clara
- Monserrate – Cercado
- Pampilla – San Cristóbal

En los inicios del siglo XX, inició la modernización de estos coches cambiando la fuerza de los caballos por energía eléctrica (Ver Figura N°7), reduciendo tanto los tiempos de viaje como y la comodidad de los usuarios. Se crearon dos rutas adicionales uniendo de esta manera Chorrillos – Lima y Callao – Lima. Ver Figura N°8.

Contrario a nuestros días, este sistema de transporte masivo fue símbolo de clase y distinción. Fue sumamente eficiente respecto a los otros modos de transporte de esa época ya que transportaba hasta 150 pasajeros a una velocidad comercial de 40km/h.

En ese instante, con 52 carros eléctricos en funcionamiento se redujo la tarifa a solo 5 centavos de sol por viaje.

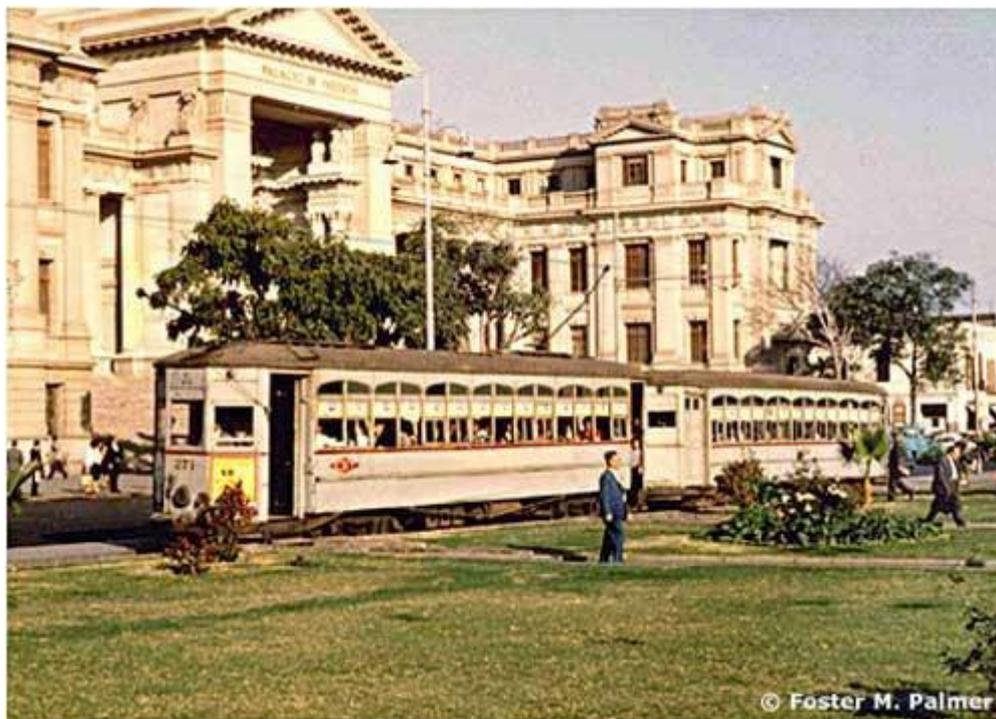
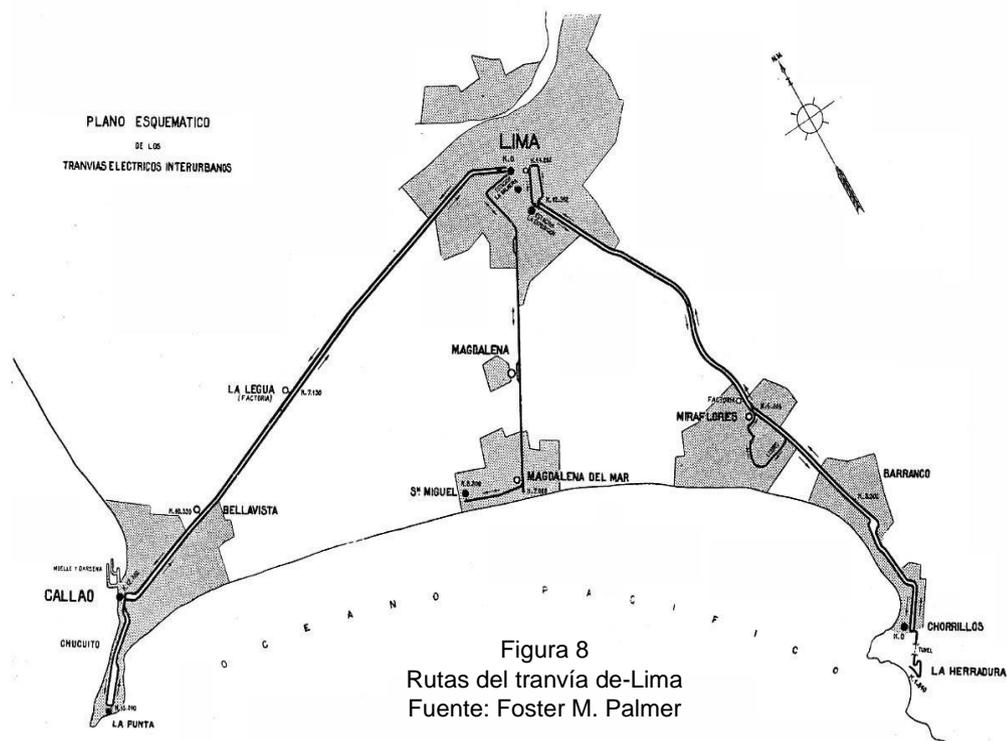


Figura 7
Coche de tranvía eléctrico-Lima
Fuente: Foster M. Palmer

Para los años 60, iniciaron las campañas en contra de la Compañía Nacional de Tranvías (CNT) y la importación de buses lo cual produjo gradualmente que el número de coches vaya disminuyendo tanto así que el año 1965 solo estaban en operación 24 tranvías. Esta situación era insostenible económicamente y en sus itinerarios, por lo tanto, el Congreso de la República durante el gobierno de Fernando Belaúnde Terry decretó liquidar la CNT y todo servicio prestado por tranvía.



3.6. Sistemas de transportes de Metro subterráneo:

3.6.1. Santiago de Chile

Santiago de Chile es la capital de Chile, esta ciudad cuenta con un total de 7 millones de habitantes y una densidad poblacional de 7308 habitantes/m². Santiago tiene dos sistemas de transporte masivo, un BRT y una red de metros.

El BRT, también llamado Transantiago, tiene muchos problemas tanto económicamente como de la calidad de viaje. Desde el punto de vista económico el Transantiago tiene un déficit de 676 millones de dólares esto trajo como consecuencia que el gobierno chileno subsidie el BRT y hacer accesible a los pasajeros. Desde el punto de vista del viaje, el principal problema son los tiempos de viaje los cuales se han incrementado en 15%. Además, los buses que funcionan actualmente están en condiciones muy precarias, propenso a generar accidentes. Viendo esto el gobierno chileno inició operaciones el 15 de diciembre del 2018 de 100 nuevos buses eléctricos en la ruta del actual BRT a su vez se inauguró el primer electro terminal en Sudamérica. ¹¹

La red de metro de Chile actualmente cuenta con 6 líneas y son consideradas las líneas de metro más modernas de Sudamérica, aunque esto no siempre fue así, la ciudad está en un valle estrecho y rodeado de montañas. En sus inicios, Santiago era una ciudad mono-céntrica, radial y llena de ciudades satélites. Luego con el plan intercomunal de 1960 se convirtió se hicieron vías de circunvalación y penetración, 15 subcentros y una zona industrial. Finalmente, con el plan regulador metropolitano de Santiago en 1994 se mejoró la planificación controlando la expansión ciudadana. ¹²

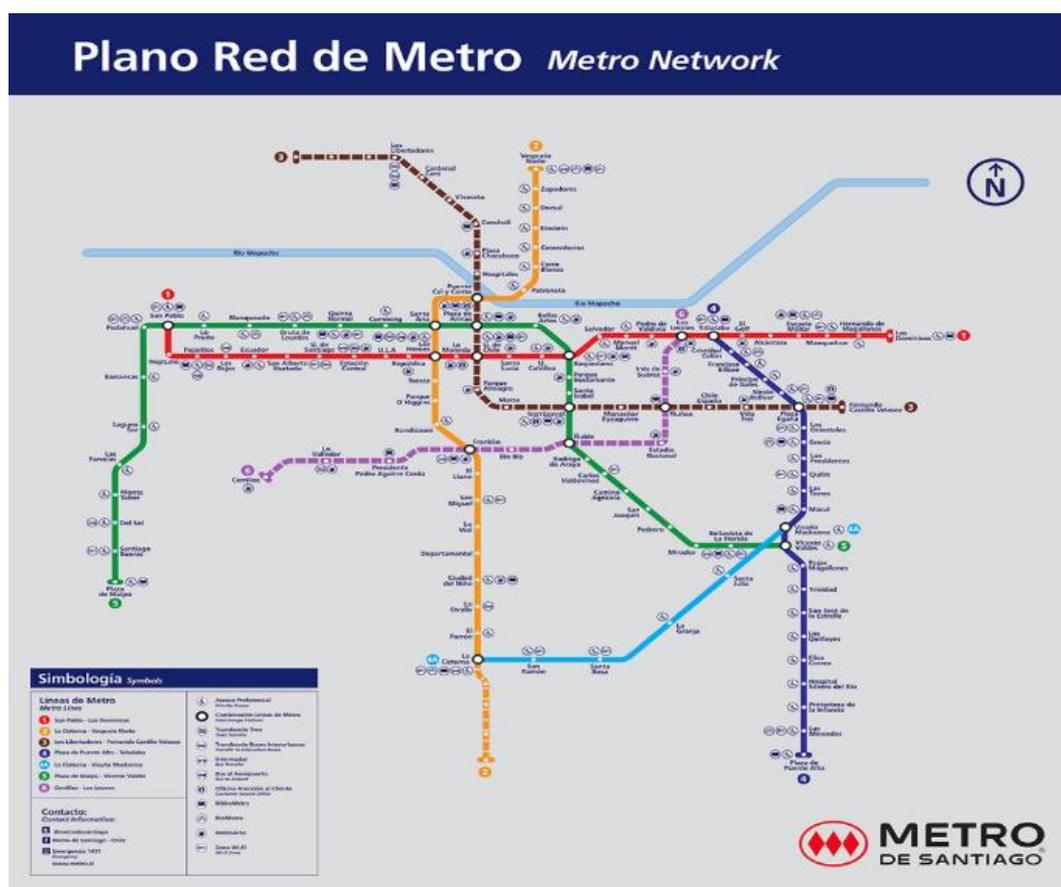


Figura 9
 Red de metro de la ciudad de Santiago de Chile
 Fuente: metro.cl

La construcción de la línea 1 del metro de Santiago inició el año 1969 e inició operaciones el año 1975 con una longitud de 10 km. En 1978 se inauguró la línea 2 y en el año 1980 se amplía la línea 1, llegando a tener 25 km de longitud.

El metro de Santiago tiene problemas como muchas rutas de transporte, uno de ellos son los robos en las estaciones y trenes, en el 2018 se han registrado un total de 216 denuncias en la comuna de Santiago. Más allá de esto el metro de

esta ciudad solo ha experimentado fallas puntuales y poco significativas para sus usuarios.

Algunas características del metro de Santiago son las siguientes:

- Longitud total: 140 km
- Estaciones en total: 136
- Ancho de vía: Estándar
- Líneas: 7
- Velocidad comercial: 32 km/h
- Pasajeros diarios: 2.6 millones

La tarifa no depende de las distancias e incluye la movilización previa mediante el bus, solo de la hora en que se usa como se muestra en la siguiente tabla:

	Tarifa		
	Hora Pico	Hora Valle	Hora Bajo
Metro	1.17	1.05	0.975
Bus + Metro	1.17	1.05	0.975
Estudiantes	0.33	0.33	0.33
Sábado, Domingo y Feriado	1.05	1.05	1.05

Cuadro 11
Tarifa del metro de Santiago de Chile (en dólares)
Fuente: metro.cl

Como se puede observar Santiago de Chile tomo la medida contraria a Bogotá, ya que disminuyó los pasajes en horas valle con el fin de atraer más público mientras que en el Transmilenio se alzaron para equilibrar la baja demanda en esas horas.

3.6.2. Buenos Aires

La ciudad de Autónoma de Buenos Aires es la capital de la República de Argentina, posee una población actual de aproximadamente 3 millones de habitantes y una densidad poblacional de 14,236 hab/km². Su principal fuente de ingresos son los servicios, así como el turismo. Esta ciudad posee una distribución tipo abanico teniendo como vértice el puerto, por esta razón el metro está compuesta de ramas que se extienden paralelos a las vías radiales de la ciudad salvo una línea de metro que cruza todas las radiales.

El metro de Buenos Aires es el primer subterráneo en Sudamérica y el número 12 en iniciar operaciones en el mundo. La primera línea fue construida por la Compañía de Tranvías Anglo-Argentina e inaugurada el 1 de diciembre de 1913. Posteriormente se inauguró la línea B en el año 1930. Actualmente posee 6 líneas de metro y 1 una línea de tranvías colectora conocida como el Pre-metro o “Línea P”. Esta línea de tranvía posee una longitud de 7.4 km y 16 estaciones. Ver Figura N°10.

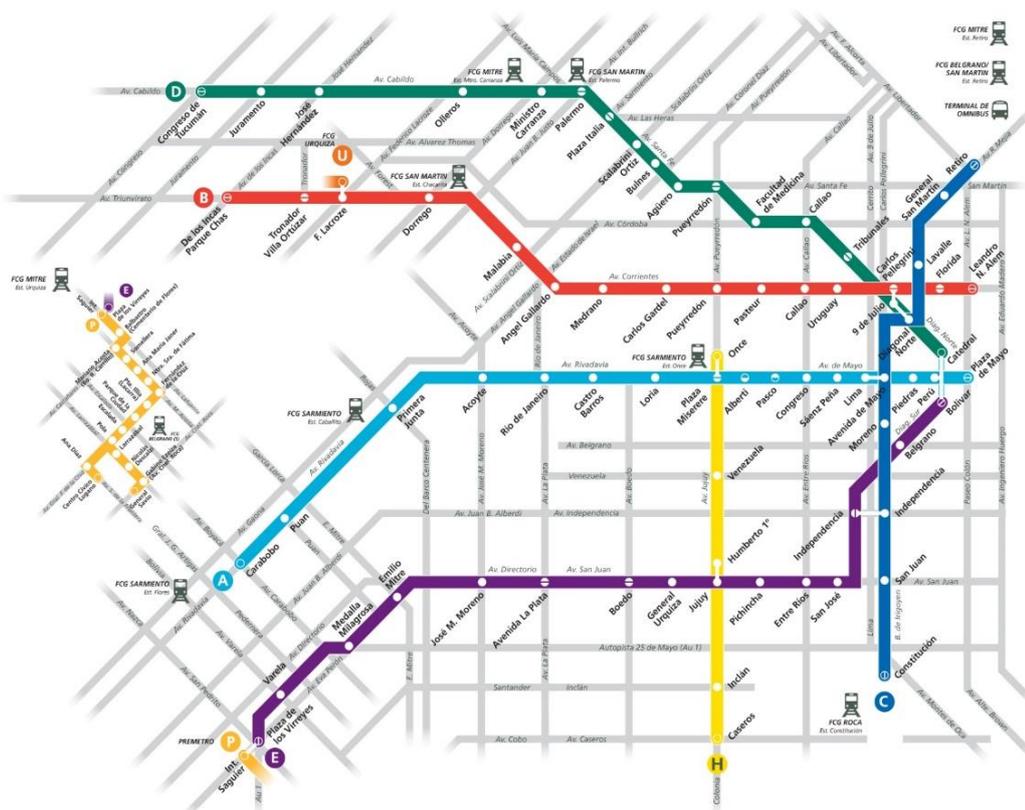


Figura 10
Plano de metro de Buenos Aires
Fuente: buenosaires.gob.ar

Según la página web del metro de Buenos Aires, las líneas son nombradas mediante letras: A, B, C y D poseen una frecuencia de 3 min, E de 5 min y H de 6min. En total suman una longitud de 56.7 km y el último año superó los 325 millones de viajes y posee 90 estaciones. ⁴⁰

Respecto al material rodante, se han comprado distintos coches a lo largo de su historia tanto nuevos como usados. Utiliza el ancho de vía estándar, 1435mm de separación entre carriles y posee una velocidad máxima de 75 km/h. Los últimos

coches en importarse fueron: Alstom 100 (Brasil), Alstom 300 (Brasil) y CNR Citic (China). Ver Figura N°11.

El costo del pasaje es relativamente barato si se compara con el metro de Chile o El Metropolitano de Lima, siendo el más caro de USD\$ 0.25 por viaje y se utiliza como medio de pago para cualquier línea la tarjeta SUBE. Actualmente los problemas son puntuales y menores, nada relevantes como para comprometer el funcionamiento del metro.

El costo de operación del sistema ha ido en aumento desde el año 2013 en el cual ascendió hasta 16.6 millones de dólares hasta 91.7 millones de dólares en 2018 es decir USD\$ 1.62 millones de dólares por km.



Figura 11
Coche del Metro de Buenos Aires
Fuente: buenosaires.gob.ar

3.7. Plan Maestro de Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao en la República del Perú

En el año 2005 se publicó en colaboración con la Agencia de Cooperación Internacional del Japón JICA en el cual se presentaron los siguientes objetivos:

- Elaborar el Plan Maestro de Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao (año horizonte: 2025).
- Elaborar el Plan de Acción a Corto Plazo (año objetivo: 2010).

-Seleccionar los proyectos prioritarios del Plan Maestro de Transporte Urbano y del Plan de Acción a Corto Plazo.

-Transferir la tecnología, relacionada con la elaboración de bases de datos de transporte urbano, modelos y planeamiento, al equipo de la contraparte peruana a lo largo del desarrollo del estudio.

El conocimiento del estudio en mención es de vital importancia ya que en él se presentan los lineamientos de desarrollo del transporte en la capital y Callao.

Respecto al desarrollo ferroviario en Lima se plantea la construcción de 6 líneas de metro, 5 corredores y 1 complementarios. Estas líneas son:

Línea 1: Primer corredor Sur-Norte de Lima, el cual va desde Villa El Salvador-Atocongo-Bayóvar.

Línea 2: Primer corredor Este-Oeste, el cual va desde Ate-Callao.

Línea 3: Operación circular que tiene como propósito disminuir la congestión de la Av. Javier Prado.

Línea 4: Conecta la Av. E. Faucett con la Av. Javier Prado pasando por el aeropuerto.

Línea 5: Línea complementaria que va de Surco hacia Chorrillos.

Línea 6: Línea que conectará Independencia con el distrito de Surco.

Las líneas que afectan el área en estudio es la futura Línea 3 de metro la cual supone una zona de atracción que podría limitar la demanda de tipos de transportes cercanos. Para solucionar esto, en capítulos posteriores se comprobará mediante análisis de demanda la funcionalidad de la ruta a plantear, el cual sería parte de la puntuación para escoger el mejor sistema de transporte masivo.

Asimismo, es importante recalcar que la Línea 3 intercepta al tramo en estudio en la estación Caquetá, punto inicial del tramo, logrando de esta manera, la integración del medio de transporte masivo planteado con la red de metro de Lima en un futuro.

Este estudio debería ser complementado y actualizado con el ya en desarrollo "Plan Maestro del Sistema de Transporte Masivo de Lima y Callao al 2050" el cual

visualiza la ampliación de la red, interconexión modal e intercambiadores con el tren de cercanías futuro.

CAPITULO IV: IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

4.1. Diagnóstico

4.1.1. Situación y problemática actual del servicio de Transporte Público en el COSAC I

4.1.1.1. Nivel de servicio

Existe cierta dificultad para medir el nivel de servicio de un tipo de transporte masivo tipo BRT, ya que la calidad depende de varios factores. Para esta investigación se tomará como los principales factores el tiempo de espera, tiempo en el bus, velocidad comercial, seguridad vial y contaminación ambiental producido por los buses.

La variabilidad de los tiempos también es un aspecto importante ya que esta aumenta la incertidumbre de los usuarios al usar el BRT. A mayor variabilidad, el servicio disminuye su calidad.

Estos factores determinaran si El Metropolitano brinda un buen servicio tanto a sus usuarios como a la población cercana a la ruta de este medio de transporte masivo.

Para la obtención de estos valores se hará un estudio por observación en las 5 estaciones más representativas, debido a la alta demanda de estos, del tramo en estudio: Caquetá, UNI, Tomas Valle, Izaguirre y Naranjal, en diferentes horas: hora punta de mañana que va desde las 7:00 hasta las 9:00 h, hora punta de tarde que va desde 18:00 a 20:00 horas y hora valle, que es el tiempo restante.

4.1.1.2. Infraestructura vial

El Metropolitano cuenta con una infraestructura la cual se puede separar en dos partes principalmente, las estaciones y las vías segregadas que le da exclusividad frente a otros buses de transporte público.

En el tramo en análisis existen 11 estaciones desde la estación Caquetá hasta la estación Naranjal: Caquetá, Parque del trabajo, UNI, Honorio Delgado, El Milagro, Tomas Valle, Los Jazmines, Independencia, Pacífico, Izaguirre y Naranjal. Ver Figura N°12. Las características más importantes de estas son: tipos de embarcación, longitud de la estación, ancho de la estación y altura de la plataforma

de la estación. Estos son necesarios para el futuro planteamiento de alternativas de sistemas de transporte masivo.

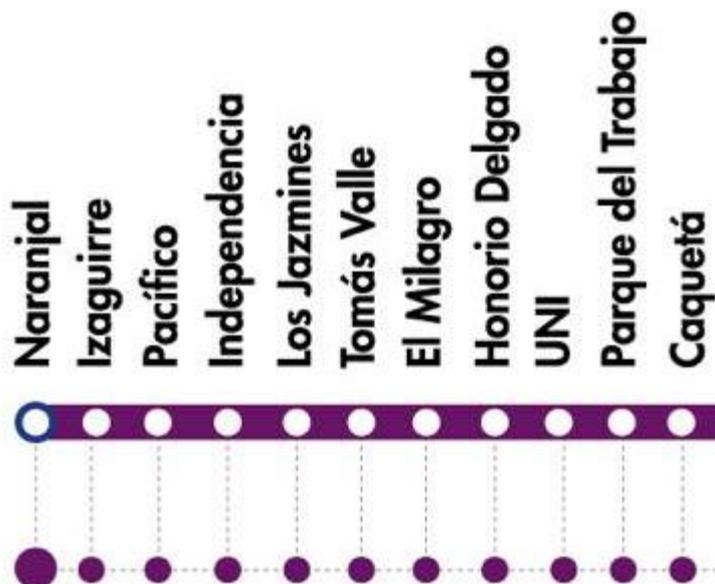


Figura 12
Estaciones de El Metropolitano en la zona de estudio
Fuente: El Metropolitano

En la construcción de El Metropolitano, se hicieron 4 tipos de embarcaciones típicas, llamadas Tipo 1, tipo 2, tipo 2E y tipo 3, estas separadas de las terminales Matellini y Naranjal. En el tramo en análisis se construyeron solo 2 de estos tipos, la 2 y la 2E. La primera posee entrada mediante torniquete y la segunda no, usada como intermedio o final de estación. Ver Cuadro N°12

Estación	Tipo de embarcación		Longitud (m)	Ancho (m)	Altura de plataf. (m)
	Tipo 2	Tipo 2E			
Caquetá	2	1	169.3	5	0.9
Parque del trabajo	1	1	115.15	5	0.9
UNI	2	1	172.43	5	0.9
Honorio Delgado	1	1	121.15	5	0.9
El Milagro	1	1	121.15	5	0.9
Tomas Valle	1	1	121.15	5	0.9
Los Jazmines	1	1	121.15	5	0.9
Independencia	1	1	121.15	5	0.9
Pacífico	1	1	121.15	5	0.9
Izaguirre	1	1	121.15	5	0.9

Cuadro 12
Características de las estaciones de El Metropolitano
Fuente: Protransporte

Otra parte esencial de la infraestructura son las vías de transporte que segregan a El Metropolitano del resto de medios de transporte como buses, taxis, combis, autos entre otros. Estas vías son de losa de concreto las cuales se encuentran en buen estado debido al material y el poco tiempo en funcionamiento, ocupan 4 carriles: dos de ida y dos de vuelta con anchos similares entre estaciones. Ver Cuadro N°13.

Las vías de El Metropolitano presentan las siguientes características:

Estación	Distancia	D. Acumu. (m)	Ancho de vía (m)	Avenida
Caquetá	0	0	-	-
Parque del trabajo	770	770	16	Caquetá
UNI	810	1580	20	Túpac Amaru
Honorio Delgado	820	2400	16	Túpac Amaru
El Milagro	673	3073	20	Túpac Amaru
Tomas Valle	572	3645	20	Túpac Amaru
Los Jazmines	526	4171	20	Túpac Amaru
Independencia	383	4554	20	Túpac Amaru
Pacífico	415	4969	20	Túpac Amaru
Izaguirre	642	5611	20	Túpac Amaru
Naranjal	771	6382	20	Túpac Amaru

Cuadro 13
Características de las vías de El Metropolitano
Fuente: Google Maps¹⁷

Se puede observar que las distancias entre estaciones son muy cercanas salvo la de Independencia-Pacífico y Pacífico-Izaguirre. Mientras que la distancia mayor es la de Parque del Trabajo-UNI.

Asimismo, los anchos de vía en la Av. Túpac Amaru son prácticamente iguales a 20 metros esto debido al ancho de la misma avenida Túpac Amaru.

La cantidad de espacio que ocupa El Metropolitano afecta tanto a los vehículos que recorren esas avenidas como a las personas que la cruzan ya que genera un efecto barrera a los peatones los cuales se ven obligados a cruzar por puntos específicos provisto por el BRT.

Intersecciones:

La vía de El Metropolitano recorre la avenida Caquetá y la avenida Túpac Amaru y atraviesa varias avenidas, entre las principales se identificaron 7 intersecciones:

Intersección 1A: Avenida Caquetá-Calle Quimper

Intersección 1B: Avenida Caquetá-Miguel Grau

Intersección 2: Avenida Caquetá-Avenida Túpac Amaru.

Intersección 3: Avenida Túpac Amaru-Honorio Delgado

Intersección 4: Avenida Túpac Amaru-Fray Bartolomé de las Casas

Intersección 5: Avenida Túpac Amaru-Los Jazmines

Intersección 6: Avenida Túpac Amaru-Izaguirre

Es importante señalar las intersecciones porque en estas existen semáforos y son los puntos en los cuales El Metropolitano se encuentra con el tráfico externo (buses, microbuses, taxis, etc.) El tiempo que se pierde en estos puntos en hora punta puede ser muy elevado, afectando severamente a la velocidad comercial.

Como ejemplo se tendría la intersección entre la avenida Caquetá y la Túpac Amaru, las cuales convergen en un punto muy congestionado, donde se puede perder hasta 5 minutos según mediciones propias. Ver Figura N°15



Figura 15
Avenida Caquetá con avenida Túpac Amaru
Fuente: Google Earth¹⁷

4.1.1.3. Tiempos en el COSAC I

Como se dijo líneas arriba, se hicieron mediciones de tiempos en tres días de la semana, lunes, miércoles y viernes, así como 3 veces en cada día, en la hora punta mañana (7:00 am), hora valle (11:00 am) y hora punta tarde (7:00 pm) para tener tiempos promedio además de conocer la variabilidad de este.

Tiempo en estación

Es el tiempo que sucede desde entrar a la estación hasta abordar algún bus. Para obtener este tiempo se tomó como ruta de referencia el que trasladaba más demanda en horas punta y valle.

Estación	Tiempos de espera (min)		
	HPM	HV	HPT
Caquetá	8	5	9.2
UNI	11	8.3	12.7
Tomas Valle	15.7	7	18.1
Izaguirre	14.7	8	17.0
Naranjal	17	9.3	19.6

Cuadro 14
Tiempo de espera
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en el cuadro N°14, el mayor tiempo de espera se da en el terminal Naranjal, lo que era de suponerse debido a la alta demanda. Y punto de reunión de buses troncales y alimentadores. En promedio el tiempo de espera en la hora punta mañana es de 13 minutos, en la hora valle es de 7.5 minutos y en la hora punta tarde es de 15 minutos.

Este tiempo es muy elevado si los comparamos con otros tipos de transportes masivos similares en Latinoamérica como el BRT de Curitiba o el metro de Santiago.

A su vez la variabilidad en la espera de un bus también es alta en algunos casos, como se muestra en la siguiente gráfica. Ver Cuadro N°15 y 16

Estación	Desviación Estándar		
	HPM	HV	HPT
Caquetá	1.0	0.6	2.0
UNI	6.2	3.8	1.5
Tomas Valle	2.3	1.0	2.9

Izaguirre	1.2	0.6	1.7
Naranjal	3.6	1.5	4.0

Cuadro 15
Desviación estándar de tiempos de espera
Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar de una mejor manera la variabilidad en porcentaje:

Estación	Variabilidad		
Caquetá	8%	13%	15%
UNI	42%	35%	9%
Tomas Valle	11%	10%	13%
Izaguirre	6%	4%	8%
Naranjal	16%	12%	15%

Cuadro 16
Variabilidad de los tiempos de espera
Fuente: Elaboración Propia

La estación con mayor variabilidad es la estación UNI, generando esto un gran malestar a los usuarios ya que no se puede calcular su tiempo de viaje con finalidad de llegar a tiempo a su centro de trabajo o estudios. Por otro lado, la estación Izaguirre tiene una variabilidad muy baja, haciendo a esta más confiable para los pasajeros.

Tiempo en el bus

Otra parte importante del viaje es el tiempo que transcurre mientras se va de estación en estación. Este tiempo involucra el tiempo en el que el bus está en movimiento sumado al tiempo que está en una estación y el tiempo que demora esperando al semáforo, policías de tránsito o congestión vehicular en intersecciones. Estos últimos harán que el tiempo en el bus sea diferente entre días.

Para la obtención del tiempo en el bus se tomaron medidas mediante un bus de ruta regular "D" en la mañana y la "B" en la hora valle y tarde, debido a que estas dos rutas paran en todas las estaciones. Se hicieron mediciones los 3 primeros días de la semana durante la hora valle y la hora punta de la mañana. Ver Cuadro N°17, N°18 y N°19.

Este tiempo debería ser el mayor y más importante para cualquier tipo de transporte.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

<u>Tiempo de viaje</u>	<u>Lunes</u>	<u>14/01/2019</u>
	<u>HV</u>	
Estación	Hora	Tiempo de viaje
Caquetá	10:27	0
Parque del trabajo	10:30	3
UNI	10:31	4
Honorio Delgado	10:33	6
El Milagro	10:35	8
Tomas Valle	10:37	10
Los Jazmines	10:39	12
Independencia	10:41	14
Pacífico	10:42	15
Izaguirre	10:43	16
Naranjal	10:48	21

Cuadro 17
Tiempo de viaje-lunes
Fuente: Elaboración Propia

<u>Tiempo de viaje</u>	<u>Martes</u>	<u>15/01/2019</u>
	<u>HV</u>	
Estación	Hora	Tiempo de viaje
Caquetá	10:43	0
Parque del trabajo	10:46	3
UNI	10:47	5
Honorio Delgado	10:50	7
El Milagro	10:52	9
Tomas Valle	10:54	11
Los Jazmines	10:56	13
Independencia	10:57	14
Pacífico	10:58	15
Izaguirre	10:59	16
Naranjal	11:06	23

Cuadro 18
Tiempo de viaje-martes
Fuente: Elaboración Propia

Tiempo de viaje Miércoles 16/01/2019
HPM

Estación	Hora	Tiempo de viaje
Caquetá	8:29	0
Parque del trabajo	8:32	3
UNI	8:33	4
Honorio Delgado	8:36	7
El Milagro	8:38	8
Tomas Valle	8:40	10
Los Jazmines	8:41	11
Independencia	8:42	12
Pacífico	8:44	14
Izaguirre	8:45	15
Naranjal	8:54	24

Cuadro 19
Tiempo de viaje-miércoles
Fuente: Elaboración Propia

En los cuadros mostrados los tiempos en el viaje son prácticamente iguales entre todas las estaciones, salvo en la estación Naranjal donde se ve una gran diferencia con un tiempo promedio de 7 minutos desde Izaguirre a pesar de que la distancia entre estaciones no es muy distinta a las otras. Esto se puede explicar debido a que al terminal Naranjal llegan una gran cantidad de buses los cuales no tienen la sincronización necesaria por lo tanto los buses tienen que esperar fuera de la plataforma de abordaje perdiendo una gran cantidad de tiempo.

Como ejemplo, un estudiante de la UNI que quiera ir del terminal Naranjal a la estación UNI en la hora punta de la mañana, tardaría aproximadamente 17 minutos en la estación Naranjal y 21 minutos en el bus, sumando un total de 38 minutos de viaje. Una alternativa viable en este ejemplo es usar el transporte público convencional como un microbús que tardaría aproximadamente 2 minutos esperando por el bus y 10 de viaje, es decir menos de la mitad de tiempo.

Asimismo, la variabilidad de los tiempos en los días que se tomaron los datos no es considerable por lo tanto los usuarios pueden conocer exactamente el tiempo que les toma viajar en el bus.

Velocidad comercial

Con el tiempo medido y las distancias entre estaciones se obtendría la velocidad comercial de El Metropolitano para el tramo en estudio. Ver Cuadro N°20. Este valor se usa con fines de comparación con otros tipos de transporte como metros ligeros u otros BRT. Ver Cuadro N°21.

Estación	D. Acumulada (m)	Tiempo de viaje (min)	V. comercial (km/h)
Caquetá	0	0	
Parque del trabajo	770	3.0	15.4
UNI	1580	4.3	21.9
Honorio Delgado	2400	6.7	21.6
El Milagro	3073	8.3	22.1
Tomas Valle	3645	10.3	21.2
Los Jazmines	4171	12.0	20.9
Independencia	4554	13.3	20.5
Pacífico	4969	14.7	20.3
Izaguirre	5611	15.7	21.5
Naranjal	6382	22.7	16.9

Cuadro 20
Velocidad Comercial
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar la velocidad entre estaciones es superior en la mayoría de los casos a los 20 km/h. Sin embargo, se nota una gran diferencia con la velocidad comercial la cual es inferior debido al tiempo que se pierde cuando un bus desea ingresar al terminal y no tiene espacio para desembarque.

	Velocidad Comercial (km/h)
El Metropolitano	17
BRT Curitiba	19
BRT Bogotá	26
LRT Montpellier	20
Metro Santiago	32

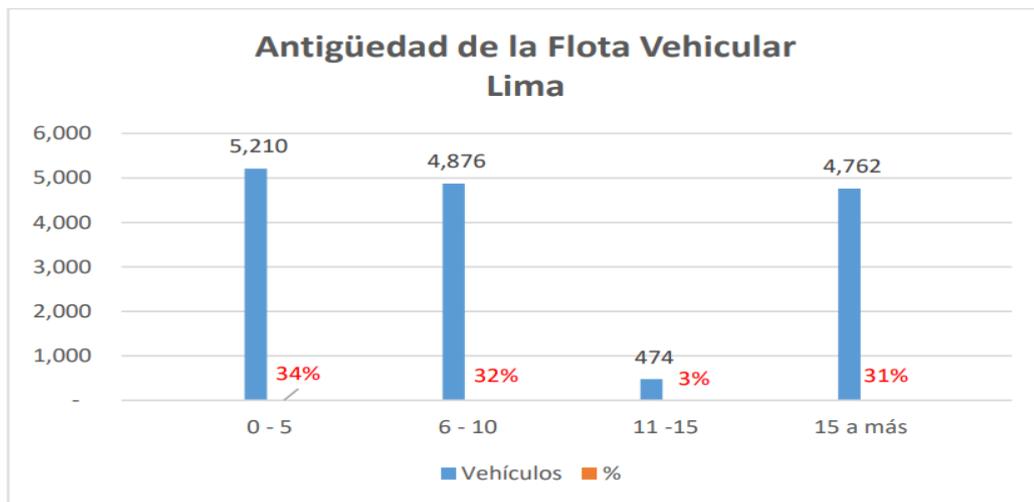
Cuadro 21
Comparación de velocidad Comercial
Fuente: Varios

4.1.1.4. Antigüedad de la flota

El Metropolitano inició operaciones el año 2010 y desde entonces no se hizo ninguna renovación de la flota, solo se ha ido adquiriendo más buses debido a la

alta demanda mas no retirando los antiguos. Según contrato los buses deberían ser renovados cada 7 años debido a que se continua en etapa de pre-operación.

Según el DS-017-2009 MTC, decreto que señala que la antigüedad máxima de los vehículos de transporte público es de 15 años. Ver Cuadro N°22. El Metropolitano cumple con este decreto, pero gran parte del transporte público en Lima no. Por lo tanto, si se llegara a aplicar, Lima quedaría sin servicio. Esto incluye a las avenidas que recorre El Metropolitano como son la avenida Caquetá y la avenida Túpac Amaru.



Cuadro 22
Antigüedad de transporte público. Año 2010
Fuente: Fundación Transitemos

4.1.1.5. Seguridad Vial

Este factor es muy importante ya que se han presentado gran número de accidentes de tránsito en los últimos años y es la principal causante de la muerte

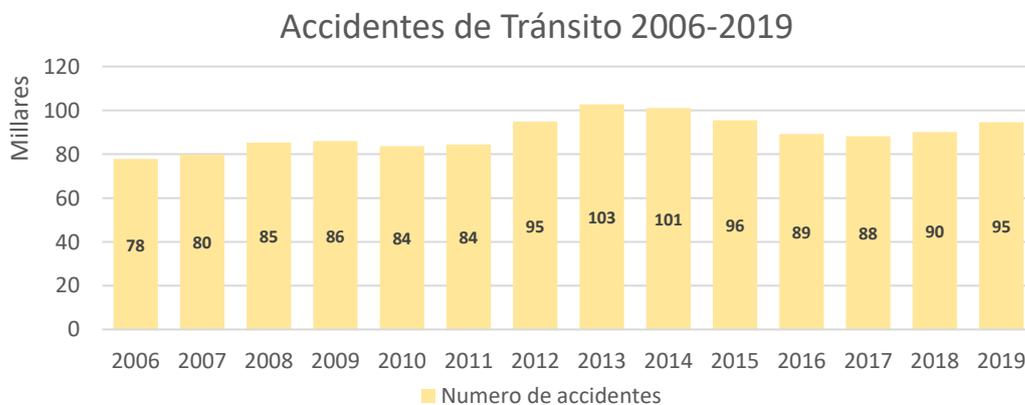


Figura 16
Accidentes de tránsito 2006-2019
Fuente: MTC

en el mundo dejando de lado las enfermedades según la Organización Mundial de la Salud (OMS). En la gran mayoría de accidentes de tránsito la razón principal de muerte es el atropello ya sea por imprudencia del peatón o del conductor, reflejado en estadísticas de la PNP donde se menciona que la principal razón es el factor humano; el resto de los accidentes es por choque de vehículos.

Específicamente El Metropolitano ha provocado muy pocos accidentes en su historia. Debido a la poca interacción con otros tipos de transporte. La gran mayoría de los accidentes en el BRT son debidos a vehículos que invaden la vía segregada.



Figura 17
Accidente de tránsito en estación Caquetá
Fuente: Peru.com

4.1.1.6. Contaminación Ambiental

Según el Informe nacional de la calidad del aire presentado por el ministerio del ambiente, la mayor fuente de contaminación ambiental es el parque automotor seguido por las industrias. Los automóviles emiten contaminantes como el dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno, PM₁₀ y PM_{2.5}.

Como se puede ver en las figuras, los valores obtenidos en las mediciones superan los valores recomendados máximos

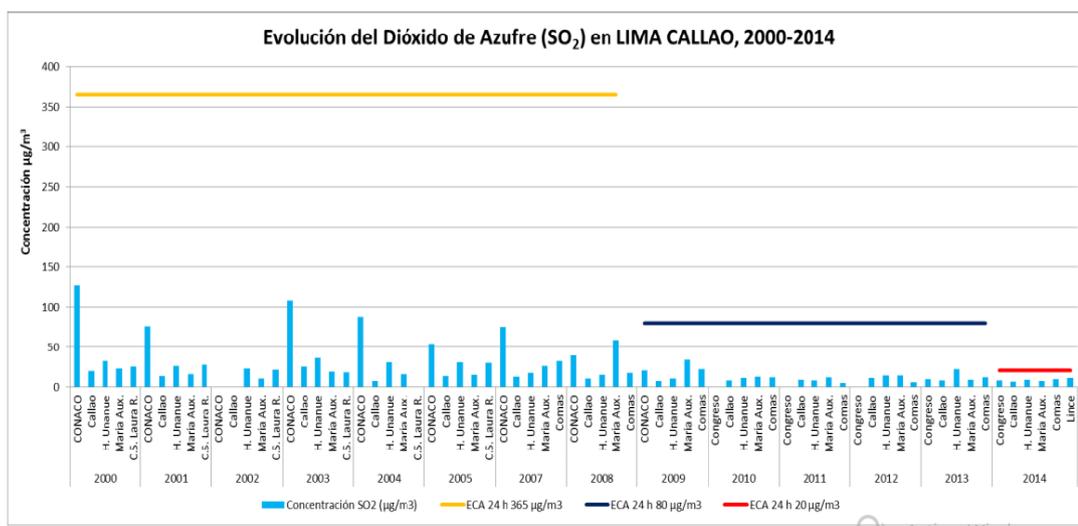


Figura 18
 SO2 en Lima Callao 2000-2014
 Fuente: DIGESA

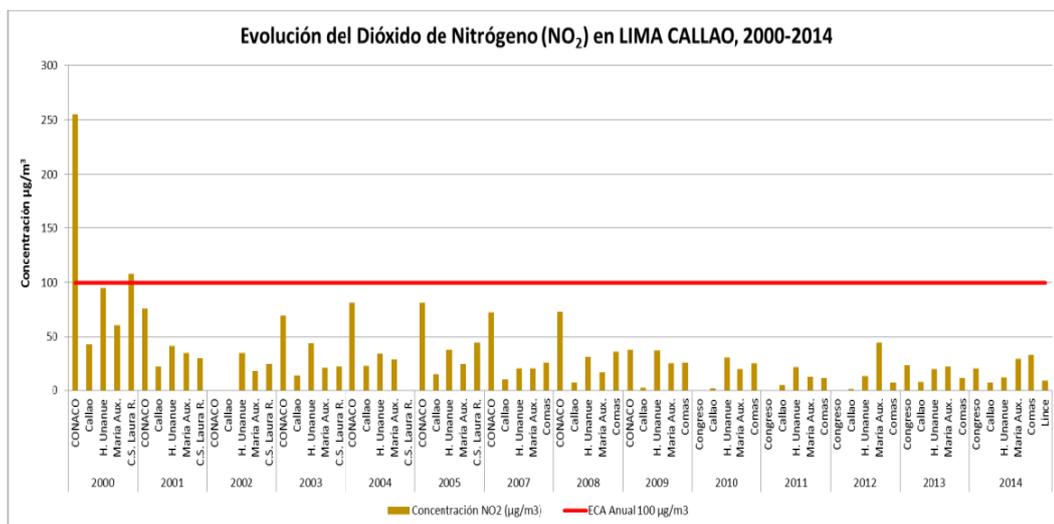


Figura 19
 NO2 en Lima Callao 2000-2014
 Fuente: DIGESA

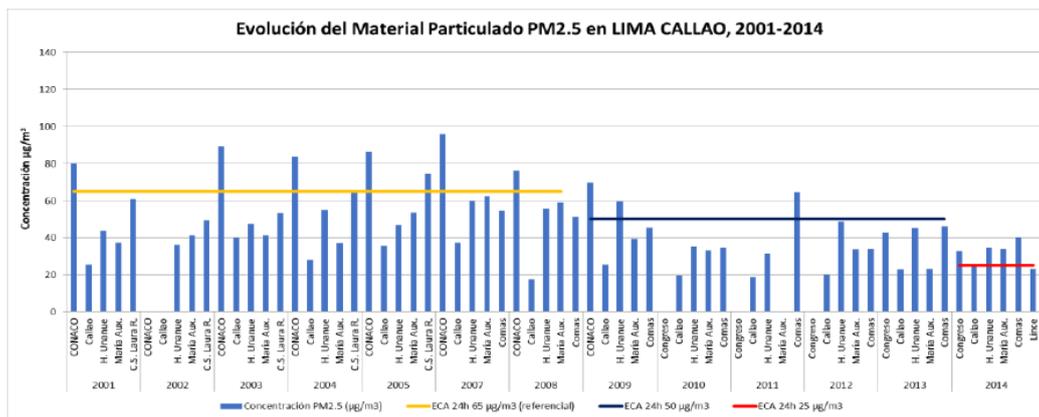


Figura 20
PM2.5 en Lima Callao 2001-2014
Fuente: DIGESA

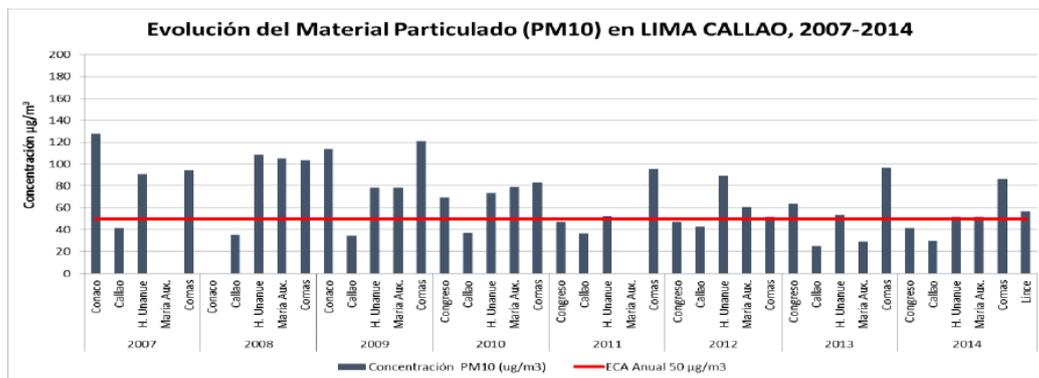


Figura 21
PM10 en Lima Callao 2007-2014
Fuente: DIGESA

4.1.1.7. Tarifa

La tarifa de El Metropolitano ha ido variando a lo largo de sus años en funcionamiento, variando incrementalmente hasta un costo actual de S/. 2.50. Ver Figura N°22 y Cuadro N°23.

Esto ha generado diversas protestas de los usuarios, así como demandas por parte del Instituto Protransporte en contra de las concesionarias.



Figura 22
Aumento de pasajes de El Metropolitano
Fuente: El Comercio

	Tarifa (Nuevos Soles)		
	General	Universitario	Escolar
Ruta troncal	2.50	1.25	0.50
Ruta alimentadora	0.50	0.25	0.50

Cuadro 23
Tarifa actual de El Metropolitano
Fuente: El Metropolitano

4.1.2. Gravedad de la situación actual

El bajo nivel de servicio del BRT de Lima afecta a millones de usuarios y personas externas que habitan cerca de la ruta. De no tomarse ninguna acción, El Metropolitano ira disminuyendo aún más su calidad de servicio, ya que la demanda sigue en aumento y se hace la compra de más buses lo cual se ha visto que no soluciona el problema, ocasionando que los tiempos de espera en estación se incrementen, así como el desorden en las mismas. La velocidad comercial difícilmente se verá afectada ya que se mantendrá segregado el BRT.

Cabe destacar que, al tener buses de gran antigüedad, no solo la polución causada por la emanación de gases podría ser un problema, sino que también los costos de mantenimiento de estos buses se elevarán aumentando de esta manera el costo total de transporte y posiblemente la tarifa vuelva a ser un problema para los usuarios.

4.1.3. Área y población de estudio

4.1.3.1. Área de estudio

La ruta de El Metropolitano recorre tres distritos en el tramo en análisis, estos son: Rímac, San Martín de Porres, Independencia y afectan a distritos como Comas y Los Olivos por su cercanía. Ver Cuadro N°24

Distrito	Estación
Rímac	Caquetá
	Parque del trabajo
	UNI
San Martín de Porres	Honorio Delgado
	El Milagro
Independencia	Tomas Valle
	Los Jazmines
	Independencia
	Pacífico
	Izaguirre
	Naranjal

Cuadro 24
Estaciones por distritos
Fuente: El Metropolitano

4.1.3.2. Población de estudio

El área en estudio cuenta con un total de 1'503,567 de habitantes, estos representan el 22% de la provincia de Lima. La mayor población se encuentra en el distrito de Los Olivos (34.76%), seguido por Comas (27.21%), Independencia, San Martín de Porres (11.12%) y Rímac (9.38%). Toda la información estadística es obtenida de Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). Ver Cuadro N°25

Distrito	Población (hab)	Superficie (km ²)	Densidad (hab/km ²)	Tasa de crecimiento (%)
Comas	520450	48.75	10676	1.85%
Independencia	211360	14.56	14516	1.14%
Los Olivos	325884	18.25	17857	1.64%
Rímac	174785	11.87	14725	-0.07%
San Martín	654083	36.91	17721	1.62%

Cuadro 25
 Población por distrito
 Fuente: Censo 2017

La tasa de crecimiento de población se obtuvo considerando que la población está en franco crecimiento usando por esta razón el método de interés simple. Para esto se usaron como datos el número de habitantes en cada distrito de los últimos 4 censos nacionales realizados por el INEI mostrados en la figura 21. Se puede observar que el distrito con mayor crecimiento es Comas (1.85%) y el que tiene un decrecimiento es Rímac (-0.07%). Ver Figura N°23

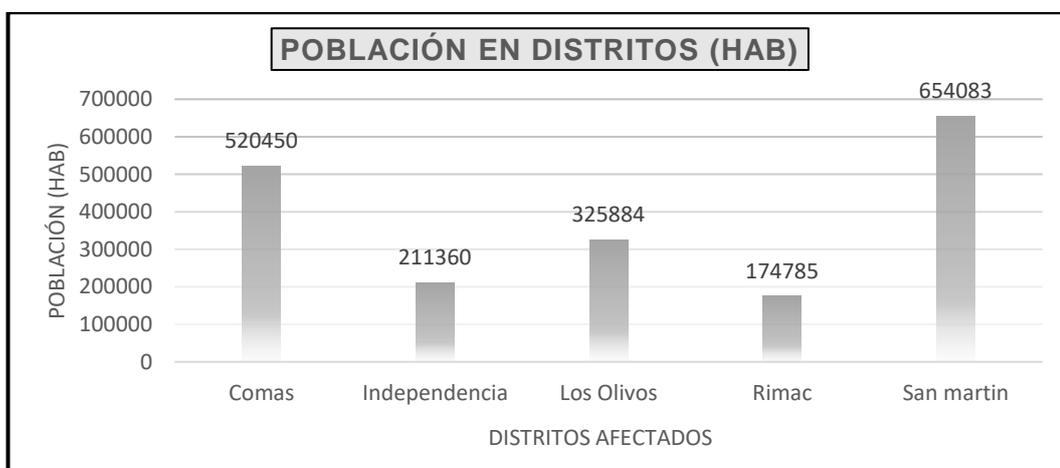


Figura 23
 Población en distritos
 Fuente: INEI

El área de estudio tiene un total de 130.94 km², siendo el distrito con mayor área el de Comas y el de menor es Rímac. El distrito con mayor población es el de San Martín de Porres con 654,083 habitantes y el de menor es Rímac con 174,785 habitantes. Sin embargo, el distrito con mayor densidad poblacional es el de Los Olivos. Ver Figura N°24.

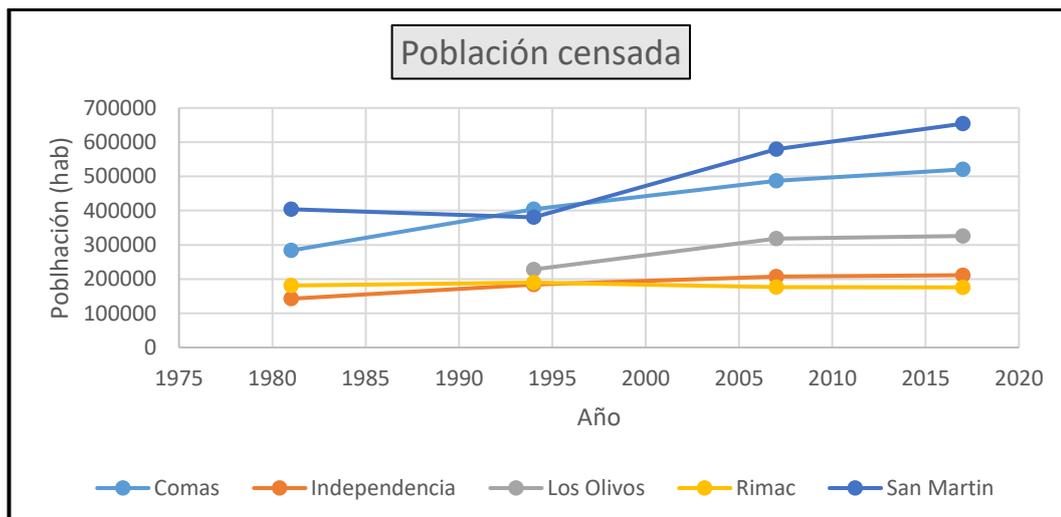


Figura 24
Población a través de los años
Fuente: INEI

Con estos datos se puede proyectar la población considerando que sigue en franco crecimiento, usando las tasas de crecimiento obtenidas se tiene:

Distritos	Población proyectada para el año:			
	2025	2030	2040	2050
Comas	597,372	645,447	741,599	837,751
Independencia	230,593	242,614	266,656	290,697
Los Olivos	368,612	395,317	448,727	502,137
Rímac	173,795	173,176	171,938	170,700
San Martin	738,989	792,056	898,189	1004,322
Total	2'109,361	2'248,610	2'527,108	2'805,607

Cuadro 26
Población proyectada
Fuente: Elaboración propia

Para la planificación de un sistema de transporte masivo, es necesario contar con una proyección de habitantes del área de influencia de al menos 30 años. Se puede observar que la población para el año 2050 aumentaría en 696,246 habitantes., es decir en poco más del 30%. Cabe resaltar que la población de Rímac disminuye a lo largo de estos años.

Composición de la población por sexo

La mayor parte de la población en el área de estudio son mujeres con un 51% (968,585 mujeres), siendo Los Olivos el distrito con mayor número de mujeres en proporción con los hombres, esto se puede ver reflejado en el índice de masculinidad. Ver Cuadro N°27.

Distritos	Población			Índice de masculinidad
	Total	Hombres	Mujeres	
Comas	520450	254512	265938	95.7%
Independencia	211360	103694	107666	96.3%
Los Olivos	325884	156847	169037	92.8%
Rímac	174785	85138	89647	95.0%
San Martín	654083	317786	336297	94.5%
Total	1886562	917977	968585	94.8%

Cuadro 27
Población por sexo
Fuente: Censo 2017

Composición de la población por grupos de edad

El mayor grupo de edad es la población adulta de 30 a 49 años con un 29% del total, le sigue el grupo de jóvenes de 15 a 29 años. El distrito con mayor número de jóvenes es el San Martín de Porres con un 35% de su población, mientras que el distrito con mayor población senil es Rímac con un 11%. De esta manera se podrá descartar al grupo de 0 a 14 como demanda real de El Metropolitano. Ver Cuadro N°28.

Distritos	Grupos de Edad				
	0 a 14	15 a 29	30 a 49	50 a 64	65 a más
Comas	119045	129544	153720	69525	48616
Independencia	47273	54840	60731	29392	19124
Los Olivos	66676	85923	95931	47597	29757
Rímac	36159	43015	48380	27454	19777
San Martín	140797	170971	187471	98786	56058
Total	409950	484293	546233	272754	173332

Cuadro 28
Grupos de edad
Fuente: Censo 2017

Población discapacitada

Es importante conocer la población discapacitada ya que de este número dependerá el diseño de las estaciones. En el área de estudio se encontraron en total 193,726 habitantes con alguna discapacidad permanente esto representa el 10% del total aproximadamente. La discapacidad más común de todas es el problema con la visión incluso usando lentes con un 8% del total.

El distrito con mayor número de discapacitados es San Martín de Porres con 67609 personas. Mientras que el que tiene menos es el Rímac con 18882.

La discapacidad menos común es la de relacionarse con los demás, es decir psicológicos; estos solo son el 0.8% del total, siendo San Martín el que tiene mayor número de estos discapacitados. Ver Cuadro N°29 y N°30.

Distritos	Población Total	Dificultad o limitación permanente		
		Ver, aun usando anteojos	Oír, aun usando audífonos	Hablar
Comas	520450	41519	8758	3308
Independencia	211360	15896	4003	1485
Los Olivos	325884	25055	5169	2042
Rímac	174785	14317	3305	1260
San Martín	654083	52768	10552	4289
Total	1886562	149555	31787	12384

Cuadro 29
Limitaciones permanentes (1)
Fuente: Censo 2017

Distritos	Población Total	Dificultad o limitación permanente			
		Usar brazos y piernas	Entender o aprender	Relacionarse con los demás	Total
Comas	520450	13286	5174	4150	53585
Independencia	211360	5585	2444	1913	21384
Los Olivos	325884	7408	3583	2857	32266
Rímac	174785	5296	2245	1752	18882
San Martín	654083	15443	6992	5425	67609
Total	1886562	47018	20438	16097	193726

Cuadro 30
Limitaciones permanentes (2)
Fuente: Censo 2017

Aspectos de la salud

La salud en un distrito tiene diversos aspectos a considerar, el primero de ellos es la cantidad de establecimientos hospitalarios que posee ya que de estos dependerá el número de personas que pueden ser auxiliadas. Otro es la causa de mortalidad porque esta defina los principales problemas que afectan a la salud de la población. Como tercer aspecto está las causas de morbilidad, la cual señala las principales enfermedades y razones para ir a un hospital.

Es importante analizar los establecimientos de salud existentes ya que estos son puntos de reunión de gran cantidad de personas que aumentan la demanda en cada estación de las alternativas a plantearse.

Se puede observar en total 6 centros médicos en el área de estudio, 2 en el distrito de Comas. El hospital Cayetano Heredia y el hospital Municipal de Los Olivos se encuentran en el área de influencia directa. Ver Cuadro N°31.

Provincia	Distritos	Nombre de establecimiento	Dirección
Lima	Comas	Hospital Marino Molina Essalud	Av. Guillermo de la Fuente
		Hospital Sergio E. Bernales	Los Nardos 102
	Independencia	Centro de Salud Tahuantinsuyo Bajo	Av. Chinchaysuyo 371
	Los Olivos	Hospital Municipal de Los Olivos	Av. Naranjal 318
	Rímac	Policlínico Essalud Francisco Pizarro	Av. Francisco Pizarro 589
	San Martín	Hospital Nacional Cayetano Heredia	Av. Honorio Delgado 262

Cuadro 31
Hospitales en la zona de estudio
Fuente: Google Maps

Mortalidad

Se muestran las 10 causas más comunes de muerte en el 2014 según información dada por el Ministerio de Salud. Siendo el más común los tumores malignos. Ver Cuadro N°32.

Causas de Mortalidad	Población		
	Hombres	Mujeres	Total
Tumores malignos	3750	4113	7863
Influenza y neumonía	2450	2381	4831
Otras enfermedades bacterianas	1130	1237	2367
Enfermedades respiratorias que afectan al intersticio	1000	954	1954
Enfermedades isquémicas del corazón	994	557	1551
Diabetes Mellitus	840	779	1619
Enfermedades cerebrovasculares	751	805	1556
Otras formas de enfermedades del corazón	751	702	1453
Enfermedades del hígado	672	506	1178
Otras causas de traumatismos	744	319	1063

Cuadro 32
Causas de mortalidad
Fuente: Minsa

Aspectos educativos

Se identificaron todos los centros educativos (colegios, institutos y universidades) en el área de influencia directa, y se les clasificó por la gestión (pública, privada o religiosa) y el distrito en el que se encuentra. De la misma manera que en los aspectos de la salud, estos son puntos de reunión y definirá la demanda de ciertas estaciones. Ver Cuadro N°33 y N°34.

Distrito	Colegio	Gestión
Cercado de Lima	Colegio Ramon Castilla	Privado
Cercado de Lima	Colegio Andrés Avelino Cáceres	Privado
Rímac	Colegio Niño Jesús	Religioso
Cercado de Lima	Colegio San Martin de Porres	Público
Rímac	Colegio Mercedes Cabello de Carbonera	Público
San Martin	Colegio Charles Buhler	Privado
Cercado de Lima	Colegio Reino de los Cielos	Privado
San Martin	IEP Nuestra señora del Carmen de Palao	Privado
San Martin	Colegio Santo Tomas de Aquino	Privado
San Martin	Colegio CVIngenieros	Privado
San Martin	Colegio Dominicos SMP	Privado
Independencia	Colegio El Aposento Alto	Religioso
Independencia	Colegio Franklin Roosevelt	Privado
San Martin	Colegio Henry Wallon	Privado
San Martin	Colegio 2061 San Martin de Porres	Público
Independencia	Colegio Jesús el buen Pastor	Privado
Independencia	Colegio República de Colombia	Privado

Cuadro 33
Colegios en la zona de influencia
Fuente: Google Maps

Distritos	Instituto Superior	Gestión
Comas	Cetpro Cesca	Privado
	Cetpro Cicex	Privado
	Cetpro Sise	Privado
	IEST Santa Luzmila	Privado
Los Olivos	Manuel Arevalo Cáceres	Público
	Cetpro Bella Imagen	Privado
	Cetpro Capex	Privado
	Cetpro Cesca	Privado
	Cetpro Citep	Privado
Independencia	Cetpro Eiger	Privado

	Cetpro Le grand Gourmet	Privado
	IEST Alexander Graham Bell	Privado
	Cetpro Ysabella	Privado
	IEST de emprendedores	Privado
Rímac	Cetpro Nuestra Señora de los ángeles	Privado
	IEST 6 de diciembre	Privado
	IESP Luisa de Humay	Privado
	Cetpro Santo Domingo Savio	Privado
San Martin	Cetpro Aida Bell	Privado
	Cetpro Nuevo Millenium	Privado
	IESP Euroamericano	Privado
	IERP Mariana Frostig	Privado
	IEST Beta Computer	Privado

Cuadro 34
Institutos en la zona de influencia
Fuente: Google Maps

Asimismo, se encuentran en la zona de estudio 6 universidades: Universidad Nacional de Ingeniería, Universidad Católica Sede Sapientae, Universidad Cayetano Heredia, Universidad Privada del Norte, Universidad Cesar Vallejo y Universidad de Ciencias y Humanidades.

Analfabetismo

Considerando solo a la población mayor a 3 años, se obtuvo un total de 113782 personas con analfabetismo es decir una persona que no sabe leer ni escribir, los cuales representan el 5.7% de la población en estudio. Este valor está por debajo del analfabetismo en el Perú (6%). Ver Cuadro N°35.

Distritos	Total Población	Población Analfabeta			
		Hombres	Mujeres	Hombres %	Mujeres %
Comas	520450	14980	18560	2.88%	3.57%
Independencia	211360	6358	8309	3.01%	3.93%
Los Olivos	325884	8172	9596	2.51%	2.94%
Rímac	174785	4816	5694	2.76%	3.26%
San Martin	654083	17356	20031	2.65%	3.06%
Total	1886562	51682	62190	2.74%	3.30%

Cuadro 35
Analfabetismo
Fuente: Censo 2017

El porcentaje más alto se encuentra en el distrito de Independencia con 6.9% del total, siendo las mujeres en mayor número. Mientras que el valor más bajo es en el distrito de Los Olivos (5.5%).

Esta información ayuda en la implementación de programas sociales y accesibilidad que se considerará en la fase de operación del sistema de transporte masivo.

Nivel Educativo Alcanzado

La gran mayoría de personas ha alcanzado el nivel de educación secundario los cuales equivalen al 37% de la población en la zona de influencia. Mientras que el menor número de personas tienen estudios de posgrado (1%). Ver Cuadro N°36 y figura N°25.

Distritos	Nivel Educativo Alcanzado					
	Sin nivel	Inicial	Primaria	Secundaria	Superior	Maestría
Comas	14238	23097	91284	205261	152987	4163
Independencia	6596	9797	39790	85943	56928	1418
Los Olivos	7471	13866	47389	107649	127494	5462
Rímac	4095	7423	28501	69148	54608	1750
San Martín	15272	29008	101078	236195	230310	7367
Total	47672	83191	308042	704196	622327	20160

Cuadro 36
Nivel Educativo Alcanzado
Fuente: Censo 2017

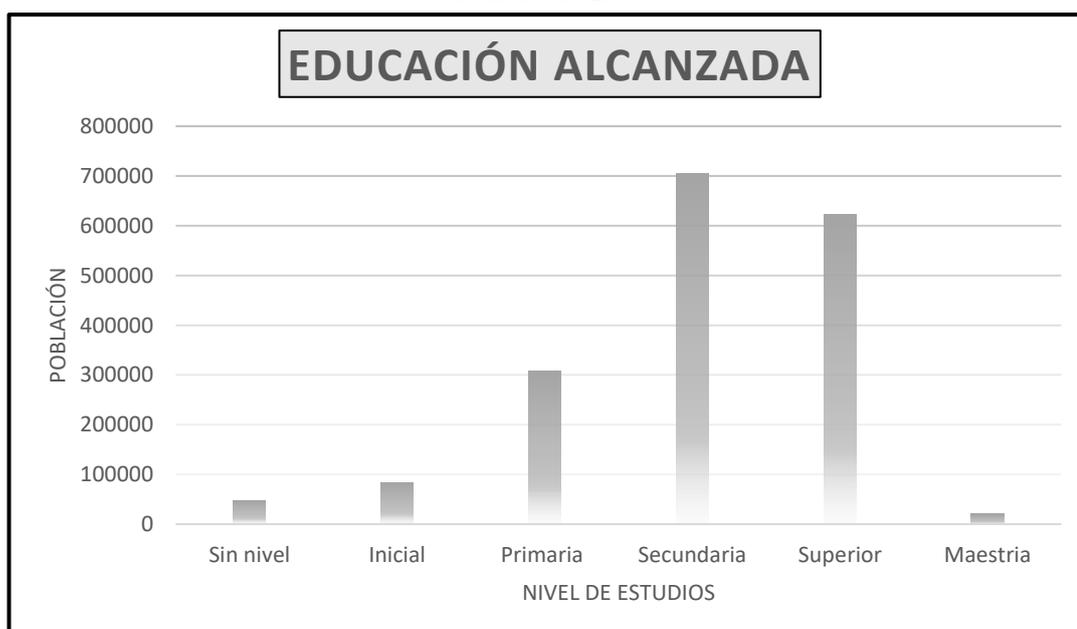


Figura 25
Educación alcanzada
Fuente: INEI ²³

Aspecto residencial

Existen en total 509929 viviendas de las cuales 488925 están ocupadas, estos son el 96%. El distrito con mayor número de viviendas es San Martín de Porres con 35% del área de estudio. Asimismo, estos números complementan la población y demanda que pueda existir en cada distrito. Ver Cuadro N°37

Distritos	Número de viviendas		
	Totales	Ocupadas	No ocupadas
Comas	133773	127272	6501
Independencia	53581	51939	1642
Los Olivos	90106	88222	1884
Rímac	53369	49568	3801
San Martín	179100	171924	7176
Total	509929	488925	21004

Cuadro 37
Número de viviendas
Fuente: Censo 2017

Población Económicamente Activa

La PEA en la zona de influencia es de 938745 personas, el distrito que mayor presenta mayor porcentaje es Los Olivos y el de menor porcentaje es Independencia. Asimismo, del total de la PEA, están ocupados el 94.7% presentándose el mayor en el distrito San Martín de Porres con 94.8%. Estas personas son las más propensas a realizar un viaje en El Metropolitano o en la ruta. Ver Cuadro N°38.

Distritos	Población Económicamente Activa			Población Económic. No Activa
	Total	Ocupados	Desocupados	
Comas	251662	238588	13074	157473
Independencia	102731	97032	5699	64528
Los Olivos	167757	158985	8772	95731
Rímac	87704	83091	4613	53301
San Martín	328891	311960	16931	193789

Cuadro 38
Población Económicamente Activa
Fuente: Censo 2017

Si dividimos a la PEA por actividad económica se tiene que la actividad económica más recurrente es el comercio (22.34%) sobre todo en el distrito de San Martín de Porres. En segundo lugar, se encuentra la industria con un 10.62% liderando

también San Martín de Porres. El distrito con la población menos desocupada es Rímac con tan solo un 0.49%. Ver Cuadro N°39.

Distritos	Actividad Económica					
	Industria	Constr.	Comercio	Transporte	Otros	Desocu.
Comas	28724	18638	58625	27096	105505	13074
Independencia	11664	7694	15165	10741	51768	5699
Los Olivos	16610	9945	38385	13876	80169	8772
Rímac	9234	4891	21642	7309	40015	4613
San Martín	33428	20593	75874	32278	149787	16931

Cuadro 39
PEA por actividad económica
Fuente: Censo 2017

Grandes centros económicos

A lo largo de la avenida Túpac Amaru y la avenida Caquetá se han identificado grandes centros económicos es decir zonas de gran aglomeración de personas debido a supermercados, mercados, zonas financieras o terminales. Es sumamente importante conocer estos centros ya que impactan en la cantidad de usuarios que pueden usar el tipo de transporte a plantear. Ver Cuadro N°40.

Distritos	Centros Económicos
Rímac	Mercado Caquetá
Rímac	Galerías Unicachi
San Martín	Metro UNI
Independencia	Plaza Lima Norte
Independencia	Terminal Terrestre Fiori
Independencia	C. C. Mega Plaza

Cuadro 40
Centros Económicos
Fuente: Google Earth¹⁷

4.1.4. Identificación de grupos de interés

Se han identificado los siguientes grupos de interés:

Grupo de gestores del proyecto:

- ❖ Ministerio de Transporte y Comunicaciones: Como máximo ente encargado de desarrollar, planificar y fiscalizar el transporte y las comunicaciones en el Perú.

- ❖ Autoridad del Transporte Urbano: Como planificador de la movilidad urbana en las provincias de Lima y Callao considerando un transporte intermodal de transporte motorizado y no motorizado.
- ❖ Instituto Metropolitano Protransporte de Lima: Como planificador de los COSAC. La ruta del nuevo proyecto está directamente sobre la existente COSAC I. Pasó a pertenecer a la ATU desde el día 15 de setiembre del 2020.
- ❖ Instituto Metropolitano de Planificación: Encargado de desarrollar la planificación urbana de Lima Metropolitana y sus distritos.
- ❖ Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte: Como encargados de desarrollar la red de metro de Lima y Callao. Pasó a pertenecer a la ATU desde el día 14 de julio del 2020.

Grupos de entidades del estado:

Los territorios por donde recorre El Metropolitano además de los distritos aledaños a este:

- ❖ Municipalidad de Comas
- ❖ Municipalidad de San Martín de Porres
- ❖ Municipalidad de Rímac
- ❖ Municipalidad de Independencia
- ❖ Municipalidad de Los Olivos

Grupos de posibles interesados en participar:

- ❖ Empresas Consultoras
- ❖ Empresas Constructoras
- ❖ Bancos y aseguradoras
- ❖ Operadores de transporte
- ❖ Proveedoras de insumos para el proyecto

Grupo de beneficiarios:

- ❖ Población beneficiada
- ❖ Usuarios del actual COSAC
- ❖ Asociaciones Empresariales

4.2. Definición del problema y sus causas

4.2.1. Definición del problema central

De acuerdo con lo mencionado previamente se tiene que el problema central es:

Baja calidad de servicio en el COSAC I

4.2.2. Causa del problema central

Las causas del problema central identificadas son:

Altos tiempos de viaje

Como se vio previamente en el diagnóstico y en el estado del arte, el tiempo de espera de buses en las estaciones es muy altos en comparación a otros sistemas de transporte masivo. Asimismo, el tiempo en el bus desde Izaguirre hasta Naranjal es bastante alto debido a la mala organización en el terminal. En el resto de los tramos el tiempo es regular o bastante bajo.

Tiempo de vida y uso de combustible fósil de los buses

Absolutamente todos los buses articulados de El Metropolitano utilizan gas natural vehicular. Además del gran número de buses que se tiene para poder compensar la gran cantidad de usuarios, estos buses ya tienen una antigüedad considerable por lo tanto emiten más gases de efecto invernadero.

Altos costos de operación

Al tener buses y utilizar un combustible que está experimentando un alza de precio a lo largo de los años, los costos de operación del BRT aumentan a lo largo de los años. Además de que se van comprando más buses ya que los existentes no cubren la demanda.

Baja capacidad de buses articulados

Los buses del BRT tienen una capacidad baja a comparación de otros sistemas de transporte masivo, esto hace que muchas personas tengan la necesidad de esperar al siguiente bus. Cabe destacar que debido a la emergencia sanitaria, los operadores han restringido la cantidad de pasajeros que entran en un bus por lo cual el problema de viajar en bus lleno no será considerado.

4.2.3. Efectos del problema central

Malestar de los usuarios

Según las encuestas de Lima Como Vamos en movilidad, El Metropolitano ha ido disminuyendo su aceptación. Esto como consecuencia de lo mencionado previamente. Esto se puede comprobar en cualquier momento del día.

Contaminación ambiental

El uso del combustible fósil genera gran cantidad de contaminantes del aire, aumentando de esta manera las cifras de enfermedades por la polución.

Colapso del sistema

Los grandes tiempos de espera en estaciones conlleva la formación de grandes filas para el abordaje de los pasajeros al bus. Estas filas generan desorden y caos, generando aún más problemas como discusiones entre pasajeros, robos, pérdida de niños entre otros.

Reducción de la productividad de la población

Según un estudio realizado por el Banco Central de Reserva del Perú en marzo del 2011, el valor del tiempo es de 6.5 soles por hora en promedio. Los usuarios no producen en el tiempo que pasan en las estaciones y en el bus.

4.3. Objetivos del proyecto de inversión

Después de haber analizado los problemas del COSAC I se puede plantear el objetivo central del proyecto.

4.3.1. Definición del objetivo central

Evaluar las alternativas de transporte masivo para mejorar el servicio en la vía BRT en el tramo Caquetá - Naranjal de El Metropolitano.

Esto se conseguiría planteando otro tipo de transporte con las siguientes características:

- ❖ Alta velocidad comercial.
- ❖ Bajo tiempo de espera en estaciones.
- ❖ Baja contaminación ambiental.
- ❖ Alta confiabilidad en los horarios y paraderos.

- ❖ Alta capacidad de transporte

4.3.2. Objetivos contractuales

Con el fin de implementar las condiciones sugeridas líneas arriba, el contrato celebrado en abril del 2008 entre los concesionarios y el Instituto Metropolitano Protransporte de Lima menciona en el segundo ítem de la cláusula número veintitrés (p.55) lo siguiente:

La Municipalidad y el Concedente buscan crear un mejor y más eficiente Sistema de Transporte de Pasajeros en Lima. Por ello, en el futuro se persigue la integración de los próximos corredores y otros sistemas, de forma que los usuarios puedan gozar de corredores y sistemas plenamente interconectados e integrados, aunque pertenezcan a distintos operadores.

En tal sentido, el Concedente podrá aplicar a la Concesión y al Concesionario, las reglas y normas que se expidan con la finalidad de hacer factible tal interconexión e integración.

El Concedente procurará no afectar el equilibrio económico financiero del Contrato, sin perjuicio de lo cual, en caso el Concesionario esté en desacuerdo, tendrá derecho a resolver el Contrato. La Resolución tendrá los efectos previstos para la caducidad por causas no imputables a las Partes.

De acuerdo con la cláusula, se abre la posibilidad de realizar un cambio de tipo de transporte masivo a uno que genere al menos los mismos beneficios económicos y mejore la integridad e interconexión del Sistema de Transporte de Pasajeros de Lima.

4.3.3. Medios del objetivo central

Medios de transporte adecuados

Se deben usar como medio aquel que tenga una alta capacidad a su vez de contar con una velocidad comercial comparable a sistemas de transporte de otros países. Asimismo, el tiempo de vida de este medio debe ser elevado para que no sea necesario la adquisición de más unidades en la operación. Por último, la contaminación ambiental producida debe estar por debajo del parque automotor existente.

Mejor organización empresarial

Se debe tener una sola operadora de tal manera que se tenga una mejor organización y programación.

4.3.4. Fines del objetivo central

Bajo tiempo de viaje y espera

El tiempo de viaje entre estaciones debe ser menor al que se tiene actualmente en el COSAC I. Además, debido a que el mayor tiempo perdido para los usuarios se da en las estaciones, se deberá tener un medio de transporte que reduzca este aspecto.

Bajo costo de operación

Los costos de operación y mantenimiento deberán ser menores que los producidos por buses articulados.

Bajo nivel de contaminación ambiental

No deberá usarse combustible fósil para dar energía a los motores del nuevo sistema de transporte masivo.

Reducido espacio ocupado

Se tendrá una reducción del espacio ocupado en la vía pública, dando de esta manera mayor espacio para el tránsito de automóviles, ciclistas o peatones.

Aumento de la productividad de la población

La población deberá perder menos tiempo en el transporte a sus centros de trabajo o estudios. Esto aumentará el tiempo que tienen para realizar actividades productivas.

4.4. Alternativas de solución

A partir del diagnóstico de la situación actual del BRT de Lima y considerando la cláusula 23 del contrato del COSAC así como el objetivo central, sus medios y fines se pueden plantear soluciones:

- ❖ Aumento de la capacidad de transporte por viaje y reducción de tiempos de espera.

- ❖ Un sistema de transporte masivo de vanguardia según lo visto en el estado del arte. Mejorando el aspecto visual, estético, ambiental, social y económico.

Se seguirá la ruta actual de El Metropolitano ya que se ha comprobado mediante la demanda actual que esta tiene un buen trazo y ubicación de estaciones. La ruta alimentadora norte se mantendrá como ahora ya que se ha visto un buen funcionamiento para la demanda actual.

4.4.1. Análisis de los medios fundamentales

Los medios fundamentales para el planteamiento de alternativas son los siguientes:

- ❖ Priorización del transporte masivo
- ❖ Alta confiabilidad
- ❖ Baja contaminación ambiental
- ❖ Aumento de productividad de la población
- ❖ Medios de transporte de tiempo de vida mayor

4.4.2. Alternativas a ser evaluadas

Previo a plantear las posibles soluciones, es importante recalcar que de acuerdo a los problemas actuales descritos en el subcapítulo 4.1 con la demanda actual y la creciente población en los distritos dentro del área de influencia directa de El Metropolitano; queda descartada la posibilidad de considerar la mejora del BRT actual como alternativa de solución, tan solo se realizará el estudio de una proyección de la situación actual.

El tipo de transporte masivo que cumple estos es el basado en ferrocarriles, sin embargo, existen diversas configuraciones para este. En la ciudad de Lima se adecuan principalmente dos: el tren ligero y un metro subterráneo.

Alternativa 1:

Implementación de tren pesado subterráneo.

Descripción de la aplicación. Doble vía de rieles con una longitud de 6.21 km desde Av. Caquetá (Mercado de frutas Caquetá)- Av. Túpac Amaru (hasta cruce con Av. Chinchaysuyo)

Estaciones : 5 Estaciones, 1 terminal, 1 patio taller.

Alternativa 2:

Implementación de un tren ligero con las siguientes características:

Descripción de la aplicación. Eje troncal: Doble vía en rieles con una longitud de 6.38 km. desde Av. Caquetá (Mercado de frutas Caquetá)- Av. Túpac Amaru (hasta cruce con Av. Chinchaysuyo)

Estaciones: 10 estaciones, 1 terminal 1 Patio Taller

Alternativa 3:

No implementar ningún tipo de transporte nuevo. Continuar la operación de El Metropolitano como un sistema de buses articulados segregado tal como se viene realizando ahora con las estaciones descritas líneas arriba.

CAPITULO V: FORMULACIÓN DEL PROYECTO

5.1. Análisis de la oferta

La oferta se puede entender de dos maneras, por un lado, el número de vehículos disponibles para transportar pasajeros y por otro la infraestructura y espacios que se tienen para la implementación del medio de transporte.

5.1.1. Oferta de transporte público

El BRT de Lima presenta diversas rutas de recorrido las cuales se diferencian por sus itinerarios, paradas en estaciones y número de buses asignados a cada línea; por otro lado, tienen en común la capacidad de pasajeros y la vía por la que viajan. Existen en total 15 rutas siendo 4 de ellas regulares, 9 expresos y 2 súper expresos.

- Regular A: Naranjal, Izaguirre, Pacífico, Independencia, Los Jazmines, Tomas Valle, El Milagro, Honorio Delgado, UNI, Parque del Trabajo, Caquetá, Ramón Castilla, Tacna, Jirón de la Unión, Colmena, Estación Central.
- Regular B: Naranjal, Izaguirre, Pacífico, Independencia, Los Jazmines, Tomas Valle, El Milagro, Honorio Delgado, UNI, Parque del Trabajo, Caquetá, Dos de Mayo, Quilca, España, Estación Central, Estadio Nacional, México, Canadá, Javier Prado, Canaval Moreyra, Aramburú, Domingo Orué, Angamos, Ricardo Palma, Benavides, 28 de julio, Plaza de Flores, Balta, Bulevar, Estadio Unión, Escuela militar, Terán, Rosario de Villa, Matellini.
- Regular C: Ramón Castilla, Tacna, Jirón de la Unión, Colmena, Estación Central, Estadio Nacional, México, Canadá, Javier Prado, Canaval Moreyra, Armaburí, Domingo Orué, Angamos, Ricardo Palma, Benavides, 28 de julio, Plaza de Flores, Balta, Bulevar, Estadio Unión, Escuela militar, Terán, Rosario de Villa, Matellini.
- Regular D: Naranjal, Izaguirre, Pacífico, Independencia, Los Jazmines, Tomas Valle, El Milagro, Honorio Delgado, UNI, Parque del Trabajo, Caquetá, Dos de Mayo, Quilca, España, Estación Central.
- Expreso 1: Estación Central, Estadio Nacional, Javier Prado, Canaval Moreyra, Angamos, 28 de julio, Plaza de flores, Balta, Bulevar, Estadio Unión, Escuela militar, Terán, Rosario de Villa, Matellini.

- Expreso 2: Naranjal, Canadá, Javier Prado, Ricardo Palma, 28 de julio.
- Expreso 3: Naranjal, Angamos, Benavides, 28 de Julio.
- Expreso 4: Naranjal, Izaguirre, Tomas Valle, UNI, Caquetá, Dos de mayo, España, Javier Prado, Canaval Moreyra, Angamos, Plaza de flores.
- Expreso 5: Naranjal, Independencia, Tomas Valle, Uni, España, Canadá, Javier Prado, Canaval Moreyra, Angamos, Ricardo Palma, Plaza de flores.
- Expreso 6: Izaguirre, Independencia, Estación central, Javier Prado, Canaval Moreyra, Angamos, Benavides.
- Expreso 7: Tomas Valle, Estación Central, Javier Prado, Canaval Moreyra, Angamos.
- Expreso 8: Izaguirre, Independencia, Tomás Valle, UNI, Caquetá, España, Estación Central, Javier Prado, Canaval Moreyra, Angamos, Benavides, Plaza de Flores.
- Expreso 9: UNI, Caquetá, Canadá, Canaval Moreyra, Angamos, Benavides.
- Súper Expreso Norte: Naranjal, Dos de Mayo, Quilca, España, Estación Central.
- Súper Expreso: Naranjal, Canaval Moreyra, Aramburú, Ricardo Palma.

Con el objetivo de obtener la cantidad de vehículos disponibles para realizar transporte público es necesario realizar un conteo de unidades. Se procede a elegir 2 puntos de conteo a lo largo de la ruta en el tramo Naranjal-Caquetá, los cuales son Estación UNI y Estación Independencia.

Se separó el día en 4 etapas, hora punta de la mañana (HPM), hora valle (HV), hora punta de la tarde (HPT) y hora valle noche (HVN). Se realizó el conteo durante 1 hora en la HPM, 2 horas en la HV, 1 hora en la HPT y 2 horas en la HVN. Todos los conteos se hicieron en 3 días de la semana: martes, miércoles y jueves.

Finalmente se discriminó los buses de El Metropolitano del transporte público externo debido a que los primeros tienen una frecuencia mejor establecida por lo tanto se podría realizar una óptima proyección de esta. Del conteo de buses articulados en la estación UNI se obtuvo extrapolando en promedio según el cuadro N°41:

	Líneas/Hora	Horas	Reg A	Reg B	Exp 2	Reg D	Exp 3	S. E.
HPM	7:00 a 9:00	2	65	0	97	51	81	56
HV	9:00 a 18:00	9	282	321	0	0	0	0
HPT	18:00 a 20:00	2	59	61	43	0	35	37
HV	20:00 a 23:00	3	94	107	0	0	0	0

	Líneas/Hora	Exp 7	S.E.N.	Exp. 6	Exp 9	Exp 5	Exp 8	Total
HPM	7:00 a 9:00	62	112	36	31	0	0	591
HV	9:00 a 18:00	0	0	0	0	398	0	1001
HPT	18:00 a 20:00	0	43	0	0	0	169	448
HV	20:00 a 23:00	0	0	0	0	133	0	334

Cuadro 41
Conteo de buses El Metropolitano-Estación UNI
Fuente: Elaboración propia

Del conteo de buses de El Metropolitano en la estación Independencia se obtuvo en promedio según el cuadro N°42:

	Líneas	Horas	Regular A	Reg B	Exp 2	Reg D	Exp 3	S.E.
HPM	7:00 a 9:00	2	74	0	89	35	68	52
HV	9:00 a 18:00	9	222	205	0	0	0	0
HPT	18:00 a 20:00	2	54	74	23	0	18	42
HV	20:00 a 23:00	3	74	68	0	0	0	0
	Líneas	Exp. 7	S.E.N.	Exp 6	Exp 9	Exp 5	Exp 8	Total
HPM	7:00 a 9:00	56	110	36	39	0	0	560
HV	9:00 a 18:00	0	0	0	0	418	0	844
HPT	18:00 a 20:00	0	42	0	0	0	177	430
HV	20:00 a 23:00	0	0	0	0	139	0	281

Cuadro 42
Conteo de buses-Estación Independencia
Fuente: Elaboración propia

Con esta información es posible conocer la oferta existente, es decir el número de pasajeros que puede transportar El Metropolitano durante un día típico. Para obtener este número se tomará como capacidad de cada bus en 120 pasajeros entre sentados y parados. Se obtiene el siguiente cuadro:

	Horas	Total de buses	Capacidad por bus (pax/bus)	Capacidad total (pax)
HPM	7:00 a 9:00	576	120	69,120
HV	9:00 a 18:00	923	120	110,760
HPT	18:00 a 20:00	439	120	52,680
HV	20:00 a 23:00	309	120	37,080

Cuadro 43
Capacidad del BRT Lima
Fuente: Elaboración propia

Se obtiene que la capacidad actual del COSAC es de 269,640 pasajeros por día en el tramo en estudio. Este valor se contrastará con la demanda actual de usuarios y de esta manera conocer si hay déficit o superávit de buses biarticulados.

Este valor es consistente con la actual medida de las operadoras de transporte ya que se está disminuyendo la cantidad máxima de pasajeros por bus por el coronavirus.

5.1.2. Oferta de red vial

Toda la longitud estudiada de El Metropolitano se encuentra en la avenida Caquetá y en la Tupac Amaru, las cuales se pueden separar en 9 tramos según la sección transversal de la vía, esto es de suma importancia debido a que se necesita conocer el espacio donde se realizará el planteamiento de las alternativas. Se presentan los 9 cortes viales en las figuras N°26 hasta N°34.

Las medidas de emergencia sanitaria no afectan en absoluto a la oferta de red vial ya que la infraestructura se mantiene exactamente igual al que había antes del inicio de la pandemia.

a) Sección transversal en la Av. Caquetá cruce con Abascal

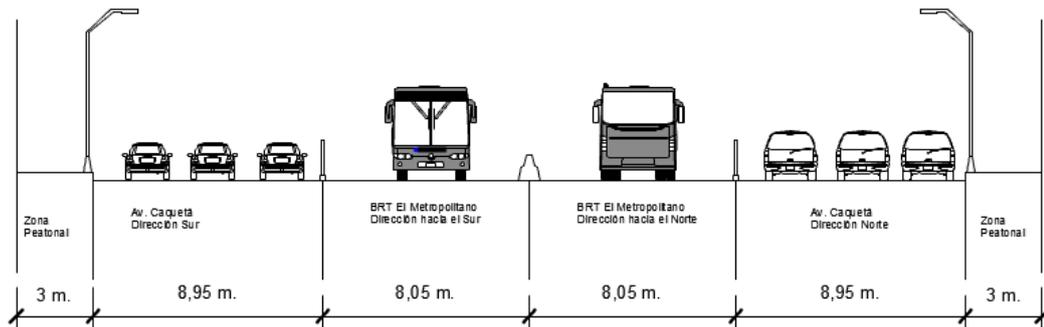


Figura 26
Sección transversal Caquetá-Abascal
Fuente: Google Earth¹⁷

b) Sección transversal en la Av. Túpac Amaru con John Dunnet

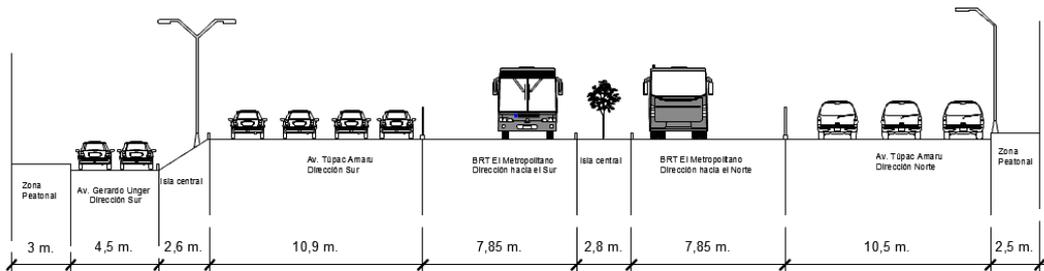


Figura 27
Sección transversal Tupac Amaru-John Dunnet
Fuente: Google Earth¹⁷

c) Sección transversal en la Av. Túpac Amaru con Ramon Castilla

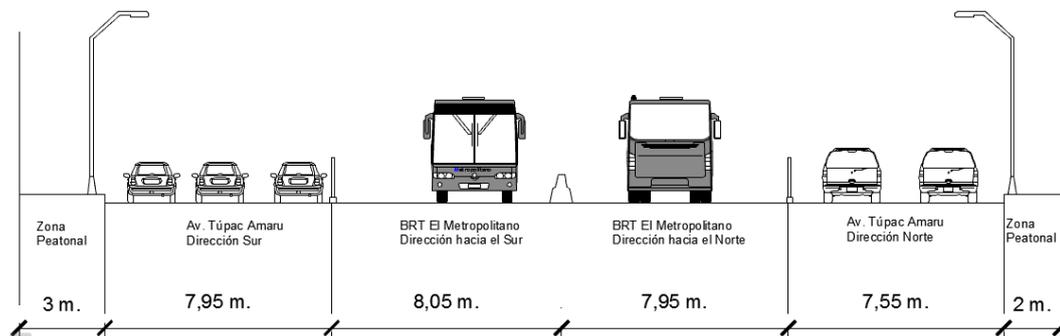


Figura 28
 Sección transversal Tupac Amaru-Ramon Castilla
 Fuente: Google Earth¹⁷

d) Sección transversal en la Av. Túpac Amaru ramal de Gerardo Unger

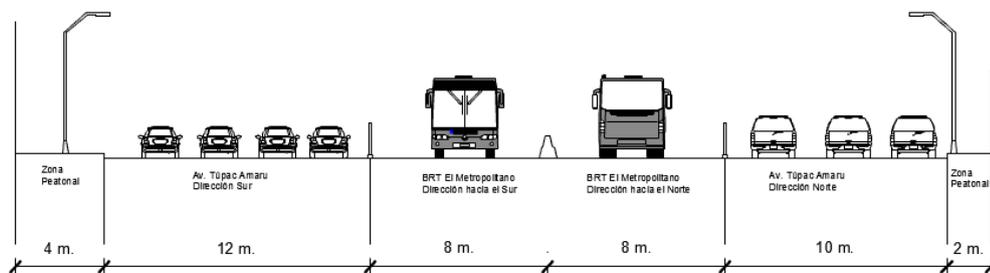


Figura 29
 Sección transversal Tupac Amaru-Gerardo Unger
 Fuente: Google Earth¹⁷

e) Sección transversal en la Av. Túpac Amaru, altura Huaca Aliaga

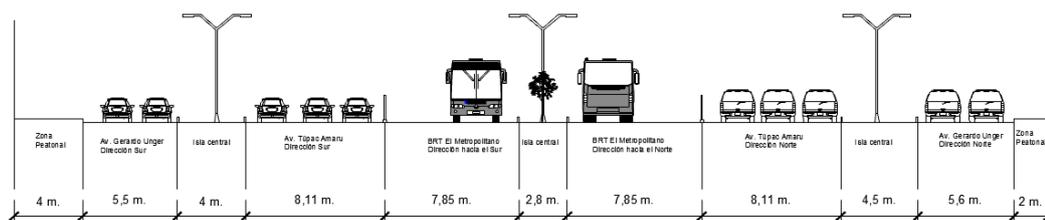


Figura 30
 Sección transversal Tupac Amaru-Huaca Aliaga
 Fuente: Google Earth¹⁷

f) Sección transversal en la Av. Túpac Amaru con Miguel Ángel

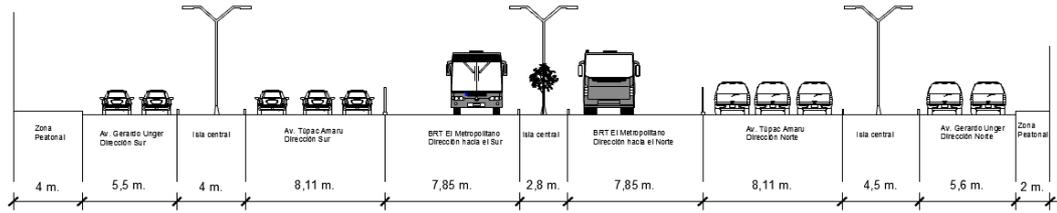


Figura 31
 Sección transversal Tupac Amaru-Miguel Ángel
 Fuente: Google Earth¹⁷

g) Sección transversal en la Av. Túpac Amaru, altura Plaza Lima Norte

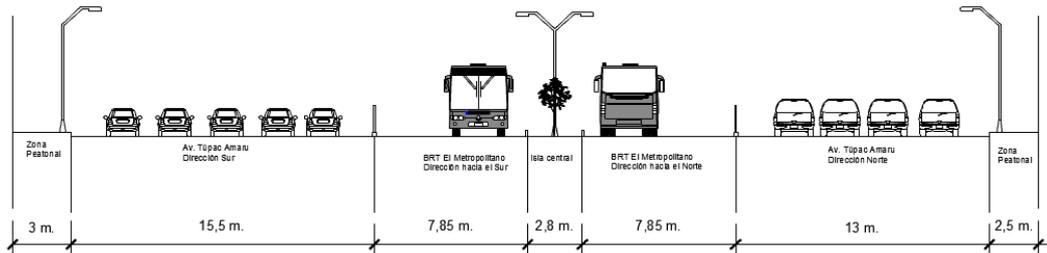


Figura 32
 Sección transversal Tupac Amaru-Miguel Ángel
 Fuente: Google Earth¹⁷

h) Sección transversal en la Av. Túpac Amaru, altura estación Independencia

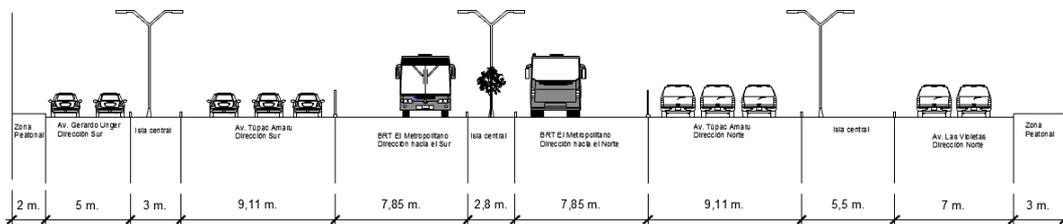


Figura 33
 Sección transversal Tupac Amaru-Esta. Independencia
 Fuente: Google Earth¹⁷

i) Sección transversal en la Av. Túpac Amaru con 23 de diciembre

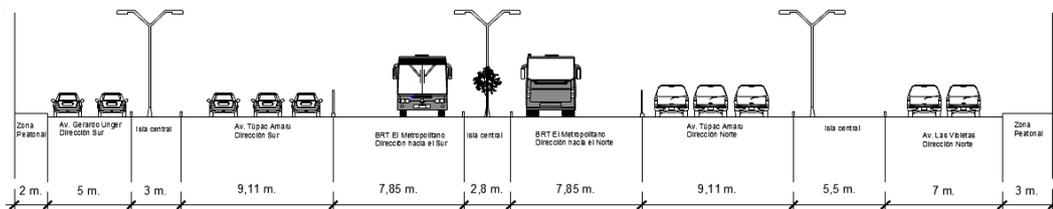


Figura 34
 Sección transversal Tupac Amaru-23 de diciembre
 Fuente: Google Earth¹⁷

5.2. Análisis de la demanda

Una vez conocida la oferta, se pasa a analizar la demanda de pasajeros que hacen uso del BRT. Para conocer este número el Instituto Metropolitano de Transporte (Protransporte), publicó en su página el número de usuarios que hacen validación de tarjeta, es decir ingresan a la estación, cada día desde los inicios de operación en el año 2010 hasta la actualidad. El número obtenido no es la demanda total ya que hay personas que vienen de estaciones previas que no se cuentan las cuales no se contabilizan ya que no es seguro el destino al que se dirigen.

Se conocen diversos modelos de demanda para transporte privado y público basado en buses mientras que, en el caso de las ferrovías, o depende de muchos factores que esta investigación no abarca o no representan fielmente lo que sucede. Para proyectar la demanda en este caso se va a hacer un estudio estadístico de la demanda de pasajeros en los años de operación (9 años completos).

La demanda no se verá afectada por el Covid-19 ya que el número de usuarios y la cantidad de habitantes en la zona de estudio continua en aumento según las proyecciones que se realizarán a continuación.

5.2.1. Calibración del modelo de demanda

Como se mencionó líneas arriba, la demanda se proyectará en base a una matriz origen-destino presentados en un estudio de recolección de datos: "Encuesta de Recolección de Información Básica del Transporte Urbano en el Área Metropolitana de Lima y Callao" ¹ realizado por la agencia japonesa JICA en la cual solo se está considerando los viajes dentro de la zona de influencia restando un 20%, realizado por combis llevado al año 2020. Teniendo la cantidad de usuarios que ingresan a El Metropolitano se proyectará para años posteriores.

Se presenta a continuación el número de usuarios por estación desde el 2011 hasta el 2019 como se muestra en el cuadro y figuras siguientes:

Estación/Año	Usuarios por año (millones pax)								
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Naranjal	13.37	17.36	22.98	26.42	26.77	30.47	33.57	34.32	34.89
Izaguirre	2.91	3.23	3.47	3.90	4.17	4.42	3.94	3.92	4.89

Pacífico	0.54	0.56	0.58	0.65	0.61	0.68	0.67	0.62	0.60
Independencia	1.12	1.33	1.39	1.52	1.56	1.71	1.79	1.83	1.88
Los Jazmines	0.55	0.65	0.63	0.67	0.66	0.71	0.67	0.59	0.57
Tomas Valle	2.14	2.85	3.68	4.26	4.59	5.11	5.40	5.63	6.71
El Milagro	0.65	0.79	0.85	0.91	0.90	0.94	0.90	0.86	0.87
Honorio Delgado	0.82	1.10	1.07	1.14	1.11	1.13	1.08	0.94	0.91
UNI	2.30	2.83	3.16	3.50	3.70	3.79	3.49	3.63	5.82
Parque del Trabajo	0.53	0.58	0.57	0.61	0.66	0.69	0.65	0.60	0.63
Caquetá	1.20	1.40	1.41	1.52	1.60	1.72	1.62	1.56	2.65

Cuadro 44
Usuarios de El Metropolitano
Fuente: Protransporte.gob.pe

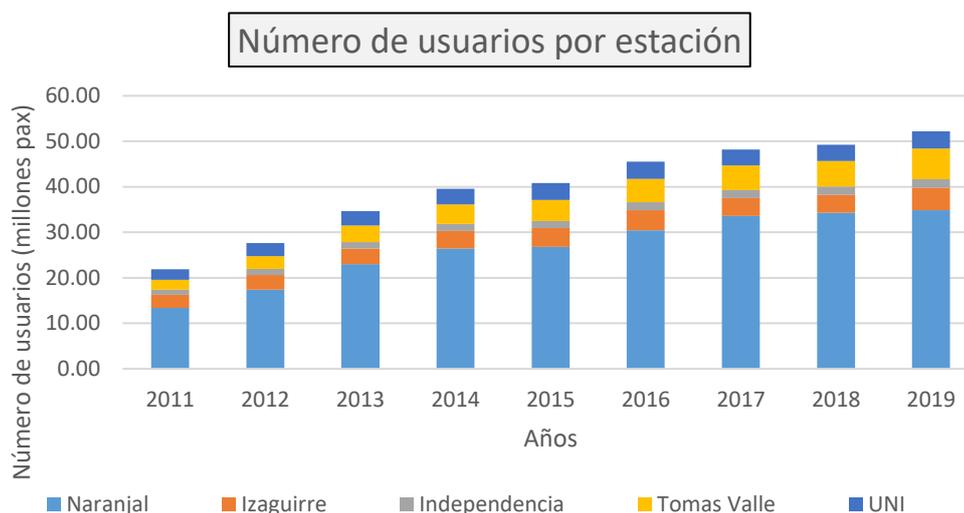


Figura 35
Usuarios por estación
Fuente: Protransporte.gob.pe

Mediante el uso de una fórmula polinómica basada en la cantidad de personas que han ingresado en los últimos 10 años de operación de El Metropolitano y la población del área de influencia en cada uno de esos años se proyectó la cantidad de pasajeros que ingresarían a El Metropolitano en los próximos años y por consiguiente los pasajeros que ingresarán a la estación Naranjal. Con esta fórmula y conociendo el total de pasajeros que viajan se proyecta la demanda para años futuros, se puede observar en el siguiente gráfico:

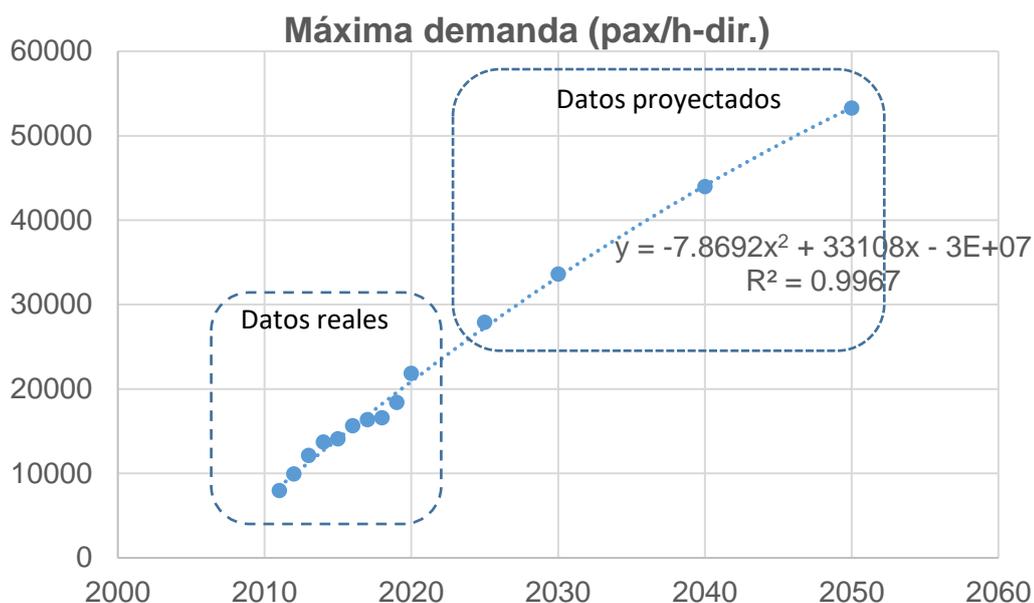


Figura 36
Demanda real y proyectada a lo largo de los años
Fuente: Protransporte.gob.pe

5.2.2. Demanda proyectada para el año 2050

La línea 1 y línea 2 del metro de Lima indican en sus especificaciones técnicas sobre el material rodante que los años de vida útil de un coche deberá ser 35 años como máximo. Por lo tanto, para la presente investigación se tomará, siendo un poco más exigente, 30 años es decir proyección al 2050.

Conociendo el número de personas que ingresan en Naranjal y usando los diagramas de carga se proporciona con el año 2020. De la misma manera utilizando el número de pasajeros mediante la fórmula polinómica se proyectará hasta el 2050.

Como resultado del estudio de demanda se obtiene lo siguiente:

Año	Población total (Área en estudio)	Nº de usuarios que ingresan en Naranjal	Demanda (pax/h)	Demanda (pax/día)
2020	1'970,112	11,353	21,843	436,855
2025	2'109,361	14,509	27,914	558,284
2030	2'248,610	17,462	33,597	671,947
2040	2'527,108	22,858	43,978	879,553
2050	2'805,607	27,688	53,272	1'065,433

Cuadro 45
Usuarios de El Metropolitano proyectados
Fuente: Protransporte.gob.pe e INEI

5.3. Balance oferta-demanda

El tipo de transporte que se propone tiene que cubrir la demanda futura de pasajeros en este tramo, esto se asegura con un número suficientes de formaciones las cuales tienen un número de coches determinado por el modelo de ferrocarril a usar. Además, se necesita tener el espacio suficiente para que funcione y no interrumpa al transporte vehicular y al peatonal. A continuación, se presentan ambas comparaciones, en los tres escenarios: Sin proyecto, con Alternativa 01 (Metro Subterráneo), con Alternativa 02 (Metro Ligero) y Alternativa 03 (Sin proyecto).

5.3.1. Transporte público

a) Con Alternativa 01 (Metro Pesado):

De la misma manera que el metro ligero se calcula las formaciones necesarias para cubrir la demanda proyectada. Ver Cuadro N°46. La diferencia viene en los parámetros a usar para un metro pesado. Estos fueron calculados según el libro “Ferrocarriles Metropolitanos” de Manuel Melis²⁸ y son los siguientes:

Distancia recorrida = 12.42 km

V op. = 38.1 km/h

Capacidad de la formación = 1200 pax

METRO		
Año	Número de formaciones	Frecuencia
2020	6	3.3 min
2025	8	2.6 min
2030	10	2.1 min
2040	12	1.6 min
2050	15	1.4 min

Cuadro 46
Formaciones necesarias para operación de metro pesado
Fuente: Protransporte.gob.pe, INEI y propio

Se aprecia en el cuadro que se necesita menores formaciones para el funcionamiento en base a un metro pesado en comparación del anterior.

b) Con Alternativa 02 (LRT):

Al iniciar el nuevo tipo de transporte, la oferta existente se convierte en cero ya que se reemplazará el BRT en su totalidad, esto quiere decir que el LRT en operación cubrirá toda la demanda proyectada. Será necesario conocer el número de formaciones que se adquirirán para operar el metro ligero, esto depende de la distancia recorrida, coche de diseño, velocidad de operación y demanda. El método de cálculo se extrajo de una trsis de la UNI. ³⁴

Se calculará para el año 2030:

Distancia recorrida = 12.76 km

V operación = 26.2 km/h

Capacidad de la formación = 600 pax

Usuarios proyectados = 33,597 pax/hora

Entonces:

$$\text{Intervalo} = \frac{\text{Capacidad}}{\text{Demanda}} = 1.07 \text{ min}$$

$$\# \text{formaciones} = \frac{\text{Distancia recorrida}}{(\text{Velocidad de operación} * \text{Intervalo})} = 28 \text{ formaciones.}$$

De esta manera se calcula para los años siguientes obteniéndose la siguiente tabla:

METRO LIGERO		
Año	Número de formaciones	Frecuencia
2020	18	1.65 min
2025	23	1.29 min
2030	28	1.07 min
2040	36	0.82 min
2050	44	0.68 min

Cuadro 47

Formaciones necesarias para operación de LRT

Fuente: Protransporte.gob.pe e INEI²³

La compra de las formaciones no se realizará como indica este cuadro ya que resulta improductivo realizar compras anuales, se procederá a comprar con anticipación de tal manera de que se tenga más capacidad que demanda. De esta

manera se asegura que no colapse y brinda tiempo para realizar un estudio actualizando la demanda futura. Ver cuadro N°48.

c) Alternativa 03 (Continuar con situación actual):

Al comparar las demandas proyectadas según el modelo presentado con la capacidad que tiene El Metropolitano para transportar personas, se observa un déficit actual de más de 200 mil pasajeros, es decir un 60% de la cantidad de pasajeros actuales.

Año	Usuarios por día	Capacidad de El Metropolitano	Diferencia (Déficit)	Relación
2020	436,855	269,640	-212,155	1.62
2030	671,947	269,640	-447,247	2.49
2040	879,553	269,640	-654,853	3.26
2050	1'065,432	269,640	-840,733	3.95

Cuadro 48
Balance sin proyecto
Fuente: Protransporte.gob.pe e INEI²³

Para años posteriores, se observa como El Metropolitano entraría en un colapso con la flota e infraestructura actual. Por ejemplo, terminando el año 2050, la diferencia entre la oferta y la demanda sería aproximadamente 840 mil usuarios en el tramo estación Caquetá- estación Naranjal.

5.3.2. Infraestructura vial

Otro aspecto importante para tratar es la infraestructura, llámese espacio, estaciones, estado de las vías, puentes, cruces peatonales, semaforización entre otros; con la necesaria para iniciar la operación de los nuevos tipos de transporte. Contrario al caso de la demanda de pasajeros y la oferta que brinda cada uno se realizará el análisis de solo dos escenarios debido a que el caso sin proyecto es la actualidad de El Metropolitano, análisis ya mostrado en la identificación del proyecto.

a) Con Alternativa 01 (Metro pesado)

El metro pesado al ser subterráneo no necesitará de espacio en superficie alguno en operación, solo en la construcción, como es el caso de la línea 2, para lo cual se deberá plantear desvíos y no impactar de gran manera al tráfico actual.

Luego de su construcción, dejaría espacios libres para la realización de otras actividades como ciclismo o la ampliación de la avenida Caquetá y Túpac Amaru, las cuales se encuentran congestionadas en varios puntos. Las condiciones actuales del pavimento no afectan a la operación del metro pesado.

Los puentes peatonales y cruces no vendrían a ser un problema para el metro subterráneo en operaciones, mientras que en la construcción podría generar dificultades.

La semaforización se podría mantener igual a la actual, a pesar de la futura inexistencia del COSAC, aunque sería recomendable realizar el estudio posterior.

b) Con Alternativa 02 (LRT)

Para la operación de un metro ligero se usará menor espacio del que ya utiliza El Metropolitano así que este no sería un inconveniente. La vía actual es de concreto armado, lo cual facilita en la instalación de rieles ya que la plataforma estaría casi completa, faltando solo reforzar algunos puntos identificables por inspección previa, así como la instalación de la superestructura (durmientes, bloquetas de concreto con amortiguadores, ferrovía).

Debido a la existencia de puentes peatonales y de automóviles en la zona centro y sur del COSAC, existe una gran necesidad de colocar la catenaria como un tercer carril ubicado ya sea semienterrado en el centro de los dos primeros carriles o en un extremo; se tiene una experiencia en la ciudad de Cuenca, Ecuador con resultados exitosos. De esta manera se evita la interferencia reduciendo el tiempo de construcción y procesos adicionales para realizar trabajos en los puentes.

Para realizar la semaforización que se realizará para el flujo de tráfico en conjunto con el metro ligero se tendrá que hacer otro estudio teniendo en consideración que el metro ligero no debe detenerse en ningún momento por el tráfico externo, caso contrario sería imposible su operación.

c) Con Alternativa 03 (Continuar con situación actual)

La infraestructura actual del BRT fue mencionada en el capítulo N°4 Identificación del proyecto.

Por otro lado, El Metropolitano no necesitará de infraestructura adicional, tan solo será necesario realizar el mantenimiento de las vías y estaciones periódicamente.

En el caso de la semaforización, se tendría que evaluar todas las intersecciones y programarlas con el fin de que El Metropolitano no se detenga como en el caso de un LRT.

5.4. Planteamiento de alternativas

5.4.1. Estudios básicos de las alternativas

Para el planteamiento preliminar de las 03 alternativas se efectuaron los siguientes estudios básicos:

- a) Geotecnia
- b) Geología
- c) Topografía

Con estos estudios mínimos se puede definir gran parte de los parámetros de diseño a nivel de perfil de ambas alternativas, lo cual se tocará en el siguiente punto.

a) Geotecnia

Una gran fuente de información es el mapa de microzonificación sísmica realizado por el Centro de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (Cismid)⁹ el cual fue presentado el año 2017. En este se puede observar el tipo de suelo por el que recorre el actual BRT. Ver Figura N°35 Del cual se puede observar lo siguiente:

- La ruta entera del tramo norte (Estación Naranjal-Estación Caquetá) recorre un suelo de la zona I, el cual tiene grandes propiedades rodeado de afloramientos rocosos con depósitos de gravas y arenas de alta densidad de compacidad. Asimismo, hay depósitos de arcillas de consistencia rígida hasta muy rígida.
- El tramo central recorre de igual manera el mejor suelo que puede ofrecer Lima.
- El tramo sur se encuentra en gran parte en depósitos de arena de compacidad media hasta suelta. Incluyendo limos y arcillas de consistencia media.

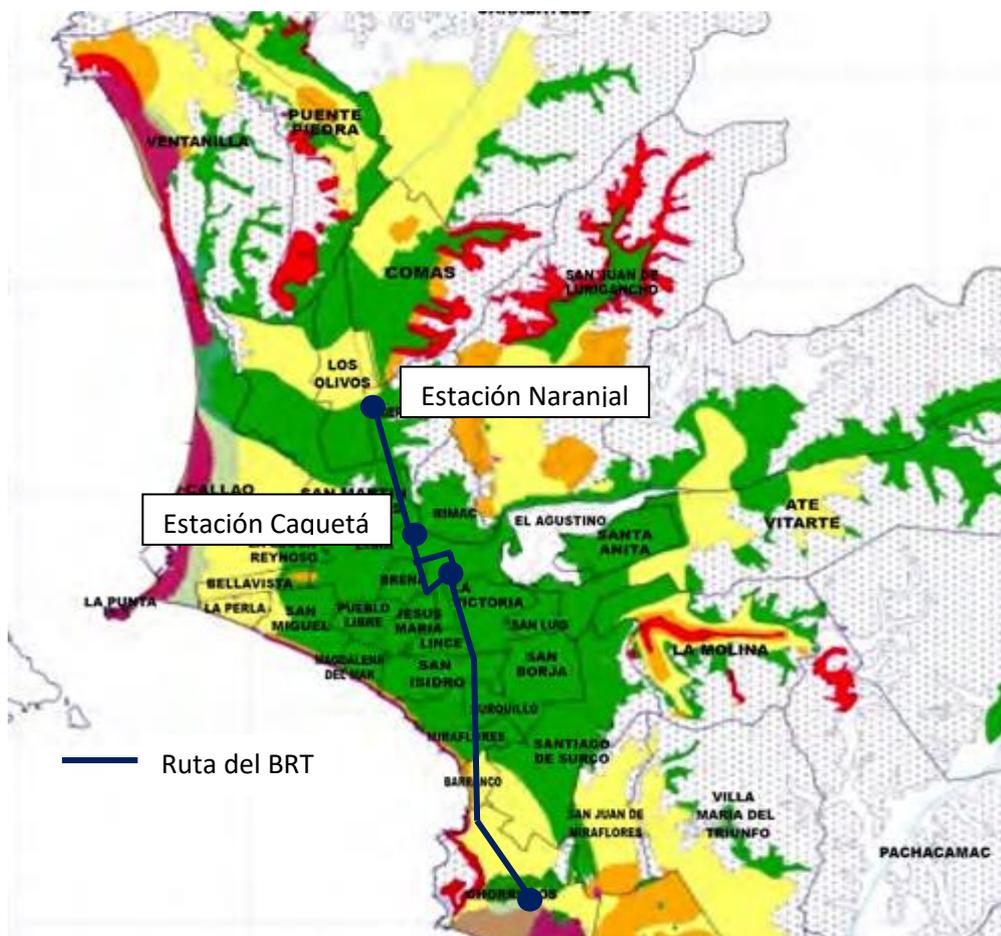


Figura 37
 Mapa de microzonificación sísmica
 Fuente: Cismid

De esta fuente se puede concluir que el suelo tiene muchas posibilidades de soportar las fuerzas aplicadas por el material rodante, carga viva y la superestructura en caso del metro ligero.

En caso del metro pesado, esta información nos permite escoger una profundidad de excavación relativamente pequeña lo cual a su vez permite no solo abaratar costos de construcción sino también disminuir el tiempo necesario para ir de la superficie al andén. Otra gran ventaja de la profundidad es la libertad que se tendrá a futuro para crear más líneas subterráneas que intercepten a esta; ya que si fuera más profundo la primera obligaría a la siguiente a excavar más para su construcción.

Esta información puede ser buena para un estudio a nivel de perfil, pero para un estudio definitivo se necesita de ensayos como:

- Análisis granulométrico por tamizado y humedad.
- Clasificación de suelos y propiedades.
- Perfil estratigráfico.
- Ensayos de CBR.
- Perforaciones diamantinas.
- Calicatas.
- Ensayos indirectos como MAM, MASW y conductividad eléctrica.
- Ensayos dinámicos como columna resonante y triaxial cíclico para determinar los parámetros dinámicos (Módulo de corte y amortiguamiento)

b) Geología

Se considerará el aspecto geológico ya que se tendrá una estructura enterrada, para validar la importancia de la geología en este proyecto se usará el mapa geológico del Perú el cual es brindado por INGEMMET²². Se muestra en la figura N°36:

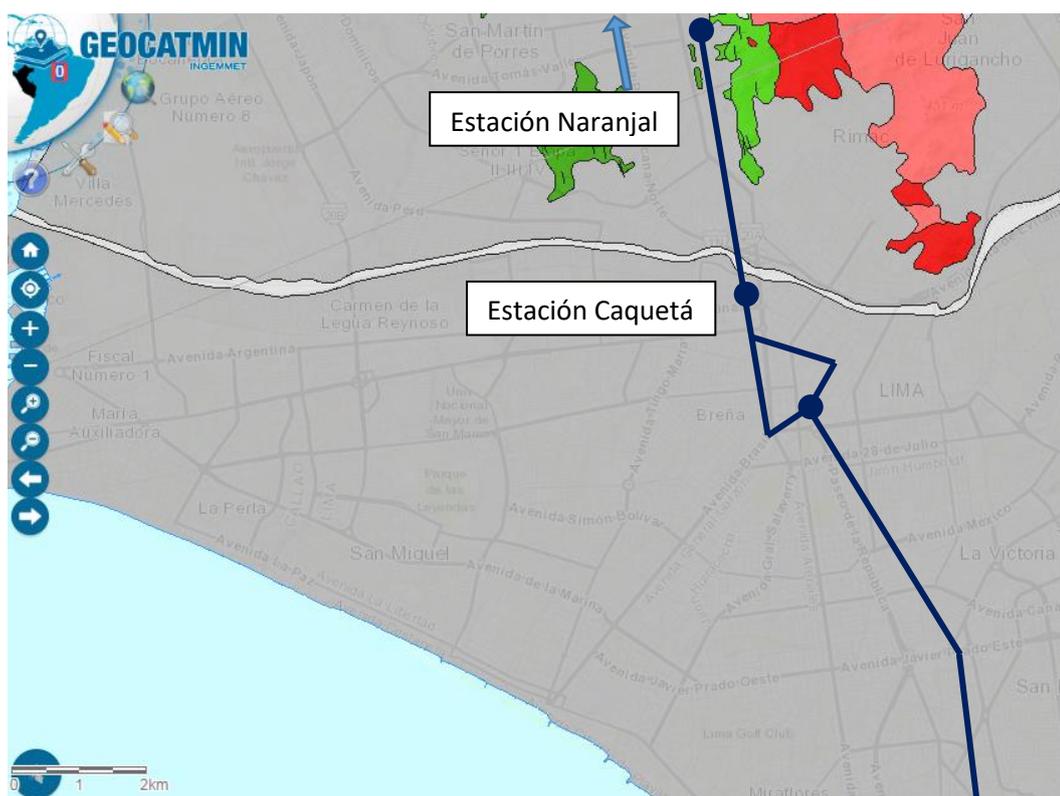


Figura 38
Geología de Lima
Fuente: INGEMMET (GEOCATMIN)

Como se puede apreciar en la gráfica, la zona de afloramientos rocosos se encuentra en la zona inicial del tramo norte, mientras que esta se va alejando y colocándose sobre los depósitos.

Además, como es conocido, Lima al ser depósito cuaternario, el aspecto más importante a considerar es el geotécnico y de mecánica de suelos. Por lo tanto, el diseño se regirá bajo el parámetro que determine el estudio de suelos.

c) Topografía

El proyecto se encuentra ubicado en la ciudad de Lima Metropolitana, Lima, Perú. Y recorre por 3 distritos: El Rímac, San Martín de Porres e Independencia.

Las coordenadas de origen y fin del tramo Norte son:

ESTACIÓN	COORDENADAS UTM WGS84	
	N	E
NARANJAL	8674810.4	275777.4
CAQUETÁ	8669384	277446

Cuadro 49
Ubicación del inicio y fin del COSAC I
Fuente: Google Earth¹⁷

Las coordenadas de las estaciones intermedias son:

ESTACIÓN	COORDENADAS UTM WGS84	
	N	E
IZAGUIRRE	8673750	276023
PACÍFICO	8673178	276134
INDEPENDENCIA	8672752	276224
LOS JASMINES	8672396	276276
TOMAS VALLE	8671879	276365
EL MILAGRO	8671284	276497
HONORIO DELGADO	8670701	276636
UNI	8669934	276933

Cuadro 50
Ubicación de las estaciones de El Metropolitano
Fuente: Google Earth¹⁷

Para disponer de información de campo real, que pueda ser empleado sin restricción en las actividades de Replanteo y en la Construcción, los datos

obtenidos por métodos Geodésicos han sido transformados adecuadamente al Sistema de Coordenadas Topográficas para cada tramo.

5.4.2. Criterios para el diseño de la obra lineal

El tipo de transporte que se va a plantear es un paso más hacia el objetivo de integrar el transporte en Lima, mejorando la calidad de vida de la población en diversas formas. Para esto, ambos están segregados del tránsito limeño. Por un lado, el LRT tendrá una configuración similar al actual Metropolitano con vía segregada y estaciones superficiales con la única diferencia del ancho de la vía a usar. Por el otro, el metro pesado tendrá independencia total al ser subterráneo con estaciones enterradas.

El LRT tendrá una operación integrada con el tráfico externo mediante la semaforización, la cual tendrá que permitir un movimiento continuo del tren ligero. Las únicas paradas deberían ser en las estaciones las cuales deberán contar con facilidades para personas restringidas. Asimismo, el LRT dará un aspecto de modernidad y orden en su recorrido, mejorando la estética de la urbe limeña.

El metro pesado liberaría absolutamente el espacio ocupado por El Metropolitano, además de tener la facilidad de integrarlo con la actual línea 1 y la futura línea 3 en las intersecciones. Deberá mantener un movimiento continuo y como en la línea 2 deberá ser automatizado sin conductor.

El objetivo de este subcapítulo es definir un diseño a nivel de perfil de las alternativas mencionadas de tal manera que se logre las características planteadas. Todo se realizará bajo la bibliografía española, experiencias pasadas en el Perú y fuera de nuestro país y criterios dados por ingenieros especialistas en transportes.

A) Trazado

El trazado es distinto para ambas propuestas, el LRT mantendrá la misma ruta que el actual Metropolitano por lo tanto no generará conflictos con otras vías en su operación. El metro pesado es subterráneo y se regirá bajo otro criterio de diseño ya que la velocidad de operación es mucho mayor.

En planta:

Se usarán en ambos casos líneas rectas unidas mediante curvas espirales con un radio determinado por la velocidad de máxima. Los anchos para

usar dependerán del tipo de coche a elegir para el diseño, al tener ferrovías para guiar su movimiento no es necesario demasiado espacio libre para maniobras.

En perfil:

Asimismo, se definirá el peralte máximo y la pendiente longitudinal para el drenaje y el no sobreesfuerzo del material rodante.

B) Carriles

Se usarán distintos tipos de carriles en cada caso: el típico UIC 54 para ferrocarriles metropolitanos que cumple en la mayoría de los casos las exigencias de servicio y resistencia se usará en las vías del metro pesado. De la misma manera se usará un carril tipo Phoenix en el metro ligero debido a la facilidad que brinda en su instalación y en la operación de un coche que requiere estar al nivel del piso para integrarse con el tráfico existente.

En el primer caso, el carril estará sobre durmientes monoblock de concreto, específicamente se usará el diseño del Ing. Héctor Gallegos (usados en la línea 1)⁴¹. Esto es debido a la facilidad de transporte, colocación y resistencia que no permite a los carriles deformarse en el tiempo. Las durmientes necesariamente tendrán que ir sobre pavimento rígido es decir concreto hidráulico, se descarta balasto debido a que al ser subterráneo se dificulta enormemente los trabajos de mantenimiento. “Ver plano Durmiente MP – 05”.

En el segundo caso, el carril deberá ir embebido en el pavimento, el cual vendría a ser una losa de concreto armado de un espesor de 20 cm, el cual se verá reducido a nivel de la vía en las intersecciones. Asimismo, el tercer carril de la alimentación eléctrica deberá ir en el centro de ambos carriles.

C) Iluminación

La iluminación para el metro ligero sería similar al que se tiene para el BRT, considerando que se aumentaría tensión eléctrica para el funcionamiento del tercer carril que alimenta a los bogies motores.

Para el metro pesado es necesario la instalación completa de una red de electricidad para iluminar las estaciones.

D) Regulación Semafórica

El metro pesado necesita solo semáforos para su regulación interna ya que no hay intersecciones ni conductor al ser totalmente automático se programará las paradas y las velocidades para cumplir las aceleraciones de confort.

Por otro lado el LRT requiere de un cambio ya que este no puede detenerse en intersecciones para lo cual los semáforos deberán tener sensores que capten la presencia de una formación y de prioridad de pase al metro ligero. Para esto deberá hacerse obligatoriamente un estudio de flujo de tráfico en la avenida Túpac Amaru.

E) Estaciones

Las estaciones tienen una separación típicamente de 500 metros para metros ligeros y 1000 metros para pesados, sin embargo, se hará el cálculo dinámico para obtener las distancias mínimas entre estaciones de tal manera se alcance la velocidad máxima a plantear.

Es realmente conveniente que el diseño de las estaciones sea el mismo que el de El Metropolitano en el caso del LRT, ya que este se caracteriza por el sistema de protección al usuario. Para el caso del metro pesado se usará una estación típica de metro, obtenidas de la línea 1 acondicionado al subterráneo.

F) Material Rodante

El material rodante consiste en coches remolcados y motores en formaciones de 5 para metro pesado y 3 en LRT.

Los coches del metro son similares a los que se está usando en la línea 1, es decir Alstom 9000 ²⁹. Y una posibilidad de coche LRT sería del tipo Alstom Citadis Spirit Ambos tendrá nivel de automatización driverless es decir no es necesario un conductor y tan solo guiados por el itinerario ingresado y/o la semaforización.³⁴

Se muestran las características de cada uno a continuación y se adjuntas sus fichas técnicas en los anexos:

Alstom Serie 9000		
Característica	Cantidad	Unidad
# de coches	5	und
Velocidad máxima	90	km/h
Aceleración máxima	1	m/s ²
Deceleración servicio	1.2	m/s ²
Longitud coche	17.748	m
Ancho de coche	2.71	m
Altura de coche	3.892	m
Altura del piso	1.15	m
Peso del coche	33.8	ton
Ancho de vía	1435	mm
Potencia	2700	kW
Plazas sentadas	112	pax
Plazas paradas (5pax/m ²)	1088	pax

Cuadro 51
Características del Alstom 9000
Fuente: <https://wefer.com>²⁹

Alstom Citadis		
Característica	Cantidad	Unidad
# de coches	3	und
Velocidad máxima	40	km/h
Aceleración máxima	1	m/s ²
Deceleración servicio	1.2	m/s ²
Longitud coche	10	m
Ancho de coche	2.65	m
Altura de coche	3.6	m
Altura del piso	0.7*	m
Peso del coche	45.1	ton
Ancho de vía	1435	mm
Potencia	2000	kW
Plazas sentadas	240	pax
Plazas paradas (5pax/m ²)	360	pax

(*) Debido a que las estaciones ya existen.

Cuadro 52
Características del Alstom Citadis Spirit
Fuente: <https://alstom.com>

5.4.3. Alternativas técnicas

De acuerdo con los objetivos planteados, según los criterios de diseño con apoyo de los estudios básicos se proponen ambas alternativas:

5.4.3.1. Alternativa 1 Metro Pesado Caquetá-Naranjal

Para el diseño del metro subterráneo se considerará como coche de diseño un Alstom serie 9000 y se usará como referencia bibliográfica principal a Ferrocarriles Metropolitanos de Manuel Melis.²⁸

a) Diseño geotécnico

El diseño geotécnico se refiere a la profundidad a la que el metro deberá circular de tal manera que los momentos desestabilizantes generados por la excavación no superen a las estabilizantes. Estos momentos se analizan en el frente del túnel es decir en la primera excavación, en el cual se deberá buscar un coeficiente de seguridad mayor a 1.5.

Los momentos estabilizantes dependerán del tipo de suelo o roca en el cual se realizará la excavación. En el caso de este proyecto, el suelo denominado como conglomerado de Lima es una grava arenosa con buena gradación; en general un buen suelo. Sin embargo, se tendrá que hacer un estudio de suelos más detallado con el fin de mejorar el diseño.

El método recomendado para la excavación del túnel es la TBM o tuneladora de frente abierto, dejando así de lado el NATM (Nuevo método Austriaco), el cual ha generado problemas de colapso en muchos proyectos de tunelería en suelos.

El aspecto geotécnico es de suma importancia para el proyecto ya que determinará la profundidad del metro, lo cual envuelve varios aspectos como: El movimiento de tierras el cual afecta enormemente al presupuesto, la distancia vertical entre la superficie y el andén la cual forma parte de los tiempos en estación.

Para este proyecto se utilizarán unos ábacos descritos en el libro Ferrocarriles Metropolitanos de Manuel Melis, donde se indica el factor de seguridad en base a la cohesión y ángulo de fricción del suelo. En este caso se usará el correspondiente a una $c= 100$ kPa y $\varphi=20^\circ$, valores cercanos a lo que se tiene en estas zonas de Lima. Ver Figura N°39.

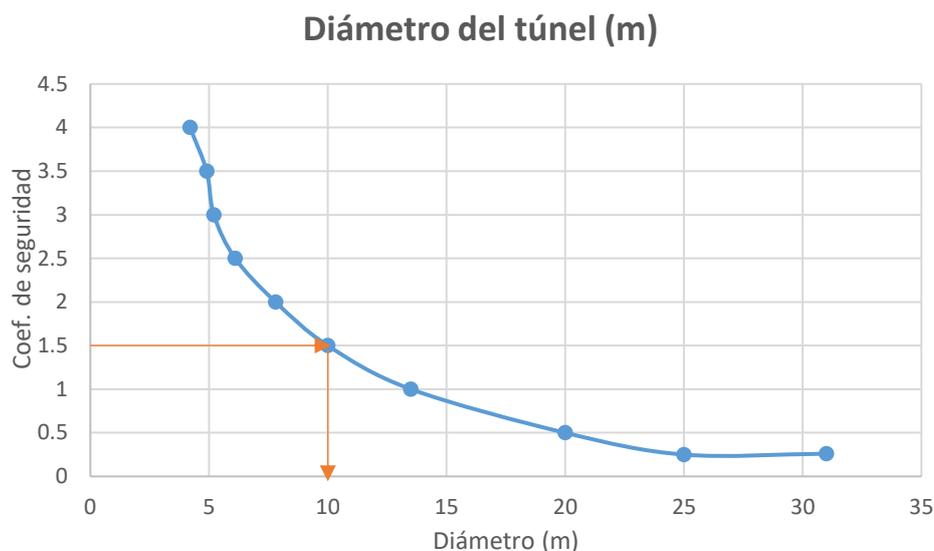


Figura 39
Diámetro vs F.S. para una profundidad de 40m
Fuente: Ferrocarriles metropolitanos

De acuerdo con lo mostrado en el ábaco se determina que la profundidad mínima y a usar del metro será de 40 metros y un diámetro de 10.0 metros con un factor de seguridad de 1.5, valor recomendado para túneles metropolitanos que podrían ser excavados en algunas zonas mediante el método nuevo austriaco. Se muestra la sección típica del túnel en “Túnel Típica MP-08”.

b) Diseño geométrico

Con la finalidad de obtener los parámetros de diseño geométrico tanto en perfil como en planta del metro, es necesario contar con datos básicos como los presentados a continuación:

Parámetros	Valor	Unidad
Velocidad máxima (v)	80	km/h
Aceleración no compensada máxima (anc)	0.75	m/s ²
Peralte máximo (h)	150	mm
Coeficiente de flexibilidad (C)	0.3	-
Ancho de vía (a)	1435	mm
Riel (R)	70	mm
Ancho/g (w)	153.41	mm/m/s ²
Velocidad vertical máxima (Vv)	30	mm/s
Rampa de peralte (rh)	2	mm/m
Sobre aceleración (j)	0.2	m/s ³

Cuadro 53
Datos básicos de diseño
Fuente: Ferrocarriles Metropolitanos (2008)

Algunos de estos valores de la tabla son los típicos usados en metros españoles salvo el ancho de vía el cual se eligió de acuerdo con el ancho más común en el Perú y el coche de diseño. Además, al buscar siempre la comodidad del usuario se restringió la aceleración transversal en un máximo de 1 m/s^2 .

Con estos valores se obtienen los parámetros de diseño mediante los cálculos correspondientes y se comparó con lo proporcionado por la normativa española en su anejo de Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad (ETI):

Radio de la curva circular

Este dependerá de la velocidad a la que el coche viaja en la curva, se obtiene de igualar la fuerza centrífuga con el peso debido al peralte máximo en curva.

Se puede notar que el radio mínimo para la máxima velocidad es de 285.822 m para un peralte de 150mm. Según las ETI, este valor de radio nunca será inferior a **150m**. En caso se desee colocar mayores radios es posible disminuir el peralte. Ver Cuadro N°54.

Velocidad (km/h)	Radio mínimo (m)
10	4.466
20	17.864
30	40.194
40	71.456
50	111.649
60	160.775
70	218.833
80	285.822

Cuadro 54
Radios mínimos
Fuente: Elaboración propia

Peralte para radios mayores al necesario

Como se dijo líneas arriba es posible disminuir el peralte si se aumenta el radio, en la siguiente tabla se muestra el peralte para la velocidad de 80 km/h. Según la ETI, el valor máximo será de **100.0 mm**. Ver Cuadro N°55.

Radios	Peralte (mm)
100	100.0
200	100.0
250	100.0

300	100.0
350	100.0
400	100.0
450	95.3
500	85.7
550	78.0
600	71.5
650	66.0
700	61.2
750	57.2
1000	42.9

Cuadro 55
Reducción de peralte
Fuente: Elaboración propia

En ferrocarriles, a diferencia de las carreteras que existen casos en los cuales se puede evitar, es siempre necesaria la curva de transición la cual es formada a partir de una espiral. Existen tres criterios para definir su longitud mínima: Por el confort del viajero, por la geometría de la vía y por la dinámica del tren; una vez calculadas se elige el mayor de ellos como la longitud de transición para un radio dado. Ver Cuadro N°56.

A continuación, se muestra las longitudes mínimas de transición desde un radio de 100m hasta 1000m.

Radios (m)	L transición (m)			
	Por confort	Por geometría	Por dinámica	L transición
100	49.291	75.000	65.722	75.000
200	69.708	75.000	92.945	92.945
250	77.936	75.000	103.915	103.915
300	79.395	71.456	105.860	105.860
350	68.053	61.248	90.737	90.737
400	59.546	53.592	79.395	79.395
450	52.930	47.637	70.573	70.573
500	47.637	42.873	63.516	63.516

Cuadro 56
Longitud de transición mínima
Fuente: Elaboración propia

Según recomendaciones dado por Manuel Melis²⁸ basado en experiencias con metros españoles la pendiente mínima en perfil debe ser 0.5% para garantizar el correcto drenaje del agua que pueda ingresar al subterráneo y se recomienda un

máximo de 3.5% debido a que los bogies no deben experimentar esfuerzos tan elevados con tal de no dañarse; sin embargo, se escogerá como valor máximo **2.5%** según normativa española IGP.

Además, se usará la parábola como curva transitoria. En caso se tenga un cambio de pendiente menor a 0.25% no es necesario colocar la parábola. La longitud de esa parábola estará supeditada a la magnitud del cambio de pendiente y la velocidad del tren en el instante del cambio de pendiente la cual se obtendrá mediante un análisis de dinámica de trenes. La longitud en pendiente constante debe ser como mínimo cuatro veces la velocidad máxima es decir para este caso 320 metros. Ver Cuadro N°57.

		Velocidad (km/h)							
		10	20	30	40	50	60	70	80
Cambio de pendiente (%)	0.25	0.946	3.785	8.516	15.139	23.655	34.063	46.363	60.556
	0.3	1.135	4.542	10.219	18.167	28.385	40.875	55.636	72.667
	0.35	1.325	5.299	11.922	21.194	33.116	47.688	64.908	84.778
	0.4	1.514	6.056	13.625	24.222	37.847	54.500	74.181	96.889
	0.45	1.703	6.813	15.328	27.250	42.578	61.313	83.453	109.000
	0.5	1.892	7.569	17.031	30.278	47.309	68.125	92.726	121.112
	0.55	2.082	8.326	18.734	33.306	52.040	74.938	101.999	133.223
	0.6	2.271	9.083	20.438	36.334	56.771	81.750	111.272	145.334
	0.65	2.460	9.840	22.141	39.361	61.502	88.563	120.544	157.446
	0.7	2.649	10.597	23.844	42.389	66.233	95.376	129.817	169.557
	0.75	2.839	11.354	25.547	45.417	70.964	102.188	139.090	181.668
	0.8	3.028	12.111	27.250	48.445	75.695	109.001	148.363	193.780
	0.85	3.217	12.868	28.953	51.473	80.426	115.814	157.636	205.891
	0.9	3.406	13.625	30.657	54.501	85.157	122.627	166.909	218.003
	0.95	3.596	14.382	32.360	57.529	89.889	129.439	176.181	230.115
1	3.785	15.139	34.063	60.557	94.620	136.252	185.454	242.226	

Cuadro 57
Longitud de parábola en cambios de pendiente
Fuente: Elaboración propia

c) Diseño dinámico del tren

El diseño dinámico se basa en asegurar que la fuerza motora del tren la cual se expresa mediante la potencia logre vencer a la resistencia al movimiento que esté presente debido a tanto, fuerzas internas y externas. Como fuerzas internas principalmente están la fricción entre las piezas de los bogies y como externas, al rozamiento con el carril, fuerza del viento, peso propio en caso de pendientes y el aumento de rozamiento con el carril en curvas.

Además, este procedimiento también se utiliza para conocer la distancia mínima entre estaciones para que el metro pueda alcanzar su máxima velocidad con una aceleración suave y tenga suficiente espacio para frenar con una desaceleración que garantice la comodidad de los usuarios.⁸

Teniendo en cuenta los datos del tren Alstom Serie 9000:

- Coches motores: 4
- Configuración: Bo'-Bo'
- Ejes x coche: 4
- Peso total de formación: 169 t
- Pasajeros: 1200 pax
- Potencia: 2700 kW

Comparando la fuerza adherente y la tracción en las ruedas se tiene que la velocidad necesaria para pasar de usar la adherencia como fuerza de movimiento a usar la fuerza tractora de los motores es 22 km/h.

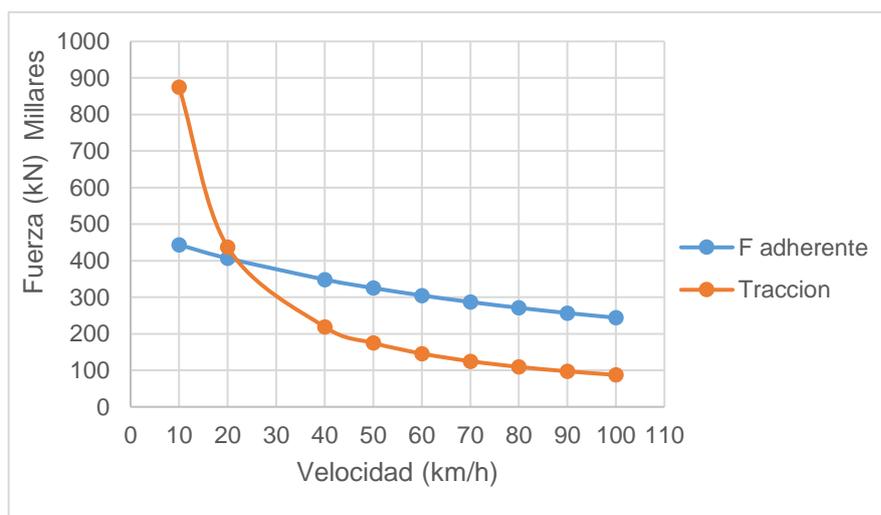


Figura 40
F adherente vs F tracción
Fuente: Elaboración Propia

Con este valor se puede obtener el tiempo y la distancia que recorrerá el metro hasta alcanzar su velocidad pico. Ver Cuadro N°58 y N°59.

Vi (m/s)	Vf (m/s)	Vm (m/s)	Acel. (m/s ²)	T (s)	Long. (m)	Energía (kN.m)
0	1	0.5	1.650	0.606	0.303	138.565
1	2	1.5	1.590	0.629	0.943	415.695

2	3	2.5	1.535	0.652	1.629	692.825
3	4	3.5	1.482	0.675	2.361	969.955
4	5	4.5	1.433	0.698	3.139	1247.085
5	6	5.5	1.387	0.721	3.965	1524.215
6	6.11	6.055	1.363	0.081	0.489	184.582
			Total	4.061	12.830	5172.922

Cuadro 58
Desde el arranque hasta uso de motores
Fuente: Elaboración propia

Vi (m/s)	Vf (m/s)	Vm (m/s)	F tracc (kN)	F res (kN)	F ut (kN)	Ac. (m/s ²)	T. (s)	L. (m)	Ener. (MN.m)
6.11	10	8.055	243.00	5.119	237.8	0.858	4.532	36.504	8.683
10	15	12.500	162.00	6.214	155.7	0.562	8.895	111.18	17.320
15	20	17.500	121.50	7.798	113.7	0.410	12.18	213.26	24.248
20	25	22.500	97.200	9.755	87.44	0.316	15.84	356.53	31.177

Cuadro 59
Uso de motores hasta velocidad máxima
Fuente: Elaboración propia

Se tiene en total una distancia 717 metros para alcanzar la velocidad tope en un tiempo de 46 segundos. Con el objetivo de lograr una desaceleración suave y cómoda se considerará un valor 1.2 m/s^2 . Con este valor se tendría una distancia entre estaciones mínima de **990** metros. Lo cual va de acorde a la distancia típica entre estaciones de metro.

d) Mecánica transversal y vertical

La mecánica vertical consiste en verificar la resistencia de los carriles frente a las cargas estáticas, pseudo-estáticas y dinámicas producidas por el tren al pasar sobre ellos. La carga estática es el peso del material rodante sumado al de los pasajeros que lleva, la carga pseudo-estática se produce en las curvas debido a la fuerza que ejerce la fuerza centrífuga sobre el carril y la carga dinámica dependerá de la velocidad a la que viaje el coche, para su cálculo se usará el método alemán.

La mecánica transversal se revisa con el fin de comprobar la ausencia del descarrilamiento, vuelco del tren y vuelco del carril. Para esto se calcula la fuerza producida por la fuerza centrífuga en curvas, el movimiento vibratorio de los bogies,

algunas fuerzas aleatorias obtenidas mediante fórmulas empíricas según estudios españoles y la fuerza del viento.

Descarrilamiento:

Para verificar que el coche no descarrile, se compara la fuerza por factores externos e internos con el rozamiento rueda-carril, que según experiencias en metros americanos se calcula como el 50% del peso en una rueda del coche.

Del cual se obtiene:

$$F \text{ lateral} = 10.6 \text{ kN}$$

$$F \text{ rozamiento} = 31.8 \text{ kN}$$

Por lo tanto, el metro no descarrilará en el caso más desfavorable que es en curva de 300 metros de radio, a la velocidad máxima de 80 km/h.

Vuelco del tren:

Esta verificación se realiza calculando los momentos producidos por las fuerzas laterales y el momento producido por el peso propio del metro respecto a un punto de giro ubicado en el contacto entre la rueda y el riel.

$$M \text{ desestabilizante} = 227.5 \text{ kN.m}$$

$$M \text{ estabilizantes} = 364.6 \text{ kN.m}$$

El coche no volcará en una curva de 300 metros de radio.

Vuelco de carril:

Se calcula el momento desestabilizante del carril debido a fuerzas laterales y se compara con el momento generado por el peso del coche y el carril.

$$M \text{ estabilizante} = 2683.5 \text{ kN.m}$$

$$M \text{ desestabilizante} = 1511.9 \text{ kN.m}$$

El carril no volcará en una curva de 300 metros de radio.

Asimismo, tendrá que usarse 10 pernos a 2 cm de la base por cada tramo de carril.

En base a estos parámetros de diseño se propone un trazo en planta y elevación donde se ubican las 5 estaciones ya mencionadas:

- Estación Caquetá
- Estación UNI
- Estación Tomás Valle
- Estación Izaguirre.
- Estación Naranjal.

La distribución en planta a detalle se encuentra en el plano “Esquema MP-02”. A continuación, se muestra una más compacta:



Figura 41
Esquema de la ruta del Metro Pesado
Fuente: Elaboración Propia

e) Electrificación:

Al ser un metro subterráneo se utilizará una catenaria rígida, típico en estos tipos de metros, la cual consiste en un perfil extrusionado de aluminio en el que se fija el hilo de contacto.

Especificaciones Técnicas: Cobre-Cadmio (1%) 2400 kg sección=152 mm².

Descentramiento de hilo=+-20cm

Espaciamiento entre postes=10 m

Aislamiento de fibra de vidrio con $f' t=80-100$ kg/cm²

Por otro lado, estos elementos se sostienen mediante una estructura de acero que se encuentra sujeto a la sección del túnel. Esta estructura se coloca aproximadamente según el tamaño de la barra de aluminio, cada 10 metros como máximo. Está constituida principalmente de 3 partes: la catenaria, la ménsula y el poste fijo, los cuales se detallan en el plano “Detalle catenaria rígida MP-06”.

f) Estaciones:

Debido a la naturaleza subterránea del metro, las salidas de las estaciones deberán estar ubicadas en lugares aledaños a la ruta del metro, es decir parques, calles anchas, zonas abiertas entre otras. Por esta razón se plantea las siguientes salidas:

- **Estación Caquetá:** Estará situada aledaña al mercado Caquetá entre las avenidas Caquetá y avenida Héctor Ribeyro. Actualmente hay una pequeña zona verde la cual posiblemente sea acondicionada para la construcción de la estación.
- **Estación UNI:** Cercano a la actual estación UNI, se encuentra el parque Cahuide en la avenida Eduardo De Habich, lugar donde se construiría la entrada a la nueva estación subterránea UNI.
- **Estación Tomás Valle:** El Mercado Central, ubicado en el cruce de las avenidas Tomás Valle y Túpac Amaru, cuenta con un amplio espacio suficiente para la construcción de la entrada a la estación.
- **Estación Izaguirre:** Se tiene un parque llamado María Parado de Bellido, lo suficientemente espacioso para albergar una entrada de estación al metro planteado.
- **Estación Naranjal:** Al bifurcarse las vías de la avenida Túpac Amaru se tiene un espacio para la colocación de la entrada en cuestión, sin embargo, no sería beneficioso colocarlo entre vías debido a que podría ocasionar accidentes y a la incomodidad generada al forzar a los pasajeros a cruzar continuamente la avenida.

5.4.3.2. Alternativa 2 Tren Ligero Caquetá-Naranjal

Se utilizará como coche de diseño un Alstom Citadis, cuyas propiedades se mencionan en el cuadro 56.

a) Diseño geométrico

El trazo está determinado por la ruta actual de El Metropolitano, ya que se tiene la idea de aprovechar la infraestructura ya construida para el BRT, a pesar de ello es necesario realizar unas verificaciones geométricas.

Similar al metro pesado, para conocer los parámetros de diseño del LRT, se necesita en primer lugar las variables básicas de diseño que se presentan a continuación:

Parámetros	Valor	Unidad
Velocidad Máxima (v)	50	km/h
Aceleración no compensada máxima (anc)	0.75	m/s ²
Peralte máximo (h)	150	mm
Coefficiente de flexibilidad ©	0.3	-
Ancho de vía (a)	1435	mm
Riel ®	70	mm
Ancho/g (w)	153.41	mm/m/s ²
Velocidad vertical máxima (Vv)	30	mm/s
Rampa de peralte (rh)	2	mm/m
Sobre aceleración (j)	0.2	m/s ³

Cuadro 60
Parámetros básicos para diseño
Fuente: Alstom y Ferrocarriles Metropolitanos

De acuerdo con estos valores y usando fórmulas de la literatura española se obtiene:

Radio de la curva circular

Se puede notar que el radio mínimo para la máxima velocidad es de 111.649 m para un peralte de 150mm sin embargo se usará un radio mínimo de **150 m** según la ETI, en caso se desee colocar mayores radios es posible disminuir el peralte. Ver Cuadro N°61.

Velocidad (km/h)	Radio (m)
10	4.466
20	17.864
30	40.194
40	71.456
50	111.649

Cuadro 61
Radios mínimos LRT
Fuente: Elaboración propia

Peralte para radios mayores al necesario

Como se dijo líneas arriba es posible disminuir el peralte si se aumenta el radio, en la siguiente tabla se muestra el peralte para la velocidad de 50 km/h. Asimismo, según normativa ETI el peralte no puede superar el valor de 100mm. Ver Cuadro N°62.

Radio (m)	Peralte (mm)
10	100
30	100
50	100
70	100
90	100
110	100
130	100
150	100
170	98.5
190	88.1
210	79.7
230	72.8
250	67.0
270	62.0

Cuadro 62
Reducción de peralte LRT
Fuente: Elaboración propia

b) Diseño dinámico:

Procediendo de manera similar al metro pesado se tiene que el Alstom Citadis:

- Coches motores: 3
- Configuración: Bo'-Bo'
- Ejes x coche: 4
- Peso total de formación: 135.2 t
- Pasajeros: 600 pax
- Potencia: 2700 kW

Con estos datos se procede a analizar el movimiento del coche desde el arranque hasta la velocidad mínima para usar la fuerza motora. Ver Figura N°

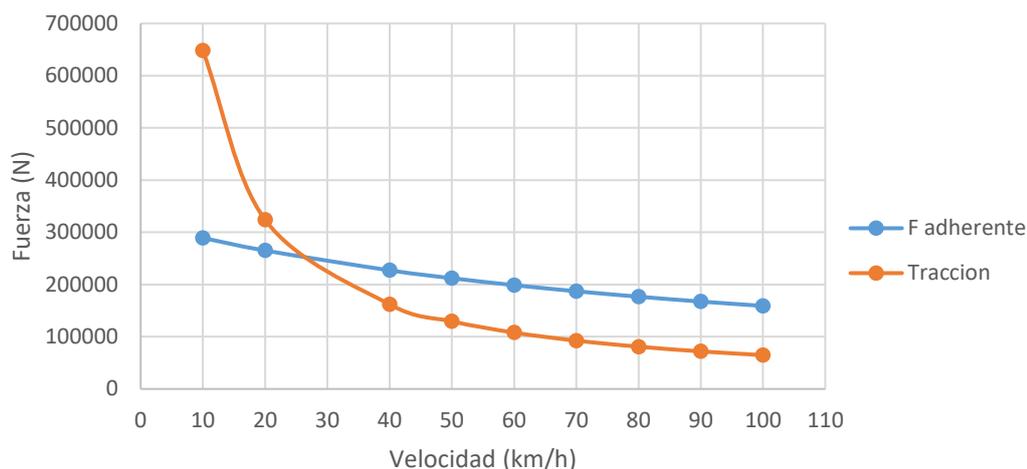


Figura 42
F. Adherente vs F. Tracción LRT
Fuente: Elaboración Propia

En el cual se observa que alrededor de la velocidad de 25 km/h el valor de la fuerza de adherencia supera a la de tracción. Por lo tanto, este es el punto de separación en el análisis a realizar. En la primera etapa, se tiene que:

V inicial (m/s)	V final (m/s)	V media (m/s)	Aceleración (m/s ²)	T (s)	Longitud (m)	Energía (kN.m)
0	1	0.5	1.541	0.649	0.324	96.41
1	2	1.5	1.486	0.673	1.010	289.22
2	3	2.5	1.434	0.698	1.744	482.03
3	4	3.5	1.385	0.722	2.528	674.84
4	5	4.5	1.339	0.747	3.361	867.66
5	6.94	5.97	1.276	1.520	9.077	2233.1

Cuadro 63
De arranque hasta uso de motores LRT
Fuente: Elaboración propia

A partir de ese momento se pasa a usar los motores de los bogies, es decir el movimiento dependerá de la potencia de estos hasta alcanza la velocidad pico, 50 km/h. Ver Figura N°64.

V inicial (m/s)	V final (m/s)	V media (m/s)	Aceleración (m/s ²)	T (s)	Longitud (m)	Energía (kN.m)
6.94	10	8.470	0.915	3.345	28.334	4997.39
10	13.89	11.945	0.650	5.983	71.462	8959.30

Cuadro 64
Uso de motores hasta velocidad máxima LRT
Fuente: Elaboración propia

Con esta información se puede calcular la separación mínima entre estaciones considerando una desaceleración cómoda de 1.2 m/s^2 . En este caso la distancia resulta en 198 m, valor que está por debajo de lo recomendable para tranvías y metros ligeros sin embargo no supondrá ningún inconveniente.

c) Mecánica Transversal y Vertical

La mecánica vertical consiste en verificar la resistencia de los carriles frente a las cargas estáticas, pseudo-estáticas y dinámicas producidas por el tren al pasar sobre ellos.

La mecánica transversal se revisa con el fin de comprobar la ausencia del descarrilamiento, vuelco del tren y vuelco del carril.

Descarrilamiento:

Para verificar que el coche no descarrile, se compara la fuerza por factores externos e internos con el rozamiento rueda-carril, que según experiencias en metros americanos se calcula como el 50% del peso en una rueda del coche.

Del cual se obtiene:

$$F \text{ lateral} = 9.52 \text{ kN}$$

$$F \text{ rozamiento} = 27.6 \text{ kN}$$

Por lo tanto, el metro no descarrilará en el caso más desfavorable que es en curva de 300 metros de radio, a la velocidad máxima de 50 km/h.

Vuelco del tren:

Esta verificación se realiza calculando los momentos producidos por las fuerzas laterales y el momento producido por el peso propio del metro respecto a un punto de giro ubicado en el contacto entre la rueda y el riel.

$$M \text{ desestabilizante} = 205.2 \text{ kN.m}$$

$$M \text{ estabilizantes} = 364.6 \text{ kN.m}$$

El coche no volcará en una curva de 300 metros de radio.

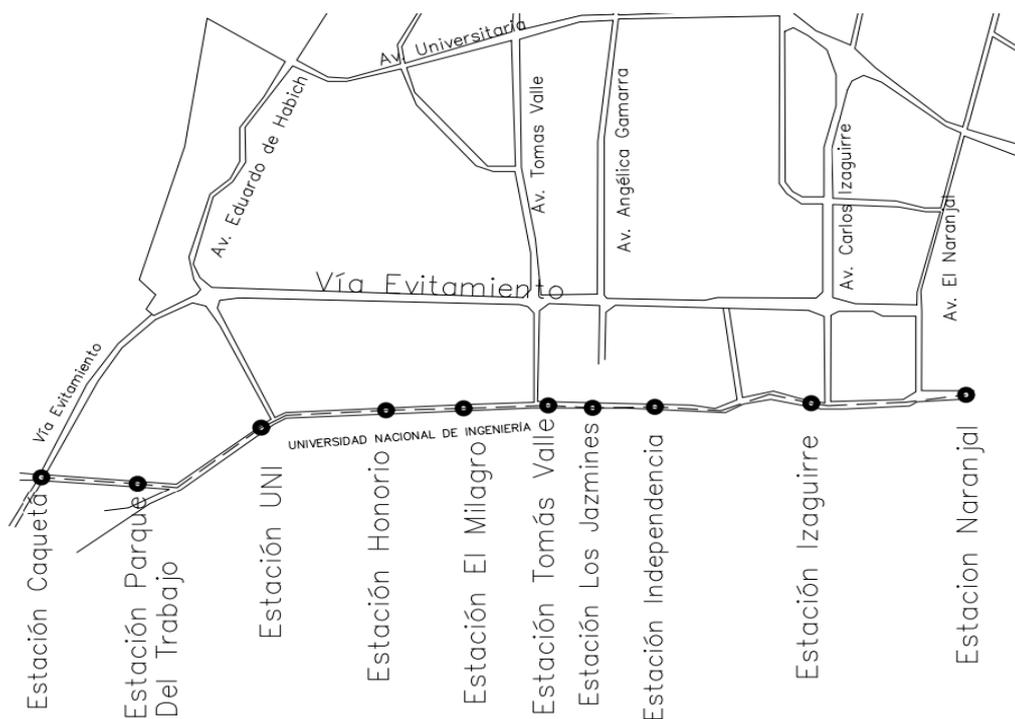


Figura 43
Esquema de planta del LRT
Fuente: Elaboración Propia

d) Electrificación

Para energizar la línea del LRT se plantea una solución que se ha venido utilizando en distintas ciudades con la finalidad de no tener interferencias con estructuras existentes e integrarse estéticamente con el ambiente. Esta solución es el tercer carril o sistema APS, el cual consiste en colocar un carril adicional en el centro de los dos ya existentes el cual se conectará a la red eléctrica e irá alimentando al tren ligero mediante un sensor de movimiento.

Esta manera tiene la ventaja de eliminar las típicas catenarias aéreas y de proteger a los peatones ya que solo se energiza en el segmento que utiliza el coche. La principal dificultad es el coste de mantenimiento, así como los problemas que pueden ocurrir debido a las lluvias.²

Se adjunta detalles en el anexo Plano “Detalle de superestructura ML-05”.

e) Estaciones

Una posibilidad abierta es el acondicionamiento de las estaciones que se tienen actualmente para el BRT, salvo la estación Pacífico, debido a la demanda proyectada detallada líneas arriba. Estas cumplen los requisitos necesarios para

funcionar como una estación para tren ligero, como son la longitud, accesibilidad y protección al usuario.

En su gran mayoría, los coches de metros ligeros tienen el piso rebajado sin embargo para este caso en el cual se tienen estaciones construidas elevadas se necesita que el coche a emplear tenga una altura de piso de 0.70m para evitar los costos de construcción de nuevas estaciones.

Las estaciones del LRT:

- Estación Caquetá
- Estación Parque del Trabajo
- Estación UNI
- Estación Honorio Delgado
- Estación El Milagro
- Estación Tomas Valle
- Estación Los Jazmines
- Estación Independencia
- Estación Izaguirre
- Estación Naranjal

5.4.3.3. Alternativa 3 Proyección de situación actual

Como se dijo en el planteamiento de alternativas en esta proyección se tomará como punto de partida lo indicado en el capítulo N°4 Identificación del Proyecto y se mantendrá ese estado considerando tan solo el aumento de buses biarticulados con tal de mejorar el transporte de personas en esta ruta usando buses.

La ruta será la misma que tiene actualmente por lo tanto no será necesario realiza un diseño geométrico de la vía. Con la finalidad de considerar estos nuevos buses biarticulados, se propone una capacidad de 150 personas y que mantengan la misma velocidad máxima y comercial que un bus articulado de la actualidad.

El diseño de las estaciones e infraestructura vial no será diferente a la actual debido a que no habrá cambios importantes en el funcionamiento de este transporte, sin embargo, se considerará los gastos de mantenimiento de lo mencionado.

5.5. Costos

Para la estimación de costos se propone separarlo en las categorías más resaltantes de tal manera que se logre evaluar los aspectos más impactantes en la construcción de un metro pesado y uno ligero. Las categorías planteadas son:

- Material Rodante
- Infraestructura
- Estaciones
- Electrificación
- Señalización
- Contingencia
- Costo de administración
- Ingeniería
- Operación y Mantenimiento

Para esta estimación se utilizarán valores referenciales de estudios previos y el Plan Maestro de Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao.

Alternativa 1 Metro Pesado Caquetá-Naranjal

Se procede a detallar cada una de las categorías relacionadas a esta alternativa:

- Material Rodante: Coches modelo Alstom Serie 9000, similares a los usados en la línea 1.³⁸
- Infraestructura: En el tramo Barcelona - Sagrants se construyó un metro pesado subterráneo de características similares y el costo fue de **36.26 MUSD\$/km.**
- Patio Taller: Basado en el metro de Nagpur en la India, se tiene que el costo por m² es de: **729 USD\$/m².**³⁰
- Electrificación: Se utilizará una catenaria rígida en el subterráneo. Se conoce que el costo que por kilómetro del túnel de cercanías en Barcelona fue **0.246 MUSD\$/km.**⁴⁴
- Señalización: De experiencias españolas se tiene que en promedio el gasto por km de señalización es de **0.825 MUSD\$/km** de vía.³⁶
- Contingencia: Al ser un proyecto subterráneo existe mucha variabilidad en el terreno que se pretende excavar, así como posibles distintas condiciones a lo planificado. Por lo tanto, se escoge un valor de **30 %**

del costo directo, es decir el doble de lo recomendado por el plan maestro para metros a nivel.

- Costo de administración: El valor recomendado por el plan maestro es de un **10%** del costo directo.
- Ingeniería: El valor recomendado por el plan maestro es de un **10%** del costo directo.
- Operación y Mantenimiento: Se considerará el costo de mantenimiento de las vías, las catenarias, labores, material rodante y otros basándose en los costos del metro de Melbourne.²⁷
- Operación y Mantenimiento de Patio taller: Se considerará en base al futuro metro de Bogotá.

Alternativa 2 Metro Ligero Caquetá-Naranjal

- Material Rodante: Coches modelo Alstom Citadis Spirit.
- Infraestructura: Tomando de referencia la publicación colombiana sobre costos de transporte público masivo. **15.00 M USD\$/km.**
- Patio taller: Basado en el metro de Nagpur en la India, se tiene que el costo por m2 es de: **729 USD\$/m2.**³⁰
- Estaciones: Debido a que las instalaciones actuales de El Metropolitano cumple como protección al usuario se pueden utilizar íntegramente como estación del LRT. Por lo tanto, **su costo es de cero.** Cabe destacar que los costos extras de acondicionamiento son incluidos en la infraestructura.
- Electrificación: El LRT se alimentará mediante catenaria en tercer carril y el costo se tomará de referencia del metro español en el tramo Vadollano-Linares. El costo sería de **0.317 MUSD\$/km**³⁶
- Señalización: De experiencias españolas se tiene que en promedio el gasto por km de señalización es de **1.13 MUSD\$/km.**³⁶
- Contingencia: El valor recomendado por el plan maestro es de un **15%** del costo directo.
- Costo de administración: El valor recomendado por el plan maestro es de un **10%** del costo directo.
- Ingeniería: El valor recomendado por el plan maestro es de un **10%** del costo directo.

- Operación y Mantenimiento: Se considerará el costo de mantenimiento de las vías, las catenarias, labores, material rodante y otros otros basándose en los costos del metro de Melbourne.²⁷
- Operación y Mantenimiento de Patio taller: Se considerará en base al futuro metro de Bogotá

Alternativa 3 Proyección de la situación actual.

Con el fin de proyectar los costos se tomará de referencia lo publicado por el Instituto Metropolitano Protransporte de Lima en referencia a sus gastos operativos en el COSAC I del año 2015

Se menciona en el subcapítulo 6.1.1.2 Costos Operativos de la publicación Transporte Público Sostenible en Lima, realizada en España, que menciona lo presentado por Protransporte es decir el gasto realizado por la operación de los buses de El Metropolitano el año 2015.²⁴

El gasto realizado el año 2015 fue de 76'939,606 millones de Euros a lo largo de la ruta completa de El Metropolitano, la cual tiene una extensión de 24.241 km. De manera proporcional para el tramo norte de 6.38 km se tiene un gasto operativo por año de 23.89 millones de Dólares el año 2015 es decir el costo operativo por km sería de **3.74 millones de Dólares.**

Asimismo, se estará incluyendo la incorporación de buses biarticulados a lo largo de la vida útil del proyecto (30 años), lo cual incrementará el gasto en O&M sumado al costo de la unidad en aproximadamente 563,944 dólares incluido el vehículo y su O&M según la publicación española mencionada.

Tomando esto en consideración, el costo de operación y mantenimiento de El Metropolitano supera con creces a lo presentado en las alternativas N°1 y 2 (Ver Cuadro 65).

Estos costos no solo se pueden sumar para conocer el más favorable en materia económica. Se deberá realizar un análisis de VAN y TIR, así como aplicar los costos sociales tanto al costo de infraestructura como de operación.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de los costos del proyecto por km:

Item	Categoría	Costo por km (Millones de USD)		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
		Metro Pesado	Metro Ligero	Sin cambios
1	Infraestructura	36.26	15	-
2	Patio taller	43.74	43.74	
3	Electrificación	0.246	0.317	-
4	Señalización	0.825	1.13	-
5	Contingencia (% C. Directo)	30	15	-
6	Costos de administración (% C. Directo)	10	10	-
7	Ingeniería (% C. Directo)	10	10	-
8	Operación y Mantenimiento	1.808	0.967	3.740 ³⁹
8.1	Labores	0.591	0.411	-
8.2	Mantenimiento de infraestructura	0.622	0.296	-
8.3	Mantenimiento de material rodante	0.301	0.122	-
8.4	Otros	0.294	0.138	-
9	Operación y Mantenimiento de Patio Taller			
8.1	2030	1.840	1.840	-
8.1	2040	2.980	2.980	-
8.1	2050	5.780	5.780	-

Cuadro 65
Costo por km de construcción y O&M
Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VI: EVALUACIÓN DEL PROYECTO

6.1. Identificación de beneficios

Uno de los beneficios más resaltantes de ambos es el recorte de tiempo de viaje entre estaciones, así como el aumento de la velocidad de operación. Para ello se calculará los tiempos evaluados en el actual BRT y en el caso del metro pesado se sumará el tiempo para llegar al acceso ya que este es subterráneo.

El cálculo del beneficio se realizará mediante:

$$\text{Beneficio Tiempo} = \frac{(\text{Tiempo con proyecto} - \text{Tiempo sin proyecto}) * 100\%}{\text{Tiempo sin proyecto}}$$

a) Con Alternativa 2, metro ligero (LRT):

Del cálculo dinámico se obtiene que para una velocidad máxima de 50km/h y una distancia promedio entre estaciones de 500 metros, el tiempo necesario para llegar a la siguiente estación es de 48 segundos.

Considerando el mismo tiempo de coche detenido para la bajada y subida de pasajeros en una estación que El Metropolitano (45 segundos) y un tiempo de entrada y salida igual a 60 segundos se tiene:

Descripción	Tiempo (s)
De la entrada al embarque	60
Espera al tren	114
Tiempo de viaje	879
Bajada de tren	5
De embarque a salida	60
Tiempo total	1118

Cuadro 66
Tiempos del LRT
Fuente: Elaboración propia

Entonces el beneficio de tiempo de esta alternativa mediante la fórmula mencionada es de **-45%**, es decir se reduce el tiempo de viaje hasta casi la mitad.

Del mismo modo se calcula la velocidad de operación que resulta 26.1 km/h, valor muy superior al actual BRT (17km/h) y superior al de Curitiba (20km/h).

Conocido el número de usuarios por día (mencionado en 5.2.2 Demanda proyectada para el 2050) que usaran el metro subterráneo se tiene un ahorro total

de **120,403** horas al día es decir **38,649,607** horas al año usando el metro en el tramo de estudio.

De acuerdo a la Directiva N° 002-2017-EF/63.01, Directiva para la Formulación y Evaluación en el Marco del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones³¹ el valor social del tiempo es de 6.50 para transporte urbano público del cual se obtiene un ahorro total de 251 millones de soles aproximadamente.

b) Con alternativa 1, metro pesado.

El cálculo dinámico se consideró una velocidad pico de 90km/h y una separación promedio entre estaciones de 1 km resultando un tiempo de viaje entre estaciones de 67 segundos.

De la misma manera que el LRT se propone un tiempo detenido en estación de 45 segundos y un tiempo de llegada al embarque de 120 segundos ya que el metro está a una profundidad de 40 m. En resumen:

Descripción	Tiempo (s)
De la entrada al embarque	120
Espera al tren	114
Tiempo de viaje	602
Bajada de tren	5
De embarque a salida	120
Tiempo total	1075

Cuadro 67
Tiempos del metro pesado
Fuente: Elaboración propia

Calculando el beneficio del tiempo se tiene un valor de **-47%**, escasamente mejor al metro ligero. La velocidad de operación de esta alternativa es **38.1km/h** superior a la alternativa LRT, al BRT El Metropolitano y similar a la velocidad del metro de Santiago de Chile (32 km/h).

Para el 2050, el número de usuarios proyectados es de 479,484 personas esto quiere decir un ahorro de tiempo total de **125,864** horas al día y **40,402,520** horas en un año.

Tomando el valor de 6.50 nuevos soles por pasajero-hora se obtiene un ahorro de 262 millones de nuevos soles en un año promedio.

Sistema masivo de transporte	Cantidad de unidades móviles		
	HPM	HPT	HV
El Metropolitano	1,918	1,486	1,343
Alternativa 1: LRT	320	248	224
Alternativa 2: Metro	160	124	112

Cuadro 68
Unidades móviles por escenario
Fuente: Elaboración propia

Otros beneficios que traerá la implementación del sistema ferroviario es la reducción de accidentes y mejoras en el medio ambiente ya que no se usará hidrocarburos.

6.2. Evaluación económica del proyecto

Una vez identificado los beneficios técnicos se procede a realizar el análisis económico de ambas alternativas para lo cual se considerará los costos estimados presentados en el cuadro 69 y una reducción por costos sociales del 21% a la inversión inicial y de 25% a la operación y mantenimiento tanto de la vía férrea como del patio taller.

Asimismo, se está tomando en consideración solo los ingresos por los pasajes, los cuales van en aumento a medida que el número de usuarios crezcan. Ver Cuadro N°69 y N°70.

Año	Egreso (MUSD\$)								Ingreso	TOTAL ANUAL	14.30% VAN (r=14.3%)	
	Infraestructura	Patio taller	Electrificación	Señalización	Contingencia	Costos de administración	Ingeniería	O&M				Pasajes
1											-12.01	-10.51
2	45.69	14.58	0.41	1.39	24.03	8.01	12.01				-106.12	-81.23
3	45.69		0.41	1.39	24.03	8.01					-79.53	-53.26
4	45.69		0.41	1.39	24.03	8.01		10.03	83.34		-6.22	-3.65
5	45.69							10.03	86.18		30.46	15.61
6								10.89	88.98		78.10	35.02
7								10.89	91.76		80.87	31.73
8								10.89	94.50		83.61	28.70
9								10.89	97.20		86.32	25.92
10								10.89	99.88		88.99	23.38
11								10.89	102.52		91.64	21.06
12								10.89	105.14		94.25	18.96
13								10.89	107.72		96.83	17.04
14								10.89	110.28		99.39	15.30
15		29.16						10.89	112.80		72.76	9.80
16								12.99	115.30		102.32	12.06
17								12.99	117.77		104.79	10.80
18								12.99	120.22		107.23	9.67
19								12.99	122.64		109.65	8.65
20								12.99	125.03		112.05	7.74
21								12.99	127.40		114.42	6.91
22								12.99	129.75		116.76	6.17
23								12.99	132.07		119.08	5.51
24								12.99	134.37		121.38	4.91
25								12.99	136.64		123.66	4.38
										TOTAL VAN	170.67	
										TIR	25.30%	

Cuadro 69
Cálculo de VAN y TIR del metro pesado
Fuente: Elaboración propia

Año	Egreso (MUSD\$)								Ingreso (MUSD\$)		TOTAL ANUAL	14.30% VAN (r=14.3%)
	Infraestructura	Patio taller	Electrificación	Señalización	Contingencia	Costos de administración	Ingeniería	O&M	Pasajes			
1								8.41			-8.41	-7.36
2	18.90	14.58	0.53	1.90	12.62	8.41		8.41			-65.36	-50.03
3	18.90		0.53	1.90	12.62	8.41					-42.37	-28.37
4	18.90		0.53	1.90	12.62	8.41			6.01	80.45	32.08	18.80
5	18.90								6.01	83.20	58.29	29.88
6									6.86	85.91	79.04	35.45
7									6.86	88.58	81.72	32.06
8									6.86	91.23	84.37	28.96
9									6.86	93.84	86.98	26.12
10									6.86	96.42	89.56	23.53
11									6.86	98.98	92.11	21.17
12									6.86	101.50	94.64	19.03
13									6.86	103.99	97.13	17.09
14									6.86	106.46	99.60	15.33
15		29.16							6.86	108.90	72.88	9.82
16									8.96	111.31	102.35	12.06
17									8.96	113.70	104.74	10.80
18									8.96	116.06	107.10	9.66
19									8.96	118.40	109.44	8.64
20									8.96	120.71	111.75	7.71
21									8.96	123.00	114.03	6.89
22									8.96	125.26	116.30	6.15
23									8.96	127.50	118.54	5.48
24									8.96	129.72	120.76	4.88
25									8.96	131.92	122.95	4.35
TOTAL VAN											268.10	
TIR											41.87%	

Cuadro 70
Cálculo de VAN y TIR del Metro Ligero
Fuente: Elaboración propia

6.3. Evaluación privada

De acuerdo con el estudio de pre-inversión presentado por el Instituto Metropolitano para el COSAC 2 (4.4 Evaluación privada) una persona equivale a aproximadamente a 0.9 pasajeros en materia de tarifas debido a que hay personas que pagan tanto pasaje completo (adulto), como medio pasaje (universitarios) y gratuito (personal de policía, emergencias, etc).

Por lo tanto, para obtener un transporte sostenible en el tiempo se plantea un pasaje completo de S/. 2.50 nuevos soles, exactamente igual a la tarifa actual de El Metropolitano.

6.4. Sostenibilidad

Se encarga a la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML) y al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) velar en la planificación y construcción de la alternativa de solución al problema del BRT con el apoyo de la AATE, la cual ya tiene experiencia con la ya en operación Línea 1, metro a nivel y con la Línea 2, metro subterráneo.

Para analizar la sostenibilidad se analiza las siguientes variables:

- La disponibilidad de inversión inicial para los estudios definitivos, así como financiamiento para la etapa de construcción y operación y mantenimiento. Debería ser brindado por el gobierno central del Perú.
- En caso sea necesario se realizará un préstamo a la banca de tal manera que el proyecto tenga más posibilidades de financiamiento.

6.5. Impacto ambiental

Como se planteó en los fines del objetivo central se plantean ambas alternativas libres del uso de combustible fósil. Es decir, usar energía eléctrica generada hidráulicamente en su mayoría por lo tanto se evitará la emisión de GEI u otros gases nocivos para la salud, así como el evitar polución que da un mal aspecto a la ciudad.

Caso especial es el metro pesado, el cual al ser subterráneo brinda el beneficio adicional de la eliminación del efecto barrera, es decir permitir a los peatones transitar libremente sin encontrarse con la ruta de una línea de transporte masivo que lo obligue a tomar otro camino.¹³

En conclusión, tanto el LRT 1 y el metro pesado, son factibles desde el punto de vista ambiental. Ver Cuadro N°71 y N°72

Impacto	Magnitud	Acción
Etapa de construcción		
Trazado de metro por debajo de edificios	Moderado	Reforzamiento de túnel por zonas con gran carga de edificación.
Interferencia con el acuífero	Leve	Plan de desvío de aguas subterráneas y drenaje
Contaminación del agua subterránea	Leve	
Ruidos constantes de maquinarias y equipos	Alto	Plan en conjunto con la municipalidad para comunicación a la población cercana
Contaminación del aire por las maquinarias	Alto	Plan de manejo ambiental
Contaminación del suelo	Leve	Plan de manejo ambiental
Aumento de demanda de mano de obra	Alto	Difusión de los puestos de trabajo
Traslado de material excedente	Alto	Plan de manejo de material excedente
Etapa de operación		
Vibraciones por tránsito de metro	Leve	Diseño de rieles con amortiguadores, comunicación a la población cercana
Contaminación del agua subterránea	Moderado	Plan de desvío de aguas subterráneas y drenaje
Efecto pantalla sobre aguas subterráneas	Moderado	
Contaminación del aire	Nulo	Cero emanaciones de GEI, energía eléctrica
Desarrollo económico	Alto	Normativa de municipalidad para ordenar el desarrollo generado
Incremento del valor de predios	Moderado	Fiscalización de precio por parte de las municipalidades
Creación de nuevos puestos de trabajo	Alto	Difusión de los puestos de trabajo
Reducción de espacio en la vía	Nulo	Aprovechamiento para ciclovías u otros medios de transporte
Accidentes de tránsito	Nulo	Disminución de accidentes de tránsito al ser subterráneo
Reasentamiento de población	Alto	Plan de reasentamiento en conjunto con la municipalidad

Cuadro 71
Matriz de impacto ambiental del Metro Pesado
Fuente: EIA de Línea 2

Impacto	Magnitud	Acción
Etapa de construcción		
Cruce de vía a nivel	Alto	Plan de semaforización con el LRT como prioridad en los cruces
Ruidos constantes de maquinarias y equipos	Alto	Plan en conjunto con la municipalidad para comunicación a la población cercana
Contaminación del suelo	Leve	Plan de manejo ambiental
Contaminación del aire por las maquinarias	Alto	Plan de manejo ambiental
Aumento de demanda de mano de obra	Alto	Difusión de los puestos de trabajo
Etapa de operación		
Vibraciones por tránsito	Alto	Diseño de rieles con amortiguadores, comunicación a la población cercana
Contaminación del aire	Nulo	Cero emanaciones de GEI, energía eléctrica
Cruce de vía a nivel	Alto	Plan de semaforización con el LRT como prioridad en los cruces
Desarrollo económico	Alto	Normativa de municipalidad para ordenar el desarrollo generado
Incremento del valor de predios	Moderado	Fiscalización de precio por parte de las municipalidades
Creación de nuevos puestos de trabajo	Alto	Difusión de los puestos de trabajo
Reducción de espacio en la vía	Nulo	Aprovechamiento para ciclovías u otros medios de transporte
Deploro del paisaje urbano	Nulo	LRT de un aspecto más moderno
Accidentes de tránsito	Leve	Posibles accidentes al ser metro a nivel sin barrera de separación
Reasentamiento de población	Nulo	No habrá ya que se usará vías existentes.

Cuadro 72
Matriz de impacto ambiental del Metro Ligero
Fuente: EIA de la línea 2

6.6. Plan de implementación

Se presentarán las actividades a realizar las cuales deberán estar vinculadas cronológicamente siendo condiciones para la siguiente etapa. A grandes rasgos se puede separar en dos fases: Pre-operativa y operativa. Se presenta la secuencia de cada alternativa:

Etapas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A25
Elaboración de Estudio de Factibilidad	█								
Proceso de selección y contratación de Expediente Técnico	█								
Elaboración de Expediente Técnico		█							
Proceso de contratación de obra			█						
Ejecución y supervisión de Obra				█	█	█			
Mantenimiento rutinario y preventivo						█	█	█	█

Cuadro 73
Plan de implementación del Metro Pesado
Fuente: Elaboración propia

Etapas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A25
Elaboración de Estudio de Factibilidad	█								
Proceso de selección y contratación de Expediente Técnico	█								
Elaboración de Expediente Técnico		█							
Proceso de contratación de obra			█						
Ejecución y supervisión de Obra				█	█				
Mantenimiento rutinario y preventivo						█	█	█	█

Cuadro 74
Plan de implementación del Metro Ligero
Fuente: Elaboración propia

Nota: A# significa año número #

6.7. Financiamiento

Se prevé el financiamiento del proyecto mediante recursos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones en conjunto con la Municipalidad Metropolitana de Lima.

- Alternativa N°1:
Metro Pesado Inversión inicial: 413'350,000 millones de dólares americanos.

- Alternativa N°2:
Metro Ligero LRT 1. Inversión inicial: 200'710,000 millones de dólares americanos.

6.8. Aspecto Legal

Tanto el LRT como el metro pesado se registrarán bajo el Reglamento Nacional de Ferrocarriles mediante el Decreto Supremo N° 008 – 2013 – MTC.

Institucionalmente formaría parte de la nueva Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (ATU), el cual es el encargado de integrar de la mejor manera con el resto del transporte público como los buses, línea 1, la futura línea 2 y transportes menores.

La supervisión de la operación generalmente es también por la ATU e informaría cualquier observación que no se ajuste a las especificaciones y cláusulas de un futuro contrato.

6.9. Selección de alternativas

En resumen, se tiene que desde el punto de vista técnico ambas alternativas logran un resultado similar de mejora de calidad de viaje con reducción de tiempo hasta de un 47% menos.

En materia económica, se tiene como era de esperarse que el metro pesado tendrá un costo de aproximadamente 106% más que el LRT en el tramo planteado.

Luego del análisis de rentabilidad se obtuvo un mejor valor actual neto con el metro ligero que a lo largo de su vida útil económica de 30 años retorna valores positivos considerando un pasaje igual al de El Metropolitano y la demanda proyectada que se calculó en capítulos anteriores.

Ambientalmente ambas alternativas cumplen los objetivos planteados, siendo el metro pesado mejor debido al ahorro de espacio que brinda.

A continuación, se muestra un cuadro con el resumen de ambas alternativas:

Características	Metro Pesado	Metro Ligero LRT 1
Longitud (km)	6.21	6.38
# Estaciones	5	10
Ancho de vía (mm)	1435	1435
Costo (MUSD\$)	413.55	200.71
Expediente	55.11	29.73
Infraestructura	275.57	148.67
Contingencia	82.67	22.30
Tiempo de viaje (min)	17.9	18.6
Vel. de operación (km/h)	38.1	26.1
VAN (MUSD\$)	170.67	268.10
TIR (%)	25.30	41.87

Cuadro 75
Cuadro resumen de alternativas
Fuente: Elaboración propia

En comparación con otros metros urbanos de Latinoamérica se tiene:

Líneas	Longitud (km)	Costo por km (MUSD\$)
Alt.1 Metro Pesado	6.21	66.56
Alt. 2 Metro Ligero	6.38	31.46
Proyección de situación actual	6.38	(O&M) 3.74
L1 Bogotá	27.00	281.5
L4 Río de Janeiro	16.00	250.0
L5 Sao Paulo	11.50	201.0
L3 Santiago de Chile	24.60	76.3
L6 Santiago de Chile	15.00	72.0
L1 Quito	22.00	68.2

Cuadro 76
Comparación de costo por km con otras líneas de
Latinoamérica

CONCLUSIONES

1. En el tramo en estudio: Estación Caquetá – Naranjal se logró disminuir los tiempos de espera y gastos en operación y mantenimiento, así como mitigar efectos ambientales mediante la implementación del sistema de transporte masivo Tren Ligero usando la misma ruta y tarifa.
2. Los tiempos de espera de El Metropolitano ($t=38\text{min}$) en el tramo estudiado son altos respecto a medios de transportes de ciudades extranjeras y a los sistemas de transporte masivos planteados ($t=18.6\text{ min}$). Asimismo, el tiempo de viaje del actual BRT es mayor a las alternativas planteada.
3. De acuerdo a lo sustentado en el subcapítulo 5.4.3, es posible implementar un Tren Ligero LRT en la vía actual de El Metropolitano desde la estación Caquetá hasta la estación Naranjal desde el punto de vista técnico y económico.
4. El valor actual neto generado después de realizar la simulación de flujo de caja de la alternativa N°1 Metro Pesado bajo las consideraciones descritas en la evaluación financiera es inferior al final del ciclo de vida económico que la alternativa N°2 Tren Ligero que es rentable lo cual significa que no necesitará subvención por parte del Estado.
5. Los efectos ambientales causados por los sistemas de transporte masivo alternativos planteados son menores a los actuales debido principalmente a la electricidad como fuente de energía en la etapa de operación.

RECOMENDACIONES

1. Con el fin de mantener estos bajos tiempos de espera se recomienda evaluar la implementación de sensores en las intersecciones semaforizadas para que se brinde siempre prioridad al metro ligero LRT 1 frente a cualquier otro sistema.
2. Es posible trasladar estos bajos tiempos de espera y viaje a otro tramo de El Metropolitano, para ello se recomienda hacer un análisis del desempeño del LRT en la zona central de la ruta de El Metropolitano. Del mismo modo, en la zona sur, desde estación Matellini hasta estación Balta.
3. Al encontrar viable la alternativa del LRT Tren Ligero sería conveniente estudiar el intercambio modal entre las rutas alimentadoras de buses y el nuevo metro ligero en la Estación Naranjal.

4. Se recomienda evaluar la influencia de la futura Línea 3 del metro de Lima en el LRT planteado e identificar el área de influencia, demanda, oferta y conexión modal entre ambos sistemas ferroviarios y la línea 2.
5. A pesar de encontrar viable económicamente el proyecto se pueden disminuir costos de mantenimiento por lo cual se recomienda utilizar el espacio dejado en alguna actividad económica rentable.
6. Es recomendable calcular el gasto energético de la alternativa LRT Tren Ligero en el tramo estudiado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (2013). Encuesta de recolección de información básica del transporte urbano en el área metropolitana de Lima y Callao. Lima, Perú.
2. Alfred Satchell et al. (2018). Installation of rigid overhead catenary in crossrail tunnels. Recuperado de <https://learninglegacy.crossrail.co.uk>. United Kingdom
3. Alstom (2020). Citadis range: The reference in urban and suburban transport. Recuperado de <https://www.alstom.com>. France.
4. Alstom. Noticias y prensa. Recuperado de <https://www.alstom.com/press-centre/2006/1/ALSTOM-supplies-metro-cars-to-Argentina-20060112>. Francia.
5. American Public Transport Association (2003). "This is Light Rapid Transit". Washington D.C., USA.
6. Banco Interamericano de Desarrollo. Estudio Comparativo de Tres Proyectos de Transporte Urbano Apoyados por el BID. Office of Evaluation and Oversight. Washington D.C. 2015
7. CAF (2010). Análisis de la movilidad urbana espacio, medio ambiente y equidad. Colombia.
8. California State University Long Beach (2011). Evaluating of feasibility of Electrified Rail at the Port of LA/LB. CA-USA.
9. Centro de Investigación Sísmica y Mitigación de Desastres (2011). Microzonificación sísmica. Lima-Perú.
10. Cervero, Robert. (2013). Bus Rapid Transit (BRT): An Efficient and Competitive Mode of Public Transport. University of California, USA.

11. Comisión Transporte. Transantiago 2017. Colegio de Ingenieros de Chile. Santiago de Chile, Chile 2017.
12. Correa Prats, Pastor (2010). Presentación Metro de Santiago de Chile. Bogotá.
13. Environmental Resources Management. Análisis Complementario al Estudio de Impacto Ambiental Semi Detallado del Proyecto “Construcción de la Línea 2 y Ramal Av. Faucett-Av. Gambetta Básica del Metro de Lima y Callao. Lima, Perú.
14. Erich Villavicencio (2018). Apuntes de clase de curso Ferrocarriles. Rimac, Lima, Perú.
15. Fernando Segués (2008). Ruido de tráfico. Ferrocarriles. España
16. Fundación Transitemos (2018). INFORME DE OBSERVANCIA SITUACION DEL TRANSPORTE URBANO EN LIMA Y CALLAO. Lima, Perú.
17. Google Earth (2020). Recuperado el 02 de julio del 2020 de <https://www.google.es/maps/@-12.0024095,-77.0630254,14z>.
18. Herrera, Gómez, García ¿Por qué Transmilenio en Bogotá está en crisis? Revista Ciudades, Estados y Políticas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia 2018.
19. Hidalgo Darío (2005). Comparación de Alternativas de Transporte Público Masivo – Una Aproximación Conceptual. Colombia.
20. Institute for Transportation and Development Policy (2010). Guía de Planificación de Sistemas BRT. New York, USA
21. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2016). Carta Geológica Nacional a escala 1:100000. Lima – Perú.
22. Instituto Metropolitano Protransporte de Lima (2011). Estudio de pre inversión a nivel de perfil construcción corredor vial de transporte público masivo este – oeste carretera central - Av. Grau - Av. Venezuela, provincia de Lima – Lima. Perú
23. Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). Resultados definitivos del censo 2017. Perú.
24. Jara, Aarón. Transporte público sostenible en Lima. Universidad Nacional de Cataluña. Barcelona, España 2016.
25. Matías León, J.C. (2005). Diseño de Proyectos Viales y Semaforizaciones. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú

26. Matías León, J.C. (2018). Diseño Vial y Tránsito Urbano-AU445. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
27. Melbourne's Train (2005). Victorian Auditor-General's Office (p. 29). Melbourne - Australia.
28. Melis, Manuel. Ferrocarriles metropolitanos tranvías, metros ligeros y metros convencionales. Tercera Edición. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España 2008.
29. Metro de Barcelona (2002). Características Técnicas Principales. Recuperado de <https://wefer.com/>. Barcelona. España.
30. Metro Rail Nagpur (2013). Detailed project report for nagpur metro rail project. Nagpur, India.
31. Ministerio de Economía y Finanzas (2017). Directiva N° 002-2017-EF/63.01 Directiva para la Formulación y Evaluación en el Marco del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones. Lima, Perú.
32. Ministerio de Economía y Finanzas (2019). Marco Macroeconómico Multianual 2017-2019. Lima, Perú.
33. Ministerio del Ambiente. Informe Nacional de Calidad del Aire 2014. Lima, Perú.
34. Motta, Omar. Estudio de Pre-Inversión a nivel de perfil de un proyecto de transporte público Ventanilla-Óvalo Cantolao. (2018) Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Peru
35. ONU. South Yorkshire Passenger Transport Executive (2003). Comparative performance data from French tramways systems. United Kingdom.
36. País Vasco. Estudio Informativo de la nueva red ferroviaria del país Vasco. Corredor de acceso y estación de Bilbao-Abando. Bilbao, España

37. Pardo, Vicente. Costos de Inversión en metros de Latinoamérica. V Encuentro Internacional de Metros. Lima, Perú.
38. Proinversion, Consorcio: ESAN, SERCONSULT, GEODATA. Estudio de preinversión a nivel de factibilidad de la línea 2 y línea 4 del Metro de Lima y Callao. 2013. Lima, Perú.
39. Protransporte. Plan Operativo Institucional 2019. Lima, Perú.
40. República Argentina. Mapa y combinaciones. Recuperado de <https://www.buenosaires.gob.ar/subte/mapa-y-combinaciones>. Argentina.

41. Unión de Concreteras S.A. (2010). Durmientes en concreto pretensado. Especificaciones técnicas: Planta, elevación, cortes. Lima-Perú.
42. Unión Internacional de Transporte Público (2009). Metro, light rail and tram system in Europe. ERRAC Roadmaps - The European Rail Research Advisory Council. EU.
43. University College London - Sintropher. (2015). Innovative technologies for Light Rail and Tram: A European reference resource. London, United Kingdom
44. Vía Libre (2009). Adif instala catenaria rígida en el ramal de acceso a la estación de Francia. Recuperado de <https://www.vialibre.org>. España.
45. Zamora, Campos, Calderón (2013). Bus Rapid Transport (BRT) en ciudades de América Latina, los casos de Bogotá y Curitiba. Universidad Autónoma del Estado de México. México.

ANEXOS

Foto N°1. Toma de datos en Estación Naranjal



Foto N°5. Toma de datos en Estación Pacífico

Foto N°2. Toma de datos en Estación Caquetá

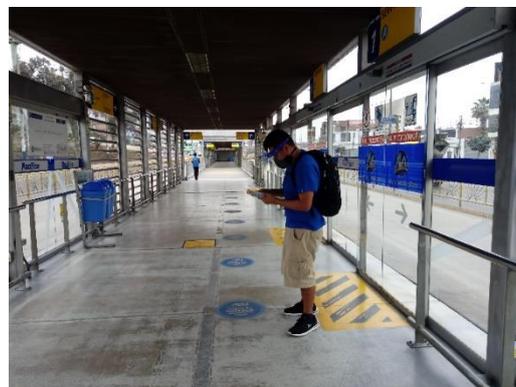
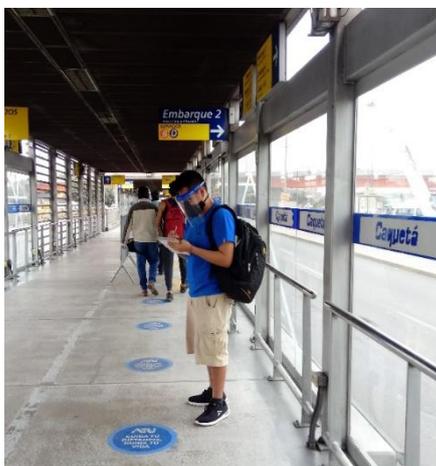


Foto N°6. Falta de demanda en Estación Pacífico. Hora: 12:00 pm

Foto N°3. Toma de datos en Estación UNI



Foto N°4. Conteo de buses Estación UNI

Foto N°7. Toma de datos en Estación Izaguirre.



Foto N°10. Estación Naranjal



Foto N°8. Conteo de buses en UNI



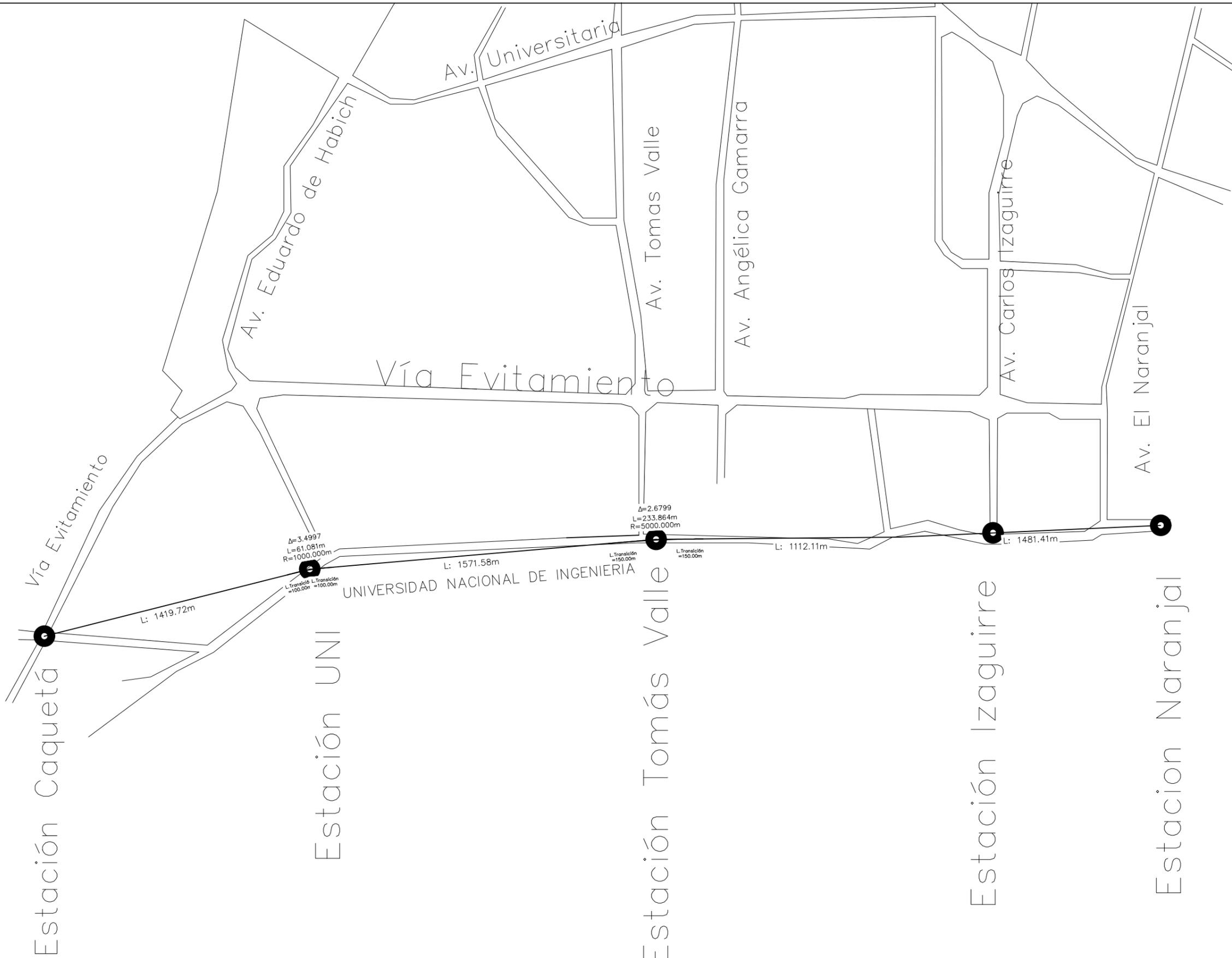
Foto N°9. Medición de tiempo en bus.



Matriz Origen-Destino de la zona de influencia del proyecto.

Distrito Origen	Distrito Destino													
	ATE	BARRANCO	BELLAVISTA	BREÑA	CALLAO	COMAS	CARABAYLLO	INDEPENDENCIA	JESUS MARIA	LA MOLINA	LA VICTORIA	LIMA	LINCE	
ATE	0	0	0	0	0	0	0	1296	0	0	0	0	0	
BARRANCO	0	0	0	0	0	4534	0	1296	0	0	0	0	0	
BELLAVISTA	0	0	0	0	0	0	0	1296	0	0	0	0	0	
BREÑA	0	0	0	0	0	1943	0	3239	0	0	0	0	0	
CARABAYLLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CALLAO	0	0	0	0	0	3239	0	2591	0	0	0	0	0	
CHORRILLOS	0	0	0	0	0	6478	0	3239	0	0	0	0	0	
COMAS	0	1943	0	648	0	9717	1943	7125	2591	1943	4534	1296		
INDEPENDENCIA	0	1943	1296	3239	2591	7125	0	7125	648	2591	25263	1943		
JESUS MARIA	0	0	0	0	0	7125	0	1296	0	0	0	0		
LA MOLINA	0	0	0	0	0	1943	0	648	0	0	0	0		
LA VICTORIA	0	0	0	0	0	7125	0	0	0	0	0	0		
LIMA	0	0	0	0	0	20729	0	11660	0	0	0	0		
LINCE	0	0	0	0	0	1943	0	1296	0	0	0	0		
LOS OLIVOS	0	1296	0	1296	0	7125	0	4534	1296	0	10364	648		
MAGDALENA	0	0	0	0	0	0	0	1296	0	0	0	0		
MIRAFLORES	0	9069	0	0	0	10364	0	7125	0	0	0	0		
PUEBLO LIBRE	0	0	0	0	0	648	0	648	0	0	0	0		
PUENTE PIEDRA	0	648	0	0	0	3887	0	1296	0	0	0	0		
RIMAC	0	648	0	0	0	3887	0	648	3239	648	3239	648		
SAN ISIDRO	0	0	0	0	0	17490	0	3239	0	0	0	0		
SAN JUAN DE LURIGANCHO	0	0	0	0	0	0	0	648	0	0	0	0		
SAN JUAN DE MIRAFLORES	0	0	0	0	0	0	0	648	0	0	0	0		
SAN LUIS	0	0	0	0	0	1296	0	648	0	0	0	0		
SAN MARTIN DE PORRES	0	2591	0	0	648	7773	0	5830	2591	3239	5830	0		
SAN MIGUEL	0	0	0	0	0	648	0	0	0	0	0	0		
SANTA ANITA	0	0	0	0	0	648	0	0	0	0	0	0		
SAN BORJA	0	0	0	0	0	5830	0	4534	0	0	0	0		
SURCO	0	0	0	0	0	2591	0	3887	0	0	0	0		
SURQUILLO	0	0	0	0	0	3887	0	1943	0	0	0	0		
VENTANILLA	0	0	0	0	0	648	0	0	0	0	0	0		
VILLA EL SALVADOR	0	0	0	0	0	1296	0	0	0	0	0	0		
TOTAL DIST. DESTINO	0	18138	1296	5182	3239	139918	1943	79028	7773	5830	8421	49230	4534	

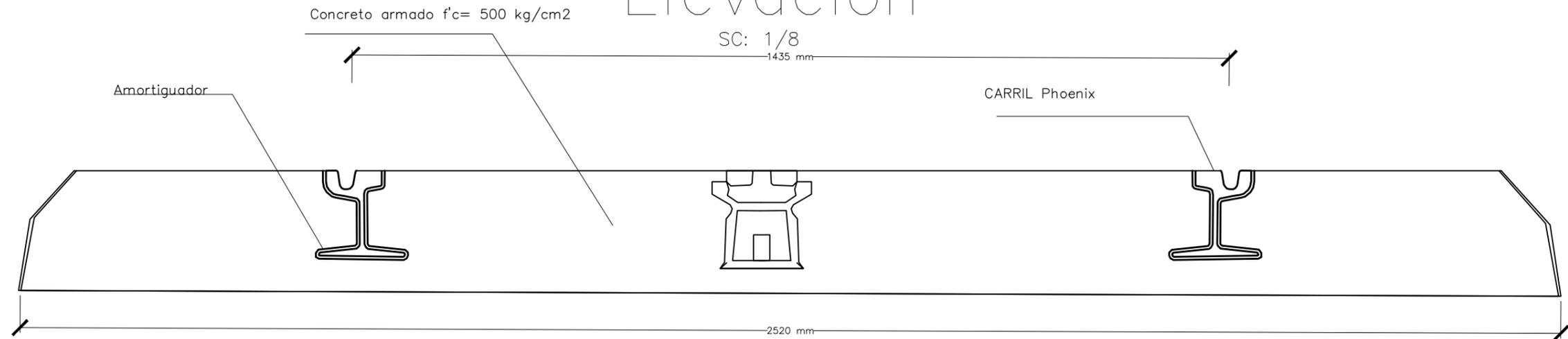
Distrito Origen	Distrito Destino											
	LOS OLIVOS	MIRAFLORES	SUENTE PIEDR	RIMAC	SAN ISIDRO	JAN DE MIRAF	SAN LUIS	MARTIN DE PCSANTA ANITA	SURCO	SURQUILLO	VENTANILLA	DIST. ORIGEN
ATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1296
BARRANCO	0	0	0	648	0	0	1296	0	0	0	0	7773
BELLAVISTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1296
BRÉÑA	1296	0	0	0	0	0	1296	0	0	0	0	7773
CARABAYLLO	648	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	648
CALLAO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5830
CHORRILLOS	8421	0	0	3887	0	0	3887	0	0	0	0	25911
COMAS	1296	4534	648	1943	7125	0	1943	1943	648	3887	0	55708
INDEPENDENCIA	6478	4534	648	0	9069	0	1943	3239	3239	648	648	84858
JESUS MARIA	1296	0	0	3239	0	0	0	0	0	0	0	12955
LA MOLINA	0	0	0	648	0	0	1296	0	0	0	0	4534
LA VICTORIA	1943	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9069
LIMA	3239	0	0	1943	0	0	3887	0	0	0	0	41457
LINCE	648	0	0	648	0	0	0	0	0	0	0	4534
LOS OLIVOS	0	4534	648	0	12308	0	648	0	5182	4534	0	55708
MAGDALENA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1296
MIRAFLORES	1943	0	0	2591	0	0	0	0	0	0	0	31093
PUEBLO LIBRE	648	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1943
PUENTE PIEDRA	1943	0	0	648	0	0	0	0	0	0	0	8421
RIMAC	0	5182	648	0	2591	648	1943	0	0	1943	0	27206
SAN ISIDRO	3887	0	0	1943	0	0	9069	0	0	0	0	35627
SAN JUAN DE LURIGANCHO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	648
SAN JUAN DE MIRAFLORES	648	0	0	648	0	0	648	0	0	0	0	2591
SAN LUIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1943
SAN MARTIN DE PORRES	648	11660	648	1296	15546	0	1296	648	3239	3887	0	67368
SAN MIGUEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	648
SANTA ANITA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	648
SAN BORJA	1943	0	0	1296	0	0	3887	0	0	0	0	17490
SURCO	6478	0	0	0	0	0	2591	0	0	0	0	15546
SURQUILLO	3239	0	0	648	0	0	2591	0	0	0	0	12308
VENTANILLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	648
VILLA EL SALVADOR	0	0	0	648	0	0	0	0	0	0	0	1943
TOTAL DIST. DESTINO	46639	30445	3239	22672	46639	648	3887	39514	12308	14899	648	546069



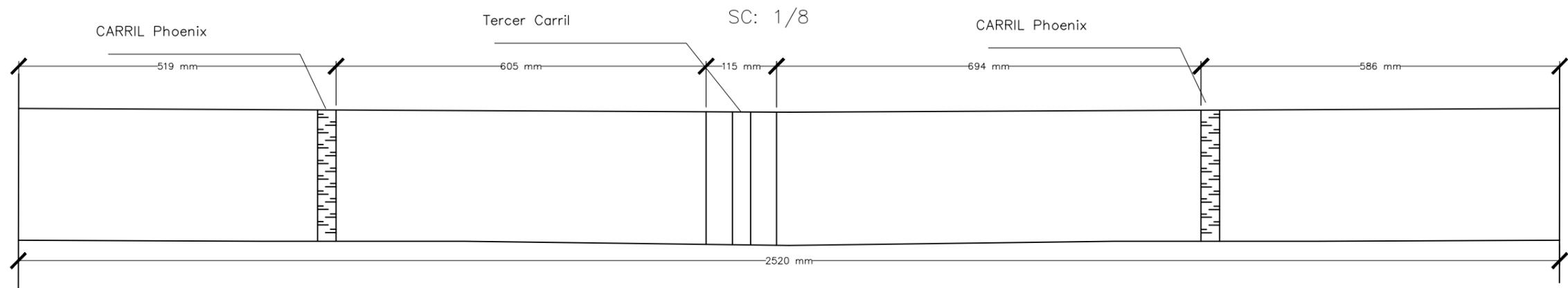
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 Facultad de Ingeniería Civil

PROYECTO:	DISEÑO A NIVEL DE PERFIL DE SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVOS ALTERNATIVOS PARA EL TRAMO ESTACIÓN CAQUETÁ-NARANJAL	
PLANO:	ESQUEMA EN PLANTA DEL METRO	
BACHILLER:	RAMOS HUAMANÍ, Rhomel Alexis	
ESCALA:	1/22000	MP-02

Elevación

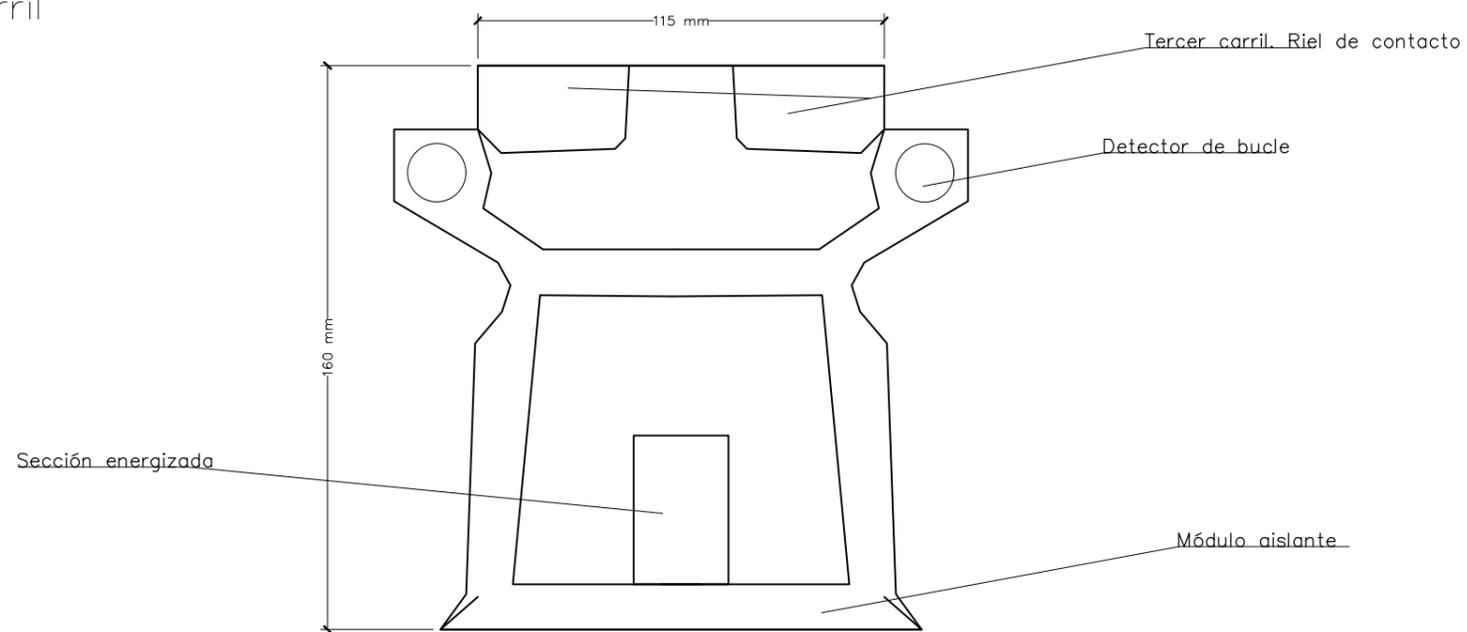


Planta



Detalle Tercer carril

SC: 1/2



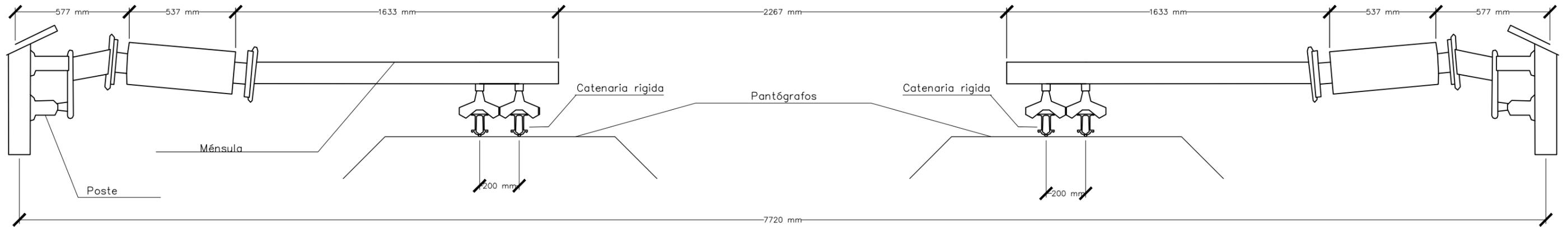
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil

PROYECTO:	DISEÑO A NIVEL DE PERFIL DE SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVOS ALTERNATIVOS PARA EL TRAMO ESTACIÓN CAQUETÁ-NARANJAL	
PLANO:	Detalle de Superestructura	
BACHILLER:	RAMOS HUAMANI, Rhomel Alexis	
ESCALA:	Varios.	

ML-05

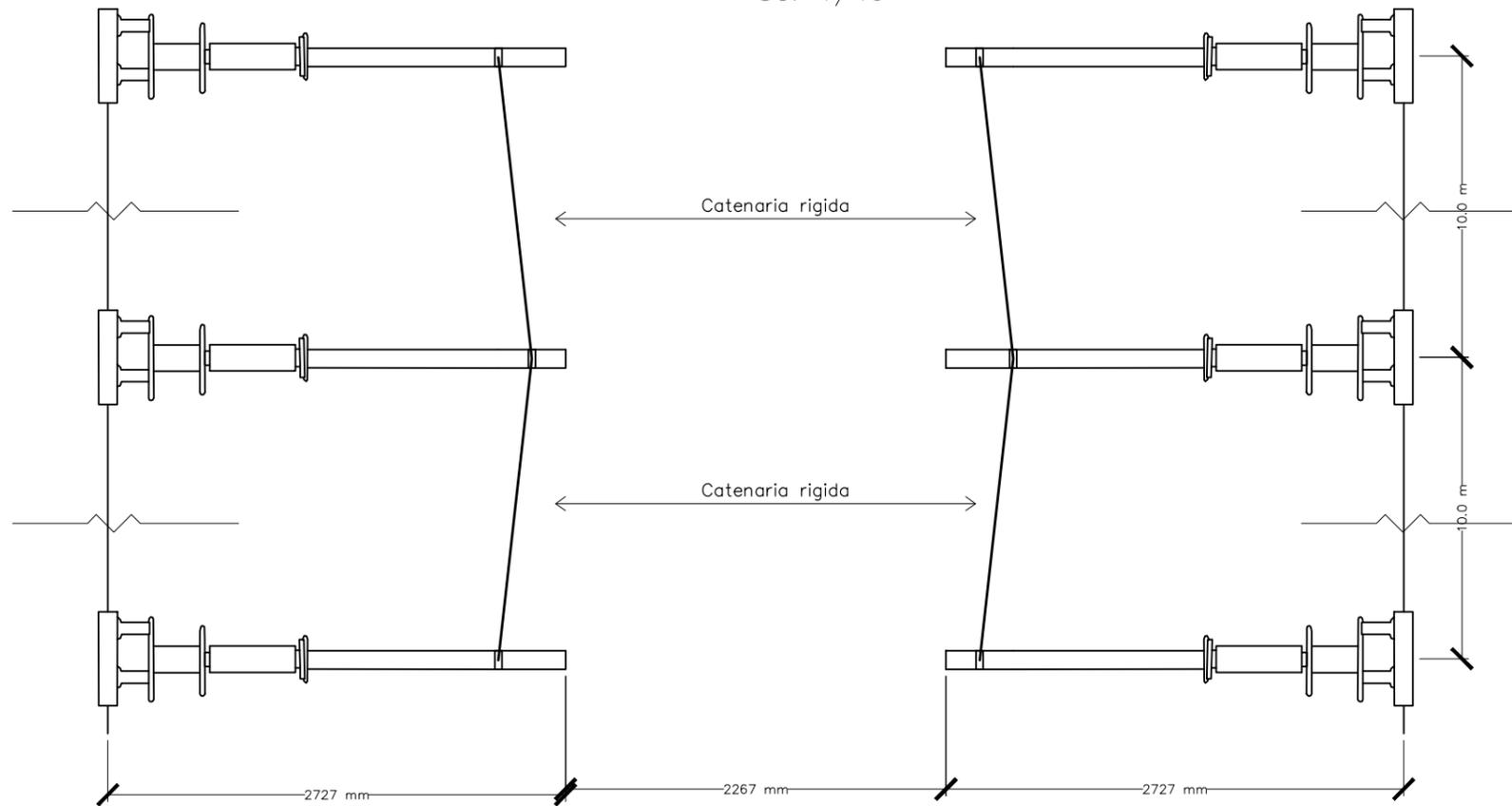
Elevación

SC: 1/20



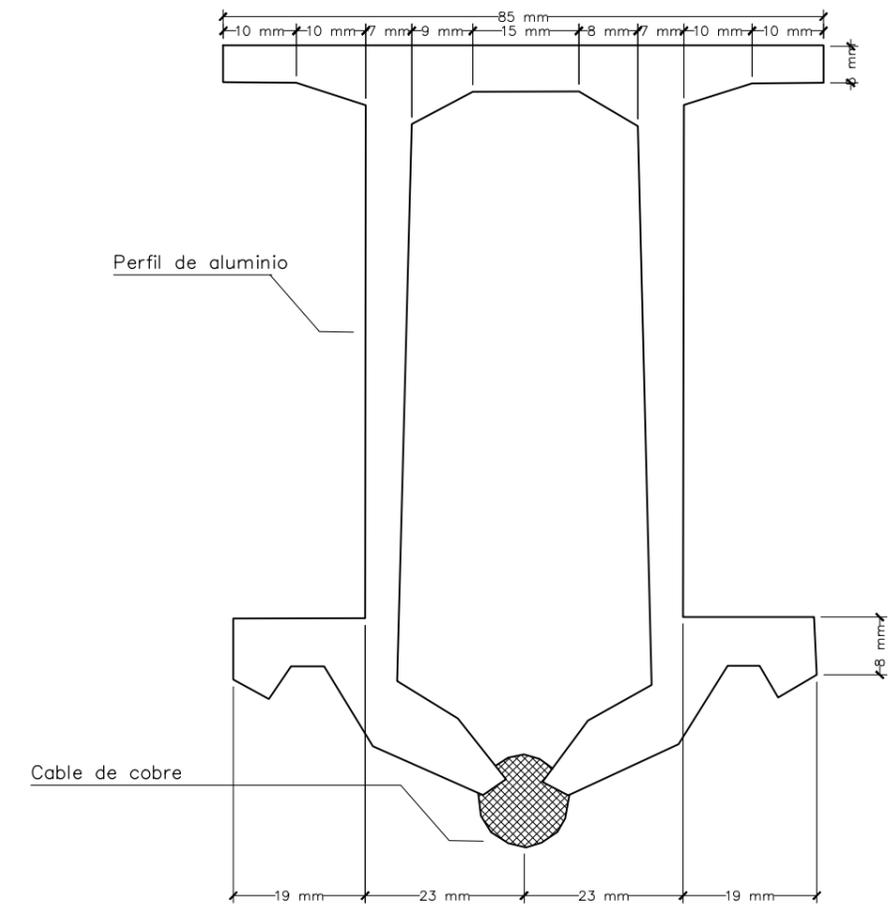
Planta

SC: 1/40



Sección transversal de catenaria

SC: 1/1

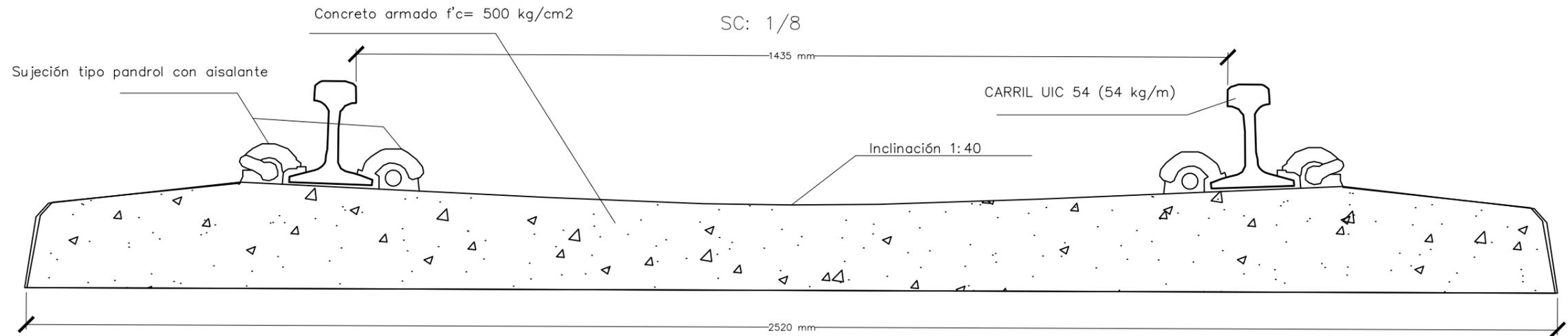


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil

PROYECTO:	DISEÑO A NIVEL DE PERFIL DE SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVOS ALTERNATIVOS PARA EL TRAMO ESTACIÓN CAQUETÁ-NARANJAL	
PLANO:	Detalle de Catenaria Rígida	
BACHILLER:	RAMOS HUAMANI, Rhomel Alexis	
ESCALA:	Varios.	MP-06

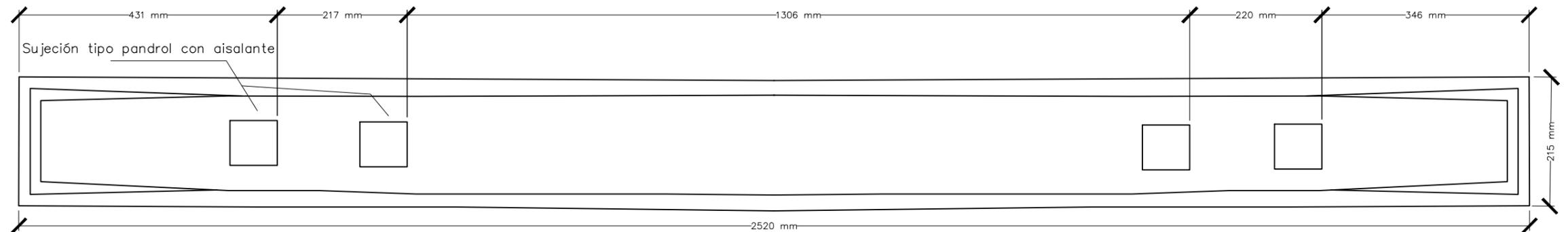
Elevación

SC: 1/8



Planta

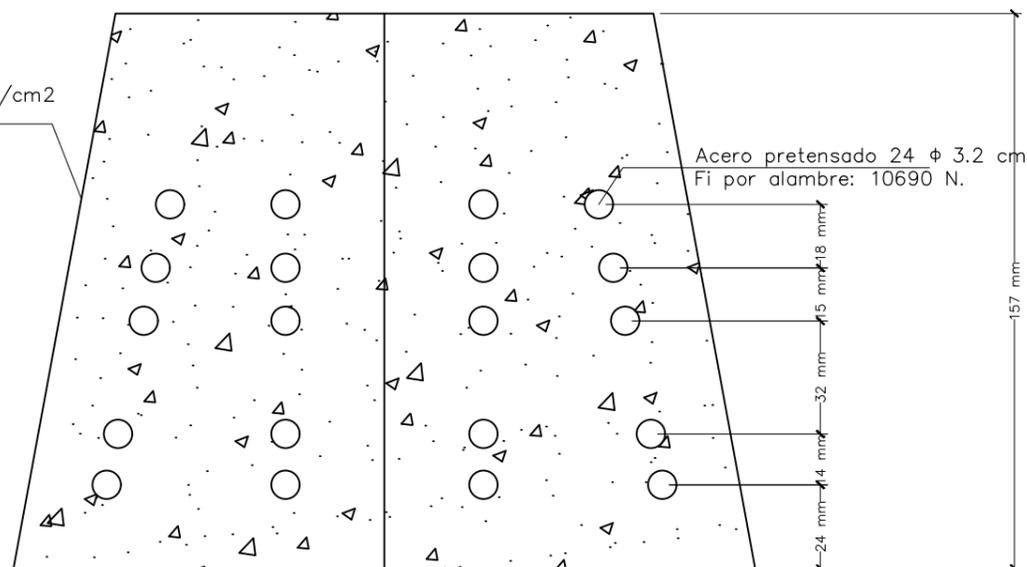
SC: 1/20



Sección transversal de durmiente

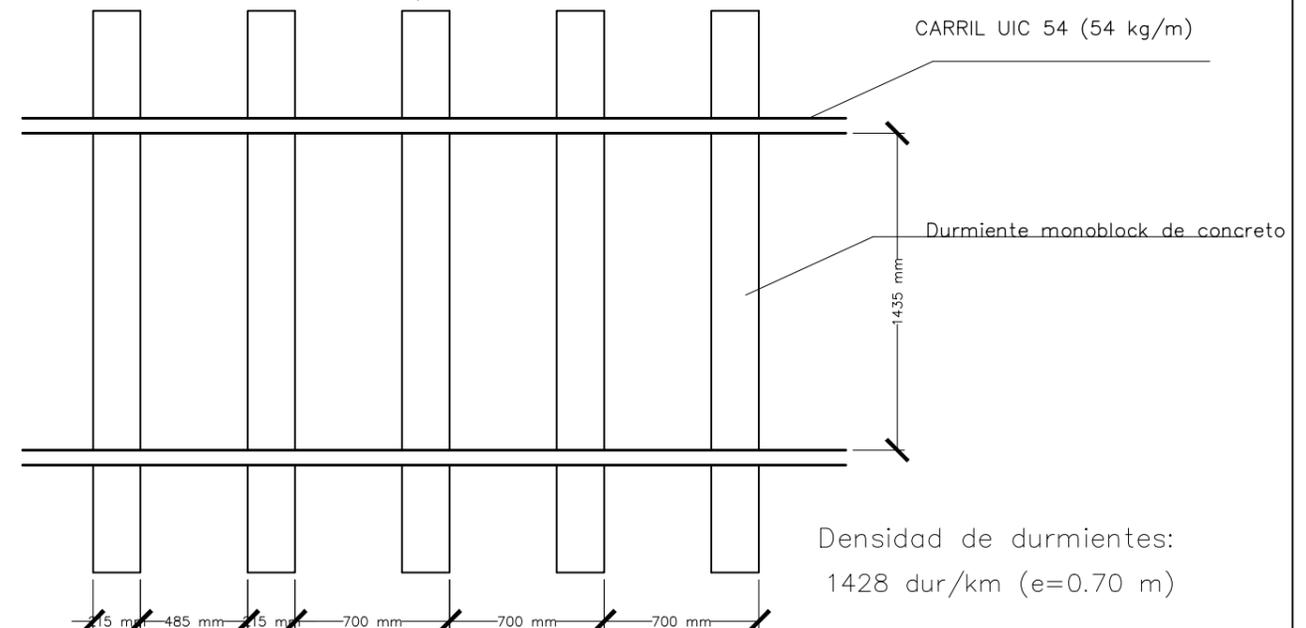
SC: 1/2

Concreto armado $f'c= 500 \text{ kg/cm}^2$



Densidad de durmientes

SC: 1/32



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil

PROYECTO:	DISEÑO A NIVEL DE PERFIL DE SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVOS ALTERNATIVOS PARA EL TRAMO ESTACIÓN CAQUETÁ-NARANJAL	
PLANO:	Detalle de durmiente (Diseño de Ing. Hector Gallegos)	
BACHILLER:	RAMOS HUAMANI, Rhomel Alexis	
ESCALA:	Varios.	MP-05



MATERIAL MÒBIL

UNITAT DE TREN s.9000 FCMB

Característiques i dimensions

UT-18

Unitat de Tren ALSTOM METROPOLIS™

Pàgina 1 de 1



	Unitat	MA1	MB2	R	MB1	MA1
Ample de via	127 (5")					
Escala	1:11					
Pes en servei ³	233,5 ¹ 268,6 ²	39,2 ¹ 46,2 ²	35,0 ¹ 42,0 ²	35,8 ¹ 42,8 ²	41,4 ¹ 48,4 ²	82,2 ¹ 89,2 ²
Velocitat màxima	7,5 km/h					
Longitud entre enganxalls	7960	1648	1444	1444	1444	1648
Enganxalls (FCAF - ENG 1 001)		1				1
Distància entre pivots		1030	1030	1030	1030	1030
Empat del bogi		212	212	212	212	212
Amplada	266 ¹ 384 ²					
Alçada	324 ¹ 440 ²					
Número de bogies	10	2	2	2	2	2
Disposició d'eixos (UIC 650)		2'-2'	2'-2'	2'-2'	Ao1'-1Ao'	Ao1'-1Ao'
Diàmetre rodes	76					
Perfil de roda	FCAF ROD 0 001					
Radi mínim	4,0 m					
Motors de tracció	800 w				2x200 w	2x200 w
Relació de transmissió					5,83:1	5,83:1
Transmissió					Corretja dentada	Corretja dentada
Sentit de marxa	Bidireccional al 100%					
Tensió de servei	24 V					
Suspensió primària	goma					
Suspensió secundària	molles					
Càrrega màxima (~)	560 kg	120 kg	120 kg	120 kg	120 kg	80 kg
Bateries						2 x 12V 62A/h
Regulador						Chopper 24V 75A
Fre						Resistència
Megafonia		●		●		●
Senyalització		Leds blancs i vermells				Leds blancs i vermells
Indicador ATO		Led blau				Led blau

1 – Formació de modelisme. 2 – Formació per a viatgers. 3 – Vagó K d'acompanyament = 19,8 kg.
(Presentació 28.nov.09) Entrada en servei: Fondo (Sta. Coloma de Gramanet) [L1-L9] 13.des.09.

CITADIS Dualis™

Speed and smoothness from the city centre to the suburbs

> The challenge

The urban fabric now extends beyond the confines of the city centre. The CITADIS Dualis has been designed to provide a link between two worlds - the urban and the peri-urban - smoothly and without the need to offload.

> The concept

Based on the CITADIS tramway, the Dualis version reflects a number of its key features: modularity, accessibility – thanks to its integral low floor – and reliability. But Dualis takes things to the next level because it can operate just as happily on a tramway network as on a regional railway network, thanks to power supply voltages that are compatible both with the overhead lines used on regional tracks and those serving urban networks (25kv/750v or 1,500v/750v). It also benefits from KVB signalling that allows for a progression to ERTMS and wheels that are adapted both to tramway lines and regional railway tracks.

Reconfigured to operate on the same lines as regional trains, Dualis boasts some of Alstom Transport's most recent innovations: new bogies equipped with axles that provide improvements in comfort and operation, plus particularly compact and light permanent magnet motors, tested on Speed Record Train.

Dualis also incorporates some of the technological advances developed for the Regio CITADIS tram-train, including fold-out coupling that provides better cushioning from bumps occurring in stations and a reinforced structure to protect against impact that complies with the very latest safety standards.

> Key figures

- **Width:** Between 2.4 and 2.65 m
- **Length:** Between 32 and 52 m
- **Height:** 3370 mm on the rail
- **Capacity:** from 251 to 292 passengers
- **Orders:** 31 trainsets and 169 on option (SNCF, 2007)
- **Top speed:** 100 km/h



The Citadis Dualis sold to SNCF in 2007



Modularity of the interior design