

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA ESTACIÓN BRT EN LA AV. ANGAMOS
(LÍNEA 6) A PARTIR DE LA EXPERIENCIA DEL METROPOLITANO DE LIMA**

Tesis para optar el título profesional de INGENIERO CIVIL

AUTORES:

Abel André Pacheco Tarazona

Arturo Leonardo Manrique Zegarra

ASESOR:

Fernando José Campos De la Cruz

Lima, febrero, 2020

RESUMEN

En la ciudad de Lima, el transporte público convencional es el modo más utilizado por la población, y en menor medida el transporte público masivo de calidad; en general, el transporte público de Lima solo es un conjunto de modos y empresas independientes. En la actualidad, los sistemas de transporte público de calidad operativos son el BRT (Buses de tránsito rápido) Metropolitano, la Línea 1 del Metro de Lima, y de forma complementaria los corredores del SIT (Sistema integrado de transporte). Sin embargo, incluso en estos modos planificados, el nivel de integración física y tarifaria aún no ha sido alcanzado por completo.

Dado el déficit de transporte público masivo de calidad en Lima, y en concordancia con el Decreto Supremo N° 009-2013-MTC y N° 059-2010-MTC (Red Básica del Metro de Lima), la presente tesis propone evaluar la factibilidad de un sistema BRT en el eje de la Línea 6, la cual recorre la Av. Angamos, importante centro de actividades de la ciudad. La propuesta se centra en mejorar las deficiencias que tiene el transporte público convencional de la zona de estudio, y en promover la interconexión entre el Metropolitano y la Línea 1, los cuales son corredores paralelos.

Debido a la complejidad que representa modelar todo un sistema BRT, en esta tesis se plantea de manera exploratoria el diseño de una sola estación que represente a la línea que recorre la Av. Angamos; la cual se conectará peatonalmente con la estación Angamos de la Línea 1. El diseño del proyecto se basa en el análisis de las características y experiencias del BRT Metropolitano, en manuales, y en estándares de diseño internacionales. De esta forma se contribuye a incrementar la cantidad de kilómetros de BRT (actualmente de 0.34 km/10⁵ hab) para atender la demanda frente a otras ciudades. (en el orden de 1.00 a 1.50 km/10⁵ hab).

Para modelar el comportamiento de los vehículos, peatones e implementar el BRT en la intersección de las avenidas Angamos y Aviación, se utilizó el programa VISSIM 8. Los resultados mostraron una reducción en 5% del tiempo de viaje de los vehículos particulares. Además, para la demanda estimada (3620 pp/h) en la estación, no se originó hacinamiento. Por otro lado, el tiempo utilizado por un usuario que sale del tren hacia al paradero del BRT se redujo en un 34 % respecto al trasbordo desde el tren al transporte público convencional actual. Esto se debe a la utilización del puente peatonal. Esto permite una conexión directa y evita las paradas en semáforos; de esta manera, se consigue la integración tarifaria y operativa.

La implementación de la estación BRT requiere el rediseño de la intersección. Se considera implementar cruces peatonales de 4.0 m de ancho y rampas del mismo ancho; prohibir de giros a la izquierda en la Av Angamos y reducir el número de carriles de 2 a 1 en la vía de giros directos de la Av. Angamos hacia la Av. Aviación pues presenta un grado de saturación de 32% y con la medida pasa a ser utilizada en un 63% de su capacidad.

Finalmente, se ha considerado el rediseño tanto de los ciclos semafóricos vehiculares y peatonales en base a los flujos medidos en campo. El diseño del ciclo semafórico peatonal considera las distancias máximas a recorrer por las personas al cruzar las vías y la velocidad del usuario más desfavorable.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme seguir cumpliendo mis sueños.

*A mi madre, mi gran amor, por su esfuerzo, ejemplo, apoyo incondicional y amor infinito.
Siempre estaré orgulloso de ti, mamita. Eres lo más grande y mi fortaleza.*

A mi padre, por su apoyo, ejemplo, comprensión y hacerme mirar lejos. Gracias por enseñarme a superarme, papá.

A mis abuelitos, Máximo, Mamá Chia y Mimi por cuidar mis pasos y creer en mí. Sé que desde arriba me siguen sonriendo.

A mi abuelito, Ricardo, por ser mi ejemplo de valentía y por su gran amor hacía mí y mi hermana.

A mi hermanita, Kathy, por ser mi compañera de aventuras.

A mi tía Zahid y Leo Villegas, por su apoyo y confiar en mí.

A mi compañero Arturo Manrique, por su amistad, ejemplo de dedicación y por permitirme compartir y desarrollar este proyecto.

A Male, por acompañarme siempre en los últimos 5 años de mi vida universitaria

Al Ing. Fernando Campos por su apoyo constante y su vocación de servicio.

Abel André Pacheco Tarazona

Agradezco a Dios; a mis padres, Arturo y Aida; a mi hermana, Johanna y mi tía Lucía por su apoyo incondicional y esfuerzo a lo largo de estos años.

A mi compañero André, por haberme brindado su amistad, motivación y seguridad en los últimos años de universidad y en el desarrollo de este proyecto.

Aturo Leonardo Manrique Zegarra

ÍNDICE GENERAL**ÍNDICE DE TABLAS**

vi

ÍNDICE DE FIGURAS

vii

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1

1.1. Realidad problemática

1

1.2. Objetivos

1

1.2.1. Objetivo general

1

1.2.2. Objetivos específicos

1

1.3. Justificación

2

1.4. Alcances y limitaciones

3

1.5. Metodología

3

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

5

2.1. Características de un sistema de buses de tránsito rápido (BRT)

5

2.2. Beneficios de los BRT

8

2.3. Antecedentes

12

2.3.1. Red Integrada de Transporte-Curitiba

12

2.3.2. Transmilenio - Bogotá

17

2.3.3. Metrobus - Ciudad de México

20

2.4. Elementos de las estaciones de un sistema BRT

23

2.4.1. Plataformas y áreas de carga del bus

24

i Plataformas

24

ii Áreas de carga del bus

24

2.4.2. Pago de tarifa y verificación

24

2.4.3. Sistemas de información en los sistemas BRT

24

i Identificación de la estación

25

ii Orientación dentro de la estación

25

iii Información de servicios

25

iv Información estática para los pasajeros

25

v Información dinámica para el pasajero

26

vi Promover información para el pasajero

26

2.4.4. Elementos adicionales en Estaciones

27

2.5. Movilidad accesible orientada a los sistemas de transporte público

27

2.5.1. Requisitos técnicos para un transporte público accesible

27

2.6. Modelos de simulación

34

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL METROPOLITANO | 36 |
| 3.1. Observación y recolección de información en campo de cuatro estaciones del Metropolitano | 36 |
| 3.2. Análisis del Metropolitano | 37 |
| 3.3. Selección e interpretación de encuestas | 45 |
| CAPÍTULO 4. DISEÑO DE LA ESTACIÓN | 49 |
| 4.1. Ubicación propuesta | 49 |
| 4.2. Consideraciones de diseño y dimensionamiento de elementos | 55 |
| 4.3. Tipo de estación | 59 |
| 4.4. Integración con otros modos de transporte | 60 |
| 4.5. Plataformas y áreas de carga del bus | 61 |
| 4.6. Carriles | 66 |
| 4.7. Diseño accesible en la estación | 67 |
| 4.7.1. Información | 67 |
| 4.7.2. Mobiliario | 68 |
| 4.7.3. Diseño accesible de elementos a nivel | 68 |
| 4.7.4. Diseño accesible de elementos a desnivel | 70 |
| 4.8. Dispositivos semafóricos | 72 |
| 4.9. Rediseño de la avenida Angamos | 80 |
| 4.10. Evaluación del BRT Standart | 85 |
| 4.11. Modelamiento | 86 |
| CONCLUSIONES | 95 |
| RECOMENDACIONES | 100 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 101 |
| ANEXO 1 | 107 |
| ANEXO 2 | 114 |
| ANEXO 3 | 118 |
| ANEXO 4 | 122 |
| ANEXO 5 | 123 |

| | |
|-----------------|------------|
| ANEXO 6 | 124 |
| ANEXO 7 | 127 |
| ANEXO 8 | 134 |
| ANEXO 9 | 136 |
| ANEXO 10 | 137 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2-1: Ahorro de tiempo en comparación con el tráfico particular | 11 |
| Tabla 2-2: Recorridos máximos según el grupo peatonal al que pertenecen | 28 |
| Tabla 2-3: Clasificación de modelos | 34 |
| Tabla 2-4: Parámetros del modelo de Wiedemann 1974 | 35 |
| Tabla 2-5: Parámetros del modelo de Fuerza Social | 35 |
| Tabla 3-1: Dimensiones de las estaciones visitadas | 37 |
| Tabla 3-2: Frecuencia de buses en minutos en la estación Javier Prado en hora punta | 43 |
| Tabla 3-3: Nivel de satisfacción del transporte público en Lima | 48 |
| Tabla 4-1: Casos que requieren semáforos en cruces peatonales | 56 |
| Tabla 4-2: Casos que requieren cruces de prioridad peatonal | 56 |
| Tabla 4-3: Flujo peatonal en diferentes dispositivos de acceso | 59 |
| Tabla 4-4: Flujos de diseño para la estación | 62 |
| Tabla 4-5: Demanda de pasajeros por hora por dirección | 62 |
| Tabla 4-6: Validaciones en hora punta en cuatro estaciones del Metropolitano | 64 |
| Tabla 4-7: Flujos peatonales medidos | 70 |
| Tabla 4-8: Factor de giro E_{vd} | 74 |
| Tabla 4-9: Factor de equivalencia para vehículos en dirección opuesta (E_{vi}) | 75 |
| Tabla 4-10: Resultados de automóviles directos equivalentes por dirección | 76 |
| Tabla 4-11: Conteo de vehículos que transitan por la Av. Angamos dirección Este – Oeste | 83 |
| Tabla 4-12: Resumen de vehículos que transitan por la vía principal y secundaria | 83 |
| Tabla 4-13: Número de veces que transitan los vehículos por ambos carriles en simultáneo de la vía secundaria | 84 |
| Tabla 4-14: Verificación del cumplimiento del Estándar BRT | 85 |
| Tabla 4-15: Resumen de parámetros estadísticos de los datos recolectados de campo y del modelo | 88 |
| Tabla 4-16: Parámetros del modelo | 89 |
| Tabla 4-17: Resultados del modelo con BRT | 90 |
| Tabla 4-18: Tiempo empleado por los usuarios (VISSIM) | 92 |
| Tabla 4-19: Comparación del tiempo empleado por los usuarios | 93 |
| Tabla 4-20: Tabla resumen de diseño | 94 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1-1:Línea 6 Metro de Lima Fuente: MTC,2013 | 2 |
| Figura 1-2:Vista general de proceso de planificación de BRT | 4 |
| Figura 2-1:Comparación de costos de inversión en sistemas masivos de transporte público Fuente: Mercedes Benz, 2018 | 8 |
| Figura 2-2: Cuatro sistemas de transporte público al mismo costo en Bangkok | 9 |
| Figura 2-3: Incidentes por año en la ciudad de Bogotá | 10 |
| Figura 2-4:Emisiones generados por diferentes medios de transporte público masivo | 12 |
| Figura 2-5: Esquema de corredor BRT: jerarquía vial | 13 |
| Figura 2-6: Red Integrada de Transporte | 14 |
| Figura 2-7: Estación típica en Curitiba | 15 |
| Figura 2-8: Terminales de integración del BRT de Curitiba | 16 |
| Figura 2-9: Vista en planta estación Transmilenio | 18 |
| Figura 2-10: Cicloparqueo en el Transmilenio Fuente: ITDP, 2018 | 19 |
| Figura 2-11: Líneas del TRANSMILENIO | 19 |
| Figura 2-12: Esquema ilustrativo de las estaciones del Metrobús | 22 |
| Figura 2-13: Estación “Doctor Gálvez” del Metrobús, en la que se puede observar el carril exclusivo separado por medio de bordillos Fuente: ITDP, 2018 | 22 |
| Figura 2-14: Líneas del Metrobús | 23 |
| Figura 2-15: Dimensiones del espacio libre para el ingreso de una persona en silla de ruedas | 29 |
| Figura 2-16: Distancia vertical máxima que puede alcanzar una persona en silla de ruedas | 30 |
| Figura 2-17: Anchos requeridos para la movilización de una persona en silla de ruedas | 31 |
| Figura 2-18:Dimensiones requeridas de un elevador para personas en silla de ruedas Fuente: Manual de Accesibilidad Universal, 2010 | 32 |
| Figura 2-19: Ancho de espacios de tránsito para una persona en silla de ruedas | 33 |
| Figura 2-20:Ancho mínimo de puertas | 33 |
| Figura 2-21: Dimensiones de los cruceros peatonales | 34 |
| Figura 2-22: Diagrama del proceso de Micro-simulación | 36 |
| Figura 3-1: Ruta troncal del Metropolitano y los distritos que conecta | 38 |
| Figura 3-2: Esquema del Sistema Integrado de Transporte (SIT) | 39 |
| Figura 3-3: Población, longitud y ratio km/(10 ⁵ habitantes) | 41 |
| Figura 3-4: Hacinamiento de usuario en la Estación Javier Prado | 42 |
| Figura 3-5: Modos de transporte utilizados en el año 2018 Fuente: “Lima Cómo Vamos”, 2018 | 46 |
| Figura 3-6: Uso del Metropolitano en periodo 2011-2018 (Lima) | 47 |
| Figura 3-7: Grado de satisfacción de los usuarios periodo 2015-2017 | 47 |
| Figura 3-8: Conformidad de los usuarios de Lima y Callao con el servicio del Metropolitano respectivamente | 48 |
| Figura 4-1: Principales líneas de sistemas de transporte masivo en la ciudad de Lima actuales y futuras | 49 |
| Figura 4-2: Trazo de la ruta elegida | 50 |
| Figura 4-3: Paradero de la Av. Angamos Este – Oeste | 50 |
| Figura 4-4: Recojo de pasajeros en carril central Av. Angamos | 51 |
| Figura 4-5: Combis/buses que esperan en el carril derecho de la Av. Angamos O-E Fuente: Propia | 51 |
| Figura 4-6: Usuarios que esperan en la calzada | 52 |
| Figura 4-7: Usuarios que cruzan la vía en rojo peatonal | 52 |
| Figura 4-8: Paraderos de los medios de transporte en las avenidas Aviación y Angamos | 54 |

| | |
|---|----|
| Figura 4-9: Ingreso a la estación | 60 |
| Figura 4-10: Ingreso a la estación por medio del puente tren-BRT | 61 |
| Figura 4-11: Esquema de la elipse y dimensiones ocupadas por una persona | 61 |
| Figura 4-12: Flujo peatonal dentro de la estación rampa-bus (S=Salida, E= Entrada, L=ambos) | 63 |
| Figura 4-13: Flujo peatonal dentro de la estación escaleras/ascensor-bus | 64 |
| Figura 4-14: Distribución de torniquetes e ingreso para personas con movilidad reducida | 66 |
| Figura 4-15: Planta de la estación con carriles de sobrepaso | 66 |
| Figura 4-16: Sistemas de señal electrónica | 67 |
| Figura 4-17: Pantallas táctiles – información en tiempo real | 67 |
| Figura 4-18: Mobiliario de recarga automática | 68 |
| Figura 4-19: Tipos de camino podo-táctiles Fuente: Propia | 69 |
| Figura 4-20: Sección transversal de la estación | 69 |
| Figura 4-21: Ingreso a la estación mediante rampa | 70 |
| Figura 4-22: Ubicación de barandas y bonotes del ascensor | 71 |
| Figura 4-23: Detalle de botones del ascensor en braille | 72 |
| Figura 4-24: Distribución propuesta de flujos vehiculares en cada acceso | 72 |
| Figura 4-25: Fases propuestas del semáforo para la Av. Aviación y Angamos | 73 |
| Figura 4-26: Diagrama de fases | 78 |
| Figura 4-27: Ubicación de los puntos de cruce peatonal | 78 |
| Figura 4-28: Ciclo de semáforo para peatones | 79 |
| Figura 4-29: Longitud máxima de cruce peatonal | 79 |
| Figura 4-30: Plano de catastro Av. Angamos con Av. Aviación | 81 |
| Figura 4-31: Rediseño de la avenida Angamos | 82 |
| Figura 4-32: Modelo de la condición actual Fuente: Propia | 86 |
| Figura 4-33: Longitud de calibración Fuente: Propia | 87 |
| Figura 4-34: Herramienta Statkey con tiempos de calibración Fuente: Propia | 88 |
| Figura 4-35: Herramienta Statkey con tiempos de validación | 89 |
| Figura 4-36: Modelo de la situación con la propuesta de BRT | 90 |
| Figura 4-37: Recorrido de un usuario desde la estación del tren hasta paradero de buses más alejado (situación actual) Fuente: Propia | 91 |
| Figura 4-38: Recorrido de un usuario desde la estación del tren hasta la estación BRT proyectada (situación con BRT) | 92 |

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En las grandes ciudades, como es el caso de Lima, el incremento de la población y su necesidad de moverse son factores que contribuyeron al crecimiento del parque automotor, conformado principalmente por vehículos de uso particular (Thomson & Bull, 2002). Esto a su vez genera problemas de congestión en las principales avenidas.

En la ciudad de Lima, según datos del INEI (2018) reside un tercio de la población del país. Sin embargo, pese a la cantidad de población, se cuenta con una baja calidad del transporte público y gran presencia de servicios de transporte informal. Asimismo, la ciudad solo cuenta con dos sistemas de transporte público masivo: el Metropolitano (26 km de un solo corredor de BRT) y una línea de Tren eléctrico.

Estos dos sistemas no se encuentran interconectados ni tarifaria ni operacionalmente: no existe un transporte multimodal. Por otro lado, en la actualidad el servicio brindado por el Metropolitano presenta deficiencias en cuanto a largos tiempos de espera de los usuarios y hacinamiento, lo cual resulta una baja eficiencia del sistema.

Es por este motivo que se ha decidido realizar el presente proyecto, debido a que resulta relevante analizar las características del sistema BRT del Metropolitano. En base a estas observaciones, manuales y estándares de diseño internacionales plantear el diseño de una estación de BRT en un nuevo corredor de manera que esta nueva línea complemente los 26 Km BRT de la ciudad y permita una adecuada interconexión con el tren eléctrico.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar una estación BRT en la intersección de la Av. Angamos y la Av. Aviación, que forma parte de un corredor a lo largo del eje de la futura línea 6, que pueda mejorar la interconexión de modos existentes y reducir el déficit de transporte público masivo de calidad.

1.2.2. Objetivos específicos

- Seleccionar las características de un buen diseño de estación BRT en base a manuales, guías y estándares de diseño.
- Identificar la forma de implementación de sistemas BRT en el mundo y como evolucionaron las estaciones en el tiempo.

- Explorar las necesidades, grado de satisfacción, demanda de los usuarios, y deficiencias en algunas estaciones del Metropolitano.
- Realizar la micro-simulación del estado actual en la intersección de las Av. Angamos y Av. Aviación, y su propuesta de mejora.
- Elaborar el diseño geométrico de la estación de BRT

1.3. Justificación

La propuesta de diseño de la estación se centra en la necesidad de contar con un nuevo corredor de BRT capaz de cubrir las deficiencias presentes del transporte público convencional en la zona de estudio. Así mismo, promueve la interconexión con diversos modos de transporte, debido a que cruza tanto a la línea 1 del tren eléctrico de Lima, al Metropolitano y a corredores complementarios (Corredor azul). Además, contribuye a incrementar la cantidad de kilómetros de línea BRT para la ciudad, lo cual significa una mayor oferta a los usuarios de transporte público.

Según el Decreto Supremo N°009-2013-MTC y N°059-2010-MTC se tiene proyectada la construcción de un sistema de transporte masivo denominado línea 6 de la red de metro de Lima que recorrerá las avenidas de la zona de estudio: Angamos - Primavera.



Figura 1-1: Línea 6 Metro de Lima
Fuente: MTC, 2013

Sin embargo, el tiempo necesario para su implementación e inversión es mayor que en el caso de un sistema BRT. Esto se puede evidenciar en la construcción de la Línea 2 del Metro de Lima, la cual inició en el año 2014. Inicialmente el plazo máximo para su construcción fue de 1860 días calendarios, equivalente a aproximadamente 5 años; es decir, el proyecto debería

finalizar el 2020 (OSITRAN, 2017). Sin embargo, desde el año 2018 se ha previsto su culminación en el año 2024 (Gestión, 2018).

1.4. Alcances y limitaciones

La elaboración de un corredor de sistema BRT o de cualquier otro sistema de transporte masivo implica una mayor cantidad de recursos humanos de los que se ha incluido en el presente proyecto. El diseño de un sistema BRT, se realiza de manera global: involucra estaciones, rutas, terminales, tipo de buses, elección justificada de los corredores, uso de tecnologías en el sistema, integración modal, etc.

Por lo mencionado en el párrafo anterior, para realizar la planificación completa de todo el sistema es necesario realizar un análisis de demanda, lo cual involucra a todo el corredor de BRT proyectado y no a una sola estación. En el **Anexo 1 – Estimación general de la demanda para un sistema BRT** se resume los pasos necesarios para estimar la demanda de todo el sistema.

Por lo tanto, el alcance de este proyecto profesional es el diseño de una Estación de BRT a nivel de planos compatible con el entorno de modo que garantice la accesibilidad de los usuarios.

En este proyecto profesional se pretende diseñar a nivel de factibilidad la estación de manera segregada por lo que se estima la demanda en función de las observaciones, conteo de flujos peatonales y vehiculares; y datos del Metropolitano siguiendo un criterio de similitud y proximidad.

El diseño de la estación no contempla las instalaciones eléctricas y mecánicas.

1.5. Metodología

El Instituto de Desarrollo de Políticas para el Transporte (ITDP por sus siglas en ingles), presenta un flujograma (**ver Figura 1-2**) de planificación BRT. Esta consta de 6 actividades principales y subactividades en un orden cronológico. El diseño de un sistema BRT completo involucra diversos factores y no solo el diseño de la estación de manera segregada, esta última es solo un parte de un diseño integral. Sin embargo, se ha considerado únicamente aquellas actividades que se encuentran marcadas en rojo como parte del alcance del presente proyecto.

En primer lugar, se realiza la recuperación de información relacionado a la calidad de las estaciones de los sistemas de BRT. La bibliografía está conformada por el BRT estándar 2016,

la Guía de Planificación de sistemas BRT del ITDP (2007), Manual de análisis y diseño de estaciones de BRT (2012), planos del Metropolitano y documentos relacionados a la evaluación de las características y desempeño de las mismas. De dicha bibliografía se identifica las características para un buen diseño de la estación.

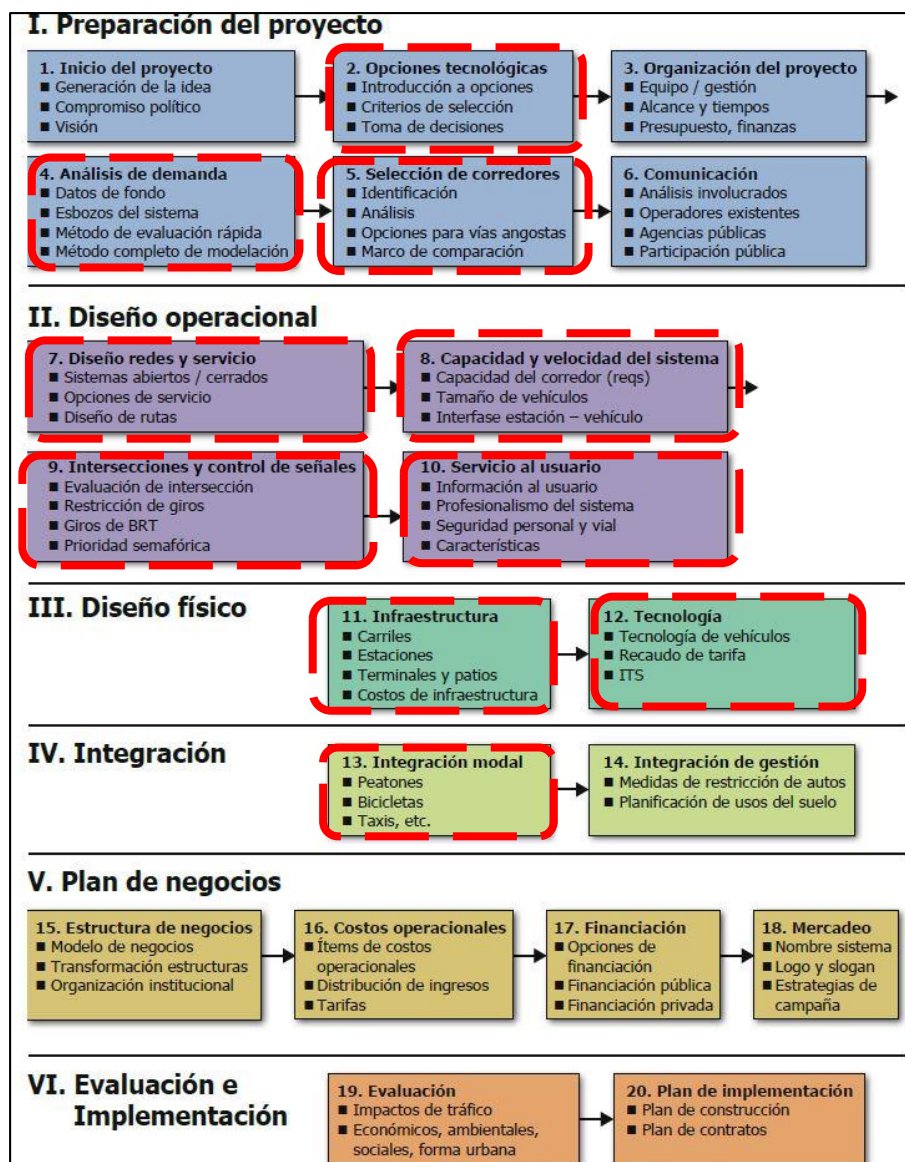


Figura 1-2: Vista general de proceso de planificación de BRT

Fuente: Instituto de Desarrollo de Políticas para el transporte, 2007

Segundo, se identifica las características de las estaciones del sistema de BRT de la ciudad de Lima. Se realizan visitas a cuatro estaciones ubicadas en las avenidas Angamos, Izaguirre, España y Javier Prado con la finalidad de caracterizar dimensiones, distribución de elementos de información y deficiencias que estas puedan presentar. Tercero, para conocer las necesidades, grado de satisfacción y demanda de los usuarios, se analiza las encuestas del observatorio ciudadano “Lima Cómo Vamos”.

Cuarto, para determinar el impacto que genera la implementación de la estación en la zona de estudio se realiza mediciones de flujo vehicular y peatonal en dicha área. Con estos datos, se realiza un modelo de micro-simulación que permita comparar la situación actual con la proyectada. Finalmente, se especifica las dimensiones de la estación en lo que respecta a los anchos requeridos para la infraestructura, para los pasajeros que esperan, para pasajeros que circulan y longitudes de corredores dentro de la estación.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se detalla la información que se ha recopilado en lo referente a sistemas de transporte masivo BRT, características, elementos, beneficios del manual del ITDP (2010) y Mercedes Benz (2012). Además, se desarrolla ejemplos de su implementación en tres países.

2.1. Características de un sistema de buses de tránsito rápido (BRT)

- Carriles segregados o carriles solo-bus predominantemente en el carril central

La utilización de carriles segregados permite una mayor rapidez en los viajes y menos demoras e interferencias con otros sistemas de transporte. La separación se puede realizar mediante separación física (barrera) o líneas pintadas que delimitan las áreas de transporte mixto y la del BRT. Sin embargo, la separación física es la que mejor cumple la función. (Chila, E., Mejis, R., & Hoffman, M., 2012).

Asimismo, los carriles exclusivos definen la velocidad y confiabilidad de los sistemas BRT. En base a las condiciones locales los carriles de los buses pueden ser ubicados en el centro de las vías o en los extremos de la misma. Los carriles ubicados al centro de las vías son los más eficientes, tiene menor conflicto con los otros medios de transporte.

En cuanto a los carriles de las estaciones es recomendable utilizar carriles de paso que permitan que los buses de servicio expreso puedan adelantar a los buses ubicados dentro de los acoples en las estaciones (Hook & Wright, 2007).

- Recaudo y verificación de tarifas antes de abordar

En los sistemas BRT el pago de la tarifa se realiza de manera previa a abordar los buses. Esto permite reducir los tiempos de permanencia del bus en las estaciones y por ende los tiempos de viaje, el abordaje de pasajeros es más fluido y sin detenerse al interior del bus.

Existen dos formas para el pago antes de abordar: mediante barreras de control y por verificación de pago al interior del bus. En la primera los usuarios deben pasar por torniquetes,

puertas o sistemas de control, ubicados en las plataformas de las estaciones, en los cuales se verifican los comprobantes. Mediante la segunda forma los usuarios deben pagar los pasajes en boleterías, las cuales entregan un comprobante de pago, que se verifican dentro de los buses. (Chila, E., Mejis, R., & Hoffman, M., 2012).

Uno de los beneficios de los pagos antes de abordar es que permite a los usuarios la utilización de las puertas múltiples o todas las puertas disponibles de los buses al momento de abordar. (Levinson, Zimmerman, Clinger, & Rutherford, 2003).

- Estaciones mejoradas: convenientes, cómodas, seguras y con protección ante condiciones climáticas adversas

Las estaciones son el intermediario entre el usuario y el bus, es por este motivo que deben ser accesibles para todo usuario, por medio de escaleras, rampas, ascensores, elevadores, etc. Además, se debe procurar evitar las trayectorias extensas para minimizar los tiempos invertidos en movilizarse.

Así mismo, deben garantizar la seguridad de los usuarios mediante la presencia de personal de vigilancia, adecuada iluminación, cámaras de vigilancia y su respectivo centro de control. La comodidad está relacionada con el confort que la estación entrega al usuario. Este se logra a través de información útil y clara, a través de señales y colores a lo largo de este trayecto desde el ingreso hasta abordar el bus. Las características climatológicas de la zona determinan si es necesario instalar algún sistema de ventilación o de calefacción.

- Estaciones que permiten el acceso a nivel del piso del bus

El ingreso a los buses debe estar al mismo nivel que el de las plataformas de la estación y con una brecha menor a 10 centímetros. Esto permite el rápido ingreso de los pasajeros y que personas en silla de ruedas puedan acceder al bus (ITDP, 2016). En la ciudad de Curitiba, se ha implementado en los buses un mecanismo que consta de una pequeña rampa que se despliega antes de abrir las puertas con la intención de eliminar la brecha existente entre el bus y la estación.

- Estaciones terminales

En las estaciones terminales se busca facilitar la integración física entre rutas troncales, servicios de alimentación y otros sistemas de transporte masivo. Este tipo de estaciones permiten por ejemplo la integración multimodal entre el BRT, tren, estacionamientos de

vehículos particulares o de bicicletas, transporte público y taxis. (Chila, E., Mejis, R., & Hoffman, M., 2012).

- Prioridad semafórica o separación de nivel en intersecciones

La prioridad en las intersecciones se logra mediante el aumento del tiempo de luz verde para los carriles de BRT y por otro lado con la prohibición de giros a los otros medios de transporte en las intersecciones, los cuales pueden generar interferencias. (Chila, E., Mejis, R., & Hoffman, M., 2012).

- Identidad distintiva

Todo el sistema en conjunto presenta distintivos que son reconocidos por los usuarios. Por ejemplo, toda la flota de buses emplea un mismo color, cuenta con un logo característico y único; es decir, crea una marca representativa con la que los ciudadanos se sienten identificados. (Chila, E., Mejis, R., & Hoffman, M., 2012).

- Existencia de una red integrada de rutas y corredores.
- Servicio frecuente, rápido entre orígenes y destinos principales.
- Capacidad amplia para demanda de pasajeros a lo largo de los corredores.
- Abordaje y desembarque rápido de pasajeros.
- Integración de tarifa entre rutas, corredores y servicios alimentadores.
- Seguimiento del control de calidad por parte de una entidad o agencia independiente.
- Tecnologías de vehículos de bajas emisiones y bajo ruido.
- Aplicaciones de Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS) tales como localización automática de vehículos.
- Excelencia en servicio al cliente y provisión de facilidades clave para los usuarios.
- Infraestructura especial para facilitar el acceso a grupos en desventaja física, tales como los niños, personas de la tercera edad y las personas con discapacidad física.
- Mapas de rutas, señalización y/o pantallas de información en tiempo real claros que son localizados de manera visible dentro de estaciones y/o vehículos.

2.2. Beneficios de los BRT

La construcción de un sistema BRT tiene un impacto en diferentes aspectos como son el social, económico y ambiental (ITDP et al.,2010). En el entorno de la estación se realizan mejoras en la zona de modo que se vuelve atractiva y segura para el usuario. Además, genera cambios en el espacio ocupado y usos de la tierra.

Asimismo, durante el proceso de construcción y durante el periodo de tiempo que se brinda el servicio (operación) se generan puestos de empleo. Los ahorros económicos no solo se reflejan en la disminución del costo para movilizarse, sino que también se expresan a través de la reducción en tiempos de viaje.

A continuación, se detallan los beneficios clasificados en el aspecto económico, social y ambiental.

En primer lugar, con respecto a lo económico el costo de inversión inicial para construir un sistema BRT y mantenimiento son menores en comparación a uno de trenes elevados o subterráneos. La **Figura 2-1** muestra la comparación entre la capacidad de cuatro medios de transporte público en función de la cantidad de pasajeros por hora por dirección (pphpd) versus el costo de inversión en millones de dólares por kilómetro. La máxima capacidad que alcanza un BRT es de 45 000 pphpd con un costo de hasta 15 millones de dólares por kilómetro. Para la misma capacidad un tren elevado y uno subterráneo está en el rango de 40 a 80 y 45 a 350 millones de dólares por kilómetro respectivamente (Mercedes Benz, 2018).



Figura 2-1: Comparación de costos de inversión en sistemas masivos de transporte público
Fuente: Mercedes Benz, 2018

Como se ha podido evidenciar si bien existen otros sistemas de transporte público más eficientes como es el caso de los trenes eléctricos, que poseen una mayor velocidad y capacidad, la principal desventaja de estos son los costos; debido a que se requiere una mayor inversión en lo que respecta a tiempos de planificación, implementación, operación y mantenimiento en comparación a un sistema BRT, que son muchos menores (Chila, E., Mejis, R., & Hoffman, M., 2012).

La **Figura 2-2** muestra un mapa de Bangkok con la cantidad de kilómetros de infraestructura (las líneas color azul) para cuatro tipos de sistema de transporte (BRT, tren ligero, tren elevado y tren subterráneo) con un determinado costo establecido. Se destaca que el costo que representa construir 426 km. de BRT es el mismo que construir 7 km. de tren subterráneo en dicha ciudad.

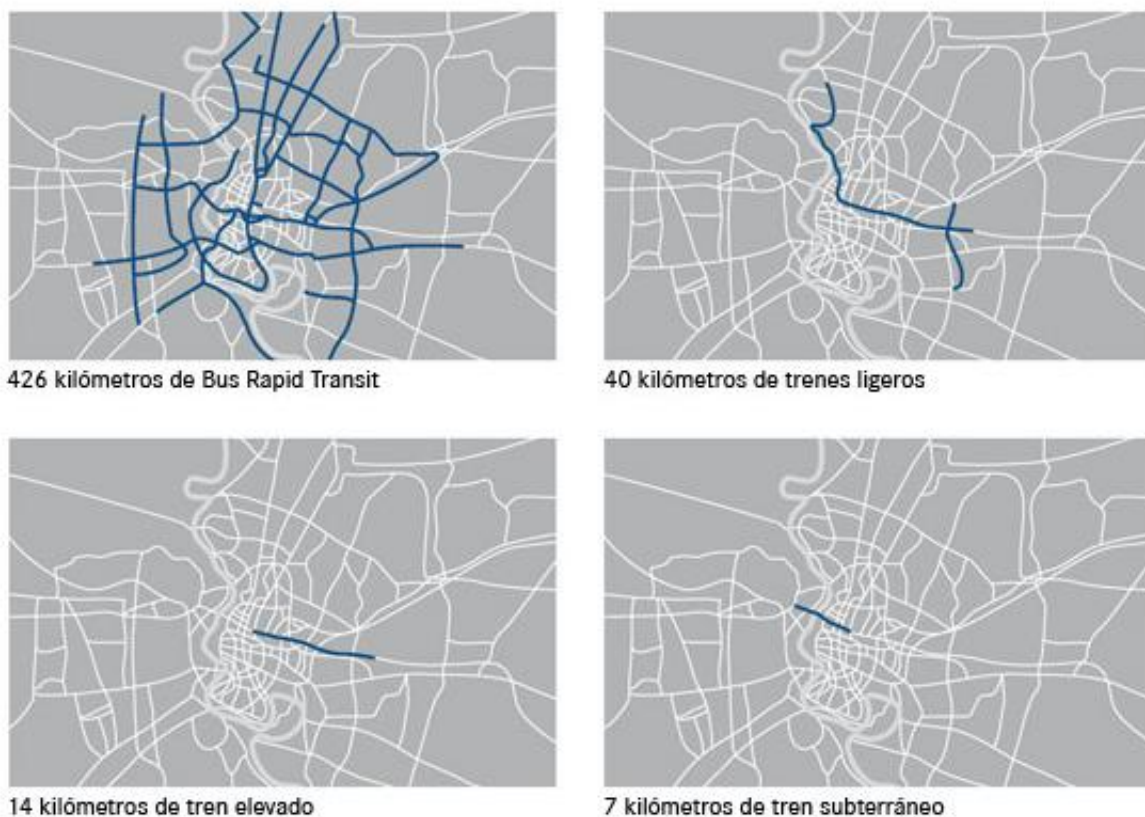


Figura 2-2: Cuatro sistemas de transporte público al mismo costo en Bangkok
Fuente: Mercedes Benz, 2018

Asimismo, se pueden obtener mejoras en el aspecto económico, por medio de políticas de desarrollo, acompañadas de políticas de transporte con un adecuado sustento, pues se logra incrementar el valor de la tierra y oportunidades de trabajo por encima del 54%. (S. C. Wirasinghe, L. Kattan, M. M. Rahman, J. Hubbell, R. Thilakaratne & S. Anowar, 2013).

En segundo lugar, en el aspecto social las estaciones del sistema brindan seguridad al usuario, pues se instalan sistemas de vigilancia e iluminación adecuada tanto en el interior como el exterior. Estos son factores que permiten reducir los crímenes y agresiones. Por otro lado, reduce las diferencias sociales entre grupos de bajos ingresos debido a que al ser un transporte público debe tener un costo reducido de modo que sea accesible para todo tipo de público.

En el **Figura 2-3**, se muestra una reducción en la cantidad de colisiones y lesiones tras la implementación del Transmilenio en la ciudad de Bogotá. Esta reducción en incidentes se debe a la disminución de interacciones entre vehículos de transporte privado y público, así como también de maniobras de estacionamiento para recoger pasajeros.

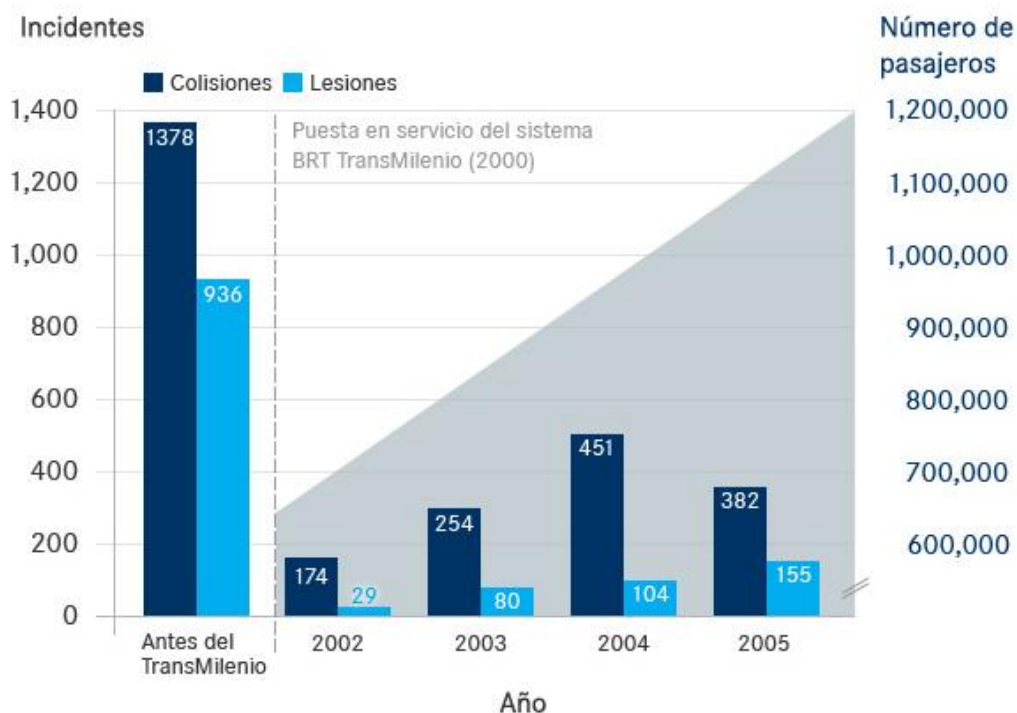


Figura 2-3: Incidentes por año en la ciudad de Bogotá
Fuente: Mercedes Benz, 2018

Por otro lado, la capacidad de los buses para transportar personas es mayor que a la que posee un sistema de bus tradicionales y de vehículos particulares, se estima que son 180, 35 y 1.5 pasajeros, respectivamente. (Liu YU and XI mei Chen, 2007).

Otro beneficio está relacionado con la reducción en los tiempos de viaje, debido a que este sistema puede circular de forma independiente a los demás vehículos de manera continua cuando se tiene un carril segregado, por lo que no se genera congestión a lo largo del corredor BRT.

Además, al contar con prioridad en las intersecciones se reduce las interrupciones con los otros

sistemas, lo cual resulta en un menor tiempo de viaje.

En una publicación realizada por Vincent, W., Delmont, E., & Hughes, C. (2012) manifestaron que en Brisbane Southeast BRT se redujo en promedio un 70% los tiempos de viaje; según Echeverry et al. (2004), en el BRT de Bogotá fue de 32%; y según Molina, en el Metrobus BRT fue de 40%.

Tabla 2-1: Ahorro de tiempo en comparación con el tráfico particular

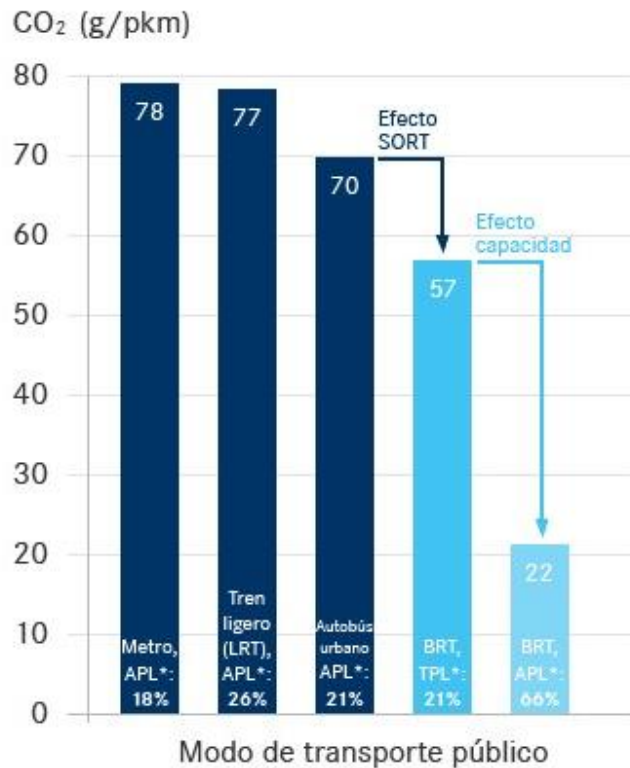
| Sistema BRT | Ahorro de tiempo comparado con tráfico particular (%) |
|-------------------------|---|
| Metrobus (México) | 35 |
| Metrobüs (Turquía) | 45 |
| Transmilenio (Colombia) | 32 |

Fuente: Mercedes Benz, 2018

En tercer lugar, en el aspecto ambiental, los beneficios relacionados a la reducción de emisiones de gases del efecto invernadero muestran que tras la implementación del sistema de BRT en la Ciudad de México, México; Guangzhou, China; y Bogotá, Colombia los resultados evidenciaron una reducción del 61,8% en CO₂ y del 50% en cuanto al consumo de combustible diésel. (Handy, S., Lovenjoy, K., Boarnet, M., Spears, S., 2013)

Con la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera se logra la mejora en la calidad de aire y la salud de las personas. (S.C. Wirasinghe, L. Kattan, M. M. Rahman, J. Hubbell, R. Thilakaratne & S., 2013).

En la **Figura 2-4** se muestra las emisiones generadas por el metro, tren ligero, autobús público y los sistemas BRT. Se evidencia que un BRT genera menor cantidad de CO₂/pasajero-kilómetro en comparación a los demás debido dos efectos. El primero, denominado “efecto SORT” (Standardised On-Road Tests Cycles), el cual comprende la reducción de vehículos presentes, los buses cuentan con sistemas de propulsión con tecnologías modernas y la utilización de carriles exclusivos. El segundo, “efecto capacidad”, que hace referencia a la alta tasa de utilización de este sistema. (Mercedes Benz, n.d.)



*APL: número medio de pasajeros, TPL: número de pasajeros trasladados

Figura 2-4: Emisiones generados por diferentes medios de transporte público masivo
Fuente: Mercedes Benz, 2018

2.3. Antecedentes

2.3.1. Red Integrada de Transporte-Curitiba

La ciudad de Curitiba en Brasil dio inicio a los sistemas BRT (Buses de Tránsito Rápido) en América Latina. Es considerada una ciudad pionera y ha sido una inspiración para otras ciudades del continente, incluida Bogotá (Duarte, F., Rojas, F., 2012).

La implementación de los sistemas BRT se desarrolló en tres etapas claves. Desde el año 1943 a 1970 se establecieron los principios de planificación; del año 1972 a 1988, se ejecutó el Plan Maestro que condujo a la consolidación de un sistema integral de tránsito de autobuses en la ciudad, denominado la Red Integrada de Transporte (RIT); de 1988 a la actualidad, se observa una expansión urbana y mejoras en el sistema BRT (Lindau, Hidalgo, & Facchini, 2010)

En principio para el año de 1970 la ciudad tenía previsto la implementación de un sistema de trenes ligeros (LRT). Sin embargo, no se desarrolló pues se necesitaba una elevada inversión. A partir de esto el Instituto de Investigación y Planificación Urbana de Curitiba (IPPUC) propuso un sistema de buses que operaran a lo largo de carriles exclusivos (Lindau et al., 2010). Es por este motivo que el transporte público en Curitiba se hizo mundialmente conocido

pues implementó una solución con un sistema de alta calidad y capacidad comparable al sistema LRT, pero a un menor costo de inversión: más rentable.

El Plan Maestro de 1966 proponía que la ciudad crezca a lo largo de dos ejes principales de tránsito: norte-sur y este-oeste. Este tipo de configuración buscaba una articulación entre la regulación del uso de la tierra, un sistema vial jerárquico y un sistema moderno de transporte público en base a autobuses.

Bajo este principio se permitieron altas densidades casi exclusivamente a lo largo de las estructuras principales de tránsito con una disminución a los bloques paralelos; por lo tanto, los ejes apuntaron a estimular el uso del transporte público y optimizar la infraestructura urbana (Fábio & Clovis, 2012). Este tipo de ordenamiento fue denominado sistema trinario. En la **Figura 2-5** se muestra el esquema del sistema.

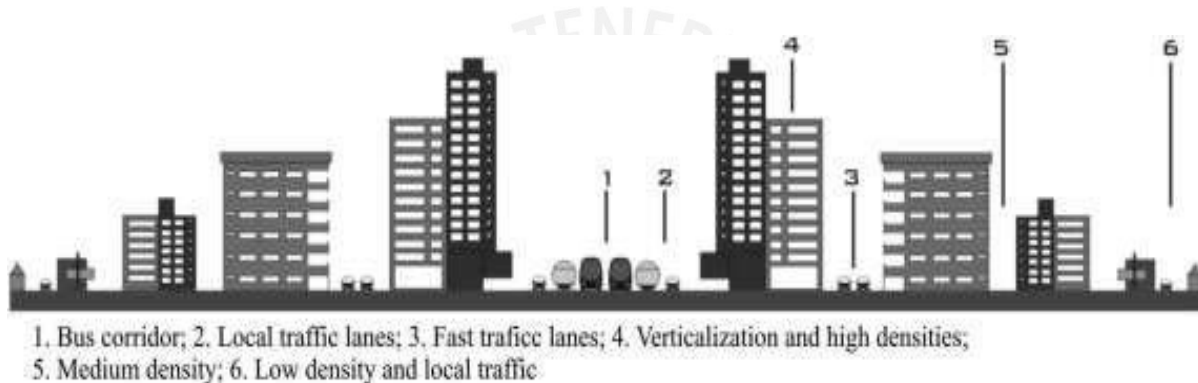


Figura 2-5: Esquema de corredor BRT: jerarquía vial

Fuente: RIT, 2010

El primer corredor fue implementado en el año de 1974 y al 2017 cuenta con 7 corredores: Circular Sur, Sul, Oeste, Leste, Boqueirao y Linha Verde. Este sistema abastece a una población de 1'879'355 personas. (Global BRTData, 2017)

Características representativas

El sistema de transporte público masivo de Curitiba presentó características que le hicieron único en su momento, pues fue la primera ciudad en mostrar al mundo un sistema con atributos propios de alta calidad.

Primero, presenta una red jerárquica denominada Red Integrada de Transporte (RIT) con buses que sirven a diferentes puntos de la ciudad, la cual permite al usuario utilizar las diversas líneas con el pago de una tarifa plana; cabe resaltar que el fundamento de este tipo de pago es el denominado subsidio cruzado que establece que el pago realizado por los usuarios que realizan viajes cortos compensa el pago de los que realizan viajes con trayectos mayores.

Principalmente la red cuenta con las siguientes líneas:

- Líneas expresas (expresso), las cuales recorren la red en sentido radial con buses biarticulados de color rojo que conectan los terminales de integración al centro de la ciudad. (URBS, 2017)
- Líneas radiales de alta velocidad (ligeirao) cuentan con paradas reducidas, por lo que poseen menores tiempos de viaje. Son operadas por buses biarticulados de color azul.
- Las líneas directas radiales (ligeirinho) operan con buses estándar de color plata y poseen paradas cada 3 Km (URBS, 2017)
- Las líneas circulares entre barrios (interbairros) están integradas a las líneas radiales en los terminales y las estaciones intermedias, pero no pasan por el centro de la ciudad. Son operadas con vehículos articulados de color verde.
- Los servicios alimentadores (alimentador), conecta los barrios con los servicios radiales y circulares. Usan buses convencionales.
- Servicios troncales (troncal) que conectan los terminales de integración con el centro de la ciudad

A continuación, se muestra la **Figura 2-6** que resume el sistema como una red jerárquica de buses.

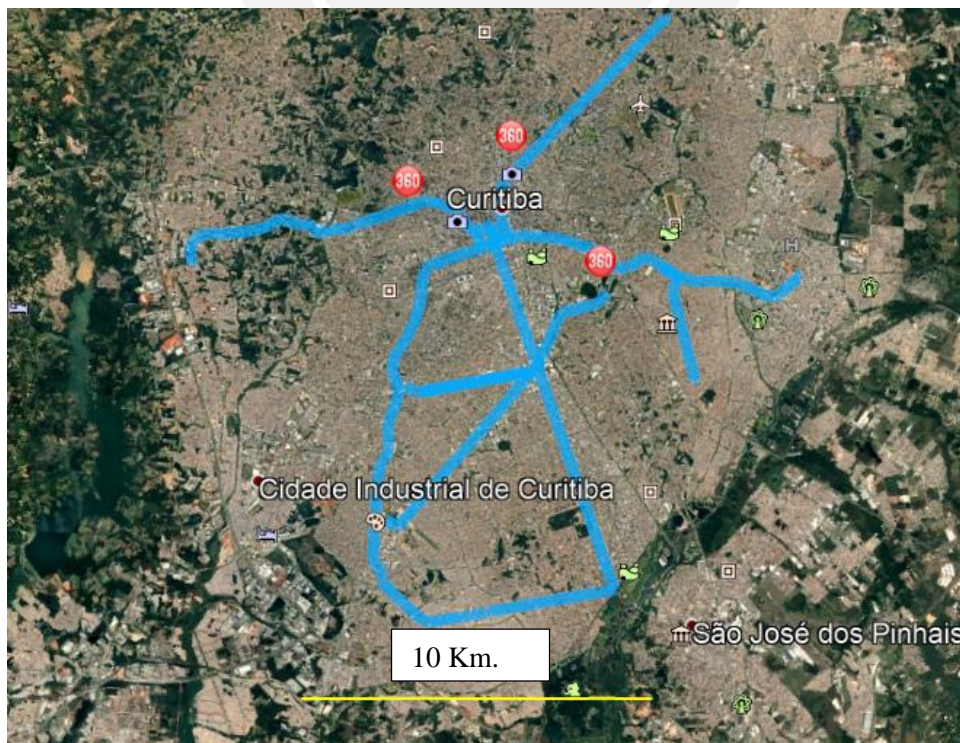


Figura 2-6: Red Integrada de Transporte
Fuente: Adaptación de Google Earth , 2018

Segundo, presenta estaciones en forma de tubo como se muestra en la **Figura 2-7**, las cuales están implementadas con un sistema de pago antes de abordar. Estas estaciones sirven a buses articulados y biarticulados (Nakamura, Makimura, & Toyama, 2017). Curitiba fue la primera ciudad en el mundo con este método de pago y la utilización de buses de gran capacidad.



Figura 2-7: Estación típica en Curitiba
Fuente: RIT, 2010

Por otro lado, son un ícono de la ciudad de lo cual los habitantes se sienten orgullosos e identificados. El origen del diseño de tubos fue la idea de reproducir la imagen positiva de los sistemas y al mismo tiempo generar una imagen de tubos que llevaban al usuario de un lugar de la ciudad a otro (Levinson et al., 2003). En cuanto a la accesibilidad, las estaciones equipadas con ascensores o rampas representan más del 87% de la cantidad total existente (URBS, 2017). Los pasajeros pueden acceder al sistema BRT de Curitiba ya sea por las estaciones o por los terminales (*Terminais de Integração*). Estos últimos son un elemento intermodal central pues es aquí donde las rutas de conexión conectan a los pasajeros con otros destinos fuera de la red de BRT (Duarte & Rojas, 2012). Estas instalaciones están equipadas de manera que permita un adecuado flujo de los pasajeros entre las diversas líneas que convergen en el terminal. A continuación, se muestra un esquema que ilustra los terminales de integración.

En la **Figura 2-8** se puede observar que a los terminales llegan las líneas expresas (*expresso y ligeirao*), líneas directas (*ligeirinho*), alimentadores e interbarrios, los cuales por medio de la plataforma de integración permiten que los pasajeros puedan abordar cualquiera de las líneas ya sea después de llegar con alguna otra o en otros modos de transporte.

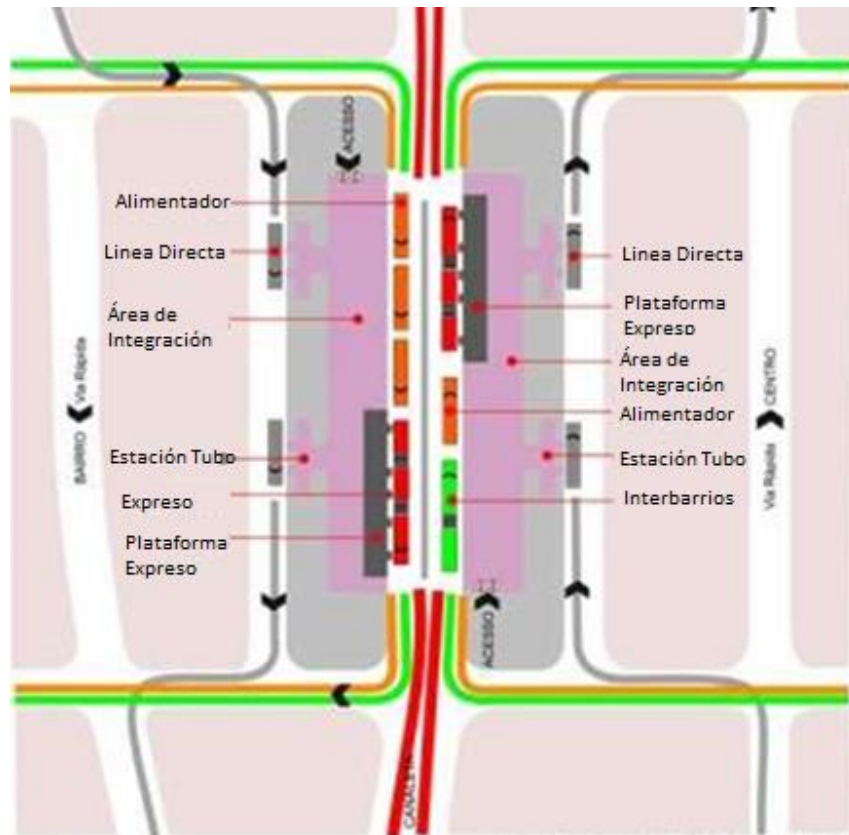


Figura 2-8: Terminales de integración del BRT de Curitiba

Fuente: RIT, 2010

Los taxis son el modo de transporte con una mayor conexión con el sistema BRT: las paradas para taxis están presentes en el 64% de los terminales. En contraste los parqueos para vehículos privados solo están en el 20% de los terminales (Duarte & Rojas, 2012).

Sin embargo, esta forma peculiar de las estaciones presenta limitaciones en cuanto a capacidad; es decir, el tamaño de la circunferencia está limitada a la proximidad que ha de haber entre el vehículo y la estación por lo que si las circunferencias fueran más grandes la distancia sería mayor, lo cual causaría dificultad al momento de abordar y bajar del bus.

Tercero, las calles paralelas a los carriles exclusivos son para uso local y presentan un flujo ligero y de bajas velocidades. Es por este motivo que los usuarios pueden cruzar de manera segura y fácil las calles para ingresar a las estaciones y abordar el bus o al momento de bajar de los mismos (Nakamura et al., 2017).

Finalmente, todos los servicios fueron elaborados por el IPPUC, el cual es administrado por la entidad Urbanización de Curitiba S/A (Urbanizacao de Curitiba S/A - URBS). Esta es una entidad pública de infraestructura urbana, la cual es operada por una compañía privada (Nakamura et al., 2017). Este fue un hecho relevante pues se dio importancia al desarrollo

urbano orientado al transporte y se mantuvo firme en el tiempo a pesar de los cambios en el gobierno de la ciudad.

Es decir, hubo un buen desarrollo de la propuesta y una buena relación privado – pública pues las diversas líneas son operadas por privados con regulación del gobierno.

2.3.2. Transmilenio - Bogotá

Desde la década de 1960 a la de 1990 Bogotá enfrentó una serie de problemas con el transporte colectivo y con el transporte privado, es por este motivo que las autoridades consideraron la construcción de un metro. El servicio que brindaban las empresas de transporte público se caracterizó por tener elevados costos, incomodidad y desorden. En cuanto al transporte privado el crecimiento del parque automotor superó la capacidad que poseían las vías.

Debido a estos problemas, el alcalde Enrique Peñalosa consideró como parte de su proyecto de gobierno el desarrollo de un transporte público dentro de su plan “Por la Bogotá que queremos”. Para el año 2000 se iniciaron los trabajos de las vías para dar lugar al transporte público masivo y se incluyó la avenida Caracas en la ruta de los buses.

Antes de la implementación del Transmilenio los buses se regían por un sistema de pagos que dependía del número de pasajeros que llevaban. Sin embargo, la implantación de este sistema permitió que se utilice una fórmula que calcula el pago como función de número de kilómetros recorridos y se tiene una programación, por lo tanto, no existe la necesidad de incrementar la velocidad para “ganar” más pasajeros y manejar de forma temeraria. De esta manera se mejoró la seguridad de los viajes y se redujo el riesgo de accidentes por imprudencia de conductores.

La empresa Transmilenio S.A. es la encargada de gestionar la infraestructura del sistema, es decir, cumple la función de garantizar el cumplimiento de las concesiones. El suministro de flota y los servicios se encuentran a cargo de empresas privadas. (Espinosa & Barreto, 2016).

El aporte del sistema BRT de Bogotá fue la inclusión de carriles de sobrepaso en las estaciones, lo cual permite que una ruta troncal (realiza paradas en cada estación) y un expreso (no se detiene en todas las estaciones) puedan circular por la misma vía (Allen, 2011).

Características representativas

Actualmente, la ciudad de Bogotá cuenta con 11 líneas de BRT, la cual debe cubrir la demanda de 2 213 236 usuarios por día (Global BRT Data, 2017). Si bien esta ciudad cuenta con un gran número de rutas en comparación a otras, la satisfacción de los usuarios no refleja el adecuado

funcionamiento del TransMilenio. Según “Bogotá ¿Cómo Vamos?”, en la cual se evaluó la percepción del usuario se obtuvo que en el año 2002 una puntuación de 4.5 mientras que en el año 2009 se redujo a 3. La causa de la baja puntuación se debe a que necesita mejorar aspectos esenciales como la frecuencia de los buses, la confiabilidad y la seguridad que brinda el personal (Hidalgo, Pereira, Estupiñán, & Luis, 2013).

El sistema posee una longitud total de 113 km (Global BRT Data, 2017), los buses que recorren los carriles segregados transitan a una velocidad de 28km/h. Por otro lado, en cuanto al sistema de administración de pagos han implementado las “tarifas dinámicas”, es decir, que varía el precio en función de la hora del día. Para las horas pico que se caracterizan por ser las de mayor demanda los precios son mayores, en contraste en horas valle cuya demanda es menor y el precio también es menor (Defensoría del pueblo ciudad autónoma de Buenos Aires,n.d.).



Figura 2-9: Vista en planta estación Transmilenio

Fuente: Transmilenio, 2019

Los sistemas de transporte tienen la función de mejorar la movilidad de las personas, un ejemplo de estas mejoras es integrar distintos modos de transporte.

La ciudad de Bogotá se destaca por poseer uno de los pocos sistemas de transporte con un alto grado de integración con las estaciones del sistema BRT y las ciclovías. El TransMilenio cuenta con un total de 2 332 estacionamientos distribuidos en 13 estaciones y brinda el servicio de vigilancia, en la **Figura 2-10** se muestran los estacionamientos.

La implementación del Transmilenio fue con el fin de mejorar las condiciones de vida de los usuarios y de los no usuarios. Se estima que el monto de los beneficios generados asciende a

3.1 billones de dólares. Lo cual comprende un ahorro el tiempo de viaje, operación de los buses retirados tras la construcción del BRT, reducción de la contaminación y accidentes de tránsito. (Hidalgo et al., 2013)



Figura 2-10: Cicloparqueo en el Transmilenio

Fuente: ITDP, 2018

En la **Figura 2-11** se muestra el recorrido y terminales del Transmilenio.

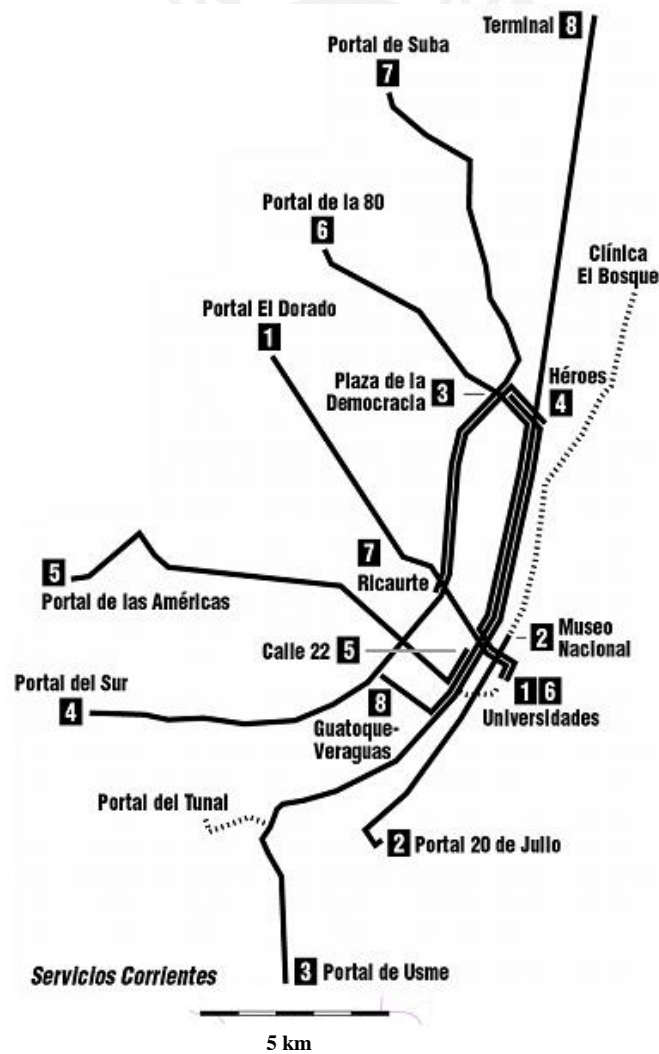


Figura 2-11: Líneas del TRANSMILENIO

Fuente: Adaptación mapa de rutas Transmilenio, 2018

2.3.3. Metrobus - Ciudad de México

A partir de la década de 1950, en la Ciudad de México comenzó a mejorar la situación económica por lo que se desarrollaron en las ciudades comercios e industrias. Esto trajo como consecuencia la migración de pobladores del campo a la ciudad en búsqueda de mejorar sus estándares de vida. Por estos motivos, se registró un incremento inusual en la población (Bello, 1998).

Para atender la demanda del transporte público en la ciudad se contaban con autobuses, microbuses y desde el año 1969 cuenta con un Sistema de Transporte Colectivo (STC) Metro.

Pese a que la ciudad de México ya contaba con un sistema de metro en el año 2002 se planteó la construcción de un sistema BRT (un total de 10 para el año 2018) la línea 1 en la avenida Insurgentes, la cual atraviesa la ciudad de norte a sur y permite conectar a zonas residenciales, así como también a zonas de comercio (World Resources Institute, 2015).

En el año 2004 se realizaron estudios técnicos, los cuales revelaron que existía una sobreoferta en el transporte público en dicha avenida (Ríos, 2013). Este problema de abundancia en oferta de transporte público se manifestaba a través de los 265 autobuses y microbuses que circulaban por dicha avenida. El servicio que brindaban este tipo de vehículos se caracterizó por ser desorganizado, lento, inseguro y altamente contaminante (WRI, 2015).

Con la finalidad de mitigar estos problemas antes mencionados se inicia la construcción del sistema de transporte Metrobus en octubre del 2004 (Gobierno de la Ciudad de México & Banco Mundial, nd). En junio del 2005, inició sus operaciones; la infraestructura estaba conformada por las 37 estaciones, las vías con una longitud total de 19 km y 80 buses articulados.

Los buses que anteriormente circulaban por las vías que pasó a ocupar el sistema de BRT fueron retirados, una minoría de ellos fueron destinados para realizar el servicio de alimentadores en sistemas de alta demanda, la mayoría de estos vehículos pasó a ser chatarra.

Tras la implementación de este medio de transporte en la ciudad se observaron mejoras en cuanto al tráfico en la avenida Insurgentes se disminuyó en 50%, los accidentes se redujeron en 30%. Además, se produjo un cambio en las preferencias de las personas, se disminuyó la utilización de transporte particular e incrementó la utilización del transporte público (Mercedes Benz, 2013).

Actualmente, el sistema del Metrobús ha incrementado el número de líneas troncales a 6

(Metrobús, 2017) y aproximadamente 125 km de vías y con la proyección a ser ampliado a 200 km. Este medio de transporte debe cubrir la demanda de aproximadamente 950 mil personas por día. Además, ha permitido mejorar la calidad de vida de las personas debido a que se redujo la emisión de CO₂ de aproximadamente 122 000 toneladas por año (WRI,2015).

Características representativas

La mayoría de las estaciones se encuentran ubicadas en las zonas central de las vías, por esta razón se han instalados semáforos con prioridad en los cruces de modo que el peatón se traslade con seguridad (Metrobús, 2017).

El Metrobús ha implementado en toda su infraestructura diversas medidas que buscan garantizar la accesibilidad de todos sus usuarios. En primer lugar, los buses se caracterizan por sus sistemas de información en tiempo real que anuncian la llegada a cada estación. En segundo lugar, en las estaciones se han instalado elevadores y rampas para sillas de ruedas con el fin de facilitar el acceso a personas con movilidad restringida.

Por otro lado, para las personas invidentes se han colocado guías táctiles desde el ingreso hasta la zona de embarque, como se observa en las **Figuras 2-12 y 2-13**. Además, se ha procurado mejorar la interfaz estación-bus para minimizar las brechas entre ambos y se han instalado sistemas de control de embarque, con el fin de que todos los usuarios en especial aquellos en silla de ruedas puedan abordar sin problemas.

Las vías se han construido como carriles segregados con el fin de evitar la congestión producto del tránsito mixto (Hook, W., & Wright, L., 2007) por lo que se han instalado separadores para evitar que los otros vehículos invadan los carriles (Centro de Transporte Sustentable, 2014).

Como una de las políticas que han implementado en el sistema se brinda el servicio de forma gratuita a adultos mayores de 70 años, niños menores de 5 años y a personas con discapacidad. Sin embargo, para las personas con discapacidad sólo pueden hacer uso de este beneficio cuando el destino es el Aeropuerto.

La administración de las vías, suministro de buses y su mantenimiento está a cargo de empresas en la modalidad de concesión. Sin embargo, se rigen por el Organismo Público Descentralizado Metrobus, la cual es una entidad reguladora encargada de verificar el cumplimiento de normas y controlar el servicio.

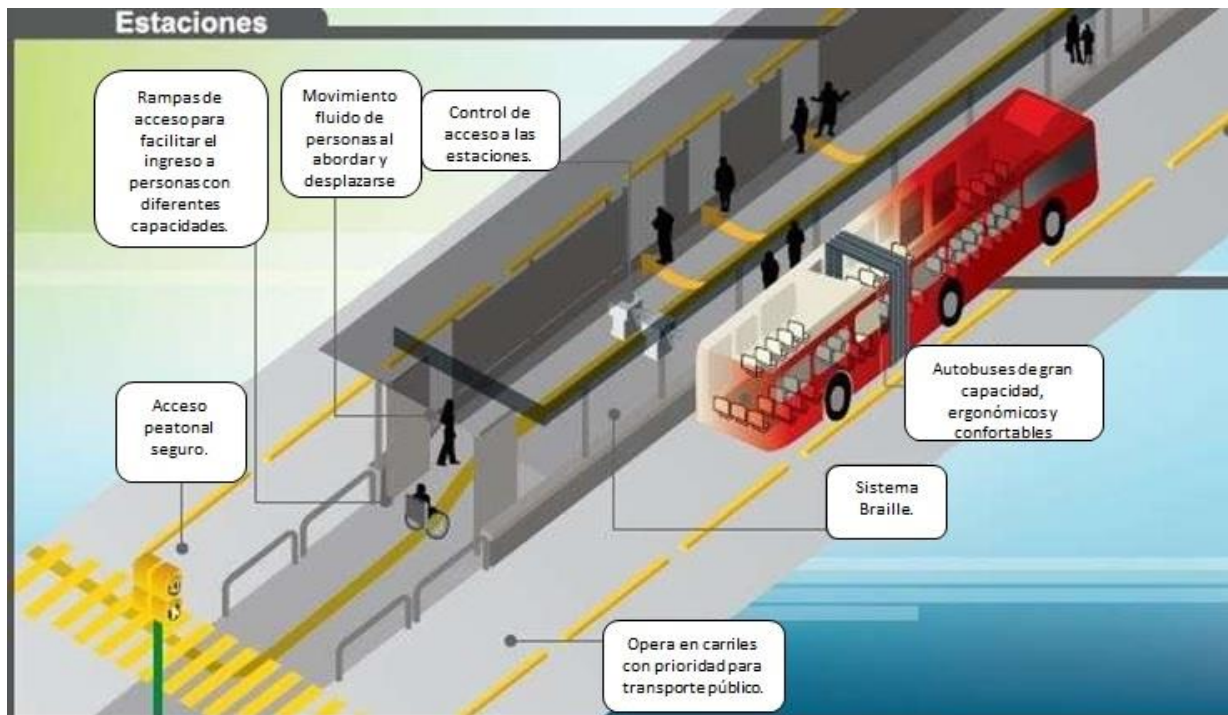


Figura 2-12: Esquema ilustrativo de las estaciones del Metrobús
Fuente: Adaptado de EMBARQ, 2009



Figura 2-13: Estación "Doctor Gálvez" del Metrobús, en la que se puede observar el carril exclusivo separado por medio de bordillos
Fuente: ITDP, 2018

Una de las formas que ha implementado en el sistema del Metrobús para el desarrollo del transporte multimodal es permitir en ciertas estaciones el acceso de los usuarios con sus bicicletas, a determinadas horas del día, y que puedan viajar con ellas en el bus. Sin embargo, este beneficio está condicionado al espacio disponible dentro del bus (Metrobus, 2017). En la **Figura 2-14** se muestra el recorrido (líneas de colores) de los buses del Metrobus.

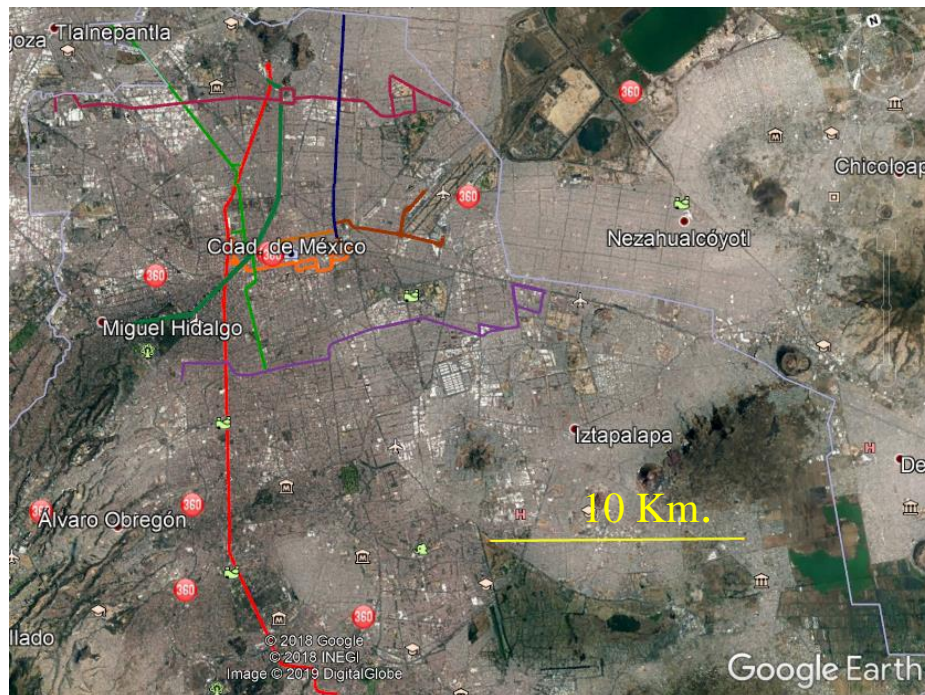


Figura 2-14: Líneas del Metrobús
Fuente: Adaptación Google Earth, 2018.

Además, el actual sistema de BRT cuenta con puntos de trasbordo entre las diferentes líneas, estas son estaciones que de forma gratuita el usuario puede cambiar de ruta al usuario.

En el **Anexo 2 – Antecedente Ahmedabad** se ha desarrollado las características del BRT de dicha ciudad.

2.4. Elementos de las estaciones de un sistema BRT

Los principales elementos que conforman las estaciones de un BRT son las plataformas, áreas de carga, zonas de pago, sistemas de verificación e información al pasajero. Sin embargo, también se considera otros orientados al confort del usuario como son la protección contra el clima, seguridad e inclusión. Según el Manual de Análisis y Diseño de estaciones de sistemas BRT elaborado por Mercedes Benz (Chila, E., Mejis, R., & Hoffman, M., 2012), se identifican los siguientes elementos.

2.4.1. Plataformas y áreas de carga del bus

Las plataformas y las áreas de carga son los elementos que determinan la capacidad máxima del sistema en conjunto. El diseño y sus dimensiones son fundamentales para el usuario en la estación de BRT.

i Plataformas

Las plataformas son los espacios destinados a las personas que esperan la llegada del bus, de tal modo que garanticen que en hora pico se mantenga la seguridad de los pasajeros. La plataforma de la estación está conformada por tres espacios denominados áreas de espera, áreas destinadas al flujo de pasajeros y las áreas de cola.

La utilización de puertas deslizantes en la plataforma resulta beneficiosa debido a que no ocupa mucho espacio como las puertas convencionales.

ii Áreas de carga del bus

Las áreas de carga del bus son las zonas destinadas en las que un solo bus se detiene para recoger y dejar pasajeros. En una estación se puede tener una o más áreas de carga, las cuales pueden utilizarse para diferentes rutas en función al requerimiento sobre el sistema.

2.4.2. Pago de tarifa y verificación

El pago de la tarifa puede ser realizado en máquinas o directamente con el personal previo a que el pasajero aborde el vehículo al cual se le denomina en inglés como Off-board. En caso sea realizado dentro del bus se denomina On-Board.

Luego que el usuario realiza el pago en la estación se debe verificar mediante una máquina o el control del personal. Existen tres maneras la primera, permite la entrada libre (cuando el pago se realiza dentro del bus), el segundo, el personal de la estación verifica los boletos, el tercero, por medio del uso de torniquetes.

2.4.3. Sistemas de información en los sistemas BRT

Los sistemas de información en general están referidos a los servicios de transporte que se ofrecen en la estación y la tecnología involucrada para brindar información a los usuarios. La información referente a los servicios que ofrece por un sistema BRT tiene un carácter importante para el usuario pues a partir de este contenido puede realizar un uso adecuado del servicio.

La información debe tener las siguientes características: simplicidad, consistencia, continuidad y repetición; se debe incluir rutas, zonas de espera y abordaje, zonas de compra y verificación de boletos.

i Identificación de la estación

La información referente a cada estación como es el nombre, esto permite a los usuarios la toma de decisiones rápidas ya sea cuando el pasajero se aproxime a ella a pie o en un bus.

Los nombres de las estaciones deben estar escritos en letras de tamaño visible y en negrita de manera que sean notorias desde todos los puntos de acceso a la estación y dentro de la estación. Si se cuenta con una plataforma extensa en la estación se debe tener los letreros de identificación repetidamente y en lugares estratégicos. Asimismo, estos deben estar iluminados en caso de poca luz o viajes nocturnos.

ii Orientación dentro de la estación

Esta información está compuesta por signos que indiquen la entrada y salida de las estaciones, plataformas, sentido del viaje, áreas de venta, áreas de espera, zonas de emergencia, etc. Estas zonas deben ser fácilmente reconocidas principalmente en horas pico para que el usuario cuente con información que lo oriente de manera rápida y sencilla.

iii Información de servicios

La información sobre los autobuses que se aproximan a la estación debe ser tal que todos los pasajeros en ella sean capaces de distinguir la ruta del bus que se acerca, especialmente en el caso que sirva de parada a varias rutas. La información necesaria debe ser presentada en pantallas visuales ubicadas en la estación o anuncios orales sobre la ruta del bus y su emplazamiento para el abordaje de pasajeros en la estación. Cuando se cuente con la información de la ruta solo en la parte frontal de los buses los pasajeros ubicados en las zonas de espera deben tener la suficiente visibilidad y tiempo para reconocer si es el bus que esperan.

iv Información estática para los pasajeros

La información estática o información programada generalmente se ubica en las paredes de las estaciones y deben estar provistas de protección mediante materiales transparentes resistentes y contar con iluminación en condiciones de poca luz. Asimismo, deben estar localizadas de manera que permita el flujo normal de los pasajeros. A continuación, se detallan los medios necesarios a considerar para la información estática:

Sistema de mapas de BRT

Estos deben mostrar los elementos más importantes del sistema BRT mediante letreros que incluyan las rutas, puntos de transferencia masiva. Esta información debe ser proporcionada con una combinación de colores, líneas y formas creativas.

Mapas de ruta

Estos mapas proporcionan información útil para los pasajeros que llegan a la estación, al inicio de un viaje, o a los que realizan una transferencia de un bus a otro. Estos indican la posición actual del bus a lo largo de la ruta, lo cual permite a los pasajeros orientarse dentro del sistema de tránsito.

Letreros de itinerario

La información de las frecuencias y tiempos de salida deben estar diferenciados para cada ruta de manera que se eviten confusiones.

Información de tarifas

Se debe contar con información estática respecto a las tarifas, precios por distancia, métodos de pago, etc.

Ubicación de la estación

Letreros con información referida a las avenidas, calles y barrios. Esto permite a los pasajeros que no estén familiarizados con la zona tomar salidas rápidas y seguras.

v Información dinámica para el pasajero

Este tipo de información se muestra en dispositivos electrónicos. Incluye información referente al estado actual del tráfico, retrasos, incidentes y desvíos a lo largo de la ruta de BRT.

Asimismo, brindan información en tiempo real en cuanto a las llegadas de los autobuses y salidas. Los sistemas de información dinámicos no deben ser reemplazados del todo por los estáticos pues la información más amigable para los usuarios es la que se encuentra en tiempo real y de manera instantánea.

vi Promover información para el pasajero

Existen condiciones especiales que pueden ocurrir en las estaciones y el usuario debe conocer.

Por un lado, se tiene situaciones relacionadas a una emergencia en la estación: colisión de

vehículos, incendios, etc. En estos casos se debe implementar en la estación señales de sonido como alarmas sirenas; la estación debe contar con personal de emergencia que ayude a evacuar a los usuarios; luces que alerten a los pasajeros para que estos puedan evacuar la zona, carteles y rótulos que indiquen las salidas de emergencia.

Por otro lado, se tiene las situaciones en las que se produzca interrupciones en el recorrido de los buses y retrasos. En estos casos se debe brindar a los usuarios información oportuna de los retrasos producidos para que estos puedan decidir si se quedan a esperar el bus o si optan por dejar la estación y utilizar otro medio de transporte.

Finalmente, situaciones especiales respecto al comportamiento de los pasajeros dentro de la estación. Se debe mostrar en las estaciones carteles que indiquen las reglas de comportamiento como son no fumar en espacios públicos y evitar elevados volúmenes de música, etc.

2.4.4. Elementos adicionales en Estaciones

En estaciones que se encuentran a desnivel es necesaria la construcción de elementos adicionales que permitan acceder a ella como son las escaleras, rampas, elevadores y ascensores.

2.5. Movilidad accesible orientada a los sistemas de transporte público

La movilidad accesible es el resultado de unir el concepto de movilidad y accesibilidad. La movilidad vinculada únicamente al desplazamiento mientras la accesibilidad está enfocada a que tan fácil es llegar a un lugar.

Los medios de transporte público tienen la función de desplazar a los usuarios de un origen hacia un destino. Además, estos medios deben ser capaces de cumplir y garantizar la accesibilidad a todos los individuos

Elaborar el diseño de un medio de transporte públicos accesible debe estar enfocado en usuarios con habilidades especiales y adultos mayores. Además, debe considerar las posibles discapacidades temporales o permanentes producidas por envejecimiento. (ONCE,2011)

2.5.1. Requisitos técnicos para un transporte público accesible

Infraestructura (estación)

La infraestructura, en especial la estación, debe dotar al usuario de las herramientas necesarias y facilidades que contribuyan a generar una experiencia positiva. Se ha agrupado en tres

apartados: estructura, gestión, información y mobiliario. En cada uno se explican las medidas recomendables que se deben adoptar de modo que garanticen la accesibilidad de los usuarios.

Estructura

La estructura de la estación comprende dos partes: el diseño de su interior y la compatibilidad con el entorno. El primero debe integrar lo funcional con lo arquitectónico. Mientras que el entorno inmediato es el que plantea los retos con respecto a la accesibilidad.

- Para la elección del lugar en el cual se va a edificar la estación se debe tener en cuenta que esté cerca de áreas donde exista presencia de varios modos de transporte tales como taxis, autobuses y vehículos particulares.
- El ingreso debe estar debidamente señalizado, libre de puertas y debidamente iluminado.
- Utilización de cintas transportadoras cuando las distancias sean muy largas y debidamente señalizada la dirección.
- Escaleras con pasamanos, los escalones deben ser de igual dimensión, iluminados y señalizados tanto al iniciar como al finalizar.
- Distancias y recorridos adecuados según los usuarios con movilidad reducida, como las mostradas en la **Tabla 2-2**.

Tabla 2-2: Recorridos máximos según el grupo peatonal al que pertenecen

| Grupo | Distancia recomendada sin Descanso (metros) |
|---|---|
| Usuarios de silla de ruedas | 150 |
| Personas con discapacidad visual | 150 |
| Personas ambulantes, con ayudas para la movilidad | 50 |
| Personas ambulantes | 100 |

Fuente: Guía de diseño accesible y universal ,2009

- Para el ingreso a los buses los usuarios en silla de ruedas requieren un mínimo de ancho libre para ingresar de 1.53 m y transversal al bus de 2.44 m, como se muestran en la **Figura 2-15**.

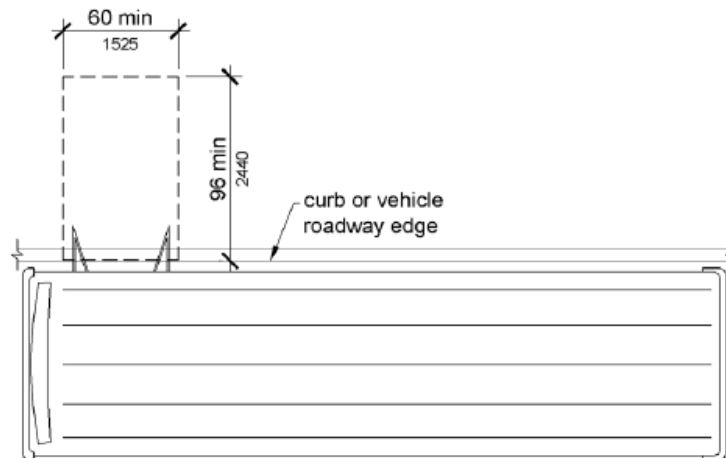


Figura 2-15: Dimensiones del espacio libre para el ingreso de una persona en silla de ruedas
Fuente: Department of Justice, ADA, 2010

Gestión dentro de la estación

La presencia de personal que pueda asistir a todos los usuarios con movilidad reducida o en búsqueda de información son medidas que contribuyen a mejorar el confort y experiencia de viaje.

- Presencia de personal que brinde información, atención, etc.
- Sistemas de información visual (monitores y paneles) y sonora (megáfonos).
- Folletos con información de normas, facilidades y limitaciones de medio de transporte para el usuario.
- Señalización e información para el viaje.

Información

La información es una herramienta imprescindible en un sistema de transporte más aún si este es STM (Sistema de Transporte Masivo) porque influye en la toma de decisión del usuario. En la medida que el usuario pueda captar la cantidad necesaria y con la mayor claridad este estará en capacidad de movilizarse de manera efectiva y en un corto tiempo.

La información presentada debe ser clara, concisa, fácil de entender y constantemente actualizada. Los elementos que se utilizan por lo general son símbolos universales que se puedan reconocer e interpretar rápidamente o que se encuentren acompañados de palabras o frases cortas con colores que permitan su adecuada visualización (el tamaño de la letra depende la distancia de lectura y no debe ser menor a 0.1 m).

La información necesaria comprende la oferta disponible para seleccionar itinerario, conocer

los lugares donde pueden adquirir su ticket, tiempo de espera dentro de la estación, frecuencia de líneas. Para las personas con discapacidad visual es necesario incluir señalización táctil como pisos podotáctiles, información en altorrelieve y braille.

Mobiliario

- La altura de los mostradores de los módulos de atención al público no debe ser mayor de 0.8m y un ancho mínimo de 0.8 m, además una altura mínima libre de 0.7 m de alto de modo que permita que se acerquen personas en sillas de ruedas.
- El mobiliario que se encuentre adosado a las paredes no debe sobresalir más de 10 cm y se encontrará a una altura mayor a los 68.5 cm del nivel del piso de modo que no perjudique a las personas invidentes (Instituto Colombiano del Deporte & Comité Paralímpico Colombiano, 2009).

Además, se tiene en cuenta que para personas en silla de ruda la altura máxima que pueden alcanzar el mobiliario será de 122.0 cm, como se muestra en la **Figura 2-16**. (ADA,2010)

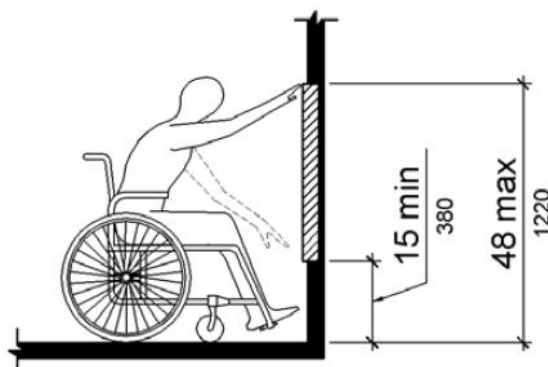


Figura 2-16: Distancia vertical máxima que puede alcanzar una persona en silla de ruedas
Fuente: ADA, 2010

Vínculos o frontera (accesos)

A la zona de frontera o vínculo se le denomina así porque existen cierto grado de dificultad en la transición de un entorno a otro, el claro ejemplo es cuando el usuario deja la estación e ingresa al vehículo.

- Para el embarque y desembarque se deben realizar en un solo paso es por ello que es necesario reducir la separación horizontal y vertical entre el bordillo de la estación y la plataforma del bus. Cuando sea posible utilizar rampas para evitar desniveles mayores a 0.1 m.
- Sistemas de elevación y acceso

- Sistemas de información y señales que indiquen el embarque y desembarque
- Acceso por medio de rampas debe ser como mínimo 90 cm de ancho acompañado de un pasamanos en todo su recorrido. La pendiente máxima a utilizar es de 12% cuando la longitud en planta no exceda los 2 metros. Cuando sea mayor se debe adoptar pendientes de 8% y si la longitud alcanza los 9 metro será necesario incorporar descansos horizontales de largo no menor a 150 cm. Por otro lado, se debe considerar un radio de giro de 150 cm como mínimo para una silla de ruedas que le permita realizar maniobras de giro. A continuación, se muestra en la **Figura 2-17** los espacios para desplazarse y maniobrar que necesita una persona en silla de ruedas. (Boudeguer, A., Prett, P., Squella, A., 2010)

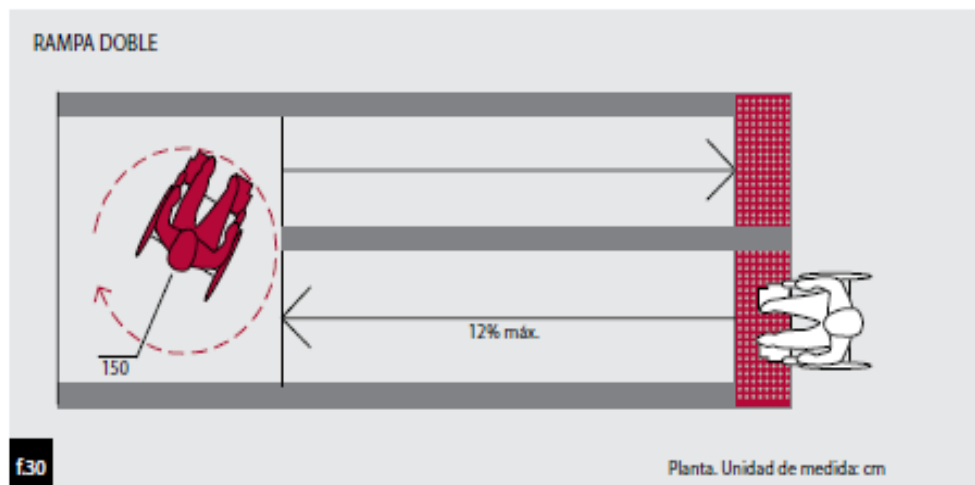


Figura 2-17: Anchos requeridos para la movilización de una persona en silla de ruedas
Fuente: Manual de Accesibilidad Universal, 2010

- El pavimento debe tener una superficie antideslizante y de textura diferente en las zonas horizontales.

Elevadores

Las dimensiones del ascensor dependen de la cantidad de personas que lo requieran utilizar, en la **Figura 2-18** se muestra las dimensiones mínimas requeridas.

- Para una persona en silla de ruedas y un pasajero es 110 x 140 cm la puerta de ingreso no menor a 90 cm.
- Para una silla de ruedas y dos pasajeros 200 x 140 cm, la puerta de ingreso no menor a 110 cm.

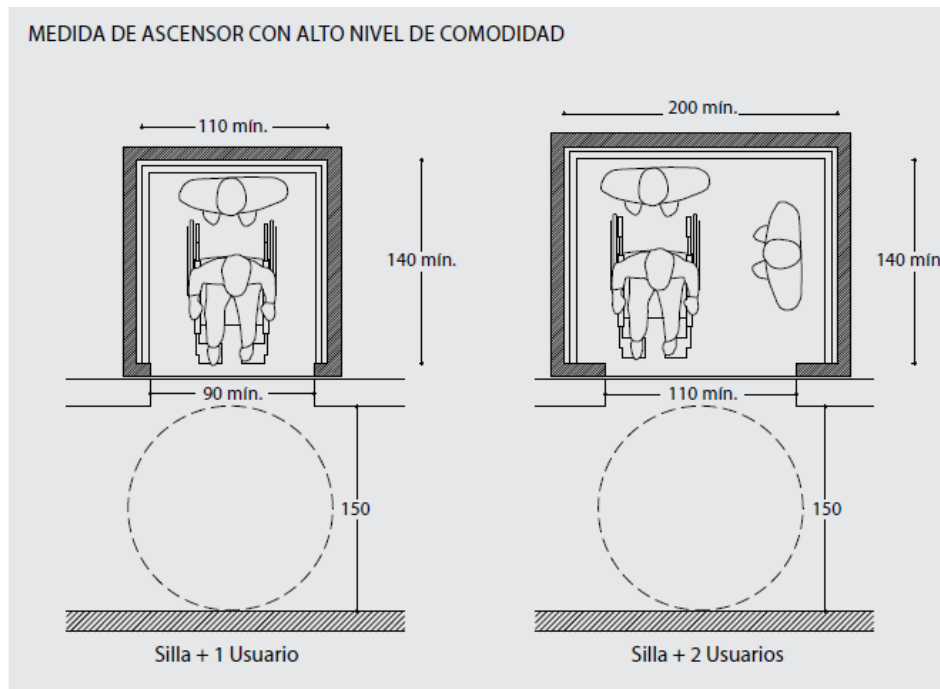


Figura 2-18: Dimensiones requeridas de un elevador para personas en silla de ruedas

Fuente: Manual de Accesibilidad Universal, 2010

El panel de comandos o botones del ascensor estarán ubicados a una altura entre los 90 y 120 cm del nivel de piso. Los botones con un diámetro no menor a 2 cm rodeado con un borde de color brillante y con sobre relieve, mientras que la letra a utilizar no debe ser menor a 0.5 cm de alto (Departamento de Justicia, 2010).

Pasamanos

Los pasamanos consideran 3 alturas medidas del nivel del suelo que son las siguientes

- Para los adultos 95 cm
- Para usuarios con silla de ruedas 75 cm
- Para personas invidentes 10 a 20cm

Diámetro de pasamanos de 3.5 a 4.5 cm y separado 5 cm del muro.

Puertas y Pasillos

El ancho mínimo de una puerta para el ingreso de un usuario con movilidad reducida es de 80 cm y en ancho de pasillo para circular en un solo sentido de 90 cm y si el tránsito es en dos sentidos no será menor de 150 cm, en la **Figura 2-19** se muestran tres situaciones de tránsito en pasillos de una persona en silla de ruedas y dimensiones mínimas requeridas.

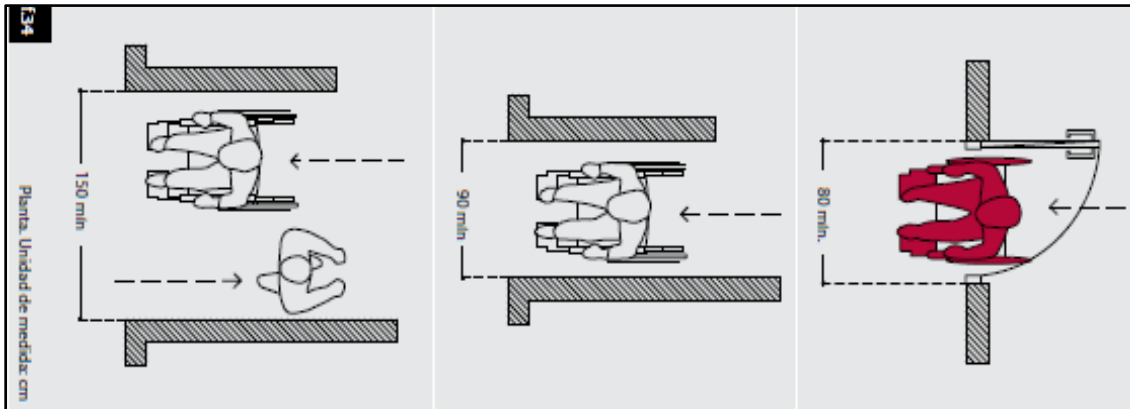


Figura 2-19: Ancho de espacios de tránsito para una persona en silla de ruedas

Fuente: Manual de Accesibilidad Universal, 2010

Por otro lado, en la publicación del departamento de justicia “2010 ADA Standarts for Accessible Design” se propone un ancho mínimo para las puertas de 81.5 cm independientemente de su tipo y para áreas de transito de 91.5 cm.

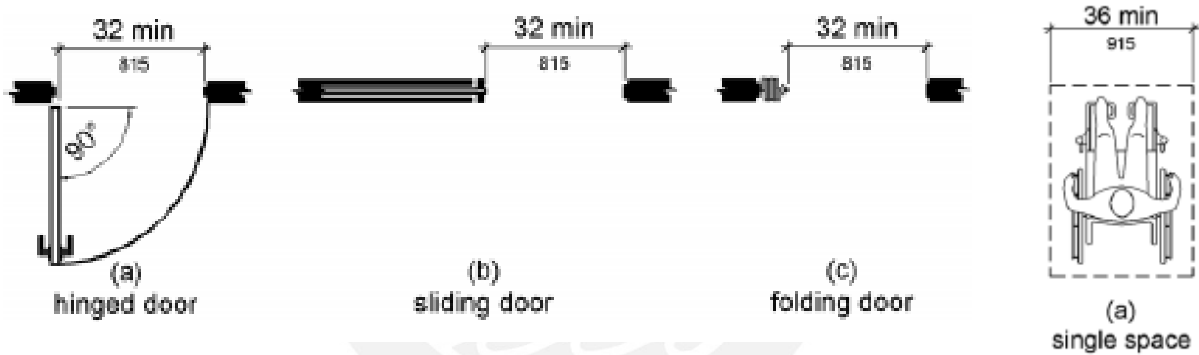


Figura 2-20: Ancho mínimo de puertas

Fuente: ADA, 2010

Cruceros peatonales e islas

Los cruceros son el espacio destinado para que los peatones atraviesen calles y avenidas, el ancho depende de la demanda que se espera deban atender y como mínimo debe ser 1.20 m. hasta los 5.00 m.

En avenidas con muchos carriles y alta demanda vehicular, donde el recorrido es muy extenso es necesario colocar islas de refugio, como en la **Figura 2-21**, donde los peatones pueden esperar al cambio de luz. El ancho mínimo recomendado para las islas es de 1.50 metros.

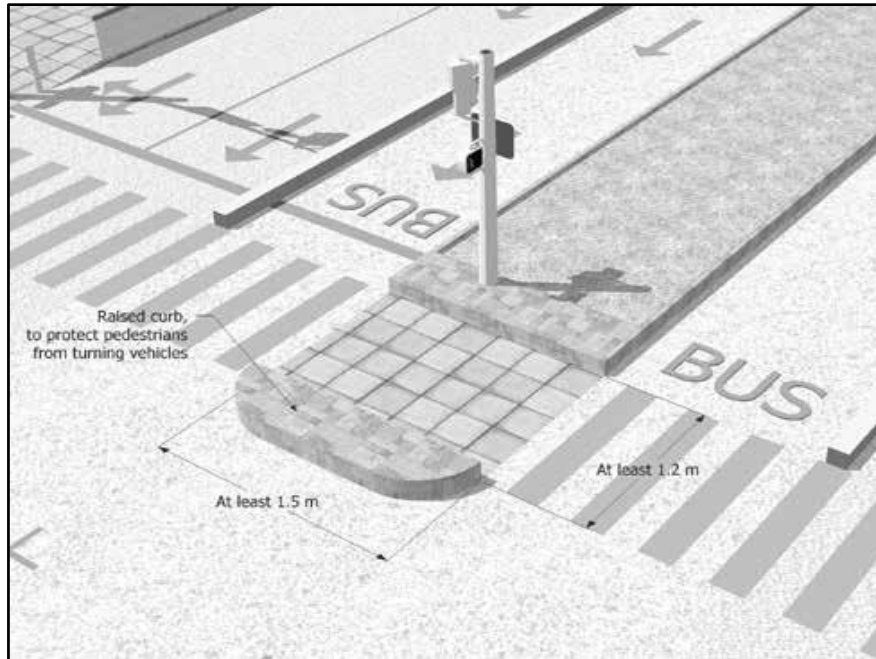


Figura 2-21: Dimensiones de los crucesos peatonales
Fuente: EMBARQ, 2012

2.6. Modelos de simulación

La simulación es una representación de una parte del mundo real construido en un programa de computador. Los modelos son utilizados para describir el comportamiento del tráfico mediante una simulación (Pursula, 1999). En la **Tabla 2-3** se muestra clasificación de los modelos por su naturaleza, nivel de detalle y nivel de aleatoriedad. En la micro-simulación se analiza la interacción de cada vehículo con otros y se registra la posición, velocidad y aceleración cada segundo, para este análisis se utiliza la teoría del seguimiento vehicular (Cabrera, F.,2015).

Tabla 2-3: Clasificación de modelos

| Clasificación | Modelo | Descripción |
|-----------------------|-----------------|--|
| Según su naturaleza | Continuo | Modelo que involucra tasas de cambio de las variables o parámetros de tiempo. |
| | Discreto | Representan estados de las variables que cambian instantáneamente en instantes separados. |
| Nivel de detalle | Macroscópico | Representación continua de flujo de tránsito que relaciona el flujo, velocidad y densidad. |
| | Mesoscópico | Simula un conjunto reducido de vehículos como si fuera uno solo, no se distingue a los vehículos y comportamiento del conductor. |
| | Microscópico | Enfocado en el comportamiento individual de cada vehículo para obtener el comportamiento global del tráfico en una vía. |
| Nivel de aleatoriedad | Determinísticos | Modelos que poseen una única solución para ciertas condiciones. |
| | Estocásticos | Modelo con uno o más parámetros aleatorios. |

Fuente: Adaptado de Álvarez, J,2017

Modelo de seguimiento vehicular - Wiedemann

El modelo de seguimiento vehicular relaciona a un vehículo que transita delante del otro. Wiedemann (1974) se basa en la percepción y reacción del conductor respecto a la distancia y velocidad de los vehículos. (Álvarez, J., 2017). En la **Tabla 2-4** se muestran los parámetros de calibración del modelo.

Tabla 2-4: Parámetros del modelo de Wiedemann 1974

| Parámetro | Símbolo | Descripción | Valor por defecto |
|---|---------|---|-------------------|
| Distancia promedio de parada | ax | Distancia promedio deseada entre dos autos | 2 |
| Parte aditiva de la distancia de seguridad | bxadd | Parámetro utilizado para el cálculo de la distancia de seguridad deseada. | 2 |
| Parte multiplicativa de la distancia de seguridad | bxmult | Parámetro utilizado para el cálculo de la distancia de seguridad deseada. | 3 |

Fuente: Adaptado de PTV VISSIM 8 USER MANUAL, 2015

Modelo de Fuerza Social – Helbing y Molnar

El modelo de fuerza social propuesto por Helbing y Molnar (1995) trata de describir el comportamiento peatonal a través de fuerzas de atracción y repulsión basadas en las leyes de Newton; en esta analogía, los peatones interactúan con el medio, obstáculos y otras personas que le ejercen “fuerzas sociales”, las cuales determinan la variación de la trayectoria, la velocidad y la aceleración, la cual depende del destino del peatón analizado (Legua, G., Sabino, M., 2016).

Este tipo de modelo es ampliamente utilizado en los programas de micro simulación por lo que ha sido implementado en programas de cómputo como VISWALK (Legua, G., Sabino, M., 2016). En la **Tabla 2-5** se muestran los parámetros de calibración del modelo.

Tabla 2-5: Parámetros del modelo de Fuerza Social

| Parámetro | Símbolo | Valor por defecto |
|---|--------------------|-------------------|
| Tiempo de reacción | τ (tau) | 0.4 |
| Factor de Anisotropía | λ (lambda) | 0.176 |
| Fortaleza de la fuerza entre peatones | A_soc_isotropic | 2.7 |
| | A_soc_mean | 0.4 |
| Rango de la fuerza entre peatones | B_soc_isotropic | 0.2 |
| | B_soc_mean | 2.8 |
| Impacto de la velocidad relativa entre peatones | VD | 3 |
| Noise (factor aleatorio) | noise | 1.2 |
| Cantidad de peatones influyentes | react_to_n | 8 |

Fuente: Curso Micro-simulación peatonal PUCP, 2018

El proceso para desarrollar un modelo de micro-simulación se muestra en la **Figura 2-22**.

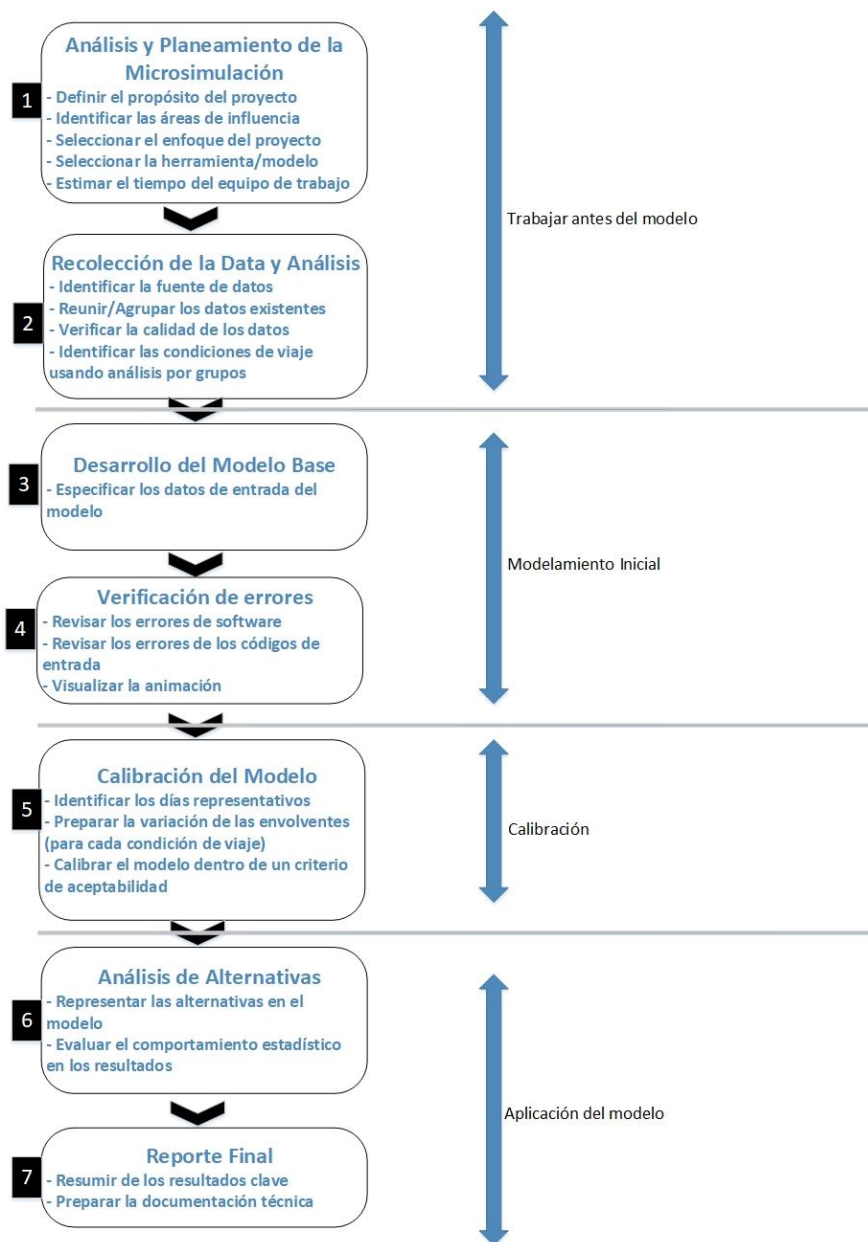


Figura 2-22: Diagrama del proceso de Micro-simulación

Fuente: Adaptado de FHWA, 2019

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL METROPOLITANO

3.1. Observación y recolección de información en campo de cuatro estaciones del Metropolitano

Como parte de los objetivos específicos planteados para la elaboración del proyecto se realizó visitas a 4 estaciones del Metropolitano (ubicadas en las avenidas Angamos, Izaguirre, Javier Prado, España). La finalidad de las visitas fue recolectar información que comprende las dimensiones de las estaciones (anchos de áreas de espera y tránsito peatonal) e identificar

problemas y deficiencias del servicio para los usuarios, los resultados de la visita son mostrados en la **Tabla 3-1**.

Tabla 3-1: Dimensiones de las estaciones visitadas

| No. | Nombre de estación | Ancho total | Ancho estructura metálica | Ancho de voladizos | Ancho de servicio y rampa | Longitud del área de carga |
|-----|--------------------|-------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|
| | | m | m | m | m | m |
| 1 | Angamos | 4.5 | 0.4 | 1 | 3.5 | 22.4 |
| 2 | Javier Prado | 4.5 | 0.4 | 1 | 3.5 | |
| 3 | España | 5 | 0.4 | 1 | 4 | |
| 4 | Izaguirre | 5 | 0.4 | 1 | 4 | |

Fuente: Propia

En el **Anexo 3 – Tipos de estaciones del BRT Metropolitano** se muestran las diferentes configuraciones de las estaciones del Metropolitano.

3.2. Análisis del Metropolitano

En la década del 2000 varias ciudades del continente sudamericano como Bogotá y Santiago de Chile llevaron a cabo políticas de regulación del transporte público. Estas ciudades, desarrollaron estrategias para crear un transporte público eficiente con base en la movilidad sostenible, aquella en la que se busca restringir el uso indiscriminado del automóvil al tiempo que se promueve una oferta de transporte público de calidad como alternativa social y ambientalmente sustentable (Poole Fuller, 2017).

En aquel contexto la Municipalidad de la ciudad de Lima conjuntamente con el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo proyectaron la construcción de un sistema BRT, el cual sería denominado El Metropolitano. Para llevar a cabo esto se estableció la entidad PROTRANSPORTE, la cual en la actualidad planifica y coordina proyectos de inversión en transporte en la ciudad de Lima. La implementación duró 4 años (2006 – 2009) y el BRT empezó a operar en el año 2010.

El Metropolitano recorre la ciudad de Lima de norte a sur y viceversa con carriles exclusivos que cubren 26 km de la ciudad. Cuenta con líneas troncales que unen los siguientes distritos de Lima: Por el **norte**: Rímac, San Martín de Porres e independencia, por el **centro**: Cercado de Lima y Breña y por el **sur**: Chorrillos, Barranco, Miraflores, Surquillo, San Isidro, Lince y La Victoria). Como se puede ver en la **Figura 3-1** (Protransporte, 2017).



Figura 3-1: Ruta troncal del Metropolitano y los distritos que conecta

Fuente: Protransporte, 2014

La capacidad de los buses es de 160 pasajeros y además estos operan a Gas Natural Vehicular (GNV), lo cual permite una menor contaminación ambiental (Protransporte, 2017).

En cuanto a la infraestructura, este sistema de BRT, cuenta con dos estaciones terminales denominadas Matellini y Naranjal, donde no solo se realiza el embarque y desembarque de pasajeros, sino también ahí se puede realizar las conexiones con los buses alimentadores del sistema.

Asimismo, presenta una estación central subterránea como eje de conexiones entre el norte y el sur de Lima Metropolitana. Las estaciones intermedias son en total 35 espaciadas alrededor de 500 m entre ellas.

En cuanto al medio de pago presenta una integración tarifaria mínima pues solo permite la integración entre los buses troncales y los alimentadores y no permite la integración tarifaria ni física ni operacional con el Metro de Lima. Los pagos se realizan mediante tarjetas electrónicas y se deben realizar tanto dentro de los alimentadores y antes de ingresar a las estaciones. Por un lado, el Metropolitano cumple con el requisito del Estándar BRT de pago antes de abordar, pero trabaja de forma aislada de los otros medios de transporte público masivo de la ciudad: el transporte público de Lima carece de integración, lo cual genera una baja efectividad del sistema.

Ante esta situación, el Municipio de Lima en los años 2011 - 2015 apostó por una mayor regulación del transporte público. Con este fin se adoptó una serie de medidas para reorganizar el servicio bajo un esquema de sistema integrado con concesiones planificadas y reguladas (Mendiola et al 2014; Poole Fuller, 2016). En una primera etapa se detuvo el incremento de la flota de vehículos para transporte público, con el fin de despejar de transporte público excesivo

en algunas arterias principales de la ciudad como la Av. Arequipa, Av. Javier Prado, etc. Conjuntamente con esta medida se aumentó las exigencias en cuanto al tipo de vehículo a utilizar en el transporte público: El bus patrón presenta características como mayor tamaño en longitud (9, 12, 14 ,18 y 24 metros); reduce la contaminación ambiental pues estos vehículos funcionan utilizando la normativa Euro IV; menor contaminación acústica; y permite una mayor inclusión en los viajes pues permite facilidades para las personas con movilidad reducida.

Posteriormente, en el mismo periodo antes mencionado la Municipalidad de Lima implementa, bajo ordenanza municipal N° 1613 el Sistema Integrado de Transporte (SIT), el cual tenía como fin integrar todos los medios de transporte público de la ciudad.

Se planteó implementar unos buses denominados “corredores” los cuales debían recorrer las principales avenidas de la ciudad. Estos debían estar conectados tanto física, operacional y tarifariamente con los ya existentes Metro, buses y Metropolitano. Esta integración general buscaba que se cuente con una sola forma de pago de la tarifa, un medio físico con adecuada infraestructura, que permita un intercambio modal entre los sistemas involucrados (Metropolitano, Metro, Transporte público y corredores complementarios del SIT). El esquema jerárquico del SIT se muestra en la **Figura 3-2**:



Figura 3-2: Esquema del Sistema Integrado de Transporte (SIT)

Fuente: Protransporte, 2014

Sin embargo, para el año 2014 solo se implementó uno de los cinco corredores complementarios planteados y sin el sistema único de recaudo (integración tarifaria). Con el cambio de gobierno municipal en el año 2015 se paralizó y se canceló la implementación del

SIT y se permitió que las empresas que operaban antes de este proyecto y que fueron removidas trabajen con permisos provisionales.

Esto último generó un incidente negativo pues las rutas de transporte público preexistente ahora se superponían al corredor complementario existente y principalmente se impidió la integración. En la actualidad, operan los cinco corredores complementarios; sin embargo, operan parcialmente (sin retirarse las rutas que circulaban previamente).

Adicionalmente, la Unidad de Recaudo, que iba a permitir la integración tarifaria, no ha vuelto a ser licitada (Poole Fuller, 2017). Con esto el Metropolitano y el Metro de Lima siguen operando aisladamente uno del otro: no existe un intercambio modal entre los sistemas. En consecuencia, la ciudad de Lima aún carece de un transporte público de calidad e integrado, que permita e impulse los criterios de movilidad sostenible.

El Metro y el Metropolitano conjuntamente apenas satisfacen la demanda de un 9.4% de usuarios del transporte público (Lima Cómo Vamos, 2018). Esto resulta evidente pues se sabe que en la ciudad solo existe una línea de BRT, un Metro y el reciente Sistema Integrado de Transporte los cuales no cuentan con una tarifa integrada, operacionalmente ni físicamente.

Adicionalmente a esto según la encuesta de Lima Cómo Vamos del año 2017 el medio que más utilizan los Limeños es el transporte público (bus, combi y coaster) con un 65.66 %, pero el nivel de satisfacción que presentan por el mismo es de solo 5.63 %.

Si bien el transporte público ha mejorado con la implementación del Metropolitano en relación con el transporte público desregulado e informal aún es insuficiente para satisfacer la demanda, pues solo se cuenta con una línea de BRT para toda la ciudad.

Por lo mencionado en el párrafo anterior se genera largas colas dentro de las estaciones, lo cual reduce el espacio para los desplazamientos adecuados y cómodos de los usuarios, que a la postre resulta en un hacinamiento en la estación, en la que una persona con movilidad reducida no podría utilizar el sistema.

En comparación con las otras ciudades de la región (Curitiba, Bogotá, Santiago de Chile, etc) Lima solo cuenta con 26 km de BRT para una población de 10 millones de habitantes. En cambio, Curitiba cuenta con 74.1 Km de BRT, los cuales abastecen a una población de tan solo 1.9 millones de habitantes. El caso más cercano a la ciudad de Lima en cuanto a habitantes es el de Bogotá - Colombia, el cual cuenta con una población de 7.8 millones de habitantes; sin embargo, a diferencia de Lima la capital colombiana cuenta con 112.9 km de sistema BRT. Lo

descrito anteriormente se puede observar en la **Figura 3 - 3**:

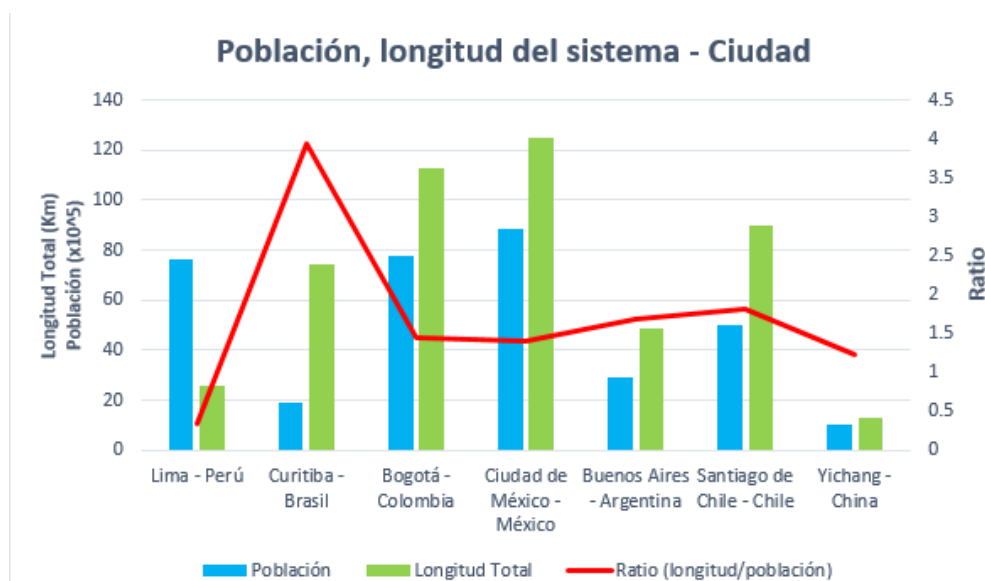


Figura 3-3: Población, longitud y ratio km/(10⁵ habitantes)

Fuente: Elaboración propia

De la **Figura 3-3** se puede ver que tanto para las ciudades de Curitiba, Bogotá, Ciudad de México, Buenos Aires, Santiago de Chile e Yichang la cantidad de kilómetros BRT que abastecen a la ciudad se compensa con la población a servir. Se puede observar que, en estas 5 últimas ciudades la relación kilómetros de sistema BRT entre población está en el rango de 1.00 a 1.50: existe un patrón, salvo el caso de Curitiba que presenta un ratio de 3.94,. Sin embargo, en la ciudad de Lima el ratio llega a 0.34, lo cual evidencia que hay pocos kilómetros de BRT para una población considerable.

En consecuencia, dado que el sistema no satisface la demanda de manera adecuada, los usuarios optan por usar vehículos privados y los buses del sistema de transporte público convencional. Esto genera un círculo repetitivo, lo cual resulta en un transporte público de baja calidad.

Problemas observados dentro de las estaciones

Dado que las estaciones del Metropolitano se pueden considerar un espacio público en la que las personas interactúan entre sí y puede existir diversos patrones de comportamiento, se tomó las recomendaciones del libro *How to Study Public Life* para determinar los criterios de observación y preguntas relevantes. No es posible establecer una lista fija de preguntas a ser investigadas en todos los lugares pues cada sitio es único (Gehl; Svarre, 2013).

Listado de preguntas:

1. ¿Quiénes son los principales usuarios del Metropolitano?

2. ¿Cómo realizan los usuarios las colas de espera dentro de las estaciones?
3. ¿Dónde están ubicados los paneles informativos de llegada de buses? ¿Resultan adecuados para los usuarios y especialmente para las personas de tercera edad?
4. ¿El comportamiento de los usuarios dentro de la estación varía durante el día?
5. ¿Cuál es la frecuencia de los buses en las horas pico?

Las visitas realizadas a las estaciones del Metropolitano no solo fueron con el objetivo de obtener datos de campo, sino que también para observar e identificar ciertas deficiencias. A continuación, se explican los principales problemas observados.

Hacinamiento en las estaciones

El hacinamiento en las estaciones se debe a la gran cantidad de usuarios que esperan dentro. Esto genera que se produzcan largas colas de espera para ingresar a los buses, como se evidencia en la **Figura 3-4**.

El alto grado de saturación que se presenta en las estaciones debido a las personas que esperan ingresar al bus en las colas genera que desaparezcan las áreas para transitar destinadas para los pasajeros que desembarcan de los buses en esa estación.

Una estación que evidenció este problema es la que se encuentra ubicada en la avenida Javier Prado, en dirección Sur- Norte. Se observó que de toda la población la mayor cantidad de personas utilizaban los expresos (zona más alejada del ingreso embarque 2 - Norte "C" 1,5,8 y embarque 3 - EX2) y una menor cantidad optaba por los troncales (zona más cercana del ingreso Embarque 1 - "C"). En total se tienen 5 rutas que paran en esta estación, en las zonas de embarque 2 y 3 se identificó que continuamente se saturaron. De la experiencia de las visitas en horas punta se comprobó la dificultad de movilizarse. Desde esta perspectiva para toda persona con movilidad reducida sería imposible transitar por la estación.



Figura 3-4: Hacinamiento de usuario en la Estación Javier Prado
Fuente: Propia

Se puede inferir que una causa de este problema es la presencia de varias líneas en dicha estación y la frecuencia de los arribos.

Según datos de PROTRANSPORTE la frecuencia del servicio, en la estación Javier Prado, es la indicada en la **Tabla 3-2**:

Tabla 3-2: Frecuencia de buses en minutos en la estación Javier Prado en hora punta

| JAVIER PRADO | | Hora punta mañanas (min) | Hora punta en la tarde (min) |
|--------------|----|-----------------------------|---------------------------------|
| EXPRESO 1 | SN | 2 | 4 |
| | NS | 3 | 4 |
| EXPRESO 2 | SN | 3 | 2 |
| | NS | 2 | - |
| EXPRESO 5 | SN | - | - |
| | NS | - | - |
| EXPRESO 6 | NS | 4 | - |
| EXPRESO 7 | NS | 3 | - |
| EXPRESO 8 | NS | - | 4 |
| | SN | - | 2 |
| REGULAR B | NS | - | 4 |
| | SN | - | 4 |
| REGULAR C | NS | 4 | 4 |
| | SN | 3 | 4 |

Fuente: Adaptado de PROTRANSPORTES, 2018

SN: Sur a Norte

NS: Norte a Sur

En el **Anexo 4 – Frecuencia de arribos del sistema Metropolitano** se muestran dos tablas, las cuales contienen la frecuencia de buses por hora en la estación Javier Prado y las frecuencias de los mismos en horas punta.

De la tabla anterior, se puede observar que la frecuencia de buses varía entre 2 minutos a 4 minutos. Según recomendaciones del ITDP en promedio la frecuencia de parada por estación en hora punta tiende a un valor entre 1 minuto a 1.5 minutos.

Esto última evidencia que la frecuencia en las horas punta superan los valores recomendados, principalmente en el periodo crítico de las tardes, con lo cual se puede corroborar que una de las causas del hacinamiento en el sistema es la frecuencia de los buses.

Se excede la capacidad de los buses y extensas colas de espera

Una de las causas de la baja calidad del servicio del Metropolitano, en horas punta, es que se excede la capacidad de los buses. Esta situación es producto de que pasajeros ingresan a los

buses cuando estos se encuentran repletos hasta el punto en el cual las puertas no son capaces ser cerradas.

Además, el desorden en las estaciones es provocado por la falta de espacio para realizar las colas de espera en la plataforma de abordaje. Para el ingreso a los buses se forman colas en cada puerta de ingreso según el orden de llegada de los usuarios. Sin embargo, en cada puerta de abordaje al bus se ofrece hasta 3 rutas de buses (en los embarques dedicados para expresos), el espacio disponible dentro de la estación no permite desarrollar un igual número de colas de espera por lo que como máximo se forma una. Cuando arriba un bus los pasajeros salen de la fila y corren hacia el bus correspondiente.

Falta de información

En las estaciones se encuentran instaladas pantallas que informan de la llegada de los buses. Sin embargo, estas son escasas y se encuentran ubicadas solamente en el ingreso a la plataforma o hasta en dos puntos de la estación. Esto genera que las personas realicen colas innecesarias en zonas de abordaje que no les corresponde, lo cual se traduce en un incremento del tiempo de viaje.

Las estaciones intermedias del sistema carecen de información clara y precisa para los usuarios, principalmente para los aquellos que son nuevos, pues no se cuentan con paneles informativos ni pantallas ubicadas adecuadamente dentro de la estación.

Distancia recorrida

Uno de los problemas es el extenso recorrido de las personas como por ejemplo en la Av. Javier Prado, el peatón debe caminar una gran trayectoria de entre 380 a 400 metros, este recorrido sólo comprende desde el paradero de los corredores del Sistema Integrado de Transporte de la Municipalidad de Lima (SIT) hasta el ingreso a la estación. A esto se suma el tramo comprendido desde el ingreso hasta la plataforma de embarque para subir al bus.

Es por este motivo que es necesario optimizar las distancias lo que a su vez se refleja en la reducción del tiempo de viaje invertido para movilizarse en los medios de transporte. Si bien la distancia mencionada con anterioridad no representa una cantidad significativa para un ciudadano joven en todas sus facultades motrices, este si puede representar un problema para un usuario con movilidad reducida. Se estimó que la distancia recomendada para personas con discapacidad visual o motriz debía ser de 150 m. (Instituto Colombiano del Deporte & Comité Paralímpico Colombiano, 2009)

En el **Anexo 5 – Distancia recorrida para ingresar a la estación Javier Prado** se muestra esquemáticamente la distancia que debe recorrer un peatón desde el paradero del corredor Javier Prado más cercano a la línea BRT hasta la puerta de la estación del Metropolitano.

3.3. Selección e interpretación de encuestas

La opinión de los usuarios acerca de un sistema de transporte público evidencia las necesidades y el grado de satisfacción que estos perciben al realizar los viajes. En este sentido, las encuestas son un medio que permite realizar correcciones y optimizar el medio de transporte analizado. Asimismo, permiten conocer las características positivas y rescatables del sistema. El sistema de transporte Metropolitano ha sido tomado en cuenta en las diversas encuestas realizadas por el observatorio ciudadano “Lima Cómo Vamos”.

Para la elaboración de este proyecto se ha tomado en cuenta las encuestas realizadas por dicha entidad pues contempla una muestra representativa. El informe a utilizar es la “Encuesta Lima Cómo Vamos” del “IX informe de percepción sobre la calidad de vida en Lima y Callao”, el cual fue elaborado del 25 de junio al 26 de julio del 2018 y presenta una muestra de 1920 personas mayores de 18 años residentes en Lima Metropolitana y 400 personas mayores de 18 años residentes en el Callao. La encuesta presenta un margen de error de +- 2.24% para el conjunto de la muestra. Asimismo, se elabora gráficos comparativos con las encuestas de los años 2017, 2016, 2015, 2014, 2013, 2012 y 2011 de la misma entidad.

Inicialmente, se toma en cuenta la percepción de los usuarios en cuanto a satisfacción del transporte público en general. Con el fin de evaluar de manera global la calidad del transporte en la ciudad de Lima en función del grado de accesibilidad de las personas según su edad.

Se puede observar de la **Tabla 3-3** que el 68.96% de encuestados en Lima y el 46.25% en el Callao se encuentra insatisfecho con el transporte público. Asimismo, las personas con mayor grado de insatisfacción son las de 30 a 44 años y de 45 a más. Esto evidencia que las personas de tercera edad presentan mayor dificultad e incomodidad al utilizar el transporte público en la ciudad. Es importante notar que solo el 5.63 % de personas encuestadas se encuentra satisfecho con el sistema para Lima y 19.5% en el caso del callao.

Otro punto a considerar de la encuesta es lo referente al principal medio de transporte que utilizan las personas para ir a sus trabajos o a sus centros de estudio en un día regular.

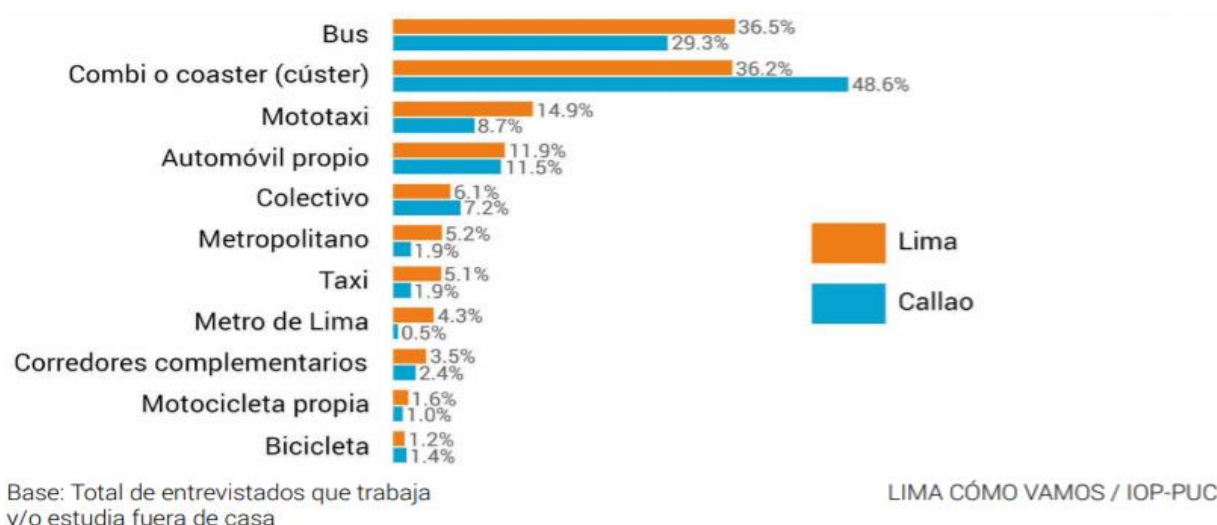


Figura 3-5: Modos de transporte utilizados en el año 2018

Fuente: “Lima Cómo Vamos”, 2018

Se puede observar del **Figura 3-5** que el principal medio de transporte utilizado, en el caso de Lima, es el bus del transporte público convencional con 36.5% y de 29.3% en el caso del Callao. En segundo lugar, se encuentran la combi o coaster, también del transporte público convencional con un 36.2 % para Lima y 48.6 % para el Callao. Estos datos resultan lógicos con lo descrito en el nivel de satisfacción general del transporte público pues el bajo nivel de satisfacción se debe a la baja calidad de estos dos medios de transporte.

En el caso del Metropolitano, solo el 5.2 % de las personas encuestadas lo utilizan en Lima y solo el 1.90 % en el caso de las personas del Callao. Esto se debe por una parte a que el Metropolitano cuenta con solo 26 km de sistema, lo cual no permite que cubra gran parte la capital peruana.

Esto último se hace evidente en los datos registrados a las personas que viven en el Callao pues es una de las zonas que se encuentra alejada de la ruta del Metropolitano y por ende su bajo porcentaje de utilización.

Respecto a los años anteriores se puede observar en el **Figura 3-6** una tendencia descendente cuanto a la utilización del Metropolitano, en las personas encuestadas en la ciudad de Lima.

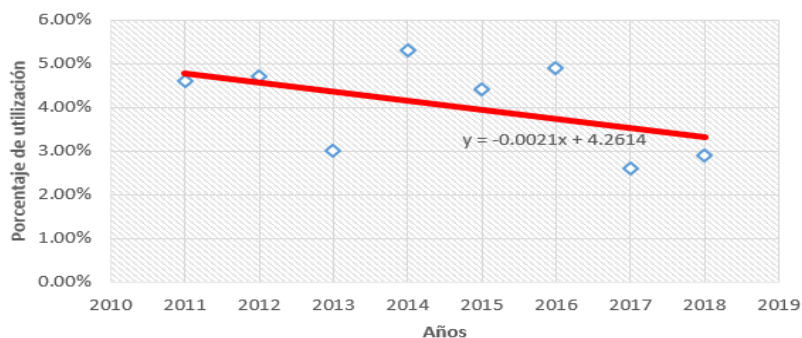


Figura 3-6: Uso del Metropolitano en periodo 2011-2018 (Lima)

Fuente: Adaptación Lima Cómo Vamos, 2018

Como siguiente punto se toma en cuenta la calificación del servicio del transporte el Metropolitano en función de la percepción de las personas encuestadas que lo utilizaron.

En los últimos tres años las encuestas han corroborado la disminución en la conformidad de los usuarios del Metropolitano. Hasta el año 2015 el Metropolitano gozaba de una gran aceptación por parte de los usuarios, ello se ve reflejado en el grado de satisfacción alcanzó un 64% casi igual que el Metro que obtuvo un 70% (Comercio 2015). Sin embargo, para el año 2016 según una encuesta realizada por Ipsos Perú el 53% consideraba que la calidad del servicio no estaba acorde con el costo del pasaje y por el contrario el 44% consideraba que este costo si era adecuado (Comercio, 2016).

Con el paso de los años implementaron políticas de mejora, como la modificación de rutas, pero estas no tuvieron efectos positivos debido a que para el año 2017 el grado de satisfacción se mantuvo en 44 % como se aprecia en el **Figura 3-7** (Comercio, 2017).

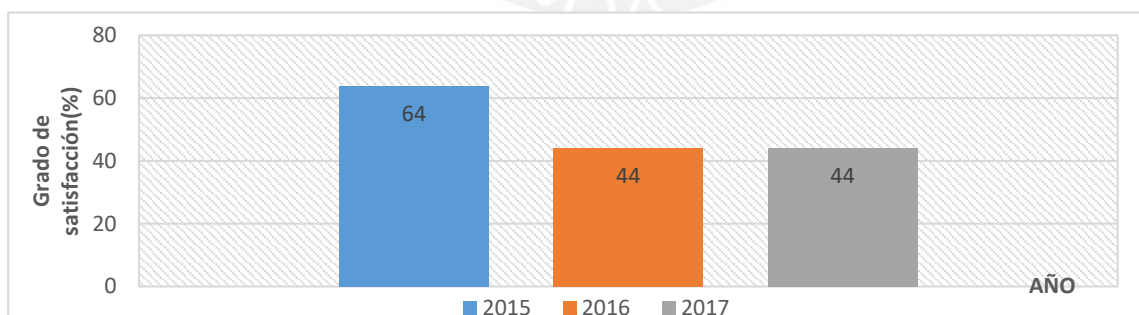


Figura 3-7: Grado de satisfacción de los usuarios periodo 2015-2017

Fuente: Adaptado de El Comercio 2015, 2016 y 2017.

En el **Figura 3-8** se muestra la conformidad de los encuestados respecto al servicio del Metropolitano en Lima Metropolitana como en el Callao. En Lima Metropolitana cerca del 50 % considera que es bueno y el otro 50%, de regular a mala; en el Callao el 56% considera como buena y 44% de regular a mala.

Tabla 3-3: Nivel de satisfacción del transporte público en Lima

| ¿Cómo califica su nivel de satisfacción con el transporte público en la ciudad de Lima? | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------------|--------------|---------------|--------|--------|--------|---------------------|-----------|------------|----------|
| | 2017 | SEXO | | EDAD | | | NSE | | | ÁREA INTERDISTRITAL | | | |
| | | Mujer | Hombre | 18 a 29 años | 30 a 44 años | 45 años a más | A/B | C | D/E | Lima Centro | Lima Este | Lima Norte | Lima Sur |
| Insatisfecho (1-2) | 68.96% | 68.40% | 69.57% | 61.08% | 73.59% | 72.42% | 70.61% | 67.17% | 68.78% | 70.20% | 67.00% | 63.73% | 76.65% |
| Ni insatisfecho ni satisfecho (3) | 25.16% | 25.90% | 24.35% | 32.62% | 20.93% | 21.73% | 24.88% | 26.18% | 23.81% | 24.71% | 25.89% | 29.02% | 19.80% |
| Satisfecho (4-5) | 5.63% | 5.30% | 5.98% | 6.15% | 4.99% | 5.70% | 4.27% | 6.37% | 7.14% | 4.71% | 6.92% | 6.86% | 3.55% |
| NS/NR | 0.26% | 0.40% | 0.11% | 0.15% | 0.48% | 0.15% | 0.24% | 0.28% | 0.26% | 0.39% | 0.20% | 0.39% | 0.00% |
| | N=1920 | N=1000 | N=920 | N=650 | N=621 | N=649 | N=820 | N=722 | N=378 | N=510 | N=506 | N=510 | N=394 |

Fuente: “Lima Cómo Vamos”, 2017

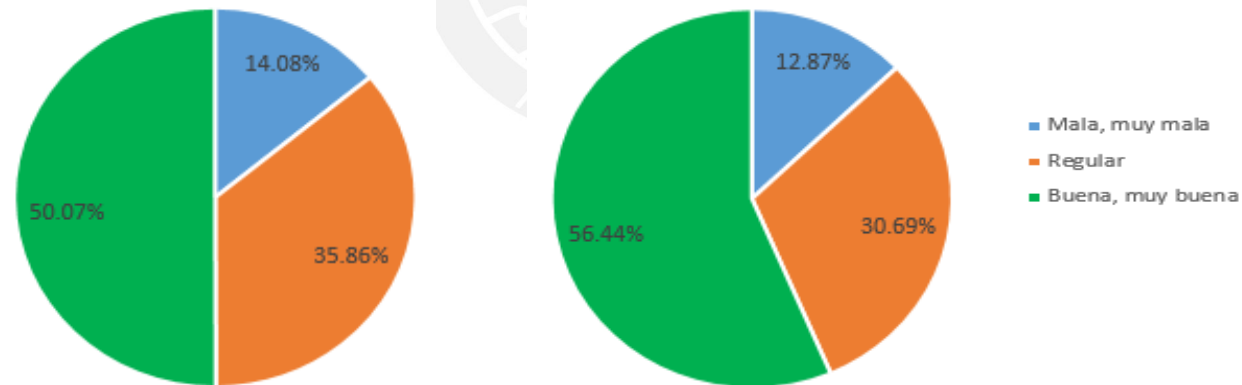


Figura 3-8: Conformidad de los usuarios de Lima y Callao con el servicio del Metropolitano respectivamente

Fuente: “Lima Cómo Vamos”, 2018

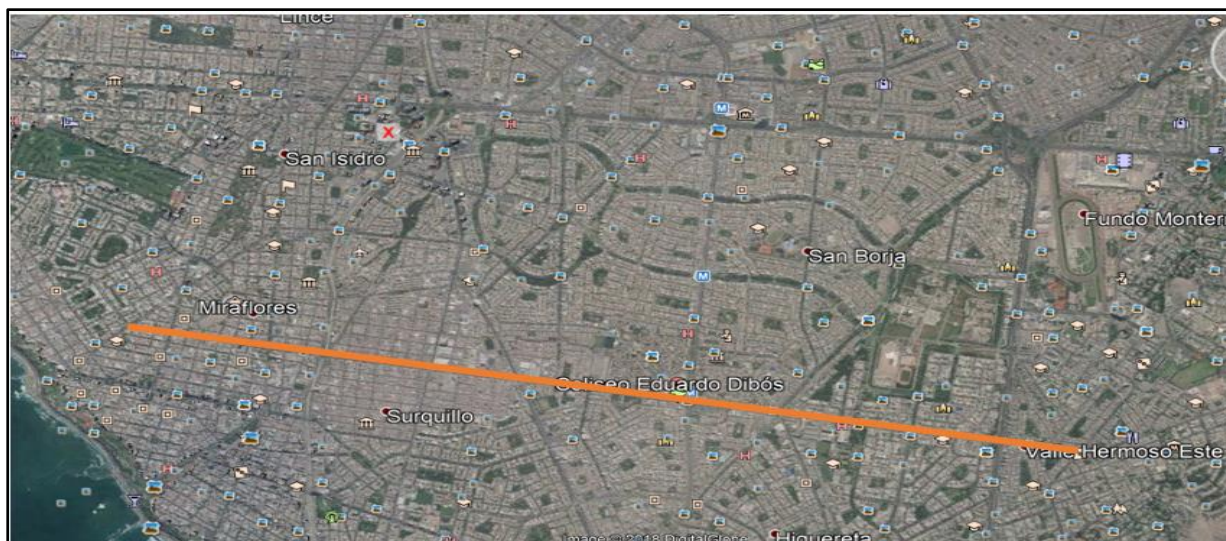


Figura 4-2: Trazo de la ruta elegida
Fuente: Adaptado de Google Earth, 2018

Análisis cualitativo de la zona de estudio

Se realizó la visita el área de estudio, intersección de las avenidas Angamos y Aviación, para identificar aspectos relevantes relacionados a los modos de transporte y a la interacción de los usuarios del transporte público. La zona donde se encuentra la estación Angamos del Metro de Lima es un punto de alta demanda de transporte público como lo muestra la **Figura 4 - 3**.



Figura 4-3: Paradero de la Av. Angamos Este – Oeste
Fuente: Propia

Actualmente, a lo largo de la Av. Angamos los principales modos de transporte que se observan son el privado y público convencional (buses y coaster). Se identificó que las empresas de buses realizan el recojo de pasajeros en un carril central, esto se evidencia en la **Figura 4 - 4**. De acuerdo con el artículo 206 - Uso de paraderos del DS: 016-2009-MTC solo tienen autorizado recoger o dejar pasajeros en paraderos autorizados en el carril derecho de la vía.



Figura 4-4: Recojo de pasajeros en carril central Av. Angamos

Fuente: Propia

Por otro lado, dado que la ganancia en las empresas de buses depende de la cantidad de pasajeros que transportan, los conductores de los buses esperan en las intersecciones para conseguir más usuarios. En algunos casos estos buses ocupan uno y hasta dos carriles, como se muestra en la **Figura 4-5**, por lo que los demás vehículos deben realizar maniobras para continuar transitando.



Figura 4-5: Combis/buses que esperan en el carril derecho de la Av. Angamos O-E

Fuente: Propia

Se observó que las personas que salen de la estación del tren y se dirigen al paradero de transporte público se posicionan sobre un sector de la calzada, como se aprecia en el **Figura 4-6**. Además, los peatones aprovechan el instante en el cual disminuye el flujo vehicular de la Av. Aviación para cruzar como se muestra en la **Figura 4-7**. Estas situaciones de riesgo para los peatones se deben al extenso rojo peatonal.



Figura 4-6: Usuarios que esperan en la calzada
Fuente: Propia



Figura 4-7: Usuarios que cruzan la vía en rojo peatonal
Fuente: Propia

Se identificó dos aspectos relevantes después de la visita:

Las empresas de transporte público realizan un recojo desordenado de pasajeros. En una zona de alta demanda se requiere que exista un sistema de transporte que pueda suplir las deficiencias antes mencionadas y brinde un servicio de calidad.

Dado que el ciclo semafórico no es el adecuado, los peatones esperan mucho tiempo para cruzar la vía. En esta situación exponen su integridad para aprovechar los escasos instantes donde no circulan vehículos, priorizan el tiempo antes que la seguridad. Para reducir los riesgos por imprudencias de los peatones y disminuir los tiempos de trasbordo desde el tren a los paraderos de buses se considera como una medida de mejora la implementación de una estructura que comunique la estación del tren con la de buses del BRT.

Criterios de identificación del corredor BRT

De acuerdo con lo especificado en el manual de diseño del ITDP (2010) se identifica el corredor mediante los siguientes ejes:

Áreas de alta demanda

Los indicadores clave que ayudan a la toma de decisión sobre los corredores toman en consideración los siguientes ítems:

- Servicios existentes: Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN)
- Distritos centrales de negocios: Centros empresariales de Miraflores
- Centros educativos: Gran Unidad Escolar Ricardo Palma, colegio Independencia, San Ignacio de Recalde School, San Ignacio de Loyola, Alfredo Salazar, Villa María
- Grandes Centros comerciales: Maestro Chacarilla, Centro comercial Chacarilla, Open Plaza, Real Plaza

Arterias o vías principales

La ruta del BRT se encuentra localizada en arterias principales debido a que estas poseen las siguientes características:

- Mayor densidad poblacional
- Distancias medianas a grandes
- Concentración existente de buses y de transporte informal
- Concentración de destinos principales en áreas de negocios y compras

En este sentido se entiende que la evaluación para implementar una línea de trenes ligeros (Línea 6) responde a alta demanda que posee esta vía. Para esta ruta se ha estimado una demanda de 18 000 pasajeros por hora y por dirección (JICA, 2013).

Ubicación de la estación

Se identificó las siguientes oportunidades en el área para ubicar la estación BRT.

- Conecta modos de transporte

La nueva línea de BRT planteada permite integrar dos importantes sistemas transporte: el tren eléctrico y el sistema BRT existente (Metropolitano).

- Mejora de las condiciones actuales del transporte y las zonas afectadas son mínimas.

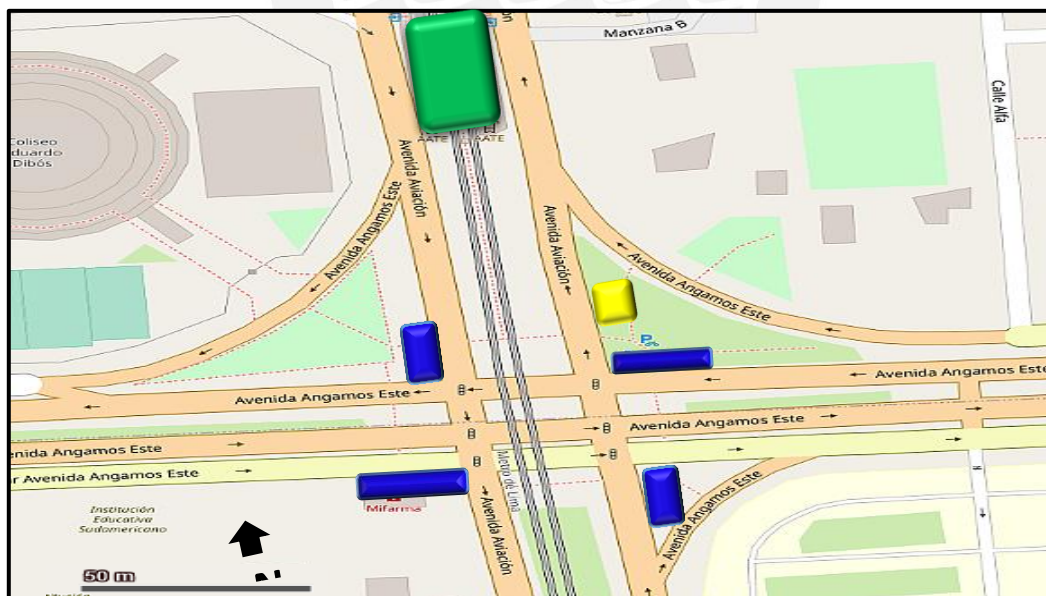
Al implementar el corredor BRT se reemplazan los paraderos de buses de transporte público tradicional por estaciones y se designan carriles exclusivos para el tránsito. Por otro lado, al ser una avenida amplia que en su mayoría posee 6 carriles (ambos sentidos) y cerca de intersecciones hasta 8 carriles (ambos sentidos) con bermas intermedias de 1.5-2.5 m.

- Accesible para los usuarios

La ubicación elegida para la estación permite realizar un diseño a nivel, por lo tanto, el ingreso se realiza por medio de rampas. Una parte del público beneficiario estaría conformado por personas que asistan al Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas.

- Posibilidad de realizar intercambio modal

La importancia de la ubicación de la estación propuesta radica en la cantidad de modos de transporte que se encuentran involucrados en la zona, lo cual permitiría que los usuarios puedan realizar viajes interconectados con un menor tiempo invertido y una mayor eficacia. En la **Figura 4-8** se muestran los modos de transporte presentes en la intersección de las avenidas Angamos y Aviación.






- | | | | |
|---|---------------------------|---|--|
|  | Estación del tren Angamos |  | Paraderos de Buses de transporte público |
|  | Paradero de bicicletas | | |

Figura 4-8: Paraderos de los medios de transporte en las avenidas Aviación y Angamos
Fuente: Adaptado de VISSIM, 2020

4.2. Consideraciones de diseño y dimensionamiento de elementos

Para la elaboración del diseño de la estación del sistema de BRT se utiliza el bus típico de 18 metros de largo, con 3 puertas y con una capacidad de 160 pasajeros. Las puertas en la plataforma de abordaje se consideran alineadas a las del bus.

Asimismo, se incluye las recomendaciones que brinda el manual de diseño y evaluación de estaciones de BRT (Chila et. Al, 2012), la Guía de planificación de Sistemas BRT (Hook, W., & Wright, L, 2007) y BRT Accessibility Guidelines (Rickert, 2007).

Para determinar el área mínima para los pasajeros que esperan se utiliza la siguiente expresión:

$$A_w = \frac{Q_p}{D_{wMax}} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

$A_w = W_u * L$ = Área mínima requerida para los pasajeros que esperan

W_u = Ancho requerido para los pasajeros que esperan

Q_p = Número de pasajeros que se espera que hagan cola

D_{wMax} = Capacidad de un metro cuadrado para alojar a los pasajeros que esperan (3 personas/m²)

Para la determinación del ancho requerido para los usuarios circulantes se utiliza la siguiente expresión.

$$W_c = \frac{P_{ph}}{2000} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

P_{ph} = Número de pasajeros circulantes esperados en una hora

Finalmente, para determinar el ancho total de la estación (ancho de la plataforma) se utiliza la siguiente expresión:

$$W_p = 1 + W_u + W_c + W_{opp} \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

W_p = Ancho total de la plataforma

1 metro = ancho requerido para la infraestructura

W_c = Ancho requerido para los pasajeros que circulan

W_{opp} = Ancho requerido para los pasajeros que esperan vehículos que van en el otro sentido

W_u = Ancho requerido para los pasajeros que esperan

Parte del diseño involucra si se requiere o no utilizar dispositivos semafóricos en los cruces peatonales. La adaptación de estos depende directamente del flujo peatonal y vehicular en el cruce en estudio. Según Esquivel (2000) se presentan cuatro casos:

Tabla 4-1: Casos que requieren semáforos en cruces peatonales

| CASO | Peatones | Vehículos |
|-----------------|--|-------------------|
| Caso I | Más de 150 p/h durante 8 horas diarias | - |
| Caso II | Más de 150 p/h durante 8 horas diarias | Más de 1000 veh/h |
| Caso III | Más de 250 p/h | Más de 600 veh/h |
| Caso IV | 400 p/h | 400 veh/h |

Fuente: Esquivel, 2000

Para el caso de cruces peatonales con prioridad se utiliza la **Tabla 4-2**:

Tabla 4-2: Casos que requieren cruces de prioridad peatonal

| Fuente | Máximo N° Peatones (p/h) | Máximo N° Vehículos (veh/h) | Observación |
|------------------------|--------------------------|-----------------------------|--|
| RACC Y A PIE | 1000 | 500 | *Controlar la velocidad de los vehículos en la calle *Señales de peligro *Iluminación del paso |
| Ayuntamiento de Madrid | 400-500 | 1000-1200 | *Controlar la velocidad de los vehículos en la calle |

Fuente: Adaptado (Sanz et. al,2004)

Por otro lado, como parte del diseño se debe incluir los tiempos perdidos tanto por los peatones como los buses de BRT en las intersecciones con configuración semafórica. Para ello a continuación se detalla los tiempos mínimos de verde y máximos de rojo para el caso de peatones y los tiempos perdidos mencionados anteriormente.

Verde mínimo peatonal ($g_p \text{ mín.}$)

$$g_p \text{ min (segundos)} = \frac{d}{V_p} + 4 \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

$g_p \text{ min}$ = Verde mínimo peatonal (s)

d = Distancia a recorrer/distancia de cruce (m)

V_p = Velocidad del peatón (caso más crítico) (m/s)

Rojo máximo peatonal ($R_p \text{ max.}$)

$$R_p \text{ max} = 30 - 60s \dots \dots \dots (5)$$

Tiempos perdidos (d_p y d_b)

$$d_p = \frac{(C - g_p)^2}{2C} + t_{az} \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

d_p = Tiempo promedio perdido por los peatones (s)

C = Ciclo semafórico (s)

g_p = tiempo de verde para los peatones (s)

t_{az} = Tiempo de reacción del peatón (1 a 2 segundos) (s)

$$d_b = \frac{(C - g_b)}{C} * \left(\frac{(C - g_b)}{2} + t_{az} \right) \dots \dots \dots (7)$$

Donde:

D_b = Tiempo promedio perdido por los buses (s)

C = Ciclo semafórico (s)

g_b = Tiempo de verde para los buses (s)

t_{az} = Tiempo de reacción y aceleración (9 segundos)

Ancho requerido de las escaleras y puentes peatonales (W_{st})

El diseño de una estación de BRT debe involucrar escaleras de conexión y puentes peatonales, en el caso que sea aplicable o se planee implementar estas y el ancho requerido para las mismas. Esta medida debe permitir que las escaleras y puentes peatonales no colapsen en horas picos, sean accesibles para todos los usuarios y por lo tanto brinden un adecuado nivel de servicio.

Por un lado, cuando existan flujos en dos direcciones (subida y bajada), se debe considerar la fricción existente entre usuarios, la cual reduce el ancho efectivo de las escaleras y puentes; en consecuencia, se reduce la facilidad de movimiento. Según el Manual de Diseño y Evaluación de Estaciones BRT, se debe incrementar en 20 % el ancho calculado (2012).

Por otro lado, cuando el flujo es en una sola dirección no es necesario ajustar el ancho por el factor de fricción de usuarios.

$$W_{st} = \frac{P1}{15 * v} \dots \dots \dots (8)$$

$$W_{st} = \frac{P1 + P2}{15 * v * 0.8} \dots \dots \dots (9)$$

Donde:

W_{st} = Ancho efectivo de las escaleras y puentes peatonales

$P1$ = Número de pasajeros que usan la escalera/puente en una sola dirección en un periodo de 15 min en hora punta (p)

$P1, P2$ = Número de pasajeros que usan la escalera/puente en dos direcciones en un periodo de 15 min en hora punta (p)

v = Máximo flujo peatonal de diseño ($p/\text{min}/m$)

Observación: La ecuación 9 considera el incremento de 20% por el factor de fricción.

Finalmente, el diseño de una estación comprende determinar el número de torniquetes a utilizar para el ingreso y salida de pasajeros.

Número de torniquetes en la estación (N_{f-en} y N_{f-ex})

Según el TCRP (2003), el cálculo de torniquetes se puede realizar de la siguiente manera:

$$N_{f-en} = \frac{P_{en}}{15 * C_{f-en} * r_{v/c}} \dots \dots \dots (10) \quad N_{f-ex} = \frac{P_{ex}}{15 * C_{f-ex} * r_{v/c}} \dots \dots \dots (11)$$

Donde:

N_{f-en} = Número de torniquetes requeridos para pasajeros que entran a la estación

N_{f-ex} = Número de torniquetes requeridos para pasajeros que salen de la estación

P_{en} = Pasajeros que entran a la estación durante el periodo crítico de 15 min en la hora pico

P_{ex} = Pasajeros que salen de la estación durante el periodo crítico de 15 min en la hora pico

C_{f-en} , C_{f-ex} = Capacidad de cada torniquete para pasajeros que entran y salen de la estación respectivamente (p/min)

$r_{v/c}$ = Ratio de capacidad deseado (se sugiere utilizar 0.5)

En la **Tabla 4-3** se muestra valores recomendados para C_{f-en} , C_{f-ex} .

Tabla 4-3: Flujo peatonal en diferentes dispositivos de acceso

| Tipo de dispositivo | Peatones/min |
|--|--------------|
| Puerta normal | 40-60 |
| Puerta rotatoria | 25-35 |
| Torniquetes libres | 40-60 |
| Torniquetes de billete o tarjeta | 15-25 |
| Acceso al autobús con cambio de moneda | "12-20" |
| Acceso al autobús con tarjeta | 30-45 |

Fuente: Alfonso Sanz Alduán

4.3. Tipo de estación

Se ha optado por el diseño de estación cerrada debido a que esta permite proteger a los usuarios tanto del clima como de la delincuencia.

La necesidad de protección contra el clima se fundamenta debido a la variación del tiempo en cada una de las estaciones del año. En la ciudad de Lima durante la primavera se estima una temperatura entre los 16 y 24 °C; en verano, 21 y 29°C; otoño, 17 y 27 °C e invierno, 15 y 19°C con precipitación en época de otoño e invierno en forma de garúa (EnPerú, 2015).

Por otro lado, las estaciones cerradas incrementan la sensación de seguridad debido a que restringen el paso de personas que se encuentren en el exterior. Además, una estación cerrada

permite implementar en su interior un sistema de pago y verificación por medio de torniquetes.

4.4. Integración con otros modos de transporte

- Acceso peatonal hacia y desde la estación

La ubicación elegida ha permitido optar por un diseño de estación a nivel. Es por este motivo que no es necesaria la instalación de extensas rampas y escaleras para acceder a la plataforma de embarque.

La plataforma de la estación se encuentre a la misma altura que el ingreso a la puerta del bus, lo cual genera que exista una transición entre el nivel de la vereda y el de la estación.

Esto último permite eliminar la brecha o gap vertical pues la estación se encuentra al mismo nivel que el bus. Esta medida es fundamental porque reduce considerablemente los tiempos de embarque y en consecuencia el tiempo de viaje total.

En la **Figura 4-9** se muestra el ingreso a la estación por medio de rampas con una pendiente de 8%.

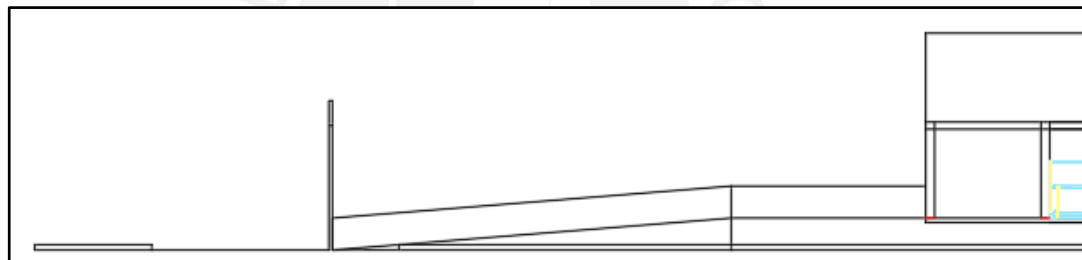


Figura 4-9: Ingreso a la estación

Fuente: Propia

- Acceso por medio de puente

Para lograr el intercambio modal con el tren eléctrico, se ha realizado el diseño de un puente peatonal que comunica la estación del tren “Angamos” con la estación BRT propuesta. El puente de la **Figura 4-10** posee un ancho de 3 m y parapetos de 0.3m de ancho, el ancho disponible para el tránsito de las personas es de 2.4 m. El puente se encuentra sobre pilares de 0.8 m de radio y espaciados cada 18 m. Los detalles del diseño se muestran en el apartado 4.7.4.

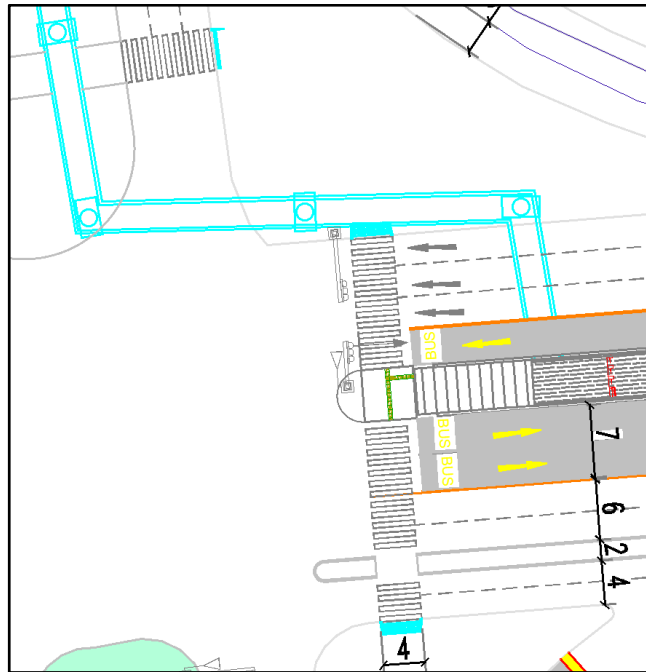


Figura 4-10: Ingreso a la estación por medio del puente tren-BRT
Fuente: Propia

4.5. Plataformas y áreas de carga del bus

- Ancho de la estación y configuración de la plataforma

Primero, se determinó el ancho requerido para las personas que esperan abordar el bus. La secuencia es la siguiente:

Se estima el número de pasajeros que realicen la cola en hora punta.

Longitud del área espera = 22.4 m = 18 m (largo del bus) + 4.4 (margen de seguridad)

En la **Figura 4-11**, se muestra la elipse de una persona como dato de ingreso para determinar la cantidad de personas que se puede alojar en los 22.4m. Asimismo, se espera que se formen como máximo dos colas en la hora punta.

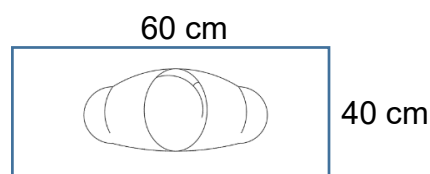


Figura 4-11: Esquema de la elipse y dimensiones ocupadas por una persona
Fuente: Propia

Por lo tanto, el número de pasajeros que se espera que hagan cola en hora punta es el siguiente:

$$Q_p = \frac{22.4}{0.4} * 2 = 112 \text{ personas}$$

Por medio de la expresión (1) se obtiene:

$$Aw = Wu * L = Wu * 18 = \frac{112}{3}$$

De donde se obtiene:

$$Wu = \frac{112}{3 * 18} = 2 \text{ m}$$

Como siguiente paso, se determina el ancho requerido para las personas que circulan. Para ello se ha visitado la intersección de las avenidas en estudio el día jueves 17/01/19 y se realizó el conteo de las personas que salen del tren eléctrico y se dirigen a los paraderos de autobuses y viceversa, estos datos corresponden a la demanda directa que tendría la estación. Los resultados de esta medición se muestran en la **Tabla 4-4 y 4-5**.

Tabla 4-4:Flujos de diseño para la estación

| Periodo | Ingresan a estación BRT | | Salen estación BRT |
|--------------|-------------------------|----------------|--------------------|
| | Flujo 1 (Oeste) | Flujo 2 (Este) | |
| 8:00 – 8:15 | 613 | 223 | 232 |
| 8:15 – 8:30 | 494 | 249 | 202 |
| 8:30 – 8:45 | 446 | 223 | 179 |
| 8:45 – 9:00 | 372 | 262 | 125 |
| Total | 1925 | 957 | 738 |

Fuente: Propia

Tabla 4-5:Demanda de pasajeros por hora por dirección

| Demanda directa en la estación | Dirección | Pp/h |
|---|--|------|
| Usuarios que ingresan provenientes del tren | Oeste (Flujo 1) | 1925 |
| | Este (Flujo 2) | 957 |
| Usuarios que salen de la estación hacia el tren | Este y Oeste (Salen de la estación BRT) | 738 |
| Total | | 3620 |

Fuente: Propia

De las dos tablas anteriores se obtiene el número total de pasajeros circulantes en la estación (Pph). Por medio de la expresión 2 se obtiene:

$$Wc = \frac{Pph}{2000} = \frac{3620}{2000} = 1.81 \text{ m , se utilizó } 2.00 \text{ m}$$

Finalmente, el ancho total de la plataforma se calcula con los anchos hallados W_c y W_u , debido a que los embarques en cada sentido de viaje están separados por lo que no existe los pasajeros que esperan a ambos lados de la plataforma ($W_{opp} = 0$).

$$W_p = 1 + W_u + W_c + W_{opp} = 1 + 2 + 2 + 0 = 5 \text{ m}$$

Del diseño en base a la metodología del ITDP se obtuvo un ancho total de 5m. Para estructuras metálicas se ha considerado que ocupan 0.2 m y para los bordillos cada uno 0.3 m. Por lo tanto, el ancho real disponible es de 4 m. Por otro lado, como parte del diseño se ha optado por utilizar bloques de concreto de 15cmx15cm a lo largo de la estación de manera que los buses puedan alinearse con los bordillos y disminuir la brecha horizontal bus – estación.

Debido a los problemas mencionados en el apartado 3.1 se propone la siguiente distribución al interior de la estación con el fin de evitar problemas de desorden.

En la **Figura 4-12** y **4-13** se presenta el modelo de flujo peatonal propuesto dentro de la estación. Este modelo posee tres divisiones: la primera es para los pasajeros que desean cruzar al siguiente embarque con un ancho de 1 metro y denotada con la letra “L”; la segunda es para el ingreso general de los usuarios con un ancho de 2 metros y está denotado con la letra “E”; finalmente, una división exclusiva para los pasajeros que salen de los buses con un ancho de 1 metro y representado por la letra “S”. Cabe resaltar que los usuarios con movilidad reducida poseen prioridad de movilizarse por este último carril.

- Ancho del área de espera: 2 metros
- Ancho requerido para los pasajeros que circulan hacia el embarque en el otro sentido: 1 metro
- Ancho requerido para los pasajeros que salen de la estación: 1 metro
- Longitud de las áreas de carga del bus: 22.4 m

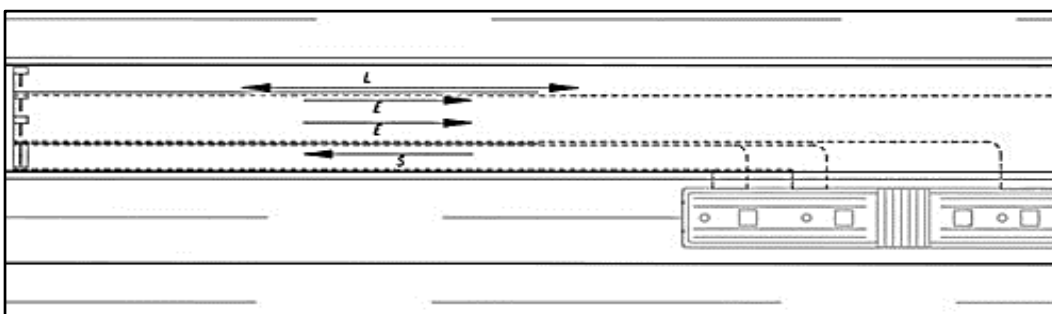


Figura 4-12: Flujo peatonal dentro de la estación rampa-bus (S=Salida, E= Entrada, L=ambos)
Fuente: Propia

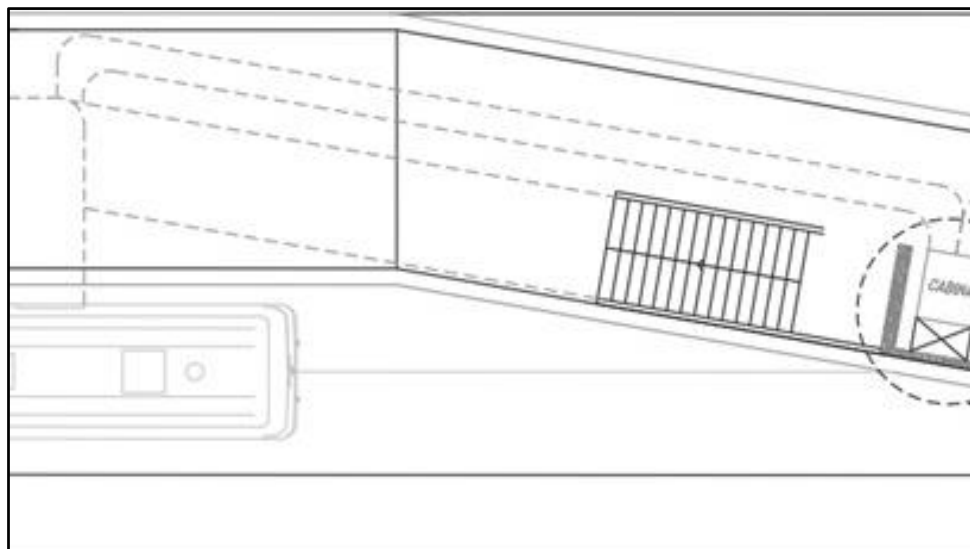


Figura 4-13: Flujo peatonal dentro de la estación escaleras/ascensor-bus

Fuente: Propia

Para determinar el número de embarques requeridos para la estación se ha analizado las características del lugar y se ha comparado con la demanda en hora punta de estaciones del Metropolitano.

Las estaciones de Javier Prado, Canadá y Canaval y Moreyra poseen 3 embarques por dirección, pero separados, mientras que Izaguirre presenta 2 embarques por dirección, pero se encuentran juntos. A continuación, se presenta la **Tabla 4-6** con las validaciones, es decir, la cantidad de personas que pasan por los torniquetes en horas punta tanto de la mañana como en la tarde. Se ha seleccionado estas estaciones sobre la base de dos criterios: la cercanía a la avenida y en el tipo de acceso.

Tabla 4-6: Validaciones en hora punta en cuatro estaciones del Metropolitano

| Estación | 7:00- 8:00 | 8:00- 9:00 | 9:00- 10:00 | 18:00- 19:00 | 19:00- 20:00 | 20:00- 21:00 | Criterio comparativo |
|-------------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|
| Javier Prado | 663 | 642 | 560 | 3636 | 2965 | 1916 | Cercanía |
| Izaguirre | 3351 | 2169 | 783 | 768 | 448 | 239 | Acceso a nivel |
| Canadá | 782 | 944 | 691 | 2663 | 2223 | 1480 | Cercanía |
| Canaval y Moreyra | 460 | 360 | 423 | 6035 | 4407 | 2449 | Cercanía |

Fuente: PROTRANSPORTE, 2017

Se observa en la **Tabla 4-6** que las estaciones “Javier Prado” y “Canaval y Moreira” presentan una elevada demanda en horas de la tarde y esto se debe a que se encuentran cerca a los centros empresariales de San Isidro.

Para la estación se ha considerado un embarque por dirección dado que la mayor demanda corresponde a aquellos usuarios que provengan del tren.

Finalmente, se determina la cantidad de torniquetes necesarios para satisfacer la demanda en la estación. Para esto se utilizan las fórmulas 10 y 11 del apartado 4.2.

Se sabe que la cantidad de potenciales usuarios que ingresan a la estación proyectada en el periodo crítico de 15 min de la hora punta (ver tabla 4-4) son 613 personas en dirección oeste y 262 en sentido este. Además, la estimación de personas que salen de la estación es de 232 en el periodo crítico de 15 min de la hora punta.

Cabe resaltar que el tipo de torniquetes es de tarjeta ($Cf_{-en} = Cf_{-ex} = 25$ peatones /min)

Torniquetes requeridos para el ingreso a la estación:

$$N_{f-en} = \frac{613 + 262}{15 * 25 * 0.5} = 4 \text{ torniquetes}$$

Torniquetes requeridos para pasajeros que salen de la estación:

$$N_{f-en} = \frac{232}{15 * 25 * 0.5} = 2 \text{ torniquetes}$$

Por lo tanto, se implementan tres torniquetes en cada entrada: dos para el ingreso de pasajeros y uno para la salida de estos.

Puerta de cortesía

En el ingreso a la estación se encuentran tres torniquetes y una puerta de acceso preferencial para aquellas personas con movilidad reducida. El objetivo de implementar esta puerta es reducir los problemas que puedan presentar estas personas para atravesar un torniquete. El ancho de la puerta es de 95 cm, mayor al mínimo según manuales de 80 cm y esta es identificable por el símbolo que presenta de una persona en silla de ruedas. En la **Figura 4-14** se muestra el esquema de distribución de torniquetes.

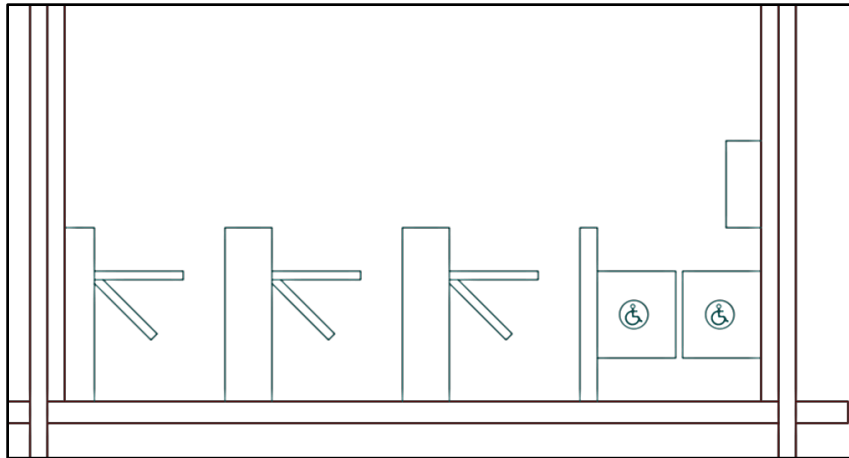


Figura 4-14: Distribución de torniquetes e ingreso para personas con movilidad reducida
Fuente: Propia

4.6. Carriles

Se ha considerado utilizar dos carriles a lo largo del corredor, sin embargo, en la zona donde se encuentra la estación se utilizan carriles adicionales de sobrepaso como una buena práctica reconocida en el BRT Standart 2016. Cuando se utilizan estos carriles el ancho requerido para los buses debe ser igual a 3.5 m de modo que permita al conductor del bus realizar las maniobras de pare y arribo.

Para optimizar el área y minimizar el área requerida para la infraestructura de la estación se ha adoptado la forma que se muestra en la **Figura 4-15**. La zona central se denomina de transición y tiene una longitud de 20 m (la longitud mínima recomendada es 18 m según recomendación de EMBARQ), en este tramo el bus debe reiniciar su tránsito por las vías de corredor. Finalmente, de forma complementaria se implementan separadores que evitan el ingreso de otros vehículos a las vías del BRT.

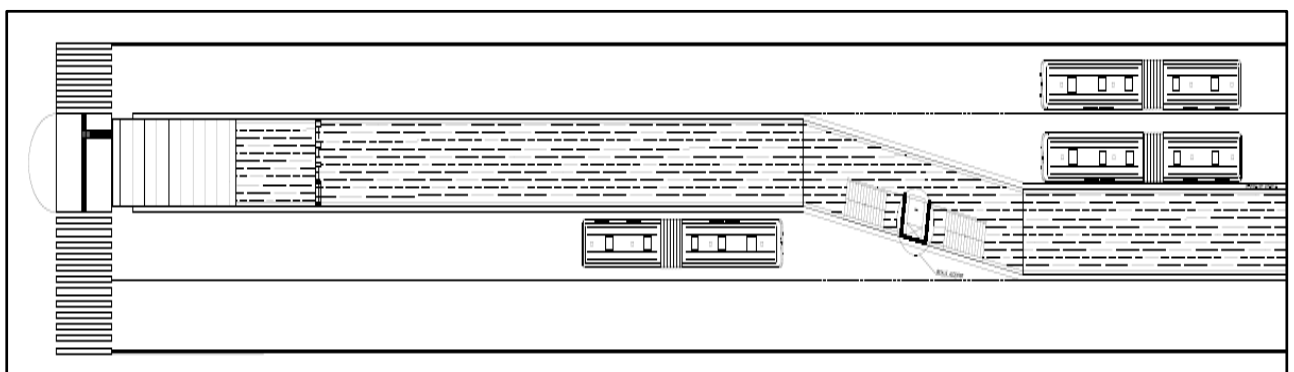


Figura 4-15: Planta de la estación con carriles de sobrepaso
Fuente: Propia

4.7. Diseño accesible en la estación

4.7.1. Información

Establecer sistemas de información útiles, exactos y fáciles de usar son fundamentales para la comodidad y confianza de los usuarios del sistema; asimismo, son de importancia al momento que un usuario potencial decida o no usar el BRT.

Por lo tanto, para el diseño de la estación se ha considerado implementar información en tiempo real, los cuales están interconectados con sistemas de *Localización Automática de Vehículos (AVL)* y consta de dos sistemas:

- ✓ Sistema de señal electrónica LED (LED sign) (**Figura 4-16**)
- ✓ Sistema de pantallas ubicadas en los embarques que permiten identificar el tiempo de llegada de las líneas y la ubicación del bus en un mapa. (**Figura 4-17**)

El primer sistema está compuesto de cuatro pantallas informativas (dos para cada sentido de viaje) ubicadas a la altura de las áreas de carga y al ingreso; las pantallas muestran el tiempo estimado de llegada de las líneas a dicho embarque.



Figura 4-16: Sistemas de señal electrónica
Fuente: Propia

El segundo sistema consta de una pantalla táctil, un módulo ubicado a lado de cada embarque. Esta pantalla muestra la ubicación de los buses en el mapa la zona. Asimismo, se indica el tiempo de llegada de la línea más próxima en el embarque.

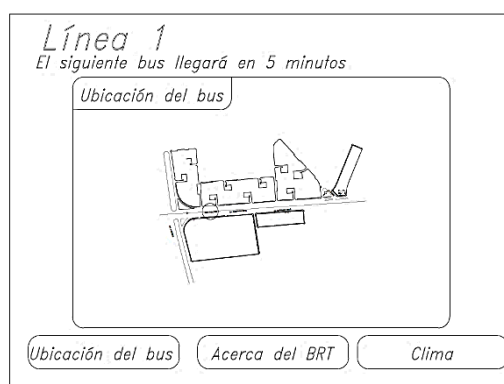


Figura 4-17: Pantallas táctiles – información en tiempo real
Fuente: Propia

4.7.2. Mobiliario

Módulo de recarga

En módulo del sistema de recarga automática se encuentra ubicado en las áreas de ingreso a la estación antes de los torniquetes. Además, la ubicación de botones no supera los 1.20 metros respecto al nivel de la plataforma. El modelo de taquilla a utilizar se muestra en la **Figura 4 - 18**.

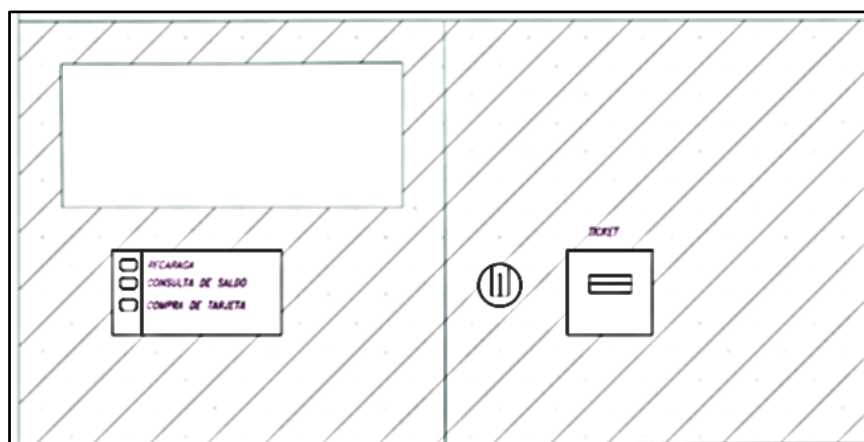


Figura 4-18: Mobiliario de recarga automática
Fuente: Propia

Puertas

En el diseño de la estación, se ha considerado tres puertas por dirección para la utilización de los usuarios. La puerta 1 tiene un ancho efectivo de 3.2 m mientras que la puerta 2 y 3 son de 1.6m.

La puerta 1 es para el ingreso de las personas al bus (abordaje); la puerta 2 y 3 sirven para el desembarque de los usuarios. Las puertas son corredizas de vidrio templado cubiertas con una película antiexplosiva de 4 micras.

4.7.3. Diseño accesible de elementos a nivel

Ruta podo-táctil

Actualmente existe un camino podo-táctil en la zona de estudio. Se ha optado por utilizar el trazo planteado e incorporar estos elementos.

La ruta podo-táctil sirve de guía para orientar a la persona con discapacidad visual. Los dos patrones considerados cumplen funciones diferentes. El primero con dos líneas alargadas indica la dirección que deberá seguir la persona, el segundo con un patrón de círculos indica que se debe detener dado que existe un cambio de dirección o el fin del camino podo-táctil. Estos

elementos han sido colocados en el ingreso a la estación BRT y se muestran en la **Figura 4-19**:

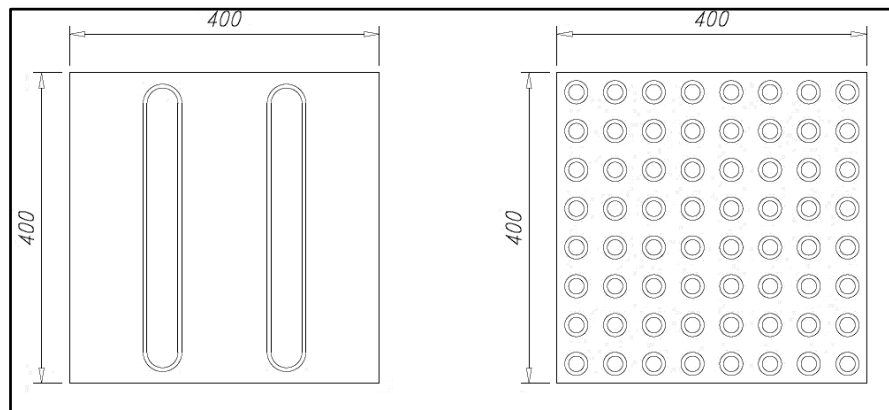


Figura 4-19: Tipos de camino podotáctiles

Fuente: Propia

Rampas

En la interfaz estación – bus se busca minimizar la brecha vertical alineando la plataforma de la estación con el ingreso a bus, esta se eleva 0.90 m. de la calzada como se muestra en la **Figura 4-20**. Para que la plataforma alcance este nivel se han colocado rampas en los ingresos de la estación.

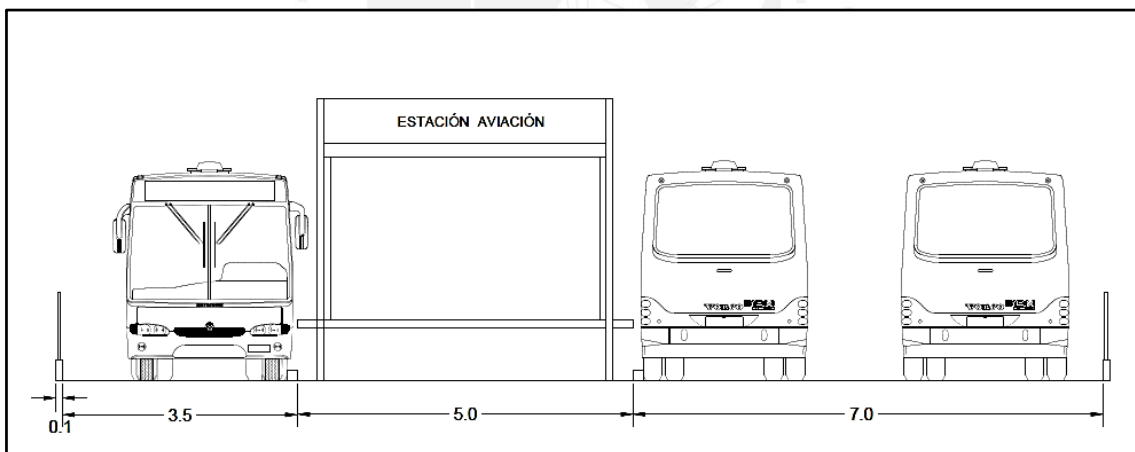


Figura 4-20: Sección transversal de la estación

Fuente: Propia

El diseño de las rampas de acceso a la estación desde las avenidas Primavera y Aviación considera una pendiente máxima de 8% y una longitud en planta de 12.75 m, como se muestra en la **Figura 4-21**.

Adicionalmente, sobre la superficie de la rampa se colocan cintas antideslizantes como medida de seguridad dado que en época de lluvias el agua retenida en la misma rampa puede representar una situación de riesgo para los usuarios.

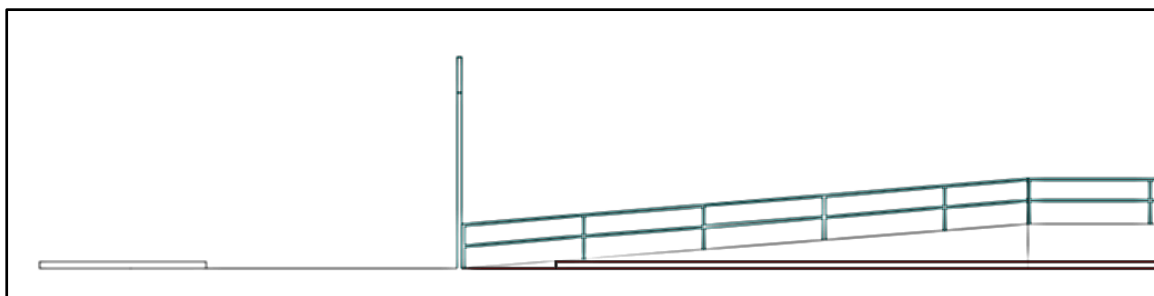


Figura 4-21: Ingreso a la estación mediante rampa

Fuente: Propia

4.7.4. Diseño accesible de elementos a desnivel

Puente peatonal y escaleras de conexión

El acceso a desnivel que comunica a la estación de BRT proyectada con la estación Angamos del tren eléctrico es un puente peatonal del tipo rampa techada con barandas.

Este puente cuenta con cinco tramos, el primero de 56 metros con pendiente de 6% con descansos intermedios de 1.5m espaciados cada 9m, el segundo tramo de 19 m horizontal, el tercer tramo de 54.75 metros horizontal. El cuarto y quinto tramo se encuentran sobre la estación con longitudes de 10.80 y 40 metros, respectivamente, con pendiente de 8 %.

El ancho que se ha considerado para este puente peatonal es de 2.4 m. Este valor se calculó con la fórmula 9 de la sección 4.2. Para el diseño del puente de conexión, se consideró el flujo máximo peatonal que se ha estimado en 26 p/min/m, lo cual según el Transportation Research Board (TRB, 2003) corresponde a un nivel de servicio B (LOS = B). Esto permite un adecuado flujo dentro del puente sin llegar a la congestión.

El número de personas que utilizarán el puente se ha estimado como la máxima cantidad de personas contabilizadas en campo para el mayor periodo de 15 min, el resumen de la medición se muestra en la **Tabla 4-7**.

Tabla 4-7: Flujos peatonales medidos

| Periodo | Ingresan a estación BRT | | Salen estación |
|--------------|-------------------------|------------|----------------|
| | Flujo 1 | Flujo 2 | BRT |
| 8:00 – 8:15 | 613 | 223 | 232 |
| 8:15 – 8:30 | 494 | 249 | 202 |
| 8:30 – 8:45 | 446 | 223 | 179 |
| 8:45 – 9:00 | 372 | 262 | 125 |
| Total | 1925 | 957 | 738 |

Fuente: Propia

$$W_{st} = \frac{P1 + P2}{15 * v * 0.8} = \frac{(613 + 223 + 232) * 0.7}{15 * 26 * 0.8} = 2.4 m$$

De igual manera se calcula el ancho para las escaleras dentro de la estación. Para la condición crítica en este caso, se toma el flujo 1 (personas que viajan al oeste) y el flujo de personas que sale de la estación. La combinación del flujo 2 y personas que salen de la estación le corresponde a la otra escalera.

$$W_{st} = \frac{P1 + P2}{15 * v * 0.8} = \frac{(613 + 232) * 0.7}{15 * 26 * 0.8} = 1.89 m$$

Por lo tanto, se considera un puente de 2.4 m de ancho y escaleras de 1.90 m de ancho.

El ancho requerido para una persona se estima como 0.60 m. y para una persona con silla de ruedas en 1.00 m. El ancho que se ha considerado para el puente permite que dos personas en sillas de ruedas puedan movilizarse sin entrar en conflicto, en direcciones opuestas.

Ascensores

Se ha considerado como criterio de selección que la capacidad mínima del ascensor debe ser de una persona en silla de ruedas y una persona que pueda acompañarla. Las dimensiones del ascensor consideradas para aquellas personas que no están en la capacidad de utilizar las escaleras de la estación de BRT son 1.40 m (dimensión de la puerta) de ancho por 1.50 m de profundidad.

El ascensor consta de barandas y los botones de control, estos se ubican a 0.80 m y 1.00 m como se muestra en la **Figura 4-22**. Además, los botones del tablero de control del ascensor se encuentran a una altura máxima de 116 cm del piso (menor a lo sugerido de 122 cm). Además, los botones del ascensor poseen alto relieve para las personas con discapacidad visual como se muestra en la **Figura 4-23**.

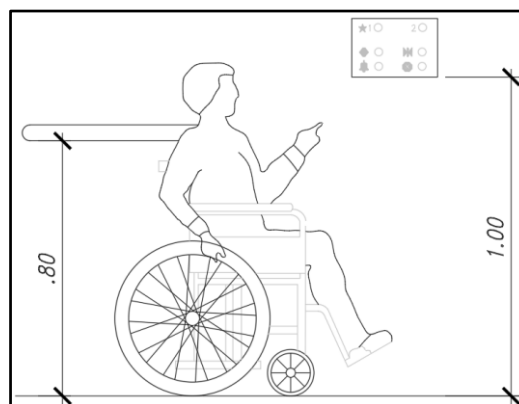


Figura 4-22: Ubicación de barandas y bonotes del ascensor
Fuente: Propia

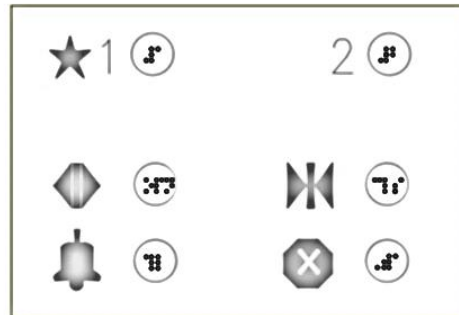


Figura 4-23: Detalle de botones del ascensor en braille
Fuente: Propia

4.8. Dispositivos semafóricos

Para el diseño del ciclo semafórico se realizó la filmación de un video con el fin de aforar el número de vehículos que transitan la intersección. En la **Figura 4-24** y **4-25** se muestran los nuevos flujos por dirección para la configuración con el BRT y las fases consideradas respectivamente.

Con la finalidad de dar prioridad al BRT y evitar los conflictos vehiculares entre el tránsito mixto y buses del BRT se ha considerado prohibir los giros a la izquierda de los vehículos que transitan por la Av. Angamos. En el **Anexo 9** se detalla el plan de desvío vehicular.

Para determinar los tiempos de semáforo de la intersección se utilizan los flujos vehiculares de validación sin considerar los flujos vehiculares que giran a la izquierda en la Av. Angamos.

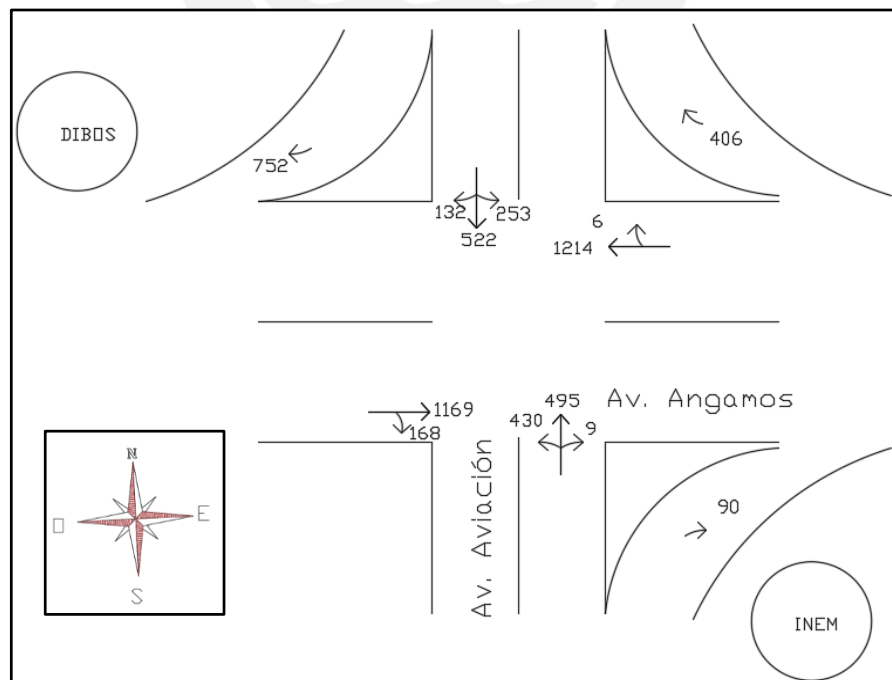


Figura 4-24: Distribución propuesta de flujos vehiculares en cada acceso
Fuente: Propia

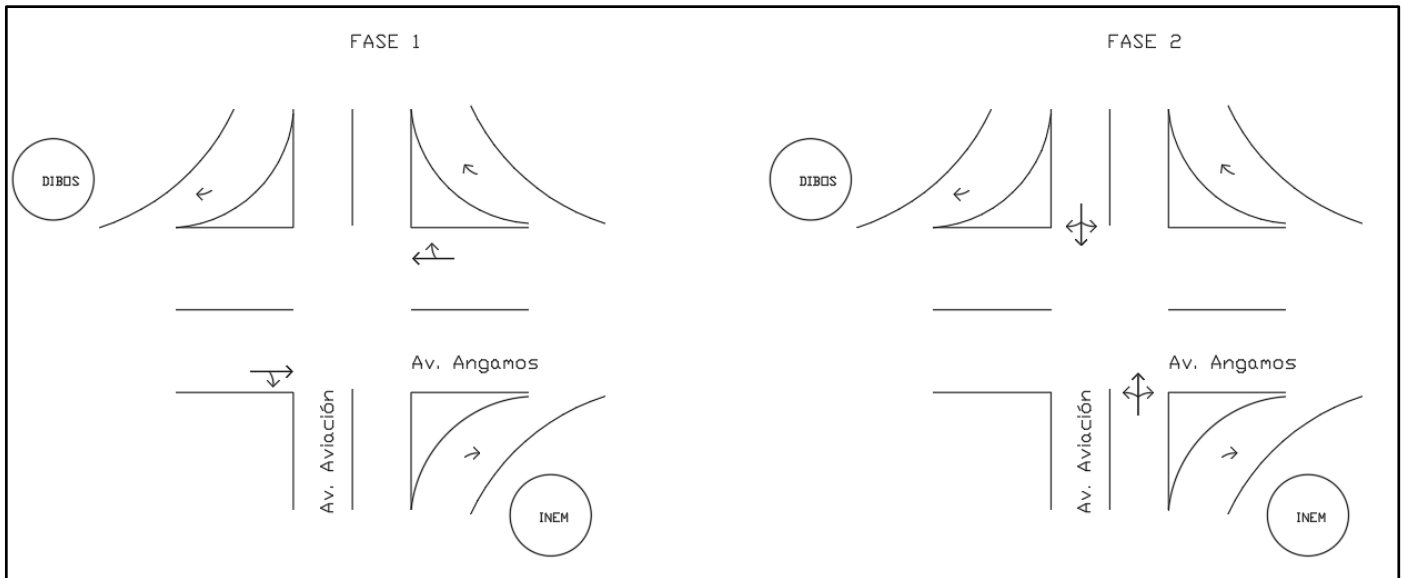


Figura 4-25: Fases propuestas del semáforo para la Av. Aviación y Angamos

Fuente: Propia

El detalle de los flujos vehiculares y peatonales aforados se muestran en el **Anexo 7**.

Conversión de volúmenes mixtos a automóviles equivalentes (ADE)

Esta conversión de volúmenes a ADE se realiza por cada acceso (norte, sur, este y oeste); en este caso a manera de ejemplo se realizó el desarrollo para el acceso norte. Todos los demás accesos se calculan de manera similar.

Acceso Norte

Movimiento directo

Porcentaje de buses y camiones:

$$\% = \text{Buses} = P_b = \frac{51}{522} = 9.8\%$$

$$\% = \text{Camiones} = P_c = \frac{13}{522} = 2.5\%$$

Se toma un factor de equivalencia de buses y automóviles igual a 1.5 ($E_b = E_c = 1.5$)

$$f_{vp} = \frac{100}{100 + P_b(E_b - 1) + P_c(E_c - 1) + P_r(E_r - 1)}$$

$$f_{vp} = \frac{100}{100 + 9.8(1.5 - 1) + 2.5(1.5 - 1)} = 1$$

Dado que los flujos vehiculares se tomaron en toda la hora completa (hora punta) se utiliza un

factor de hora pico de 0.95 (FHP =0.95).

Dado que se está analizando el movimiento directo el factor por giro a la izquierda o derecha es igual a 1 ($E_v = 1$).

$$Q_{ADE} = \frac{VHMV * E_v}{PHP * Fvp}$$

$$Q_{ADE} = \frac{522 * 1}{0.95 * 1} = 550 \text{ ADE/h}$$

Movimiento a la derecha

Porcentaje de buses y camiones:

$$\% = \text{Buses} = P_b = \frac{2}{132} = 1.5\%$$

$$\% = \text{Camiones} = P_c = \frac{5}{132} = 3.8\%$$

Se toma un factor de equivalencia de buses y automóviles igual a 1.5 ($E_b = E_c = 1.5$)

$$fvp = \frac{100}{100 + 1.5(1.5 - 1) + 3.8(1.5 - 1)} = 1$$

Dado que los flujos vehiculares se tomaron en toda la hora completa (hora punta) se utiliza un factor de hora pico de 0.95 (FHP =0.95).

Dado que se está analizando el movimiento a la derecha se debe establecer el factor por giro (E_{vd}) en función de la cantidad de peatones que entrarían en conflicto con los automóviles que giran a la derecha.

Tabla 4-8: Factor de giro E_{vd}

| Volumen peatonal en el cruceo peatonal en conflicto (peatones/h) | Factor E_{vd} |
|--|-----------------|
| Ninguno (0) | 1.18 |
| Bajo (50) | 1.21 |
| Moderado (200) | 1.32 |
| Alto (400) | 1.52 |
| Extremo (800) | 2.14 |

Fuente: Roess, Prassas and McShane, 2004

En este caso se tiene 957 peatones/h en la hora pico por lo que el volumen peatonal es extremo. Se utiliza $E_{vd} = 2.14$.

$$Q_{ADE} = \frac{132 * 2.14}{0.95 * 1} = 297 \text{ ADE/h}$$

Movimiento a la izquierda

Porcentaje de buses y camiones:

$$\% = \text{Buses} = P_b = \frac{13}{253} = 5.1\%$$

$$\% = \text{Camiones} = P_c = \frac{7}{253} = 2.8\%$$

Se toma un factor de equivalencia de buses y automóviles igual a 1.5 ($E_b = E_c = 1.5$)

$$f_{vp} = \frac{100}{100 + 5.1(1.5 - 1) + 2.8(1.5 - 1)} = 1$$

Dado que los flujos vehiculares se tomaron en toda la hora completa (hora punta) se utiliza un factor de hora pico de 0.95 ($FHP = 0.95$).

Dado que se está analizando el movimiento a la izquierda se debe establecer el factor por giro (E_{vi}) en función de la cantidad de vehículos que viajan en el acceso opuesto.

Tabla 4-9: Factor de equivalencia para vehículos en dirección opuesta (E_{vi})

| Flujo opuesto (veh/h) | Número de | carriles | opuestos |
|----------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| 0 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| 200 | 2.5 | 2 | 1.8 |
| 400 | 5 | 3 | 2.5 |
| 600 | 10 | 5 | 4 |
| 800 | 13 | 8 | 6 |
| 1000 | 15 | 13 | 10 |
| >1200 | 15 | 15 | 15 |

Fuente: Roess, Prassas and McShane, 2004

En este caso en el acceso opuesto (sur) se tiene 495 veh/h en la hora pico y tres carriles por lo que se interpola los valores entre 400 y 600 veh/h. Con esto último se obtiene un factor de giro igual a 3.21 ($E_{vi} = 3.21$).

$$Q_{ADE} = \frac{253 * 3.21}{0.95 * 1} = 855 \text{ ADE/h}$$

$$Q_{ADE\text{TOTAL}} = 550 + 297 + 855 = 1702 \text{ ADE/h}$$

De igual manera se trabaja los demás accesos, los resultados se muestran en la **Tabla 4-10**.

Tabla 4-10: Resultados de automóviles directos equivalentes por dirección

| | Acceso Norte | Acceso Sur | Acceso Este | Acceso Oeste |
|------------------------------|--------------|------------|-------------|--------------|
| $Q_{ADE\text{TOTAL}}$ | 1702 | 2403 | 1292 | 1575 |
| $Q_{ADE\text{ por sentido}}$ | 2403 ADE/h | | 1575 ADE/h | |

Fuente: Propia

Cálculo de la longitud de los intervalos de cambio

Para calcular la longitud de los intervalos de cambio se considera:

Longitud de vehículo estándar = 5.0 m

Tiempo de percepción – reacción = 1 segundo

Tasa de desaceleración = 3m/s^2

FASE 1 (sentido Este – Oeste)

Ancho efectivo (W) = 57.77 m

Velocidad de aproximación = 50 km/h

Con estos datos se obtiene:

$$I1 = \left(tr + \frac{V_o}{2a} \right) = \text{Ambar}(A) = 3\text{seg}$$

$$I2 = \frac{(W + l)}{V_o} = \text{Todo Rojo}(A) = 5\text{seg}$$

FASE 2 (sentido Norte - Sur)

Ancho efectivo (W) = 47.64 m

Velocidad de aproximación = 50 km/h

Con estos datos se obtiene:

$$I1 = \left(tr + \frac{V_o}{2a} \right) = \text{Ambar}(A) = 3\text{seg}$$

$$I2 = \frac{(W + l)}{V_o} = \text{Todo Rojo}(A) = 4 \text{ seg}$$

- Cálculo del tiempo perdido en todo el ciclo

$$L = \sum A + \sum TR$$

$$L = (3 + 3) + (5 + 4) = 15 \text{ seg}$$

- Relaciones máximas (Y_i) en cada fase

$$Y1 = q_{1MÁX}/s$$

$$Y2 = q_{2MÁX}/s$$

$$Y1 = \frac{1575}{1900 * 3} = 0.28$$

$$Y2 = \frac{2403}{1900 * 3} = 0.42$$

- Cálculo de la longitud de ciclo óptimo

$$Co = \frac{1.5 * L + 5}{1 - \sum Y_i}$$

$$Co = \frac{1.5 * 15 + 5}{1 - (0.28 + 0.42)} = 91 \text{ seg}$$

- Tiempo de verde efectivo total

$$gt = Co - L = 91 - 15 = 76 \text{ seg}$$

- Reparto del tiempo de verde total

$$g_i = \frac{Y_i * gt}{\sum Y_i}$$

$$g1 = 0.28 * \frac{76}{0.28 + 0.42} = 30 \text{ seg (FASE 1)}$$

$$g2 = 0.42 * \frac{76}{0.28 + 0.42} = 46 \text{ seg (FASE 2)}$$

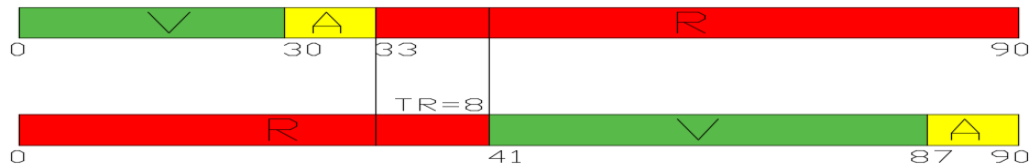


Figura 4-26: Diagrama de fases

Fuente: Propia

Seguidamente se estima el verde mínimo peatonal en cada cruce (4 cruces peatonales).

Se considera la velocidad de una persona $V_p = 1.10$ m/s para C1, C2, C3 y C4 en la **Figura 4 - 27**, se muestra el recorrido correspondiente.

$$g_p \text{ min (cruce 1)} = \frac{37.5}{1.10} + 4 = 38 \text{ s}$$

$$g_p \text{ min (cruce 2)} = \frac{37}{1.10} + 4 = 38 \text{ s}$$

$$g_p \text{ min (cruce 3)} = \frac{37}{1.10} + 4 = 38 \text{ s}$$

$$g_p \text{ min (cruce 4)} = \frac{39.2}{1.10} + 4 = 40 \text{ s}$$

Se elige un verde peatonal de 40 s.

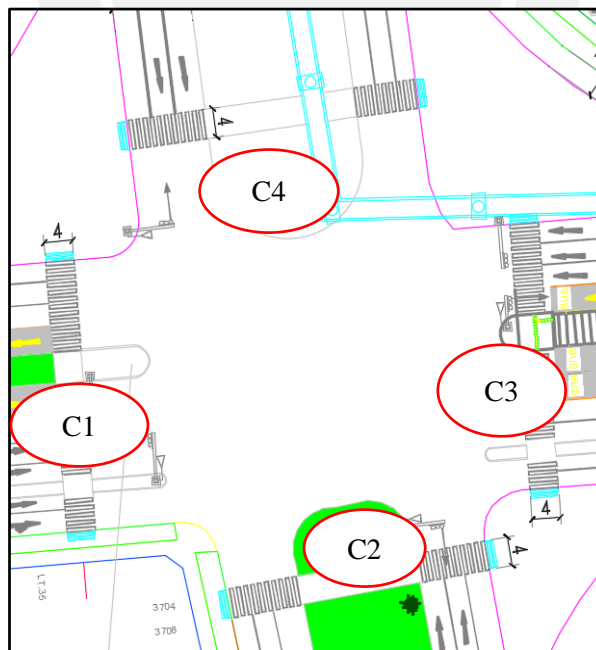


Figura 4-27: Ubicación de los puntos de cruce peatonal

Fuente: Propia

Rojo máximo peatonal ($R_p \text{ max.}$)

Se considera un rojo peatonal promedio entre los valores máximos permitidos:

$$R_p = 50 \text{ s}$$



Figura 4-28: Ciclo de semáforo para peatones

Fuente: Propia

Seguidamente se determinan los tiempos perdidos por los peatones en las intersecciones al momento que el semáforo indica verde a favor.

Tiempo perdido por los peatones

Para este cálculo se utiliza la fórmula 6 de las *Consideraciones de diseño*.

$$d_p = \frac{(90 - 40)^2}{2 * 90} + 1.5 = 15 \text{ seg}$$

Con este tiempo perdido se puede obtener el tiempo total máximo que le tomaría al peatón en entrar a la estación desde que se ubica en el crucero peatonal de la Av. Angamos y el semáforo peatonal se encuentre en rojo. En el **Figura 4-29** se muestra la distancia a recorrer por los peatones en el crucero indicado.

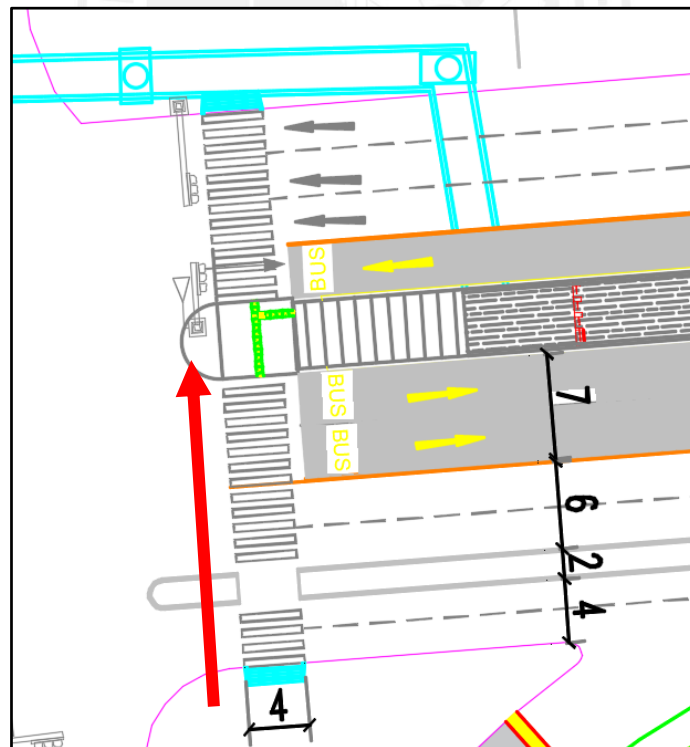


Figura 4-29: Longitud máxima de crucero peatonal

Fuente: Propia

$$\text{Tiempo empleado máximo para cruzar} = R_p + d_p + \frac{\text{distancia}}{\text{velocidad crítica}}$$

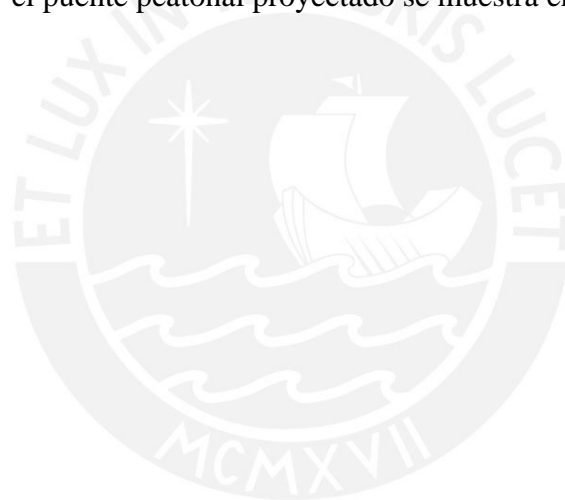
$$\text{Tiempo empleado máximo para cruzar} = 50 + 15 + \frac{19 \text{ m}}{1.10 \text{ m/s}} = 82 \text{ seg}$$

4.9. Rediseño de la avenida Angamos

En la **Figura 4-30** se muestra el plano de catastro del área en estudio en su condición actual. Para hacer factible la utilización de carriles de sobrepaso y la elaboración de diseño, se ha utilizado las bermas y dos carriles, uno de cada sentido de la Av. Angamos. El espacio total a ocupar por el sistema BRT es de 15.8 m de los 43 metros que posee la avenida Angamos.

Adicionalmente, se ha considerado que en la vía dedicada para giros de la Av. Angamos hacia la Av. Aviación reducir el número de carriles de 2 a 1 para optimizar el espacio y no perjudicar al tránsito de vehículos particulares.

Con lo último se permite espaciar en 18 metros los pilares que soportan el puente peatonal proyectado para unir la Estación del Metro con la Estación BRT proyectada. La configuración final de la intersección y el puente peatonal proyectado se muestra en **Figura 4-31**.



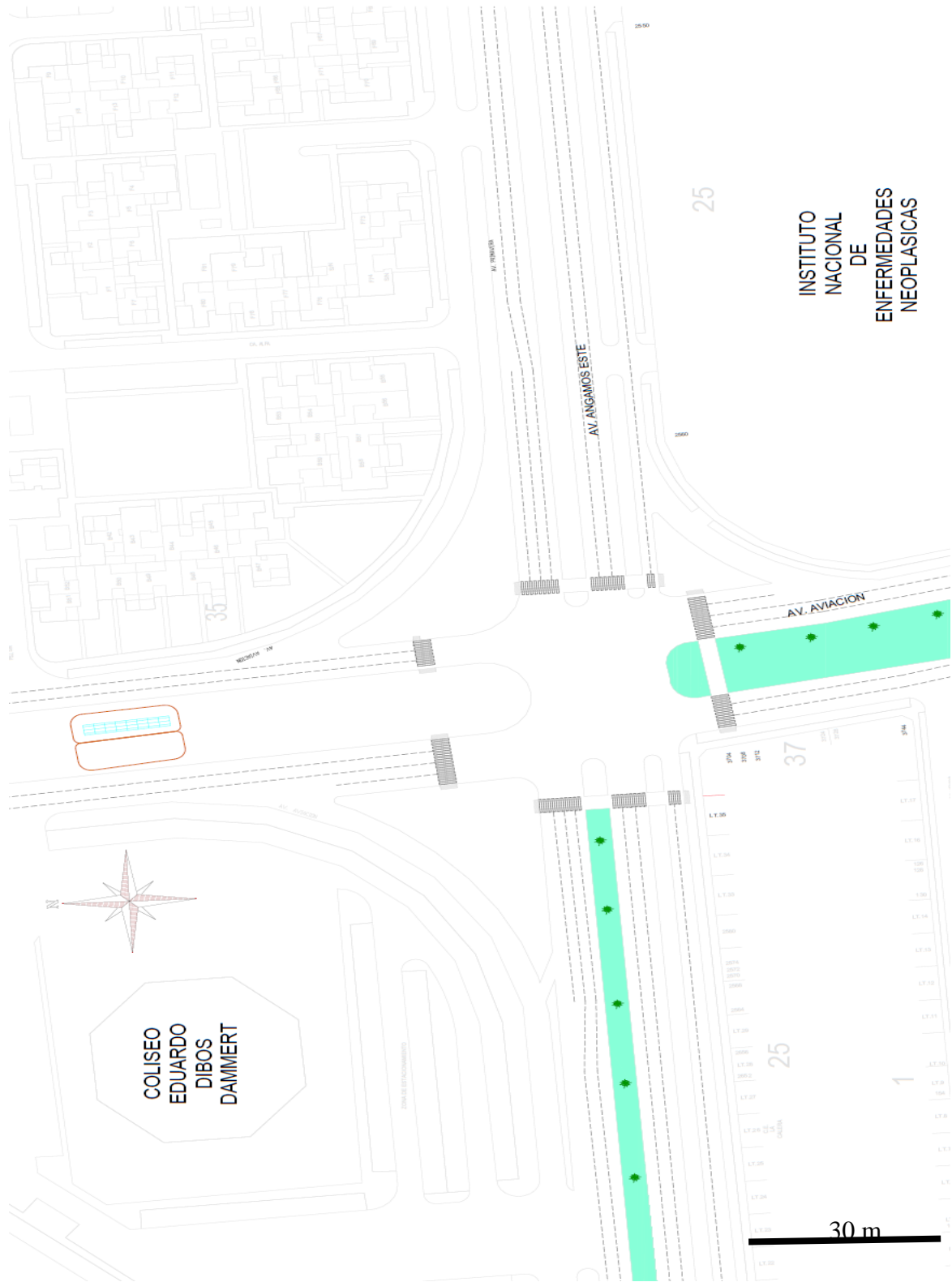


Figura 4-30: Plano de catastro Av. Angamos con Av. Aviación
Fuente: Propia

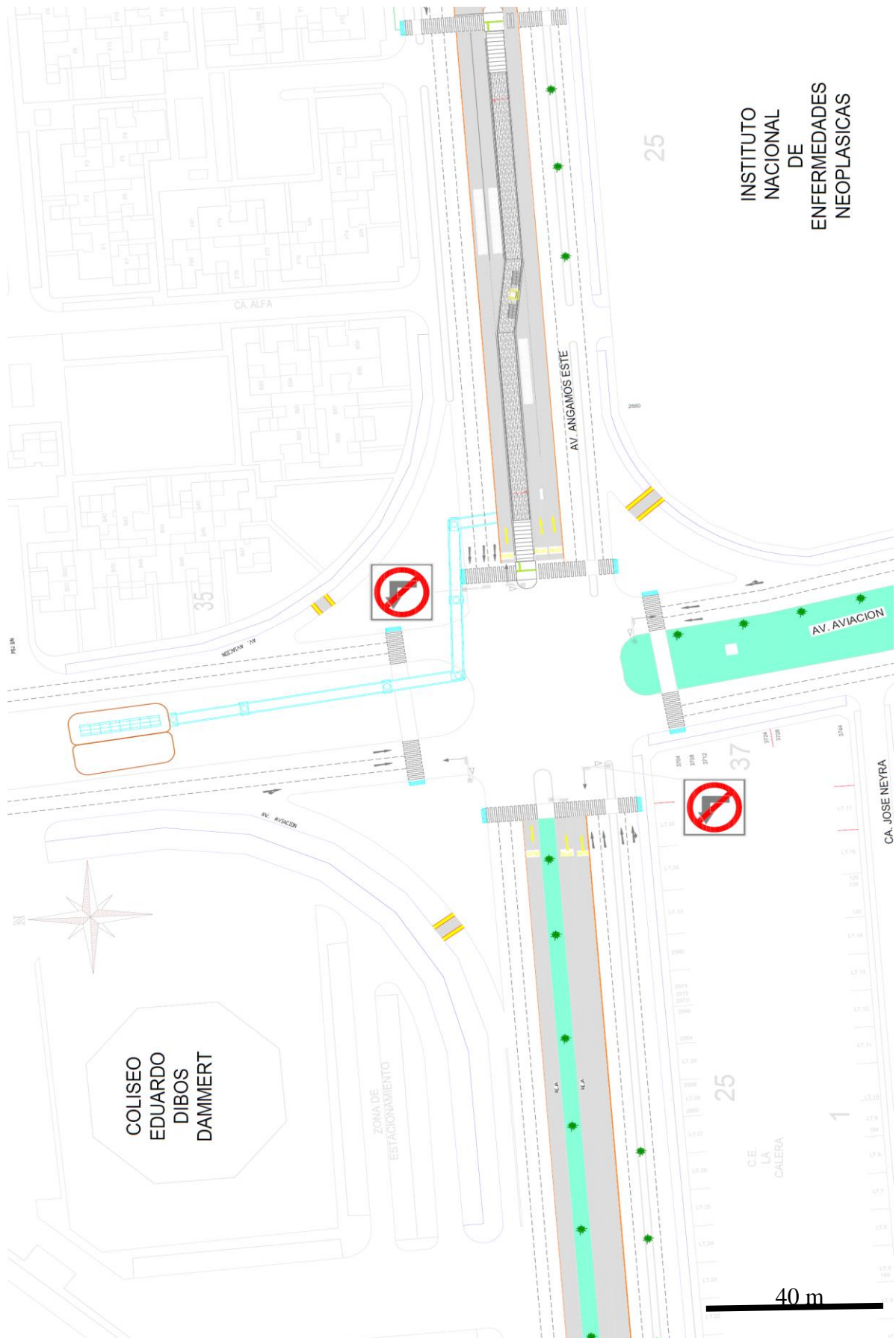


Figura 4-31: Rediseño de la avenida Angamos
Fuente: Propia

Para justificar la eliminación de un carril del giro dedicado a la derecha se realizó una visita al lugar, el día jueves 17 de enero del 2019, con el objetivo de obtener los datos de la cantidad de vehículos que transitaban por la vía de giro exclusivo (Av. Angamos-Av. Aviación) y principal (la Av. Angamos). En la **Tabla 4-11** se muestran los resultados de los conteos en el carril auxiliar.

Tabla 4-11: Conteo de vehículos que transitan por la Av. Angamos dirección Este – Oeste

| Periodo | Vehículos | | Motos | |
|-----------|-------------|----------------|-------------|----------------|
| | Av. Angamos | Vía secundaria | Av. Angamos | Vía secundaria |
| 8:00-8:15 | 303 | 112 | 22 | 3 |
| 8:15-8:30 | 363 | 108 | 24 | 5 |
| 8:30-8:45 | 258 | 109 | 26 | 3 |
| 8:45-9:00 | 321 | 105 | 20 | 3 |

Fuente: Propia

Se realizó el cálculo de vehículos equivalentes, se considera que el peso de las motos es de 0.5 autos. En la **Tabla 4-12** se presenta el resultado de vehículos equivalentes que transitan por la Av. Angamos en dirección Este-Oeste y la vía auxiliar.

Tabla 4-12: Resumen de vehículos que transitan por la vía principal y secundaria

| Periodo | Av. Angamos | Vía secundaria | Ratio veh.principal/veh.secundaria |
|--------------|-------------|----------------|---------------------------------------|
| 8:00-8:15 | 314 | 113.5 | 2.8 |
| 8:15-8:30 | 375 | 110.5 | 3.4 |
| 8:30-8:45 | 271 | 110.5 | 2.6 |
| 8:45-9:00 | 331 | 106.5 | 3.1 |
| Total (hora) | 1291 | 441 | - |

Fuente: Propia

Dado que, en la actualidad, se cuenta con dos carriles en la vía secundaria de la Av. Angamos hacia la Av. Aviación (auxiliar) estos proveen una capacidad de 1400 veh/h (700 veh/h/carril). Para la medición realizada el grado de saturación fue de:

$$X = \frac{441}{1400} * 100 = 32\%$$

La propuesta indica considerar un carril en la vía auxiliar con lo que el grado de saturación sería el siguiente:

$$X = \frac{441}{700} * 100 = 63\%$$

Este resultado obtenido para el grado de saturación (X) indica que para las condiciones de flujo en la vía secundaria solo sería requerido un carril pues las condiciones de flujo son normales y no llegan al congestionamiento ($X \geq 90\%$).

Además, en la **Tabla 4-13** se presenta el resultado del conteo del número de veces que transitaban dos vehículos en paralelo por la vía secundaria.

Tabla 4-13: Número de veces que transitan los vehículos por ambos carriles en simultáneo de la vía secundaria

| Periodo (h) | N° de veces |
|-------------|-------------|
| 8:00-8:15 | 1 |
| 8:15-8:30 | 3 |
| 8:30-8:45 | 3 |
| 8:45-9:00 | 3 |

Fuente: Propia

Dado que la cantidad de vehículos que utilizan ambos carriles en simultáneo es baja y el grado de saturación para dos carriles proporciona mucha capacidad ($X = 32\%$) para el flujo de la auxiliar queda demostrado que basta con utilizar un carril en la vía secundaria dedicada para giros.

Por otro lado, se ha considerado el rediseño de rampas y cruces peatonales.

Isla y cruce peatonal

El ancho del cruce peatonal para la zona de la estación y demás cruces de la intersección se ha considerado como 4 m dado que pueden presentarse altos flujos de personas en horas pico. En el caso del cruce que sirve a la estación tiene dos tramos el primero con una longitud de 12.6 metros y el segundo de 19.2 metros. El ancho de la isla es de 5 m y es el mismo que el que ocupa la estación.

Rampas inclusivas en la intersección de la Av. Angamos y Av. Aviación

Se ha considerado uniformizar todas las rampas de la intersección con un ancho de 4.0 m (Pendiente, recomendada en el RNE).

4.10. Evaluación del BRT Standart

Para culminar el diseño se verifica el cumplimiento del Estándar BRT 2016.

Los criterios del Estándar BRT 2016 a analizar en función del alcance de este proyecto (diseño de una estación) son los siguientes:

- Plataforma a nivel
- Estaciones confortables y seguras
- Número de puertas de la estación
- Sub-paradas
- Puertas deslizantes en las estaciones

A continuación, se muestra una **Tabla 4-14** comparativa en la cual se verifica el cumplimiento de las exigencias del Estándar BRT.

Tabla 4-14: Verificación del cumplimiento del Estándar BRT

| Indicador | Recomendación del Estándar BRT | Sistema utilizado | ¿Cumple? |
|--|---|---|--------------|
| Pago y verificación antes de abordar el bus | Existen tres categorías, las dos más efectivas son el uso de torniquetes (Barrier - controlled) y el pago en una ventanilla con verificación ocasional por el personal (Proof-of-Payment). Para estos dos casos el BRT Estándar asigna un puntaje de 8 y 7 respectivamente en caso de cumplimiento. El tercer caso y la menos efectiva es aquella en la que el pago es verificado en las puertas del bus, para el cual se asigna un puntaje de 4. | Se ha utilizado tres torniquetes por acceso (2 para el ingreso y 1 para la salida de pasajeros). Asimismo se ha implementado cabinas para la recarga de tarjetas del sistema BRT. | SI |
| Brecha Vertical - Plataforma a nivel | Las plataformas de la estación deben diseñarse y los autobuses deben seleccionarse de modo que la distancia vertical entre la plataforma y el piso del autobús sea inferior a 1.5 cm. | Plataforma a nivel, en la cual se elimina completamente la brecha vertical | SI |
| Brecha Horizontal - Plataforma a nivel | La brecha horizontal se refiere a la distancia entre el autobús y la plataforma. Hay una variedad de formas de lograr brechas horizontales menores de 10 cm, incluidos carriles - bus guiados en estaciones, marcadores de alineación, bordillos de Kassel y puentes de embarque. | Utilización de bloques de concreto que permiten alinear el bus con la estación. Esto permite obtener una brecha horizontal entre 10 y 8 cm. | SI |
| Estaciones confortables y seguras | Para garantizar que una estación sea adecuada debe cumplir con cuatro características: ancho adecuado, protección contra el clima, seguridad y atractivo. | Estación cerrada que permite una mayor protección contra el clima y la delincuencia. En cuanto al ancho de la plataforma, esta cumple los requerimientos del ITDP. | SI |
| Número de puertas de la estación | Las estaciones deben tener por lo menos tres puertas en el caso de buses articulados y dos en el caso de buses no articulados. Además, el sistema debe permitir abordar por todas las puertas. Si se cumple se le asigna 3 puntos en la clasificación. | Se han proyectado tres puertas, dos para el ingreso de pasajeros y una para la salida de los mismos. | Parcialmente |
| Puertas deslizantes | La presencia de puertas deslizantes permite reducir la probabilidad de accidentes y proteger a los pasajeros de cruzar a lugares prohibidos en la zona de espera, ya que restringe su acceso a la zona de abordaje al bus. | Se ha utilizado tres puertas deslizantes por sentido de viaje dentro de la estación. | SI |

Fuente: Propia

En el **Anexo 6 – BRT Standard** se describen los criterios aplicables para calificar únicamente a las estaciones de sistemas BRT

4.11. Modelamiento

Proceso de desarrollo del proyecto

Área de estudio: intersección de las avenidas Angamos con Aviación

- **Recolección de datos**

El día jueves 17 de enero de 2019 a las 8:00 a.m., se realizó la recolección de datos de flujos vehiculares, peatonales, velocidades, tiempos y fases de los semáforos. Para los flujos se utilizó un dron que filmó la intersección de las avenidas Angamos con Aviación por el periodo de una hora y posteriormente esta data fue procesada. Adicionalmente se realizó el aforo de las personas que ingresan y descienden en los paraderos de buses y en la estación del tren eléctrico

El día jueves 24 de enero de 2019 a las 8:00 a.m., se realizó otra recolección de datos con la finalidad de validar el modelo.

- **Creación del modelo**

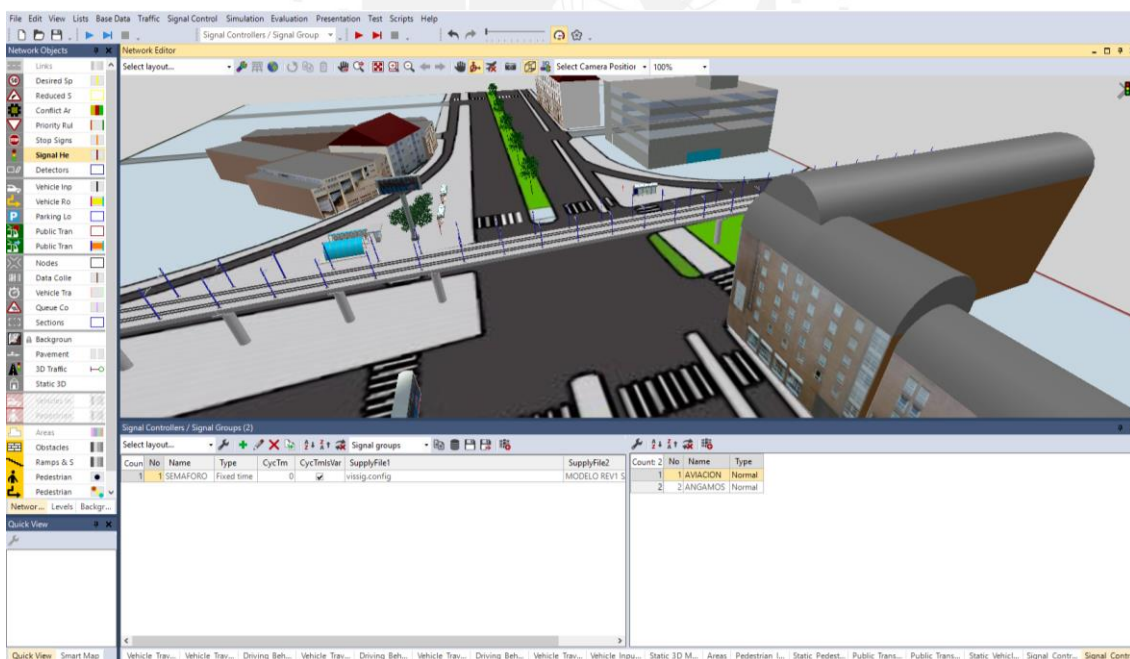


Figura 4-32: Modelo de la condición actual

Fuente: Propia

- **Determinación del Warm up**

Se establece un tiempo de “warm up” de 10 minutos.

- **Número de corridas**

El parámetro elegido para la calibración fue el tiempo de viaje en un determinado tramo de 66 metros (Ver Anexo 8) para un tamaño de muestra igual a 30. Por lo general la distribución en los estudios de tráfico obedecen a distribuciones normal o t-student. El resultado obtenido de tamaño de muestra necesario se compara con el mínimo número de muestras establecido por la siguiente relación:

$$N_{\min} = \left(\frac{t * s}{e} \right)^2$$

N_{\min} : Tamaño mínimo de la muestra s: Desviación estándar

t: Parámetro de la distribución t-student e: Error

- **Calibración y validación**

Para realizar la calibración y validación del modelo se utilizó como parámetro el tiempo de viaje el cual se midió en un tramo de 66 m. de longitud el cual se muestra en la **Figura 4-33**.



Figura 4-33: Longitud de calibración Fuente: Propia

A continuación, se resumen los valores obtenidos de la medición en campo y del modelo, los cuales son utilizados para calibrar y validar el modelo en la **Tabla 4-15**, el tamaño de muestra es 30. En el **Anexo 8** se muestra el detalle de los resultados de las mediciones de campo y del modelo en VISSIM.

Tabla 4-15: Resumen de parámetros estadísticos de los datos recolectados de campo y del modelo

| | Campo Calibración | Campo Validación | Modelo Calibración | Modelo Validación |
|------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Media | 5.20 | 5.23 | 5.24 | 5.25 |
| SD | 0.67 | 0.97 | 0.04 | 0.04 |
| N | 30 | 30 | 30 | 30 |
| t (tabla) | 2.0452 | 2.0452 | 2.0452 | 2.0452 |
| Error | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.53 |
| Nmin | 7.00 | 14.29 | 0.02 | 0.02 |

Media: Promedio de valores

t: parámetro de tabla para distribución t-student

SD: Desviación estándar

Error: 10% *Media

N: tamaño de muestra

Nmin: tamaño mínimo de muestra

Fuente: Propia

El proceso de calibración se realiza para verificar que el modelo refleja las condiciones reales del lugar de estudio para ello se varían los parámetros Ax, Bxadd, Bxmult, el número semilla y los incrementos.

Este proceso se realizó por medio de la herramienta StatKey con los datos de las mediciones. Una vez que se determinaron los parámetros anteriormente mencionados se procede a realizar la validación con nuevos datos medidos en campo en una fecha diferente, pero se mantienen los parámetros y de igual manera se utiliza la herramienta Statkey. A continuación, en la **Figura 4-34** y **4-35** se muestra los resultados en la herramienta StatKey.

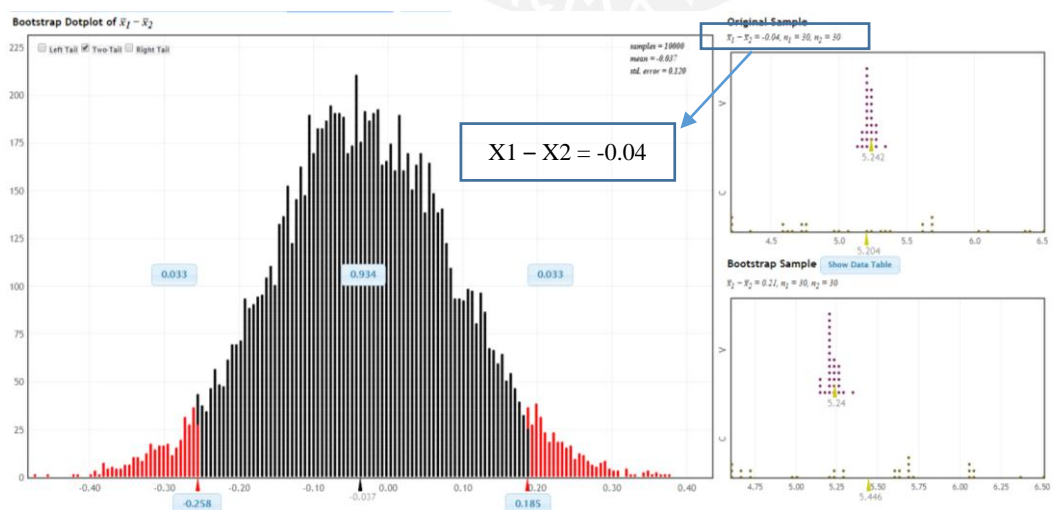


Figura 4-34: Herramienta Statkey con tiempos de calibración

Fuente: Propia

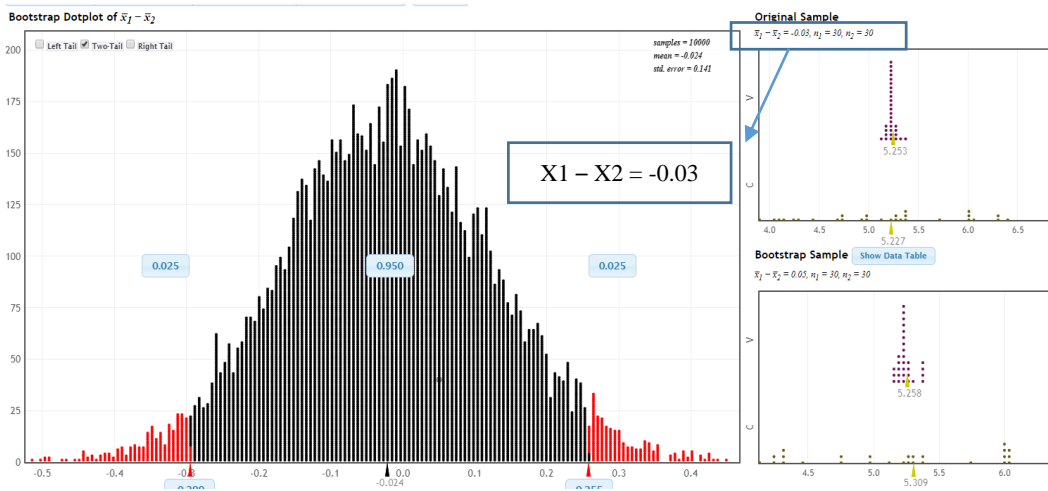


Figura 4-35: Herramienta Statkey con tiempos de validación
Fuente: Propia

De los resultados estadísticos se observa que el tamaño de muestra elegido es mayor al tamaño mínimo (N_{\min}) calculado para los flujos de validación y calibración en el caso de las mediciones de campo y del modelo. En segundo lugar, en ambos gráficos la diferencia de medias se encuentra dentro del intervalo de confianza; por lo tanto, se puede afirmar con el 95% de confiabilidad que el modelo está calibrado y validado.

En la **Tabla 4-16** se muestran los parámetros con los cuales se calibró y validó el modelo.

Tabla 4-16: Parámetros del modelo

| Número semilla | Incrementos | Ax | Bxadd | Bxmult |
|----------------|-------------|-----|-------|--------|
| 20 | 2 | 0.5 | 3 | 2 |

Fuente: Propia

Sobre la base de los parámetros obtenidos del modelo calibrado y validado se realizó la construcción del modelo con la estación de BRT, el puente peatonal que conecta la estación del tren con la del BRT, cambios en los ciclos de los semáforos y restricciones de giro a la izquierda.

En la **Figura 4-36** se muestra el modelo de VISSIM con la estación y en la **Tabla 4-17** los resultados para un tamaño de muestra de 30. Se destaca que el promedio de tiempo de cruce de vehículos ha logrado una reducción de 5.25 segundos a 5.0, lo cual equivale a un 5%.

Esta reducción se debe a la disminución de la interacción entre los buses de transporte público y los vehículos particulares.



Figura 4-36: Modelo de la situación con la propuesta de BRT

Fuente: Propia

Tabla 4-17: Resultados del modelo con BRT

| Nro. medición | Tiempo (s) | Nro. medición | Tiempo (s) | Nro. medición | Tiempo (s) | | |
|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|--------------|--------|
| 1 | 5.0 | 11 | 5.0 | 21 | 5.0 | Media | 4.99 |
| 2 | 4.9 | 12 | 5.0 | 22 | 4.9 | SD | 0.03 |
| 3 | 5.0 | 13 | 5.0 | 23 | 5.0 | N | 30 |
| 4 | 5.0 | 14 | 4.9 | 24 | 5.0 | t(*) | 2.0452 |
| 5 | 4.9 | 15 | 5.0 | 25 | 5.0 | Error | 0.50 |
| 6 | 5.0 | 16 | 5.0 | 26 | 5.0 | | |
| 7 | 5.0 | 17 | 5.0 | 27 | 5.0 | Nmin | 0.01 |
| 8 | 5.0 | 18 | 4.9 | 28 | 5.0 | | |
| 9 | 5.0 | 19 | 5.0 | 29 | 5.1 | | |
| 10 | 5.0 | 20 | 5.0 | 30 | 5.0 | | |

(*) t valor de tabla para distribución t-student

Fuente: Propia

Por otro lado, se verifica que el tiempo empleado por las personas para transitar desde la estación del tren eléctrico hasta el paradero más alejado de buses (situación actual y más crítica) y la distancia hasta la estación BRT proyectada (situación con rediseño):

Condición actual

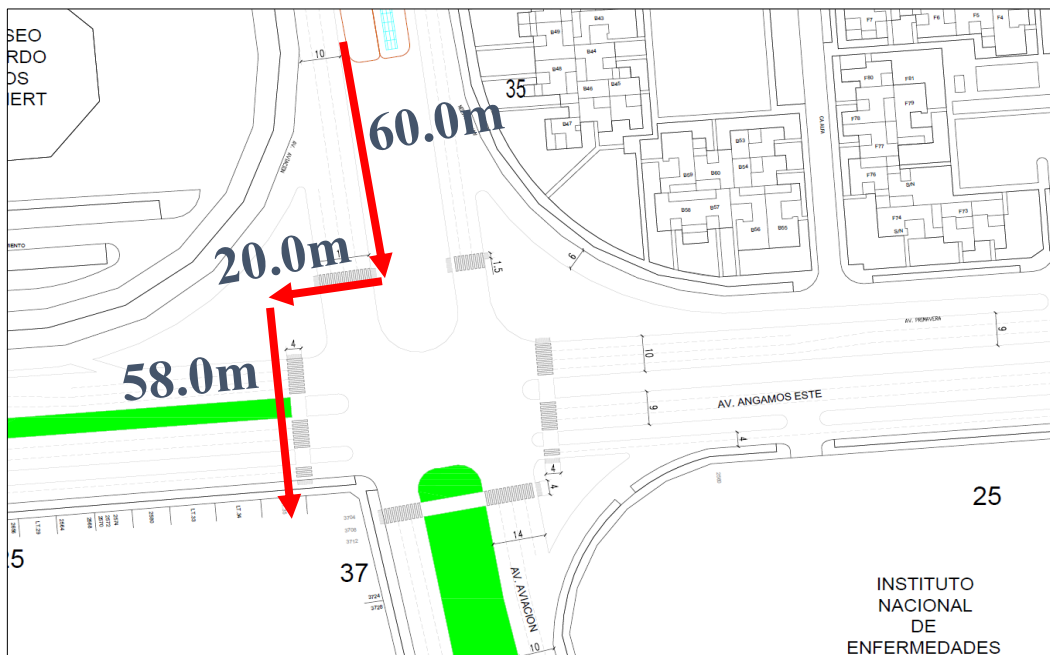


Figura 4-37: Recorrido de un usuario desde la estación del tren hasta paradero de buses más alejado (situación actual)

Fuente: Propia

$$\text{Distancia total recorrida} = 60 + 20 + 58 = 138.0 \text{ m}$$

Con esta distancia total y la velocidad de una persona $V_p = 1.10 \text{ m/s}$ se obtiene el tiempo utilizado por el usuario:

$$t = \frac{138}{1.10} = 125 \text{ seg}$$

Además, para este caso, se debe considerar los tiempos perdidos en bajar por las escaleras del tren y/o usar el ascensor de las instalaciones de la Línea 1.

Se estima que el tiempo perdido para bajar las escaleras del tren y/o tomar el ascensor es de 3 minutos (180 segundos).

$$\text{Tiempo perdido escaleras/ascensor} = 120 \text{ seg}$$

Adicionalmente, se debe considerar el tiempo total máximo que le tomaría al peatón en pasar los dos cruces peatonales desde que se ubica en estos y el semáforo peatonal se encuentre en rojo.

$$\text{Tiempo perdido en cruces peatonales} = 59 + 99 = 158 \text{ seg}$$

Por lo tanto, el tiempo total empleado es el siguiente:

$$\text{Tiempo total empleado por el peatón} = 125 + 180 + 158 = 463 \text{ seg}$$

Implementación de BRT

Del modelo VISSIM con la situación con BRT y con el uso del comando *Pedestrian Travel Times*, se obtuvo el tiempo promedio empleado para el trasbordo de pasajeros del tren eléctrico a cada uno de los embarques de la estación BRT proyectada (R1: Embarque Oeste-Este, R2: Embarque Este-Oeste)

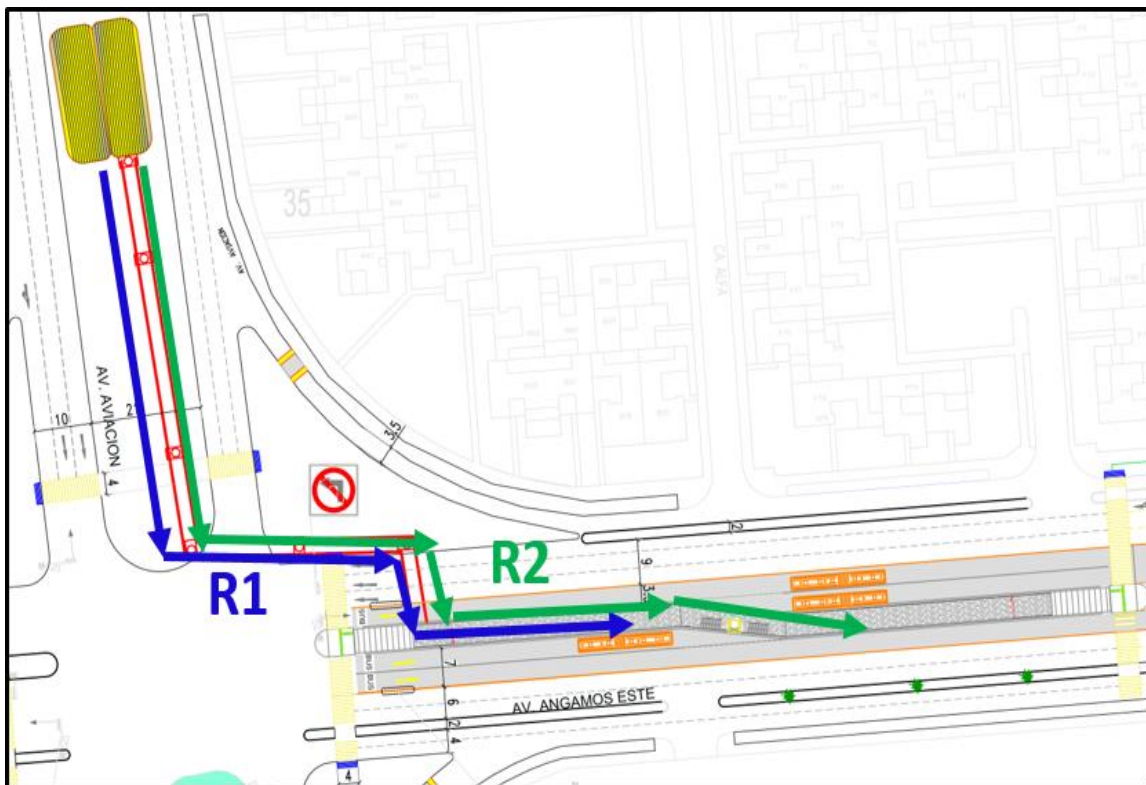


Figura 4-38: Recorrido de un usuario desde la estación del tren hasta la estación BRT proyectada (situación con BRT)

Fuente: Propia

Tabla 4-18: Tiempo empleado por los usuarios (VISSIM)

| Ítem | Tiempo promedio (30 corridas) |
|--------------------------|-------------------------------|
| Embarque Oeste-Este (R1) | 310 segundos |
| Embarque Este-Oeste (R2) | 304 segundos |

Fuente: Propia

Por lo tanto, el tiempo promedio empleado por los usuarios para realizar el trasbordo con la implementación de la estación BRT y el punto de interconexión es de 307 segundos. Para el detalle de cada uno de los tiempos de cada corrida ver **Anexo 8**.

A continuación, se muestra el comparativo de los tiempos empleados por el usuario para trasladarse desde la estación del tren eléctrico hasta el paradero más alejado de buses (situación actual) y hasta la estación BRT proyectada (Situación con BRT).

Tabla 4-19: Comparación del tiempo empleado por los usuarios

| Ítem | Situación Actual | Situación con BRT | % de reducción |
|--------------------------------|------------------|-------------------|----------------|
| Tiempo empleado por el usuario | 463 segundos | 307 segundos | 34.0 % |

Fuente: Propia

Se adjunta a este documento los planos del diseño descrito en el **Anexo 10**:

- E01- Estado actual de la intersección de la Av. Angamos y la Av. Aviación
- E02- Rediseño de la intersección de la Av. Angamos y la Av. Aviación
- E03- Estación BRT Aviación y esquema de flujo peatonal
- E04- Estación BRT Aviación – Elevaciones laterales y detalles
- E05- Puente peatonal de conexión – Planta, perfil y elevación
- E06- Detalles de brecha, puente e información dinámica

En la **Tabla 4-20** se muestra el resumen del diseño de los elementos de la estación y del rediseño de la intersección de la Av. Angamos con la Av. Aviación.

Tabla 4-20: Tabla resumen de diseño

| Estructura | | Parámetro | Unid. | Valor Referencial-Criterio | Diseño | Observación |
|--------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------|-------------------------------|----------------------|--|
| Estación | Plataforma | Ancho total de estación | m. | 2 a 5 ¹ | 5 | |
| | | Ancho del área de tránsito | m. | 0.80 min. ² | 2 | |
| | Longitud de transición | Longitud | m. | 9 min. ¹ | 20 | |
| | Rampa de ingreso/salida | Pendiente | % | 12 ² | 8 | |
| | Escaleras | Ancho de escalera | m. | 1.2 ⁴ | 1.9 | |
| | Ascensor | Dimensiones | m ² | 1.4x1.1 2 ² | 1.4x1.5 | Capacidad: 1 persona + 1 persona en silla de ruedas ó 4 personas |
| | Puertas de ingreso a bus | Ancho de puertas | m. | 1.50 min. ³ | 3.2 y 1.6 | Un ingreso de 3.2 m. y dos salidas de 1.6 m. |
| Puente Peatonal | Rampa tramo 1 | Pendiente | % | 12 ² | 6 | |
| | | Longitud | m. | 9 (sin descanso) ² | 56 | Presenta cada 9 m. un descanso de 1.5 m. |
| | Tamo horizontal 1 | Longitud | m. | 150 max. ⁵ | 19 | |
| | Tamo horizontal 2 | Longitud | m. | 150 max. ⁵ | 55 | |
| | Tamo horizontal 3 | Longitud | m. | 150 max. ⁵ | 11 | |
| | Rampa tramo 2 | Pendiente | % | 12 ² | 8 | |
| | | Longitud | m. | 9 (sin descanso) ² | 40 | Presenta cada 9 m. un descanso de 1.5 m. |
| | Ancho del puente | Ancho | m. | 1.50 min. ³ | 2.4 | - |
| Descansos en rampas | Longitud | m. | 1.5 ² | 1.5 | Espaciados cada 9 m. | |
| Carriles | Ancho de carril | Ancho | m. | 3.5 ¹ | 3.5 | |
| Acceso hacia la estación | Puerta de ingreso | Ancho | m. | 1.53 min. ³ | 3.2 y 1.6 | |
| | Rampas peatonales en crucero | Pendiente | % | 12 ² | 12 | |
| | Cruceros | Ancho | m. | 1.2 min. ⁶ | 4 | |
| | Islas | Ancho | m. | 1.5 min. ⁶ | 5 | |

Fuente: Propia

1 ITDP, Arias, C., Castro, A., Martins, W. C., Custodio, P., Diaz, J. C., Zimmerman, S. (2010). Guía de Planificación de Sistema BRT Autobuses de Tránsito Rápido, 37.

2 Boudeguer, A. Pretti, P. & Squella, P. (2010) Manual de Accesibilidad Universal.

3 Department of Justice. (2010). ADA Standards for Accessible Design.

4 DECRETO SUPREMO N° 010-2009-VIVIENDA El Peruano, Lima, sábado 9 de mayo de 2009

5 COLDEPORTES, CPC, ASCUN, FECODIF (2009). Guía de diseño accesible y universal.

6 Nicolae Duduta, Claudia Adriaola, Carsten Wass, Dario Hidalgo, Luis Antonio Lindau (Embarq) (2012) Traffic Safety on Bus Corridors

CONCLUSIONES

a) En la presente tesis se ha revisado manuales y estándares internacionales como la Guía de Planificación de Sistemas BRT (ITDP), la Guía de diseño y evaluación de estaciones, el Reporte 90: Bus Rapid Transit (TCRP), BRT Estándar y Las Normas para el diseño accesible (ADA).

En función a estos se concluye que las características fundamentales en todo sistema BRT son las siguientes:

- Carriles segregados, los cuales permiten una mayor rapidez en los viajes debido a las menores interferencias con otros sistemas de transporte.
- Recaudo y verificación de tarifas antes de abordar, lo cual garantiza menores tiempo de permanencia de los buses en las estaciones y en consecuencia menores tiempos de viaje; asimismo, permite a los usuarios la utilización de todas las puertas múltiples al momento de abordar.
- Estaciones a nivel del piso del bus, esto permite el ingreso fluido de los pasajeros.
- Prioridad semafórica y prohibición de giros a la izquierda a los otros medios de transporte en las intersecciones
- Existencia de una red integrada de rutas.
- Integración tarifaria entre rutas, corredores y servicios alimentadores.

Asimismo, en cuanto al dimensionamiento en específico de las estaciones se ha identificado que los principales elementos que conforman una estación BRT son los siguientes:

Plataformas y área de carga del bus: En función al dimensionamiento realizado se corrobora que las variables predominantes para definir el ancho de la estación es la demanda estimada que tendrá la estación (P_{ph}) y la configuración de la cola de pasajeros en cada área de carga del bus (Q_p).

Asimismo, la utilización del BRT Standard como herramienta para establecer los parámetros de diseño resulta adecuado para lograr una estación accesible y eficiente. Se ha utilizado una plataforma a nivel con la cual se elimina completamente la brecha vertical entre el bus y la plataforma (menor probabilidad de accidentes de los usuarios); se han considerado bordillos de concreto que permiten alinear el bus a la estación de manera que se logren brechas horizontales

menores a 10 cm. Finalmente, la estación considerada es del tipo “cerrada” con tres puertas deslizantes por sentido de viaje. Estos criterios adoptados permiten cumplir las exigencias del BRT Standard.

Áreas de recarga de tarjeta y validación: En base a lo establecido en los manuales de diseño, la experiencia del Metropolitano y las exigencias del BRT Standard, se concluye que la mejor opción para una estación BRT es el pago y validación antes de abordar. En el presente proyecto dado que se trata de una estación intermedia se ha establecido cabinas de recarga fuera de la estación y la validación se realiza mediante torniquetes.

Accesos: Los accesos considerados en la propuesta de diseño comprenden dos rampas de ingreso desde la calzada hacia la estación con una pendiente de 8%, menor a la pendiente máxima recomendada de 12%. Esto permite eliminar la brecha vertical entre la plataforma y el nivel del bus. Por otro lado, se ha establecido un puente peatonal que sirve de acceso directo a la estación BRT desde la estación Angamos del tren eléctrico. Esto permite realizar el trasbordo directo, permite la integración física y tarifaria.

Sistemas de información: La información brindada al usuario dentro de la estación es un elemento importante dentro del diseño pues permite un mayor entendimiento del sistema de transporte, mayor facilidad en el uso del mismo, mejora la experiencia de viaje y permite en el caso de nuevos usuarios una rápida y adecuada adaptación y aceptación del sistema. Es por esto que en el presente proyecto se ha incluido sistemas de información estática conformado por mapas de rutas, dos cabinas de ubicación de la estación y sistemas de pantallas, ubicadas en los embarques, que indican el tiempo de llegada de los diferentes servicios a la estación.

b) Por otro lado, también se ha recopilado las características más importantes de los sistemas BRT y su implementación en diversas ciudades del mundo. A partir de esto se ha podido conocer la incorporación de nuevos elementos que contribuyen a la accesibilidad y movilidad de las personas. Es decir, el diseño de las estaciones ha ido evolucionando.

El caso de la Red Integrada de Transporte de Curitiba es fundamental en la historia de sistemas BRT en el mundo, debido a que fue la pionera. La implementación del mismo tuvo gran impacto pues inicialmente se tenía proyectada la construcción de trenes ligeros (LRT), los cuales fueron reemplazados por un sistema de buses con carriles segregados (BRT) que poseían una capacidad comparable, pero a un menor costo de inversión.

Por otro lado, con el ordenamiento trinario de la ciudad de Curitiba se demuestra que es necesaria una adecuada planificación urbana para impulsar el uso de sistemas de transporte masivos de calidad.

Entre las características más representativas del BRT de Curitiba están los sistemas de pago antes de abordar en las estaciones en forma de tubo, la interconexión modal en un 64% con los servicios de taxi, la seguridad en las zonas periféricas de las estaciones pues debido al sistema trinario las calles paralelas a los carriles segregados presentan un flujo ligero y de bajas velocidades. Finalmente, las tarifas planas e integradas permiten que los viajes con recorridos cortos se compensen con los de largo recorrido.

El Transmilenio de Bogotá incorporó en su sistema todas las características representativas de la Red Integrada de Transporte de Curitiba y adicionó una característica fundamental: los carriles de sobrepaso. Estos permiten que el servicio regular y un expreso (servicio que no se detiene en todas las estaciones) transiten sin demoras al encontrarse en una misma estación.

Asimismo, otra característica resaltante del Transmilenio es que ha logrado un alto grado de integración con la red de ciclovías de la ciudad de Bogotá. En total cuenta con 2332 estacionamientos de bicicletas distribuidos en 13 estaciones. Finalmente, la implementación de las tarifas dinámicas permite un adecuado precio en función de la demanda del servicio al día.

El caso del Metrobus de México resalta en la historia de BRT en Latinoamérica pues para su implementación se retiró la mayor parte del transporte público convencional a lo largo del eje del corredor. Los buses que quedaban fueron utilizados como servicios alimentadores. Asimismo, se ha incorporado sistemas de información en tiempo real que permiten anunciar la llegada de los buses a cada estación.

Se verificó que en estas tres ciudades se encuentra un ratio típico de infraestructura BRT por número de habitantes de la ciudad a servir en el orden de 1 a 1.5 (km/ 10^5 hab.), salvo en el caso de Curitiba que presenta un ratio de 3.94. Sin embargo, en la ciudad de Lima el ratio llega a 0.34, lo cual evidencia que hay pocos kilómetros BRT para una población. Población comparable a la ciudad de Bogotá.

c) En relación a las encuestas, que se han tomado como base para identificar la percepción de los usuarios del Metropolitano, se puede concluir que el uso del Metropolitano sigue una tendencia descendente en los años comprendidos entre el 2011 al 2018 debido a que hay un incremento en la población, pero no de la infraestructura. Asimismo, el poco uso del

Metropolitano en la provincia del Callao 1.90% se debe a que la única ruta de BRT existente se encuentra alejada.

Además, las encuestas evidenciaron que el principal medio de transporte público son los buses y combis, servicio que presentan baja calidad. En consecuencia, el mayor grado de insatisfacción del uso del transporte público correspondía a las personas mayores y adultos mayores (72.42%).

d) De la experiencia acumulada de entidades dedicadas a la elaboración de proyectos de transporte como es el caso del ITDP y la aplicación de estos sistemas se generó el criterio para describir e identificar los problemas de las estaciones del Metropolitano.

Por medio de las visitas realizadas a las estaciones del Metropolitano fue posible identificar los problemas que presentaba tanto en la infraestructura como en la gestión interna. Deficiencias que ocasionan la disminución de la calidad del servicio, incomodidad en los usuarios por problemas como hacinamiento dentro de la estación debido a la configuración de la misma y falta de organización. Por lo descrito se puede establecer que las colas de espera ocasionan una barrera que impide el tránsito dentro de la estación para toda persona.

Sin embargo, el problema de hacinamiento también se puede atribuir a la baja frecuencia de los buses en horas pico que es menor a la recomendada por el ITDP, en promedio la frecuencia de parada por estación en hora punta tiende a un valor de 1 a 1.5 minutos. En la estación Javier Prado se tiene una frecuencia en hora punta de 2 a 4 minutos, es decir, se tiene menos buses que llegan a la estación de lo que se recomienda. Por otro lado, en el periodo de tiempo de 7:00 - 9:00 y 18:00 - 21:00 los buses trabajan a su máxima capacidad en una dirección. En consecuencia, las personas que no logran ingresar al bus se ven obligadas a esperar en la estación el siguiente arribo y continúa incrementándose el tamaño de las colas.

El problema de la falta de integración del sistema Metropolitano con otros medios de transporte se debe a los cambios en la planificación con respecto a la gestión del gobierno. Si bien en la ciudad de Lima hubo un intento de lograr que se desarrolle intercambios modales eficientes en el periodo 2011-2015 a la fecha solo se ha implementado parcialmente.

e) El software VISSIM es una herramienta que permite modelar el comportamiento tanto de peatones como de vehículos de una zona en estudio y permite llevarlos a un espacio controlado con parámetros y una distribución estocástica que pretende reproducir aquel contexto con precisión y confiabilidad en los resultados.

Sobre la base de una situación actual permite estimar el comportamiento que tendría el escenario con cambios en geometría, flujos y otro tipo de intervención. Así mismo, se puede comparar la eficiencia de las mejoras y decidir qué tan benéfico o perjudicial resulta realizar alguna intervención en la zona de estudio. El modelo elaborado ha permitido evidenciar que para la demanda estimada de usuarios en la estación (3620 pp/h), esta no se satura. Asimismo, implementar la estación del BRT da como beneficio adicional que los tiempos de viaje vehiculares se reduzcan en un 5 %.

Por otro lado, los tiempos empleados por los usuarios para trasladarse desde la estación del tren eléctrico hasta utilizar otro modo de transporte (transporte público convencional en la situación actual y BRT en la situación con rediseño) se reducen en un 34.0%. Esto se debe a la utilización del puente peatonal de interconexión que permite la integración tarifaria y operativa.

f) Para cumplir criterios de accesibilidad, la implementación de la estación BRT en la intersección de las Av. Angamos y la Av. Aviación se requiere realizar el rediseño de la zona. Se ha considerado implementar cruces peatonales de 4.0 m de ancho y rampas del mismo ancho.

Por otro lado, en la vía dedicada para giros de la Av. Angamos hacia la Av. Aviación se reduce el número de carriles de 2 a 1 pues presenta un grado de saturación de 32 % y con el cambio pasa a ser utilizada en un 63 % de su capacidad. Con esta última medida se logra optimizar el espacio necesario para el puente de interconexión proyectado. Esto muestra que es posible optimizar los carriles de la zona de estudio antes de realizar una intervención.

El rediseño de la intersección Angamos - Aviación considera la prohibición de giros a la izquierda en la Av. Angamos. Con esta medida se logra disminuir las interferencias con los vehículos particulares y de transporte público convencional.

Se ha considerado el rediseño tanto de los ciclos semafóricos de vehículos y peatones en base a los flujos medidos en campo. El diseño del semáforo peatonal considera las distancias máximas a recorrer por las personas al cruzar las vías. Esta medida permite considerar también la velocidad del usuario promedio más desfavorable ($V_p = 1.10$ m/s). Con lo anterior se obtiene tiempos de verde peatonal mayores a los considerados en la situación actual.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que el diseño de una estación de BRT y en general el diseño de una línea de BRT considere como herramienta fundamental el BRT Standard; este indica los lineamientos y características que debe cumplir todo sistema. Estos parámetros han sido obtenidos en base a buenos resultados comprobados de BRT en el mundo.

El diseño de una línea de BRT debe considerar el rediseño exterior de las zonas a intervenir, debido a que se debe reorganizar el lugar de manera que la preferencia sea otorgado al sistema BRT por encima de los buses particulares y de transporte público convencional. Esto con la finalidad de asegurar un sistema eficiente con baja probabilidad de interferencia con los otros modos de transporte.

En general es recomendable la utilización de carriles de sobrepaso para el diseño de una línea de BRT, esto permite un flujo continuo de buses en horas pico, salvo que por condiciones de geometría y baja demanda del corredor BRT (no utilización de servicios expresos) no sea necesario.

La simulación vehicular y peatonal es una herramienta que permite estimar el comportamiento que se tendrá en una zona de estudio. Es por este motivo que para el diseño de una línea de BRT, de ser posible, se debe considerar una macro simulación que permita corroborar la demanda estimada y una micro simulación para verificar el comportamiento de cada estación de forma análoga a como se realizó en la presente tesis.

Para los procesos de simulación vehicular y peatonal se recomienda realizar la toma de datos en los días típicos de la semana: martes, miércoles y jueves. La toma de datos para la calibración y validación se debe realizar el mismo día de una semana en dos semanas distintas. Se recomienda verificar las horas pico de la zona en estudio.

Para la elección del corredor BRT y la ubicación de las estaciones del mismo se debe considerar los modos de transporte en la zona de manera que siempre sea posible lograr el intercambio entre diversos modos.

Referencias Bibliográficas

- Allen, J. (2011) TransMilenio Bogotá – Colombia. PITRA, 2
- Álvarez, J. (2017) Micro-simulación intermodal en la ciudad del Cusco empleando los softwares Vissim 8 y Viswalk 8, pp 6 - 8
- Bello, J. S. (1998). Tendencias de la movilidad y transporte urbano: El Metrobus y la transformación del espacio (47–58).
- Bielich, C. (2009). La guerra del centavo: Una mirada actual al transoírte público en Lima Metropolitana. (25 - 38) Lima, Perú.
- BRT Centre of Excellence, EMBARQ, IEA & SIBTR (2017). *Global BRTDATA*. Recuperado de <https://brtdata.org/>
- Boudeguer, A. Prett, P. & Squella, P. (2010) Manual de Accesibilidad Universal (52-55; 84-86). Santiago de Chile, Chile.
- Cabrera, F. (2015). Material escrito del curso virtual Ingeniería de Tráfico. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Centro de Transporte Sustentable. (2014) Metrobús. Una fórmula ganadora <http://www.movilidadamable.org/recursos/item/metrobu-s-una-formula-ganadora>
- Chila, E., Mejis, R., & Hoffman, M. (2012). Design and assessment of BRT stations. *Handbook*. (2011). Mexico.
- COLDEPORTES, CPC, ASCUN, FECODIF (2009). Guía de diseño accesible y universal.
- Comercio, 2015. Metropolitano y metro: más del 60% de usuarios satisfechos Recuperado de: <https://elcomercio.pe/lima/metropolitano-metro-60-usuarios-satisfechos-183794>
- Comercio, 2016. Metropolitano 5 de cada 10 usuarios inconformes con servicio Recuperado de: <https://elcomercio.pe/lima/metropolitano-5-10-usuarios-inconformes-servicio-174472>
- Comercio, 2017. Metropolitano: 39% de usuarios cree que el servicio está peor Recuperado de: <https://elcomercio.pe/lima/metropolitano-39-usuarios-cree-servicio-peor-407757>
- CONSORCIO A.C.I. – VERA Y MORENO, (2009). Estudios definitivos de arquitectura e ingeniería de las estaciones, paraderos e inserción urbana del corredor segregado de alta capacidad (9-19)
- Defensoría del pueblo ciudad autónoma de Buenos Aires (n.d.) Sistemas BRT: Ciudades suramericanas Informe sobre el Metrobús de Buenos Aires en perspectiva regional

- Department of Justice. (2010). ADA Standards for Accessible Design.
- De Soto, Hernando (1986). El otro sendero: la revolución informal, Lima: Instituto Libertad y Democracia.
- Duarte, F., & Rojas, F. (2012). Intermodal Connectivity to BRT: A Comparative Analysis of Bogotá and Curitiba. *Journal of Public Transportation*, 15(2), 1. Retrieved from <http://ezproxybib.pucp.edu.pe:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edo&AN=79660899&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- EMBARQ (2009) Metrobus: Una fórmula ganadora
- EnPerú (2015). Clima Recuperado de: <http://www.enperu.org/clima-capital-de-peru-lima-temperaturas-ciudad-de-lima-altitud-latitud-capital-peru.html>
- Espinoza, J & Barrento, P. (2016) Reflexiones sobre la configuración estrategita en los sistemas de autobuses de transito rápido en Curitiba, Bogota y de la Ciudad de Mexico *Denarius*, 31, pp. 163-190.
- Gestión, (2018) “Habrá nueva estación para la línea 1 de Metro por error en la planificación.”
- Fábio, D., & Clovis, U. (2012). Making Public Transport and Housing Match: Accomplishments and Failures of Curitiba’s BRT. *Journal of Urban Planning and Development*, 138(2), 183–194. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000107](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000107)
- FHWA (2019). Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software (2019 Update to the 2004 Version). Recuperado de <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop18036/index.htm>
- F. Lámbarry, L. Rivas & M. Trujillo, 2013. Desarrollo de una escala de medición de la percepción en la calidad del servicio en los sistemas de autobuses de tránsito rápido, a partir del Metrobús de la Ciudad de México. *Innovar* (23), núm. 50
- Fukuda, I. (2010) Planeación Urbana en Curitiba
- Fundación ONCE (2011) Accesibilidad Universal y Diseño para Todos
- Fuller, E. P. (2017). ¿Hacia una movilidad sustentable? Desafíos de las políticas de reordenamiento del transporte público en Latinoamérica. *El caso de Lima. Letras Verdes*, (21), 4-31.
- Gobierno de la Ciudad de México & Banco Mundial(nd). Metrobús Insurgentes- Programa de Mitigación y recuperación urbana. <http://documents.worldbank.org/curated/en/965151468300674086/pdf/RP3720rev20pdf.pdf>

- Handy, S., Lovenjoy, K., Boarnet, M., Spears, S. (2013) Policy Brief on the Impacts of Transit Service Strategies Based on a Review of the Empirical Literature
- Hidalgo, D., Pereira, L., Estupiñán, N., & Luis, P. (2013). Research in Transportation Economics TransMilenio BRT system in Bogota, high performance and positive impact e Main results of an ex-post evaluation. *Research in Transportation Economics*, 39(1), 133–138. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2012.06.005>
- Hook, W., & Wright, L. (2007). Guía de Planificación de Sistemas BRT. ITDP.
- Irazábal (2005). Planificación y diseño urbano y regional en Curitiba: El último medio siglo
- ITDP. (2016). THE BRT STANDARD.
- ITDP, Arias, C., Castro, A., Martins, W. C., Custodio, P., Diaz, J. C., Zimmerman, S. (2010). Guía de Planificación de Sistemas BRT Autobuses de Tránsito Rápido, 37.
- Jaiswal, S., Bunker, J., & Ferreira, L. (2010). Influence of Platform Walking on BRT Station Bus Dwell Time Estimation: Australian Analysis. *Journal of Transportation Engineering*, 136(December), 1173–1179. <https://doi.org/10.1061/ASCE.1943-5436.0000174>
- Japan International Cooperation Agency (2013) Encuesta de recolección de información básica del transporte en el área metropolitana de Lima y Callao.
- Legua, G., Sabino, M. (2016). Estudio de vida pública y micro simulación peatonal en la vía PUCP, mediante observación directa, drones y VISWALK
- Levinson, H. S., Zimmerman, S., Clinger, J., Gast, J., Rutherford, S., & Bruhn, E. (2003). *Bus rapid transit. Volume 2: Implementation guidelines.*
- Lima Cómo Vamos (2018). “Encuesta Lima Cómo Vamos. Noveno informe de percepción sobre calidad de vida en Lima y Callao”. Disponible en <https://www.limacomovamos.org/informesurbanos/> (visitada el 25 de agosto de 2019).
- Lindau, L., Hidalgo, D., & Facchini, D. (2010). Bus Rapid Transit in Curitiba, Brazil. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2193, 17–27. <https://doi.org/10.3141/2193-03>
- Liu Yu , Lei Yu, and Xumei Chen(2007) Benefit analysis on bus rapid transit exclusive lanes
- Maeso-González, E., & Pérez-Cerón, P. (2014). State of art of bus rapid transit transportation. *European Transport Research Review*, 6(2), 149–156. <https://doi.org/10.1007/s12544-013-0113-1>

- Metrobus(2017).Acesibilidad. www.metrobus.cdmx.gob.mx/
- Metrobús(2017). Portal Ciudadano <http://data.metrobus.cdmx.gob.mx/faq.html#dos>
- Mercedes Benz. (2013).BRT en la Ciudad de Mexico: Corredor Línea 3 de Metrobús
https://www.mercedesbenz.de/content/media_library/hq/hq_mpc_reference_site/bus_ng/Consulting_contact/brt/flyer_2012/cities/es/3223_mexico-city_es.object-Single-MEDIA.tmp/3222_BRT_Mexico-City_spa_FINAL_2013-10-11.pdf
- Mercedes Benz. (n.d.) Menos emisiones contaminantes http://brt.mercedesbenz.com/content/brt/mpc/mpc_brt_website/es/home_mpc/brt/home/about_brt/more_about_BRT/all_fact/advan/Environmental.html
- Nakamura, F., Makimura, K., & Toyama, Y. (2017). Perspective on an urban transportation strategy with BRT for developing cities. *Engineering and Applied Science Research*, Vol 44, Iss 3, Pp 196-201 (2017) VO - 44, (3), 196. <https://doi.org/10.14456/easr.2017.30>
- OSITRAN, (2017) Ficha de contrato Línea 2 Metro de Lima. <https://www.ositran.gob.pe/metro-de-lima/metro-de-lima-y-callao-linea-2/>
- Pardo, C., & Calder, P. (n.d.). No Motorizado y DOTS Integración de Transporte.
- PTV (2015). PTV VISSIM 8 USER MANUAL
- Pursula, M. (1999). *Simulation of Traffic Systems*. Otaniemi: Helsinki University of Technology.
- Rickert, T. (2007) BRT Accessibility Guidelines
- Ríos, J (2013) Dimensionamiento de rutas con flota vehicular mixta en sistemas BRT. Caso de estudio: Metrbús, línea 1 (tesis de maestría) Universidad Nacional Autónoma de México.
- Roess, R., Prassas, E., McShane, W. (2004). *Traffic Engineering*, EE. UU: Pearson
- Rogat, J. (2009). Planificación e implementación de un sistema de Bus Rápido en América Latina: resumen orientado a tomadores de decisiones: Guía para tomadores de decisiones. UNEP Risø Centre on Energy, Climate and Sustainable Development, Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy.
- S. C. Wirasinghe , L. Kattan , M. M. Rahman , J. Hubbell , R. Thilakaratne & S. Anowar(2013) Bus rapid transit – a review
- Thomson, I., Bull, A. (2002) Revista de la Cepal 76. La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales

- TCRP (2003a). TCRP Report 90: Bus Rapid Transit - Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit. Washington D.C. Transportation Research Board.
- TCRP (2003b). TCRP Report 90: Bus Rapid Transit - Volume 2: Implementation Guidelines. Washington D.C. Transportation Research Board.
- TCRP (2003c). TCRP Report 100: Transit Capacity and Quality of Service Manual. Washington D.C. Transportation Research Board.
- TRB (2003) Access Management Manual.
- United Nations Climate Change (2018) BRTs de Ahmedabad, Janmarg. Recuperado de: <https://unfccc.int/climate-action/momentum-for-change/lighthouse-activities/the-ahmedabad-bus-rapid-transit-system-in-india>
- URBS (2017). URBS. Recuperado de <https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/>
- Vega Centeno, Pablo, Juan Carlos Dextre y Mariana Alegre (2011). “Inequidad y fragmentación: movilidad y sistemas de transporte en Lima Metropolitana.” En Lima_Santiago. Restructuración y cambio metropolitano. pp. 289 - 328. De Mattos, Carlos; Ludeña, Wiley, editores. Lima / Santiago: Pontificia Universidad Católica del Perú/ Universidad Católica de Chile.
- World Resources Institute.(2015). Metrobús 10 años: Impulsando la movilidad sustentable en la Ciudad de México <http://wri.ciudades.org/news/metrobus-10-años-impulsando-la-movilidad-sustentable-en-la-ciudad-de-méxico>
- WRI (2012) Road Safety Design Guidelines for Bus Rapid Transit in Indian Cities <http://www.wrirosscities.org/sites/default/files/RoadSafetyDesignGuidelinesforBusRapidTransitinIndianCitiesDRAFT.pdf>

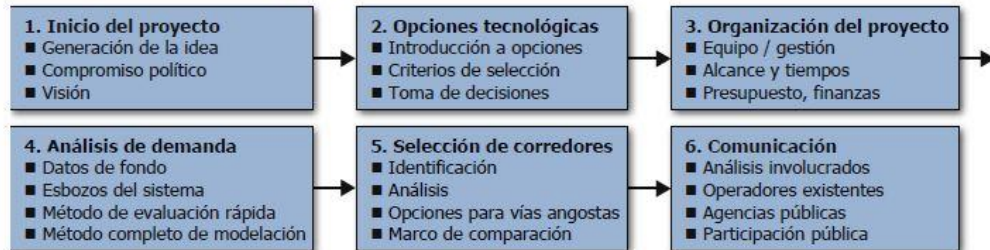


ANEXOS

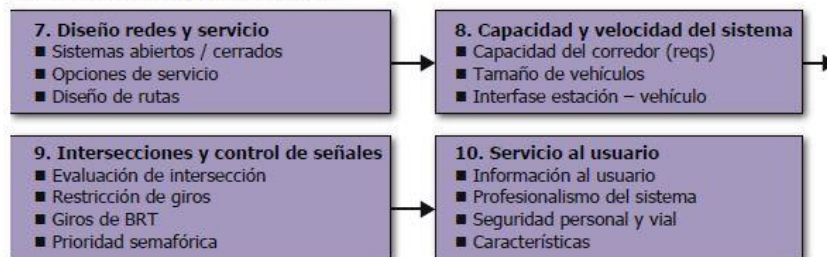
ANEXO 1: Estimación general de la demanda para un sistema BRT

El diseño de un sistema BRT completo involucra diversos factores y no solo el diseño de la estación de manera segregada: esta última es solo un parte de un diseño integral, el cual está compuesto de las siguientes etapas:

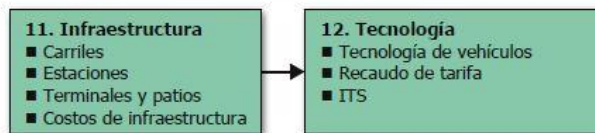
I. Preparación del proyecto



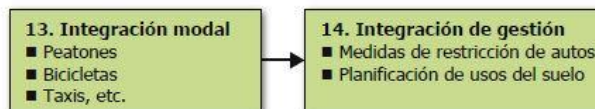
II. Diseño operacional



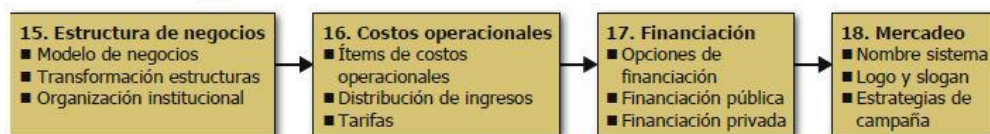
III. Diseño físico



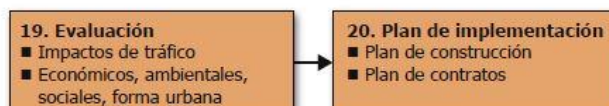
IV. Integración



V. Plan de negocios



VI. Evaluación e Implementación



Esquema general del proceso de diseño de un sistema BRT. Fuente: ITDP

Como puede observarse en el esquema anterior el diseño de la estación es solo parte del diseño físico, el cual es una etapa del proceso integral de planificación.

El proceso empieza con el deseo de implementar un sistema de transporte público ya sea por

parte de un gobierno, municipalidad, un operador privado o incluso un ciudadano interesado en mejorar el transporte público en la ciudad. Esto se denomina **generación de la idea**. Seguidamente, como parte de la planificación debe existir un compromiso político por parte de una autoridad del estado de manera que se oficialice la idea propuesta.

Una vez completado los pasos anteriores (generación de la idea y compromiso político), se debe discutir sobre las opciones de transporte público que se pueden implementar: **opciones de tecnología de transporte público**. Es en esta etapa en la que se introducen las opciones, se establece un criterio de selección y finalmente se toma la decisión más adecuada en función de las condiciones locales.

Se puede implementar sistemas como metro, trenes ligeros, buses tradicionales, monorrieles, y BRT. La elección del modo de transporte elegido dependerá de los costos de infraestructura, costos operacionales, consideraciones de diseño e implementación, desempeño e impactos económicos, sociales y ambientales (ITDP, 2007).

En las ciudades en desarrollo uno de los factores determinantes en la elección del modo de transporte es el costo de la infraestructura. En este caso, los sistemas BRT cuentan con ventaja respecto a los trenes ligeros, metro subterráneo y trenes elevados. Esto se puede evidenciar en la siguiente tabla.

| Ciudad | Tipo de sistema | Kilómetros de líneas segregadas (km) | Costo por kilómetro (US\$ millones/km) |
|-----------------------------|-----------------|--------------------------------------|--|
| Taipéi | BRT | 57,0 | 0,5 |
| Quito (Línea Ecovía) | BRT | 10,0 | 0,6 |
| Porto Alegre | BRT | 27,0 | 1,0 |
| Las Vegas (Max) | BRT | 11,2 | 1,7 |
| Curitiba | BRT | 57,0 | 2,5 |
| São Paulo | BRT | 114,0 | 3,0 |
| Bogotá (Fase I) | BRT | 40,0 | 5,3 |
| Tunis | Tranvía | 30,0 | 13,3 |
| San Diego | Trole ríeles | 75,0 | 17,2 |
| Lyon | Tren ligero | 18,0 | 18,9 |
| Bordeaux | Tren ligero | 23,0 | 20,5 |
| Tranvía de Zúrich | Tranvía | NA | 29,2 |
| Portland | Tren ligero | 28,0 | 35,2 |
| Los Ángeles (Línea Gold) | Tren ligero | 23,0 | 37,8 |
| Kuala Lumpur (PUTRA) | Tren elevado | 29,0 | 50,0 |
| Bangkok (BTS) | Tren elevado | 23,7 | 72,5 |
| Monoriel de Kuala Lumpur | Monoriel | 8,6 | 38,1 |
| Las Vegas | Monoriel | 6,4 | 101,6 |
| Ciudad de México (Línea B) | Metro riel | 24,0 | 40,9 |
| Madrid (extensión de 1999) | Metro riel | 38,0 | 42,8 |
| Metro Beijing | Metro riel | 113,0 | 62,0 |
| Metro Shanghai | Metro riel | 87,2 | 62,0 |
| Caracas (línea 4) | Metro riel | 12,0 | 90,3 |
| Bangkok MRTA | Metro riel | 20,0 | 142,9 |
| Metro Hong Kong | Metro riel | 82,0 | 220,0 |
| Londres (Jubilee Line ext.) | Metro riel | 16,0 | 350,0 |

Costos de infraestructura y propiedades para diferentes sistemas de transporte masivo. Fuente: ITDP

El siguiente paso del diseño comprende la **organización inicial del proyecto**. Para esta etapa ya se tiene definido la tecnología de transporte a utilizar, en nuestro caso un sistema BRT, y se establece los miembros del grupo de trabajo.

Para esta etapa es necesario una aprobación reglamentaria del proyecto y la elección del tipo de entidad organizacional encargada de la planificación: esta puede ser una o varias entidades existentes o una entidad nueva creada por la entidad promotora.

Generalmente, el equipo de trabajo está compuesto por la entidad estatal promotora del proyecto (municipalidad, gobierno regional, etc), consultores privados que pueden incluir ingenieros, especialistas en gestión del tránsito, profesionales en publicidad, especialistas en urbanismo, arquitectos, entidades promotoras de movilidad sostenible, modeladores de transporte, etc.

Es en esta etapa en la que se establece el tiempo en que se planificará el proyecto en función de las características particulares del mismo. En general, un proyecto de BRT puede ser planificado en un periodo entre 12 y 18 meses y dicho plan puede costar entre US\$ 1 millón y US\$ 3 millones (ITDP, 2007).

La siguiente etapa del diseño general comprende un **análisis de demanda**. Esta consiste en estimar la cantidad de usuarios potenciales que tendrá el corredor BRT proyectado. La demanda futura proyectada debe comenzar con un análisis de la demanda existente del transporte público y luego ser expandida con expectativas razonables de aumento de pasajeros (ITDP, 2007).

Para llevar a cabo el análisis se debe inicialmente realizar un análisis situacional y de contexto. Esto permitirá conocer la información demográfica, económica, ambiental, de empleo y de política de la ciudad en la que se proyecta el nuevo sistema. Asimismo, mediante esta información los diseñadores podrán conocer las particularidades de cada ciudad y proponer un diseño adecuado.

Según el ITDP, el proceso de estimación de la demanda comprende cuatro pasos, en el que cada paso puede servir como paso previo al siguiente o bien se realiza independientemente.

Las etapas del análisis de la demanda son las siguientes: Evaluación rápida de la demanda, estimación de la demanda sin modelación, estimación de la demanda con un modelo de transporte público, estimación de la demanda con un modelo completo de tráfico.

Una evaluación rápida de la demanda es el primer paso en proyectos de planificación de BRT,

que generalmente se realiza en países en desarrollo pues estos no cuentan con un estudio o mapa de demanda de las ciudades.

En este sentido el ITDP, recomienda los siguientes pasos a obtener como datos de entrada para realizar un análisis de demanda rápido:

- Las rutas de los sistemas actuales de transporte público
- Contabilizar la cantidad de modos de transporte que circulan en cada vía y el número de pasajeros que utiliza cada ruta
- Medir las velocidades de los vehículos de transporte público en cada ruta

La determinación de las rutas existente de transporte público consiste en determinar el número de rutas en cada vía de la ciudad. Esto se puede realizar de dos maneras dependiendo de la disponibilidad.

La primera posibilidad consiste en obtener el mapeo de rutas directamente de la municipalidad y realizar una verificación física en la que se establezca que las rutas registradas sean iguales a las rutas existentes.

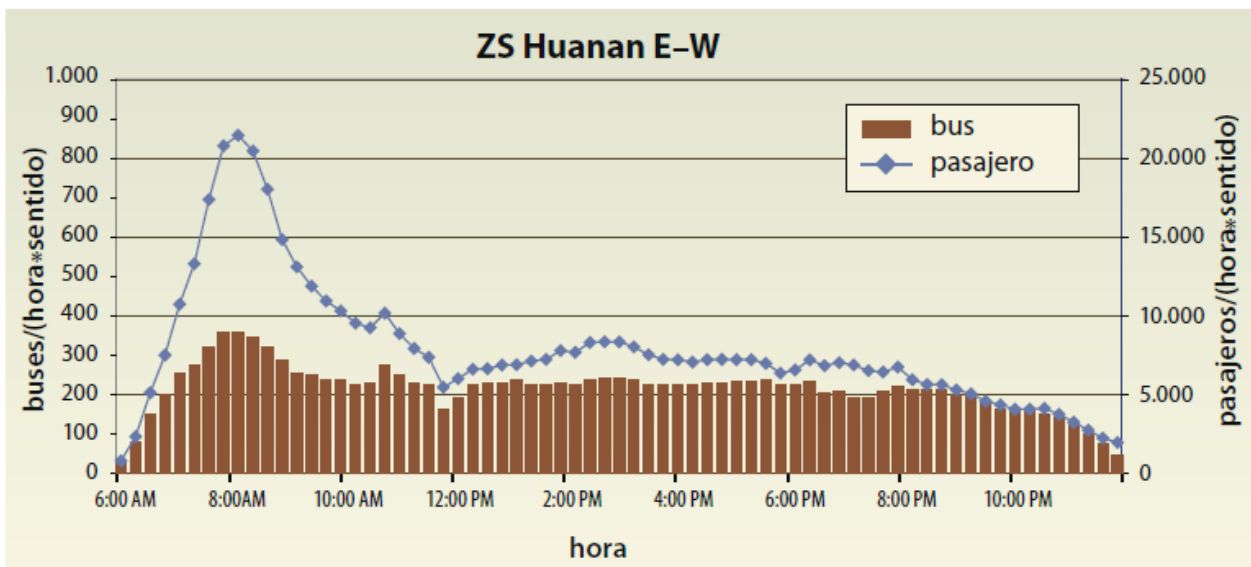
La segunda posibilidad es que no se cuente con datos registrados y por lo tanto se debe realizar visitas físicas a las vías de la ciudad y realizar conteos de las rutas existentes. Este proceso puede incluir entrevistas a los operadores de cada ruta de manera que se obtengan datos más precisos.

La identificación de rutas de transporte público en cada vía resulta esencial pues permite generar una idea inicial de la demanda en cada vía. Usualmente existe una fuerte correlación entre grandes cantidades de rutas de transporte público y altos flujos de pasajeros (ITDP, 2007).

Como siguiente paso se debe contabilizar la cantidad de modos de transporte y número de pasajeros en las rutas. Estas dos mediciones determinan la demanda básica de un corredor.

Los conteos se pueden realizar manualmente (lápiz y cartilla con formato de conteo), mediante tecnologías de video, contadores de personas, etc. Es importante en los conteos determinar la cantidad de usuarios por cada tipo de modo de transporte y recomendablemente en intervalos de 15 minutos.

Ejemplo de procesamiento de datos a partir de conteos de usuarios y vehículos



Con los datos del mapeo de rutas y los conteos realizados es posible determinar una estimación razonable de la demanda del transporte público para cada corredor. Para ello, para cada ruta, se multiplica el total de vehículos de transporte público en la hora pico por el promedio total de pasajeros por vehículo.

Finalmente, se compara las rutas con mayor demanda de los cuales se obtienen los posibles candidatos a rutas BRT. Faltaría obtener y realizar el análisis de las velocidades del transporte público en las diferentes rutas, lo cual adicionado a los corredores de mayor demanda determinará las rutas más probables en la que se puede implementar un sistema BRT.

Para la determinación de las velocidades, dado que ya se tiene mapeada las rutas (primer paso de estimación de la demanda) y ya se realizaron los conteos, consiste en escoger las rutas con mayor demanda en la hora pico y tomar el tiempo entre dos paradas sucesivas del transporte público. Con el tiempo y la distancia se obtiene las velocidades.

Asimismo, es posible utilizar dispositivos GPS, que permitan establecer las velocidades directamente.

Una vez determinada las velocidades estas se comparan con las velocidades comerciales de los sistemas BRT (según el ITDP de 20 a 30 km/h) y se determinan si el sistema BRT beneficiará al corredor.

Si las velocidades medidas son muy bajas un sistema BRT puede provocar medidas significativas en los tiempos de viaje, mayor cambio modal de vehículos privados y transporte

público convencional (ITDP, 2007).

Como siguiente paso se puede estimar detalladamente la demanda sin necesidad de modelación. Para poder realizar esta etapa es necesario contar con el itinerario de cada ruta de transporte público existente en la ciudad.

En esta etapa es necesario recopilar los datos de la estimación rápida de la demanda: la cantidad de modos de transporte y número de pasajeros en las rutas. Adicional a estos datos se debe medir los abordajes y descensos de pasajeros a lo largo de la ruta proyectada.

Esto último nos permitirá tener información respecto del tramo con mayor demanda de pasajeros que suben y bajan, con lo que se podrá estimar la demanda futura que tendrá las estaciones de BRT a lo largo del corredor.

Cabe resaltar que para este paso es necesario contar con los itinerarios de las rutas pues a partir de esto se determinará la frecuencia de los buses en el corredor proyectado y el porcentaje de rutas de transporte público que atraviesan el corredor.

La metodología presentada de estimación de la demanda sin necesidad de modelación funciona cuando se tenga detallado los itinerarios de las rutas. Este es el caso de ciudades donde una proporción significativa de la demanda de transporte público es manejada por vehículos de transporte informal, taxis compartidos y otras formas de transporte colectivo que no tienen itinerarios fijos (ITDP,2007).

La demanda puede ser estimada también a través de modelos de simulación. El siguiente paso consiste en realizar un modelo de transporte público que se ajuste a la realidad de cada ciudad.

Este paso puede recopilar la información de las etapas previas o elaborarse de manera independiente, como se explicó en los párrafos anteriores.

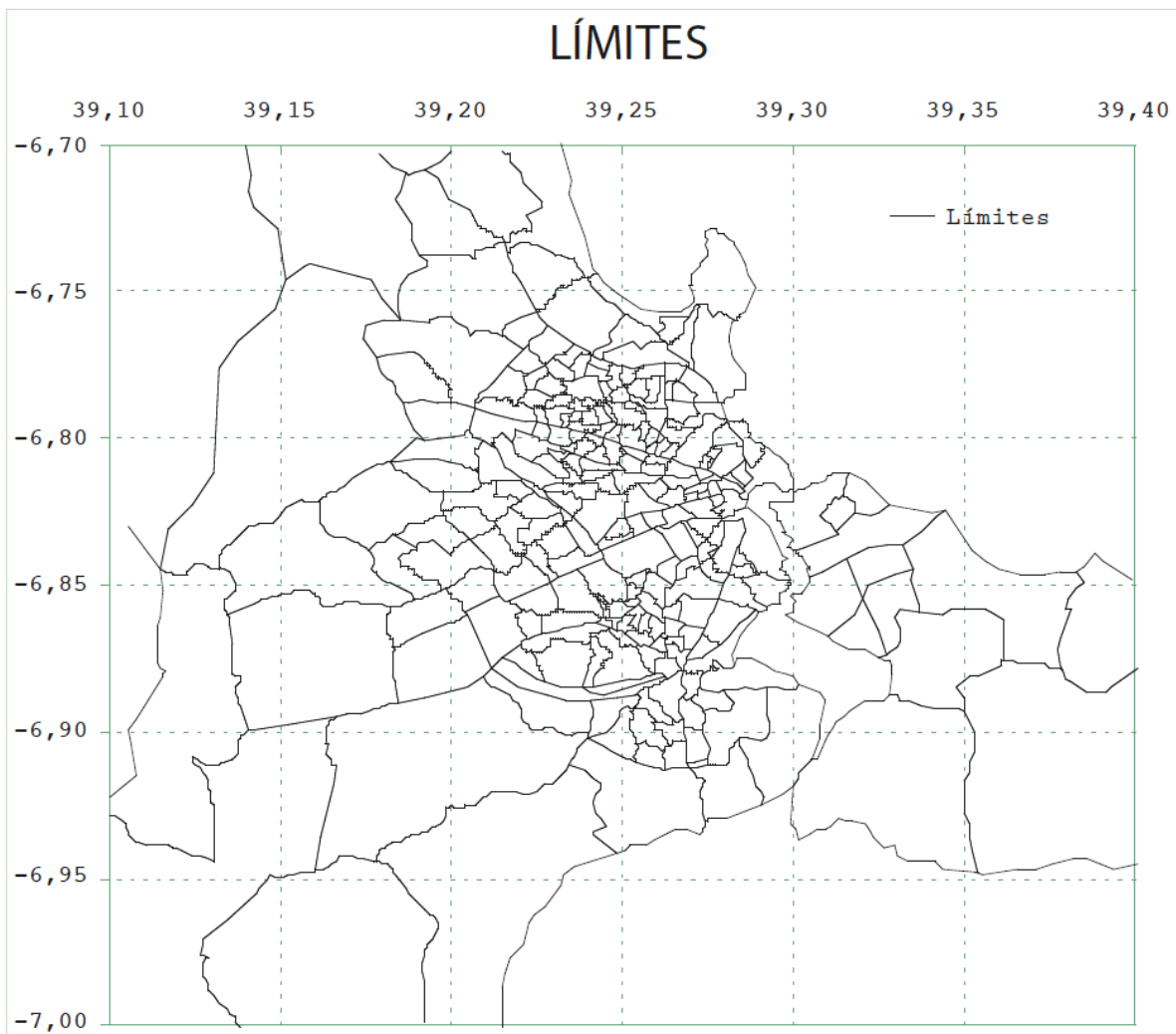
Como punto de inicio se debe elegir el software de simulación a utilizar. Actualmente, existe en el mercado diversas alternativas, cuya elección depende del grado de exactitud que se desea lograr, nivel de familiaridad con el software, grado de flexibilidad del mismo, etc. Generalmente se utiliza una combinación de softwares. Tanto para micro escala y meso escala.

En el caso de la micro simulación, los softwares se utilizan para analizar intersecciones o grupos reducidas de estas. En el caso específico de sistemas BRT se emplean para analizar y establecer prioridades en las intersecciones, y analizar el comportamiento e interacción con las estaciones.

Los softwares de meso escala se emplea para modelar el transporte público en sí y estimar la demanda futura.

Una vez elegido el software a utilizar, se debe determinar el área de estudio y zonificar la misma. Dado que para este paso ya se realizó el análisis de demanda ya se tiene establecido el corredor o corredores BRT que se desea implementar. Por lo tanto, el área de estudio es el área de influencia del corredor o corredores.

Establecido el área de estudio se divide este en zonas. El procedimiento que se realiza normalmente es recolectar información de censos de la ciudad y agruparlo en las zonas establecidas. A continuación, se muestra la zonificación realizada para el BRT de Dar Es Salaam en Tanzania.



Zonificación para el estudio de factibilidad del BRT de Dar Es Salaam. Fuente: ITDP

Estos modelos permitirán también validar las ubicaciones propuestas para el sistema BRT, fijar o hacer cambios en las rutas propuestas a servir, etc.

ANEXO 2: Antecedente: Ahmedabad

En la India el principal problema del transporte son las motos. Se diferencia de las ciudades de Latinoamérica que implementaron un sistema BRT debido a la congestión generada por los vehículos particulares. (World Reserch Institute, 2012). Ahmedabad cuenta con 5.5 millones de habitantes y con solo motocicletas y el Servicio Municipal, el cual ya se encontraba saturado para el año 2008.



Las motocicletas como principal modo de transporte en la India. Fuente: World Reserch Institute

En el Año 2009, se inauguró el sistema BRT denominado como Janmarg, cuyo nombre significa “el camino de la gente”; este fue el primer paso que se dio para mejorar la calidad del transporte y esta se evidencia en los premios recibidos.

El primero al Transporte Sostenible en 2010 y el segundo al Mejor Diseño 2013 en el Congreso Mundial de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP) en Ginebra. (United Nations Climate Change,2018). Además, este BRT tiene la categoría de bronce según el BRT Standart.

Como resultado de la implementación del BRT en esta ciudad se obtuvo una reducción del uso de motocicletas de hasta un 22 %, los cuales pasaron a usar el transporte público. (United Nations Climate Change,2018).

El desarrollo de vías urbanas permitió conectar a diversas partes de la ciudad que antes se encontraban aisladas, lo cual representó un incremento en la construcción de viviendas, comercios e industrias en terrenos desocupados. Dichas actividades permitieron incrementar

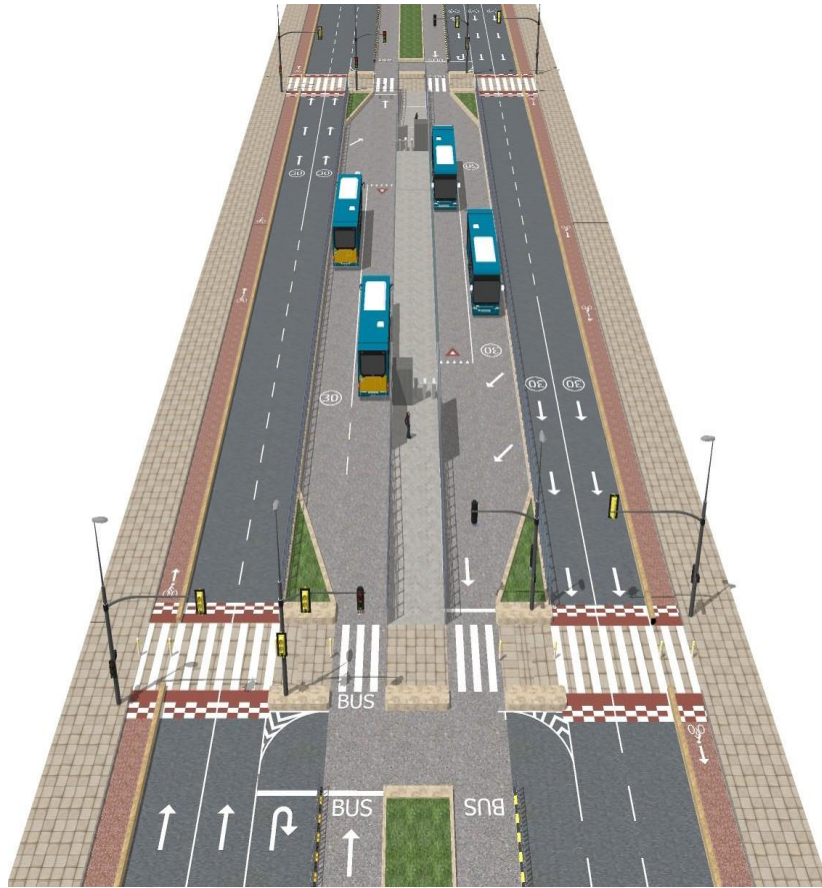
los puestos de empleo para personas de escasos recursos económicos. (United Nations Climate Change,2018)

Características representativas

La implementación del BRT fue un proyecto guiado por el ITDP, dado que es una entidad con experiencia en dicho rubro y ha adoptado muchas de las buenas prácticas de sistemas de otras partes del mundo. A continuación, se detallan estas características.

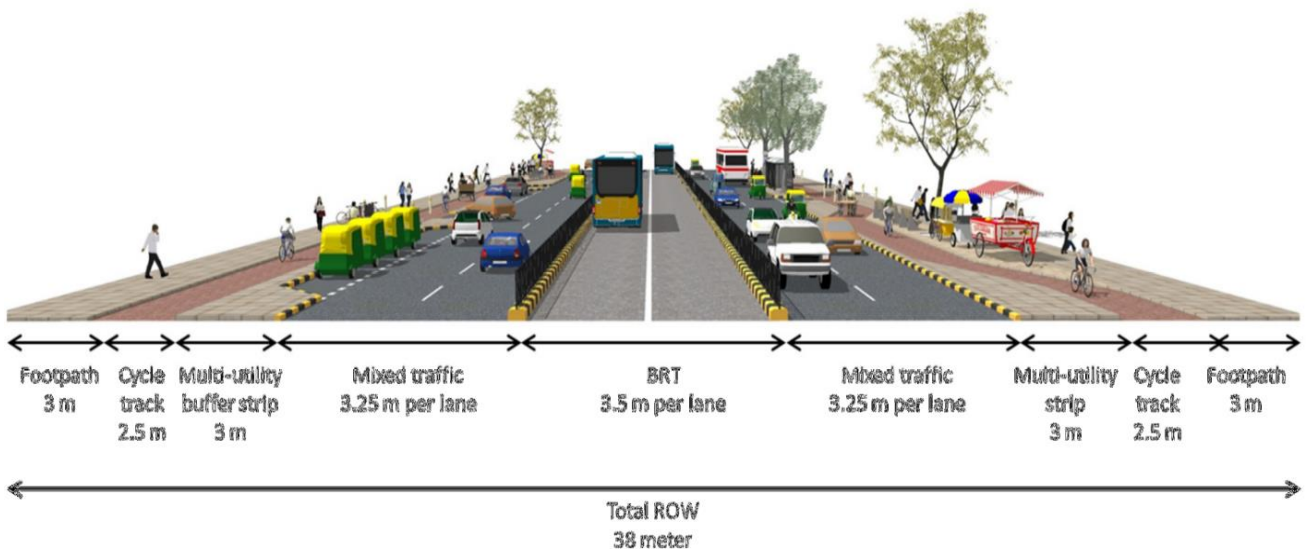
- Las estaciones poseen rampas en ambos ingresos. Además, la plataforma de la estación se encuentra a nivel de la puerta del bus de modo que se facilita el acceso de todas las personas.
- El sistema cuenta actualmente con 85 km de vías, con carriles dedicados exclusivos y carriles de sobrepaso.
- Cuenta con estaciones intermedias espaciadas cada 645 metros. (Brtdata,2013)
- La velocidad comercial de los buses es de 25 km/h.
- Pago de tarifa antes de abordar el bus.
- Utilización de buses con gas natural.

A continuación, se muestra un esquema del sistema Janmarg, el cual representa una sección de una estación del BRT. En la siguiente figura se puede apreciar los carriles de sobrepaso.



Esquema de la estación de BRT en Ahmedabad. Fuente: World Reserch Institute

En la siguiente figura se puede observar la distribución de los espacios en una vía típica del sistema BRT. Se puede observar los espacios destinados para los peatones, las ciclovías, transporte mixto, sistema BRT.



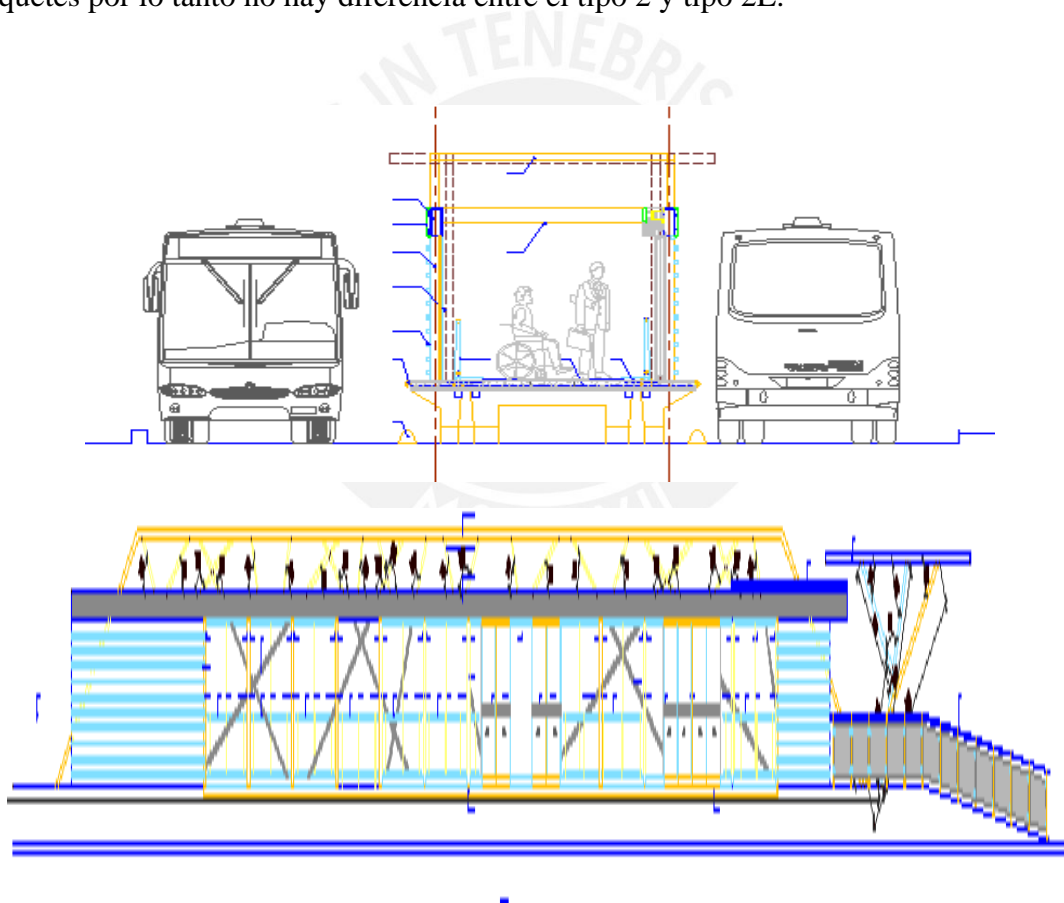
Sección transversal del sistema BRT en Ahmedabad. Fuente: World Reserch Institute



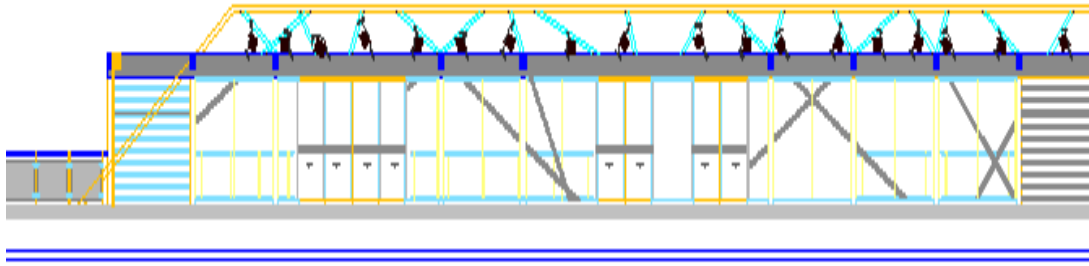
ANEXO 3: Tipos de estaciones del BRT Metropolitano

El recorrido que posee la ruta Metropolitano ha sido un factor para que se realice el diseño de distintos tipos de estaciones las cuales se han denominado como módulos 1, 2 ,2-E y 3.

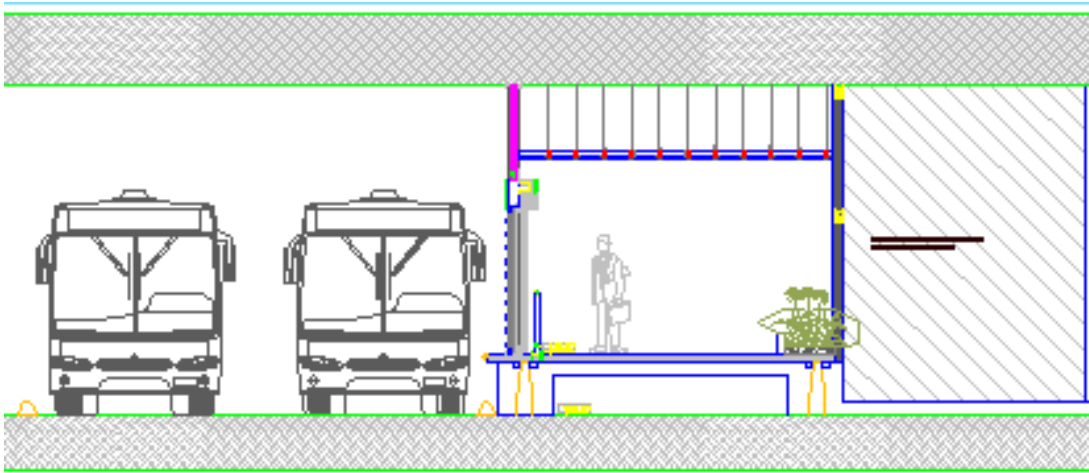
Los tres primeros módulos presentan un diseño arquitectónico similar, pero con una variación en el ancho, para el tipo 1 es de 4 m mientras que el tipo 2 y 2E poseen 5m. Por otro lado, la diferencia entre la estación tipo 2 y 2E radica en que la primera cuenta con torniquetes como sistema de pago y verificación de tarifa mientras que la segunda no lo ha incorporado, sino que optaron por utilizar casetas para dicha función. La cuarta presenta un diseño atípico debido a que es una estación subterránea y posee un ancho variable entre los 3 y 4 m. (CONSORCIO A.C.I. – VERA Y MORENO, 2009) Actualmente, todas las estaciones cuentan con los torniquetes por lo tanto no hay diferencia entre el tipo 2 y tipo 2E.



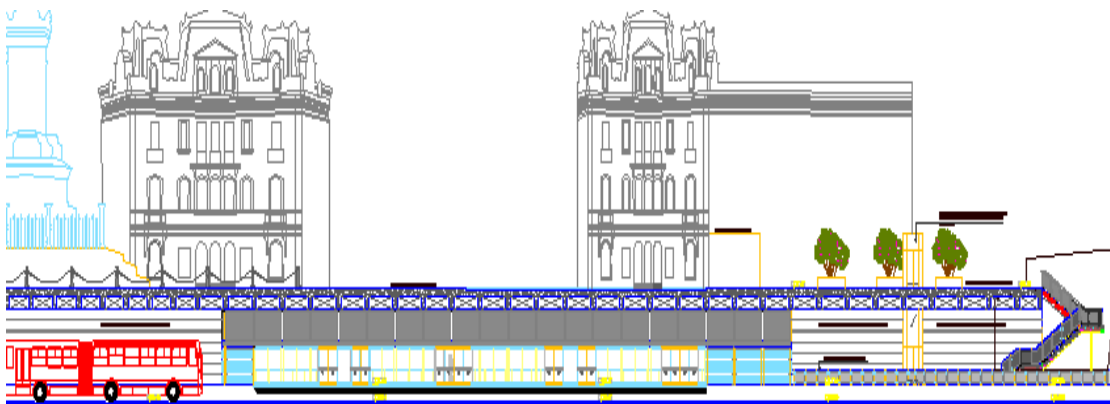
Sección transversal y perfil Estación tipo 1y 2. Fuente: Protransporte



Perfil Estación tipo 2-E. Fuente: Protransporte



Sección transversal estación tipo 3. Fuente: Protransporte



Perfil estación tipo 3. Fuente: Protransporte

A continuación, se muestra la tabla que contiene el tipo de estación que corresponde a los paraderos del tramo norte y centro.

Tipo de estaciones del Metropolitano Centro y Norte. Fuente: Protransporte

| <u>Nombre de estación</u> | <u>Tipo</u> |
|--------------------------------|-------------|
| Ramón Castilla | 2-2E |
| Tacna | 1 |
| Jirón de la Unión | 1 |
| Nicolás de Piérola | 1 |
| España | 2-2E |
| Quilca | 2-2E |
| Dos de Mayo | 3 |
| Caquetá | 2-2E |
| Parque del trabajo | 2 |
| UNI | 2-2E |
| Honorio Delgado | 2-2E |
| Bartolomé de las Casas | 2-2E |
| Tomas Valle | 2-2E |
| Los Jazmines | 2-2E |
| Municipalidad de Independencia | 2-2E |
| Pacífico | 2-2E |
| Carlos Izaguirre | 2-2E |

Ancho de estaciones según tipo de estaciones. Fuente: Protransporte

| <u>Tipo de estación</u> | <u>Ancho(m)</u> | <u>Medio de Acceso</u> |
|-------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | 4 | Rampa corta |
| 2 | 5 | Rampa corta |
| 2E | 5 | Rampas elevadas y escaleras |
| 3 | 3 a 4 | Escaleras y ascensores |



ANEXO 4: Frecuencias de arribos del sistema Metropolitano

Frecuencia de buses (buses/hora) en la estación Javier Prado

| JAVIER PRADO | | 5:00 | 6:00 | 7:00 | 8:00 | 9:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 |
|--------------|----|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| EXPRESO 1 | SN | 5 | 17 | 29 | 26 | 8 | | | | | | | | 6 | 17 | 17 | 16 | 9 | | |
| | NS | 3 | 12 | 22 | 25 | 18 | | | | | | | | 10 | 17 | 17 | 16 | 5 | | |
| EXPRESO 2 | SN | 2 | 10 | 21 | 33 | 10 | | | | | | | | 13 | 27 | 25 | 14 | 4 | | |
| | NS | 5 | 21 | 39 | 41 | 14 | | | | | | | | | | | | | | |
| EXPRESO 5 | SN | | | | 1 | 43 | 38 | 22 | 17 | 15 | 15 | 15 | 15 | 2 | | | | | | |
| | NS | | | | | 22 | 30 | 20 | 15 | 15 | 15 | 15 | 28 | 26 | | | | | | |
| EXPRESO 6 | NS | 1 | 7 | 16 | 18 | 8 | | | | | | | | | | | | | | |
| EXPRESO 7 | NS | 1 | 6 | 20 | 22 | 9 | | | | | | | | | | | | | | |
| EXPRESO 8 | NS | | | | | | | | | | | | | 45 | 42 | 14 | 10 | 3 | | |
| | SN | | | | | | | | | | | | | 26 | 35 | 32 | 30 | 5 | | |
| REGULAR B | NS | | | | | 7 | 17 | 16 | 17 | 17 | 16 | 18 | 16 | 17 | 15 | 16 | 18 | 19 | 20 | 10 |
| | SN | | | | | 9 | 16 | 18 | 16 | 17 | 17 | 16 | 17 | 15 | 18 | 15 | 16 | 16 | 13 | 14 |
| REGULAR C | NS | 5 | 11 | 14 | 17 | 24 | 16 | 15 | 15 | 15 | 13 | 14 | 14 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 14 | 3 |
| | SN | | 10 | 20 | 27 | 24 | 18 | 15 | 15 | 15 | 17 | 15 | 13 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 14 | 6 |

Fuente: Protransporte

De la tabla anterior, se puede obtener los datos de frecuencia de buses en la hora punta (7:00 a 8:00 y de 19:00 a 20:00).

Frecuencia de buses en la estación Javier Prado en hora punta

| JAVIER PRADO | | 7:00 a 8:00 (buses/hora) | 19:00 a 20:00 (buses/hora) |
|--------------|----|-----------------------------|-------------------------------|
| EXPRESO 1 | SN | 29 | 17 |
| | NS | 22 | 17 |
| EXPRESO 2 | SN | 21 | 25 |
| | NS | 39 | - |
| EXPRESO 5 | SN | - | - |
| | NS | - | - |
| EXPRESO 6 | NS | 16 | - |
| EXPRESO 7 | NS | 20 | - |
| EXPRESO 8 | NS | - | 14 |
| | SN | - | 32 |
| REGULAR B | NS | - | 16 |
| | SN | - | 15 |
| REGULAR C | NS | 14 | 15 |
| | SN | 20 | 15 |

ANEXO 5: Distancia recorrida para ingresar a la estación Javier Prado

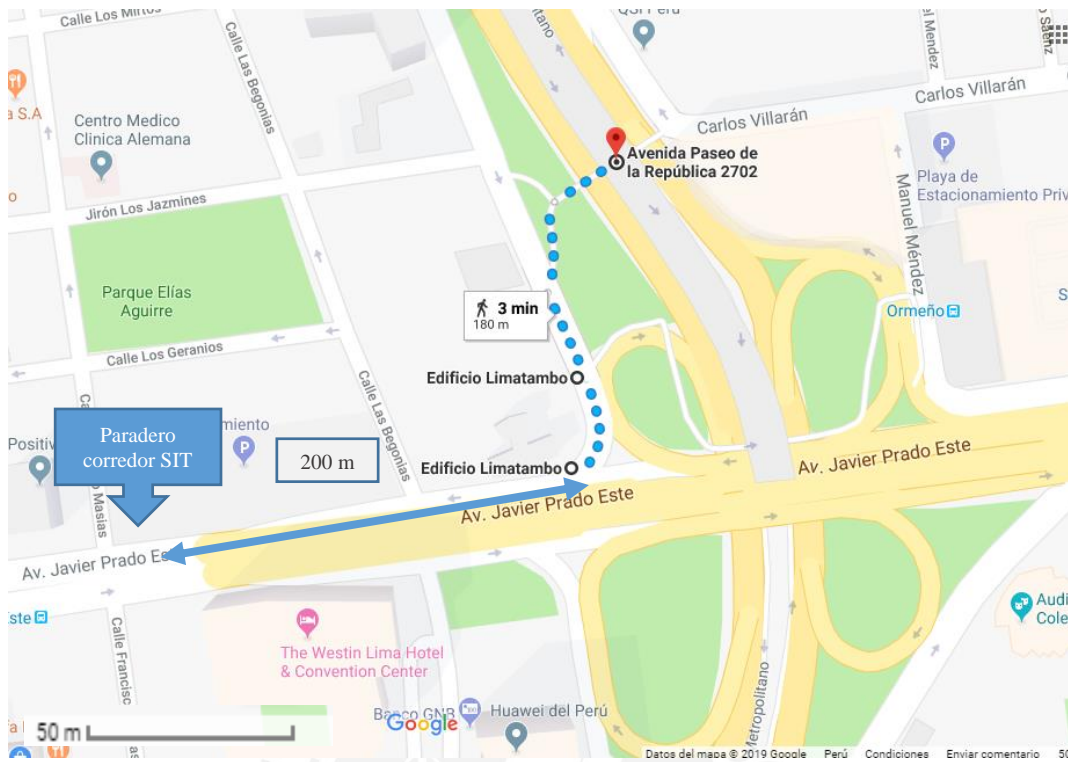


Figura: Recorrido del paradero del corredor SIT a estación Javier Prado S-N (L = 380 m)

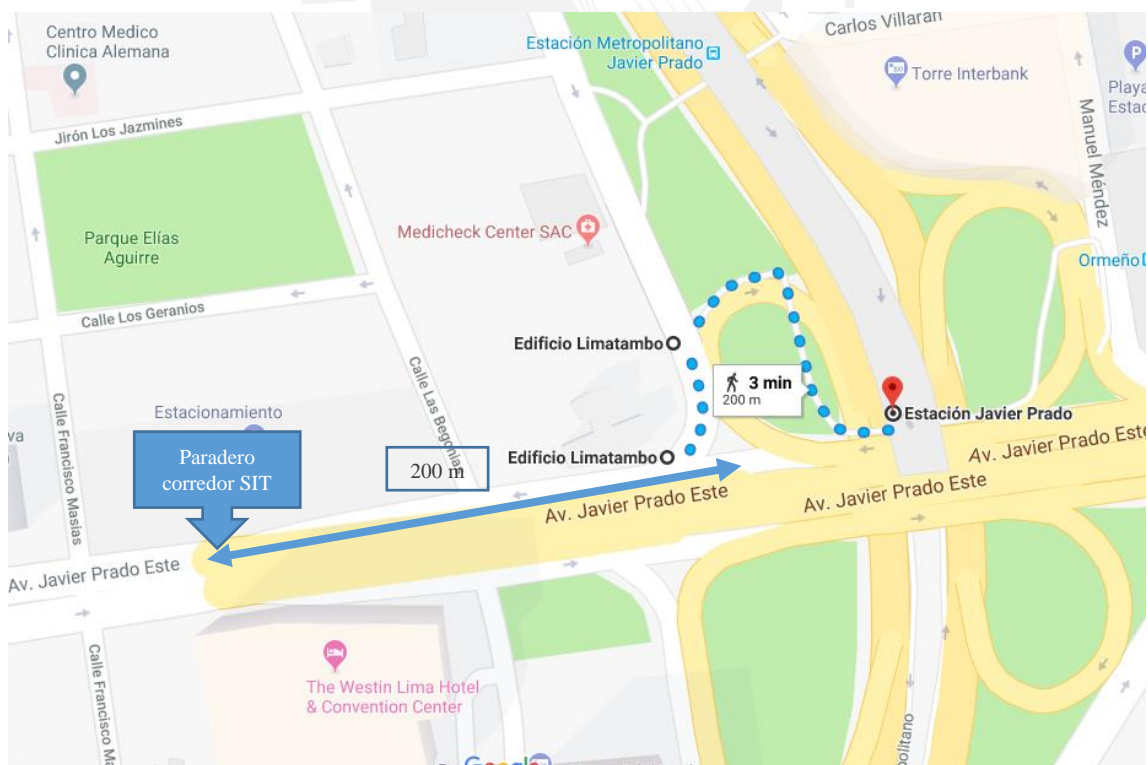


Figura: Recorrido del paradero del corredor SIT a estación Javier Prado N-S (L = 400 m)

ANEXO 6: Estándar BRT

La necesidad de crear definiciones comunes y reconocer a los sistemas BRT como un corredor de alta calidad alrededor del mundo (ITDP,2016) ha llevado al ITDP a la creación de una herramienta denominada “BRT STANDARD” el cual reúne dichas características y las agrupa como buenas prácticas a nivel internacional. La finalidad que posee es uniformizar los corredores y mejorar la experiencia del pasajero como incrementar los beneficios. Además, se ha creado una certificación, el cual es un proceso realizado por expertos.

El nivel otorgado depende de los puntos obtenidos por el corredor en estudio en base a siete categorías generales de evaluación: Conceptos básicos de BRT, Planificación del servicio, Infraestructura, Estaciones, Comunicaciones, Acceso e integración y descuentos operacionales. La normativa establece los siguientes cuatro niveles: BRT básico, bronze(55-65.9), silver(70- 84.9) y gold (85 a más) con un puntaje máximo de 100.

Dentro de las categorías de evaluación mencionadas líneas arriba, la que presenta mayor puntaje es la de Fundamentos de BRT (Hasta 38 puntos en total), esto se debe a que este grupo engloba las características esenciales que todo sistema BRT debe contar: Carriles segregados, alineamiento del corredor, pago de tarifas antes de abordar, estudio de intersecciones, nivel de la plataforma de embarque. Por otro lado, dentro de las categorías se han introducido descuentos los cuales penalizan a los sistemas BRT, que presentan marcadas deficiencias.

El estándar de BRT se aplicará a corredores específicos en lugar de a un sistema de BRT en su conjunto. Según el BRT Standard se selecciona “Un tramo de carretera o caminos contiguos servidos por una ruta de autobús o múltiples rutas de autobús con una longitud mínima de 3 kilómetros (1.9 millas) que cuenta con carriles de autobuses segregado”.

Para realizar la evaluación de un sistema BRT se debe realizar una visita de campo en la que se verifiquen cada una de las 7 categorías propuestas por la norma. La visita debe ser realizada en las horas pico de mayor demanda y se deben verificar las tres estaciones más concurridas en el corredor en evaluación. El informe de las puntuaciones otorgadas para cada categoría se certifica con fotos y anotaciones.

Por otro lado, no solo es una herramienta que permite evaluar un corredor, sino que también permite realizar la planificación de uno nuevo a partir de los criterios que se presentan, debido a que en su contenido se definen como deben ser los elementos esenciales, lo cual permite al

diseñador conocer las pautas para un adecuado diseño.

Solo en la categoría de Estaciones y determinados apartados de Conceptos básicos de BRT abarcan los aspectos referentes a la estación. A continuación, se detallan los criterios que comprenden únicamente la evaluación de la estación. Asimismo, se explicarán con el objetivo de utilizarlos como lineamientos para la propuesta de diseño.

Conceptos básicos de BRT

- Pago y verificación antes de abordar el bus

Existen tres categorías, las dos más efectivas son el uso de torniquetes (Barrier- controlled) y el pago en una ventanilla con verificación ocasional por el personal (Proof-of-Payment) a las cuales se les asigna un puntaje de 8 y 7 respectivamente. La menos efectiva es aquella en la que el pago es verificado en las puertas y se le asigna un puntaje de 4.

- Embarque a nivel de la plataforma

Para este criterio consideran la interfaz estación-bus, debido a que permite reducir de forma considerable los tiempos de abordaje y salida de los pasajeros. La distancia entre el bus y la estación se denomina brecha o “gap”. Se tienen dos tipos de brechas una horizontal y otra vertical. La horizontal hace referencia entre la estación y el bus mientras que la vertical diferencia de alturas del piso de la estación y el piso del bus.

Para una brecha vertical de 4 centímetros o menos se otorga un puntaje de 7. Mientras que para estaciones con medidas para reducir la brecha horizontal se les asigna un puntaje de 6.

Estaciones

- Estaciones cómodas y seguras

Para garantizar que una estación sea adecuada debe cumplir con cuatro características las cuales son ancho correcto (wide), protección contra el clima (weather protection), seguridad (safe) y atractivo (attractive). El ancho deber ser tal que permita la fácil movilización de los pasajeros a través de la estación sin que este perciba que se encuentra sobrepoblada. Protección contra lluvia, nieve, calor y frio acorde a la ubicación. Seguridad mediante personal que se encargue de brindar este servicio y cámaras de vigilancia. Atractivo, es decir, que transmita la imagen propia del sistema BRT.

Si se cumple con las cuatro características se le asigna un puntaje de 3, si cumple con tres de ellas se le asigna un puntaje de 2, si cumple con dos de ellas se le asigna un puntaje de 1, si

solo cumple con una de ellas no se le asigna puntaje.

- Número de puertas en el bus

Las estaciones deben tener por lo menos tres puertas (3) en el caso de buses articulados y dos (2) en el caso de buses no articulados. Además, el sistema debe permitir abordar por todas las puertas. Si se cumple se le asigna 3 puntos.

- Sub paradas

La presencia de varias sub paradas en la estación permite ahorrar tiempo a los usuarios y brindar múltiples servicios (troncal, expresos, etc) debido a que se cuenta con espacios suficientes para que puedan parar y partir los buses sin generar congestión.

Para estaciones de alta demanda se considera que deben tener por lo menos dos sub paradas y se asigna un puntaje de 1, si es menor a dos se asigna 0.

- Puertas deslizantes en las estaciones de BRT

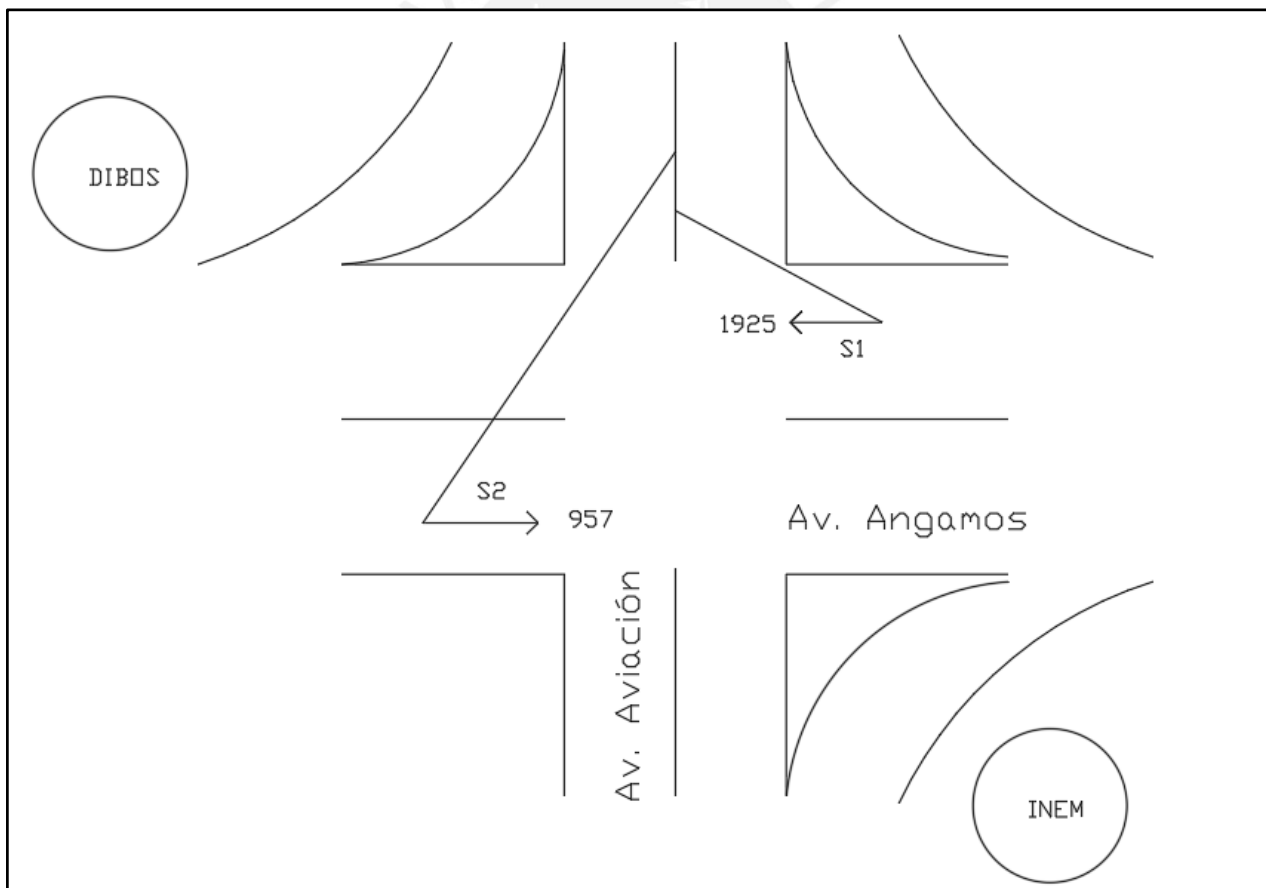
La presencia de puertas deslizantes permite reducir la probabilidad de accidentes y proteger a los pasajeros de cruzar a zonas prohibidas de la plataforma. Si se cumple que todas las puertas sean deslizantes se asigna un puntaje de 1 sino se cumple se asigna 0.

ANEXO 7: Conteos de flujos peatonales y vehiculares

Conteo Peatonal

Conteo de los usuarios que salen del tren (S1 y S2) y se dirigen a los paraderos de transporte público que recorre la Av. Angamos. Así mismo, se incluye los pasajeros que salen de los buses de transporte público y se dirigen a la estación del tren.

| Periodo | Dirección | | |
|---------------|-----------|-----|----------------|
| | S1 | S2 | Ingreso a tren |
| 08:00 - 08:15 | 613 | 223 | 232 |
| 08:15 - 08:30 | 494 | 249 | 202 |
| 08:30 - 08:45 | 446 | 223 | 179 |
| 08:45 - 09:00 | 372 | 262 | 125 |
| Total | 1925 | 957 | 738 |



Conteo Vehicular

El conteo vehicular se realiza en la hora pico representativa de los días de medición en campo (17/01/2019 y 24/01/19). Ambas mediciones se realizaron a las 8:00 am.

Datos de calibración (17/01/2019)

Av. Angamos

Oeste -Este

| De frente | | | Izquierda | | | Derecha | | |
|-------------|--------------|----------|------------|--------------|----------|------------|--------------|----------|
| Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones |
| 126 | 1003 | 40 | 44 | 116 | 8 | 20 | 182 | 5 |
| 1169 | | | 168 | | | 207 | | |

Este - Oeste

| De frente | | | Izquierda | | | Derecha | | | Auxiliar |
|-------------|--------------|----------|-----------|--------------|----------|----------|--------------|----------|--------------|
| Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones | Particulares |
| 108 | 1059 | 47 | 0 | 91 | 3 | 0 | 5 | 1 | 406 |
| 1214 | | | 94 | | | 6 | | | 406 |

Av. Aviación

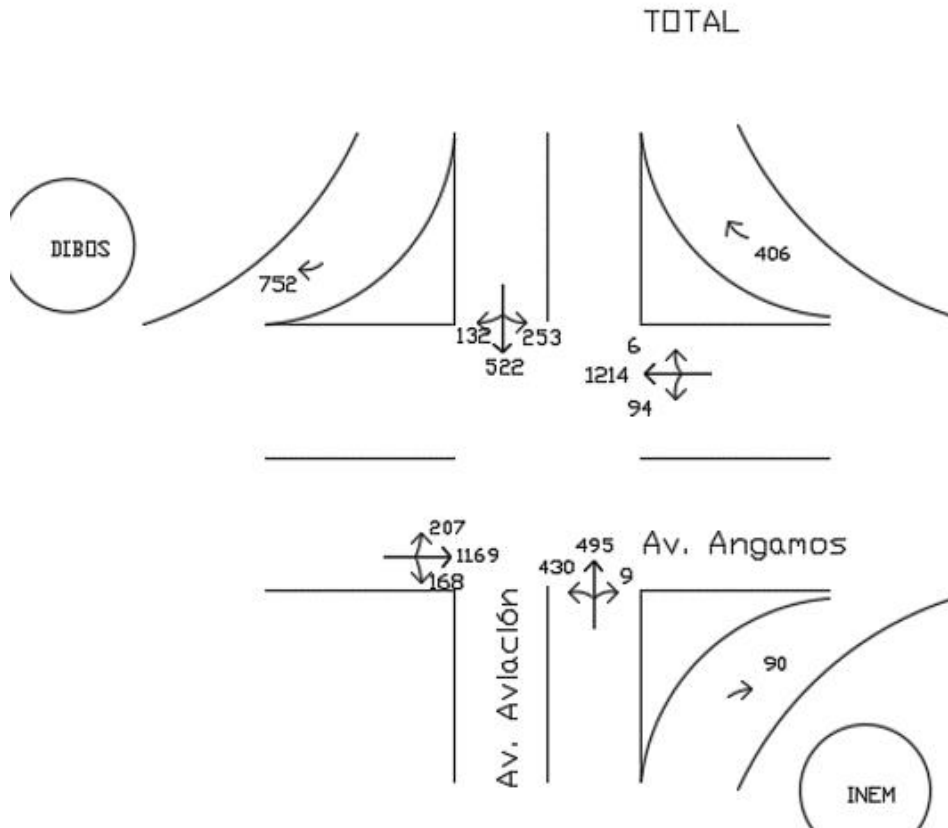
Sur - Norte

| De frente | | | Derecha | | | Izquierda | | | Auxiliar INEM | | |
|------------|--------------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|----------|---------------|--------------|----------|
| Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones |
| 53 | 427 | 15 | 0 | 9 | 0 | 46 | 370 | 14 | 0 | 90 | 0 |
| 495 | | | 9 | | | 430 | | | 90 | | |

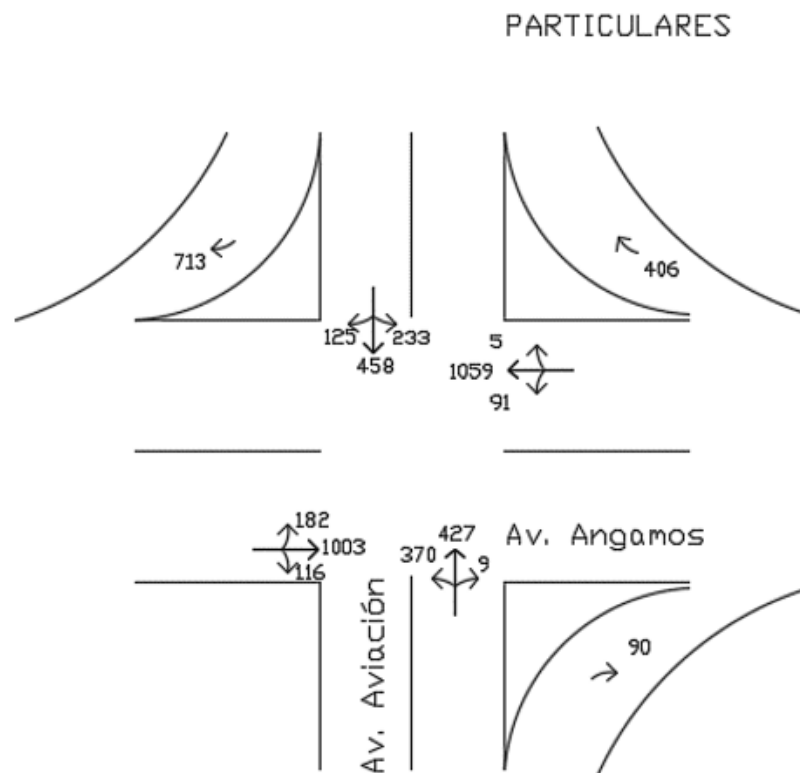
Norte - Sur

| De frente | | | Derecha | | | Izquierda | | | Auxiliar C. Dibos | | |
|------------|--------------|----------|------------|--------------|----------|------------|--------------|----------|-------------------|--------------|----------|
| Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones |
| 51 | 458 | 13 | 2 | 125 | 5 | 13 | 233 | 7 | 17 | 713 | 22 |
| 522 | | | 132 | | | 253 | | | 752 | | |

Esquema de flujo de **todos los vehículos** que transitan la Av. Angamos y Aviación

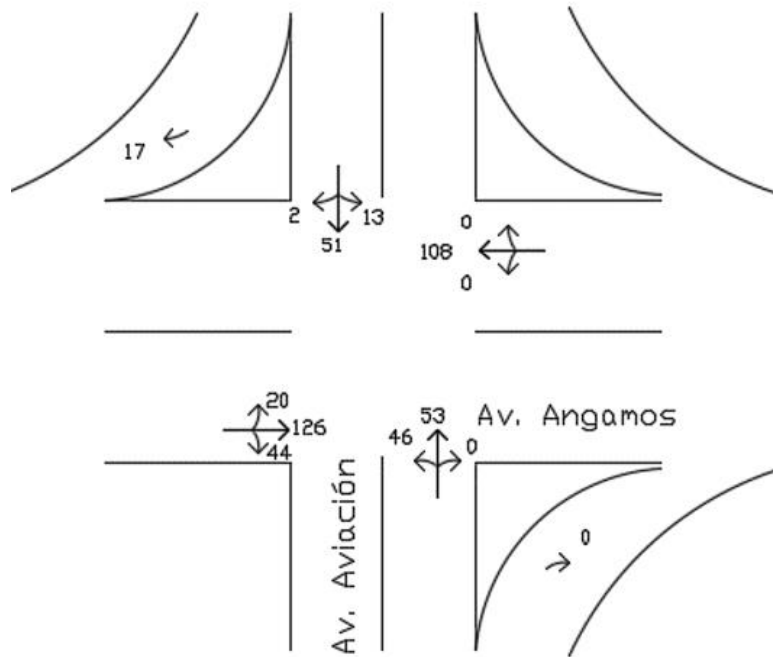


Esquema de flujo de **vehículos particulares** que transitan la Av. Angamos y Aviación



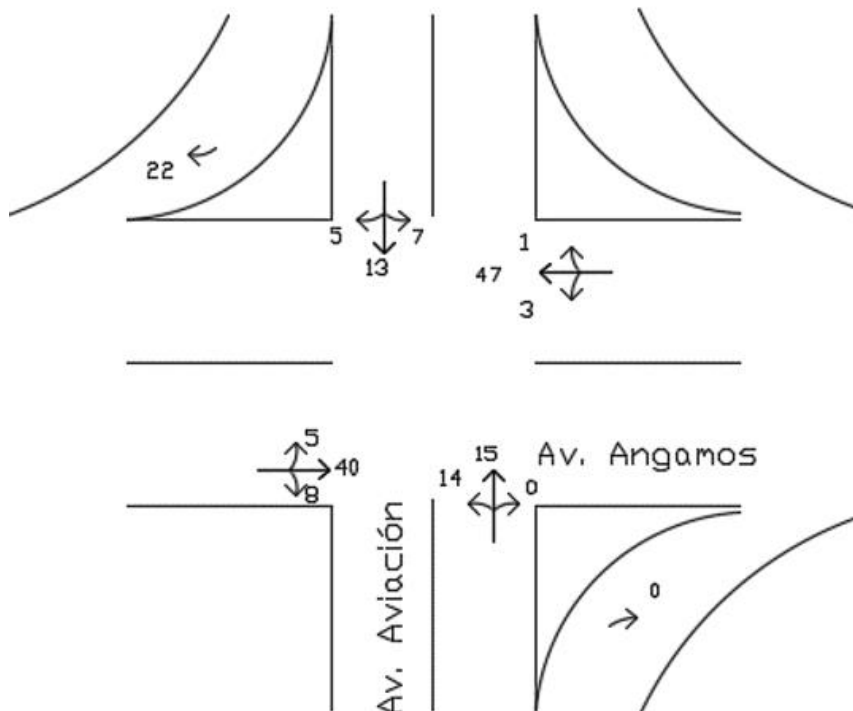
Esquema de flujo de vehículos de **transporte público** que transitan la Av. Angamos y Aviación

TRANSPORTE PÚBLICO



Esquema de flujo de **camiones** que transitan la Av. Angamos y Aviación

CAMIONES



Datos de validación (24/01/2019)**Av. Angamos****Oeste -Este**

| De frente | | | Izquierda | | | Derecha | | |
|-------------|--------------|----------|------------|--------------|----------|------------|--------------|----------|
| Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones |
| 131 | 1078 | 42 | 42 | 122 | 8 | 22 | 188 | 5 |
| 1251 | | | 172 | | | 215 | | |

Este - Oeste

| De frente | | | Izquierda | | | Derecha | | | Auxiliar |
|-------------|--------------|----------|-----------|--------------|----------|----------|--------------|----------|--------------|
| Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones | Particulares |
| 121 | 1151 | 50 | 0 | 89 | 3 | 0 | 5 | 0 | 441 |
| 1322 | | | 92 | | | 5 | | | 441 |

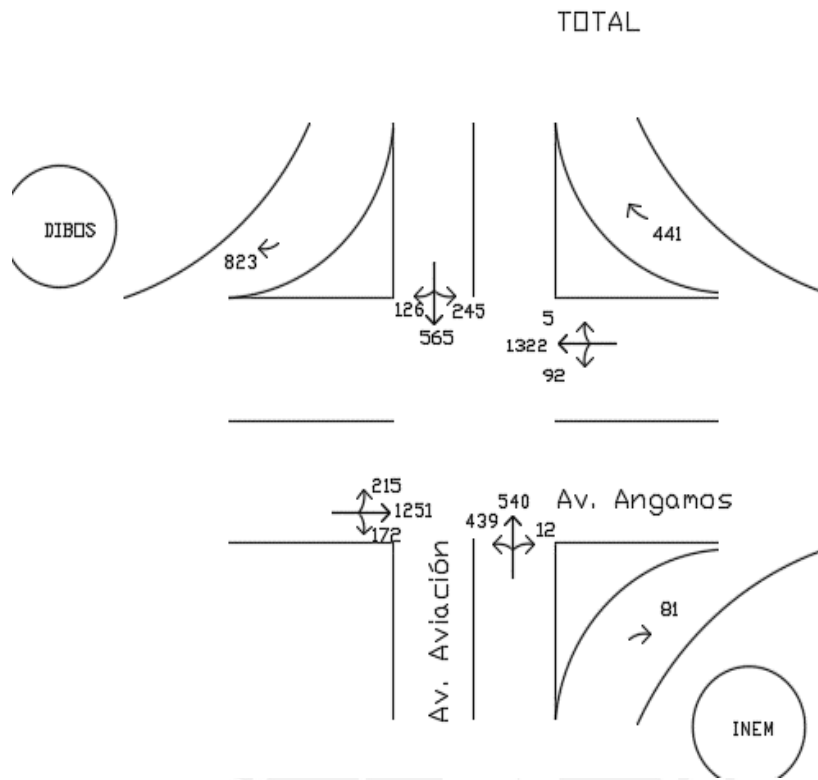
Av. Aviación**Sur - Norte**

| De frente | | | Derecha | | | Izquierda | | | Auxiliar INEM | | |
|------------|--------------|----------|-----------|--------------|----------|------------|---------------|----------|---------------|---------------|----------|
| Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares. | Camiones | Buses | Particulares. | Camiones |
| 60 | 464 | 16 | 0 | 12 | 0 | 48 | 378 | 13 | 0 | 78 | 3 |
| 540 | | | 12 | | | 439 | | | 81 | | |

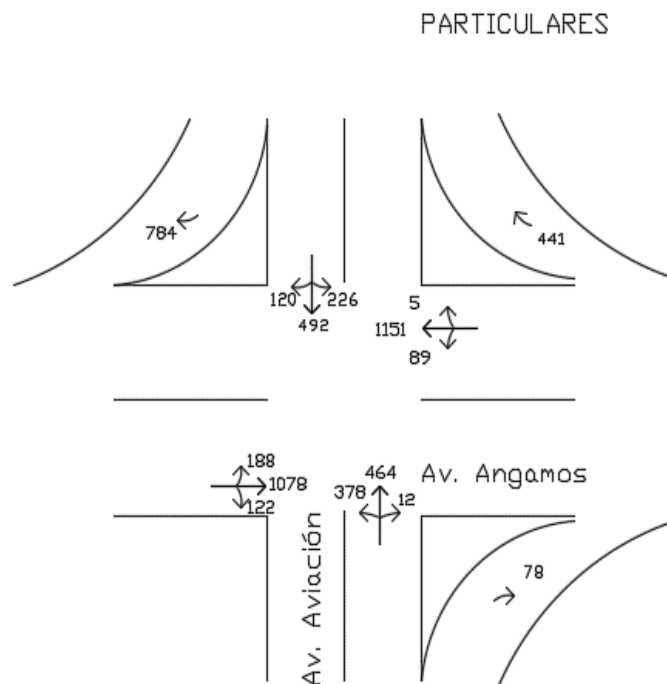
Norte - Sur

| De frente | | | Derecha | | | Izquierda | | | Auxiliar C. Dibos | | |
|------------|---------------|----------|------------|--------------|----------|------------|--------------|----------|-------------------|--------------|----------|
| Buses | Particulares. | Camiones | Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones | Buses | Particulares | Camiones |
| 57 | 492 | 16 | 2 | 120 | 4 | 12 | 226 | 7 | 16 | 784 | 23 |
| 565 | | | 126 | | | 245 | | | 823 | | |

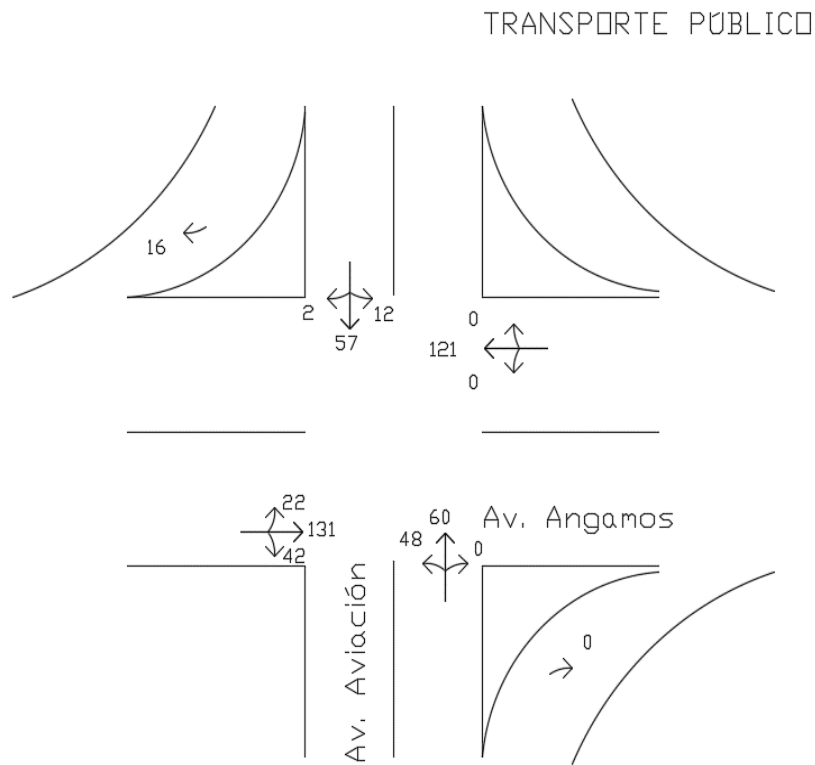
Esquema de flujo de **todos los vehículos** que transitan la Av. Angamos y Aviación



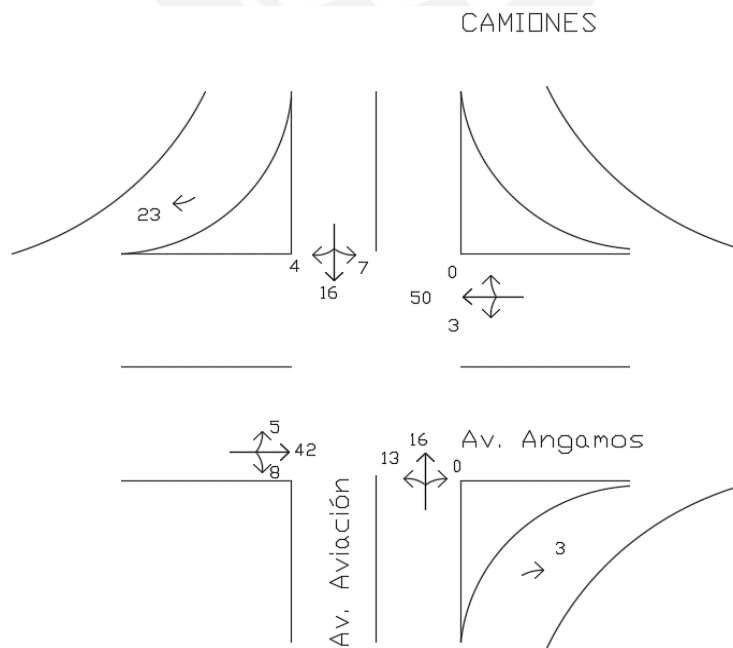
Esquema de flujo de **vehículos particulares** que transitan la Av. Angamos y Aviación



Esquema de flujo de vehículos de **transporte público** que transitan la Av. Angamos y Aviación



Esquema de flujo de **camiones** que transitan la Av. Angamos y Aviación



ANEXO 8: Resultados de las mediciones de campo y de la modelación en VISSIM

Mediciones en campo

La toma de datos en campo se realizó los días 17/01/2019 y 24/01/19 (ambos de 8:00 am a 9:00 am). Estas comprendieron la recolección de tiempos de viaje en un tramo seleccionado de 66 m en la Av. Angamos como se puede apreciar en la siguiente imagen:



Tramo en el que se midió el tiempo de viaje

En las siguientes tablas se detalla las mediciones realizadas tanto para la calibración y la validación. Adicionalmente, se obtiene los resultados estadísticos de las muestras.

Valores de calibración medidos en campo 17 de enero 2019

| Nro. medición | Tiempo (s) | Nro. medición | Tiempo (s) | Nro. medición | Tiempo (s) | | |
|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|--------------|--------|
| 1 | 4.74 | 11 | 6.43 | 21 | 5.71 | Media | 5.20 |
| 2 | 5.65 | 12 | 4.61 | 22 | 4.21 | SD | 0.67 |
| 3 | 5.26 | 13 | 6.10 | 23 | 5.21 | N | 30 |
| 4 | 5.36 | 14 | 4.79 | 24 | 4.68 | t | 2.0452 |
| 5 | 5.72 | 15 | 4.76 | 25 | 5.31 | Error | 0.52 |
| 6 | 6.51 | 16 | 5.10 | 26 | 4.38 | Nmin | 7.00 |
| 7 | 5.63 | 17 | 4.74 | 27 | 5.02 | | |
| 8 | 6.38 | 18 | 4.24 | 28 | 6.06 | | |
| 9 | 4.63 | 19 | 5.69 | 29 | 4.59 | | |
| 10 | 5.41 | 20 | 4.98 | 30 | 4.22 | | |

Valores de validación medidos en campo 24 de enero 2019

| Nro. medición | Tiempo (s) | Nro. medición | Tiempo (s) | Nro. medición | Tiempo (s) | | |
|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|--------------|--------|
| 1 | 5.14 | 11 | 4.09 | 21 | 4.99 | Media | 5.23 |
| 2 | 5.29 | 12 | 5.40 | 22 | 6.05 | SD | 0.97 |
| 3 | 6.40 | 13 | 5.38 | 23 | 4.99 | N | 30 |
| 4 | 6.31 | 14 | 4.15 | 24 | 6.04 | t | 2.0452 |
| 5 | 4.77 | 15 | 4.26 | 25 | 5.38 | Error | 0.52 |
| 6 | 6.31 | 16 | 3.90 | 26 | 6.07 | Nmin | 14.29 |
| 7 | 4.46 | 17 | 4.13 | 27 | 4.33 | | |
| 8 | 6.89 | 18 | 5.29 | 28 | 5.76 | | |
| 9 | 4.70 | 19 | 6.03 | 29 | 4.94 | | |
| 10 | 5.25 | 20 | 4.77 | 30 | 5.33 | | |

Resultados del modelo Vissim

En las dos tablas siguientes, se muestran los resultados obtenidos del modelamiento en el software VISSIM.

Valores del modelo en VISSIM para flujos de calibración

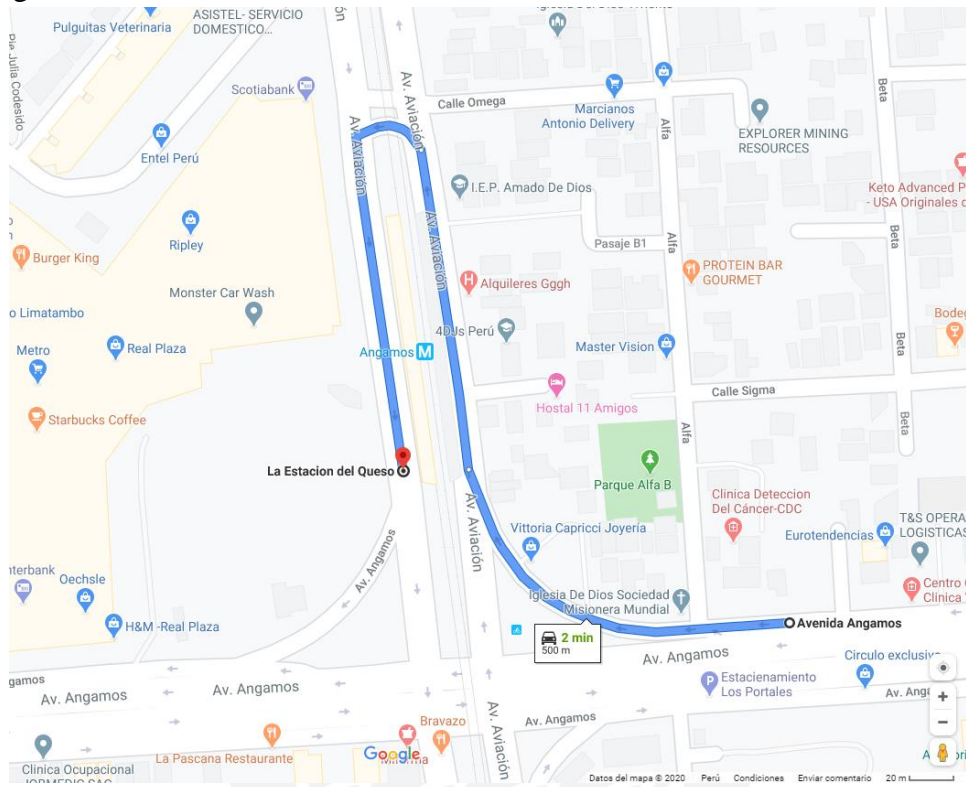
| Nro. medición | Tiempo (s) | Nro. medición | Tiempo (s) | Nro. medición | Tiempo (s) | | |
|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|--------------|--------|
| 1 | 5.23 | 11 | 5.25 | 21 | 5.25 | Media | 5.24 |
| 2 | 5.24 | 12 | 5.30 | 22 | 5.26 | SD | 0.04 |
| 3 | 5.25 | 13 | 5.30 | 23 | 5.24 | N | 30 |
| 4 | 5.21 | 14 | 5.17 | 24 | 5.25 | t | 2.0452 |
| 5 | 5.36 | 15 | 5.28 | 25 | 5.19 | Error | 0.52 |
| 6 | 5.22 | 16 | 5.25 | 26 | 5.23 | Nmin | 0.02 |
| 7 | 5.27 | 17 | 5.17 | 27 | 5.23 | | |
| 8 | 5.22 | 18 | 5.20 | 28 | 5.22 | | |
| 9 | 5.26 | 19 | 5.28 | 29 | 5.23 | | |
| 10 | 5.23 | 20 | 5.27 | 30 | 5.22 | | |

Valores del modelo en VISSIM para flujos de validación

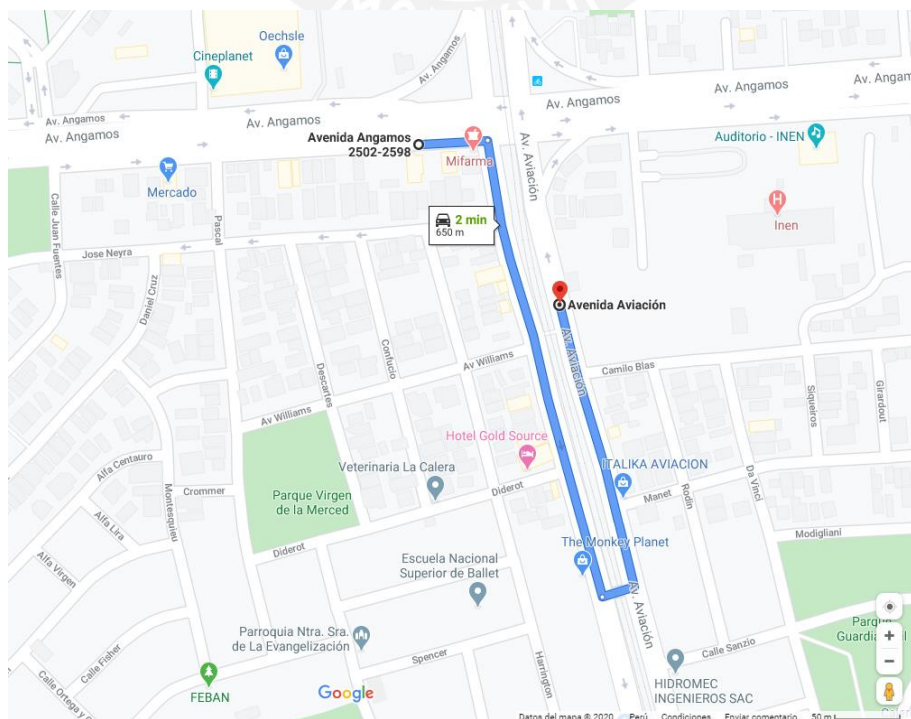
| Nro. medición | Tiempo (s) | Nro. medición | Tiempo (s) | Nro. medición | Tiempo (s) | | |
|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|--------------|--------|
| 1 | 5.28 | 11 | 5.28 | 21 | 5.28 | Media | 5.25 |
| 2 | 5.23 | 12 | 5.24 | 22 | 5.25 | SD | 0.04 |
| 3 | 5.20 | 13 | 5.25 | 23 | 5.26 | N | 30 |
| 4 | 5.27 | 14 | 5.17 | 24 | 5.34 | t | 2.0452 |
| 5 | 5.38 | 15 | 5.28 | 25 | 5.20 | Error | 0.53 |
| 6 | 5.27 | 16 | 5.23 | 26 | 5.26 | Nmin | 0.02 |
| 7 | 5.26 | 17 | 5.26 | 27 | 5.26 | | |
| 8 | 5.19 | 18 | 5.24 | 28 | 5.23 | | |
| 9 | 5.26 | 19 | 5.24 | 29 | 5.26 | | |
| 10 | 5.25 | 20 | 5.22 | 30 | 5.24 | | |

ANEXO 9: Plan de desvío vehicular debido a la prohibición de giros a la izquierda en la Av. Angamos de la intersección de esta con la Av. Aviación

Desvío vehicular para el caso de prohibición de giros a la izquierda en el sentido **este-oeste** de la Av. Angamos:

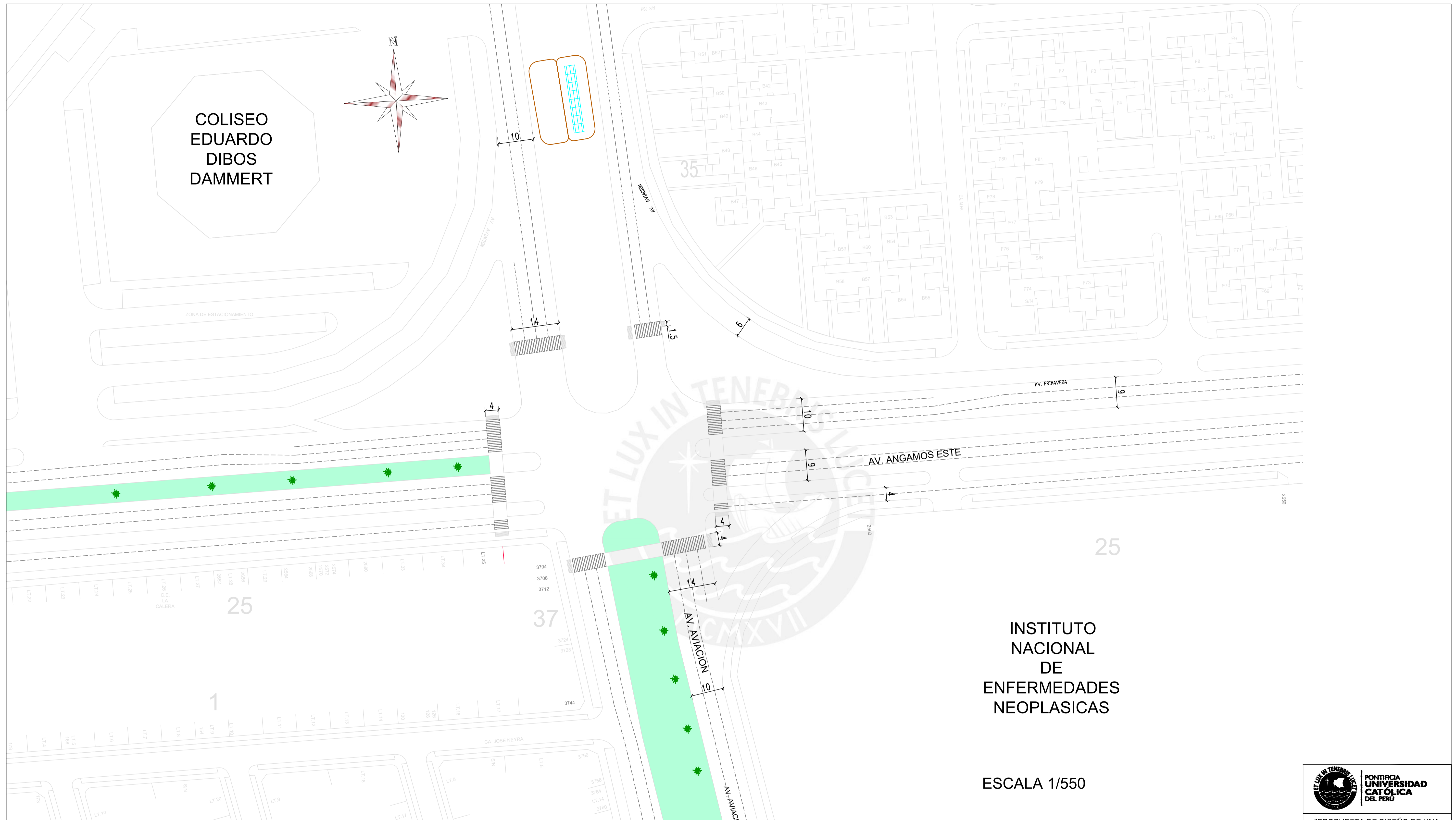


Desvío vehicular para el caso de prohibición de giros a la izquierda en el sentido **oeste-este** de la Av. Angamos:



ANEXO 10: Planos de la Estación BRT - AVIACIÓN

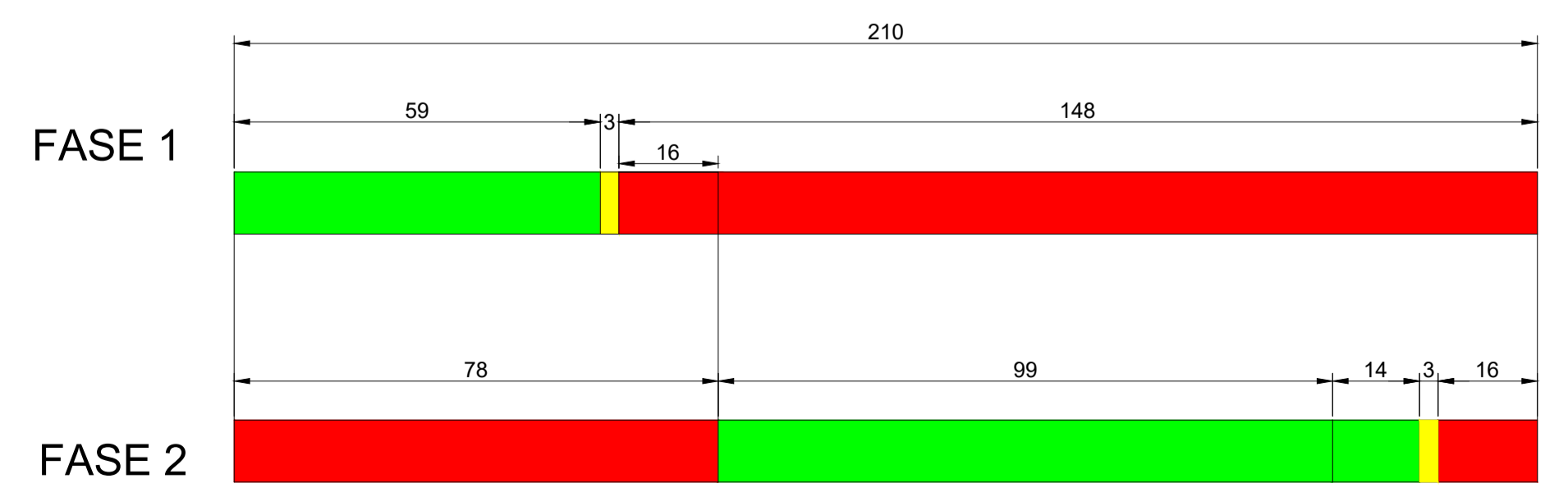




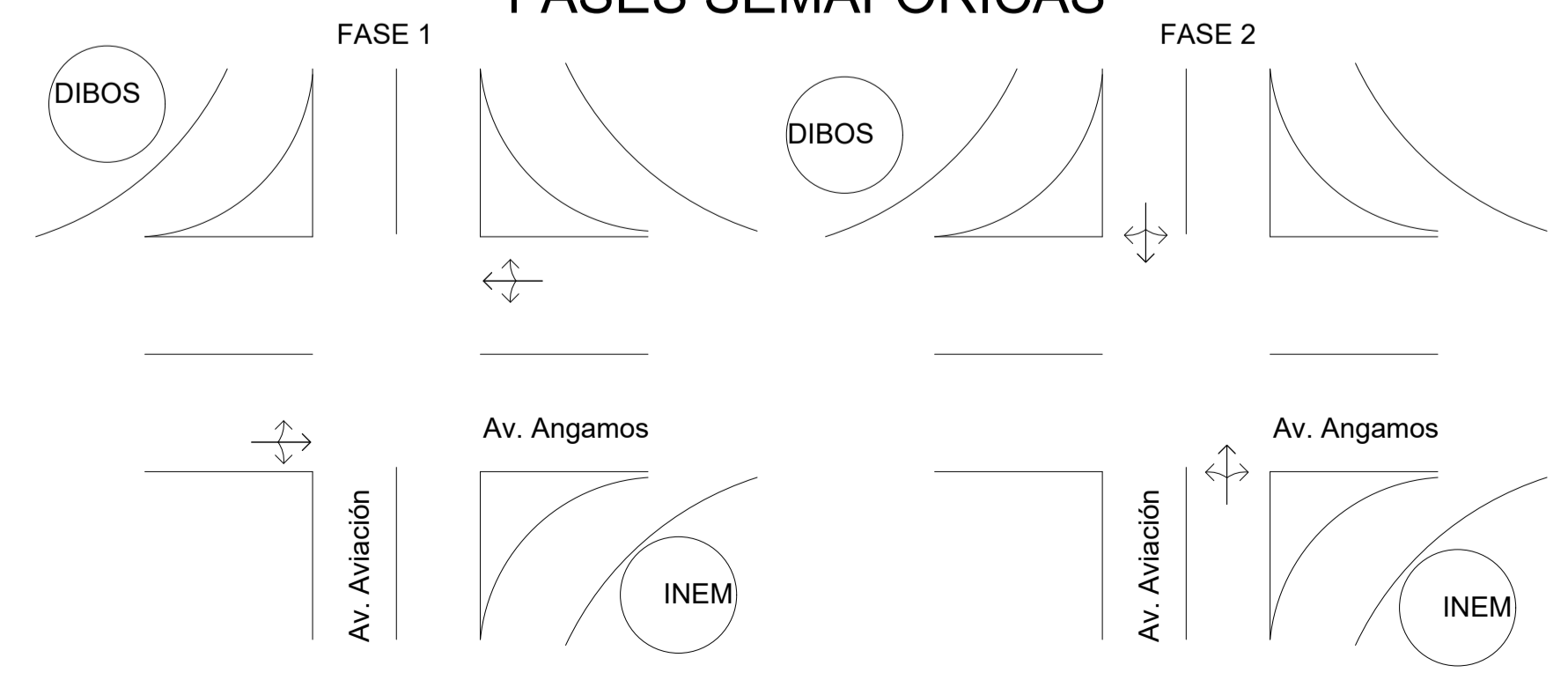
INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES NEOPLÁSICAS

ESCALA 1/550

DIAGRAMA DE FASES SEMAFÓRICAS



FASES SEMAFÓRICAS

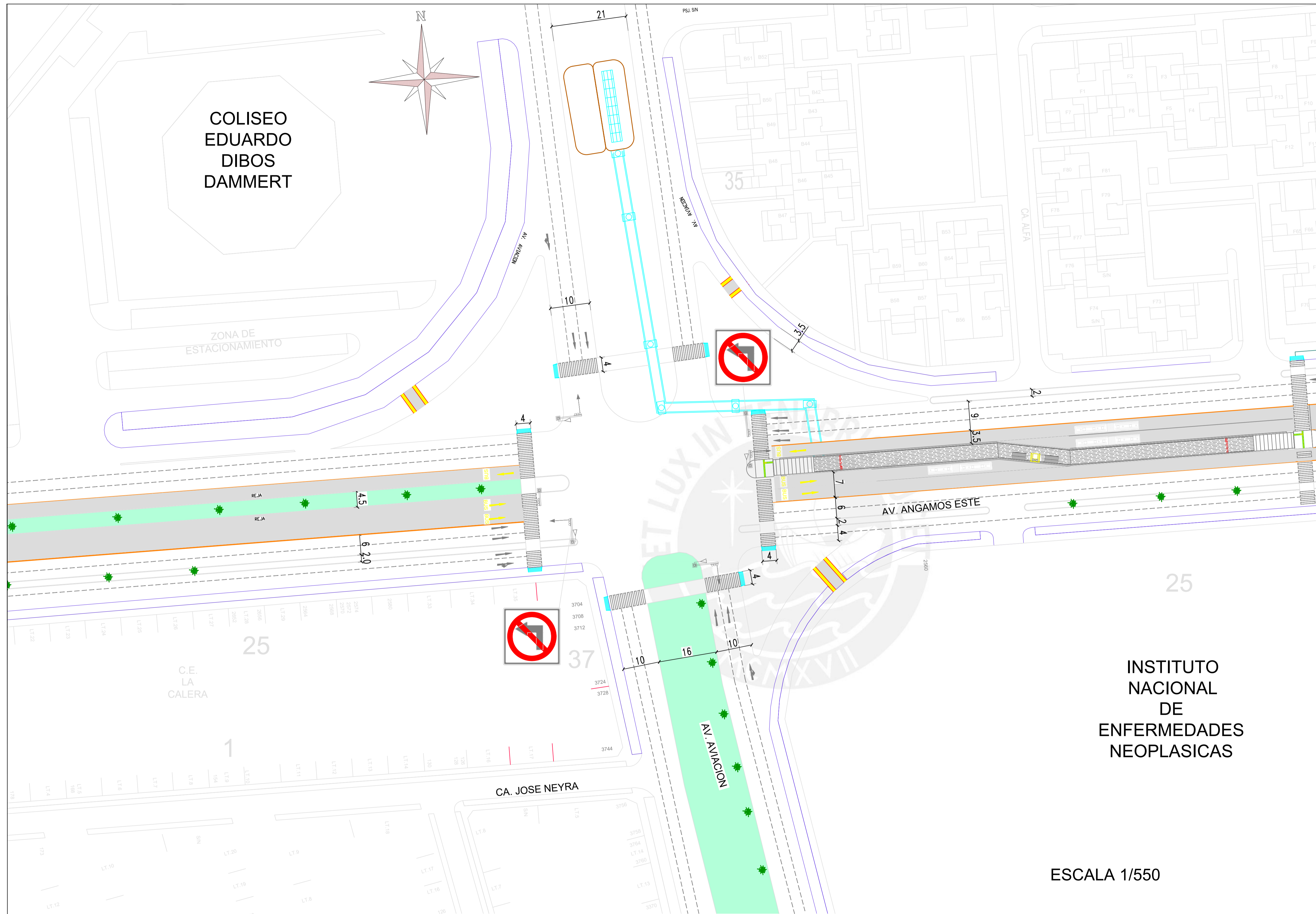


"PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA ESTACIÓN BRT EN LA AV. ANGAMOS (LÍNEA 6) A PARTIR DE LA EXPERIENCIA DEL METROPOLITANO DE LIMA"

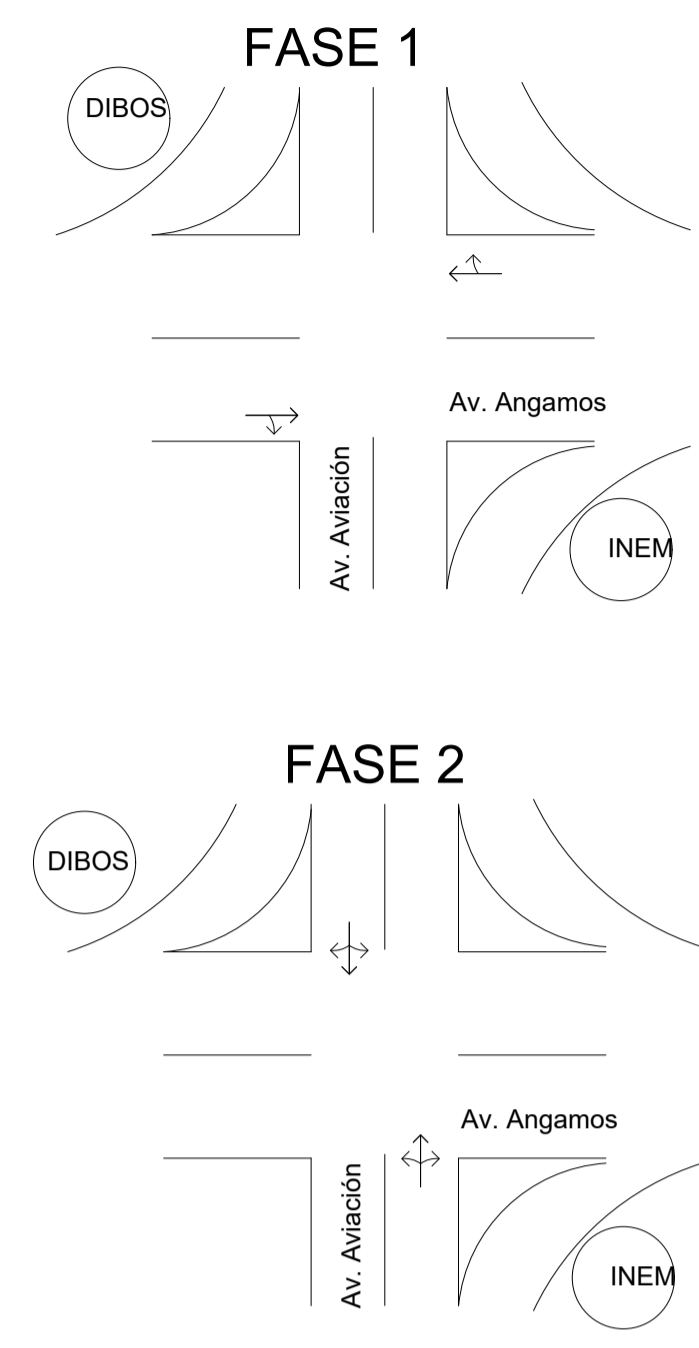
INTEGRANTES:
MANRIQUE ZEGARRA ARTURO LEONARDO
PACHECO TARAZONA ABEL ANDRÉ

PLANO
ESTADO ACTUAL DE LA INTERSECCIÓN DE LA AV. ANGAMOS CON LA AV. AVIACIÓN

| | |
|----------------------|----------------|
| FECHA: 07/02/2020 | LÁMINA E-01 |
| ESCALA: INDICADAS | |



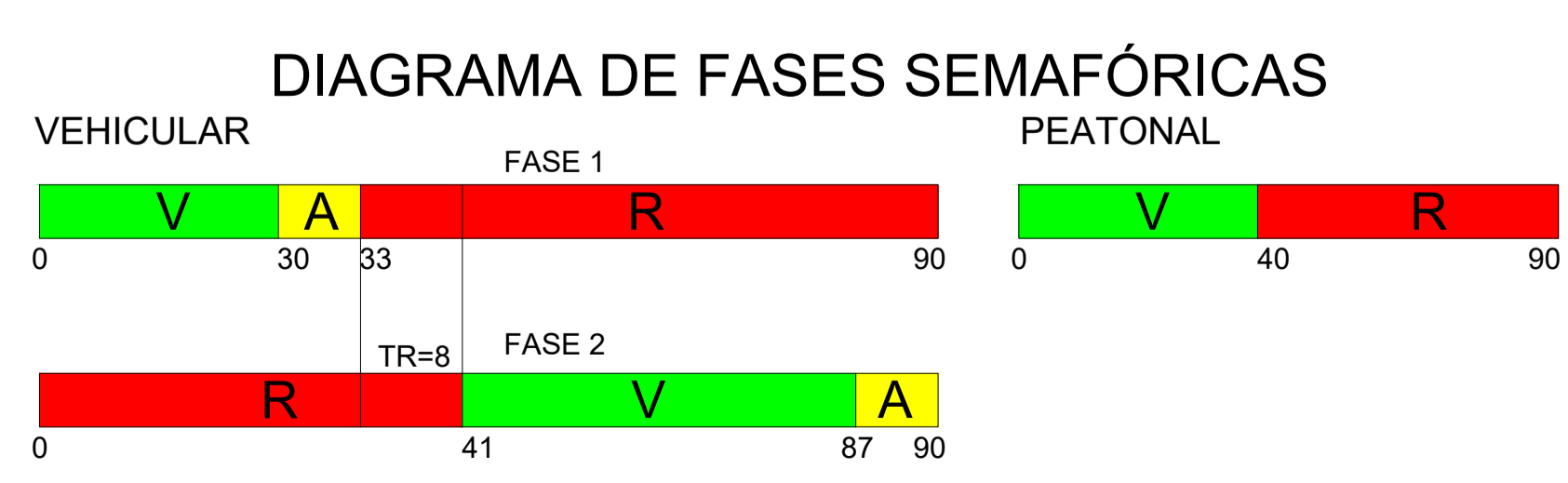
FASES SEMAFÓRICAS



ESCALA 1/550

- OBRAS PROYECTADAS**
- GIRO A LA IZQUIERDA PROHIBIDO CONTROLADA CON VIDEOCÁMARA
 - RAMPAS INCLUSIVAS
 - PUENTE PEATONAL (TREN - ESTACIÓN BRT)
 - SEPARACIÓN DE CARRILES SEGREGADOS

- LEYENDA**
- VEREDA
 - SEMÁFORO PEATONAL
 - SEMÁFORO VEHICULAR
 - PARADERO A DESNIVEL DE TREN
 - ÁREAS VERDES
 - CARRILES SEGREGADOS (SOLO BUS)
 - ESTACIÓN DEL TREN



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

"PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA ESTACIÓN BRT EN LA AV. ANGAMOS (LÍNEA 6) A PARTIR DE LA EXPERIENCIA DEL METROPOLITANO DE LIMA"

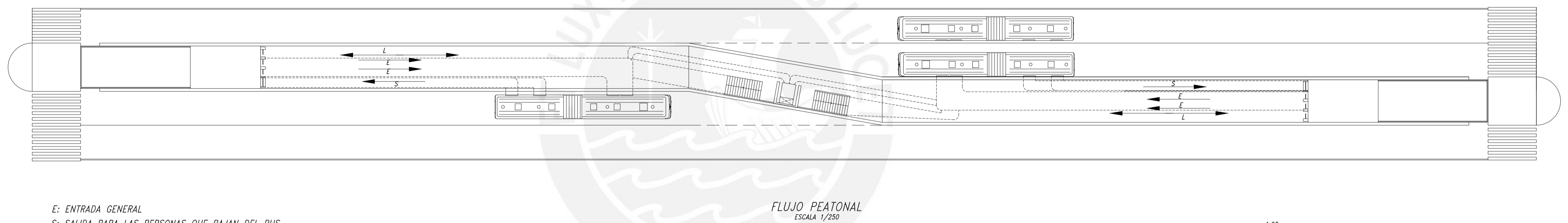
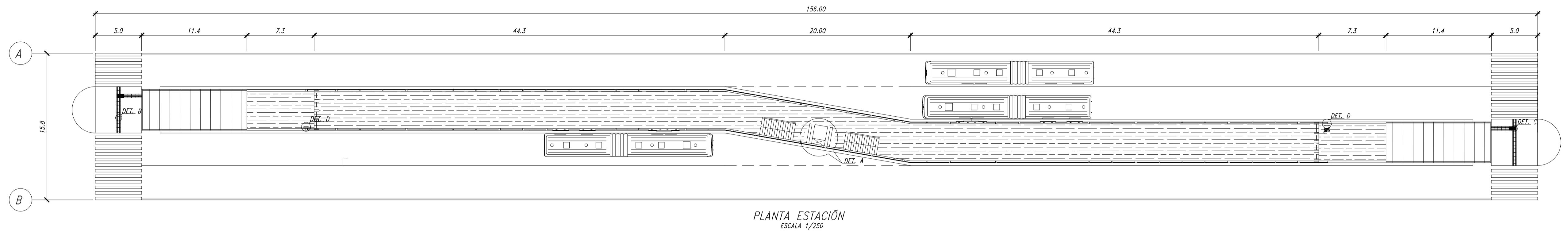
INTEGRANTES:
MANRIQUE ZEGARRA ARTURO LEONARDO
PACHECO TARAZONA ABEL ANDRÉ

PLANO:
REDISEÑO DE LA INTERSECCIÓN DE LA AV. ANGAMOS Y LA AV. AVIACIÓN

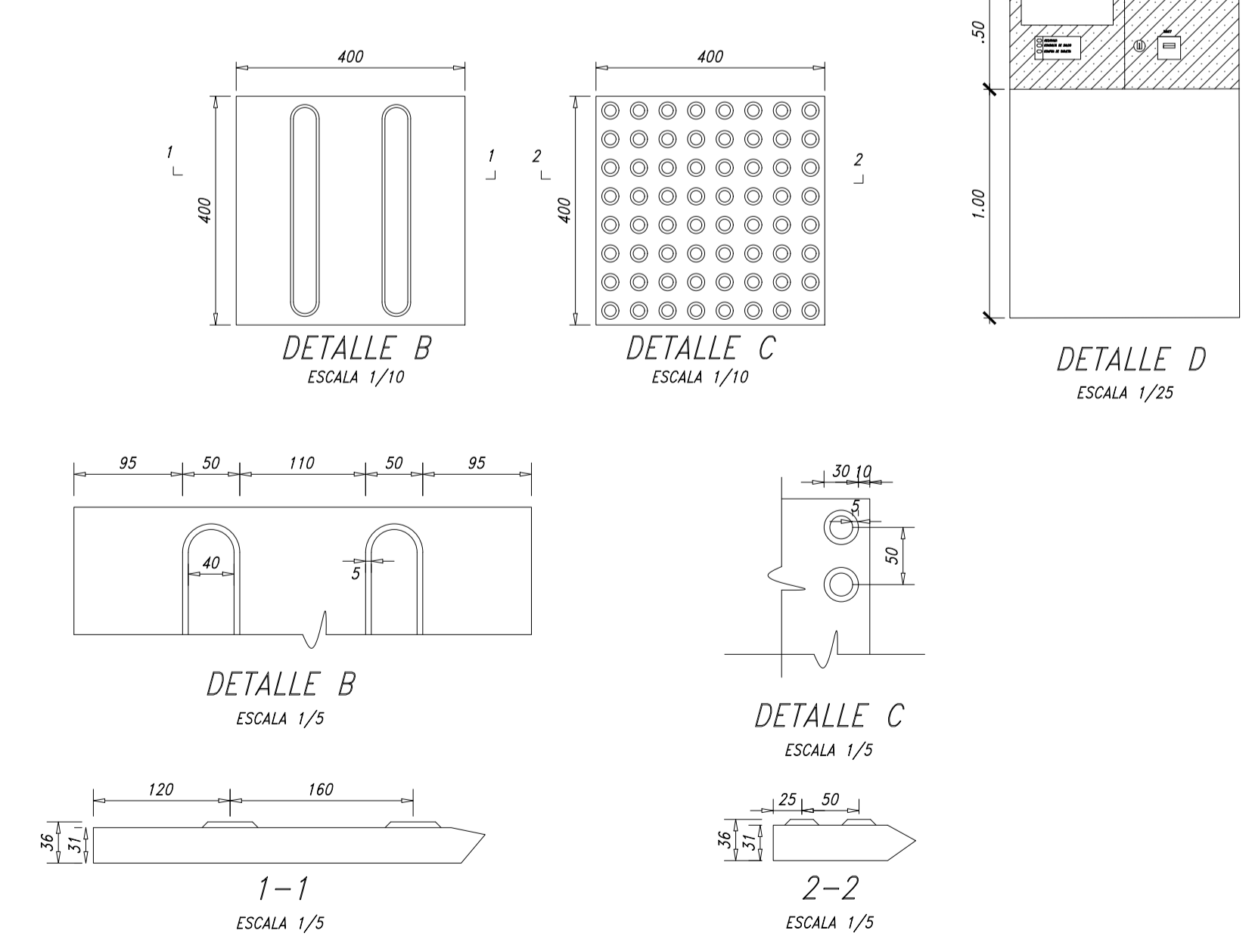
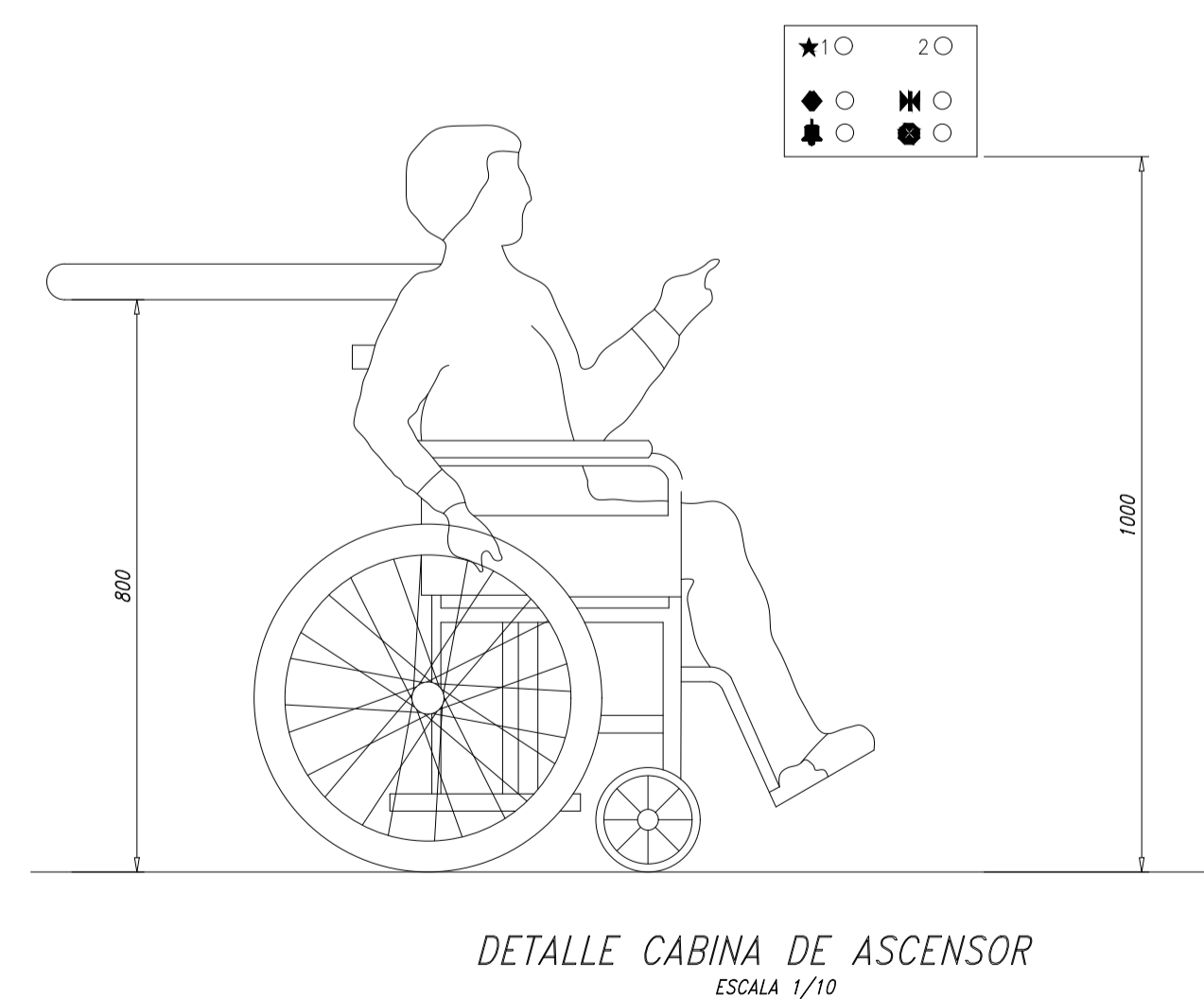
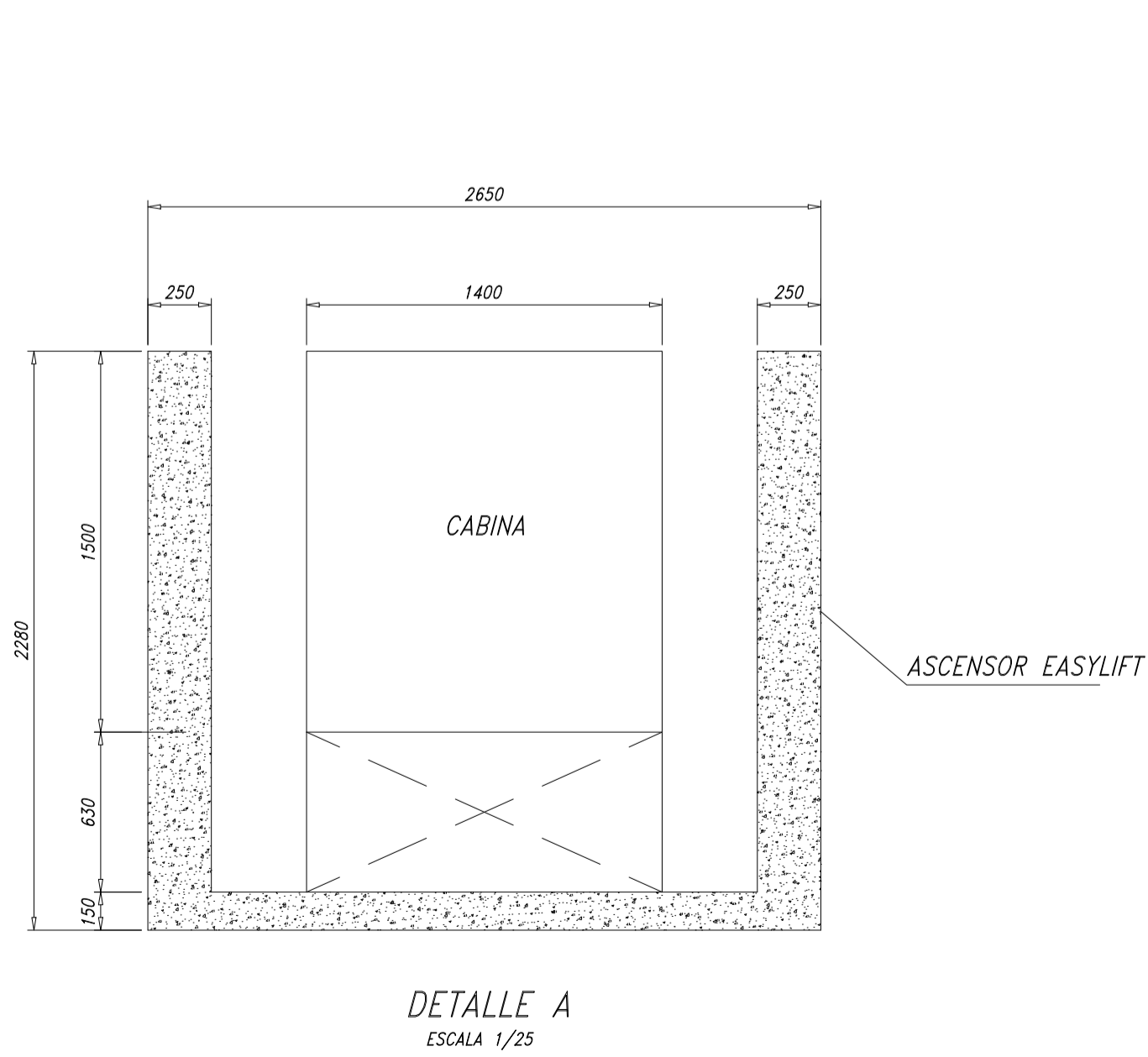
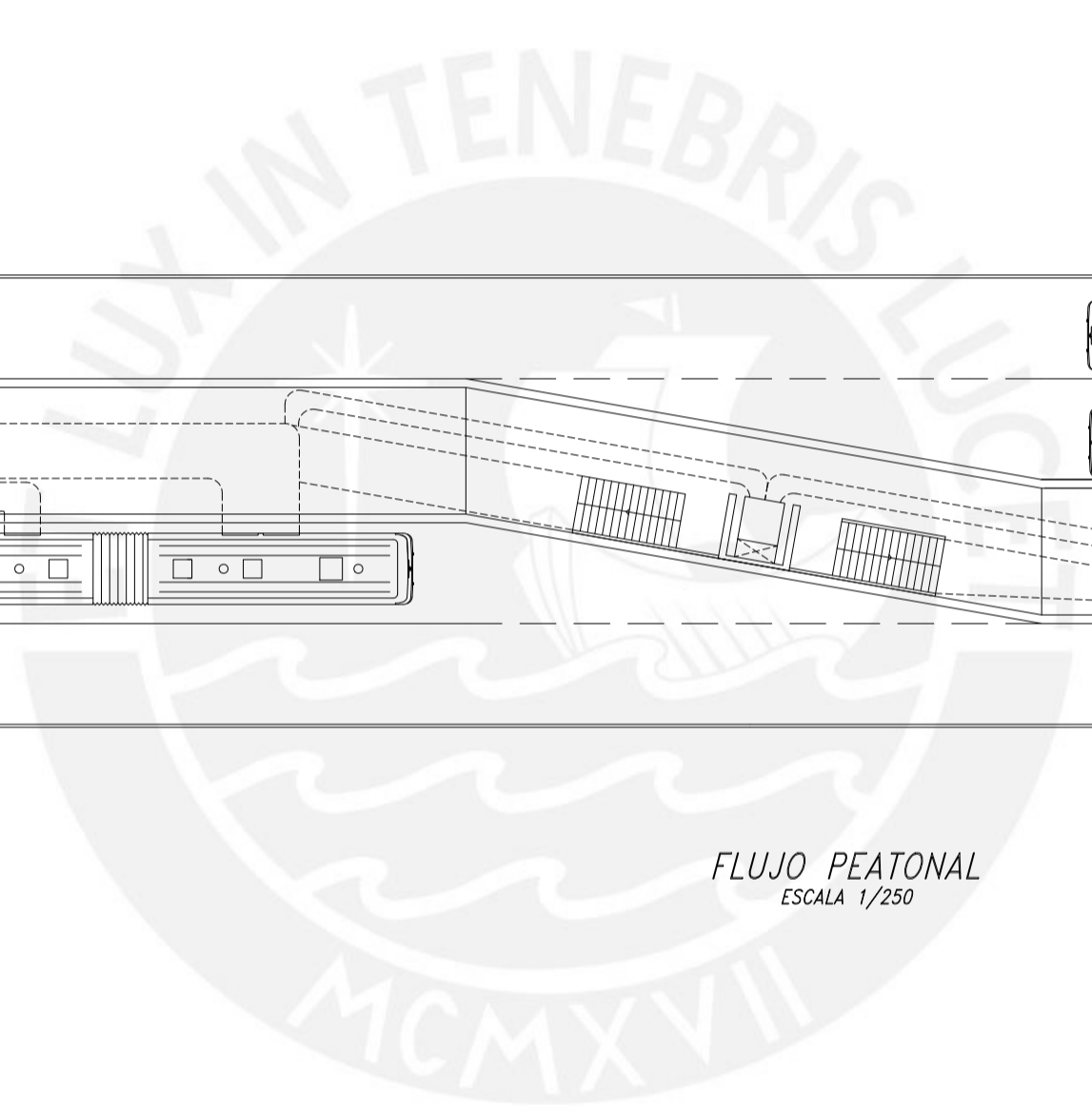
FECHA: 07/02/2020

ESCALA: INDICADAS

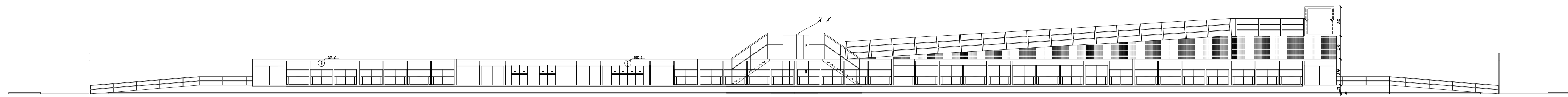
LÁMINA:
E-02



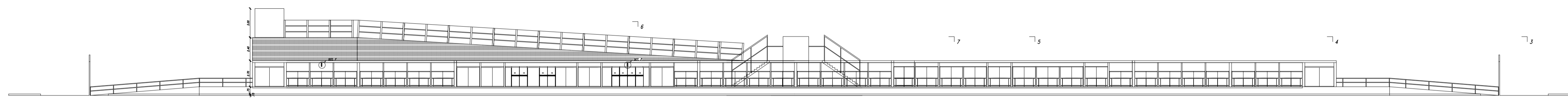
E: ENTRADA GENERAL
S: SALIDA PARA LAS PERSONAS QUE BAJAN DEL BUS
L: ESPACIO PARA LIBRE CIRCULACIÓN



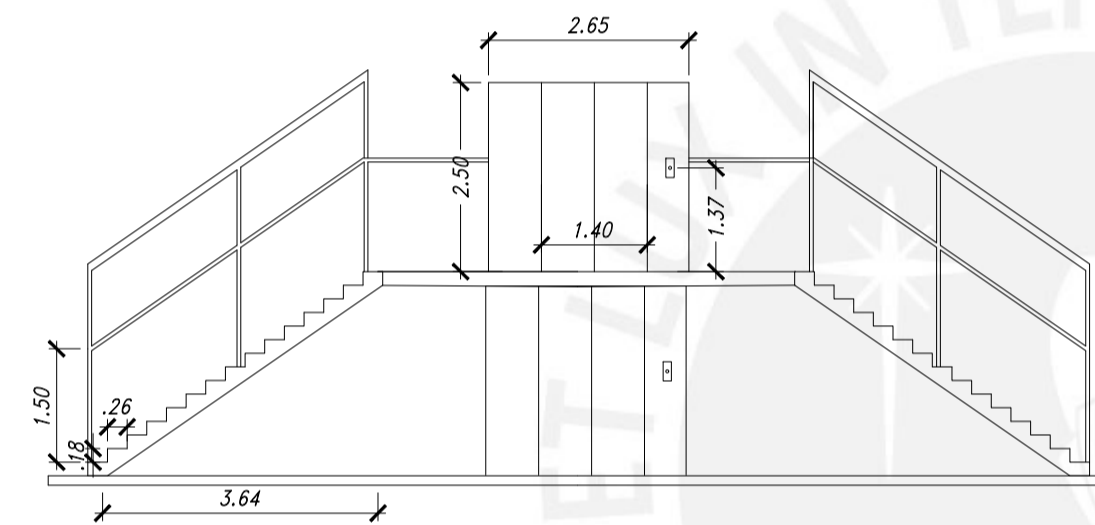
| | |
|---|------------------------|
| | |
| <p>"PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA ESTACIÓN BRT EN LA AV. ANGAMOS (LÍNEA 6) A PARTIR DE LA EXPERIENCIA DEL METROPOLITANO DE LIMA"</p> | |
| <p>INTEGRANTES: MANRIQUE ZEGARRA ARTURO LEONARDO PACHECO TARAZONA ABEL ANDRÉ</p> | |
| <p>PLANO ESTACIÓN BRT AVIACIÓN Y ESQUEMA DE FLUJO PEATONAL</p> | |
| <p>FECHA: 07/02/2020</p> | <p>LÁMINA E-03</p> |
| <p>ESCALA: INDICADAS</p> | |



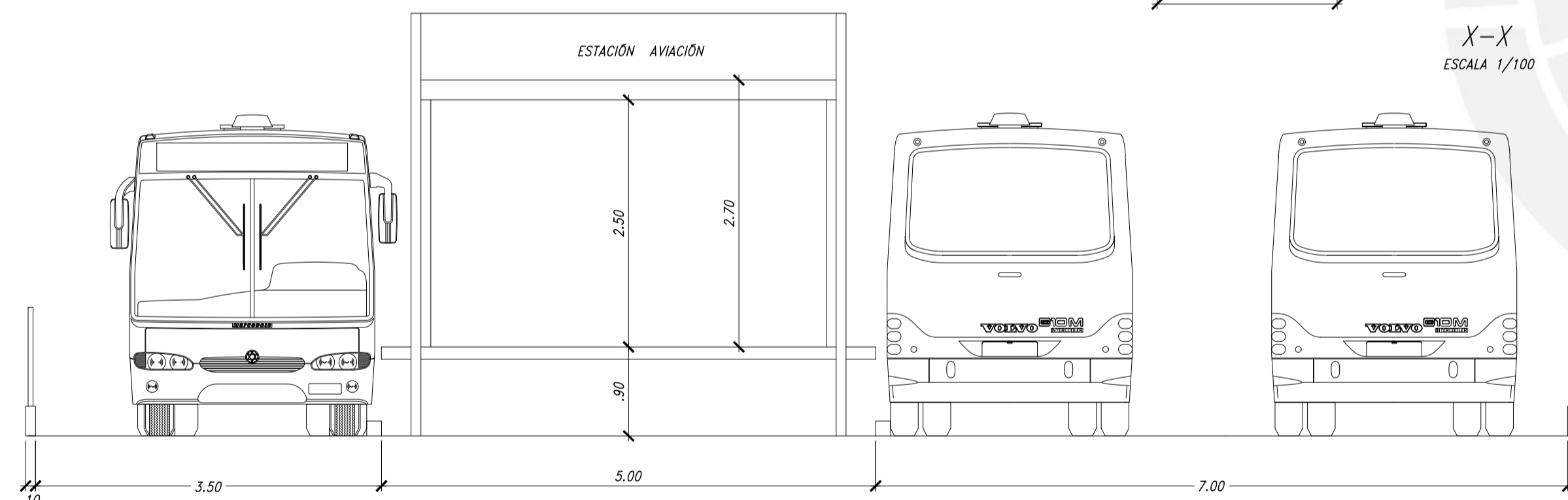
ELEVACIÓN EJE A
ESCALA 1/250



ELEVACIÓN EJE B
ESCALA 1/250



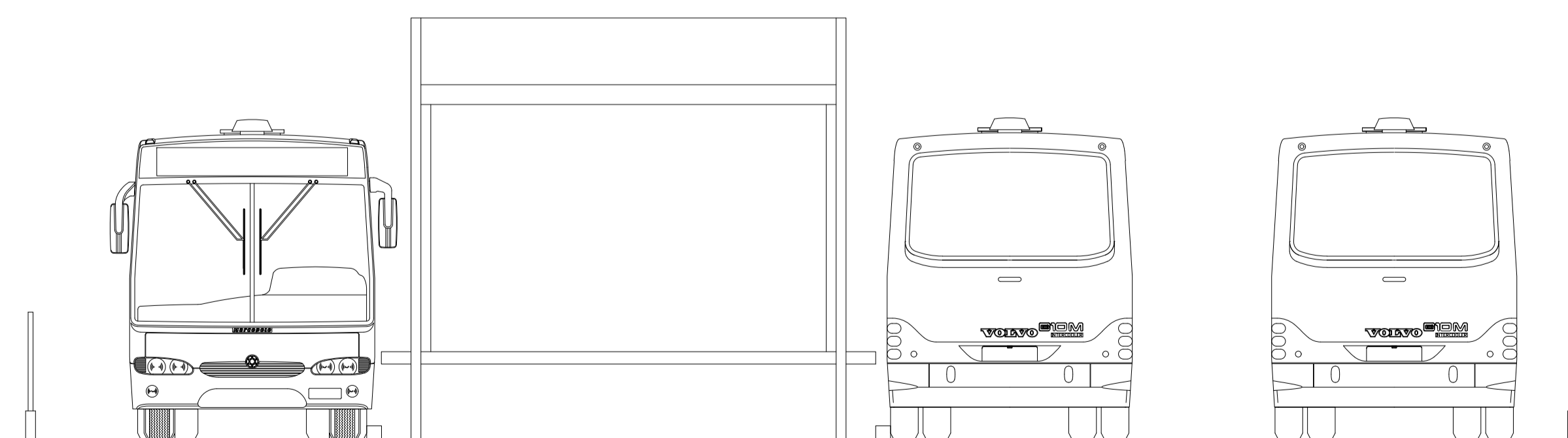
X-X
ESCALA 1/100



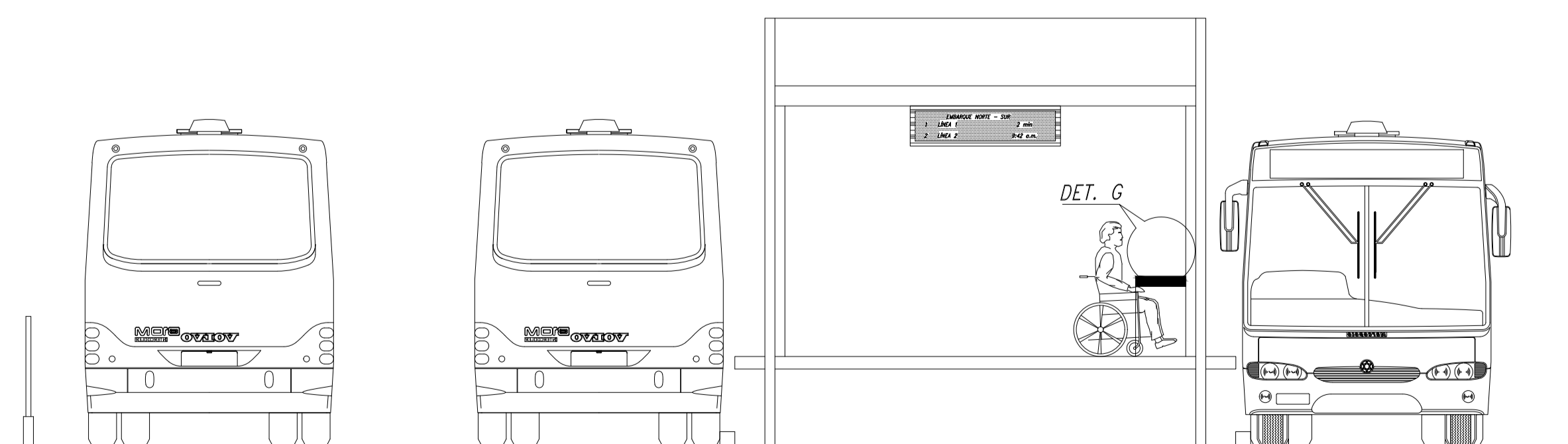
3-3
ESCALA 1/50



4-4
ESCALA 1/50



5-5
ESCALA 1/50



6-6
ESCALA 1/50



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

"PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA
ESTACIÓN BRT EN LA AV. ANGAMOS
(LÍNEA 6) A PARTIR DE LA
EXPERIENCIA DEL METROPOLITANO
DE LIMA"

INTEGRANTES:

MANRIQUE ZEGARRA ARTURO LEONARDO
PACHECO TARAZONA ABEL ANDRÉ

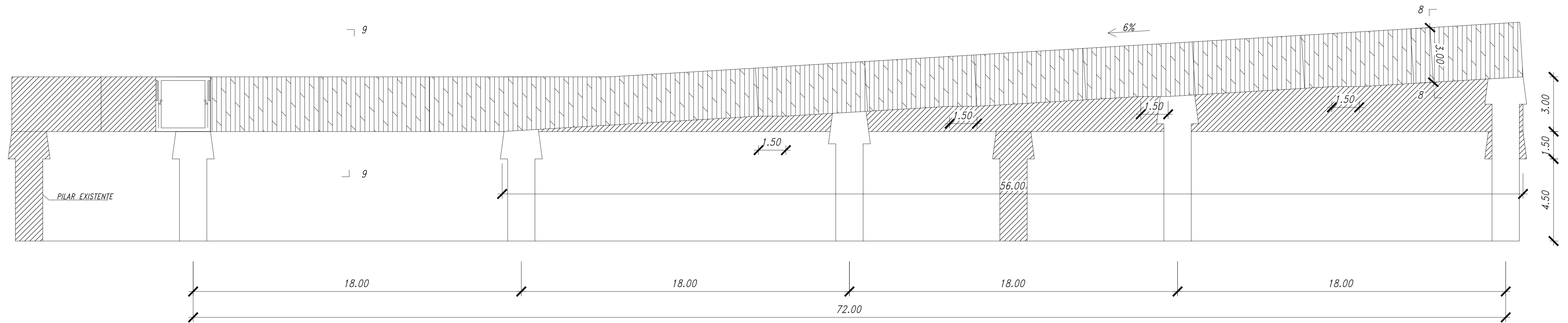
PLANO
ESTACIÓN BRT AVIACIÓN -
ELEVACIONES LATERALES Y
DETALLES

FECHA:
07/02/2020

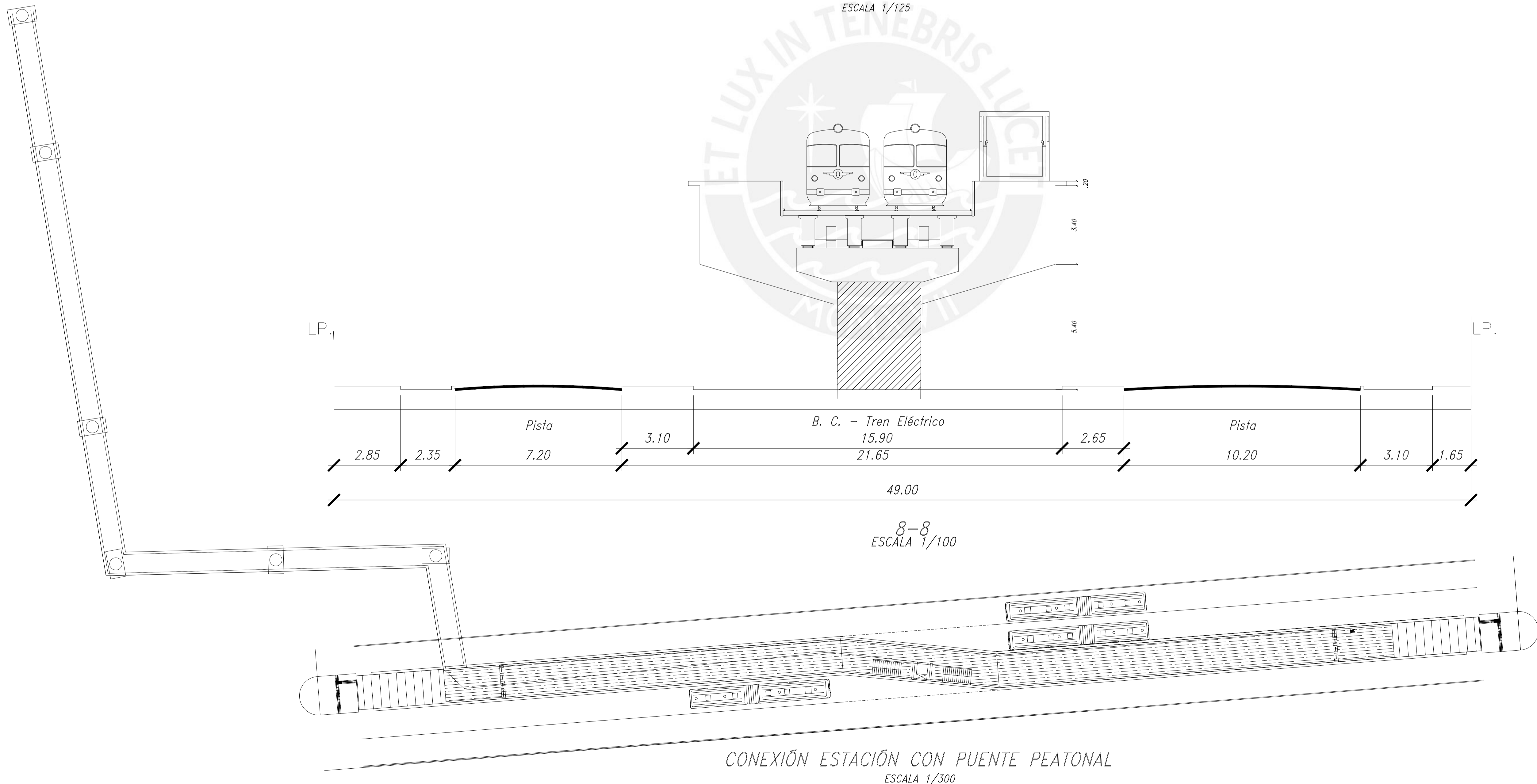
ESCALA:
INDICADAS

LÁMINA

E-04



ELEVACIÓN LATERAL PUNTE PEATONAL Y DUCTO DEL TREN ELECTRICO
 ESCALA 1/125



CONEXIÓN ESTACIÓN CON PUNTE PEATONAL
 ESCALA 1/300

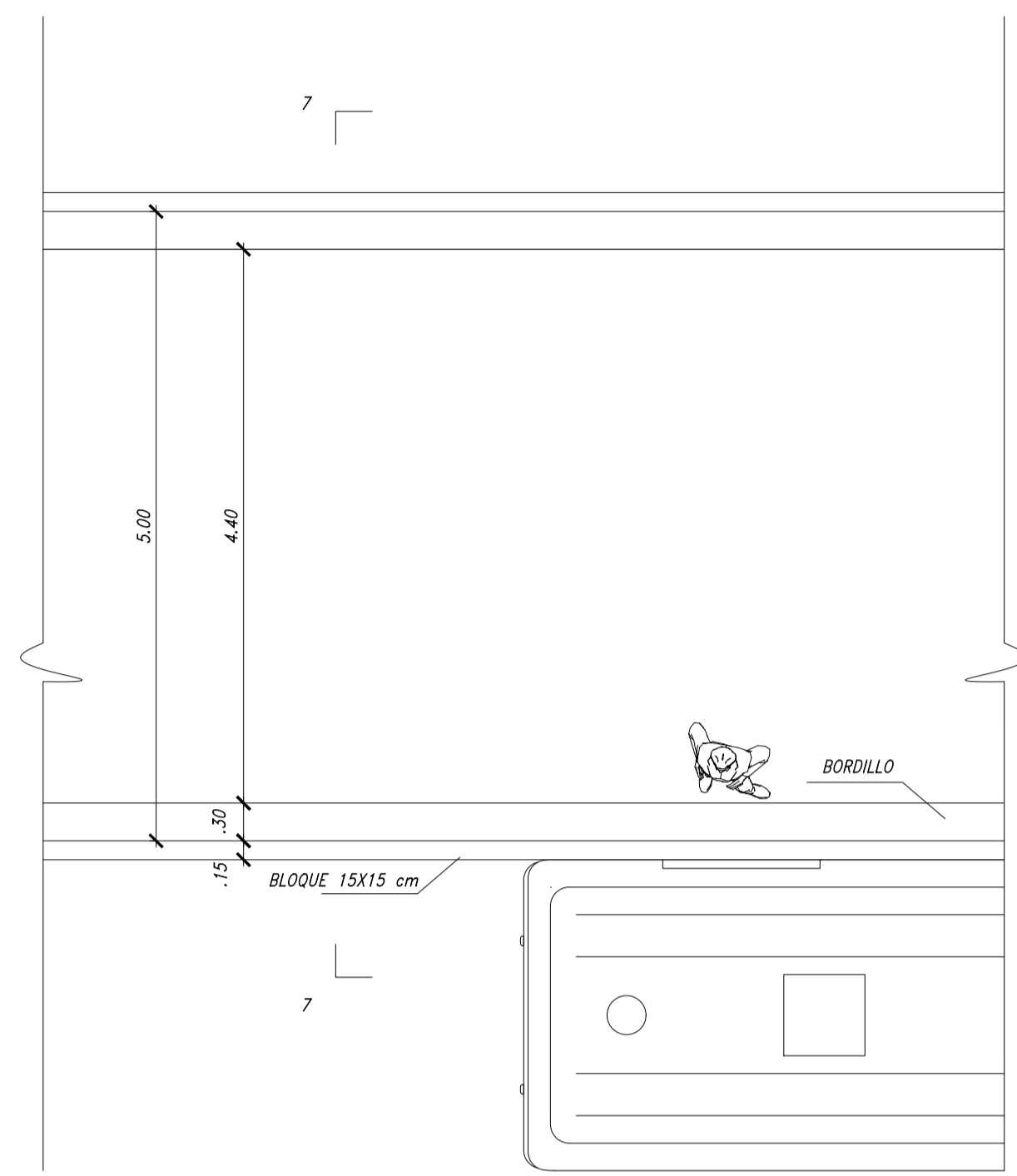


"PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA ESTACIÓN BRT EN LA AV. ANGAMOS (LÍNEA 6) A PARTIR DE LA EXPERIENCIA DEL METROPOLITANO DE LIMA"

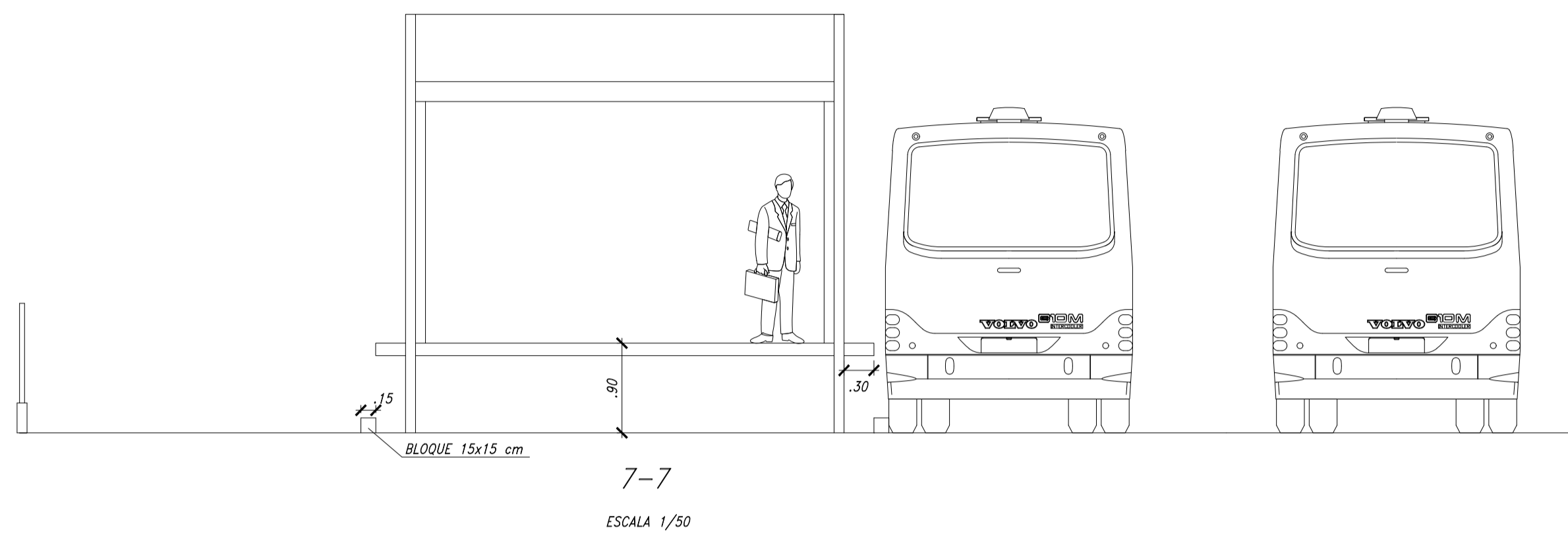
INTEGRANTES:
 MANRIQUE ZEGARRA ARTURO LEONARDO
 PACHECO TARAZONA ABEL ANDRÉ

PLANO
PUNTE PEATONAL DE CONEXIÓN PLANTA, PERFIL Y ELEVACIÓN

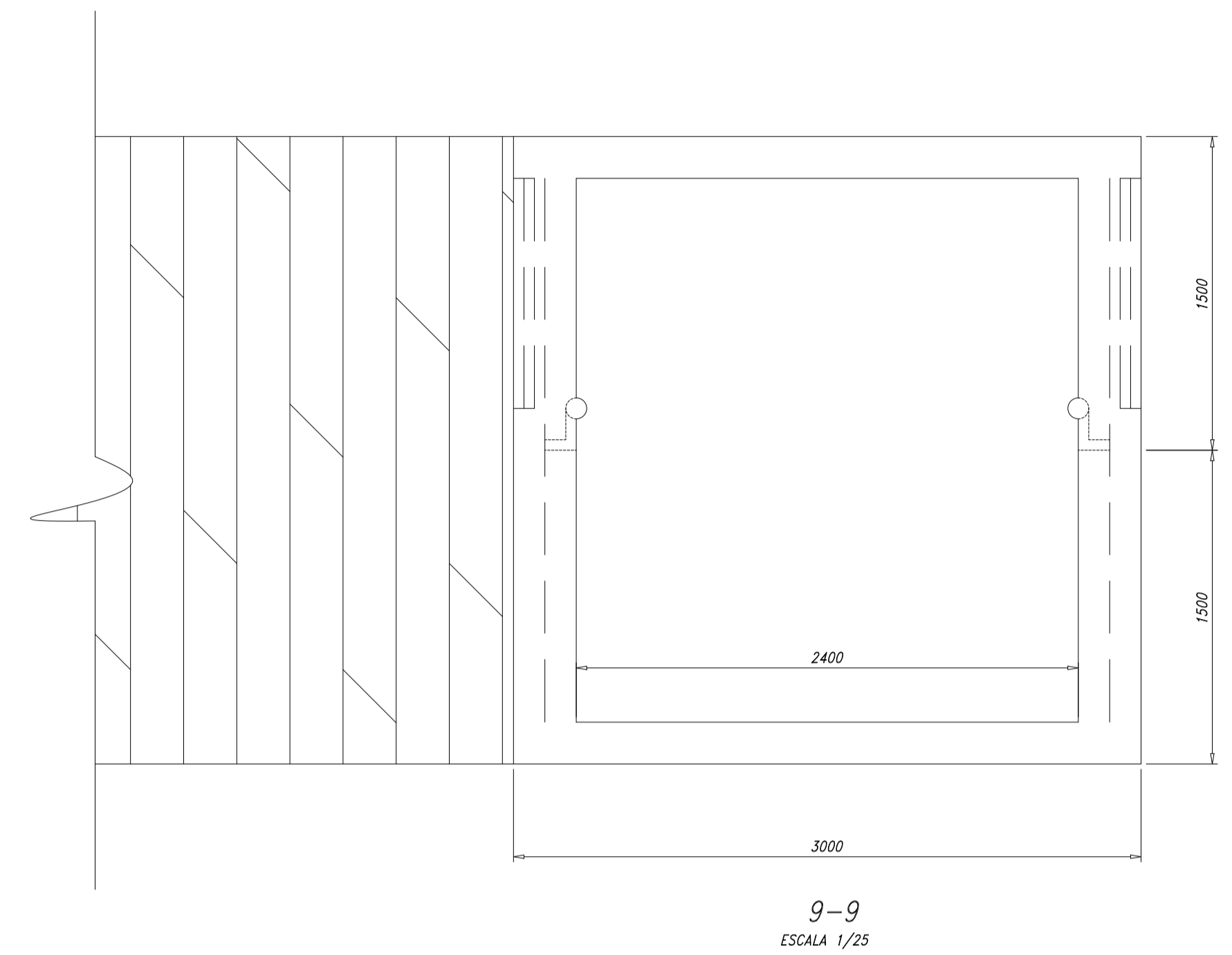
| | |
|----------------------|----------------|
| FECHA: 07/02/2020 | LÁMINA E-05 |
| ESCALA: INDICADAS | |



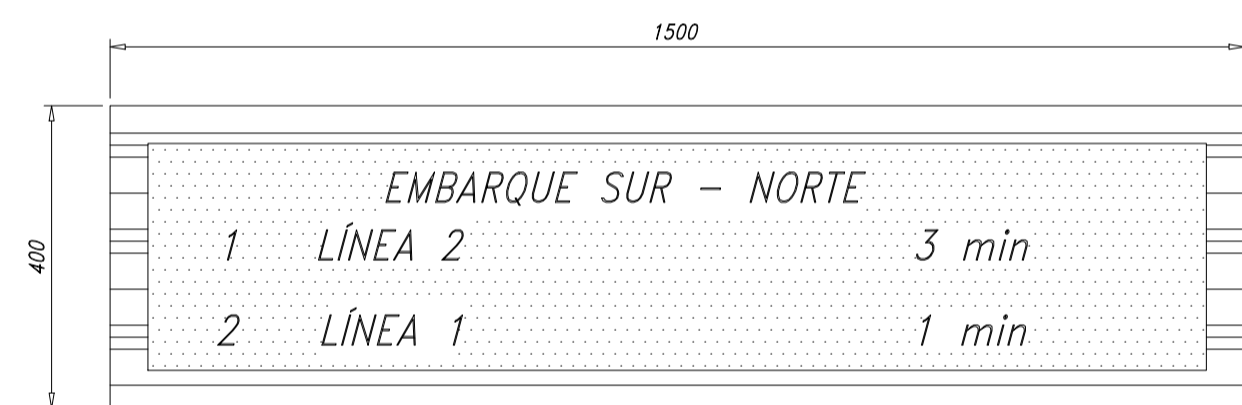
DETALLE BRECHAS - GAP
ESCALA 1/50



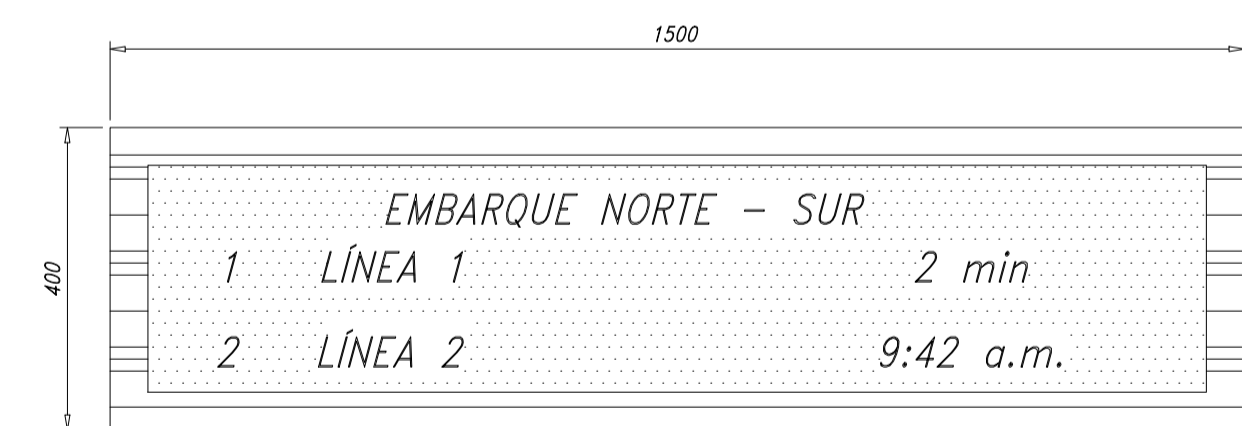
7-7
ESCALA 1/50



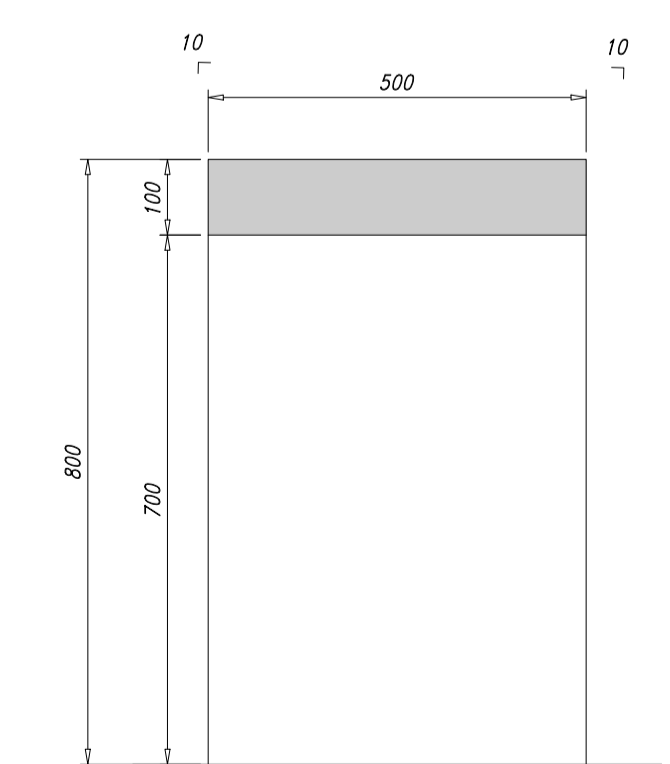
9-9
ESCALA 1/25



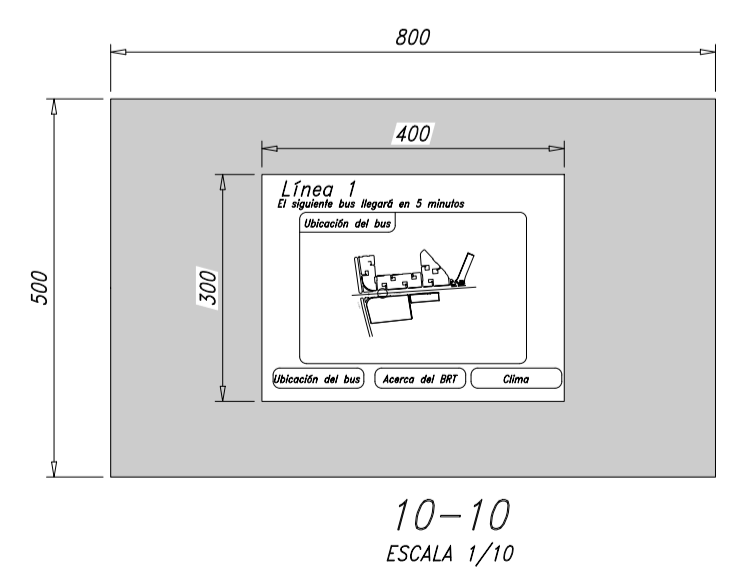
DETALLE E
ESCALA 1/10



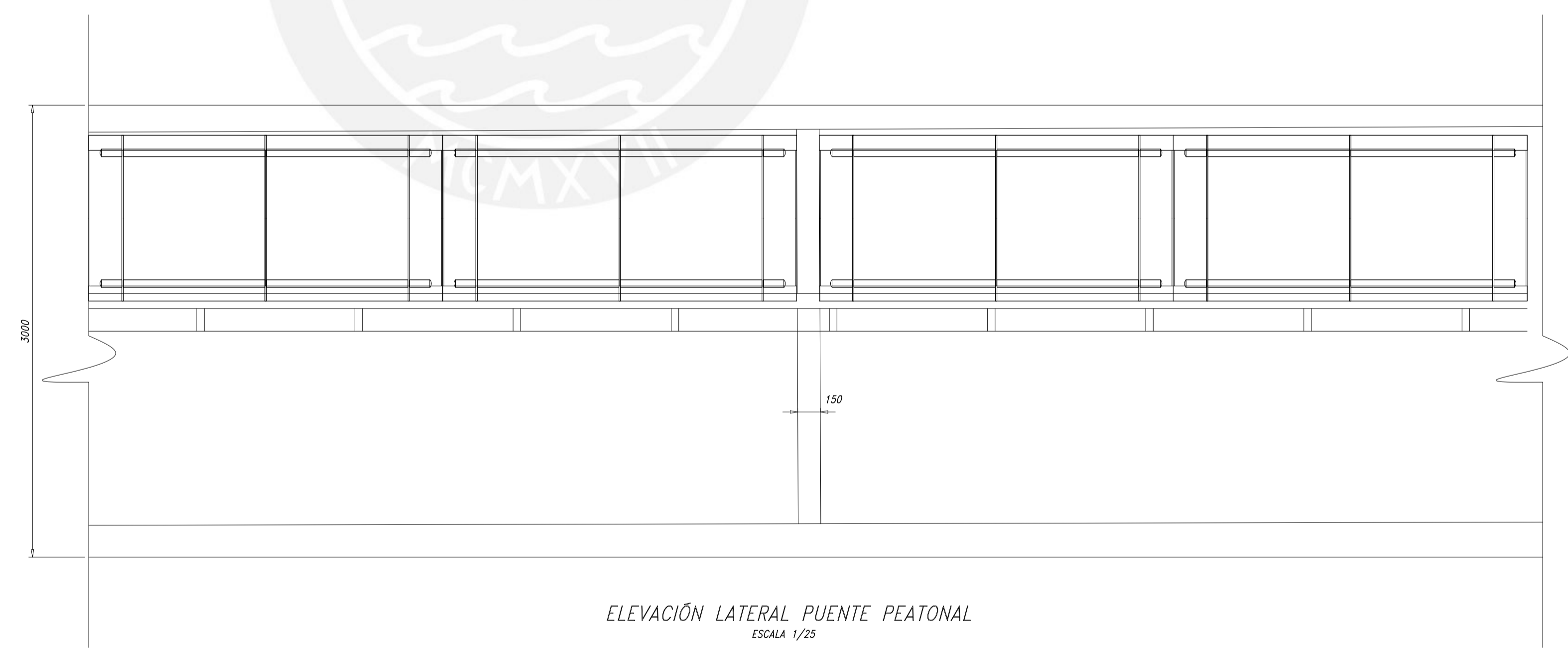
DETALLE F
ESCALA 1/10



DETALLE G
DETALLE DE PANTALLAS TÁCTILES
ESCALA 1/10



10-10
ESCALA 1/10



ELEVACIÓN LATERAL PUENTE PEATONAL
ESCALA 1/25



"PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA ESTACIÓN BRT EN LA AV. ANGAMOS (LÍNEA 6) A PARTIR DE LA EXPERIENCIA DEL METROPOLITANO DE LIMA"

INTEGRANTES:
MANRIQUE ZEGARRA ARTURO LEONARDO
PACHECO TARAZONA ABEL ANDRÉ

PLANO
DETALLES DE BRECHA, PUENTE E INFORMACIÓN DINÁMICA

FECHA:
07/02/2020

ESCALA:
INDICADAS

LÁMINA
E-06