

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PROPUESTA DE SEMAFORIZACIÓN ACTUADA EN LA INTERSECCIÓN
DE LAS AVENIDAS MATELLINI Y PASEO DE LA REPÚBLICA PARA
REDUCIR EL TIEMPO DE CRUCE Y DENSIDAD DE LOS PEATONES**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Brando Anthony Yapo Romero

ASESOR:

Ing. Fernando José Campos De la Cruz

Lima, octubre, 2024

Informe de Similitud

Yo, Fernando José Campos De la Cruz,

docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado:

PROPUESTA DE SEMAFORIZACIÓN ACTUADA EN LA INTERSECCIÓN DE LAS AVENIDAS MATELLINI Y PASEO DE LA REPÚBLICA PARA REDUCIR EL TIEMPO DE CRUCE Y DENSIDAD DE LOS PEATONES

Del autor: Yapo Romero, Brando Anthony

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 08%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 19/10/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: 19 de octubre del 2024

Apellidos y nombres del asesor: <u>Campos De la Cruz, Fernando José</u>	
DNI: 41469213	Firma 
ORCID: 0000-0002-7827-2861	

RESUMEN

En Lima, las intersecciones son zonas de la red vial donde se concentra el mayor número de conflictos de movilidad y tránsito a causa de una ausencia de gestión de tránsito. Estos problemas se acentúan en intersecciones cercanas a estaciones de transporte público masivo donde un gran número de peatones concurren a diario. Debido a una semaforización diseñada para vehículos con tiempos de rojo extensos y fases fijas, además de un espacio limitado en aceras, se genera una aglomeración de peatones en dichas aceras, lo cual los obliga a invadir parte de las vías y a cruzar aun cuando el semáforo se encuentra en verde para vehículos.

En esta tesis, se estudiaron dos de las esquinas dentro de la intersección Av. Matellini con la Av. Paseo de la República, las cuales se encuentran próximas a la estación BRT Matellini. En primer lugar, se realizó la descripción de la intersección y del comportamiento peatonal. Se identificó la hora crítica de un día típico en el que se registró, mediante el uso de un dron, el aforo peatonal y vehicular. Luego, se usaron los datos obtenidos en una microsimulación realizada con los softwares Vissim y Viswalk, mediante los cuales, luego de calibrar y validar los modelos, se pudo representar el estado actual de la intersección. La propuesta de solución consiste en la implementación de un sistema de semaforización actuada y un cruce peatonal en diagonal, la cual también fue representada en el modelo de microsimulación mediante una integración con VisVap. Posterior a la simulación, se comparó el escenario sin propuesta y el estado de la intersección con la propuesta de solución. Finalmente, se obtuvo una reducción del 22% en la densidad de peatones que esperaban a cruzar y llegar a las estaciones de BRT y se consiguió una disminución del tiempo de espera de cruce de 17%, lo cual podría disminuir el nivel de entropía, y aumentar la percepción de seguridad el nivel de servicio de la intersección.

“Proposal of actuated traffic lights at the intersection of Matellini and Paseo de la República avenues to reduce pedestrian crossing time and density”

ABSTRACT

In Lima, intersections are areas within the road network where the highest number of conflicts between pedestrians and vehicles occur due to a lack of traffic management. These mobility and traffic problems are exacerbated at intersections near mass public transportation stations where a large number of pedestrians gather daily. Pedestrian congestion at corners is caused by traffic signals designed for vehicles with long red times and fixed phases, and limited sidewalk space. This results in pedestrians encroaching onto roadways and crossing even when the light is green for vehicles.

This thesis focuses on studying two corners of the intersection of Av. Matellini with Av. Paseo de la República, which are near the Matellini BRT station. First, the intersection and pedestrian behavior were described. The critical time of typical day was identified, during which pedestrian and vehicle volumes were recorded using a drone. Then, the collected data was used in a microsimulation with the software Vissim and Viswalk, which, after calibrating and validating the models, allowed for the representation of the current state of the intersection. The proposed solution involves implementing an actuated traffic signals system and a diagonal pedestrian crossing, which was also represented in the microsimulation model through integration with VisVap. After the simulation, the scenario without the proposal was compared with the state of the intersection with the proposed solution. Ultimately, a 22% reduction in the density of pedestrians waiting to cross and reach the BRT stations was achieved, along with a 17% decrease in crossing wait times. This could reduce entropy, enhance safety perception, and improve the level of service at the intersection.



DEDICATORIA

A mis abuelos Edilberto y Ezequiel; a mis Hermanos Paola, Saymara y Harold; a mi compañera de vida Alicia; y a mis amados padres Fabiola y Ediar, quienes fueron los pilares más importantes en mi vida personal y profesional.

INDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivos generales	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.2. Hipótesis.....	2
1.3. Alcances y limitaciones	3
1.3.1. Alcances	3
1.3.2. Limitaciones	3
1.4. Justificación.....	3
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA	5
2.1. Movilidad y accesibilidad urbana.....	5
2.2. Seguridad vial.....	7
2.3. SemafORIZACIÓN actuada orientada a peatones	8
2.3.1. Semáforos inteligentes	9
2.3.2. Controlador programable (PLC).....	10
2.3.3. Sensores infrarrojos	10
2.3.4. Cámaras aforadoras de peatones.....	11
2.3.5. Detectores para semáforos actuados	13
2.3.6. Sistema SCATS	14
2.4. Cruceos peatonales	15
2.5. Comportamiento peatonal	16
2.6. Micro simulación peatonal.....	19
2.7. PVT Vissim/Viswalk y Visvap	19
2.7.1. Vissim	19
2.7.2. Viswalk	20
2.7.3. Visvap	21
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	22
3.1. Evaluación del estado actual	23
3.2. Recolección de datos en campo.....	23
3.3. Microsimulación con Vissim/Viswalk.....	23
3.4. Elaborar propuesta de solución	24
CAPÍTULO IV. CASO DE ESTUDIO	25

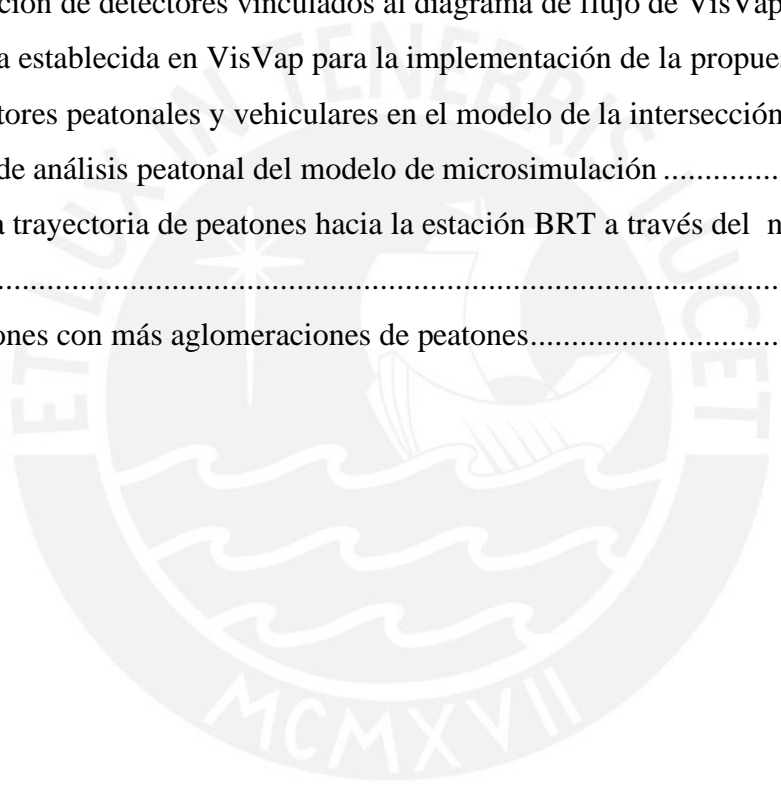
4.1.	Evaluación y caracterización del estado actual	25
4.1.1.	Ubicación de zona de estudio	25
4.1.2.	Accesos a la intersección.....	26
4.1.3.	Geometría de la intersección	30
4.2.	Problemas en la intersección	31
4.2.1.	Señalización e infraestructura deficiente	31
4.2.2.	Ubicación de ciclo parqueaderos	36
4.3.	Caracterización del comportamiento de los peatones.....	36
4.4.	Ubicación de semáforos y ciclos semafóricos.....	41
4.4.1.	Ubicación semafórica.....	41
4.4.2.	Ciclos semafóricos	44
CAPÍTULO V. MICRO SIMULACIÓN		46
5.1.	Desarrollo del modelo.....	46
5.2.	Calibración del modelo de micro simulación.....	51
5.3.	Validación del modelo	58
CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS		62
6.1.	Análisis del modelo de micro simulación	62
6.2.	Justificación de implementación de propuesta.....	72
6.3.	Implementación de la propuesta de mejora.....	74
6.4.	Resultados de propuesta, comparación y evaluación.	81
CONCLUSIONES		94
RECOMENDACIONES.....		97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		98
ANEXOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Relación entre velocidad y seguridad vial.....	8
Figura 2 Dispositivos de controlador de semáforos con aplicación actuada.....	10
Figura 3 Imagen ilustrativa del funcionamiento de un sensor infrarrojo de temperatura	11
Figura 4. Cámara de campana con visibilidad de 360°	11
Figura 5 Cámaras de video detección	12
Figura 6 Puntos de detección ubicadas en intersección	13
Figura 7 Áreas de detección de vehículos	14
Figura 8 Interfaz de monitor sistema SCATS	15
Figura 9 Criterio para definir el uso de cruceros peatonales	16
Figura 10 Rastros de rutas atípicas grabadas por peatones sobre nieve y césped	18
Figura 11 Modelo de micro simulación a través de Vissim y Viswalk	20
Figura 12 Flujograma de la metodología.	22
Figura 13 Cruce de peatones en la intersección de la Av. Matellini con Paseo de la República.	25
Figura 14 Vista en planta de la intersección Av. Matellini con Av. Paseo de la República. .	25
Figura 15 Foto referencial de la estación Matellini.	26
Figura 16 Accesos vehiculares a la intersección	27
Figura 17 Flujograma peatonal de salida	27
Figura 18 Peatones saliendo de la estación BRT Matellini.....	29
Figura 19 Flujograma de entrada peatonal hacia la estación BRT Matellini	29
Figura 20 Medianas ubicadas en la zona central de la Av. Matellini en dirección Sudoeste..	30
Figura 21 Dimensiones de vías y de las aceras de la Av. Paseo de la República.....	31
Figura 22 Señalización deteriorada.....	32
Figura 23 Paraderos informales en la intersección	33
Figura 24 Vehículos de transporte urbano estacionadas en medio de un cruceo peatonal	33
Figura 25 Croquis de ubicación de cruces peatonales mal señalizados.	34
Figura 26 Ancho de rampas en la intersección.....	35
Figura 27 Rejas de protección al peatón usadas como ciclo parqueaderos.....	36
Figura 28 Congestión vehicular.....	37
Figura 29 Aglomeración de transeúntes que se disponen cruzar la avenida Paseo de la República.....	37

Figura 30 Vehículos detenidos en medio del cruce peatonal y peatones cruzando durante la fase ed vehículos	38
Figura 31 Rutas establecidas por peatones para disminuir tiempos de viaje hacia la estación BRT.	39
Figura 32 Puente peatonal que conecta las estaciones de los alimentadores con las estaciones del corredor BRT.	39
Figura 33 Peatones aglomerados en la acera y cruzando durante la fase semafórica de vehículos.....	40
Figura 34 Aglomeración de peatones a la espera del cruce.....	40
Figura 35 Ubicación de los semáforos para vehículos implementados en la intersección	41
Figura 36 SemafORIZACIÓN ubicada en la avenida Paseo de la República (Acceso 2).....	42
Figura 37 Ubicación de la semafORIZACIÓN 4,5 y 6 (Acceso 1).....	42
Figura 38 Croquis de ubicación de los semáforos peatonales	43
Figura 39 Esquema de fases de semáforos para vehículos.....	44
Figura 40 Ciclos semafóricos peatonales	44
Figura 41 Primera fase semafórica	45
Figura 42 Segunda y tercera fase semafórica	45
Figura 43 Links considerados en el modelo de microsimulación.....	46
Figura 44 Vista en planta del modelo de microsimulación	47
Figura 45 Rutas consideradas del acceso 1 y 2 para el modelo en Vissim	48
Figura 46 Rutas vehiculares para el acceso 3 y 4	48
Figura 47 Modelo de microsimulación del estado actual a través de la herramienta Vissim/Viswalk	49
Figura 48 Fases semafóricas definidas para vehículos dentro del modelo de microsimulación	49
Figura 49 Fases semafóricas de peatones.....	50
Figura 50 Nomenclatura y flujo de los accesos peatonales desde la estación BRT	50
Figura 51 Flujos peatonales que se dirigen e ingresan a la estación BRT Matellini	51
Figura 52 Composición peatonal considerada en el modelo de microsimulación.....	52
Figura 53 Composición vehicular registrada en la intersección.....	54
Figura 54 Diagrama proporcionado por la herramienta Stat Key para la calibración usando tiempos de viaje vehicular	55
Figura 55 Diagrama proporcionado por la herramienta Stat Key para la calibración usando tiempos de viaje peatonal	57

Figura 56 Diagrama proporcionado por la herramienta StatKey para la validación del modelo	59
Figura 57 Diagrama proporcionado por la herramienta StatKey para la validación del modelo	61
Figura 58 Secciones para medición de densidades y número de peatones	62
Figura 59 Rutas críticas para medición de tiempos	70
Figura 60 Vista en planta del modelo de micro simulación con las propuestas de semaforización y cruces peatonales en diagonal	75
Figura 61 Modelo de microsimulación con los cruces peatonales en diagonal	76
Figura 62 Ubicación de detectores vinculados al diagrama de flujo de VisVap	77
Figura 63 Lógica establecida en VisVap para la implementación de la propuesta	78
Figura 64 Detectores peatonales y vehiculares en el modelo de la intersección	80
Figura 65 Zona de análisis peatonal del modelo de microsimulación	81
Figura 66 Nueva trayectoria de peatones hacia la estación BRT a través del nuevo cruce peatonal	87
Figura 67 Secciones con más aglomeraciones de peatones.....	89



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resumen del aforo peatonal desde la estación BRT registrado para la calibración...	53
Tabla 2 Resumen del aforo y las rutas peatonales hacia la estación BRT Matellini	53
Tabla 3 Tabla resumen del aforo vehicular para la calibración.....	54
Tabla 4 Registro de tiempos de viaje en la avenida Matellini (Acceso 3).....	55
Tabla 5 Tabla de calibración mediante el criterio del p value para vehículos.....	56
Tabla 6 Registro de tiempos de viaje peatonal	56
Tabla 7 Tabla de calibración mediante el criterio p value para peatones	57
Tabla 8 Resumen del aforo peatonal y rutas peatonales desde la estación BRT para la validación	58
Tabla 9 Resumen de rutas y aforo peatonal para la validación hacia la estación BRT	58
Tabla 10 Tabla resumen del aforo vehicular para la validación.....	58
Tabla 11 Mediciones de tiempos de viaje peatonal para la validación del modelo en el acceso 3.....	59
Tabla 12 Validación del modelo mediante el criterio del p value para peatones	60
Tabla 13 Registro de tiempos de viaje vehicular en el acceso 3 de la intersección.....	60
Tabla 14 Validación del modelo mediante el criterio del p value para vehículos.....	61
Tabla 15 Resultados del parámetro de densidad para la sección de medición C23-1	63
Tabla 16 Tabla de resultados de las mediciones realizadas en la sección C23-2	64
Tabla 17 Número máximo de peatones registrados en punto de medición C01-2	65
Tabla 18 Número máximo y densidad máxima de peatones en punto de medición D23-1	66
Tabla 19 Número máximo de peatones y densidades máximas en sección D23-2	67
Tabla 20 Número máximo y densidades máximas en la sección D01-2.....	68
Tabla 21 Tabla de resultados de tiempos de viajes.....	72
Tabla 22 Flujos peatonales que cruzan el acceso 1 y 2 de la intersección en peat/h.....	72
Tabla 23 Flujo vehicular de acceso 1 y 2 en veh/h.....	73
Tabla 24 Densidad máxima y número de peatones en la sección C23-1 con la propuesta aplicada.....	82
Tabla 25 Resultados de densidad con la propuesta implementada en C23-2.....	83
Tabla 26 Resultados de medición peatonal en la sección C01-2 luego de propuesta.....	84
Tabla 27 Resultados de densidad en sección D23-1 luego de la propuesta de semaforización	85

Tabla 28 Resultados de propuesta en la sección D23-2.....	86
Tabla 29 Resultados de propuesta en sección D01-2.....	87
Tabla 30 Comparación de las densidades peatonales promedio totales en toda la red.....	90
Tabla 31 Medición de tiempos de viaje peatonal luego de la implementación del cruce peatonal	90
Tabla 32 Comparación de tiempo de viaje promedio total de peatones	91
Tabla 33 Comparación de tiempos de viaje totales para vehículos de la red.....	92
Tabla 34 Comparación de tiempos totales de demora de vehículos de la red.....	92
Tabla 35 Comparación de tiempos totales de detención de vehículos de toda la red.....	92
Tabla 36 Porcentajes de incremento y disminución de tiempos y densidades luego de la aplicación de la propuesta	93



INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Representación gráfica del flujo peatonal desde los puntos de partida con destino a la estación BRT Matellini.....	69
Gráfico 2 Representación gráfica del flujo peatonal con origen en la estación BRT Matellini	71
Gráfico 3 Gráfica de fases de verde vs volumen de vehículos	74
Gráfico 4 Comparación de densidades entre el escenario sin propuesta y el escenario con propuesta.....	88
Gráfico 5 Comparación de tiempos de viaje peatonal entre el escenario sin propuesta y el escenario con propuesta.....	91
Gráfico 6 Balance de resultados luego de aplicada la propuesta.....	93



CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Dentro de una red vial urbana, se pueden encontrar a las intersecciones, las cuales son de gran importancia para una movilidad óptima de peatones y automóviles; sin embargo, en las grandes ciudades como Lima, se presentan problemas de aglomeración en sus aceras a causa de la gran cantidad de peatones que se disponen a llegar a sus destinos. Un buen diseño geométrico de estos cruces de vías no garantiza que exista una movilidad eficiente, segura y sin conflictos, principalmente para los usuarios de a pie. Entonces, es necesaria la intervención de estas zonas a través de datos cuantitativos que permitan analizar el comportamiento de los usuarios para implementar soluciones que vayan en sincronía con la situación real de estas intersecciones.

Actualmente, se aprecia un gran crecimiento demográfico en las grandes ciudades. Según el INEI, la población de Lima representa casi el 30% de la población nacional proyectada (2021). Esto ha impulsado un aumento del parque automotor paralelo al aumento de la densidad peatonal en aceras y vías urbanas. En consecuencia, la demanda de una movilidad eficiente para peatones no es cubierta en completamente, ya que se apuesta por una ciudad diseñada para el gran número de automóviles, lo cual incrementa el factor de riesgo de la exposición en los usuarios, el tiempo que se usa para cruzar de una acera a otra y la aglomeración que se genera en aceras muy concurridas.

Un buen diseño geométrico es tan importante, como la red de semaforización implementada en una intersección. Sin estos dos factores el nivel de entropía en la red puede incrementarse generando un entorno caótico y conflictivo, especialmente en horas de gran afluencia de vehículos y transeúntes. La calidad del tráfico dentro de la red vial urbana es producto de la configuración del control de los semáforos (Wagner, 2011). Por tanto, la tesis abordará los problemas de aglomeración y demora enfocados en los peatones en intersecciones muy concurridas, así como la solución a este problema a través de una propuesta de semaforización

actuada y cruces peatonales en diagonal para que se reduzca el tiempo que usan los usuarios para movilizarse a en la intersección. En un espacio público, las calles son los espacios de mayores dimensiones y, dentro de ellas, se encuentran las intersecciones, las cuales se pueden denominar como los nodos integrados de una red vial (Jun Cao, 2021).

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivos generales

Elaborar una propuesta de semaforización actuada y un cruce peatonal en diagonal que reduzca el tiempo de cruce de los peatones y su aglomeración en intersecciones cercanas a estaciones BRT.

1.1.2. Objetivos específicos

- Describir el estado actual y el comportamiento de los peatones en una intersección contigua a la estación BRT Matellini
- Caracterizar el comportamiento de los peatones en el lugar de estudio, mediante datos recolectados en campo
- Representar la situación actual de la intersección en un modelo de micro simulación, calibrado y validado
- Elaborar una propuesta de semaforización actuada con un cruce peatonal diagonal en la intersección e implementarla en un modelo de microsimulación
- Comparar los escenarios sin propuesta y con propuesta de semaforización actuada para volúmenes proyectados a 5 años

1.2. Hipótesis

La propuesta de semaforización actuada reduce en un 20% la densidad peatonal en aceras y en 15% el tiempo de cruce de los peatones dentro de la intersección de la avenida Matellini y la avenida Paseo de la República.

1.3. Alcances y limitaciones

1.3.1. Alcances

El proyecto de tesis planteado aborda los problemas relacionados al tiempo que tardan los usuarios peatonales en movilizarse a través de una intersección muy concurrida, lo cual conlleva a una propuesta de solución mediante un sistema de semaforización actuada y la implementación de un cruce peatonal en diagonal. El estudio se centra en la intersección de la Av. Matellini con la Av. Paseo de la República. Para ello, se presenta la descripción y caracterización del lugar de estudio, mediante un croquis con flujogramas identificados. Con los datos obtenidos de la inspección de la intersección, se obtiene un modelo calibrado y validado de microsimulación con VISSIM 9. Por último, el estudio presentará una propuesta de un sistema de semaforización actuada, la cual es adaptada al modelo de microsimulación para obtener los resultados, junto a los planos de la intersección correspondientes a la propuesta implementada.

1.3.2. Limitaciones

En esta tesis, existen dos limitaciones importantes. La primera limitación está definida por la representación del modelo, ya que los datos ingresados en la herramienta de microsimulación fueron registrados en un intervalo de tiempo, en dos días de la semana; por lo tanto, no se tiene la certeza de que esos datos sean representativos para días e intervalos distintos a los considerados. La segunda limitación está relacionada a la proyección de los datos presentados de la situación actual para un futuro próximo, ya que el flujo de vehículos, peatones y el mismo diseño de la intersección variará según el índice de crecimiento. Es necesario un estudio más complejo y específico para determinar la tasa de crecimiento real poblacional.

1.4. Justificación

Desde el inicio del aumento del parque automotor de las ciudades del país, la infraestructura vial urbana orientada a peatones perdió importancia dentro de una planificación urbana, donde

se sigue incrementando el número de vías para automóviles a costa del espacio de tránsito de peatones. Según una encuesta del INEI sobre accidentes de tránsito realizada en las comisarías en el año 2009, los accidentes por atropello representaban el 30% de los tipos de accidentes fatales. Por otro lado, las intersecciones viales son importantes dentro del sistema de tránsito, así como las aceras, los cruces peatonales, la semaforización, la señalización y los paraderos seguros. Sin embargo, los peatones son los usuarios más vulnerables, ya que no están protegidos por dispositivos de seguridad y también deben compartir la vía con vehículos que circulan a velocidades peligrosas, especialmente durante los cruces de vías (Ke & Gkritza, 2019). Estas afirmaciones permiten fundamentar la necesidad de implementar cruces peatonales que satisfagan las necesidades de los peatones acompañados de una semaforización actuada en una intersección.

La propuesta de una semaforización orientada a peatones podría contribuir a que se mejore las condiciones de movilidad de una intersección concurrida, ya que a veces son estos los que infringen las normas viales. Es así que, dentro del factor humano presente en un accidente de tránsito, el comportamiento arriesgado de los peatones se destaca como una variable que explica estos accidentes (Herrero-Fernández, 2015).

Cualquier intersección podría ser un lugar de estudio para mejorar la movilidad de su entorno; sin embargo, la particularidad del lugar elegido recae en que esta intersección se ubica contigua a la primera estación BRT en dirección de Sur a Norte, lo que demanda un nivel de servicio importante para los transeúntes que tienen la necesidad de utilizar este transporte público formal, el cual es utilizado con más frecuencia a medida que el servicio es mejorado; por tanto, una propuesta de semaforización les brindará a los usuarios un mayor protagonismo y un mejor entorno para movilizarse hacia esta estación BRT en menor tiempo, evitando aglomeraciones en las aceras, disminuyendo la exposición de los peatones y por tanto mejorando su seguridad.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

En este capítulo, se exponen los conceptos y estudios relacionados al comportamiento de los usuarios en una intersección vial; estos criterios y definiciones son la base teórica para este trabajo de tesis; luego, se define el entorno urbano como contexto sistemático y la caracterización peatonal relacionada a este caso de estudio. Se detallan conceptos de movilidad urbana, así como conceptos de densidad peatonal, los cuales son útiles para reforzar la caracterización peatonal y para entender el objetivo de la microsimulación en este caso de estudio; además, se definen conceptos de seguridad vial que sirven como referencia para reforzar la propuesta de mejora. Se precisa conceptos relacionados a la semaforización orientada a peatones y su modo de funcionamiento. Finalmente, se especifican los conceptos de microsimulación y de modelado a través del software Vissim y Viswalk para justificar la propuesta de mejora.

2.1. Movilidad y accesibilidad urbana

En Lima, podemos identificar un sistema de transporte público variado y sobre todo muy usado por la mayoría de personas que se desplazan por el entorno urbano; sin embargo, el transporte público aún no es eficiente ni atractivo por los usuarios; además, de no estar en sincronía con una infraestructura vial que tenga como prioridad a los peatones, por lo que no se logra fomentar un sistema de transporte que integre a todos los usuarios.

El término de movilidad urbana refiere a la capacidad de movimiento de las personas y bienes en una ciudad independientemente del medio de transporte que se utilice; sin embargo, la sostenibilidad en el movimiento urbano es el objetivo principal para lograr que las ciudades sean atractivas y seguras para los peatones.

El desplazamiento seguro, eficiente y sostenible de las personas hacia sus destinos mientras se disfruta del espacio público es el objetivo principal de la movilidad urbana. Cuando la

circulación se hace un privilegio, los peatones tienen muchos problemas para cruzar las vías, debido a que la infraestructura vial es diseñada para aumentar la capacidad de circulación de vehículos y, por lo tanto, los peatones tienen que caminar más para poder cruzar una vía o están obligados a utilizar los puentes peatonales (Dextre & Avellaneda, 2014). Los peatones a menudo tienen que superar una suerte de obstáculos como los puentes peatonales para cruzar una calle o avenida, por lo que dificulta su tránsito y facilita el flujo de vehículos.

En cuanto a la accesibilidad, el término refiere a la facilidad con que los peatones se trasladan de un punto a otro satisfaciendo todas las necesidades del usuario mientras se transita por una vía. Cuando se reflexiona acerca de las necesidades intrínsecas y cotidianas, se puede hacer una reflexión sobre la forma en que se construyen las relaciones urbanas y, por consecuencia, se estará reflexionando sobre un modelo de ciudad (Sanz, 2017). La necesidad de las personas en movilizarse recae en un diseño adecuado de la infraestructura vial que facilite el tránsito evitando que se presenten obstáculos en el flujo peatonal. Si los diseños de la infraestructura son elaborados en base a las necesidades peatonales, estos usuarios serán capaces de satisfacer las necesidades de movilidad y cumplir con sus actividades diarias sin dificultad, de forma sostenible y con seguridad.

La movilidad sostenible y la accesibilidad sostenible no son conceptos separados. Ambas son complementarias. (Dextre & Avellaneda, 2014). Existen zonas en donde los peatones transitan con frecuencia para llegar a sus respectivos paraderos y estaciones que les permita un intercambio modal de transporte, por lo que dicha debe ser accesible y garantizar una infraestructura vial que incluya a todos, independientemente de la edad, sexo o la condición física. Además, se debe tener en cuenta que las personas suelen tener prisa en horas punta, puesto que los peatones realizan viajes más frecuentes para dirigirse a sus centros de trabajo o estudios. Esto conlleva a que todos estos peatones deberán ser capaces de transitar con el menor

número de conflictos posible a través de estas zonas que presentan un gran flujo peatonal y vehicular.

2.2. Seguridad vial

En una ciudad tan congestionada de vehículos como Lima los usuarios más vulnerables son los peatones, quienes deben salvaguardar sus vidas por su propia cuenta a falta de una infraestructura vial diseñada para proteger a los usuarios que transitan a pie. La seguridad vial no es un concepto que solo engloba al individuo y su comportamiento en base a su educación vial. Por ejemplo, si un peatón no utiliza un puente peatonal y este sufre un accidente, la responsabilidad recae sobre él, mientras que, bajo la Visión Cero de Suecia, la responsabilidad recae sobre los encargados de configurar el sistema de carreteras y transporte: diseñadores, encargados del mantenimiento, empresas de transporte, políticos, funcionarios y la policía (Dextre & Avellaneda, 2014).

La seguridad vial es una visión que compromete a instituciones públicas y privadas; al mismo gobierno y sus decisiones políticas; a las entidades encargadas del control y el diseño vial, y a los colegios y universidades, de forma que todos los integrantes de la sociedad deben interiorizar esta visión para que el sistema vial sea funcional y sobre todo seguro. Para que un Sistema sea seguro y funcione, todas las partes de este sistema deben trabajar en conjunto para asegurar de que no se produzcan muertes ni lesiones graves. (Green, Muir, Oxley, & Sobhani, 2022).

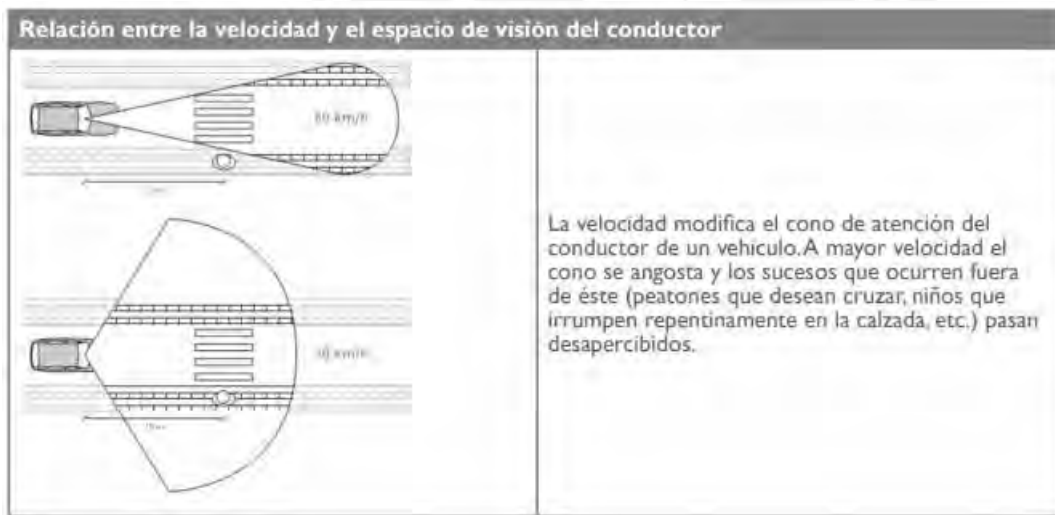
La seguridad vial urbana es un concepto que se limita a zonas donde existe una importante circulación de peatones. Existen zonas urbanas que requieren intervención debido a un mal diseño de la infraestructura vial, poca señalización, una semaforización deficiente y otros factores que sumados a la exposición del peatón incrementen su inseguridad en la vía. Una

forma de intervención en una vía urbana es la disminución de la velocidad de los vehículos gracias a una modificación de radios de giro o a la implementación de un cruceo elevado.

Dextre señala que en intersecciones donde es posible la ocurrencia de colisiones o conflictos a 90°, la velocidad se debe limitar a 50 km/h (2014). Estos criterios de velocidad son determinados en base a observaciones de campo, índices de accidentes, supervisiones de la vía y conceptos de visibilidad del conductor. A continuación, se observa la influencia que tiene el espacio de visibilidad del conductor con la velocidad a la que transita. Esta visibilidad disminuye cuando el vehículo se encuentra a velocidades mayores a los 30 km/h. Dicho esto, el peatón es el usuario vulnerable ante la probabilidad de una falta de visión del conductor.

Figura 1

Relación entre velocidad y seguridad vial.



Nota. Adaptado de RACC, 2014

2.3. SemafORIZACIÓN actuada orientada a peatones

Una zona tan concurrida por vehículos y peatones como una intersección conectada a una estación de transporte público masivo debe dotarse de un sistema semaforizado que facilite la movilidad de peatones y optimice el flujo de vehículos, de tal forma que los peatones puedan acceder de forma rápida y segura a las diferentes estaciones de transporte masivo. Los ciclos semaforicos toman en consideración el tiempo de reacción de conductores. El impulso de peatones y conductores también influirá en el desempeño de todo el sistema semaforico en una

intersección. El espaciamiento entre semáforos y su ubicación también influirá en las decisiones del conductor y el peatón.

En este tipo de operación los semáforos son regulados por detectores, de forma que las duraciones de los ciclos y los tiempos varían en respuesta a la demanda (Cabrera, 2020). Este tipo de semaforización se ajusta claramente a la información que se detecte en tiempo real, ya que los ciclos semafóricos que se sincronizan automáticamente serán coherentes a las condiciones del tráfico presente. Este sistema de semaforización cuenta con un controlador y sensores vehiculares que envían y reciben información. Con el uso de este tipo de semaforización, se incrementa la eficiencia del uso del espacio en vías urbanas, reduciendo tiempos de viaje, tiempos de espera, consumo de combustible y colas de espera, específicamente en periodos donde la congestión es muy alta en periodos cortos y variables. En caso de trabajos de mantenimiento de vías, o condiciones anormales de tráfico, puede agilizar el tránsito mediante modificaciones de fases y secuencias coherentes con los incidentes. Finalmente, recolecta datos en tiempo real, que pueden ser procesados por un sistema integral de transporte. Esta información puede ser entregada a los usuarios para facilitar el tránsito y mejorar la circulación de la red.

Los sistemas de semaforización actualada están compuestos por cuatro importantes componentes: El semáforo adaptativo, el controlador programable lógico (PLC), los sensores infrarrojos y las cámaras de tráfico.

2.3.1. Semáforos inteligentes

Estos dispositivos son los encargados de transformar toda la información recolectada y procesada hacia peatones y conductores mediante información visual a través de luces convencionales propias de un semáforo. Las distintas fases programadas en estos semáforos

pueden adaptarse y cambiar en respuesta a los detectores de tráfico y la información en tiempo real proporcionada por cámaras, sensores y los controladores.

2.3.2. Controlador programable (PLC)

Los controladores lógicos determinan el correcto funcionamiento del semáforo. En el caso de la semaforización actuada, los controladores operan ajustándose a las situaciones de circulación. A estos controladores también se les denominan controladores dinámicos.

Figura 2

Dispositivos de controlador de semáforos con aplicación actuada



Nota. Adaptado del portal de ventas de Semáforos (Semáforos, s.f.)

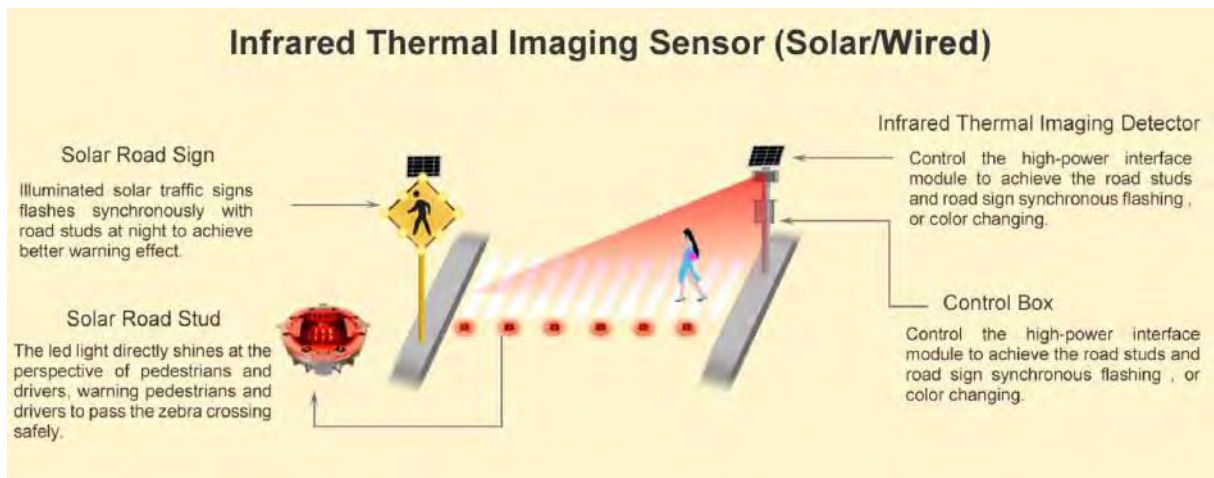
Estos controladores tienen que ser compatibles con la programación de las fases, la información de cámaras y detectores tanto de peatones como de vehículos, si fuera el caso.

2.3.3. Sensores infrarrojos

Estos dispositivos permiten la medición en tiempo real de la presencia de peatones o vehículos que ingresen al área de cruce. Estos datos son entregados a través de señales al controlador. Respecto a la ubicación de los sensores, existen tres casos de mediciones de tráfico. Los sensores pueden identificar vehículos, número de peatones, clasificar vehículos por su tamaño, velocidad, incidentes y vehículos estacionarios.

Figura 3

Imagen ilustrativa del funcionamiento de un sensor infrarrojo de temperatura



Nota. Adaptado del portal de ventas de Nokin (Nokin Traffic Facilities Co., Ltd, s.f.)

2.3.4. Cámaras aforadoras de peatones

Existen dos tipos de cámaras que pueden aplicarse en este sistema de semaforización actuada. El primer tipo corresponde a las cámaras de campana que se encargan de aforar o detectar a los peatones y vehículos en la intersección. Este tipo de cámaras tienen una visión de 360° y un procesador capaz de rastrear objetos, personas y vehículos.

Figura 4.

Cámara de campana con visibilidad de 360°



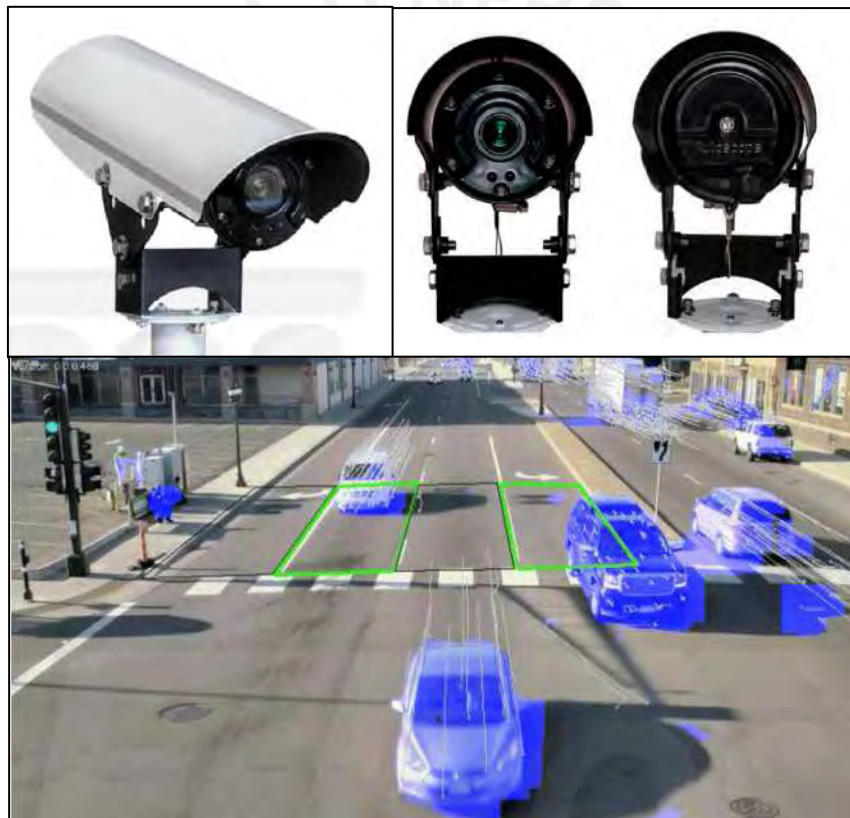
Nota. Adaptado del portal de ventas de Semáforo (Semáforos, s.f.)

El segundo tipo de cámaras aplicables a este sistema es el de las cámaras de video detección, las cuales cuentan con un sensor integrado a la cámara que ofrecerá detecciones de alta precisión de peatones, bicicletas y vehículos en alta definición.

Este segundo tipo de cámaras debe integrarse en conjunto con las cámaras de campana para una mayor confiabilidad de la aplicación de soluciones y un mejor rendimiento del controlador de semáforo.

Figura 5

Cámaras de video detección



Nota. Adaptado del portal de ventas de Semáforo (Semáforos, s.f.)

Una intersección es una zona de conflictos debido a que está definida por el encuentro entre dos o más vías. Para regular y disminuir estos puntos de conflicto es necesario el uso de semáforos que regulen y sincronicen los diferentes movimientos presentes en una intersección provenientes de vehículos y peatones.

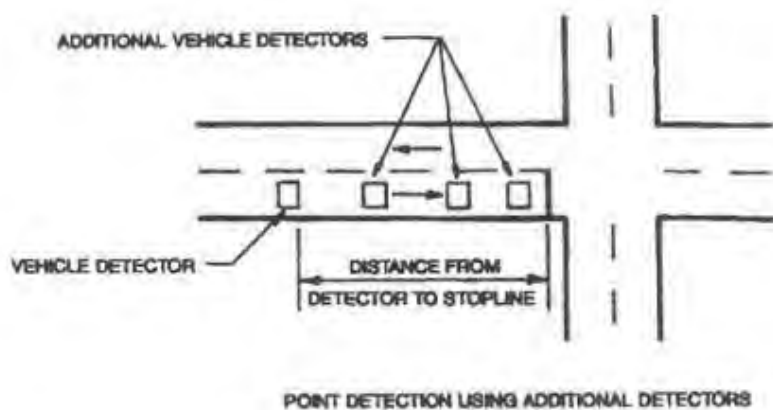
Es necesario que los detectores se ubiquen en zonas altas cerca de los cruces para tener la mejor visibilidad posible y para evitar que peatones puedan manipular dichos aparatos. Además, las cámaras de video detección y aforadoras deben posicionarse de tal forma que el rango de visión cubra completamente el área de espera de peatones. Por ello, es importante conocer las características técnicas de los aparatos que se usarán.

2.3.5. Detectores para semáforos actuados

El sistema de detección de vehículos consta de mecanismos magnéticos o inductivos, los cuales junto al sistema de cámaras servirán para determinar con precisión la ubicación de un vehículo y pueda generar en el sistema de procesamiento de información la ejecución de una tarea o proceso previamente establecido. Existen dos modos de funcionamiento de los detectores. El primer modo es conocido como “*Passage*” o “*Point detection*” que en español sería “Punto de detección”, tal como se observa en la figura de abajo.

Figura 6

Puntos de detección ubicadas en intersección

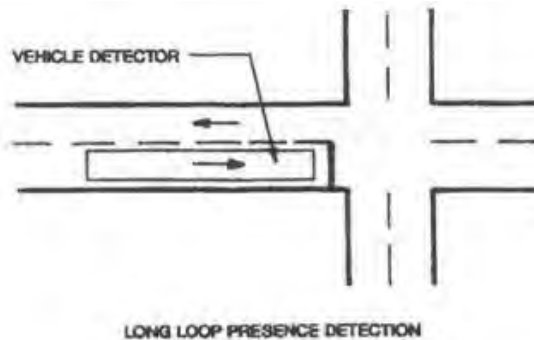


Nota. Adaptado de la presentación de “Control inteligente para problemas dinámicos de transporte” del Dpto. de Ing. Civil de la Universidad de Chile

La segunda forma de detección consta de un “*Long induction loop*” o más conocido como “Área de detección” que permite abarcar más área de detección y, por lo tanto, se tiene la capacidad de detectar más vehículos.

Figura 7

Áreas de detección de vehículos



Nota. Adaptado de la presentación de “Control inteligente para problemas dinámicos de transporte” del Dpto. de Ing. Civil de la Universidad de Chile

Como estrategia de localización de estos detectores, según (Cortés & Sáez, 2009) la estrategia de localización consiste en la ubicación de los detectores tal que se alcance un tiempo de verde mínimo, según la siguiente expresión.

$$G_{min} = l_1 + \left[2 \times \text{Entero} \left(\frac{d}{20} \right) \right]$$

Donde:

G_{min} : Intervalo inicial de verde mínimo (seg)

d: Distancia entre detector y línea de parada (ft)

20: Distancia asumida entre vehículos en cola (ft)

l_1 : Tiempo de partida asumido (2 a 4 seg)

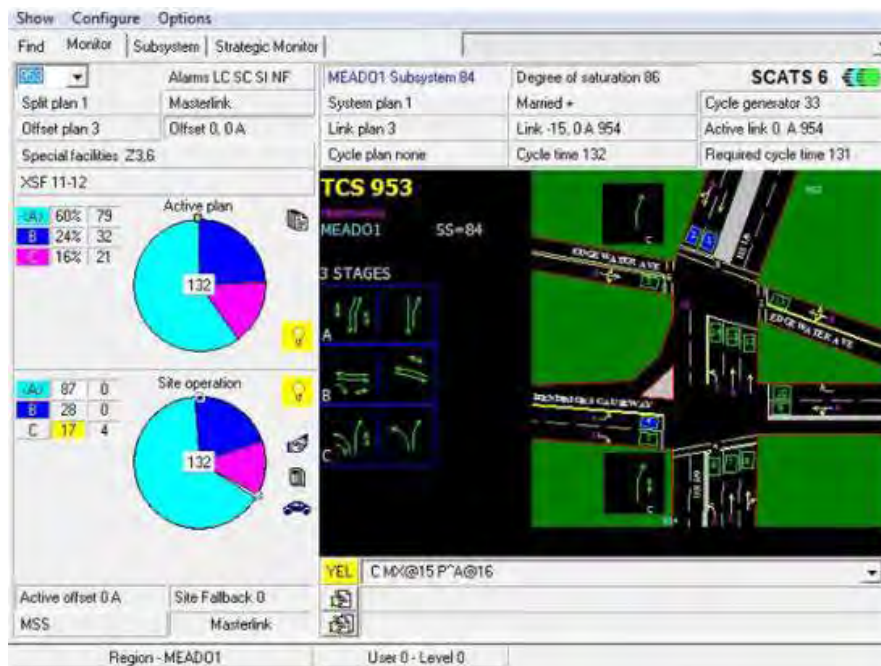
2: Frecuencia de saturación (seg)

2.3.6. Sistema SCATS

Todos los elementos descritos anteriormente, pertenecen al sistema de control dinámico llamado SCATS (Sidney Coordinated Adaptive Traffic System), el cual fue desarrollado por la Autoridad de Tráfico de caminos de Australia. Con el uso de los datos proporcionados, por detectores, cámaras y controladores, SCATS toma decisiones en tiempo real, con la capacidad de ejecutar tanto tiempos prefijados en base a la hora programada, como semáforos actuados

de fases variables. Este sistema proporciona una flexibilidad de la gestión del tránsito. Además, este sistema puede ser implementado para el control y la optimización de hasta 60 intersecciones en un solo computador. (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, 2022).

Figura 8
Interfaz de monitor sistema SCATS



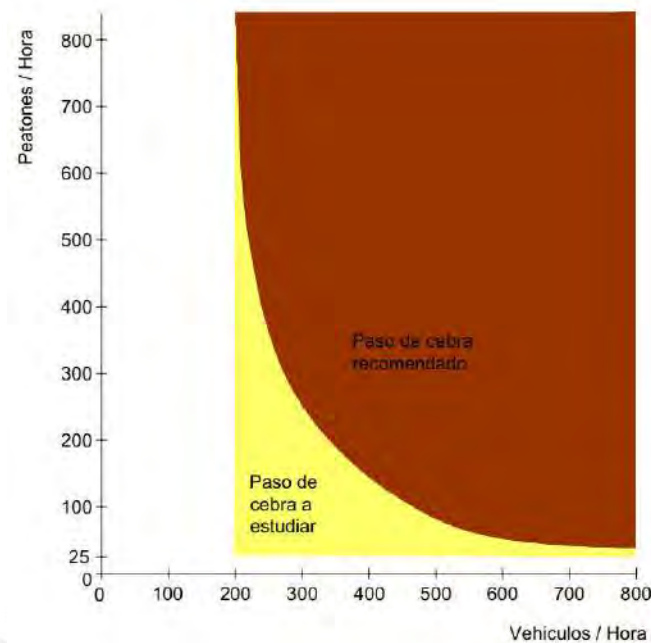
Nota. Adaptado del manual de señalización. Cap IV (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, 2022)

2.4. Cruceos peatonales

Los cruceos peatonales son parte de las buenas prácticas de la seguridad vial, por lo que es importante establecer coherentemente su ubicación y señalización correspondiente. Por esta razón, los cruceos peatonales están ubicados en estructuras urbanas alrededor del mundo. Son una medida de bajo costo para mejorar la movilidad peatonal en áreas urbanas. Además, juega un papel importante para el flujo de peatones y vehículos. (Feliciani, Gorrini, Crociani, & Bandini, 2020).

Figura 9

Criterio para definir el uso de cruces peatonales



Nota. Adaptado de *Criterios para la implantación de pasos de cebra*, por Ayuntamiento de Madrid, *Instrucción de Vía Pública* (Ficha 5).

Existen distintos tipos de cruces o pasos peatonales. Dentro de estos se encuentran los pasos tipo cebra, cruces semaforizados, y pasos a nivel o elevados. Según las recomendaciones del instructivo de vía pública del Ayuntamiento de Madrid (2000), es recomendable que en zonas donde exista una intensidad peatonal media o alta, se implementen cruces peatonales semaforizados, ya que no semaforizarlos penalizarían en exceso el tráfico rodante.

2.5. Comportamiento peatonal

Los peatones en un sistema vial tienen un comportamiento disperso. Cada usuario de a pie se mueve a una velocidad específica y marcan una trayectoria y un patrón de viaje diferentes. Las interrelaciones existentes entre la estructura urbana y el patrón de viaje no solo son complejas, sino que cuentan con una gran cantidad de dimensiones e interacciones posibles (Talavera-García & Valenzuela-Montes, 2014).

La caracterización del comportamiento de los peatones en un lugar de estudio es compleja, ya que cada individuo se comporta de forma estocástica; sin embargo, es posible clasificar el comportamiento de los usuarios de una vía en base a datos estadísticos. Por ejemplo, uno de los factores que revisa la literatura es el género como un indicador para clasificar a los peatones según su comportamiento.

Según datos del Ministerio de Salud del año 2009, se evidenciaron que en accidentes de tránsito el número de muertos de hombres es al menos 4 veces el número de víctimas mujeres. Esto refleja la posibilidad de que los hombres toman menos precauciones al momento de transitar por la vía pública. Schwebel & Stavrinou, aclara también, en base a resultados de una microsimulación en una calle que los varones tienden a ser menos cuidadosos al cruzar que las mujeres (2009). El factor de la edad, la clase socioeconómica, la ocupación, el grado de instrucción y la situación en general en el que se encuentran los peatones cuando se disponen a usar una intersección, cruzar una calle o transitar a través de una infraestructura vial también tienen una gran influencia en su comportamiento. Por tanto, es importante que no solo se enfatice en las relaciones del peatón con su entorno urbano. Es necesario explorar las condiciones que motivan las formas existentes de la movilidad peatonal (Talavera-García & Valenzuela-Montes, 2014). El comportamiento peatonal también es consecuencia de una serie de condiciones propias del mismo entorno como la accesibilidad, la seguridad, la accesibilidad el confort y el atractivo urbano.

Es necesario entender que el comportamiento de un peatón es más que el resultado del mismo entorno urbano. Obedece a conductas relacionadas a la edad, la educación vial, la experiencia, rasgos de personalidad, estilos, edad, sexo, condición física, motivación y condición emocional. Es lógico pensar que un peatón más precipitado y con menor percepción de riesgo está más expuesto a sufrir accidentes que los que transitan de forma segura, calmada y preventiva, tal como sustenta Camerer, las emociones también afectan la percepción de riesgo

(2005).

El comportamiento peatonal puede observarse indirectamente si se toma en cuenta ciertos indicadores o conductas que se observan en una zona de estudio. Es importante que se preste atención a las rutas atípicas trazadas por los peatones (Figura 3), las cuales, finalmente, podrían ser una propuesta de ruta, mediante la implementación de una infraestructura adecuada, para satisfacer las necesidades de movilidad de los peatones y para incrementar la seguridad reduciendo la exposición. Un estudio realizado en Sidney mostró que el 52% del tiempo que los peatones invierten en transitar es ocupado en la espera de los semáforos (Gehl & Svarre, 2013).

Figura 10

Rastros de rutas atípicas grabadas por peatones sobre nieve y césped



Nota. Estos rastros podrían indicar que hay una preferencia por estas rutas. Imagen extraída del libro (How to study public life)

Por ello, se debe tener en cuenta que los peatones buscan reducir tiempos de viaje y acortar las distancias, por lo que si existen personas que transitan por rutas atípicas no basta con tomar registro de los conflictos o el desorden vial que esto ocasiona, sino que se debe analizar con más profundidad las razones por las que un peatón prefiere evitar los semáforos y cruzar fuera de los cruces establecidos.

2.6. Micro simulación peatonal

El desplazamiento peatonal siempre ha estado presente dentro de cualquier ciudad. Antes de la existencia de vehículos, las personas caminaban, aunque menores distancias, para llegar a sus destinos. En la actualidad, los vehículos tienen el protagonismo dentro del sistema vial; sin embargo, el tránsito peatonal aún es un modo importante de desplazamiento. En un sistema vial complejo como el de las grandes ciudades, existen conflictos entre peatones y vehículos, por lo que es necesario estudiar el comportamiento de los usuarios de a pie, más aún cuando se requiere de un diseño vial enfocado en optimizar la movilidad de las personas.

La habilidad para predecir cómo los cambios en el entorno del peatón afectan en su comportamiento o en el flujo de este es importante para los diseñadores de infraestructuras que faciliten el transporte (Gipps & Marksjö, 1985). La tecnología nos sugiere que el comportamiento de las personas y las condiciones del estado de una infraestructura vial como su geometría, los obstáculos existentes, el flujo vehicular, la semaforización y la señalización que influyen e interactúan con las personas puede ser parametrizada a través de una micro simulación, la cual es la representación de la realidad a través de objetos virtuales dentro de un software.

2.7. PVT Vissim/Viswalk y Visvap

2.7.1. Vissim

Vissim es un software de simulación de tráfico mediante el cual se pueden representar las interacciones de vehículos de forma independiente en un área de estudio a nivel microscópico; es decir, con un alto nivel de detalle. Vissim representa el movimiento e imita el tráfico real, por lo que el software necesita de ciertos parámetros de entrada que son medibles en la realidad como el flujo vehicular, la velocidad media de los vehículos, los tipos de vehículos, el número de carriles, el ancho de cada carril y los ciclos semafóricos presentes. Todo esto ayudará a que el programa represente con precisión las condiciones del tráfico.

A partir de un modelo en Vissim se pueden obtener datos valiosos que son medibles y sirven de indicadores como los tiempos de viaje, las longitudes de cola, el flujo vehicular esperado en una zona de conflicto, mediante los cuales se consigue una gestión de tránsito eficiente que evite errores y, por lo tanto, costos elevados a causa de la implementación de una solución que no es coherente al comportamiento real del tráfico en la zona de estudio.

El software tiene distintas áreas de aplicación. Una de estas es la microsimulación multimodal de tráfico, mediante la cual se representa el movimiento de todo tipo de transporte, lo cual hace que el estudio tenga resultados más confiables basados en escenarios predichos por el programa.

Otra de las aplicaciones recae en los sistemas avanzados de gestión de tráfico, de manera que Vissim puede replicar un sistema de gestión para incrementar la eficiencia del flujo vial de la red.

2.7.2. Viswalk

Viswalk es una herramienta de micro simulación que permite recrear y analizar el flujo de peatones. A diferencia de Vissim, este software se basa en el comportamiento de los peatones y en el modelo de fuerza desarrollado por el Prof. Helbing como un parámetro de entrada. En la Figura 11, se visualiza modelos de microsimulación, desarrollados en Vissim y en Viswalk.

Figura 11

Modelo de micro simulación a través de Vissim y Viswalk



Nota. Adaptado de <https://www.ptvgroup.com/es/soluciones/>

El software genera una simulación de la cual se obtienen resultados cuantitativos y visuales como los tiempos de trayectoria, densidad, filas y tiempos de espera. La animación como resultado permite que se pueda entender lo que sucede en el escenario real y así definir propuestas enfocadas en el comportamiento humano priorizando la seguridad y la movilidad eficiente del peatón.

2.7.3. Visvap

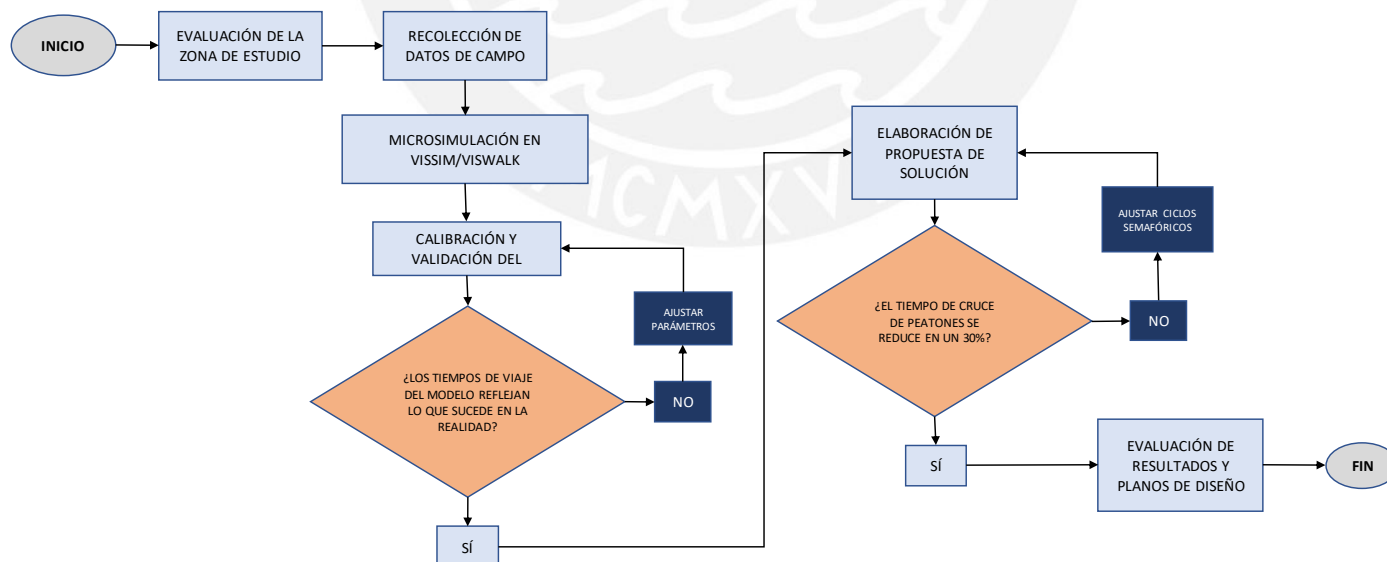
Es una herramienta que se integra con Vissim y Viswalk mediante el uso de diagramas de flujo y lógicas que permiten la ejecución de procesos y tareas dentro de Vissim, mediante la programación de fases semafóricas establecidas en el modelo, tiempos de interfase, densidad en secciones y detectores.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

El trabajo de investigación tendrá un enfoque cuantitativo, por lo que se recopilarán datos de la intersección elegida a través de registros de video, los cuales se emplearán para elaborar un modelo microscópico mediante el software VISSIM. La intersección de estudio fue elegida considerando el diseño geométrico, la capacidad y el aforo de peatones y vehículos. Existen otros nodos en la red vial que presentan problemas de congestión y aglomeración de peatones, pero la particularidad que tiene el lugar de estudio es su ubicación, ya que se encuentra contiguo a la primera estación BRT en dirección de sur a norte.

Los datos recolectados ayudarán a describir el comportamiento real de todos los usuarios que se movilizan a través de esta intersección; esta caracterización contribuirá a una representación de la situación real con ayuda de la micro simulación, la cual será correctamente calibrada y validada.

Figura 12
Flujograma de la metodología.



Nota. Diagrama del flujo de la metodología de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

Todos los datos relacionados a la demanda, señales de tránsito, estado actual de la infraestructura vial, semaforización existente, tipos de vehículos y el tiempo que usan los

usuarios para atravesar la intersección e ingresar a la estación Matellini serán extraídos del material de filmación y de visitas al lugar de estudio para elaborar el modelo de micro simulación. Con esta representación de la realidad se podrá predecir el comportamiento de usuarios y vehículos ante una implementación de semaforización actuada. Es importante que el modelo realizado sea una representación fiel a la caracterización del lugar de estudio para obtener resultados estocásticos, confiables y que permitan un análisis estadístico.

3.1. Evaluación del estado actual

A través de la observación, se identifican las condiciones geométricas y de movilidad presentes en la zona de estudio, de tal forma que se determine la hora en la que los problemas se acentúen más, los cuales se dan generalmente durante la hora punta.

Como la investigación tendrá un enfoque peatonal, se identifican los problemas de circulación, accesibilidad y seguridad vial. Además, es importante anotar los tiempos de espera a causa del ciclo semafórico y elementos u obstáculos que interfieran con el tránsito. Se identifican, también, los conflictos generados por el transporte público y la inseguridad que ocasiona en la vía.

3.2. Recolección de datos en campo

Se contrata el servicio de filmación mediante el uso de un dron para el tiempo de una hora de grabación en la zona de estudio. Se anotan los tiempos de ascenso y descenso del dron para compatibilizar los tiempos de grabación y se recolecta la siguiente información: Aforo peatonal y vehicular, Flujogramas de la intersección, Tiempos de viaje de peatones, Tiempos de semaforización, y Líneas de transporte público.

3.3. Microsimulación con Vissim/Viswalk

Para realizar la microsimulación se utiliza el software ingenieril Vissim y Viswalk, con los que se elabora un modelo que represente lo que se observa en la realidad, específicamente en la

intersección de estudio. Con lo obtenido a partir de la recolección de datos y la evaluación del estado actual, se realiza el esquema inicial de la intersección con el objetivo de facilitar la discretización de datos de entrada, los cuales son ingresados al programa para lograr la representación del escenario real en el modelo de simulación. Con el objetivo de mejorar la visualización en el área de trabajo del programa, se incluye una imagen de la intersección, ya que sirve de referencia y ayuda a la localización de puntos estratégicos para mediciones y compatibilizaciones con el modelo.

En la calibración y validación del modelo se ajustan los parámetros de forma iterativa, de modo que se tenga la certeza de que el modelo realizado es una fiel representación del escenario real. De un modelo calibrado y validado correctamente se obtienen datos y resultados importantes, pero sobre todo coherentes que ayuden a determinar una propuesta de solución y mejora oportuna.

3.4. Elaborar propuesta de solución

Realizado el modelo y obtenidos los datos, se elaboran las intervenciones que den una solución oportuna a los problemas identificados al inicio de esta investigación. Para elaborar esta propuesta se debe integrar todos los conocimientos acerca de la seguridad vial, el comportamiento peatonal y la semaforización orientada a peatones, de tal manera que se defina una propuesta que mejore y satisfaga la accesibilidad y necesidades de una movilidad óptima en la intersección de estudio. A partir de esta propuesta, se representan las modificaciones en el modelo de microsimulación, mediante el cual se verifica que se logren los objetivos propuestos.

CAPÍTULO IV. CASO DE ESTUDIO

4.1. Evaluación y caracterización del estado actual

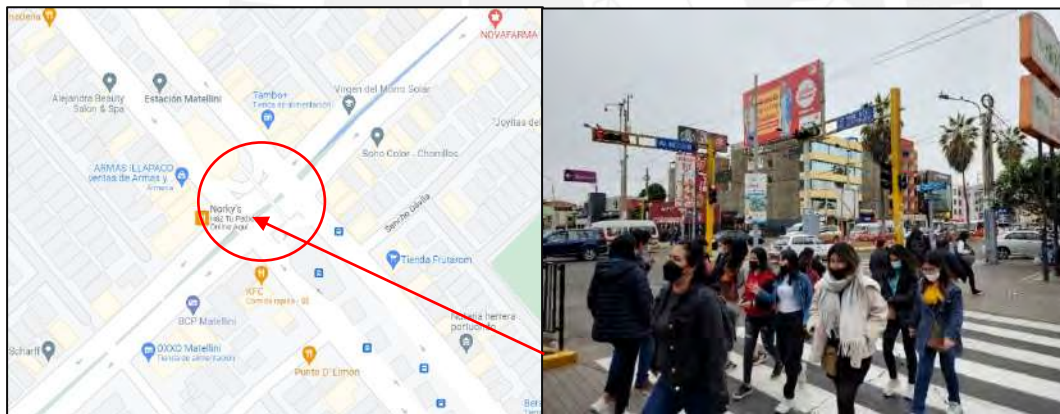
4.1.1. Ubicación de zona de estudio

La intersección de estudio se ubica en la zona norte del distrito de Chorrillos, en el cruce de las avenidas Matellini y Prolongación Paseo de la República, la intersección se encuentra contigua a la estación BRT Matellini.

La zona de estudio es un lugar muy concurrido por peatones que desembarcan de las estaciones del servicio BRT Metropolitano, así como por peatones que se disponen a embarcar en dichas estaciones de transporte público. Como se observa en la Figura 13, en una de las esquinas de la intersección, se observa un grupo de peatones cruzando hacia la estación BRT Matellini.

Figura 13

Cruce de peatones en la intersección de la Av. Matellini con Paseo de la República.

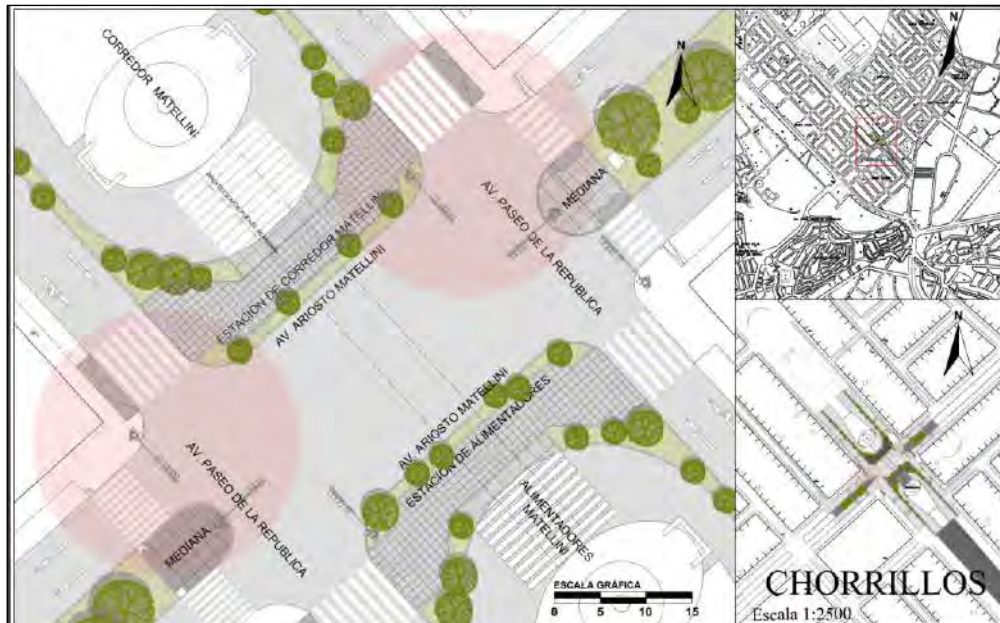


Nota. Elaboración propia.

En la Figura 14, se observa la ubicación en planta de la zona de estudio. La zona sombreada representa las dos esquinas que presentan problemas de aglomeración, tiempos de espera largos para peatones e inseguridad vial, debido al poco espacio que existe en las aceras, lo cual genera que algunos peatones ocupen parte de las vías.

Figura 14

Vista en planta de la intersección Av. Matellini con Av. Paseo de la República.



Nota. Dentro del círculo se observa la zona focalizada de estudio. Elaboración propia

La estación Matellini es una de las estaciones BRT más concurridas, ya que es la primera estación en dirección de sur a norte. Según un estudio realizado por el Instituto Metropolitano Protransporte de Lima, se esperaba que la cantidad de usuarios en hora punta sea de 11, 546 peatones por hora; es decir, 16 peatones por minuto (2006).

Figura 15

Foto referencial de la estación Matellini.



Nota. Tomada de <http://www.metropolitano.gob.pe/conocenos/infraestructura/patios/>

4.1.2. Accesos a la intersección

La intersección de estudio tiene cuatro accesos para vehículos. El primer y segundo acceso se encuentran en la Av. Paseo de la República. El tercer y cuarto acceso se encuentra en la avenida Matellini. Esta información se detalla en la Figura 9. Los accesos más usados en la intersección

son los accesos 1 y 2 que corresponden a la Avenida Paseo de la República, que es una de las avenidas que conecta los distritos más importantes de la ciudad de Lima, por lo que el flujo de vehículos es importante, sobre todo en horas pico. Además, es importante resaltar que esta avenida comienza a una cuadra de la intersección y estación Matellini. Es decir, la intersección marca el inicio de esta importante avenida.

Figura 16

Accesos vehiculares a la intersección

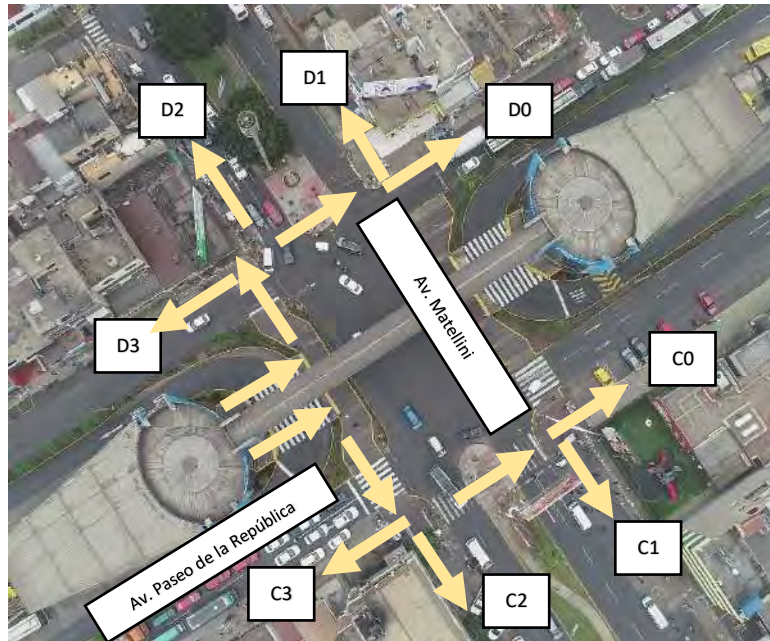


Nota. Adaptado de *Google Earth*, esquemas de elaboración propia.

Asimismo, en la intersección se pudo observar que una gran cantidad de peatones transitan en diferentes direcciones a través de esta intersección. A continuación, se detallará mediante dos esquemas, los destinos típicos y puntos de partida considerados en el estudio.

Figura 17

Flujograma peatonal de salida



Nota. En la imagen se muestran las rutas más usadas por los peatones que llegan al distrito de Chorrillos en el servicio BRT Metropolitano, así como los destinos típicos.
Fuente: Elaboración propia.

Existen dos grupos de peatones que transitan por la intersección en la hora pico. El primero agrupa a los peatones que llegan a la estación Matellini y salen de la estación BRT con destino a sus centros de labores o a los paraderos de transporte público cercanos. El segundo grupo consta de los peatones que transitan a través de la intersección en dirección hacia la estación BRT Matellini, motivo por el cual, en horas de gran afluencia de peatones y vehículos, no solo se generan conflictos entre peatón y vehículo, sino también entre los mismos peatones al momento de hacer uso de los cruces peatonales.

Figura 18

Peatones saliendo de la estación BRT Matellini



Nota. Elaboración propia.

Figura 19

Flujograma de entrada peatonal hacia la estación BRT Matellini



Nota. La imagen muestra la historia de rutas de los peatones que se movilizan hacia la estación.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Geometría de la intersección

La intersección tiene dos medianas ubicadas en la Av. Matellini las cuales tienen una dimensión de 5.60 metros de ancho. Existe una ciclovía recientemente implementada en esta mediana. El ancho de vía en esta avenida es de 6 metros y el de las aceras de 2.8 metros con una ampliación en las esquinas que sirven como refugio, tal como se observa en la figura 12.

Figura 20

Medianas ubicadas en la zona central de la Av. Matellini en dirección Sudoeste



Nota. Elaboración propia

En la Av. Paseo de la República el ancho de vía es de 7 metros y el ancho de acera está reducido a 2.4 metros. En esta avenida se encuentran las dos estaciones BRT del Metropolitano, tanto del sistema de corredores como el de alimentadores.

Figura 21

Dimensiones de vías y de las aceras de la Av. Paseo de la República



Nota. Elaboración propia

4.2. Problemas en la intersección

4.2.1. Señalización e infraestructura deficiente

En esta intersección se observó, tal como se muestra en la Figura 22, que la infraestructura vial tiene deficiencias de mantenimiento y aunque exista señalización, esta se encuentra deteriorada y pierde el protagonismo ante una gran congestión vehicular y un tránsito de peatones conflictivo.

Figura 22

Señalización deteriorada



Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, en la Figura 23 se observa que no hay una señalización que prohíba el estacionamiento, por lo que esta zona es usada como paradero informal. Se puede observar que la combi se encuentra detenida en medio de la rampa de acceso y a menos de un metro del cruce peatonal. Existen paraderos formales (círculo celeste), pero su señalización aún no queda clara ni bien definida. Estos paraderos están mal ubicados, ya que se encuentran muy cerca a la intersección y a la semaforización. Esto sumado al congestionado tránsito de la avenida Matellini que solo cuenta con dos carriles genera largas colas de vehículos.

Figura 23

Paraderos informales en la intersección



Nota: Muestra que existe una tendencia por parte de los vehículos de transporte público de utilizar esta zona de la intersección como paradero informal. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 24, se puede observar con más detalle el uso indebido de esta zona, que debería estar despejada para peatones, como paradero informal de combis y mototaxis. Esto no solo genera una entropía elevada en la intersección, sino que genera cambios de movimientos y direcciones en los peatones, por lo que se genera un aumento de tiempos de viaje, una mayor distancia de viaje, una ineficiencia de la movilidad peatonal y eleva la exposición de las personas que tienen que trasladarse por otras rutas.

Figura 24

Vehículos de transporte urbano estacionadas en medio de un cruce peatonal



Nota. Elaboración propia.

En la intersección se observó una falta de mantenimiento con la señalización de los cruces peatonales, por lo que el peatón podría estar vulnerado. La Figura 25 muestra la localización de estas deficiencias. Como se observa en esta figura, existen tres zonas críticas en las que casi no se visualizan las líneas de cruce peatonal, por lo que el peatón queda completamente vulnerable ante los vehículos. Esto contribuye a la falsa percepción de que los peatones no tienen prioridad y que los vehículos no deberían disminuir la velocidad en la intersección, lo cual resulta incoherente, puesto que existe un gran flujo de personas en los cruces peatonales de la intersección.

Figura 25

Croquis de ubicación de cruces peatonales mal señalizados.

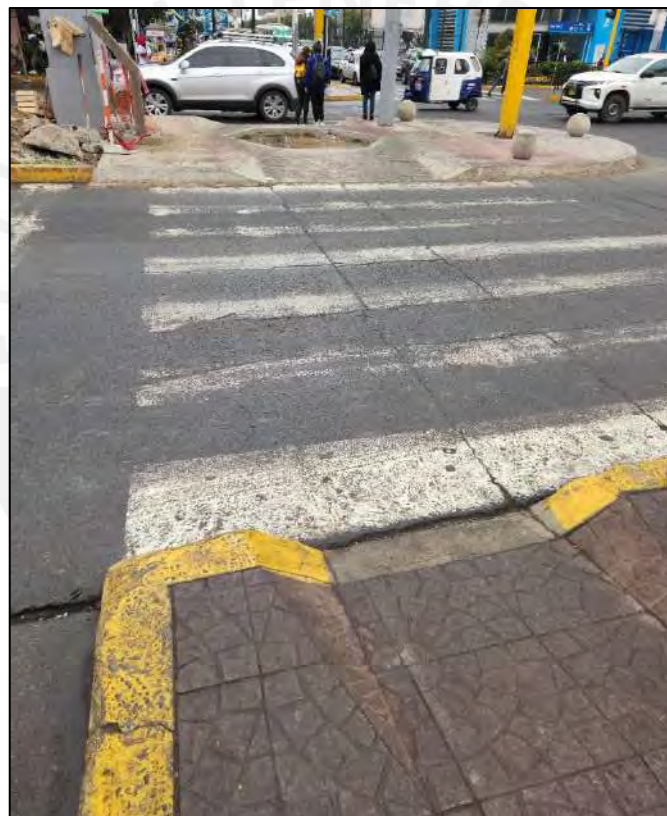


Nota. La figura muestra la ubicación de cruces peatonales en mal estado. Fuente: Elaboración propia

Esto evidencia que las necesidades con respecto a accesibilidad y seguridad del peatón no están cubiertas en la intersección, a pesar de que es una intersección que sirve de anexo y conexión con la primera estación BRT de sur a norte y, por tanto, una de las más concurridas por peatones en horas pico.

Figura 26

Ancho de rampas en la intersección



Nota. Elaboración propia

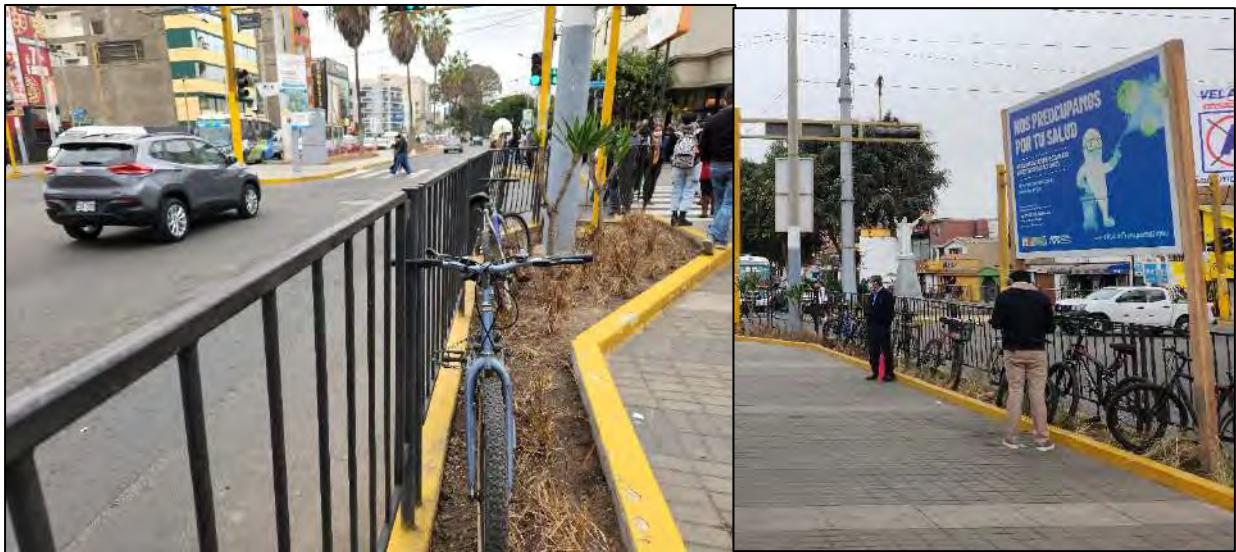
Existen rampas para discapacitados en la intersección que no satisfacen criterios de accesibilidad, por lo que las personas en silla de ruedas o de la tercera edad no pueden tener una movilidad eficiente.

4.2.2. Ubicación de ciclo parqueaderos

En esta figura, se aprecia que existen barandas como medidas de protección al peatón usadas como parqueaderos de bicicletas, lo cual genera una percepción de desorden e informalidad, ya que no se cuenta con una infraestructura formal orientada a peatones y al uso de un sistema de transporte intermodal.

Figura 27

Rejas de protección al peatón usadas como ciclo parqueaderos



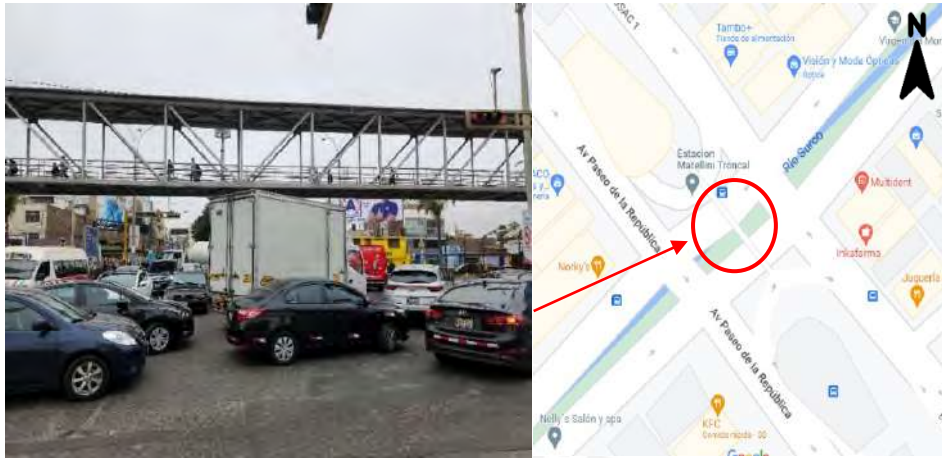
Nota. Elaboración propia.

4.3. Caracterización del comportamiento de los peatones

Se puede apreciar que los peatones, de los cuales la mayoría es usuario directo del servicio BRT, están expuestos ante la gran presencia de vehículos y al caos propio de una intersección con poca señalización y una semaforización deficiente y desactualizada.

Uno de los problemas observados en la intersección es la congestión vehicular. En horas punta, se registra una gran afluencia de vehículos, que generalmente durante cortos y repetitivos periodos se aglomeran en medio de la intersección.

Figura 28
Congestión vehicular

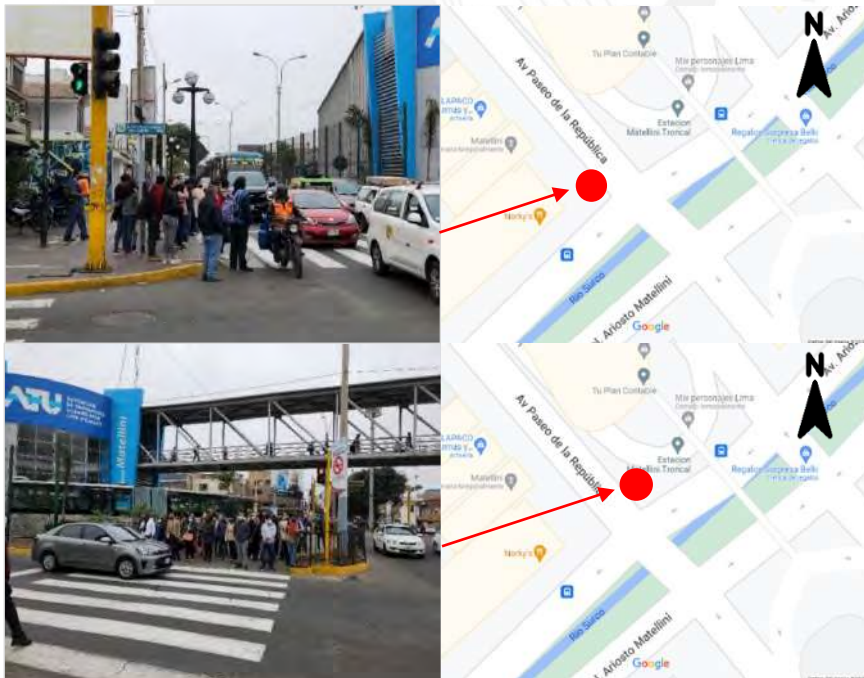


Nota. Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 28, se puede apreciar un nivel alto de entropía en la intersección.

Esto influye en la forma en que los peatones transitan por la intersección.

Figura 29
Aglomeración de transeúntes que se disponen cruzar la avenida Paseo de la República



Nota. Debido a la presencia de largas colas en las estaciones BRT, los peatones buscan la forma de llegar entrar a la estación en el menor tiempo posible. Fuente: Elaboración propia.

Es muy usual que los peatones invadan los carriles de los vehículos, ya que se genera una gran aglomeración en las esquinas más cercanas a la estación (Figura 29), lo cual impide el tránsito libre por las aceras, se generan conflictos de tránsito entre peatones y el flujo vehicular disminuye drásticamente.

Figura 30

Vehículos detenidos en medio del cruce peatonal y peatones cruzando durante la fase ed vehículos



Nota. Elaboración propia

La disminución preventiva de velocidad de los vehículos, permite que gran parte de los peatones aglomerados en las esquinas crucen sin respetar el semáforo. Esta actitud es respondida por los vehículos que en ocasiones también ignoran la semaforización.

Como se aprecia en la Figura 31, los peatones intentan acortar distancias de cruce y ahorrarse tiempo para poder llegar a la estación Matellini transitando por la zona central de la intersección, aun cuando no existe un cruce peatonal en diagonal

Figura 31

Rutas establecidas por peatones para disminuir tiempos de viaje hacia la estación BRT.



Nota. Elaboración propia

Figura 32

Puente peatonal que conecta las estaciones de los alimentadores con las estaciones del corredor BRT.

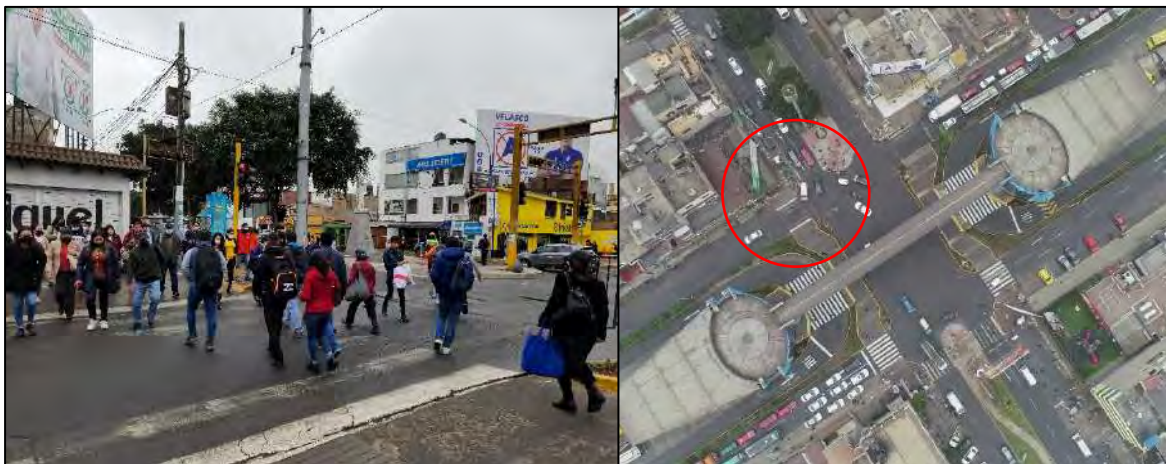


Nota. Elaboración propia.

Existe un grupo de peatones que no transitan directamente a través de la intersección. Tal como se observa en la figura 32, estos peatones recurren al uso del puente peatonal, el cual conduce hacia la estación de alimentadores del Metropolitano.

Figura 33

Peatones aglomerados en la acera y cruzando durante la fase semafórica de vehículos.



Nota. Elaboración propia

Figura 34

Aglomeración de peatones a la espera del cruce.



Nota. Elaboración propia

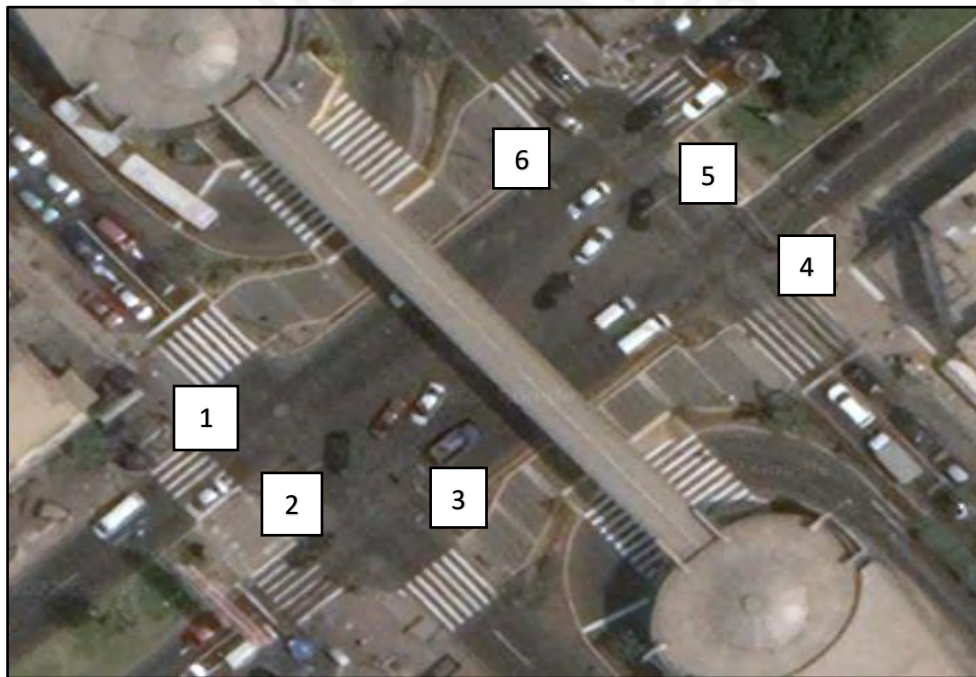
4.4. Ubicación de semáforos y ciclos semafóricos

4.4.1. Ubicación semafórica

Se pudo registrar que, en la zona noreste de la intersección, existen 3 semáforos para vehículos. Las luces de estos semáforos no cuentan con una luminosidad adecuada, por lo que generan una percepción de una señalización deficiente en esa zona de la intersección. En la intersección existen 6 semáforos para vehículos (Ver Figura 35) distribuidos en los accesos 1 y 2 (Ver Figura 16). Se puede visualizar el detalle de los semáforos en la Figura 36 y 37.

Figura 35

Ubicación de los semáforos para vehículos implementados en la intersección



Nota. Elaboración propia

Figura 36

Semaforización ubicada en la avenida Paseo de la República (Acceso 2)



Nota. Elaboración propia.

Figura 37

Ubicación de la semaforización 4,5 y 6 (Acceso 1)



Nota. Elaboración Propia

En la intersección existe un sistema semafórico para peatones, pero no es coherente con las necesidades del peatón en hora pico. Se registraron un total de 6 semáforos para peatones como se observa en la Figura 38.

Figura 38
Croquis de ubicación de los semáforos peatonales



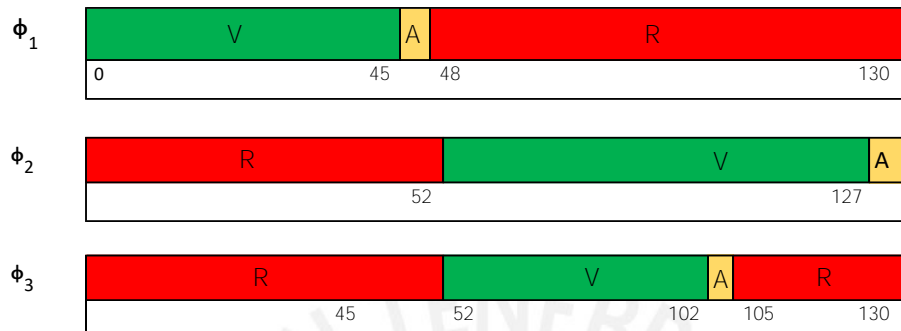
Nota. Elaboración Propia

4.4.2. Ciclos semafóricos

La intersección cuenta con 3 fases para vehículos con un ciclo semafórico de 130 segundos

Figura 39

Esquema de fases de semáforos para vehículos

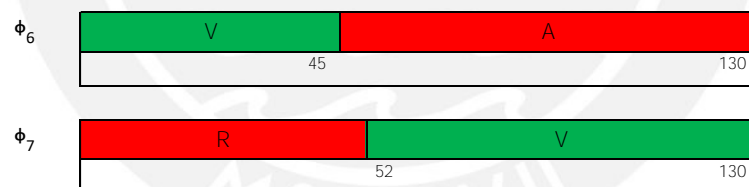


Nota. Elaboración propia

Respecto a los ciclos semafóricos peatonales, se registraron 2 fases semafóricas, las cuales son detalladas a continuación

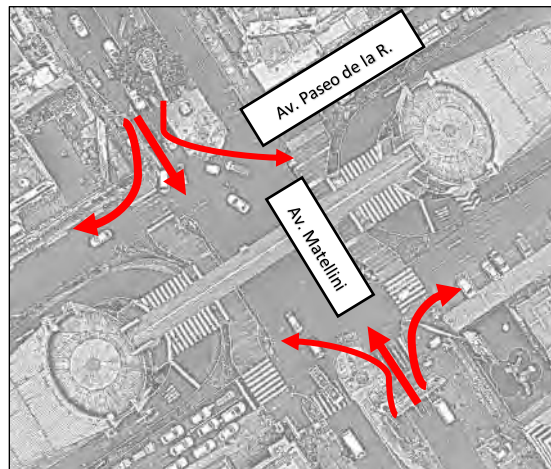
Figura 40

Ciclos semafóricos peatonales



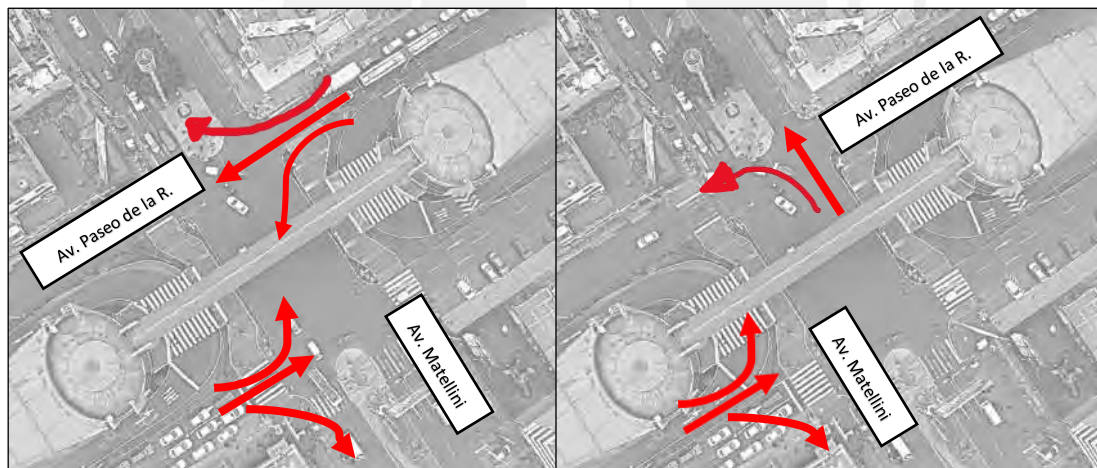
Nota. Elaboración propia

Figura 41
Primera fase semafórica



Nota. Elaboración propia

Figura 42
Segunda y tercera fase semafórica



Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO V. MICRO SIMULACIÓN

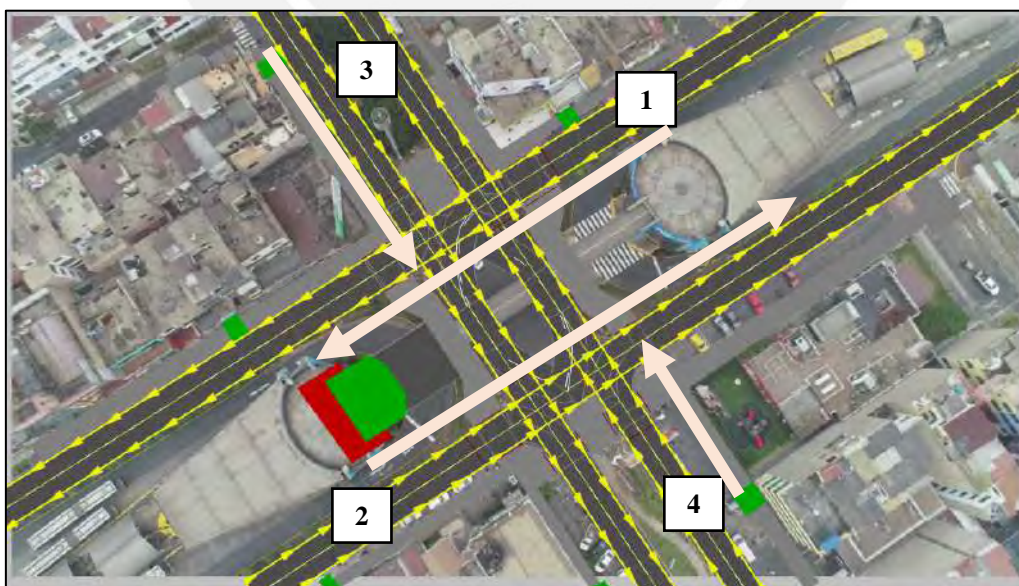
5.1. Desarrollo del modelo

En el presente capítulo, se desarrolla el modelo de micro simulación mediante el uso del software Vissim y Viswalk, el cual representará la situación actual de la intersección de estudio sin la implementación de la propuesta de solución. Para ello, se usaron datos recolectados en campo como dimensiones geométricas de la intersección, imágenes aéreas capturadas con un dron y el aforo peatonal y vehicular. Se realiza la calibración y validación posterior para garantizar que el modelo es una representación de la realidad.

En el modelo de micro simulación, se consideraron 4 links principales, las cuales corresponden a cada acceso vehicular descrito con anterioridad. En la Figura 43, se puede observar los 4 links con sus respectivas orientaciones. Estos links recolectan datos de flujo vehicular, por lo que se representaron sus respectivos anchos de carril, los cuales fueron medidos en las visitas a campo realizadas.

Figura 43

Links considerados en el modelo de microsimulación



Nota: Elaboración propia

Para establecer la composición vehicular presente en la intersección, se realizaron visitas de campo, con la finalidad de identificar el día y la hora pico. Luego se tomó el registro visual aéreo a través del uso de un dron en la hora y días picos establecidos. Se seleccionaron dos días de la semana para el registro visual. El día martes se registraron los datos para la calibración, mientras que el día miércoles se usó para la validación del modelo. Se estableció como hora pico teniendo en cuenta la gran afluencia de peatones a la estación BRT Matellini, los cuales se movilizan a partir de las 6:00 am. Se observó que, con la necesidad de movilizarse hacia sus centros de estudios y trabajo, los peatones recurren al servicio de transporte masivo a partir de las 6:30 am, por lo que finalmente se consideró como intervalo de análisis las horas comprendidas entre las 7:30 am y las 8:30 am.

Figura 44

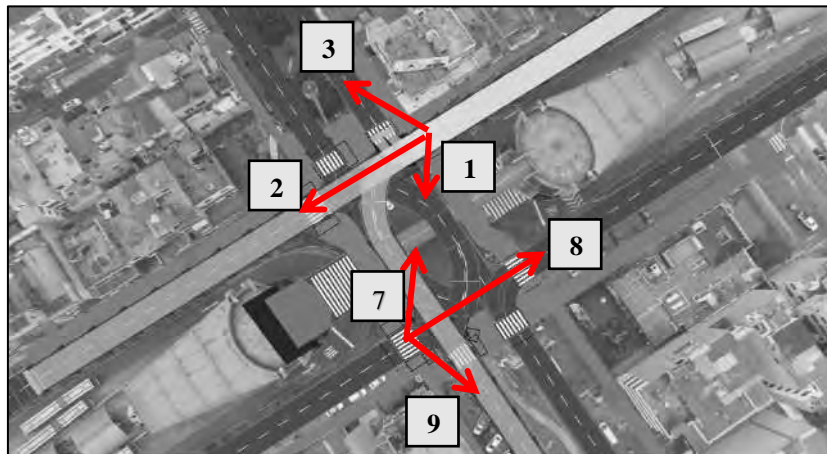
Vista en planta del modelo de microsimulación



Nota: Elaboración propia.

Figura 45

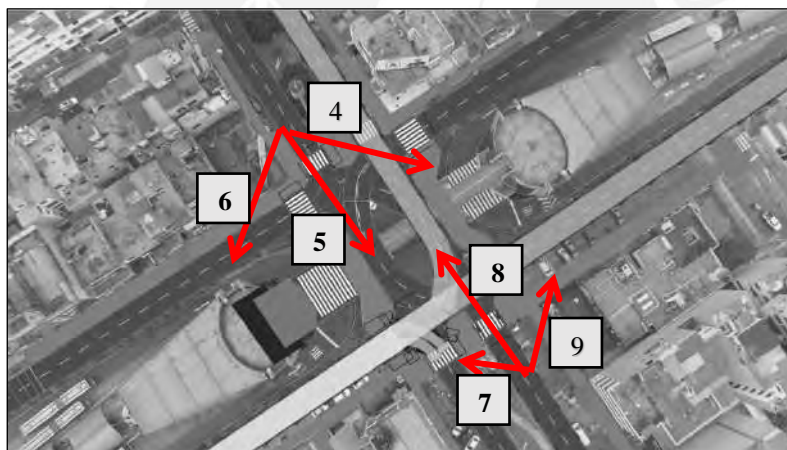
Rutas consideradas del acceso 1 y 2 para el modelo en Vissim



Nota. Para el acceso 1, se consideraron 4 rutas vehiculares. Elaboración propia.

Figura 46

Rutas vehiculares para el acceso 3 y 4



Nota. Elaboración propia

En la Figura 47, se puede apreciar la representación gráfica del modelo de micro simulación. Además, se puede visualizar el gran número de peatones que se dirigen a la estación BRT, por lo que se evidencia el gran número de conflictos de movilidad existentes en los cruces peatonales más cercanos a la estación Matellini.

Figura 47

Modelo de microsimulación del estado actual a través de la herramienta Vissim/Viswalk



Nota. Elaboración propia

A continuación, se muestran los ciclos semafóricos para vehículos considerados en el modelo de micro simulación.

Figura 48

Fases semafóricas definidas para vehículos dentro del modelo de microsimulación

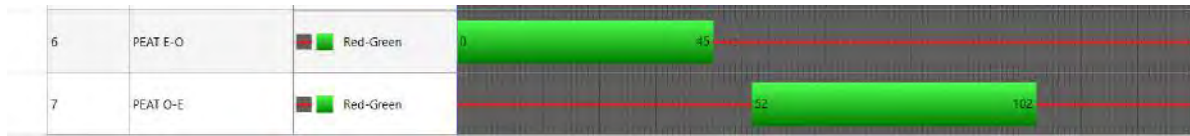


Nota: Elaboración propia

Asimismo, se definieron los ciclos semafóricos orientados a peatones del estado actual, los cuales se muestran a continuación.

Figura 49

Fases semafóricas de peatones

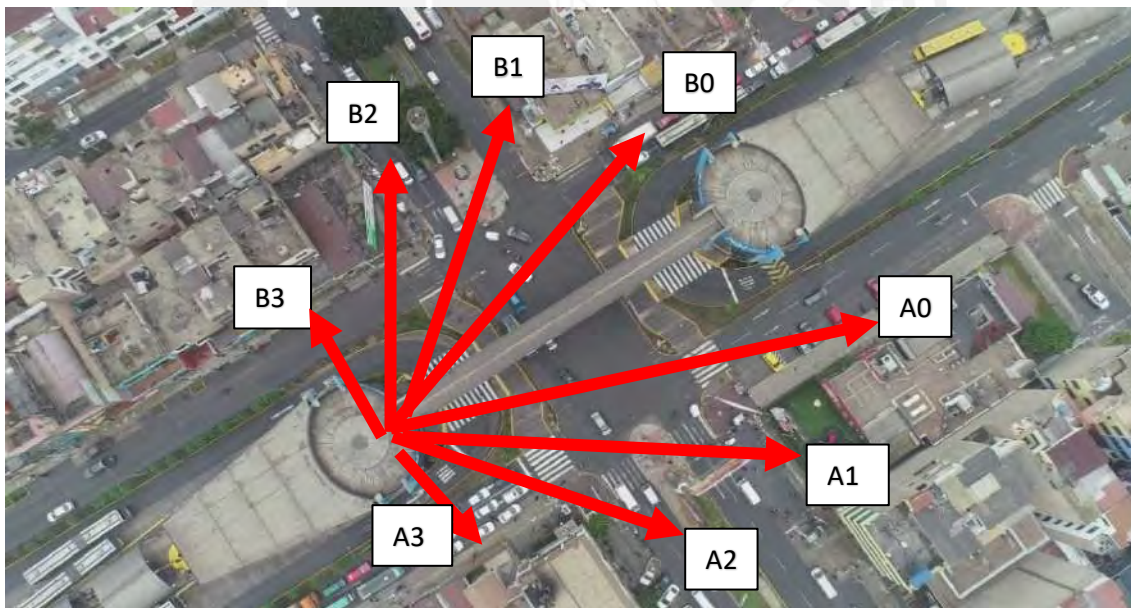


Nota. Elaboración propia.

Para el modelado de las rutas peatonales, se asignó una nomenclatura específica en concordancia con el origen y el destino. Como se observa en la figura, los destinos del grupo B fueron asignados a la zona este de la Av. Matellini y los destinos A fueron asignados a la zona oeste de la Av. Matellini. Esta misma codificación fue usada para la realización del modelo y la asignación de las “*Pedestrian routes*”

Figura 50

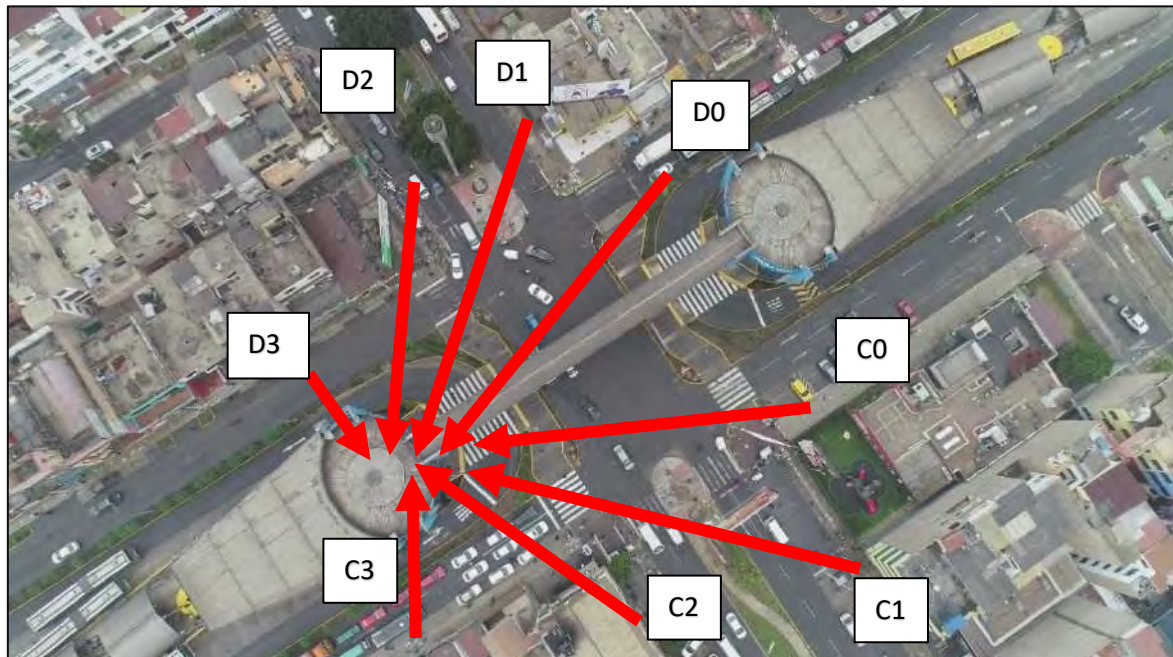
Nomenclatura y flujo de los accesos peatonales desde la estación BRT



Nota. Se consideró un número determinado en campo de peatones que salen de la estación BRT Matellini en la hora pico. Posteriormente se dividió en flujos relativos dependiendo de la ruta que tomaba el peatón. Fuente: Elaboración propia. Asimismo, se asignaron los orígenes D a la zona este de la Av. Matellini y los orígenes C a la zona oeste de la Av. Matellini.

Figura 51

Flujos peatonales que se dirigen e ingresan a la estación BRT Matellini



Nota. Elaboración propia.

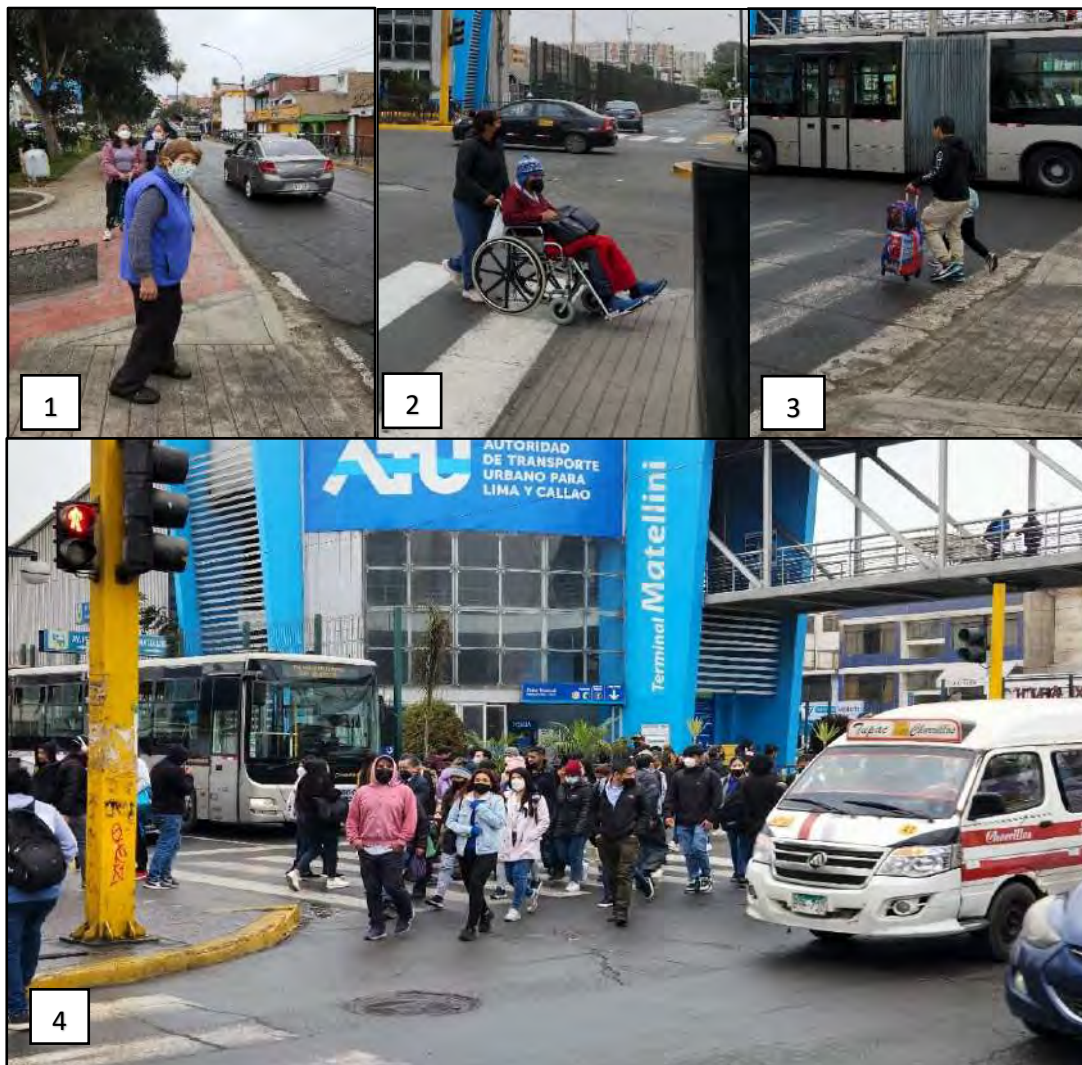
También se consideraron rutas auxiliares que no tienen como origen ni destino a la estación BRT Matellini. El conteo peatonal de estas rutas puede apreciarse en los anexos. Aunque algunas de estas rutas no interactuaban con las esquinas cercanas a la estación BRT Matellini, sí forman parte de toda la red estudiada, por lo que el desempeño final del movimiento peatonal también se verá afectado por ellas.

5.2. Calibración del modelo de micro simulación

Para la calibración del modelo se usaron los datos registrados el día martes en la mañana. Se consideró una composición peatonal dividida en cuatro grupos. El grupo 1 está conformado por peatones con alguna discapacidad. El segundo grupo, por personas de la tercera edad. El tercer grupo engloba a niños o adolescentes que se dirigen hacia sus centros de estudios algunos acompañados de un adulto mayor y el cuarto grupo engloba al resto de peatones hombres y mujeres de edad adulta. Esta composición es detallada en la Figura 53.

Figura 52

Composición peatonal considerada en el modelo de microsimulación



Nota. (1) Personas vulnerables, (2) Usuarios discapacitados (3) Menores con adulto mayor (4) Adultos mayores entre hombres y mujeres. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la definición de rutas de entrada y salida peatonal a la estación BRT, se obtuvo los datos del aforo correspondiente a una hora. Los valores son resumidos en la Tabla 1 y en la Tabla 2. Se indica el número total de peatones que transitan por cada ruta.

Tabla 1*Resumen del aforo peatonal desde la estación BRT registrado para la calibración*

Hora	Salen de BRT	Ruta C0	Ruta C1	Ruta C2	Ruta C3	Ruta D0	Ruta D1	Ruta D2	Ruta D3
7:00-7:15	327	7	91	95	31	5	55	41	2
7:15-7:30	364	10	108	89	28	8	51	65	5
7:30-7:45	313	11	81	91	19	9	36	60	6
7:45-8:00	336	13	98	94	37	11	31	44	8
Total	1340	41	378	369	115	33	173	210	21
Rel	1	0.031	0.282	0.275	0.086	0.025	0.129	0.157	0.016

Nota. Los datos muestran el número de peatones que salen de la estación y se dirigen a las respectivas sub rutas definidas en la Figura 50 y 51. Fuente: Elaboración propia

Tabla 2*Resumen del aforo y las rutas peatonales hacia la estación BRT Matellini*

Hora	Ruta C0	Ruta C1	Ruta C2	Ruta C3	Ruta D0	Ruta D1	Ruta D2	Ruta D3
7:00-7:15	4	150	58	10	131	20	440	29
7:15-7:30	9	152	78	15	135	22	351	21
7:30-7:45	12	160	86	18	146	25	368	24
7:45-8:00	10	168	80	16	139	23	329	29
Subtotal	35	630	302	59	551	90	1488	103
Rel	0.0107	0.1934	0.0927	0.0181	0.1691	0.0276	0.4567	0.0316
Total				3258				

Nota. Las rutas son definidas en la Figura 50 y 51. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la composición vehicular se consideraron siete tipos de vehículos para el modelado de microsimulación. Cada tipo velocidad vehicular fue adaptado de acuerdo a los datos y mediciones obtenidos en campo.

Figura 53

Composición vehicular registrada en la intersección



Nota. (1) BRT, (2) Vehículo particular, (3) Combi, (4) Moto, (5) Bus, (6) Mototaxi, (7) HGV.

La Tabla 3 muestra el resumen del aforo vehicular usado para la calibración del modelo de microsimulación. El detalle de los accesos considerados en el registro de datos, así como la nomenclatura de cada acceso se puede visualizar en la Figura 16.

Tabla 3

Tabla resumen del aforo vehicular para la calibración

Hora	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4
7:00-7:15	270	355	214	114
7:15-7:30	268	356	220	125
7:30-7:45	274	350	216	135
7:45-8:00	281	357	211	131
Total	1093	1418	882	505

Nota. Elaboración propia

Para calibrar el modelo, también se usaron parámetros de eficiencia como el tiempo de viaje vehicular. Estos datos fueron registrados en el acceso 3 detallado en la Figura 16. Se consideró este acceso, debido a que en la avenida Matellini se presentan las mayores

longitudes de colas, debido al tránsito de vehículos de transporte público formal e informal en esta vía. Además, genera un mayor número de conflictos entre peatones y vehículos en este acceso.

Tabla 4

Registro de tiempos de viaje en la avenida Matellini (Acceso 3)

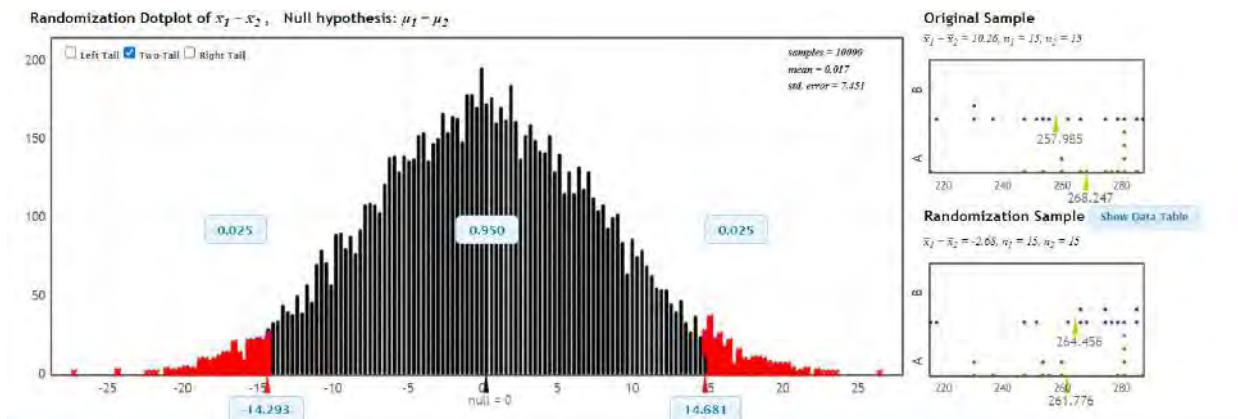
Tiempos de viaje vehicular para la calibración (s)				
281	260.5	276.2	230.5	248.3
209.5	250.5	260.2	200.1	286
270.1	153	251.6	285.5	201.2
281.3	260.5	280.1	209.54	289.65
220.5	286.4	278.4	200.8	265.7
251.5	251.9	266.3	282.4	215.6
207.2	282.6	281.6	167.9	262.1
201.6	208.6	204.6	150.6	251.2

Nota. Se registró una muestra de 40 mediciones. Elaboración propia.

Mediante la herramienta de Stat Key se pudo simular aleatoriamente escenarios para obtener la diferencia de medias, la cual se encuentra dentro del área de distribuciones correspondiente al 95% de confiabilidad determinado por la herramienta estadística, por lo que se concluye que validando la hipótesis nula el modelo se encuentra calibrado.

Figura 54

Diagrama proporcionado por la herramienta Stat Key para la calibración usando tiempos de viaje vehicular



Nota. Adaptado del sitio web de Stat Key con el uso de los datos registrados

Tabla 5*Tabla de calibración mediante el criterio del p value para vehículos*

Nº Corrida	Medición campo tiempo de viaje veh (s)	Tiempo de viaje Vissim (s)
1	281	286.14
2	270.1	274.79
3	281.3	287.29
4	260.5	281.85
5	280.1	218.49
6	281.6	231.92
7	282.4	253.88
8	286	231.29
9	248.3	251.80
10	276.2	263.62
11	254	256.04
12	215.5	279.44
13	267.8	238.15
14	278.4	247.33
15	260.5	267.75
media	268.25	257.98
s	18.594	21.727
t	2.1448	2.1448
gdl	14	14
e	0.050	0.050
p value	0.176	
N minimo	9	0

Nota. Elaboración propia

De igual forma, se usó el tiempo de viaje peatonal como parámetro de calibración

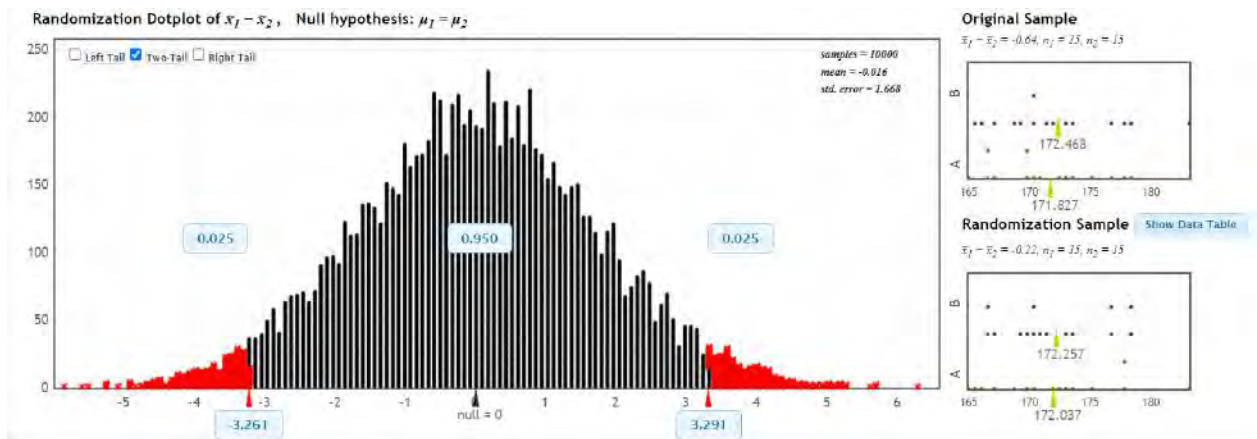
Tabla 6*Registro de tiempos de viaje peatonal*

Tiempos de viaje peatonal para la calibración (s)				
160.2	167.3	180	178.2	177.2
165	177.6	171.3	170.5	172.7
164.1	175.3	170.2	176.3	178.6
178.9	185.1	165.3	173.3	178.1
177.1	172.9	174.6	178.2	173.8
169.9	166.8	166.5	180.2	171.3
158.8	169.7	173.2	167.1	170.1
160.1	178.5	171.9	172.7	165.9

Nota. Se registraron un total de 40 mediciones

Figura 55

Diagrama proporcionado por la herramienta Stat Key para la calibración usando tiempos de viaje peatonal



Nota. Adaptado del sitio web de Stat Key con el uso de los datos registrados

Tabla 7

Tabla de calibración mediante el criterio p value para peatones

Nº Corrida	Medición campo tiempo de viaje peatonal (s)	Tiempo de viaje Vissim (s)
1	165	170.57
2	175.3	177.91
3	170.2	177.13
4	171.3	173.91
5	178.2	178.58
6	167.1	166.14
7	173.2	169.76
8	177.1	168.98
9	166.8	167.28
10	170.5	170.83
11	178.6	183.21
12	173.8	172.11
13	170.1	171.69
14	167.3	165.56
15	172.9	173.36
media	171.83	172.47
s	4.273	4.987
t	2.1448	2.1448
gdl	14	14
e	0.050	0.050
p value		0.708
N minimo	1	2

Nota. Elaboración propia

5.3. Validación del modelo

Para la validación del modelo se consideraron aforos vehiculares y peatonales, así como tiempos de viaje de cada uno de ellos respectivamente. Las rutas y sub rutas peatonales se especifican en la Figura 50 y 51. El resumen de los datos se visualiza en las Tablas 8 y 9.

Tabla 8

Resumen del aforo peatonal y rutas peatonales desde la estación BRT para la validación

Hora	Salida de BRT	Ruta C0	Ruta C1	Ruta C2	Ruta C3	Ruta D0	Ruta D1	Ruta D2	Ruta D3
7:00-7:15	342	10	101	99	35	8	36	48	5
7:15-7:30	359	9	124	86	30	7	32	67	4
7:30-7:45	339	13	96	94	28	11	36	53	8
7:45-8:00	343	10	116	96	31	8	32	45	5
Total	1383	42	437	375	124	34	136	213	22
Rel	1	0.030	0.316	0.271	0.090	0.025	0.098	0.154	0.016

Nota. Elaboración propia

Tabla 9

Resumen de rutas y aforo peatonal para la validación hacia la estación BRT

Hora	Ruta C0	Ruta C1	Ruta C2	Ruta C3	Ruta D0	Ruta D1	Ruta D2	Ruta D3
7:00-7:15	12	143	61	18	132	25	448	35
7:15-7:30	10	144	82	16	131	23	355	22
7:30-7:45	4	160	99	10	145	21	365	26
7:45-8:00	13	167	74	19	150	23	327	24
SubTotal	39	614	316	63	558	92	1495	107
Rel	0.0119	0.1870	0.0962	0.0192	0.1699	0.0280	0.4552	0.0326
Total				3284				

Nota. Elaboración propia

Tabla 10

Tabla resumen del aforo vehicular para la validación

Hora	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4
7:00-7:15	264	334	229	118
7:15-7:30	266	330	220	120
7:30-7:45	272	348	217	127
7:45-8:00	278	355	224	130
Total	1080	1367	890	495

Nota. Elaboración propia

Para la validación, se registraron tiempos de viaje peatonal. El número de muestra fue de 40.

Tabla 11

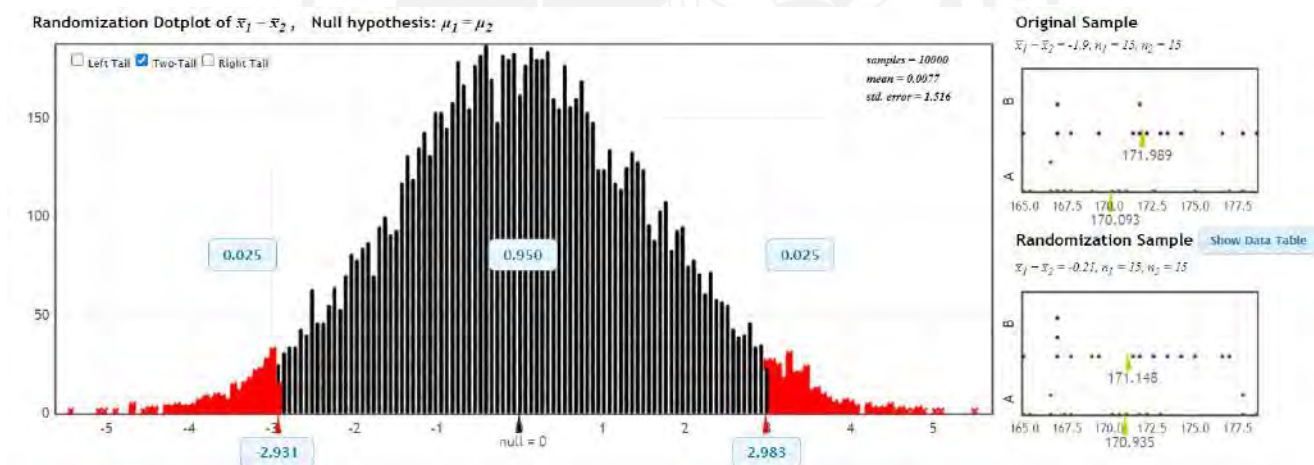
Mediciones de tiempos de viaje peatonal para la validación del modelo en el acceso 3

Tiempos de viaje peatonal para la validación (s)				
166.8	170.2	171.5	162.9	167.8
167.6	171.4	170.2	166.8	173.5
168.5	169.6	167.3	164.8	169.2
167.7	167.5	171.1	178.2	177.1
170.6	175.1	172.8	169.1	165.1
170.9	176.3	165.5	167.2	167.8
166.9	171.1	170.6	170.2	166.1
175.2	170.4	172.4	171.8	170.8

Nota. Elaboración propia

Figura 56

Diagrama proporcionado por la herramienta StatKey para la validación del modelo



Nota. Elaboración propia

Tabla 12*Validación del modelo mediante el criterio del p value para peatones*

Nº Corrida	Medición	
	campo tiempo de viaje peat (s)	Vissim (s)
1	166.8	167.94
2	170.2	176.77
3	167.3	178.64
4	178.2	167.07
5	177.1	171.87
6	165.1	164.95
7	165.5	178.20
8	175.1	167.31
9	166.9	171.97
10	171.1	171.76
11	172.8	174.59
12	170.6	173.60
13	167.8	173.32
14	169.2	169.61
15	167.7	172.24
media	170.09	171.99
s	4.098	4.093
t	2.1448	2.1448
gdl	14	14
e	0.050	0.050
p value	0.215	
N minimo	1	1

Nota. Elaboración propia

De la misma forma que para la calibración, se usó el parámetro del tiempo de viaje vehicular para la validación. Se tomaron 40 muestras en el acceso 3.

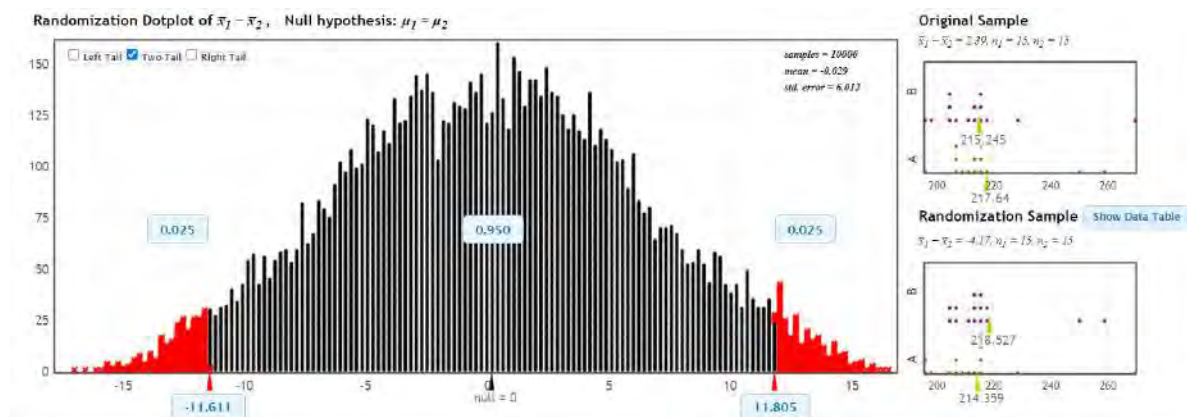
Tabla 13*Registro de tiempos de viaje vehicular en el acceso 3 de la intersección.*

Tiempos de viaje vehicular para la validación (s)				
166.8	170.2	171.5	162.9	167.8
167.6	171.4	170.2	166.8	173.5
168.5	169.6	167.3	164.8	169.2
167.7	167.5	171.1	178.2	177.1
170.6	175.1	172.8	169.1	165.1
170.9	176.3	165.5	167.2	167.8
166.9	171.1	170.6	170.2	166.1
175.2	170.4	172.4	171.8	170.8

Nota. Elaboración propia

Figura 57

Diagrama proporcionado por la herramienta StatKey para la validación del modelo



Nota. Elaboración propia

Tabla 14

Validación del modelo mediante el criterio del p value para vehículos

Nº Corrida	Medición	
	campo tiempo de viaje veh (s)	Vissim (s)
1	251.5	198.06
2	216.3	198.08
3	210.1	269.83
4	215.4	206.74
5	206.8	214.80
6	206.9	211.71
7	212.2	205.47
8	215.8	206.60
9	208.7	216.18
10	259.4	215.95
11	214.6	216.40
12	195.9	213.54
13	218.1	206.91
14	215.7	218.78
15	217.2	229.63
media	217.64	215.25
s	16.444	17.153
t	2.1448	2.1448
gdl	14	14
e	0.050	0.050
p value	0.699	
N minimo	11	12

Nota. Elaboración propia

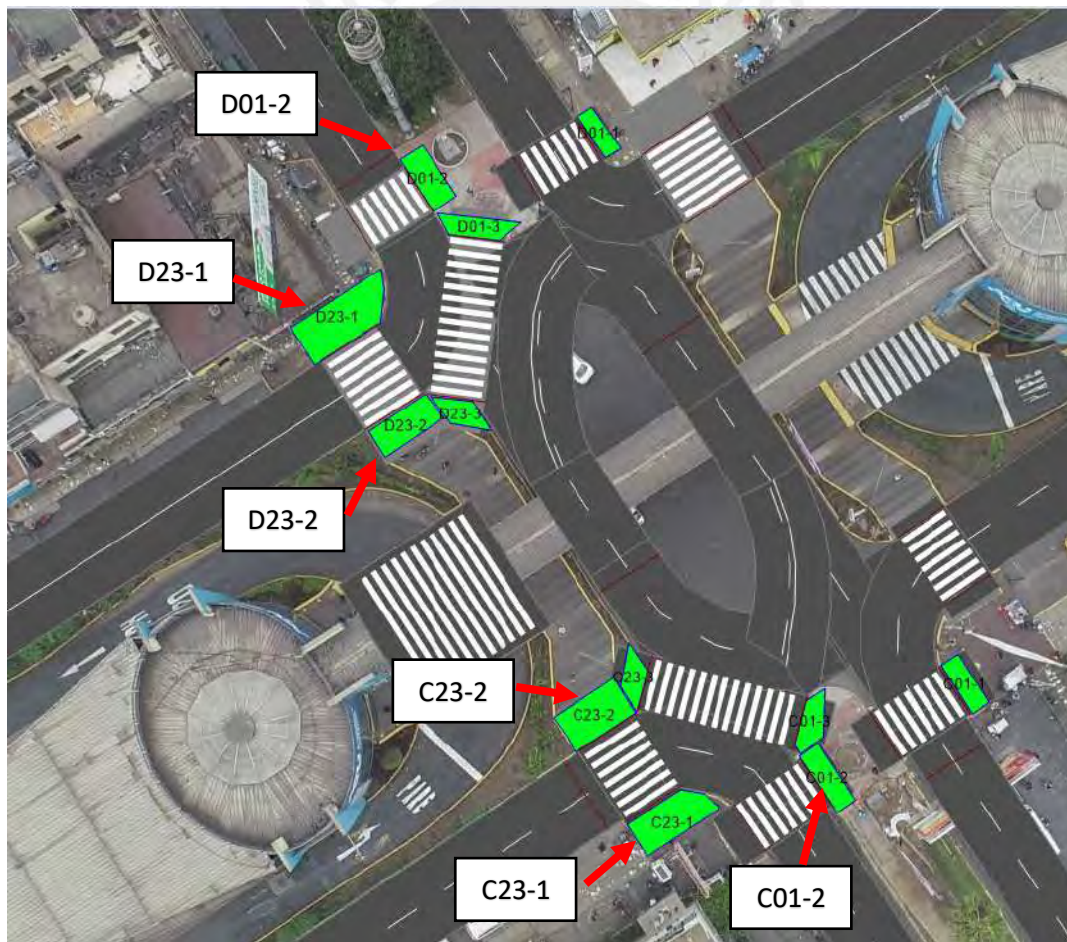
CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. Análisis del modelo de micro simulación

El modelo de microsimulación calibrado y validado cuenta con secciones de medición de parámetros de eficiencia que permitieron la obtención de resultados como el número de peatones aglomerados, la densidad promedio y la densidad máxima de peatones en las zonas de estudio. Como se observa en la Figura 58, se colocaron al menos 6 secciones denominadas C23-1, C23-2, C01-2, D23-1, D23-2 Y D01-2 respectivamente.

Figura 58

Secciones para medición de densidades y número de peatones



Nota. Elaboración propia

Estas secciones fueron colocadas en las zonas donde se presentan aglomeraciones importantes de peatones, las cuales se ubican en la Av. Paseo de la República en ambos sentidos. En la Tabla 11, se visualizan los resultados obtenidos en la sección denominada como C23-1 luego de 15 corridas de la simulación.

El tiempo de simulación fue de 4200 segundos y se empezó a analizar desde el segundo 600. Se aprecia que el número máximos de peatones promedio durante cada simulación es de 22 peatones aglomerados.

Tabla 15

Resultados del parámetro de densidad para la sección de medición C23-1

Simulación	Rango	Medición	Área (m2)	Núm. Max Peatones	Densidad Max.
1	600-4200			47	2.102
2	600-4200			57	2.549
3	600-4200			55	2.460
4	600-4200			45	2.013
5	600-4200			53	2.370
6	600-4200			41	1.834
7	600-4200			54	2.415
8	600-4200			43	1.923
9	600-4200			59	2.639
10	600-4200	C23-1	22.358	45	2.013
11	600-4200			60	2.684
12	600-4200			61	2.728
13	600-4200			53	2.370
14	600-4200			42	1.878
15	600-4200			54	2.415
Promedio	600-4200			51	2.293
Desv. Estándar	600-4200			7	0.306
Mínimo	600-4200			41	1.834
Máximo	600-4200			61	2.728

Nota. Elaboración propia

Tabla 16*Tabla de resultados de las mediciones realizadas en la sección C23-2*

Simulación	Rango	Medición	Área (m2)	Núm. Max Peatones	Densidad Max.
1	600-4200			39	1.808
2	600-4200			36	1.669
3	600-4200			36	1.669
4	600-4200			34	1.576
5	600-4200			35	1.623
6	600-4200			39	1.808
7	600-4200			36	1.669
8	600-4200			34	1.576
9	600-4200			35	1.623
10	600-4200	C23-2	22.23	40	1.855
11	600-4200			34	1.576
12	600-4200			33	1.530
13	600-4200			36	1.669
14	600-4200			37	1.716
15	600-4200			36	1.669
Promedio	600-4200			36	1.669
Desv. Estándar	600-4200			2	0.094
Mínimo	600-4200			33	1.530
Máximo	600-4200			40	1.855

Nota. Elaboración propia

Los resultados se muestran que hay una mayor densidad en la acera donde se colocó la sección C23-1 que en la acera donde se colocó la sección C23-2, ya que hay un mayor flujo de peatones que transitan hacia la estación BRT comparado con el número de peatones que salen de la estación.

Tabla 17*Número máximo de peatones registrados en punto de medición C01-2*

Simulación	Rango	Medición	Área (m2)	Núm. Max Peatones	Densidad Max.
1	600-4200			12	1.045
2	600-4200			13	1.132
3	600-4200			12	1.045
4	600-4200			11	0.958
5	600-4200			12	1.045
6	600-4200			12	1.045
7	600-4200			13	1.132
8	600-4200			13	1.132
9	600-4200			11	0.958
10	600-4200	C01-2	11.519	11	0.958
11	600-4200			13	1.132
12	600-4200			11	0.958
13	600-4200			12	1.045
14	600-4200			11	0.958
15	600-4200			12	1.045
Promedio	600-4200			12	1.039
Desv. Estándar	600-4200			1	0.070
Mínimo	600-4200			11	0.958
Máximo	600-4200			13	1.132

Nota. Elaboración propia.

Se observan mayores densidades y un mayor número de peatones en las aceras donde se ubicaron las secciones C23-2 y C23-1, que en las sección C01-2, porque la mayor aglomeración se encuentra en las aceras más próximas a la estación BRT Matellini.

Tabla 18*Número máximo y densidad máxima de peatones en punto de medición D23-1*

Simulación	Rango	Medición	Área (m2)	Núm. Max Peatones	Densidad Max.
1	600-4200			76	2.361
2	600-4200			71	2.206
3	600-4200			78	2.424
4	600-4200			80	2.486
5	600-4200			74	2.299
6	600-4200			83	2.579
7	600-4200			78	2.424
8	600-4200			76	2.361
9	600-4200			72	2.237
10	600-4200	D23-1	32.185	77	2.392
11	600-4200			76	2.361
12	600-4200			71	2.206
13	600-4200			72	2.237
14	600-4200			78	2.424
15	600-4200			75	2.330
Promedio	600-4200			76	2.355
Desv. Estándar	600-4200			3	0.106
Mínimo	600-4200			71	2.206
Máximo	600-4200			83	2.579

Nota. Elaboración Propia

Tabla 19*Número máximo de peatones y densidades máximas en sección D23-2*

Simulación	Rango	Medición	Área (m2)	Núm. Max Peatones	Densidad Max.
1	600-4200			19	1.211
2	600-4200			20	1.274
3	600-4200			21	1.338
4	600-4200			23	1.465
5	600-4200			21	1.338
6	600-4200			24	1.529
7	600-4200			20	1.274
8	600-4200			21	1.338
9	600-4200			21	1.338
10	600-4200	D23-2	15.696	20	1.274
11	600-4200			22	1.402
12	600-4200			21	1.338
13	600-4200			19	1.211
14	600-4200			23	1.465
15	600-4200			18	1.147
Promedio	600-4200			21	1.329
Desy. Estándar	600-4200			2	0.105
Mínimo	600-4200			18	1.147
Máximo	600-4200			24	1.529

Nota. Elaboración propia

Tabla 20*Número máximo y densidades máximas en la sección D01-2*

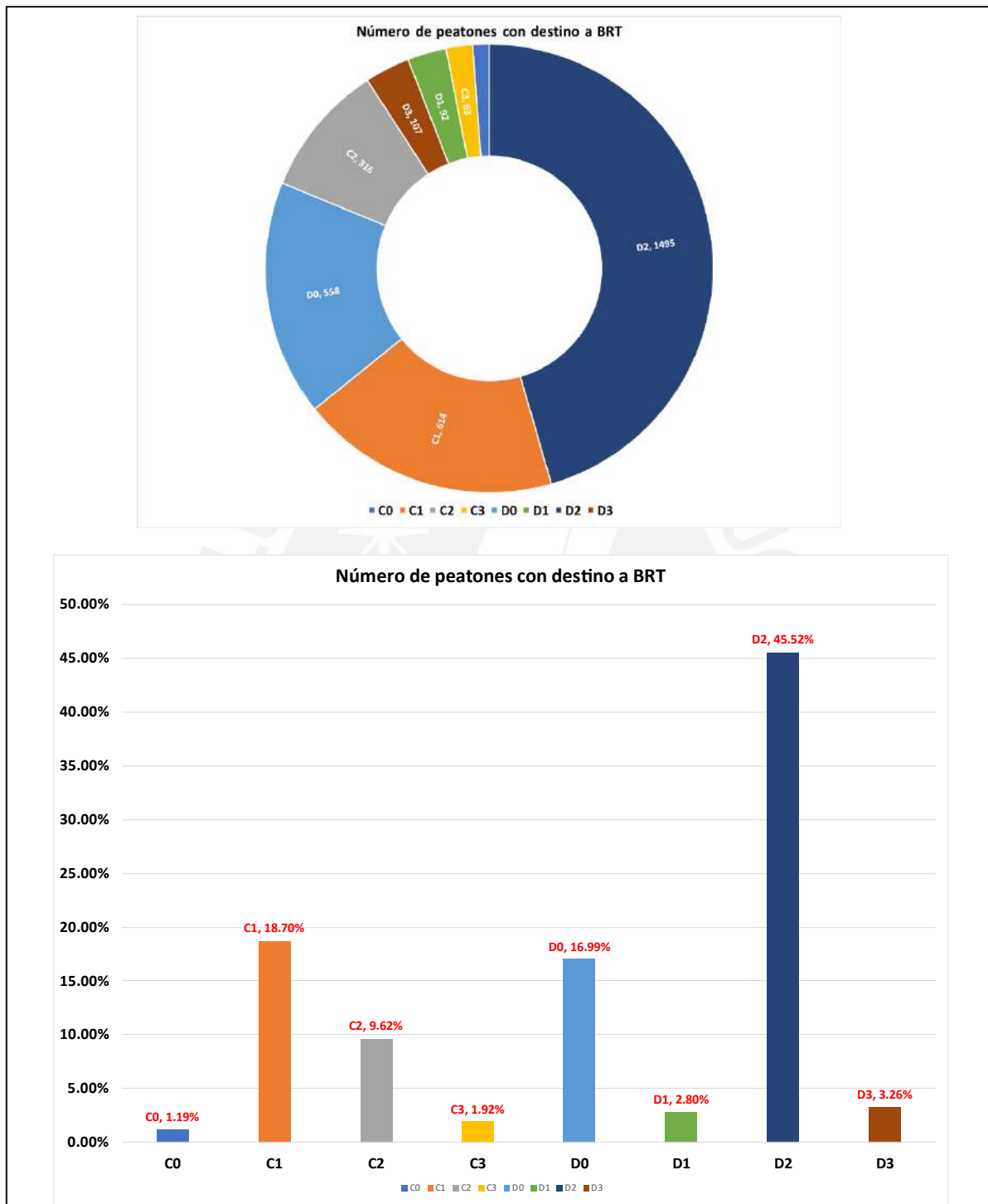
Simulación	Rango	Medición	Área (m2)	Núm. Max Peatones	Densidad Max.
1	600-4200			7	0.907
2	600-4200			8	1.037
3	600-4200			7	0.907
4	600-4200			8	1.037
5	600-4200			7	0.907
6	600-4200			8	1.037
7	600-4200			7	0.907
8	600-4200			8	1.037
9	600-4200			9	1.166
10	600-4200	D01-2	7.716	8	1.037
11	600-4200			6	0.778
12	600-4200			8	1.037
13	600-4200			9	1.166
14	600-4200			8	1.037
15	600-4200			7	0.907
Promedio	600-4200			8	0.994
Desv. Estándar	600-4200			1	0.106
Mínimo	600-4200			6	0.778
Máximo	600-4200			9	1.166

Nota. Elaboración propia

Para medir los tiempos de viaje peatonal, se tuvo en cuenta 4 rutas críticas por las que se genera un mayor flujo peatonal hacia la estación BRT Matellini. Estas rutas presentan mayores conflictos y mayores aglomeraciones. Estas rutas tienen como origen los puntos C1, C2, D0 y D2, tal como se observa en los siguientes gráficos.

Gráfico 1

Representación gráfica del flujo peatonal desde los puntos de partida con destino a la estación BRT Matellini



Nota. Elaboración propia

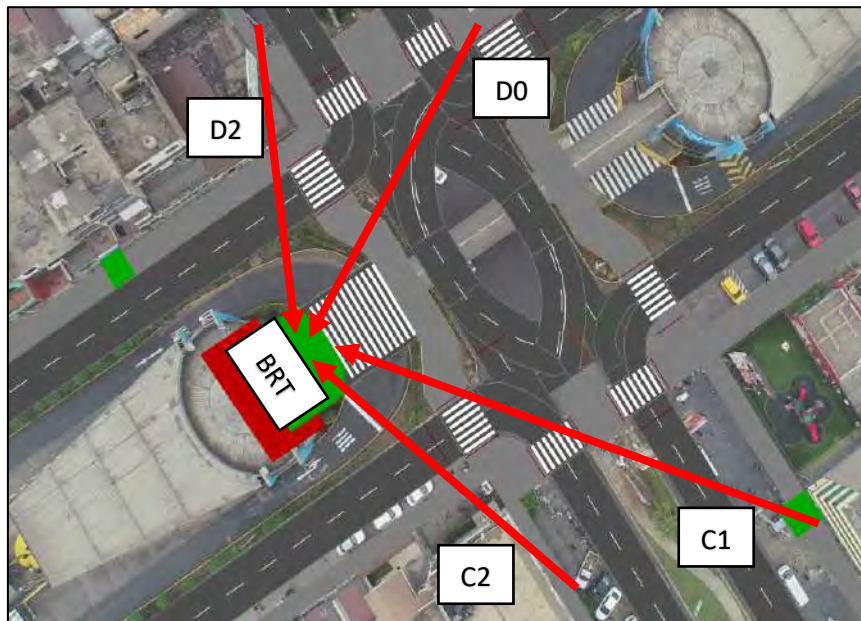
La primera ruta está comprendida desde el punto C1 en la Av. Matellini hasta la estación BRT.

La segunda ruta se consideró desde C2 en la Av. Matellini hasta la estación BRT. La tercera

ruta está comprendida desde el punto D0, en la Av. Paseo de la República hacia la estación y finalmente la ruta desde el punto D2 a la estación. Además, se consideraron las rutas en sentido contrario desde la estación BRT hasta los puntos C1 y D2, ya que estas dos rutas presentan el mayor flujo peatonal de cada grupo C y D respectivamente (Gráfico 2)

Figura 59

Rutas críticas para medición de tiempos

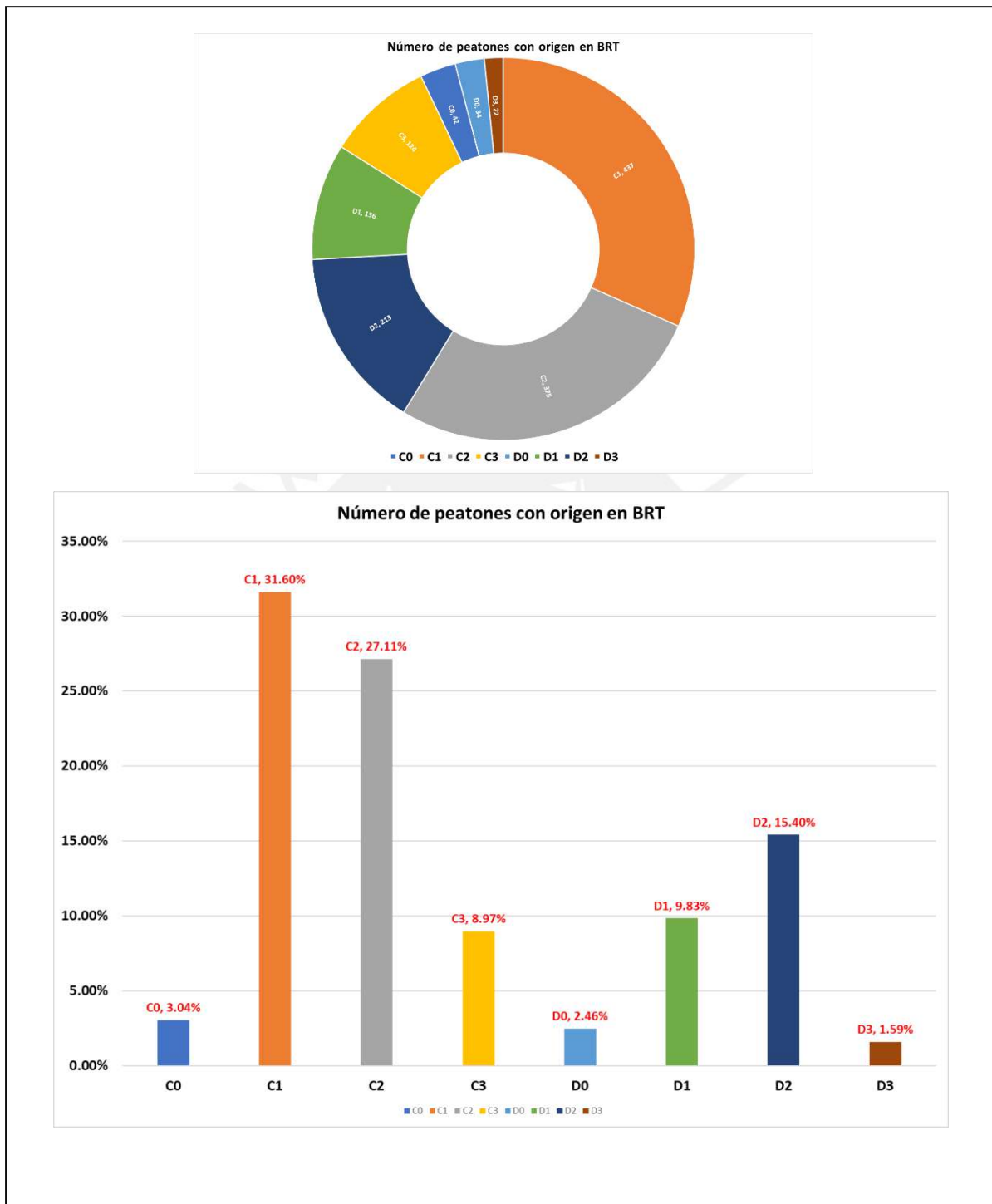


Nota. Elaboración propia

A partir de estas rutas determinadas las cuales también se representaron en el modelo de microsimulación, se obtuvieron los tiempos de viaje correspondientes, tal como se muestra en la Tabla 21.

Gráfico 2

Representación gráfica del flujo peatonal con origen en la estación BRT Matellini



Nota. Elaboración propia.

Tabla 21*Tabla de resultados de tiempos de viajes*

Rango	Ruta	T de viaje (s)
600-4200	C1-BRT	171.99
600-4200	C2-BRT	81.82
600-4200	D0-BRT	178.89
600-4200	D2-BRT	105.93
600-4200	BRT-C1	155.26
600-4200	BRT-D2	102.76

Nota. Elaboración propia

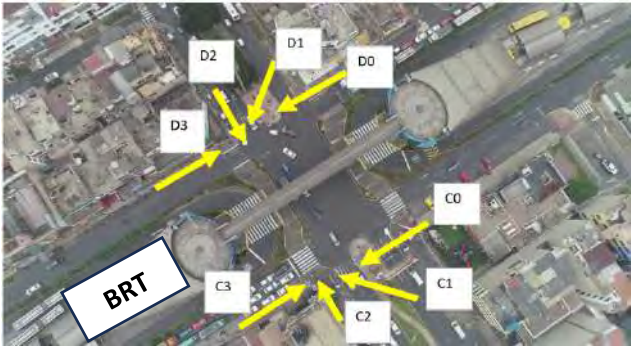
6.2. Justificación de implementación de propuesta

Para la aplicación de la propuesta de solución expuesta en esta tesis se tuvo en cuenta dos criterios: El incremento de la seguridad, relacionado a la disminución de la aglomeración de peatones en aceras, y la reducción del tiempo de demora de peatones, lo cual contribuye a una movilidad eficiente hacia un medio de transporte público masivo como es el BRT Metropolitano. Bajo estos dos criterios y según lo descrito en el apartado 4.3 de esta tesis, que describe el comportamiento inseguro de los peatones a causa de los dos criterios mencionados, la aplicación de una fase exclusiva para peatones junto a un cruce peatonal en diagonal sí está justificado. Además, se verifica en el Capítulo IV del Manual de señalización en Chile (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, 2022), que este tipo de solución es factible si el flujo peatonal que cruza un acceso es igual o superior a 300 peatones en 1 hora y el flujo vehicular es mayor a 720 vehículos por hora. La siguiente tabla muestra el flujo peatonal hacia la estación BRT Matellini desde los distintos puntos de partida considerados en el estudio. Ambos grupos de flujos, C y D, cruzan los accesos 2 y 1 de la intersección respectivamente. Se aprecia que el flujo C1, C2, D0 y D2 son mayores a 300 peat/h.

Tabla 22*Flujos peatonales que cruzan el acceso 1 y 2 de la intersección en peat/h*

Origen / Destino	BRT	Referencia
------------------	-----	------------

C0	39
C1	614
C2	316
C3	63
D0	558
D1	92
D2	1495
D3	107
TOTAL	3284



Nota. Elaboración propia

En cuanto a los vehículos, se puede observar lo siguiente:

Tabla 23
Flujo vehicular de acceso 1 y 2 en veh/h

Hora	Acceso 1	Acceso 2
7:00-7:15	264	334
7:15-7:30	266	330
7:30-7:45	272	348
7:45-8:00	278	355
Total	1080	1367



Nota. Elaboración propia

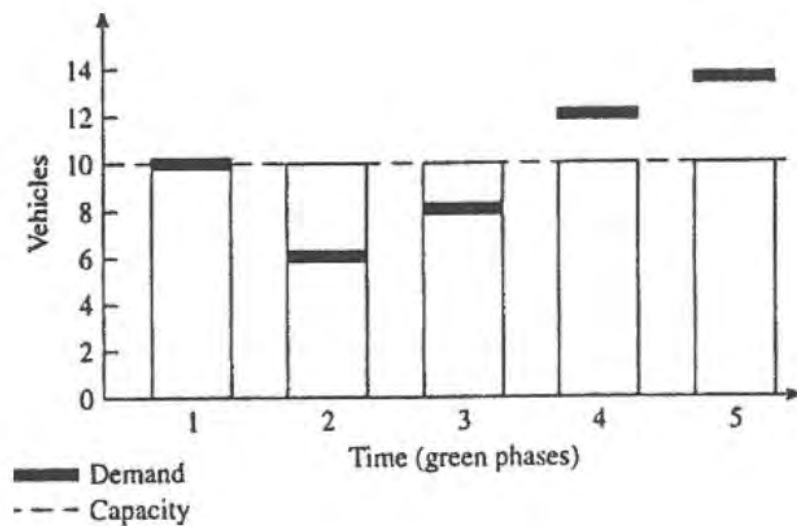
Esta solución puede significar un problema, cuando los peatones, a pesar de tener una fase exclusiva, optan por cruzar con la luz roja. Por esta razón, la propuesta unifica la fase exclusiva para peatones y una semaforización actuada, para evitar dicho comportamiento.

La implementación de un semáforo con cruce peatonal y detectores de personas, es útil para evitar que existan fases en rojo para vehículos aun cuando no haya peatones que requieran cruzar, Este tipo de solución disminuye demoras de peatones y vehículos comparado con los cruces peatonales comunes. (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, 2022).

Además, según el análisis de (Webster, 1958), como se muestra en la siguiente gráfica, si el número de fases en una intersección es mayor, la demanda excederá capacidad.

Gráfico 3

Gráfica de fases de verde vs volumen de vehículos



Nota. Fuente (Webster 1958)

En base a esto, incrementar y optimizar el número de fases para discretizar el flujo vehicular y tener el control de intersecciones complejas no es suficiente en situaciones de gran afluencia vehicular y peatonal. Los flujos picos, tanto vehiculares como peatonales, en la intersección Matellini se dan en intervalos de tiempos específicos, lo cual genera que el nivel de entropía de la intersección se eleve, la demanda exceda la capacidad de la intersección y el comportamiento de los peatones se adapte a este entorno mediante faltas de tránsito como cruzar en fases vehiculares para llegar en el menor tiempo posible a la estación BRT Matellini.

6.3. Implementación de la propuesta de mejora

La propuesta de mejora se centra en optimizar la movilidad y accesibilidad de la intersección contigua a la estación BRT Matellini. Se tiene en cuenta que la ubicación de los semáforos especificada en capítulos anteriores se mantiene, por lo que se realizará un cambio de fases semaforicas en principio de toda la red de semáforos existente. Además, se implementaron

semáforos que se encuentran sincronizados a sensores que detectan la presencia de peatones a la espera de cruzar en las dos esquinas más cercanas a la estación BRT.

En la Figura 60, se observa el modelo en planta luego de que se implementaron las propuestas de solución. Se añadieron dos cruces peatonales en diagonal

Figura 60

Vista en planta del modelo de micro simulación con las propuestas de semaforización y cruces peatonales en diagonal



Nota. Elaboración propia

Por otro lado, se realizarán mejoras de diseño en la intersección, las cuales son complementarias a la propuesta de semaforización como la mejora de la señalización horizontal y vertical, y el ensanche de rampas para peatones en sillas de ruedas o con dificultad para transitar. Todas estas medidas contribuyen a que el peatón tenga más prioridad que los vehículos en horas pico, en donde el flujo peatonal hacia la estación BRT Matellini alcanza sus máximos valores. Respecto a la propuesta de solución, se implementaron cruces peatonales en forma diagonal desde las medianas hasta la estación. Estos cruces peatonales contarán con

semáforos actuados peatonales colocados en las dos zonas de estudio, de tal forma que el peatón tenga una ruta adicional para acceder a la estación.

En la siguiente figura, se observa el cruceo peatonal diagonal implementado junto a los semáforos actuados peatonales.

Figura 61

Modelo de microsimulación con los crucesos peatonales en diagonal



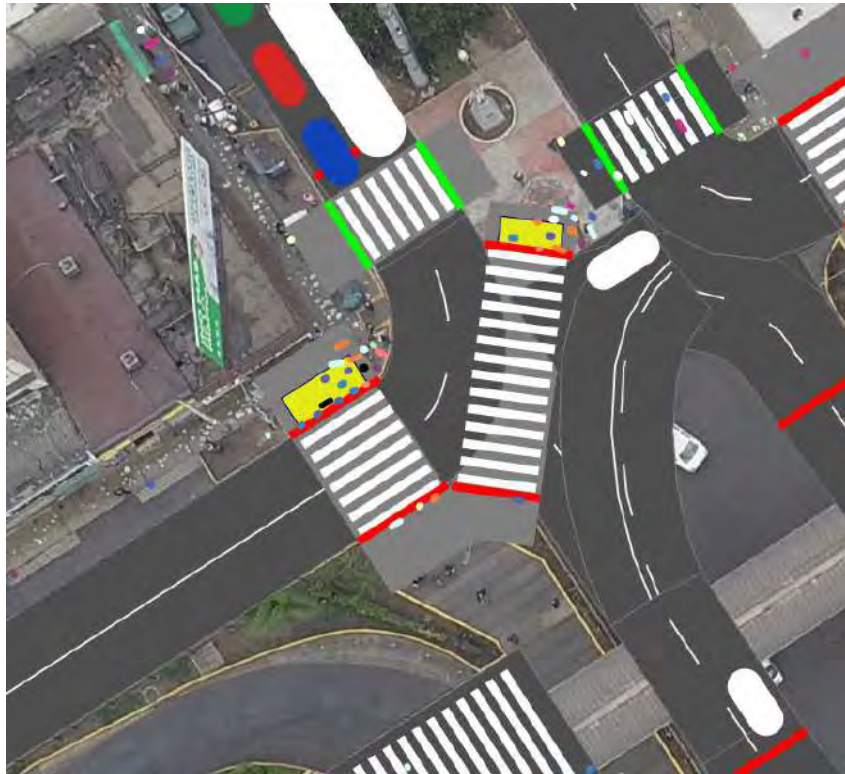
Nota. Elaboración propia

Para la integración de los crucesos peatonales, el movimiento de los peatones y la funcionalidad de las fases semaforicas de forma actuada, se establecieron detectores que fueron vinculados a la lógica y al diagrama de flujo planteado en VisVap.

Estos detectores se colocaron en zonas de aglomeración de peatones dentro de las secciones ubicadas en el modelo. A continuación, se visualizan detectores en zonas de parada de peatones.

Figura 62

Ubicación de detectores vinculados al diagrama de flujo de VisVap

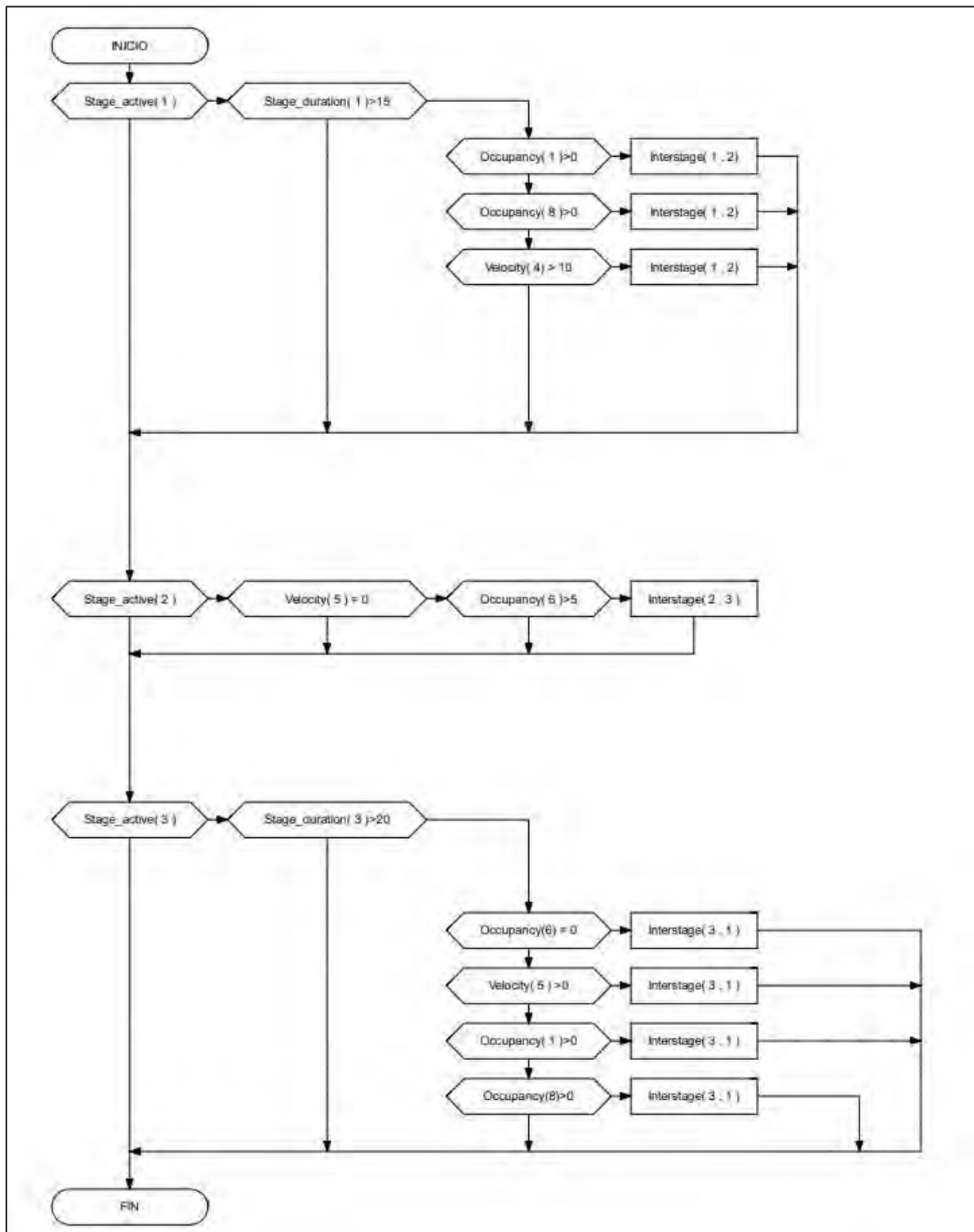


Nota. Recorte extraído del modelo de Vissim.

Respecto a la lógica y el diagrama de flujo establecido en VisVap se usaron las funciones de VisVap que relacionaban el cambio de fase con la densidad peatonal en detectores, la duración de fases y la velocidad de vehículos en detectores, tal como se visualiza en la siguiente figura.

Figura 63

Lógica establecida en VisVap para la implementación de la propuesta



Nota. Recorte adaptado del área de trabajo de VisVap

Para la interoperabilidad entre Vissim y VisVap fue necesario establecer la ubicación de los detectores que permitan la interacción entre el sistema de control de semáforos y la demanda peatonal y vehicular en tiempo real. Estos detectores, en el modelo de microsimulación, consisten en áreas que se colocan en las áreas o secciones creadas en el modelo. Los detectores permiten los cambios de fases de forma automatizada según lo establecido en el área de trabajo de Visvap. Los detectores se ubicaron a una distancia de 24 a 30 metros de la parada del semáforo, según lo expuesto en el apartado “2.3.5. Detectores para semáforos actuados”, lo cual corresponde a tiempos de verde mínimo de 12 a 15 segundos.

$$G_{min} = l_1 + \left[2 \times \text{Entero} \left(\frac{d}{20} \right) \right]$$

Donde:

G_{min}: 12 – 15 (seg)

d: Distancia entre detector y línea de parada (ft)

20: Distancia asumida entre vehículos en cola (ft)

l₁: Tiempo de partida asumido = 2seg

2: Frecuencia de saturación (seg) = 2 seg

$$\frac{G_{min} - l_1}{2} = \left[\text{Entero} \left(\frac{d}{20} \right) \right]$$

$$d = 100 \text{ ft.}$$

$$d = 24.4 \text{ a } 30.5 \text{ m.}$$

La ubicación de los detectores se puede visualizar en la siguiente figura.

Figura 64

Detectores peatonales y vehiculares en el modelo de la intersección



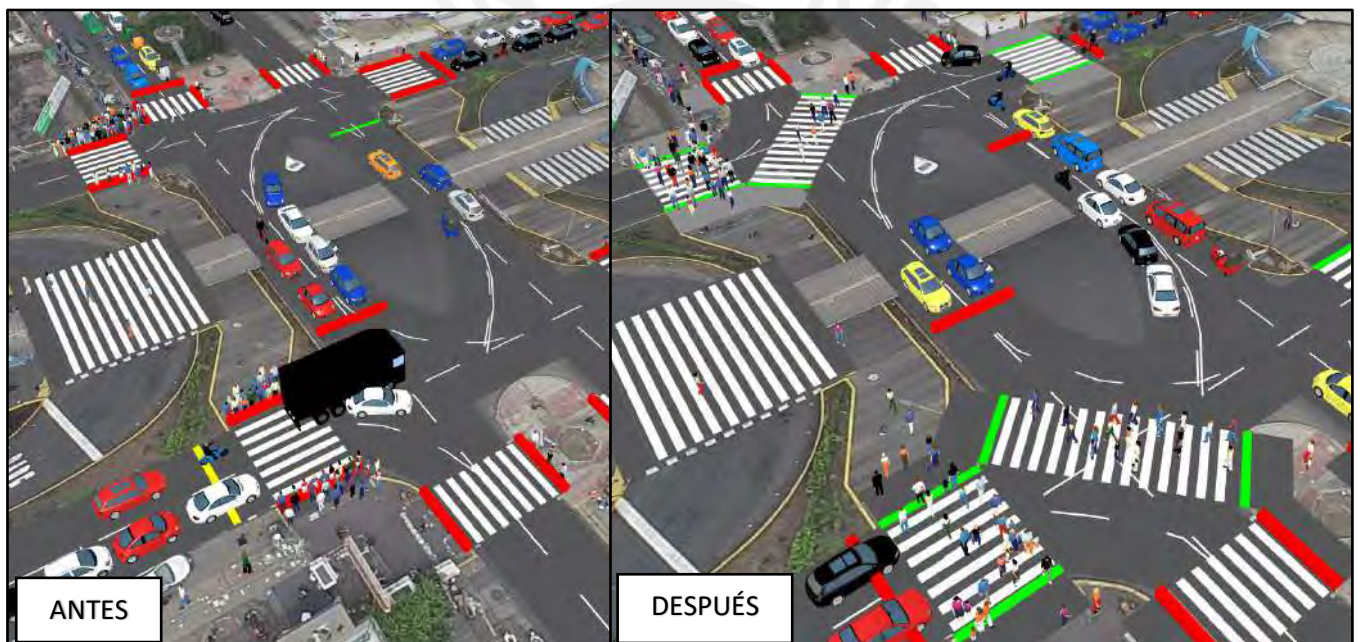
Nota. Elaboración propia

6.4. Resultados de propuesta, comparación y evaluación.

El modelo del escenario sin la propuesta aplicada, nos muestra que el flujo peatonal se divide gracias a el cruceo peatonal en diagonal implementado, tal como se muestra en la Figura 65, lo cual tiene consecuencias en los resultados obtenidos. Se observa que los peatones cuentan con una ruta adicional, lo cual genera que los peatones lleguen con más rapidez y sin presentar aglomeraciones en aceras hacia la estación BRT Matellini. Esto será fundamentado en la presentación de resultados de la propuesta.

Figura 65

Zona de análisis peatonal del modelo de microsimulación



Nota. Elaboración propia

Los resultados de la sección C23-1, tal como se observa en la Tabla 24, muestran que las densidades de peatones, tanto las máximas como las densidades promedio tienen una disminución del 71.4% respecto a los resultados del modelo del escenario sin propuesta, expuestos en la Tabla 15.

Tabla 24*Densidad máxima y número de peatones en la sección C23-1 con la propuesta aplicada*

Simulación	Rango	Medición	Área (m ²)	Núm. Max Peatones	Densidad Max.
1	600-4200			16	0.716
2	600-4200			14	0.626
3	600-4200			14	0.626
4	600-4200			13	0.581
5	600-4200			13	0.581
6	600-4200			15	0.671
7	600-4200			17	0.760
8	600-4200			14	0.626
9	600-4200			14	0.626
10	600-4200	C23-1	22.358	15	0.671
11	600-4200			15	0.671
12	600-4200			15	0.671
13	600-4200			17	0.760
14	600-4200			15	0.671
15	600-4200			13	0.581
Promedio	600-4200			15	0.656
Desv. Estándar	600-4200			1	0.058
Mínimo	600-4200			13	0.581
Máximo	600-4200			17	0.760

Nota. Elaboración propia

En cuanto a la sección de medición C23-2 (Tabla 16), se observa que el número máximo promedio de peatones registrado luego de aplicar la propuesta disminuye de 36 a 25 peatones, lo cual también se refleja en la disminución de las densidades promedio representada por un 32% respecto a los resultados del escenario sin propuesta.

Tabla 25*Resultados de densidad con la propuesta implementada en C23-2*

Simulación	Rango	Medición	Área (m2)	Núm. Max Peatones	Densidad Max.
1	600-4200			24	0.739
2	600-4200			25	0.785
3	600-4200			25	0.739
4	600-4200			24	0.785
5	600-4200			23	0.785
6	600-4200			27	0.785
7	600-4200			25	0.739
8	600-4200			25	0.693
9	600-4200			27	0.739
10	600-4200	C23-2	22.23	25	0.739
11	600-4200			24	0.739
12	600-4200			25	0.693
13	600-4200			24	0.646
14	600-4200			24	0.785
15	600-4200			23	0.693
Promedio	600-4200			25	0.739
Desv. Estándar	600-4200			1	0.0427
Mínimo	600-4200			23	0.646
Máximo	600-4200			27	0.785

Nota. Elaboración propia

Tabla 26*Resultados de medición peatonal en la sección C01-2 luego de propuesta*

Simulación	Rango	Medición	Área (m2)	Núm. Max Peatones	Densidad Max.
1	600-4200			8	0.970
2	600-4200			8	0.856
3	600-4200			7	1.027
4	600-4200			8	1.084
5	600-4200			11	0.970
6	600-4200			9	0.856
7	600-4200			11	0.970
8	600-4200			8	0.913
9	600-4200			11	0.970
10	600-4200	C01-2	11.519	7	0.970
11	600-4200			7	0.970
12	600-4200			8	0.970
13	600-4200			7	0.970
14	600-4200			7	0.970
15	600-4200			7	0.970
Promedio	600-4200			8	0.962
Desv. Estándar	600-4200			2	0.05649
Mínimo	600-4200			7	0.856
Máximo	600-4200			11	1.084

Nota. Elaboración propia

Tabla 27*Resultados de densidad en sección D23-1 luego de la propuesta de semaforización*

Simulación	Rango	Medición	Área (m2)	Núm. Max Peatones	Densidad Max.
1	600-4200			38	1.181
2	600-4200			35	1.088
3	600-4200			40	1.243
4	600-4200			42	1.305
5	600-4200			35	1.088
6	600-4200			35	1.088
7	600-4200			35	1.088
8	600-4200			34	1.057
9	600-4200			35	1.088
10	600-4200	D23-1	32.185	38	1.181
11	600-4200			35	1.088
12	600-4200			36	1.119
13	600-4200			37	1.150
14	600-4200			33	1.026
15	600-4200			42	1.305
Promedio	600-4200			37	1.140
Desv. Estándar	600-4200			3	0.087
Mínimo	600-4200			33	1.026
Máximo	600-4200			42	1.305

Nota. Elaboración propia

Tabla 28*Resultados de propuesta en la sección D23-2*

Simulación	Rango	Medición	Área (m2)	Núm. Max Peatones	Densidad Max.
1	600-4200			14	0.886
2	600-4200			13	0.822
3	600-4200			14	0.886
4	600-4200			14	0.886
5	600-4200			12	0.759
6	600-4200			12	0.759
7	600-4200			15	0.949
8	600-4200			14	0.886
9	600-4200			14	0.886
10	600-4200	D23-2	15.806	15	0.949
11	600-4200			12	0.759
12	600-4200			13	0.822
13	600-4200			14	0.886
14	600-4200			13	0.822
15	600-4200			14	0.886
Promedio	600-4200			14	0.856
Desv. Estándar	600-4200			1	0.063
Mínimo	600-4200			12	0.759
Máximo	600-4200			15	0.949

Nota. Elaboración propia

Tabla 29*Resultados de propuesta en sección D01-2*

Simulación	Rango	Medición	Área (m2)	Núm. Max Peatones	Densidad Max.
1	600-4200			7	0.550
2	600-4200			5	0.393
3	600-4200			6	0.472
4	600-4200			5	0.393
5	600-4200			4	0.314
6	600-4200			5	0.393
7	600-4200			5	0.393
8	600-4200			5	0.393
9	600-4200			5	0.393
10	600-4200	D01-2	15.806	5	0.393
11	600-4200			4	0.314
12	600-4200			6	0.472
13	600-4200			5	0.393
14	600-4200			5	0.393
15	600-4200			4	0.314
Promedio	600-4200			5	0.398
Desv. Estándar	600-4200			1	0.063
Mínimo	600-4200			4	0.314
Máximo	600-4200			7	0.550

Figura 66*Nueva trayectoria de peatones hacia la estación BRT a través del nuevo cruceo peatonal*

Nota. Se puede visualizar el nuevo cruceo peatonal implementado integrados a una semaforización actualada, sistema que detectará aglomeraciones en aceras y sincronizará un ciclo

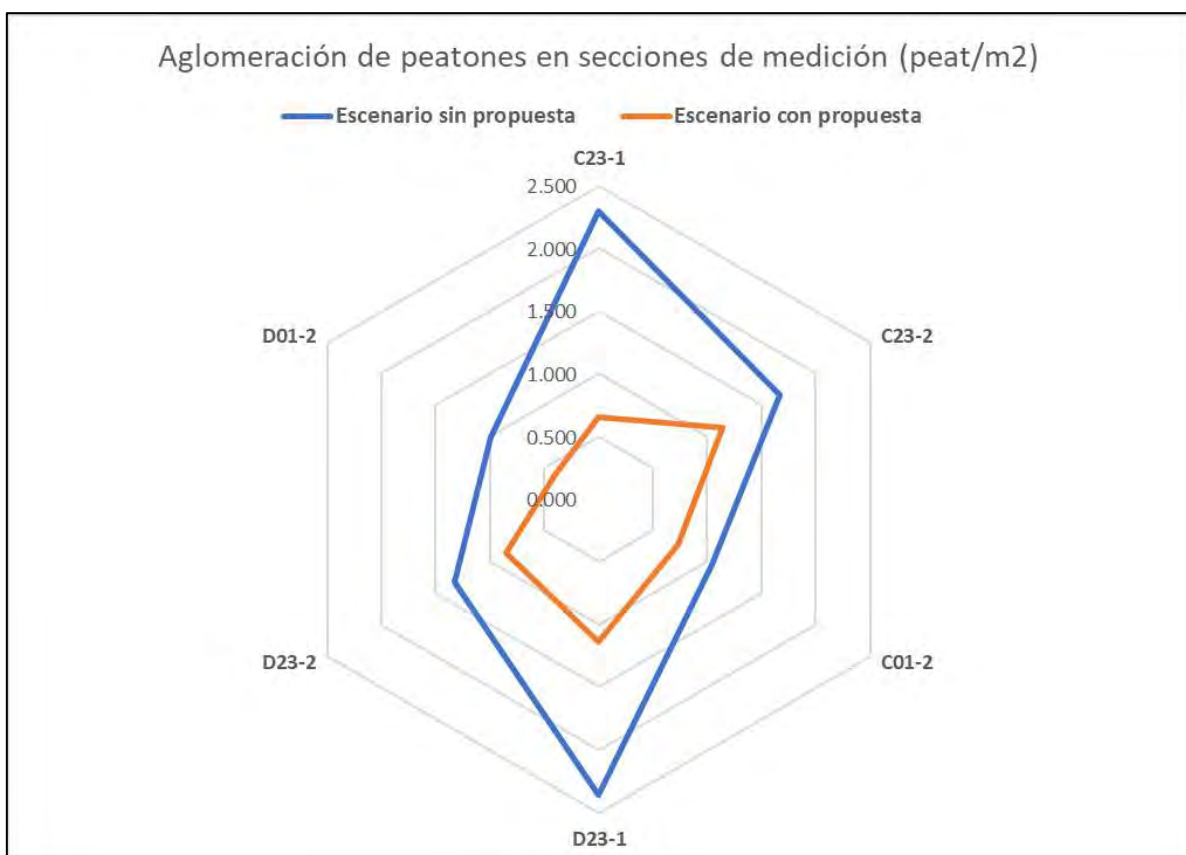
semafórico que tendrá a los peatones como prioridad en horas pico.

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se aprecia en los resultados tabulados, hay una mejora y una disminución en la densidad de los peatones en las secciones de estudio, lo cual se traduce en una menor aglomeración en las aceras próximas a la estación BRT Matellini.

Gráfico 4

Comparación de densidades entre el escenario sin propuesta y el escenario con propuesta

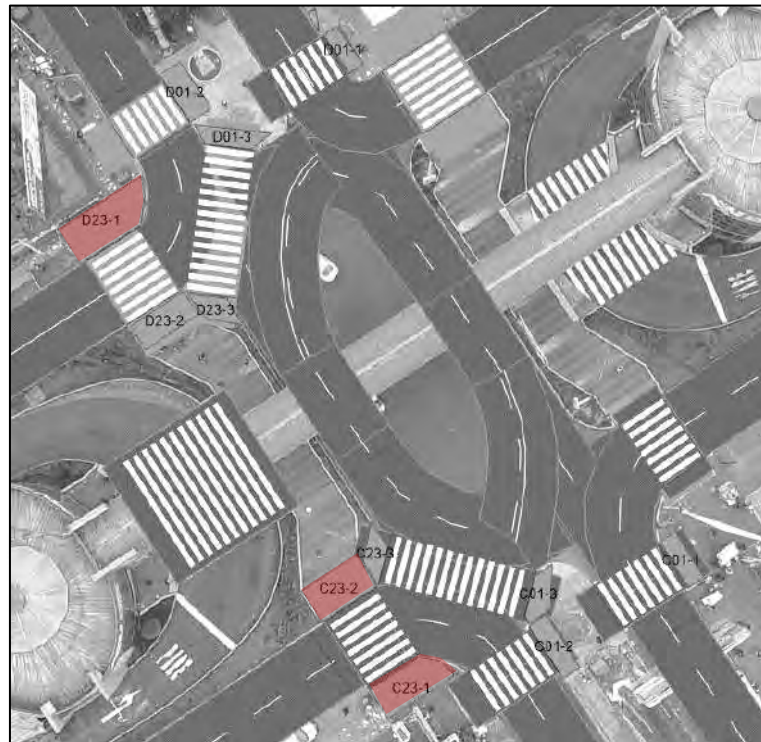


Nota. Elaboración propia a partir de resultados

En el gráfico 4 se observa que hubo una mayor disminución de la densidad en tres secciones de estudio. Estas secciones son las que más aglomeraciones presentan en el escenario sin propuesta de la intersección.

Figura 67

Secciones con más aglomeraciones de peatones



Nota. Elaboración propia.

Además de obtener los resultados de densidad en las secciones establecidas en el modelo, se obtuvo el desempeño total de la red respecto al movimiento de los peatones. Este resultado no solo considera las secciones cercanas a la estación BRT Matellini, sino que toma en cuenta todas las secciones de medición colocadas en el modelo (Figura 58), de forma que realiza mediciones de toda la intersección y recauda datos de la interacción peatonal en toda la red.

En la siguiente tabla se resumen las densidades totales peatonales en todas las secciones colocadas, antes y después de la aplicación de la propuesta.

Tabla 30*Comparación de las densidades peatonales promedio totales en toda la red*

	Escenario sin propuesta	Escenario con propuesta
Rango	Densidad (peat/m ²)	Densidad (peat/m ²)
Toda la red	0.0714	0.0557

Nota. Elaboración propia

Luego de que se simuló la interacción y el movimiento de los peatones y vehículos con la propuesta se obtuvieron nuevos tiempos de viaje peatonal en las rutas consideradas como críticas en el modelo de micro simulación del escenario sin propuesta, tal como se muestra en la Figura 45. Los resultados de tiempos de viaje se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31*Medición de tiempos de viaje peatonal luego de la implementación del cruce peatonal*

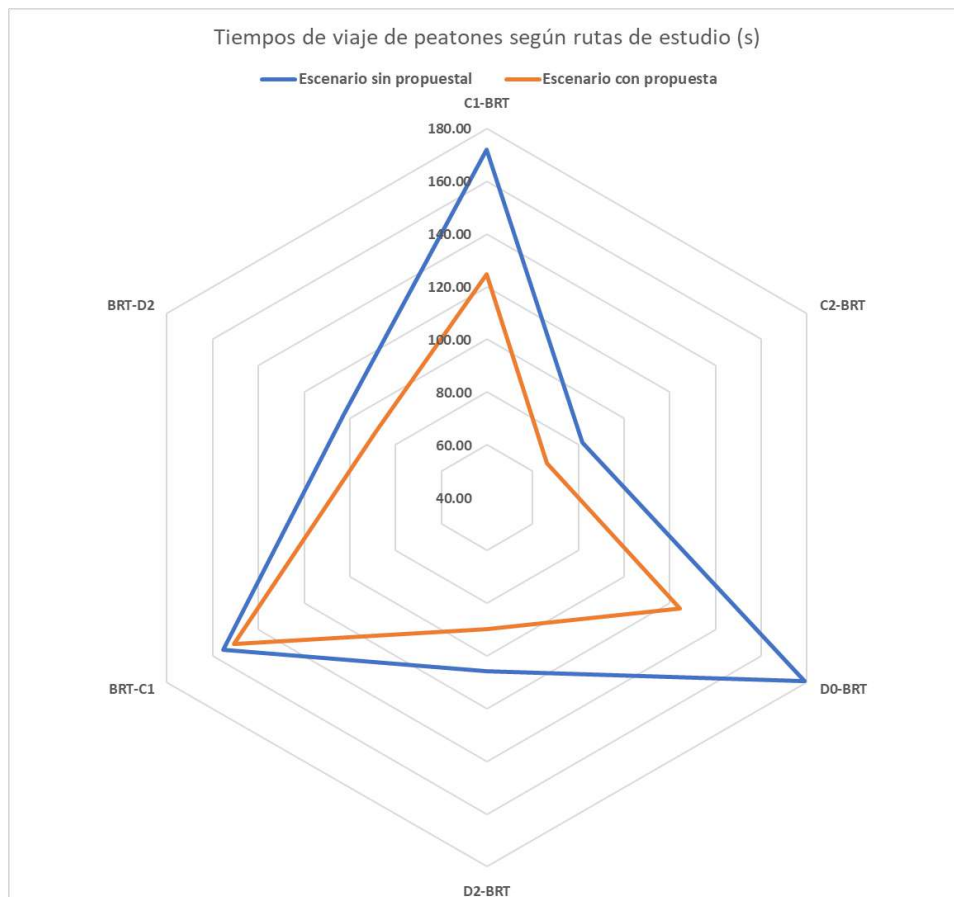
Rango	Ruta	T de viaje (s)
600-4200	C1-BRT	124.60
600-4200	C2-BRT	66.33
600-4200	D0-BRT	124.39
600-4200	D2-BRT	89.85
600-4200	BRT-C1	150.89
600-4200	BRT-D2	88.98

Nota. Elaboración propia

Respecto a los resultados obtenidos de los tiempos de viaje de peatones promedio, se aprecia una disminución del tiempo de viaje, tal como se observa en el resumen de la comparación de resultados representados a través del gráfico 5.

Gráfico 5

Comparación de tiempos de viaje peatonal entre el escenario sin propuesta y el escenario con propuesta



Nota. Elaboración propia a partir de resultados.

De la misma forma que con los resultados de la densidad, también se obtuvo resultados en base al desempeño general de toda la red. En la tabla 32 se muestran los resultados de tiempos de viaje promedio totales de todos los peatones de la red durante la microsimulación y la respectiva comparación entre el escenario sin propuesta y el estado luego de la aplicación de la propuesta de esta tesis.

Tabla 32

Comparación de tiempo de viaje promedio total de peatones

	Escenario sin propuesta	Escenario con propuesta
Rango	T. de viaje total (s)	T. de viaje total (s)
Toda la red	135.292	112.547

Nota. Elaboración propia.

Además, se obtuvieron resultados relacionados al desempeño del tránsito de los vehículos de la red durante la simulación. El primer parámetro hallado fue el del tiempo de viaje total de los vehículos. La comparación de los resultados antes y después de la propuesta aplicada, se aprecia en las siguientes tablas.

Tabla 33

Comparación de tiempos de viaje totales para vehículos de la red

	Escenario sin propuesta	Escenario con propuesta
Rango	T. de viaje total promedio (s)	T. de viaje total promedio (s)
Toda la red	304825.0933	316511.9667

Nota. Elaboración propia. Los tiempos son de los vehículos de la red, incluso los que ya pasaron.

Adicionalmente, se obtuvo la demora total de los vehículos considerados en la red. Este resultado se visualiza en la Tabla 34.

Tabla 34

Comparación de tiempos totales de demora de vehículos de la red

	Escenario sin propuesta	Escenario con propuesta
Rango	T de demora total promedio (s)	T de demora total promedio (s)
Toda la red	279858.2676	301539.5097

Nota. Elaboración propia.

Se obtuvo resultados de los tiempos de detención, las cuales representan los intervalos de tiempo en el que un vehículo se encuentre totalmente detenido en toda la red.

Tabla 35

Comparación de tiempos totales de detención de vehículos de toda la red

	Escenario sin propuesta	Escenario con propuesta
Rango	T de demora en detención (s)	T de demora en detención (s)
Toda la red	224534.9407	252785.6205

Nota. Elaboración propia.

Finalmente, se realizó un resumen gráfico de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la propuesta de esta tesis. A continuación, se muestra la tabla de resumen.

Tabla 36

Porcentajes de incremento y disminución de tiempos y densidades luego de la aplicación de la propuesta

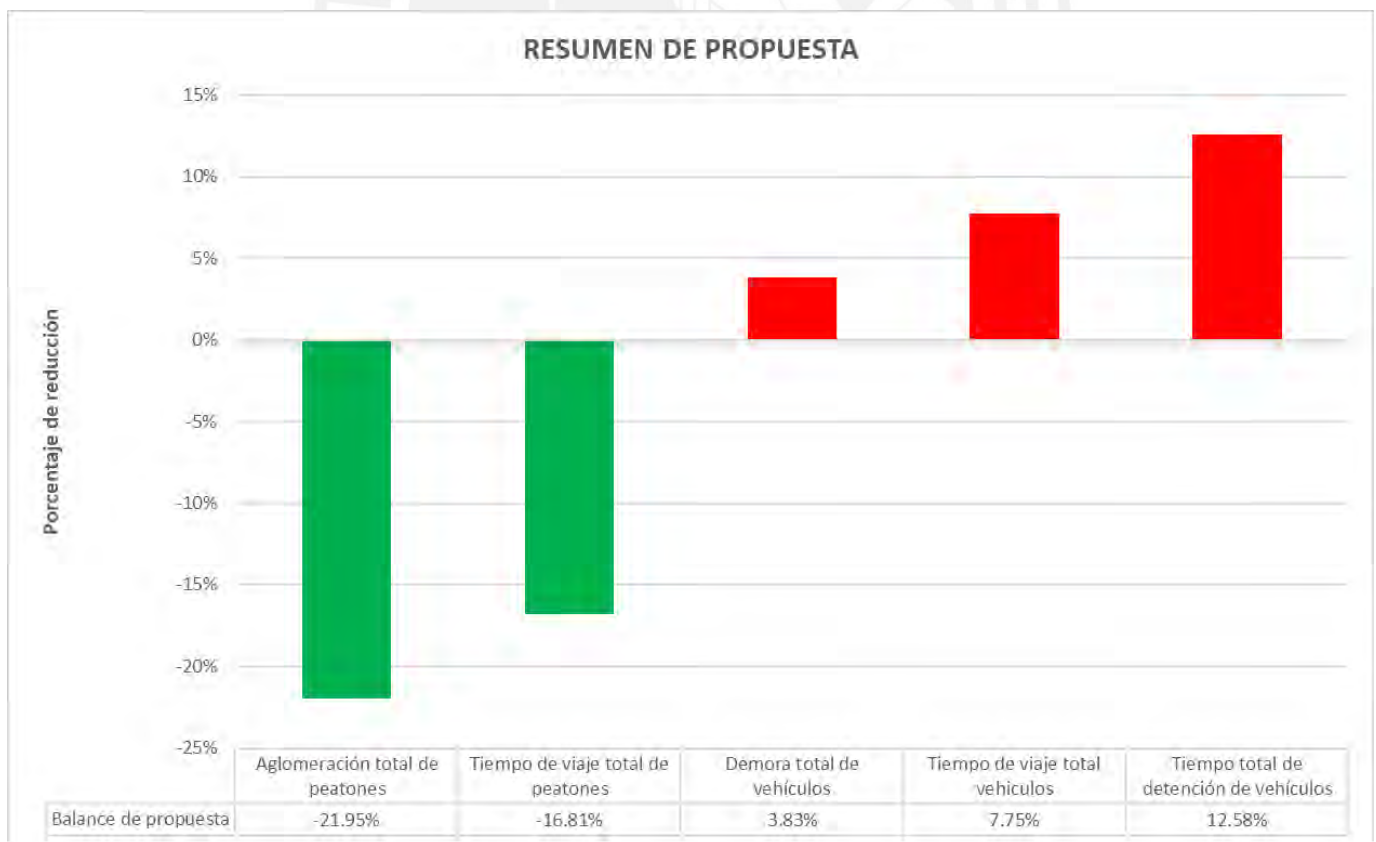
Parámetro	Mejora
Aglomeración total de peatones	-21.95%
Tiempo de viaje total de peatones	-16.81%
Demora total de vehículos	3.83%
Tiempo de viaje total vehículos	7.75%
Tiempo total de detención de vehículos	12.58%

Nota. Elaboración propia

Las densidades calculadas luego de la aplicación de la propuesta, evidencia que se genera una disminución de tiempos de viaje y aglomeraciones en todas las secciones de medición colocadas en la intersección. Estos resultados se representan en el gráfico 6 que resume los resultados obtenidos luego de la propuesta aplicada.

Gráfico 6

Balance de resultados luego de aplicada la propuesta



Nota, Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En relación con el primer objetivo propuesto, y en base a los resultados, evidencias fotográficas y datos obtenidos en campo, la intersección de las avenidas Matellini y Paseo de la República presenta deficiencias. Respecto al diseño de obras complementarias para la movilidad, las rampas tienen 90 centímetros de ancho y presentan una pendiente de 10% lo cual afecta a la movilidad de personas con discapacidad que requieren llegar a la estación BRT Matellini. Además, respecto a la seguridad vial, la intersección no cuenta con una señalización adecuada para cruces peatonales. Se observó que las luces de algunos semáforos no presentan una iluminación clara, lo cual, en horas de la mañana o ante la presencia de sol intenso, no existe una visibilidad clara de estas luces. También se observó que no existe una señalización correcta para paraderos, por lo que vehículos de transporte urbano como combis o microbuses se detienen en lugares que interfieren con el libre tránsito de los peatones y vehículos. Asimismo, respecto al comportamiento de los peatones en la intersección, se observó, mediante visitas a campo, registros fotográficos y material de grabación, que existe una densidad alta en aceras próximas a la estación BRT en horas pico, lo que genera que las personas invadan parte de los carriles vehiculares, incluso durante fases semaforicas exclusivas para vehículos, puesto que la capacidad de las veredas se ve sobrepasada por la gran cantidad de personas que se aglomeran a la espera del semáforo. Se pudo evidenciar, mediante fotografías que los peatones buscan disminuir tiempos de viaje para llegar a la estación BRT Matellini y evitar colas largas en sus embarques, por lo que se movilizan a través de rutas establecidas informales fuera de los cruces peatonales. Esto evidencia que los peatones tienen cierta preferencia a estas rutas que no existen, pero que los peatones usan para llegar a la estación Matellini y evitar esperar durante fases semaforicas para vehículos.

Respecto al segundo objetivo y a los resultados expuestos en el capítulo 5, los peatones transitan por rutas no asignadas para el cruce. Tal como se muestra en los datos obtenidos del

flujo peatonal visualizado en campo, el 15% de los peatones acortan la distancia y realizan un cruce directo a la estación Matellini sin usar los cruces peatonales, mediante rutas improvisadas por ellos mismos, para llegar a los embarques de la estación BRT y evitar colas largas. Además, se observó que los peatones que se dirigen hacia la estación BRT ignoran los semáforos en horas punta, lo cual causa que los vehículos detengan su circulación o reduzcan la velocidad, que en promedio es de 35km/h a 40 km/h, a 20 km/h. Sin embargo, en horas en donde el flujo peatonal es bajo, no se presentan estos problemas, lo que indica que, ante la necesidad de los peatones de dirigirse a sus centros de trabajo o estudios en horas de la mañana, las personas buscan acortar tiempos y distancias de viaje hacia la estación BRT. Es decir, este comportamiento peatonal se da solo en intervalos de 1 o 2 horas pico. Esto es un reflejo de la necesidad urgente de implementar lo propuesto en esta tesis para facilitar el acceso hacia la primera estación BRT de sur a norte, en base a la demanda y al flujo peatonal presente en la intersección, lo cual aumenta la seguridad tanto de peatones como de vehículos en la intersección estudiada.

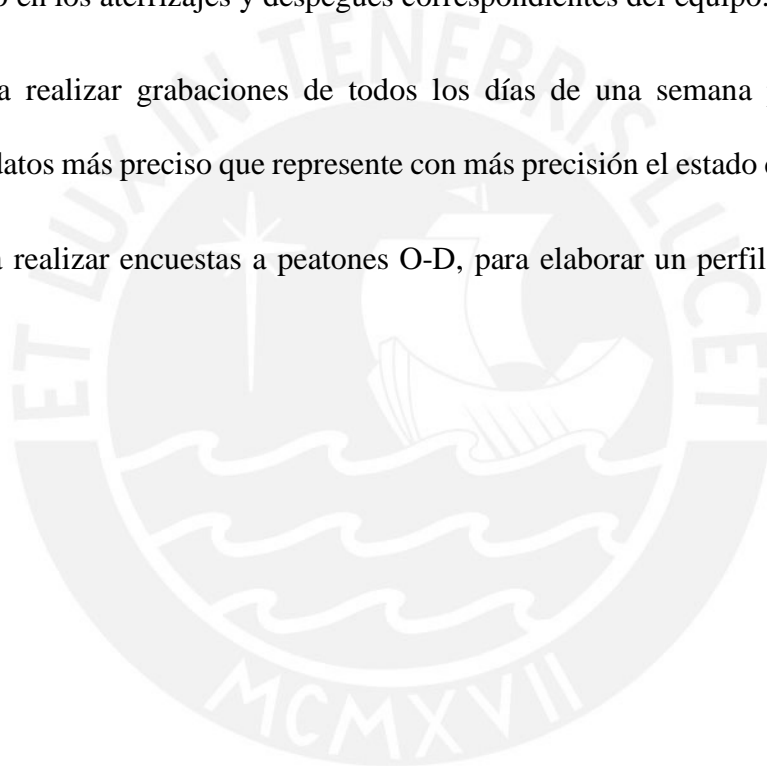
En base al tercer objetivo, y respecto al uso del software PTV Vissim, en base a la experiencia adquirida en la realización de esta tesis, se ha evidenciado que un modelo de microsimulación de una intersección con la complejidad y la magnitud como es la intersección estudiada requiere de un volumen de datos de ingreso considerable. La obtención de datos requirió de visitas de campo para mediciones de velocidad, distancias y tiempos de viaje tanto de vehículos como de peatones. También se usó un drone para captura de video y recolección de características de la intersección mediante visitas a la intersección de estudio. Esta gran cantidad de datos se procesaron para la validación y la calibración del modelo, lo cual generó varios ajustes y revisiones de datos durante la realización del modelo. Finalmente se obtuvo un producto calibrado y validado que representa el escenario sin propuesta, lo cual nos permitió el análisis de la intersección, la aplicación de la propuesta y su posterior simulación. Los

resultados presentados en el capítulo 6 muestran que el modelo de micro simulación registró densidades peatonales en las aceras de análisis por encima de 0.75 m²/peatones, tal como se observa en el Gráfico 4. Según el Manual de Capacidad para Carreteras (2010), el nivel de servicio correspondiente a las aceras peatonales de la intersección estudiada es F.

Respecto al último objetivo propuesto, se compararon los resultados del modelo del escenario sin propuesta con el modelo de la propuesta implementada y, luego de implementar los dos cruces peatonales diagonales en respuesta a la necesidad y el comportamiento peatonal definido en horas pico, se observó que se origina una reducción del 22% de la densidad peatonal en todas las secciones de medición colocadas en la intersección (Gráfico 6). A esto se suma que en secciones o aceras más cercanas a la estación BRT Matellini hubo una reducción promedio del 46% en la densidad (Gráfico 4). Además, el tiempo de viaje total de los peatones de todas las rutas en la red se redujo en promedio 17% (Gráfico 6) y el tiempo de viaje de las rutas peatonales incidentes que tienen como origen o destino la estación Matellini se redujo en promedio 18% (Gráfico 5). Estos resultados demuestran la hipótesis planteada en la presente tesis. En el Gráfico 6, los resultados muestran que a pesar de que la propuesta genera una disminución considerable de tiempos de viaje peatonal y densidades en aceras, lo cual incrementa la seguridad vial y mejora la movilidad dentro de la intersección, también se genera un incremento de solo el 4% en el tiempo de demora vehicular y un 8% en el tiempo de viaje total de vehículos en la red. Teniendo en cuenta estos resultados, la aplicación de la propuesta se dará en horas pico debido a las características de la semaforización actuada, para responder a una necesidad peatonal que se presenta en intervalos cortos de tiempo durante las mañanas. Lo cual influirá indirectamente en el flujo peatonal dentro de la estación. Mejorando la movilidad hacia los embarques.

RECOMENDACIONES

- Se debe realizar un estudio de estimación y proyección demográfica, focalizado en los usuarios de esta intersección para representar con precisión el escenario con proyección a 5 o 10 años.
- Se debe tener en cuenta la autonomía del dron utilizado para realizar las grabaciones, ya que se podría fraccionar la grabación y perder datos en el tiempo que se usa en cada cambio de batería, así como en los aterrizajes y despegues correspondientes del equipo.
- Se recomienda realizar grabaciones de todos los días de una semana para obtener una distribución de datos más preciso que represente con más precisión el estado de la intersección.
- Se recomienda realizar encuestas a peatones O-D, para elaborar un perfil de demanda más detallado.



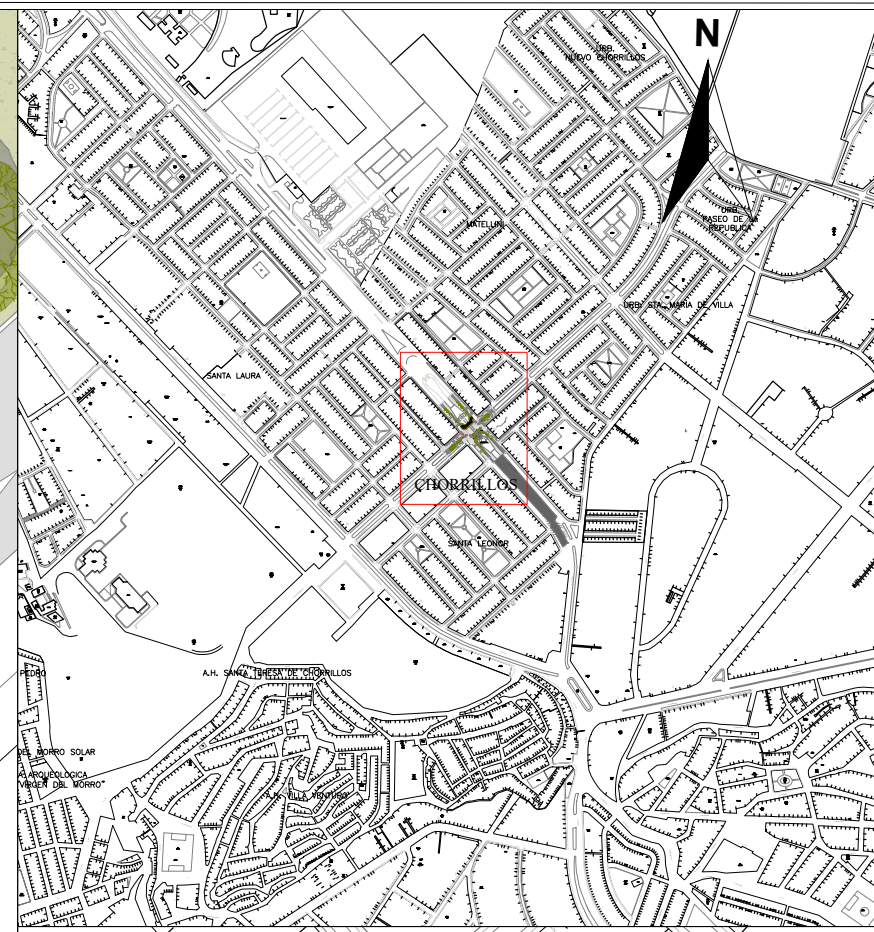
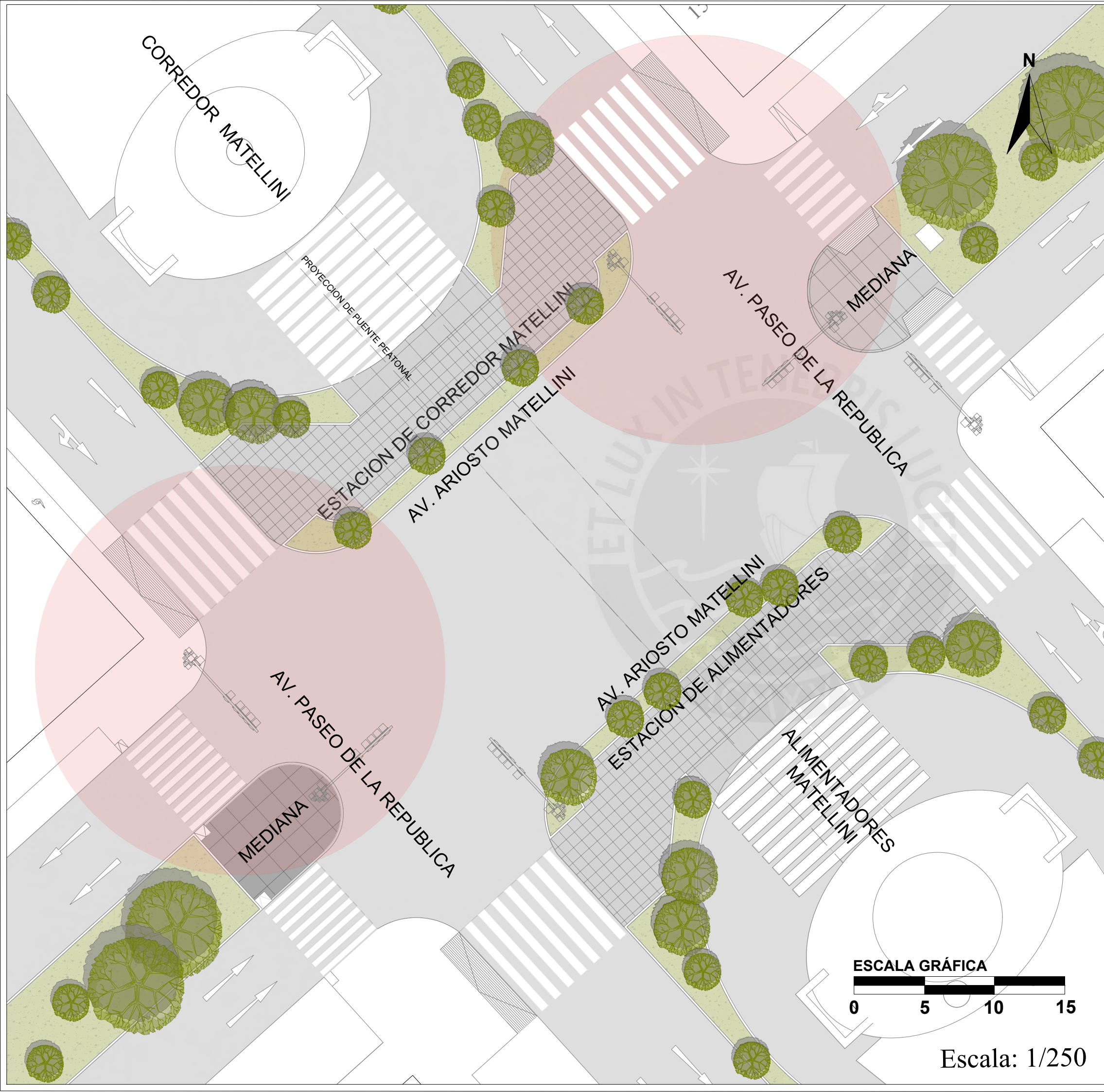
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayuntamiento de Madrid. (2000). *Instrucción de Vía Pública*.
- Cabrera, F. (2020). *Material escrito del curso Gestión de Tránsito*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Camerer, C., Loewenstein, G., & Prelec, D. (2005). Neuroeconomics: How Neuroscience. *Journal of Economic Literature*, 9-64.
- Cortés, C., & Sáez, D. (2009). *Control Inteligente para problemas dinámicos de transporte*. Santiago de Chile: Departamento de Ingeniería Civil - Transporte.
- Dextre, J. C., & Avellaneda, P. (2014). *Movilidad en zonas urbanas*. Lima: PUCP-Fundación Transitemos.
- Feliciani, C., Gorrini, A., Crociani, L., & Bandini, S. (2020). Calibration and validation of a simulation model for predicting pedestrian fatalities at unsignalized crosswalks by means of statistical traffic data. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7, 1-18. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.01.004>.
- Gehl, J., & Svarre, B. (2013). *How to study public life*.
- Gipps, P., & Marksjö, B. (1985). A micro-simulation model for pedestrian flows. *Mathematics and Computers in Simulation*, 27, 95-105. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/0378-4754\(85\)90027-8](https://doi.org/10.1016/0378-4754(85)90027-8)
- Green, M., Muir, C., Oxley, J., & Sobhani, A. (2022). Safe System in road safety public policy: A case study from Victoria, Australia. *IATSS Research*, 171-180. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2021.11.006>
- Herrero-Fernández, D. (2015). Desarrollo de un cuestionario breve para la medición del comportamiento arriesgado en peatones adolescentes. *Revista Colombiana de Psicología*, 271-284. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/psicologia/article/view/43567/52946>
- Hyunjin, J., Ahmed, S. H., & Yujin, L. (2020). Traffic signal control for smart cities using reinforcement learning. *Computer Communications*, 324-330.
- INEI. (2009). *Encuesta de comisarías sobre accidentes de tránsito*. Lima.
- Jun Cao, J. Z. (2021). Modeling urban intersection form: Measurements, patterns, and distributions. *Frontiers of Architectural Research*, 33-49. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.11.003>
- Ke, Y., & Gkritza, K. (2019). Safety ramifications of a change in pedestrian crosswalk law: A case study of Oregon, USA. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 35-42. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2018.07.004>

- Lima, I. M. (2006). *Informe Final del estudio definitivo de arquitectura e ingeniería del terminal sur(Matellini) del primer corredor segregado de alta capacidad de Lima Metropolitana*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile. (2022). *Manual de señalización de tránsito*. Obtenido de Capítulo IV - Semáforos: https://www.conaset.cl/manualsenalizacion/document/capitulo4_Semaforos.pdf
- Noaen, M., Naik, A., Goodman, L., & Crebo, J. (2022). Reinforcement learning in urban network traffic signal control: A systematic literature review. *Expert Systems with Applications*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116830>
- Nokin Traffic Facilities Co., Ltd. (s.f.). Obtenido de <http://tachavial.com/>
- Sanz, A. (2017). Movilidad y accesibilidad: un escollo para la. *Ciudades para un Futuro más Sostenible*.
- Schwebel, D., & Stavrinos, D. (2009). Attentional control, high intensity pleasure, and risky pedestrian behavior in college students. *Accident Analysis & Prevention*, 658-661. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.03.003>
- Semáforos. (s.f.). www.semaforos.com.mx. Obtenido de <https://www.semaforos.com.mx/producto/semaforo-actuado-sensor-4/>
- Talavera-García, R., & Valenzuela-Montes, L. M. (2014). La calidad peatonal como método para evaluar entornos de movilidad urbana. *Publicacions del Departament de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona*.
- Transportation Research Board Of The National Academies. (2010). *High Capacity Manual (HCM)*.
- Wagner, P. (2011). Delay-Time Actuated Traffic Signal Control.
- Webster, F. V. (1958). *Traffic Signal Settings*. Michigan: H.M. Stationery Office.
- Wiering, M., Vreeken, J., & Koopman, A. (2004). *Intelligent Traffic Light Control*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/2942266_Intelligent_Traffic_Light_Control
- Yang, G., Warchol, S., Cunningham, C. M., & Hummer, J. (2022). The potential of signalized offset T-intersections to accommodate new developments. *International Journal of Transportation Science and Technology*.
- Yue, R., Yang, G., Zheng, Y., Wu, J., Lin, D., & Tian., Z. (2020). Feasibility of using a single traffic signal controller to accommodate adjacent intersections. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 52-63.



ANEXOS



CHORRILLOS

Escala 1:2500

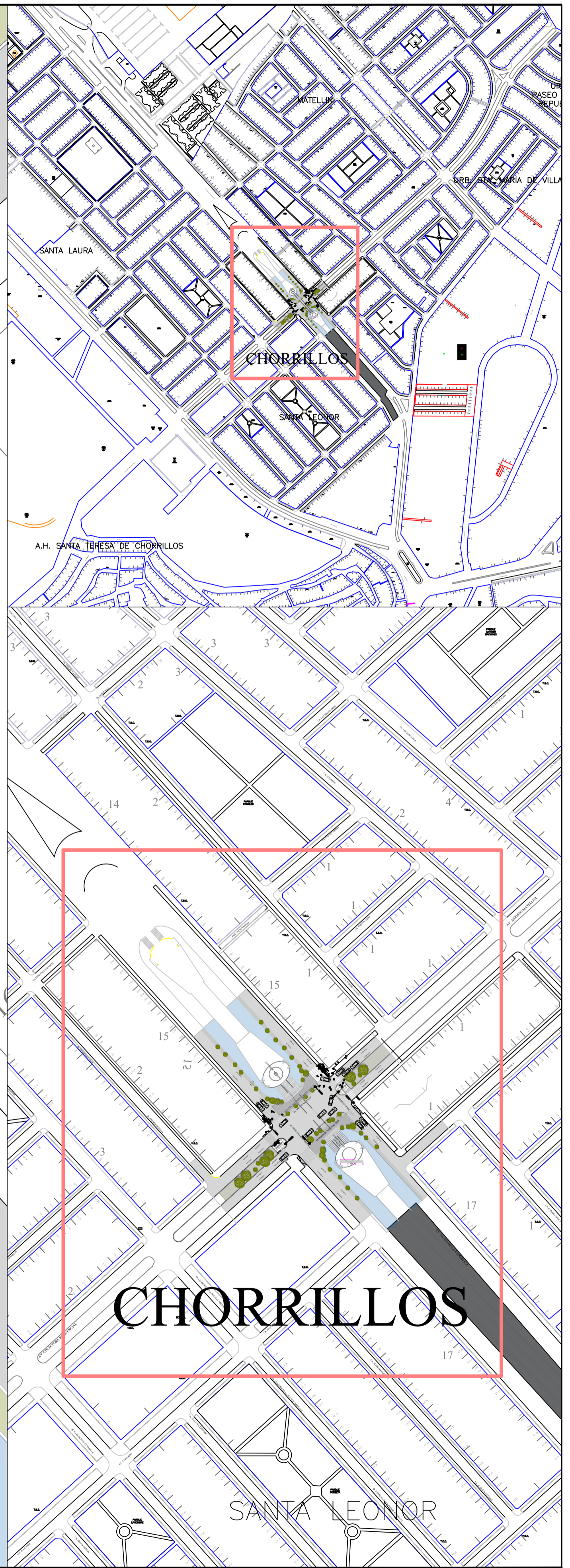


Escala: 1/250

PLANO DE UBICACIÓN



PROYECTO: Propuesta semafórica en la intersección Matellini- Paseo de la República			LÁMINA N°:
Ubicación: Provincia: Lima Distrito: Chorrillos			U-01
PLANO: Plano de ubicación de la intersección de estudio			
DIBUJO: PUCP	ESCALA: Indicada	FECHA: Octubre del 2022	

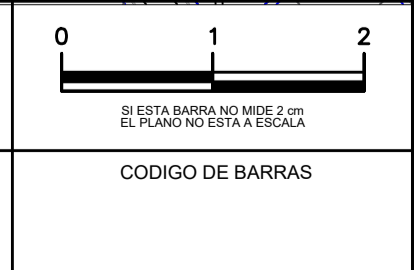


REVISIONES		
REV	FECHA	DESCRIPCION
3		
2		
1		
0		

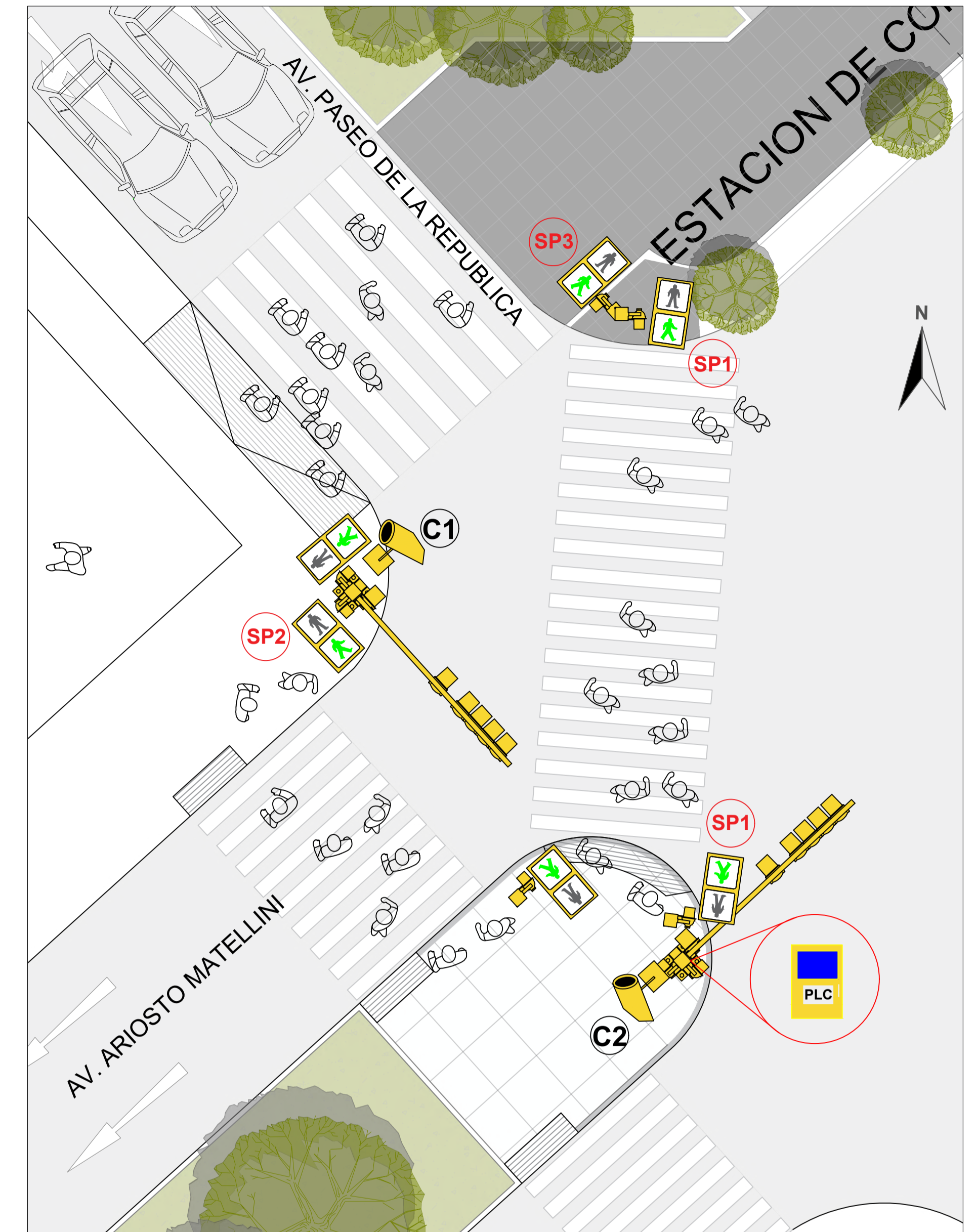
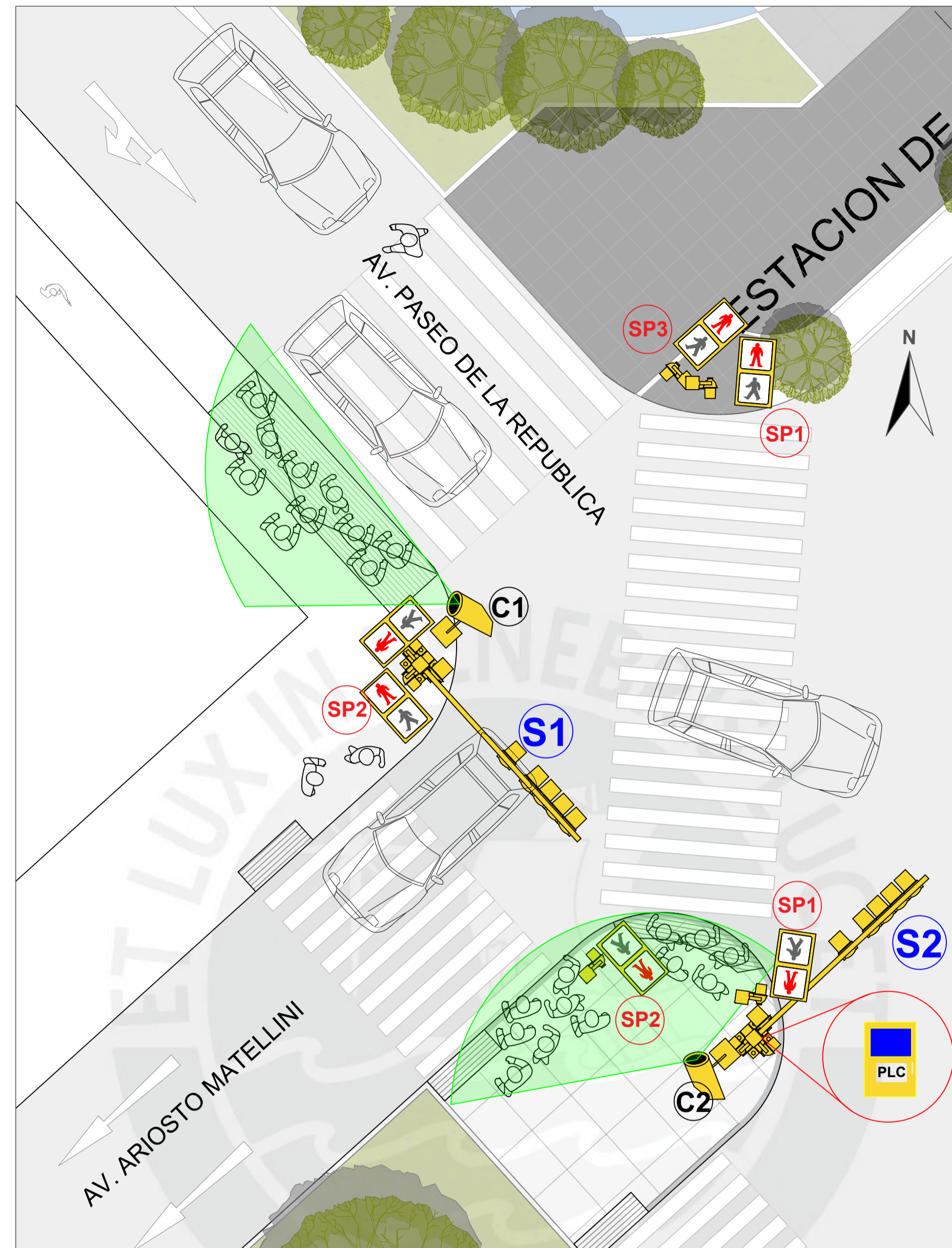
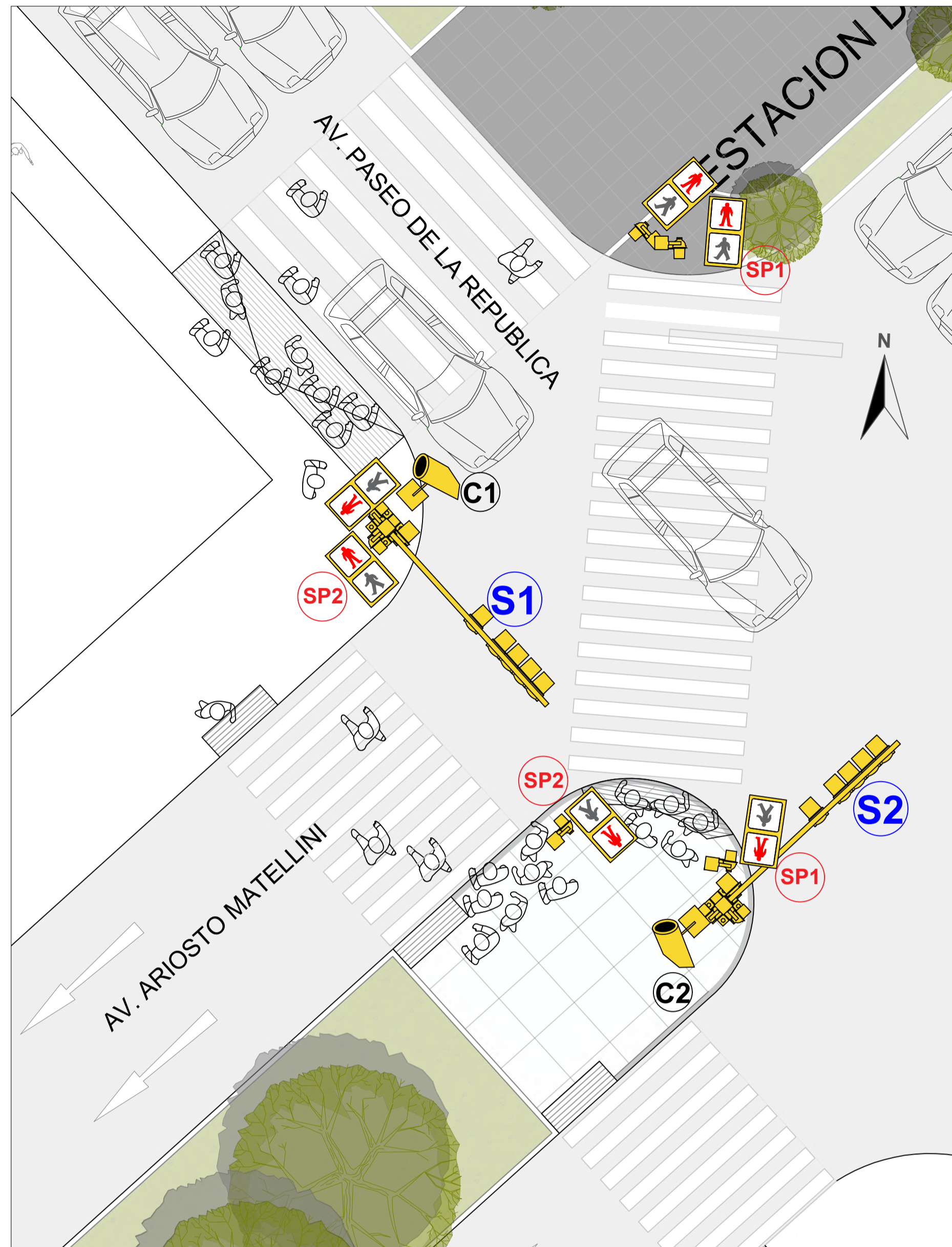
REALIZADO	REVISADO	APROBADO
BRANDO YAPO ROMERO	BRANDO YAPO ROMERO	FERNANDO CAMPOS DE LA CRUZ

Propuesta de semaforización actualada en la intersección de las Avenidas Matellini y Paseo de la República para reducir el tiempo de cruce y la densidad de los peatones

ESCALA: 1:100
FECHA: 30/05/2023



VISTA DE PLANTA
PROPUESTA DE SEMAFORIZACIÓN
Y CRUCE PEATONAL INTERSECCIÓN MATELLINI
CODIGO DE BARRAS
PLANO N° PUCP - P - 002
0



- Las cámaras C1 y C2 se encargan de detectar la presencia de peatones con ayuda de sensores y cámaras aforadoras.
- Transmiten el aforo de peatones en aceras, medianas o zonas de espera al controlador programable (PLC), quien junto al sistema SCAT determina el cambio de fase de los semáforos.
- Se activa la fase de verde de los semáforos peatonales SP1, SP2 Y SP3. Esto libera la aglomeración en las esquinas y habilita el cruce diagonal para que los peatones puedan cruzar con seguridad.



REVISIONES		
REV	FECHA	DESCRIPCIÓN
3		
2		
1		
0		

REALIZADO	REVISADO	APROBADO
BRANDO YAPO ROMERO	FERNANDO CAMPOS DE LA CRUZ	FERNANDO CAMPOS DE LA CRUZ

Propuesta de semaforización actuada en la intersección de las Avenidas Matellini y Paseo de la República para reducir el tiempo de cruce y la densidad de los peatones

ESCALA: 1:100	0 1 2
FECHA: 30/05/2023	CODIGO DE BARRAS

VISTA DE PLANTA ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA SEMAFORIZACIÓN ACTUADA		PLANO N°	PUCP - P - 003	0
--	--	----------	----------------	---

Tabla 1

Tabla de conteo vehicular para calibración y validación – Acceso 1

	ACCESO 1																				
	GIRO 1								Movimiento 2								GIRO 3				
	VP	TP bus	Moto	HGV	BRT	Micro	Mototaxi	VP	TP bus	Moto	HGV	BRT	Micro	Mototaxi	VP	TP bus	Moto	HGV	BRT	Micro	Mototaxi
1ER CICLO	6	1	1	0	0	0	1	14	1	10	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
2do CICLO	4	0	2	1	0	1	1	11	1	3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3er CICLO	7	0	1	0	0	0	0	10	0	1	7	1	0	1	5	0	0	0	0	0	0
4to CICLO	6	0	0	0	0	0	1	20	0	2	4	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0
5to CICLO	9	0	0	0	0	0	0	13	1	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
6to CICLO	5	0	2	0	0	0	0	13	0	2	1	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0
7mo CICLO	7	0	0	0	0	0	1	14	0	7	3	0	0	0	5	0	0	2	0	0	1
8vo CICLO	10	0	0	0	0	0	0	18	0	5	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	0
VALIDACION																					
1ER CICLO	7	0	0	0	0	0	0	16	1	2	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
2do CICLO	7	0	0	0	0	0	2	15	0	3	4	0	0	0	6	0	1	0	0	0	1
3er CICLO	8	0	1	0	0	0	0	12	2	2	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
4to CICLO	7	0	0	0	0	0	1	21	0	3	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
5to CICLO	7	0	0	0	0	0	1	21	0	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
6to CICLO	4	0	0	0	0	0	1	22	0	4	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1
7mo CICLO	7	0	0	0	0	0	0	16	0	2	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
8vo CICLO	7	0	0	0	0	0	0	10	1	2	2	0	0	0	3	0	0	1	0	0	1
TOTAL	108	1	7	1	0	1	9	246	7	49	34	1	1	3	54	0	2	3	0	1	6
TOTAL/TIPO	408	8	58	38	1	3	18	534													
PORCENTAJE	0.764	0.015	0.109	0.071	0.002	0.006	0.034	127													
FLUJO TOTAL	534																				
CALIB	54	1	6	1	0	1	4	113	3	30	18	1	1	3	28	0	1	2	0	1	2
Total tipo	195	4	37	21	1	3	9	270													
PORCENTAJE	0.722	0.015	0.137	0.078	0.004	0.011	0.033	67	0.25						169	0.63				0.13	34
VALID	54	0	1	0	0	0	5	133	4	19	16	0	0	0	26	0	1	1	0	0	4
Total tipo	213	4	21	17	0	0	9	264													
PORCENTAJE	0.807	0.015	0.080	0.064	0.000	0.000	0.034	60	0.23						172	0.65				0.12	32

Tabla 2

Tabla de conteo vehicular para calibración y validación – Acceso 2

ACCESO 2																					
Giro 4							Movimiento 5							GIRO 6							
VP	TP bus	Moto	HGV	BRT	Micro	Mototaxi	VP	TP bus	Moto	HGV	BRT	Micro	Mototaxi	VP	TP bus	Moto	HGV	BRT	Micro	Mototaxi	
2	0	1	0	0	0	0	5	0	1	1	0	1	0	9	1	1	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	13	3	0	1	0	2	0	9	0	0	0	0	0	1	0
4	0	0	0	0	0	0	7	0	2	2	0	2	0	14	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	7	2	0	0	0	2	0	8	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	9	0	1	1	0	1	0	12	0	2	1	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	10	1	0	1	0	1	0	9	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	6	2	2	0	0	1	1	11	1	1	1	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	10	1	1	1	0	0	1	8	1	0	1	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	2	2	12	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	12	2	2	1	0	2	0	7	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	7	1	0	0	0	2	2	3	1	0	1	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0	17	1	2	0	0	0	0	5	0	0	1	0	1	0	0
1	0	1	0	0	0	0	16	0	0	0	0	3	1	7	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	12	1	3	2	0	1	3	2	1	1	1	0	1	1	1
4	0	0	0	0	0	1	11	2	0	0	0	5	4	7	0	0	1	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	13	2	2	0	0	0	1	6	0	0	0	0	0	0	1
39	1	5	1	0	0	2	160	18	16	10	0	25	15	129	5	5	7	0	3	2	2
328	24	26	18	0	28	19	443														
0.740	0.054	0.059	0.041	0.000	0.063	0.043															
417																					
18	0	3	0	0	0	0	67	9	7	7	0	10	2	80	3	4	3	0	1	0	0
165	12	14	10	0	11	2	214														
0.771	0.056	0.065	0.047	0.000	0.051	0.009	21	0.10						102	0.48				0.43	91	
21	1	2	1	0	0	2	93	9	9	3	0	15	13	49	2	1	4	0	2	2	2
163	12	12	8	0	17	17	229														
0.712	0.052	0.052	0.035	0.000	0.074	0.074	27	0.12						142	0.62				0.26	60	

Tabla 3

Tabla de conteo vehicular para calibración y validación – Acceso 3

ACCESO 3																				
Giro 7							Movimiento 8							Giro 9						
VP	TP bus	Moto	HGV	BRT	Micro	Mototaxi	VP	TP bus	Moto	HGV	BRT	Micro	Mototaxi	VP	TP bus	Moto	HGV	BRT	Micro	Mototaxi
26	0	0	0	0	0	1	18	0	1	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0
22	0	3	0	0	1	0	13	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0
16	2	2	1	0	0	1	7	0	3	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
28	0	3	0	0	0	0	11	0	2	0	0	0	0	7	0	1	0	0	0	1
18	1	4	0	0	0	0	5	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
24	0	1	2	0	0	2	20	0	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
18	1	0	0	0	1	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	1
19	0	1	0	0	0	1	15	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0
23	0	5	0	0	0	2	9	0	6	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
16	1	0	3	0	0	2	12	0	3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
26	0	1	0	0	0	2	14	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0
12	0	1	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	2	0	0	1	17	0	0	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
16	1	0	1	0	0	2	11	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	2	20	0	3	1	1	0	0	3	0	0	0	0	0	2
28	0	2	0	0	0	3	10	1	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
332	6	23	9	0	2	19	207	1	25	6	2	2	5	38	0	6	2	0	0	4
577	7	54	17	2	4	28	689													
0.837	0.010	0.078	0.025	0.003	0.006	0.041														
635																				
171	4	14	3	0	2	5	109	0	10	1	0	2	3	24	0	4	1	0	0	2
304	4	28	5	0	4	10	355													
0.856	0.011	0.079	0.014	0.000	0.011	0.028	199	0.56						125	0.35				0.09	31
161	2	9	6	0	0	14	98	1	15	5	2	0	2	14	0	2	1	0	0	2
273	3	26	12	2	0	18	334													
0.817	0.009	0.078	0.036	0.006	0.000	0.054	192	0.57						123	0.37				0.06	19

Tabla 4

Tabla de conteo vehicular para calibración y validación – Acceso 4

ACCESO 4																				
Giro 10							Movimiento 11							Giro 12						
VP	TP bus	Moto	HGV	BRT	Micro	Mototaxi	VP	TP bus	Moto	HGV	BRT	Micro	Mototaxi	VP	TP bus	Moto	HGV	BRT	Micro	Mototaxi
3	0	5	0	0	0	0	2	1	2	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0
3	0	4	0	0	0	1	3	1	2	1	0	1	3	1	0	0	0	0	0	1
2	0	2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
3	0	1	0	0	0	1	5	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
3	0	2	1	0	0	0	3	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	2	0
1	0	0	0	0	0	0	4	1	3	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	6	1	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	2	0	0	0	1	3	0	5	0	0	1	4	1	0	0	0	0	0	2
3	0	0	1	0	3	3	0	1	0	0	0	2	3	2	0	0	0	0	0	0
2	0	2	0	0	0	0	2	1	2	0	0	1	3	3	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	2	1	2	0	0	3	3	1	0	0	0	0	0	1
2	0	2	0	0	0	1	3	2	3	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	2
1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	2	3	1	0	0	0	0	0	1
2	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	1	1	0	0	0	0	0	1
30	0	22	2	0	3	8	41	10	26	8	0	24	27	15	0	0	0	0	3	13
86	10	48	10	0	30	48	232													
0.371	0.043	0.207	0.043	0.000	0.129	0.207														
184																				
17	0	14	1	0	0	3	29	4	10	7	0	9	7	4	0	0	0	0	3	6
50	4	24	8	0	12	16	114													
0.439	0.035	0.211	0.070	0.000	0.105	0.140	35	0.31						66	0.58				0.11	13
13	0	8	1	0	3	5	12	6	16	1	0	15	20	11	0	0	0	0	0	7
36	6	24	2	0	18	32	118													
0.305	0.051	0.203	0.017	0.000	0.153	0.271	30	0.25						70	0.59				0.15	18

Tabla 6
Resumen de conteo vehicular para calibración

Conteo calibración				
Hora	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4
7:00-7:15	270	355	214	114
7:15-7:30	268	356	220	125
7:30-7:45	274	350	218	135
7:45-8:00	281	357	221	131
Total	1093	1418	882	505

Tabla 5
Resumen de conteo vehicular para validación

Conteo validación				
Hora	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4
7:00-7:15	264	334	229	118
7:15-7:30	266	330	220	120
7:30-7:45	272	348	217	127
7:45-8:00	278	355	224	130
Total	1080	1367	890	495

Tabla 7
Tabla de flujo relativo por cada ruta para calibración y validación

Flujo relativo para cada ruta (Calibración)			
Acceso 1	1	2	3
	0.25	0.63	0.12
Acceso 2	4	5	6
	0.10	0.48	0.42
Acceso 3	7	8	9
	0.56	0.35	0.09
Acceso 4	10	11	12
	0.31	0.58	0.11

Flujo relativo para cada ruta (Validación)			
Acceso 1	1	2	3
	0.23	0.65	0.12
Acceso 2	4	5	6
	0.12	0.62	0.26
Acceso 3	7	8	9
	0.57	0.37	0.06
Acceso 4	10	11	12
	0.25	0.59	0.15

Tabla 8
Composición vehicular para calibración

COMPOSICIÓN VEHICULAR - CALIBRACIÓN								
ACCESO	VP	TP bus	Moto	HGV	BRT	Micro	Mototaxi	TOTAL
ACCESO 1	195	4	37	21	1	3	9	270
COMP VEH	0.722	0.015	0.137	0.078	0.004	0.011	0.033	1
ACCESO 2	165	12	14	10	0	11	2	214
COMP VEH	0.771	0.056	0.065	0.047	0.000	0.051	0.009	1
ACCESO 3	304	4	28	5	0	4	10	355
COMP VEH	0.856	0.011	0.079	0.014	0.000	0.011	0.028	1
ACCESO 4	50	4	24	8	0	12	16	114
COMP VEH	0.439	0.035	0.211	0.070	0.000	0.105	0.140	1

Tabla 9

Composición vehicular para validación

COMPOSICIÓN VEHICULAR - VALIDACIÓN								
ACCESO	VP	TP bus	Moto	HGV	BRT	Micro	Mototaxi	TOTAL
ACCESO 1	213	4	21	17	0	0	9	264
COMP VEH	0.807	0.015	0.080	0.064	0.000	0.000	0.034	1
ACCESO 2	163	12	12	8	0	17	17	229
COMP VEH	0.712	0.052	0.052	0.035	0.000	0.074	0.074	1
ACCESO 3	273	3	26	12	2	0	18	334
COMP VEH	0.817	0.009	0.078	0.036	0.006	0.000	0.054	1
ACCESO 4	36	6	24	2	0	18	32	118
COMP VEH	0.305	0.051	0.203	0.017	0.000	0.153	0.271	1

Tabla 10

Conteo de peatones para calibración y validación

Conteo peatones calibración desde BRT									
Hora	Salen de BRT	Ruta A0	Ruta A1	Ruta A2	Ruta A3	Ruta B0	Ruta B1	Ruta B2	Ruta B3
7:00-7:15	327	7	91	95	31	5	55	41	2
7:15-7:30	364	10	108	89	28	8	51	65	5
7:30-7:45	313	11	81	91	19	9	36	60	6
7:45-8:00	336	13	98	94	37	11	31	44	8
Total	1340	41	378	369	115	33	173	210	21
Rel	1	0.031	0.282	0.275	0.086	0.025	0.129	0.157	0.016

Conteo peatones calibración hacia BRT								
Hora	Ruta C0	Ruta C1	Ruta C2	Ruta C3	Ruta D0	Ruta D1	Ruta D2	Ruta D3
7:00-7:15	4	150	58	10	131	20	440	29
7:15-7:30	9	152	78	15	135	22	351	21
7:30-7:45	12	160	86	18	146	25	368	24
7:45-8:00	10	168	80	16	139	23	329	29
Subtotal	35	630	302	59	551	90	1488	103
Rel	0.0107	0.1934	0.0927	0.0181	0.1691	0.0276	0.4567	0.0316
Total	3258							

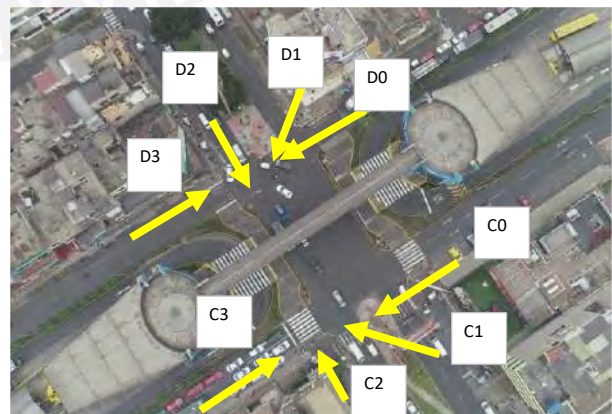
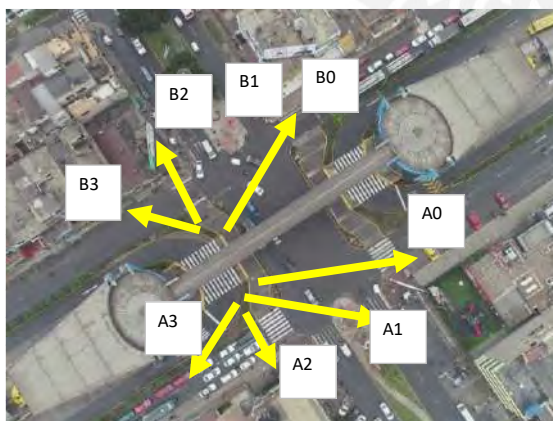


Tabla 12*Conteo de peatones para validación hacia estación BRT Matellini*

Conteo peatones validación hacia BRT								
Hora	Ruta C0	Ruta C1	Ruta C2	Ruta C3	Ruta D0	Ruta D1	Ruta D2	Ruta D3
7:00-7:15	12	143	61	18	132	25	448	35
7:15-7:30	10	144	82	16	131	23	355	22
7:30-7:45	4	160	99	10	145	21	365	26
7:45-8:00	13	167	74	19	150	23	327	24
Subtotal	39	614	316	63	558	92	1495	107
Rel	0.0119	0.1870	0.0962	0.0192	0.1699	0.0280	0.4552	0.0326
Total	3284							

**Tabla 11***Conteo de peatones para validación desde estación BRT Matellini*

Conteo peatones validación desde BRT									
Hora	Salen de BRT	Ruta A0	Ruta A1	Ruta A2	Ruta A3	Ruta B0	Ruta B1	Ruta B2	Ruta B3
7:00-7:15	342	10	101	99	35	8	36	48	5
7:15-7:30	359	9	124	86	30	7	32	67	4
7:30-7:45	339	13	96	94	28	11	36	53	8
7:45-8:00	343	10	116	96	31	8	32	45	5
Total	1383	42	437	375	124	34	136	213	22
Rel	1	0.030	0.316	0.271	0.090	0.025	0.098	0.154	0.016

Tabla 13

Tabla de conteo peatonal para rutas auxiliares- calibración

Conteo peatones calibración rutas secundarias																										
Hora	Ruta C0-1	Ruta C0-2	Ruta C0-3	Ruta C0-4	Ruta C0-5	Ruta C0-6	Ruta C1-1	Ruta C1-2	Ruta C1-3	Ruta C1-4	Ruta C1-5	Ruta C1-6	Ruta C2-1	Ruta C2-2	Ruta C2-3	Ruta C2-4	Ruta C2-5	Ruta C2-6	Ruta C3-1	Ruta C3-2	Ruta C3-3	Ruta C3-4	Ruta C3-5	Ruta C3-6	Ruta D0-1	Ruta D0-2
7:00-7:15	0	3	7	6	0	1	1	2	6	11	1	0	3	3	2	0	0	3	2	0	1	3	0	3	0	0
7:15-7:30	3	2	10	5	4	0	0	3	5	7	0	1	5	2	0	3	0	4	4	2	3	1	1	4	2	1
7:30-7:45	2	5	5	11	1	2	2	4	9	6	3	0	4	0	4	3	3	4	6	3	1	2	0	4	0	0
7:45-8:00	2	4	8	7	0	0	5	4	8	9	5	1	4	6	5	5	2	6	5	0	2	0	3	2	3	2
Subtotal	7	14	30	29	5	3	8	13	28	33	9	2	16	11	11	11	5	17	17	5	7	6	4	13	5	3

Ruta D0-3	Ruta D0-4	Ruta D0-5	Ruta D0-6	Ruta D1-1	Ruta D1-2	Ruta D1-3	Ruta D1-4	Ruta D1-5	Ruta D1-6	Ruta D2-1	Ruta D2-2	Ruta D2-3	Ruta D2-4	Ruta D2-5	Ruta D2-6	Ruta D3-1	Ruta D3-2	Ruta D3-3	Ruta D3-4	Ruta D3-5	Ruta D3-6
3	2	6	1	0	3	2	0	4	7	0	3	0	4	5	3	0	3	1	2	3	0
0	1	4	3	4	1	1	0	5	5	2	0	2	3	6	4	2	0	0	4	5	1
2	6	4	2	6	2	2	3	3	4	1	4	0	5	5	2	1	3	0	1	6	4
4	3	5	3	0	1	2	0	3	3	1	1	3	4	4	4	1	0	1	4	2	6
9	12	19	9	10	7	7	3	15	19	4	8	5	16	20	13	4	6	2	11	16	11

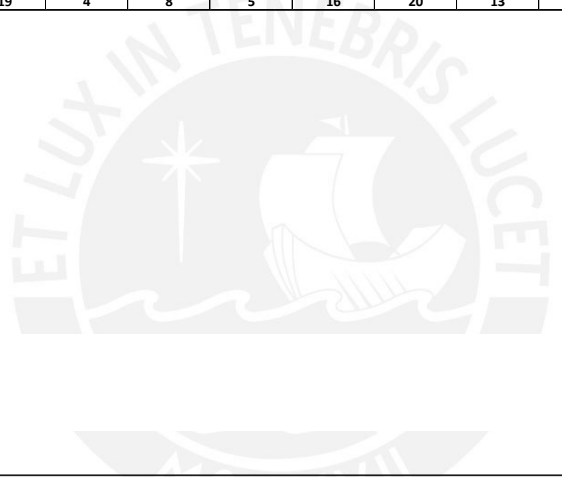


Tabla 14

Tabla de conteo peatonal para rutas auxiliares- validación

Conteo peatones validación rutas secundarias																										
Hora	Ruta C0-1	Ruta C0-2	Ruta C0-3	Ruta C0-4	Ruta C0-5	Ruta C0-6	Ruta C1-1	Ruta C1-2	Ruta C1-3	Ruta C1-4	Ruta C1-5	Ruta C1-6	Ruta C2-1	Ruta C2-2	Ruta C2-3	Ruta C2-4	Ruta C2-5	Ruta C2-6	Ruta C3-1	Ruta C3-2	Ruta C3-3	Ruta C3-4	Ruta C3-5	Ruta C3-6	Ruta D0-1	Ruta D0-2
7:00-7:15	0	2	9	5	0	0	2	1	5	10	0	2	5	2	3	0	3	3	2	2	2	0	0	4	2	1
7:15-7:30	4	3	7	7	3	2	0	2	8	5	0	0	4	1	5	2	0	5	3	0	3	4	2	3	0	0
7:30-7:45	1	4	6	10	0	0	3	7	8	3	0	4	5	0	2	0	5	5	2	0	2	0	4	3	0	0
7:45-8:00	3	4	5	6	1	3	4	4	6	6	4	1	6	3	4	6	4	7	5	1	1	2	3	3	1	1
Subtotal	8	13	27	28	4	5	6	10	26	29	7	3	19	11	12	10	7	20	16	5	6	8	5	14	6	2

Ruta D0-3	Ruta D0-4	Ruta D0-5	Ruta D0-6	Ruta D1-1	Ruta D1-2	Ruta D1-3	Ruta D1-4	Ruta D1-5	Ruta D1-6	Ruta D2-1	Ruta D2-2	Ruta D2-3	Ruta D2-4	Ruta D2-5	Ruta D2-6	Ruta D3-1	Ruta D3-2	Ruta D3-3	Ruta D3-4	Ruta D3-5	Ruta D3-6
2	3	5	3	3	2	1	0	3	6	2	2	2	3	4	2	2	0	0	3	2	1
1	2	6	2	0	0	2	3	3	6	0	0	0	6	6	5	0	4	2	5	4	0
3	5	3	2	3	3	3	0	3	5	1	5	1	4	6	3	1	3	0	1	5	5
0	4	7	3	4	4	3	1	5	3	2	1	3	5	5	4	2	2	2	5	3	7
6	14	21	10	10	9	9	4	14	20	5	8	6	18	21	14	5	9	4	14	14	13

Tabla 16

Matriz origen-destino de peatones para calibración

MATRIZ PEATONES CALIBRACION										
ORIGEN / DESTINO	BRT	C0	C1	C2	C3	D0	D1	D2	D3	TOTAL
BRT	0	41	378	369	115	33	173	210	21	1340
C0	35	0	0	7	14	3	5	29	30	123
C1	630	0	0	8	13	2	9	33	28	723
C2	302	5	17	0	0	11	11	11	16	373
C3	59	4	13	0	0	6	7	5	17	111
D0	551	5	3	9	12	0	0	9	19	608
D1	90	10	7	7	3	0	0	19	15	151
D2	1488	5	16	20	13	8	4	0	0	1554
D3	103	2	11	16	11	6	4	0	0	153
TOTAL	3258	72	445	436	181	69	213	316	146	5136

Tabla 15

Matriz origen-destino relativo de peatones para validación

MATRIZ PEATONES CALIBRACION (REL)										
ORIGEN / DESTINO	BRT	C0	C1	C2	C3	D0	D1	D2	D3	TOTAL
BRT	0.000	0.031	0.282	0.275	0.086	0.025	0.129	0.157	0.016	1
C0	0.285	0.000	0.000	0.057	0.114	0.024	0.041	0.236	0.244	1
C1	0.871	0.000	0.000	0.011	0.018	0.003	0.012	0.046	0.039	1
C2	0.810	0.013	0.046	0.000	0.000	0.029	0.029	0.029	0.043	1
C3	0.532	0.036	0.117	0.000	0.000	0.054	0.063	0.045	0.153	1
D0	0.906	0.008	0.005	0.015	0.020	0.000	0.000	0.015	0.031	1
D1	0.596	0.066	0.046	0.046	0.020	0.000	0.000	0.126	0.099	1
D2	0.958	0.003	0.010	0.013	0.008	0.005	0.003	0.000	0.000	1
D3	0.673	0.013	0.072	0.105	0.072	0.039	0.026	0.000	0.000	1

Tabla 17

Matriz origen-destino de peatones para validación

MATRIZ PEATONES VALIDACIÓN										
ORIGEN / DESTINO	BRT	C0	C1	C2	C3	D0	D1	D2	D3	TOTAL
BRT	0	42	437	375	124	34	136	213	22	1383
C0	39	0	0	8	13	5	4	28	27	124
C1	614	0	0	6	10	3	7	29	26	695
C2	316	7	20	0	0	10	12	11	19	395
C3	63	5	14	0	0	8	6	5	16	117
D0	558	6	2	6	14	0	0	10	21	617
D1	92	10	9	9	4	0	0	20	14	158
D2	1495	6	18	21	14	8	5	0	0	1567
D3	107	4	14	14	13	9	5	0	0	166
TOTAL	3284	80	514	439	192	77	175	316	145	5222

Tabla 18

Matriz de origen-destino relativo peatonal para validación

MATRIZ PEATONES VALIDACIÓN (REL)										
ORIGEN / DESTINO	BRT	C0	C1	C2	C3	D0	D1	D2	D3	TOTAL
BRT	0.000	0.030	0.316	0.271	0.090	0.025	0.098	0.154	0.016	1
C0	0.315	0.000	0.000	0.065	0.105	0.040	0.032	0.226	0.218	1
C1	0.883	0.000	0.000	0.009	0.014	0.004	0.010	0.042	0.037	1
C2	0.800	0.018	0.051	0.000	0.000	0.025	0.030	0.028	0.048	1
C3	0.538	0.043	0.120	0.000	0.000	0.068	0.051	0.043	0.137	1
D0	0.904	0.010	0.003	0.010	0.023	0.000	0.000	0.016	0.034	1
D1	0.582	0.063	0.057	0.057	0.025	0.000	0.000	0.127	0.089	1
D2	0.954	0.004	0.011	0.013	0.009	0.005	0.003	0.000	0.000	1
D3	0.645	0.024	0.084	0.084	0.078	0.054	0.030	0.000	0.000	1

Tabla 19

Comparación de densidad peatonal entre el estado actual y el estado luego de propuesta en secciones de medición

Aglomeración de peatones		Estado actual		Propuesta		Mejora
Rango	Medición	Núm. Max. Promedio Peatones	Densidad Max. Promedio (peat/h)	Núm. Max. Promedio Peatones (peat/h)	Densidad Max. Promedio	
600-4200	C23-1	51	2.293	15	0.656	71.39%
600-4200	C23-2	36	1.669	25	1.135	32.01%
600-4200	C01-2	12	1.039	8	0.730	29.71%
600-4200	D23-1	76	2.355	37	1.140	51.61%
600-4200	D23-2	21	1.329	14	0.856	35.60%
600-4200	D01-2	8	0.994	5	0.398	59.91%
					PROMEDIO	46.70%



Tabla 20

Comparación del tiempo ed viaje peatonal entre el estado actual y el estado luego de propuesta en secciones de medición

Tiempo de viaje peatones		Estado actual	Propuesta	
Rango	Ruta	T de viaje promedio (s)	T de viaje promedio (s)	Mejora
600-4200	C1-BRT	171.99	124.60	27.55%
600-4200	C2-BRT	81.82	66.33	18.94%
600-4200	D0-BRT	178.89	124.39	30.47%
600-4200	D2-BRT	105.93	89.85	15.18%
600-4200	BRT-C1	155.26	150.89	2.81%
600-4200	BRT-D2	102.76	88.98	13.40%
			PROMEDIO	18.06%

