

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE LA INTERSECCIÓN CONFORMADA POR LAS
AVENIDAS PARQUE DE LAS LEYENDAS Y LA MAR**
Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES:

Mauro Fabricio Carrillo Fernández

Joel David Velasquez Machaca

ASESOR:

Félix Israel Cabrera Vega


Lima, noviembre, 2024

Informe de Similitud

Yo, Felix Cabrera Vega docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada “EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE LA INTERSECCIÓN CONFORMADA POR LAS AVENIDAS PARQUE DE LAS LEYENDAS Y LA MAR”, de los autores Mauro Fabricio Carrillo Fernández y Joel David Velasquez Machaca, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 16%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 05/11/2024.
- 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: Lima, 05 de noviembre 2024

Apellidos y nombres del asesor <u>Cabrera Vega Felix Israel</u>	
DNI: 22309049	Firma 
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1917-9840	

RESUMEN EJECUTIVO

La movilidad en Lima es sujeto de controversia por ser generador de estrés en los ciudadanos. Por un lado, se sigue usando el paradigma del diseño en función de los vehículos en lugar del diseño en función de los usuarios vulnerables y en consecuencia, es común ver calles e intersecciones con infraestructura peligrosa y en algunos casos inexistente, que generan inseguridad y estrés sobre los ciudadanos. Por otro lado, la ejecución de dicha infraestructura diseñada para los vehículos genera cierre de calles, desvío de flujos vehiculares por calles de menor capacidad, accidentes, etc., lo cual también es generador de estrés y ansiedad por la contaminación auditiva y ambiental sobre los usuarios.

El presente trabajo pretende realizar el rediseño de la intersección vial conformada por la av. La Mar y la av. Parque de las Leyendas, a través de propuestas de mejora fundamentadas en criterios de manuales internacionales. El procedimiento consistió en realizar una inspección en campo para estimar las dimensiones de los elementos que conforman la intersección. Después, se elaboró un modelo virtual en el software VISSIM 2022 para simular el flujo de la intersección y con los datos obtenidos en campo se calibró y validó el modelo para representar de manera más exacta sus condiciones actuales. A continuación, se revisaron los manuales de diseño para mejorar las condiciones reconocidas en la inspección y, finalmente, se modificó el modelo de acuerdo a las propuestas de mejora.

De los resultados obtenidos se observó una reducción del tiempo de viaje en vehículos del 18%, asimismo, se redujeron las longitudes de cola en dos de los tres accesos. La seguridad, si bien no se representó de forma cuantificable, se mejoró a través de la implementación de islas de refugio más anchas, reducción de radios de giro, etc. Finalmente, se concluyó que las propuestas mejoraron los desplazamientos tanto vehiculares como peatonales, y pudieron plantearse a través del programa de simulación virtual VISSIM 2022, sin la necesidad de una intervención física sobre zona de interés.

Índice de contenido

CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES	1
1.1 Introducción	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Justificación	2
1.4. Alcance y limitaciones del proyecto	3
1.4.1. Alcance	3
1.4.2. Limitaciones.....	4
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Fundamentos de la gestión de tránsito	5
2.1.1. Gestión del tránsito	5
2.1.2. Seguridad Vial	7
2.2.1. Conceptos fundamentales del flujo de tránsito	8
2.2.2. Parámetros de eficiencia	9
2.3. Semaforización en el sistema de transporte	15
2.3.1. Aspectos generales.....	15
2.3.2. Tipos de semáforos	16
2.3.3. Requisitos para la implementación de semáforos	16
2.4. VISSIM	19
2.4.1. Antecedentes.....	19
2.4.2. Definición	19
2.4.3. Arquitectura del software.....	20
2.4.4. Modelado de infraestructura y tráfico.....	20
2.4.5. Control de tráfico	21
2.5. Criterios de diseño urbano	22
2.5.1. Calles.....	22
2.5.2. Intersecciones.....	26
2.5.3. Ciclovía.....	30
2.5.4. Estrategias de diseño.....	32
2.5.5. Semaforización de una intersección.....	33
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	35
3.1. Evaluación de la intersección	36
3.1.1. Con respecto a los modos motorizados.....	36
3.1.2. Con respecto a los modos no motorizados.....	36

3.1.3. Con respecto a la infraestructura.....	37
3.2. Resolución de conflictos	38
3.3. Micro simulación	38
3.3.1. Trabajo de campo y análisis de datos.....	39
3.3.2. Modelamiento en VISSIM 2022	41
3.3.3. Verificación del modelo.....	44
3.3.4. Calibración y validación del modelo	44
3.4. Análisis de resultados	46
3.4.1. Análisis situacional actual.....	46
3.4.2. Análisis de las propuestas	46
CAPÍTULO 4: OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA DATA	47
4.1. Descripción general de la intersección	47
4.2. Recolección y procesamiento de los datos	48
4.2.1. Datos geométricos de la zona.....	48
4.2.2. Datos de aforos vehiculares	50
4.2.3. Datos de velocidades vehiculares	50
4.2.4. Datos de aforos peatonales.....	51
4.2.5. Datos provenientes de los semáforos	51
4.2.6. Datos para tiempos de viaje	52
CAPÍTULO 5: ESCENARIO ACTUAL Y PROPUESTAS DE MEJORA	54
5.1. Evaluación del escenario actual	55
5.1.1. Evaluación del Acceso 1	55
5.1.2. Evaluación del Acceso 2	56
5.1.3. Evaluación del Acceso 3	57
5.2. Propuestas de mejora	58
5.2.1. Reducción de radios de giro.....	58
5.2.2. Reducción del ancho de los carriles.....	59
5.2.3. Ensanchamiento de aceras	60
5.2.4. Reubicación de cruces peatonales	61
5.2.5. Cruce peatonal elevado (Vía Auxiliar)	62
5.2.6. Ampliación de rampas	63
5.2.7. Obstáculos en la infraestructura.....	65
5.2.8. Islas peatonales	66
5.2.9. Ciclovía.....	67
5.2.10. Eliminación de estacionamientos.....	68
5.2.11. Semaforización	70

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE RESULTADOS CON LAS PROPUESTAS DE MEJORA	75
6.1. Evaluación vehicular del Acceso 1	75
6.2. Evaluación vehicular del Acceso 2	77
6.3. Evaluación vehicular del Acceso 3	78
6.4. Evaluación de los cruceros	79
6.5. Comparativa final del sistema actual con el sistema propuesto	80
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA	84

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 2.1. Esquema integrado de la gestión del tránsito	6
Figura 2.2. Curva grado de saturación vs demora	10
Figura 2.3. Componentes en un sistema de colas	11
Figura 2.4. Volumen mínimo de vehículos.....	17
Figura 2.5. Volumen mínimo de vehículos para el segundo requerimiento.	18
Figura 2.6. Micro simulación en PTV VISSIM	22
Figura 2.7. Anchos mínimos de carril según el tipo de calle	23
Figura 2.8. Ancho de calzada recomendable para carriles de transporte público	24
Figura 2.9. Subdivisiones en una acera.....	25
Figura 2.10. Especificaciones mínimas de aceras.....	26
Figura 2.11. Cruces peatonales alineados con islas de refugio	27
Figura 2.12. Dimensiones de un refugio peatonal	29
Figura 2.13. Reducción de radios de giro, extensión de aceras y peatonalización de carriles de giro..	30
Figura 2.14. Ciclovía por debajo del nivel de la acera y ciclovía a nivel de la acera	31
Figura 2.15. Ciclovía de un solo sentido, segregada del carril vehicular.....	31
Figura 2.16. Anchos de ciclovía según su tipo	32
Figura 2.17. Diagrama de fases y representación de desplazamientos	34
Figura 3.1. Flujo de trabajo general.....	35
Figura 3.2. Proceso de micro simulación.....	35
Figura 3.3. Clasificación vehicular	40
Figura 3.4. Importación del background en VISSIM 2022	41
Figura 3.5. Colocación de 'Links' y conectores en el modelo.....	42
Figura 3.6. Colocación de la composición vehicular en el modelo	42
Figura 3.7. Colocación de áreas de conflicto de la intersección	43
Figura 3.8. Colocación de los grupos semafóricos	43
Figura 3.9. Representación del escenario real de la intersección en el software VISSIM 2022.....	44
Figura 3.10. Calibración del modelo.....	45
Figura 4.1. Esquema de accesos en la intersección de estudio	47
Figura 4.2. Recolección de datos	49
Figura 4.3. Asignación de velocidades a los diferentes modos de transporte motorizados de la intersección	50

Figura 4.4. Flujograma correspondiente a la calibración.....	51
Figura 4.5. Fases del semáforo.	52
Figura 4.6. Longitudes de ciclo semafórico	52
Figura 5.1. Situación actual de la intersección (superior), propuesta de mejora (inferior).....	54
Figura 5.2. Radios de giro de la esquina de la av. La Mar actual (lado izquierdo) y propuesta de mejora (lado derecho)	59
Figura 5.3. Carriles de la av. La Mar en la actualidad	60
Figura 5.4. Acera de la av. La Mar actual (lado izquierdo) y propuesta de mejora (lado derecho).....	61
Figura 5.5. Ubicación actual de los cruces peatonales (lado izquierdo) y propuesta de mejora (lado derecho)	62
Figura 5.6. Implementación de cruces elevados en la entrada principal del colegio Claretiano	63
Figura 5.7. Problemas a solucionar con respecto a las rampas	64
Figura 5.8. Propuesta para el rediseño de las rampas	64
Figura 5.9. Bloqueo del flujo peatonal por obstáculos en el acceso a rampas, Av. La Mar.	65
Figura 5.10. Islas peatonales actuales (lado izquierdo) y propuesta de rediseño (lado derecho).....	66
Figura 5.11. Ciclovía antes y después de la propuesta de mejora.....	68
Figura 5.12. Estacionamientos ubicados en la zona sur de la avenida Parque de las Leyendas	69
Figura 5.13. Propuesta de mejora tipo boulevard en lugar de los estacionamientos	70
Figura 5.14. Semaforización vehicular actual en 3 fases	71
Figura 5.15. Semaforización peatonal durante las 3 fases	72
Figura 5.16. Propuesta de semaforización vehicular	73
Figura 5.17. Propuesta de semaforización peatonal.....	74
Figura 6.1. Resultados comparativos de los parámetros escogidos entre la situación actual y la situación mejorada del acceso 1	75
Figura 6.2. Uso de la herramienta Randomization test para determinar si el parámetro longitud de cola es menor.	76
Figura 6.3. Uso de la herramienta Randomization test para determinar si el parámetro tiempo de viaje es menor.	77
Figura 6.4. Resultados comparativos de los parámetros escogidos entre la situación actual y la situación mejorada del acceso 2.....	77
Figura 6.5. Resultados de la situación actual para los giros a la izquierda y derecha del acceso 3	78
Figura 6.6. Resultados de la situación actual para los giros a la izquierda y derecha del acceso 3	79
Figura 6.7. Comparativa final de resultados escalados a la unidad	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Tiempos de viaje para recorridos de 50 metros por cada acceso, válidos para la calibración.	53
Tabla 4.2. Tiempos de viaje para recorridos de 50 metros por cada acceso, válidos para la validación	53
Tabla 5.1. Resultados de la situación actual para los parámetros de tiempo de viaje y longitud de cola	55
Tabla 5.2. Resultados de la situación actual para los parámetros de tiempo de viaje y longitud de cola	56
Tabla 5.3. Resultados del parámetro longitud de cola y longitud de cola máxima	57

CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

La situación actual del transporte en Lima tiene orígenes a principios de la década de los noventa, cuando el Gobierno liberalizó el transporte de pasajeros; ello ha devenido en que la prestación del servicio de transporte se vea afectada progresivamente (Política Nacional de Transporte Urbano (PNTU), 2019). A causa de esta liberación, en Lima, aparecen las “combis” y “coasters” como principales medios de transporte público, lo cual generó que los buses no puedan competir con la flexibilidad y accesibilidad de estos nuevos modos. Como resultado de estos cambios surgieron las actuales consecuencias económicas, sociales y ambientales (Dextre, 2014).

Asimismo, las evidencias demuestran que las políticas actuales basadas en el desarrollo de infraestructura vial solo alivian la congestión a corto plazo y la complican a largo plazo, por lo que no son sostenibles en el tiempo (Dextre, 2014). Sin embargo, es sabido que el enfoque de movilidad en el cual se basan estas políticas no es el único. Uno de ellos es el de Movilidad sostenible, para el cual Alfonso Sanz señala que, si el objetivo es facilitar el movimiento de personas y mercancías, la sostenibilidad debe procurar la promoción de los medios de transporte que generen desplazamientos con un menor impacto ambiental y social (Sanz, 1997). En este sentido, se hace necesario la reformulación de la gestión del tránsito, pues las consecuencias visibles actuales repercuten directamente sobre la calidad de vida de las personas.

Naturalmente, resulta contraproducente realizar cambios en la infraestructura de manera empírica, pues originaría un mayor caos vehicular. Por ello, actualmente se hace uso de diversos softwares de simulación del tráfico, dependiendo de la escala geográfica a analizar. Es así como el presente trabajo pretende realizar una micro simulación del flujo de transporte

vehicular y peatonal utilizando el software VISSIM 2022. De esta manera, y con el uso de manuales de diseño urbano y conceptos de movilidad sostenible, se presentarán propuestas de infraestructura y semaforización para la intersección conformada por las avenidas Parque de las Leyendas y La Mar.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Proponer una alternativa sostenible en cuanto a gestión del tránsito de peatones y vehículos para la intersección de las avenidas La mar y Parque de las leyendas

1.2.2. Objetivos específicos

- Plantear propuestas basadas en sostenibilidad y accesibilidad que mejoren el desplazamiento en la intersección de estudio
- Determinar las condiciones de circulación actual por parte de los peatones y vehículos en la intersección de las avenidas La mar y Parque de las leyendas
- Analizar los parámetros de eficiencia del escenario actual y con mejoras mediante el programa de micro simulación VISSIM 2022

1.3. Justificación

Según un estudio realizado en 2021 por TomTom Traffic Index, compañía holandesa especializada en sistemas de navegación, Lima se encuentra en el puesto 19 a nivel mundial entre las ciudades más congestionadas. El estudio menciona que Lima posee un 42% de congestión, lo que quiere decir que los tiempos de viaje toman un 42% más de tiempo sobre condiciones no congestionadas. Sin embargo, este porcentaje resulta ser menor que el 57% determinado en 2019 y se mantiene igual que el 2020. Asimismo, el estudio muestra que entre

los meses de abril y septiembre del 2020 hubo una disminución en la congestión debido a la cuarentena, llegando a un valor mínimo de 4% en abril y un máximo de 38% en septiembre.

Estos datos reflejan la realidad de la movilidad peruana, la cual afecta de manera directa a la calidad de vida de los limeños. Según el estudio de tráfico y movilidad urbana en los limeños, 55% sostiene que el tráfico le genera mucho estrés; de la misma manera 37% cree que pierde mucha calidad de vida en el tráfico. Asimismo, el tiempo invertido en movilizarse para ir a trabajar es de 62 minutos (Manrique, 2017). En consecuencia, es necesario implementar, en Lima, acciones que mejoren las condiciones actuales del tránsito, estas acciones deben estar orientadas hacia la accesibilidad y a la movilidad sostenible en donde se prioricen los peatones sobre los vehículos (Dextre, 2014).

En este sentido, el desarrollo de este trabajo tiene una implicancia práctica pues se recolectarán datos como tiempos de viaje, longitudes de cola y aforos que servirán de referencia para futuros proyectos de micro simulación vehicular y peatonal. Asimismo, la tesis también tiene una relevancia social, ya que pretende directamente mejorar la calidad de vida de las personas durante su movilización, resaltando mejoras en el bienestar físico, bienestar emocional y desarrollo personal.

1.4. Alcance y limitaciones del proyecto

1.4.1. Alcance

El presente trabajo de investigación analiza la intersección conformada por la avenida Parque de las leyendas con la avenida La Mar, las cuales están ubicadas en el distrito de San Miguel en el departamento de Lima, Perú. Las características más relevantes de dicha intersección son la presencia del centro educativo Claretiano, comercios locales y el Parque de las leyendas. Esta configuración de la intersección implica una gran conglomeración de vehículos y

peatones, quienes interactúan de manera insegura y desordenada. Por ello se modificará el diseño geométrico de la intersección de acuerdo a manuales de diseño urbano con diferentes criterios tales como: ‘*National Association of City Transportation Officials*’ (NACTO), ‘*Complete Street*’, etc., para rediseñar con un enfoque basado en el desplazamiento del peatón. Además, se utilizará el software de micro simulación VISSIM 2022 para representar con mayor precisión los flujos vehiculares y peatonales, así como su interacción. De esta manera se evaluarán las condiciones actuales de la intersección y se propondrá mejores alternativas.

1.4.2. Limitaciones

El uso mismo de un software de micro simulación (VISSIM 2022), en el cual se representará de la forma más precisa el escenario vial, conlleva a la desestimación de valores, pues no todos cumplen con la normativa de desplazamientos indicada en los manuales de diseño. Asimismo, la intersección se analizará de manera independiente por no contar con datos de las intersecciones contiguas. Por último, el contenido no abarca un análisis presupuestal del rediseño a ejecutar.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Este capítulo pretende exponer el desarrollo de tres puntos. En primer lugar, presenta los conceptos más relevantes entorno a la gestión e ingeniería de tránsito, con el fin de entender qué es lo que se busca y a través de qué conceptos. En segundo lugar, brinda una clara introducción del programa VISSIM 2022, el cual es el software principal a usar para el desarrollo de la tesis y, consiguientemente, entender el alcance de su aplicación. Por último, expone criterios de diseño urbano, los cuales se usarán para las propuestas de mejora, que son el fin último de este trabajo.

2.1. Fundamentos de la gestión de tránsito

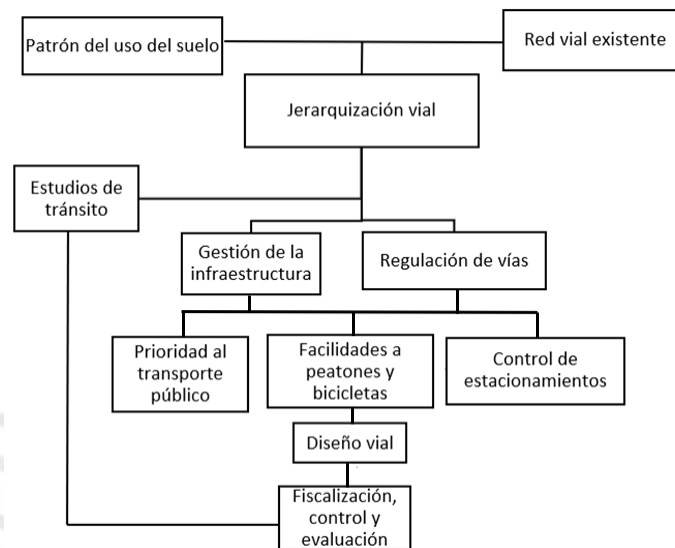
2.1.1. Gestión del tránsito

Coeymans (1976) establece que la gestión del tránsito es el conjunto de medidas permanentes y transitorias que se emplean con el objeto de optimizar los desplazamientos de los usuarios, ya sea peatón o vehículo y que son aplicados sobre una red amplia y extensa; de esta manera, influyen las rutas y desplazamientos tratando de respetar restricciones ambientales, económicas y sociales. En este sentido, Coeymans y Ortúzar (1981) citados en Fernández (2014) señalan objetivos específicos para la gestión del tránsito; en primer lugar, se busca mejorar el funcionamiento de la infraestructura vial urbana, es decir, las vías, intersecciones, terminales, etc; en segundo lugar, garantizar la accesibilidad de las actividades urbanas para todos los grupos ciudadanos; en tercer lugar, proveer un buen nivel de servicio a aquellos modos de transporte que hacen más eficiente el desplazamiento, tales como el transporte público, la bicicleta, etc; por último, se pretende proteger al medio ambiente urbano y a todos sus usuarios de los efectos negativos del tráfico, es decir, de accidentes, contaminación, impactos estéticos, etc.

En cuanto a las acciones que realiza la gestión del tránsito, se presenta la Figura 2.1, para la cual se explicará cada etapa.

Figura 2.1.

Esquema integrado de la gestión del tránsito



Fuente: Fernández, 2014

Cada una de estas acciones representa una etapa en la concepción de la gestión del tránsito. La jerarquización vial corresponde a la etapa de la planificación, y como su mismo nombre indica, se definen las redes viales primarias, secundarias y locales; asimismo, se busca delimitar las áreas protegidas del tráfico. En segundo lugar, se tienen los estudios del tránsito, en donde se recupera información proveniente de la fiscalización para futuros proyectos de gestión viales. En tercer lugar, se tienen 2 líneas de acción que pertenecen a la etapa de gestión primaria de vías y transporte: la regulación de vías y la gestión de la infraestructura. En la regulación de las vías se definen los sentidos de circulación, y se crean toda clase de restricciones para el correcto desplazamiento de los vehículos, medidas impositivas de velocidad, reglamentación, etc. En la gestión del tránsito se definen los dispositivos de control de tránsito, tales como

semáforos, señalización informativa, reglamentaria, etc. En cuarto lugar, se tiene a la etapa de medidas complementarias de gestión del tránsito, en ella se establecen lineamientos para priorizar a los modos de transporte que optimizan los desplazamientos, tales como transporte público, uso de bicicletas, etc. En quinto lugar, se tiene al diseño vial, el cual analiza las redes viales existentes para dar apertura a nuevas y cierre o cambios de uso a otras. Por último, se tiene la fiscalización y control, la cual regula mediante inspecciones periódicas y difunde información mediante medios de prensa y campañas (Fernández, 2014).

2.1.2. Seguridad Vial

Para el correcto entendimiento de la seguridad vial, primero es necesario el entendimiento del problema que enfrenta. En este sentido, Fernández (2014) define al accidente como un evento discreto originado por causas aleatorias, que no se observa uniformemente distribuido espacialmente y que provoca daños hacia la propiedad, heridos y muertos.

Es así que, con la finalidad de establecer objetivos y evaluar el desempeño de las medidas de seguridad vial, se definen los indicadores de accidentalidad. En primer lugar, se tiene el número de muertos por cada 100.000 habitantes, el cual pretende analizar variaciones en el tiempo del riesgo personal, así como permitir la comparación de esta data entre países (Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2008 citado en Dextre 2010). En segundo lugar, se tiene el número de muertos por cada 10.000 vehículos, que pretende estimar la seguridad de los desplazamientos por carretera. Este indicador no es muy recomendable por no poder ser utilizado para hacer comparaciones con otros países (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2010 citado en Dextre, 2010).

Finalmente, una definición apropiada para seguridad vial sería la que ofrece el manual de seguridad vial del Ministerio de Trabajo, migraciones y seguridad social de España (2020, pp2), para el cual, “la seguridad vial es un conjunto de acciones que garantizan el buen

funcionamiento de la circulación del tránsito, mediante leyes, reglamentos, normas de conducta, tecnologías y métodos, orientados a prevenir accidentes o minimizar sus efectos”.

2.2. Aspectos generales del flujo vehicular

En este apartado se presentan conceptos fundamentales del flujo vehicular y parámetros de eficiencia que serán importantes para el desarrollo de la validación del modelo en VISSIM 2022 explicado en el capítulo 6.

2.2.1. Conceptos fundamentales del flujo de tránsito

Se refiere a conceptos que son importantes para entender y analizar correctamente el comportamiento del tráfico vehicular. Reyes y Cárdenas (2018) señalan que la medición básica en ingeniería de tránsito es el conteo o aforo y los conceptos que se presentan a continuación son precisamente los representativos.

Demanda vehicular

El objetivo de diseño de cualquier obra vial de ingeniería es satisfacer las demandas de servicio de la manera más segura y económica (Agudelo, 2002). En este sentido la demanda en Ingeniería de tráfico se refiere a la cantidad de vehículos que desean pasar por la sección de una vía por unidad de tiempo, aunque no puedan hacerlo. Este desplazamiento se lleva a cabo bajo condiciones normales, es decir condiciones climatológicas, conductores frecuentes, etc. (Cabrera, 2015).

Capacidad vehicular

La capacidad en términos de movilidad se refiere al número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto durante un tiempo determinado. Es una característica del sistema vial y representa su oferta (Reyes y Cárdenas, 2018). Sin embargo, a pesar de que es una característica del sistema vial también depende de otros factores como condiciones climáticas, composición

vehicular, conductores frecuentes, etc. Ello quiere decir que no es un valor constante (Cabrera, 2015).

Asimismo, el intervalo de tiempo que se utiliza comúnmente en los análisis de capacidad es de quince minutos, pues se considera que este es el intervalo más corto durante el cual se puede presentar un flujo estable. En consecuencia, tener el volumen en los 15 minutos más cargados para luego convertirlo a una tasa de flujo de horario, representará la *tasa máxima de flujo horario* (Reyes y Cárdenas, 2018).

Volúmenes de tránsito

Se refiere al número total de vehículos que pasan por un punto dado o una sección o carril de un camino durante un intervalo de tiempo. Este se expresa en términos anuales, diarios, horarios o periodos menores a una hora (Secretaría de transportes y comunicaciones, 1991).

2.2.2. Parámetros de eficiencia

Los parámetros de eficiencia se utilizan para medir la calidad del flujo vehicular cualitativa o cuantitativamente, asimismo son utilizados como herramientas de gestión para mejorar las condiciones de circulación de los vehículos (Cabrera, 2015).

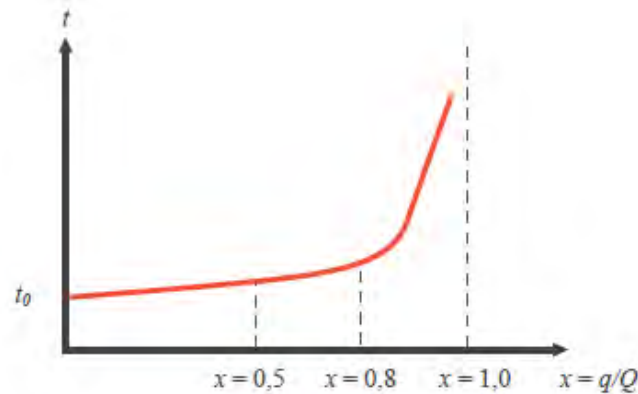
Grado de saturación

Es un indicador de la efectividad principal de la vía que se obtiene de la relación entre la demanda y la capacidad, a fin de conocer si está próxima a saturarse o ya lo está. Es decir, el balance entre la oferta y la demanda vial. (INVIAS, 2020). Por otra parte, Fernández (2010) señala que la existencia de la capacidad se verifica intuitivamente en la relación flujo-demora $t(q)$, la cual se puede mostrar como función misma de la capacidad en un gráfico *Grado de saturación - demora* (tq) como el que se mostrará en la Figura 2.2. En este sentido se demuestra

que el valor del grado de saturación determina la magnitud de los impactos de la congestión y se puede usar como indicador del nivel de congestión en una vía.

Figura 2.2.

Curva grado de saturación vs demora



Fuente: Fernández, 2010.

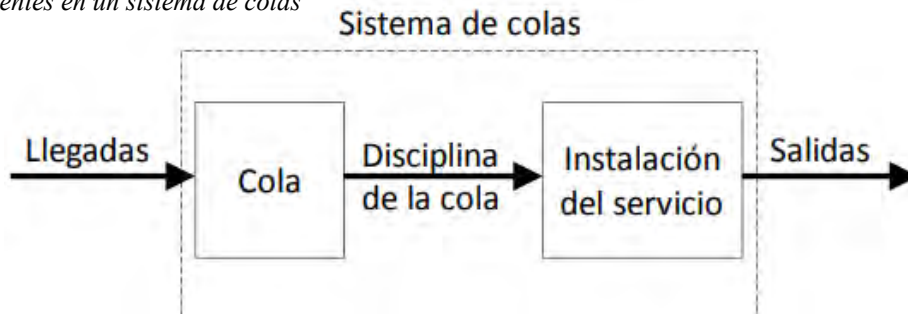
Colas y demoras

En un dispositivo vial, durante los periodos de máxima demanda el desplazamiento se va tornando cada vez más complicado y los vehículos pierden velocidad, ello ocasiona que el sistema se sature y funcione con niveles de congestión. Es decir, aparecen las colas y demoras (Reyes y Cárdenas, 2018).

Cabrera (2015) señala que las colas se pueden producir en tres situaciones: cuando la demanda supera la capacidad de forma ininterrumpida a lo largo del tiempo, cuando la demanda supera a la capacidad en períodos cortos o incluso cuando la capacidad se encuentra por debajo de la demanda. Sin embargo, no solo se ocasiona por dispositivos viales como los semáforos en intersecciones o vías, también en las cercanías de algún tipo de servicio, como se muestra en el esquema de la Figura 2.3, que señala que un sistema de colas posee tres componentes invariables: el tipo de llegada, el tipo de salida y la disciplina de la cola.

Figura 2.3.

Componentes en un sistema de colas



Fuente: Cabrera, 2015.

Por su parte las demoras, además de generarse por los dispositivos de control del tránsito al interrumpir el flujo, también pueden ser ocasionadas por la corriente vehicular en sí misma en situaciones de flujo continuo. De esta forma, se crean demoras periódicas que ocurren corriente arriba de los llamados “cuellos de botella” (Reyes y Cárdenas, 2018). Cabe destacar que las colas y demoras, el grado de saturación y los niveles de servicio, que se explicará a continuación, son los parámetros que más se utilizan en zonas urbanas para determinar la calidad de la circulación (Cabrera, 2015).

Niveles de servicio

Se refiere a otra medida para verificar la calidad del flujo de tránsito. Según Reyes y Cárdenas (2018, p. 397): “Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y/o pasajeros”. Asimismo, señalan que se representan en función de la velocidad y tiempo de recorrido. comodidad, libertad para realizar maniobras y seguridad vial.

El manual de Capacidad Vial HCM del TRB (2010) establece seis niveles de servicio que van desde el nivel A hasta el F, de mejor a peor en ese orden. A continuación, se explicará cada uno de ellos.

Nivel de servicio A

Representa una condición de flujo libre puesto que las maniobras de conducción no son afectadas por la presencia de otros vehículos. Asimismo, existe la facilidad de maniobrar bajo un mayor rango de velocidades. El 75% de las maniobras de adelantamiento pueden hacerse sin demora por lo que el nivel de comodidad y conveniencia de la circulación es excelente (Reyes y Cárdenas, 2018; Agudelo 2002).

Nivel de servicio B

Se observan más vehículos en el flujo vehicular, se reducen en algo las velocidades de circulación, pero aún se conservan las condiciones de flujo libre. La libertad para maniobrar dentro la corriente se ve afectada por la interferencia de dichos vehículos o por existir condiciones de vía que ofrecen pocas restricciones. El volumen de servicio puede llegar a 45% de la capacidad (Reyes y Cárdenas 2018; Agudelo, 2002).

Nivel de servicio C

A partir de este punto la circulación de los usuarios individuales es afectada por la participación de otros usuarios, ello incluye elección de la velocidad y libertad de maniobra. Sin embargo, sigue representando condiciones medias cuando el flujo es estable. El nivel de comodidad y conveniencia desciende en gran medida (Reyes y Cárdenas 2018)

Nivel de servicio D

Ya no existe libertad para conducir con una velocidad deseada, pues existen interferencias frecuentes con otros usuarios o peores condiciones en la vía. El nivel general de comodidad y conveniencia es bajo (Agudelo, 2002).

Nivel de servicio E

Circulación continua con velocidades bajas y prácticamente no hay adelantamientos, es decir la libertad para maniobrar es extremadamente difícil. Los niveles de comodidad y conveniencia son muy bajos. Debido a que se opera en condiciones de estar cerca del límite de capacidad, un pequeño aumento en el flujo vehicular produciría colapsos (Reyes y Cárdenas, 2018; Agudelo, 2002).

Nivel de servicio F

Representa a una circulación congestionada pues la demanda es mayor a la capacidad rompiendo así la condición de flujo continuo. Se suelen formar colas características de los “cuellos de botella” con operaciones dentro de estas caracterizadas por constantes paradas y arranques (Reyes y Cárdenas 2018; Agudelo, 2002).

Velocidad:

Desde un punto de vista conceptual, se refiere al cambio de posición de un cuerpo a lo largo del tiempo, siendo además una magnitud vectorial pues se representa por flechas que indican dirección y sentido del movimiento. Su unidad internacional es el m/s pero en el campo de la movilidad y el transporte es el Km/h. Por otro lado, en el aspecto referido al movimiento de vehículos, representa un rol importante, pues no solo se utiliza para el diseño de las vías, también para medir la eficiencia del sistema vial (Reyes y Cárdenas, 2018; Agudelo, 2002). A continuación, se mencionan los distintos tipos de velocidad.

a) Velocidad Instantánea

Es la que tiene aquel vehículo en un instante determinado de su trayectoria. Usualmente es usada por las entidades para el control de excesos de velocidad y la determinan a través de radares o cámaras de foto detección o “salvavidas” (Reyes y Cárdenas, 2018).

b) Velocidad de recorrido

Se refiere a la obtenida de dividir la distancia recorrida de principio a fin de viaje entre el tiempo total que se empleó en recorrerla, Se incluye en el tiempo todas las demoras operacionales debido a las condiciones de tránsito y dispositivos de control, así como los eventos ajenos a la voluntad del conductor. Puede ser determinada individualmente o para un grupo de vehículos, por lo que en carretera es además una medida de la calidad del servicio a los usuarios (Agudelo, 2002).

c) Velocidad de circulación o velocidad de marcha

También llamada velocidad de crucero, se refiere a la velocidad que resulta de dividir la distancia total recorrida entre el tiempo de circulación sin considerar las demoras o paradas. Ello supondrá que esta velocidad es mayor a la velocidad de recorrido. Es además una medida de la calidad del servicio que una vía propone a los usuarios y es variable durante el día principalmente por la variación en los volúmenes de tránsito. (Agudelo, 2002). El manual de carreteras: diseño geométrico (2018), agrega además que es recomendable que esta velocidad sea menor a la velocidad de diseño, pues la experiencia señala que las curvas con bajas velocidades de diseño se suelen conducir a mayores velocidades lo que implicaría menos condiciones de seguridad.

d) Velocidad de operación

Se refiere a la velocidad segura y cómoda con la cual circula un vehículo aislado sobre el sistema vial, de modo que no se vea condicionada por la intensidad de tránsito o la meteorología. (Agudelo, 2002). El manual de carreteras: diseño geométrico (2018) señala, además, que para una mejor estimación de esta se puede utilizar el percentil 85 de la velocidad, que consiste en determinar la velocidad bajo la cual circula el 85% de los vehículos.

e) Velocidad de diseño o velocidad de proyecto

Corresponde a la velocidad de referencia con la que se definen las especificaciones mínimas para el diseño geométrico, las cuales se definen en condiciones de seguridad y comodidad (Agudelo, 2002). Además, también es la velocidad máxima y segura con la que se puede mantener en marcha el vehículo cuando las condiciones son suficientemente favorables para que gobiernen las características de diseño (Montoya, 2005). Por otro lado, la selección de la velocidad de diseño, depende de la importancia o categoría de la futura vía, de los volúmenes de tráfico que moverá, la configuración topográfica, uso del suelo y disponibilidad de recursos económicos (Reyes y Cárdenas, 2018).

2.3. Semaforización en el sistema de transporte

A continuación, se presentan los principales aspectos de la semaforización, así como los requerimientos que determinan su uso.

2.3.1. Aspectos generales

Según Valencia (2000), el semáforo es todo aquel aparato regulador de tránsito en la vía urbana que, accionado por corriente eléctrica, utiliza lentes iluminados para exhibir indicaciones, las cuales pueden estar complementadas con señales y demarcaciones. Asimismo, tiene una función principal; esta es la de dar paso alternativamente a los distintos grupos de usuarios con el fin de que pueda sobrepasar la vía de la manera más segura y con la menor demora posible.

Sin embargo, no siempre la aportación de los semáforos resulta beneficiosa, sobre todo cuando no se ha realizado un estudio completo de la intersección y del tránsito, además se debe comprobar que este responde a las necesidades del tránsito, de lo contrario se debe realizar los ajustes necesarios (Reyes y Cárdenas 2018).

2.3.2. Tipos de semáforos

Semáforos de tiempo fijo

Estos se utilizan en intersecciones con flujos de tránsito relativamente estables, o en los que se puede predecir los ligeros cambios mediante programas previstos, sin ocasionar congestión excesivo. Estos programas se activan a diferentes horas del día con el fin de acomodarse a la demanda del tráfico. (Reyes y Cárdenas, 2018; Valencia, 2000).

Semáforos accionados por el tránsito.

Reyes y Cárdenas (2018) señalan que los semáforos accionados por el tránsito se usan en intersecciones con flujo vehicular considerable y en donde se tiene una vía principal la cual debe tener la menor cantidad de interrupciones. En este sentido, Valencia (2000) agrega que las demandas son detectadas a través de detectores neumáticos, lazos de inducción o infrarrojos.

Semáforos peatonales

Se trata de aquellos dirigidos hacia el tránsito peatonal en zonas de alta demanda, así como zonas escolares. Deben estar armonizados con los semáforos vehiculares (Reyes y Cárdenas 2018).

2.3.3. Requisitos para la implementación de semáforos

Según el Manual de dispositivos de control del tránsito automotor en las calles y carreteras (2000), existen requisitos que justifican la instalación de semáforos. ellos son:

Volumen mínimo de vehículos

Este requerimiento se cumple cuando en la calle principal y en los accesos con mayor flujo de la calle secundaria están presentes los volúmenes de la Figura 2.4. en cada una de las ocho horas en un día representativo. En adición, si la velocidad del 85% del flujo en la calle principal es de 60 km/h o si en la intersección se encuentra dentro una zona urbana de población aislada de 10 000 habitantes o menos, el requerimiento se reduce al 70 % del valor de la figura (Manual de dispositivos de control del tránsito automotor en las calles y carreteras, 2000; Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad, 2014)

Figura 2.4.

Volumen mínimo de vehículos.

Número de Carriles de Circulación por acceso en ambos accesos		Vehículos por hora en la calle principal (total volumen de la calle secundaria)	Vehículos por hora en el acceso de mayor (un solo sentido)
Calle Principal	Calle Secundaria		
1	1	500	150
2 o más	1	600	150
2 ó más	2 o más	600	200
2 o más	2 o más	500	200

Fuente: Manual de dispositivos de control del tránsito automotor en las calles y carreteras por el MTC, 2000.

Interrupción del tránsito continuo

Este requerimiento se debe aplicar cuando las condiciones de operación de una calle influyen sobre la calle secundaria, de tal manera que esta sufre un retardo o riesgo para entrar a la calle principal o cruzarla. Este requisito se satisface cuando la calle principal y la aproximación de mayor volumen de la calle secundaria se tienen los volúmenes mínimos indicados en la Figura 2.5. (Manual de dispositivos de control del tránsito automotor en las calles y carreteras, 2000).

Figura 2.5.

Volumen mínimo de vehículos para el segundo requerimiento.

Número de Carriles de Circulación por acceso en ambos accesos		Vehículos por hora en la calle principal (total en ambos accesos)	Vehículos por hora en el acceso de mayor volumen de la calle secundaria (un solo sentido)
Calle Principal	Calle Secundaria		
1	1	750	75
2 o más	1	900	75
2 ó más	2 o más	900	100
1	2 o más	750	100

Fuente: Manual de dispositivos de control del tránsito automotor en las calles y carreteras por el MTC, 2000.

Volumen mínimo de peatones

Este requerimiento se da si por una calle principal entran 1000 o más vehículos por hora, o si por esa misma calle entran 600 o más para ambos accesos, asimismo, cuando existe una faja separadora con ancho mayor a 1.20 m y si cruzan al menos 150 personas por hora en la calle principal. También se da cuando la velocidad de circulación del 85% de vehículos excede los 60 km/h o si en intersección se encuentra en una zona urbana con población no mayor a 10, 000 habitantes; en ese caso el volumen mínimo de peatones será del 70% de valores indicados (Manual de dispositivos de control del tránsito automotor en las calles y carreteras, 2000)

Movimiento o circulación progresiva

Esta condición se da con el fin de regular eficientemente las velocidades de los grupos compactos de vehículos, por tanto, se satisface en las calles de un solo sentido y en las que los semáforos están demasiado distantes para conservar la velocidad de los vehículos, así como su agrupamiento. También se da en calles de doble sentido, cuando los semáforos adyacentes no permiten la conservación de las velocidades ni el agrupamiento de los vehículos, por tanto,

existe un semáforo propuesto junto al adyacente que conforma un sistema progresivo de semáforos (Manual de dispositivos de control del tránsito automotor en las calles y carreteras, 2000).

2.4. VISSIM

2.4.1. Antecedentes

En el año 1974 se presentó un modelo psicofísico de seguimiento vehicular que describía el movimiento vehicular sin salidas en un solo carril desarrollado por Wiedemann. En los siguientes años, entre 1978 y 1983, surgieron otras variaciones del modelo como la de Sparmann, cambios de carril en vías de dos carriles; Winzer, medición de velocidades en autopistas; y Bush y Leutzbach, maniobras de cambio de carril en autopistas de tres carriles. Para el año 1983, Hubschneider, presenta una tesis doctoral acerca de un entorno de simulación de vehículos con aplicación de varios carriles y apto para intersecciones señalizadas y no señalizadas: Mission (Fellendorf, Vortisch, 2010).

Luego, tras la recalibración del modelo original de seguimiento vehicular realizado por Wiedemann y Reiter en 1994 y con la intervención de Fellendorf, nace la primera versión comercial de VISSIM para el análisis de la capacidad de intersecciones señalizadas. Durante los siguientes años se realizaron mejoras en el sistema como la definición de rutas, inclusión de varios modos de transporte, mejoras a nivel gráfico, mejoras de interfaz y mejoras a nivel de modelado. En este último, se incluyó el modelado de peatones que utiliza el modelo de fuerza social de Helbing y Molnar como base (Fellendorf, Vortisch, 2010).

2.4.2. Definición

VISSIM es un software de micro simulación discreto de tráfico, basado en el comportamiento de los modos de transporte, que sirve para la optimización y análisis de los flujos de tráfico;

integra al transporte público, privado y el movimiento de los peatones. Ante condiciones de tráfico complejas es posible incrementar el nivel de detalle mediante modelos realistas de tráfico; asimismo, es posible personalizar las características técnicas de los diferentes modos de transporte (Fellendorf, Vortisch, 2010). Según Cabrera (2015, pp 114), “El programa VISSIM emplea el modelo de Wiedemann (1974; 1991) para representar la interacción entre vehículos”. Este modelo se encuentra dentro de los modelos psicofísicos, el cual considera que cada conductor posee una percepción y decisión diferente (Cabrera, 2015).

2.4.3. Arquitectura del software

El software puede descomponerse en tres principales bloques; el primero contempla elementos de infraestructura vial y ferroviaria, tales como postes de señalización, detectores, etc. También son parte de este bloque, los estacionamientos y paradas de transporte público, los cuales funcionan como puntos de origen y destino. El segundo bloque involucra a las características técnicas de los vehículos, así como las especificaciones de los flujos de tráfico. En este bloque se define al tráfico mediante matrices de origen y destino. En el tercer bloque se encuentran elementos de control de tráfico como configuración de intersecciones, definiciones de paradas, reglas de prioridad y el control de los tiempos del semáforo (Fellendorf, Vortisch, 2010).

2.4.4. Modelado de infraestructura y tráfico

Para el modelado de infraestructura se utilizan elementos conectores y enlaces para que dos o más pistas se unan o una pista se desvíe. Estos son los componentes principales que permiten agregar otros elementos de infraestructura como las señales de límite de velocidad, las cuales permiten ajustar la velocidad según lo requerido; señales de alto y ceda el paso, que permiten priorizar los movimientos principales esperando que pasen antes que los vehículos de movimientos menores; y semáforos, los cuales temporizan el movimiento vehicular y peatonal (Fellendorf, Vortisch, 2010).

En cuanto al modelado de tráfico, se debe definir los tipos de vehículos que se movilizarán por las rutas establecidas, también, se puede diferenciar a los vehículos de transporte público y a los de transporte privado, mediante la asignación de rutas específicas para ambos tipos de transporte. Por un lado, en cuanto al transporte privado, en este grupo se encuentran las categorías de camiones, vehículos, bicicletas y peatones, cada categoría es configurable tanto físicamente (dimensiones) como de manera dinámica (aceleración, desaceleración y velocidad). En cuanto al transporte público, se encuentran las categorías de autobuses y tranvías, estas categorías se encuentran definidas por tiempos de parada (embarque y desembarque) y horarios de salida (Fellendorf, Vortisch, 2010).

2.4.5. Control de tráfico

En intersecciones no señalizadas se utilizan las reglas de prioridad, para ceder el paso en movimientos conflictivos que no son regulados por señaléticas; VISSIM puede realizar conversiones automáticas, ya sea para dar prioridad al flujo de la derecha o al proveniente de la izquierda; las rotondas son lugares en los que aplican las reglas de prioridad, ya que los vehículos entrantes deben ceder el paso a los vehículos que se encuentra dentro de la rotonda; las zonas de fusión, también, puesto que el flujo de vehículos proveniente de una vía secundaria debe ceder el paso al flujo que transita por la vía principal. En intersecciones señalizadas, se utilizan las configuraciones de tiempo del semáforo, éstas pueden ser exclusivas para cada movimiento o pueden ser para un grupo de movimientos (Fellendorf, Vortisch, 2010). En la Figura 2.6 se muestra un imagen referencial del entorno de trabajo en el software VISSIM2022, en la parte central se observa la red vehicular de una intersección, en la parte derecha se observan distintas herramientas de modelado, en la parte superior se ubican opciones de configuración de simulación del modelo y en la parte inferior se muestran ventanas de acceso a listas en las que se pueden observar resultados, así como identificar todos los elementos

creados en la red (links, conectores, reductores de velocidad, aforos vehiculares, semáforos, áreas de conflictos, etc.).

Figura 2.6.

Micro simulación en PTV VISSIM



Fuente: Yasar y Rashid, 2015.

2.5. Criterios de diseño urbano

En este apartado se presentan los criterios de rediseño que se utilizarán para las propuestas de mejora. Se tendrán en cuenta los siguientes manuales: *Global Street Design Guide*, *Complete Street Design Guide*, Manual de Diseño Urbano de Buenos Aires y el Manual de Diseño de Calles activas y caminables de Ecuador.

2.5.1. Calles

Para la *Global Street Design Guide* (2016), calle es la unidad básica del espacio urbano por la cual se extiende un volumen formado de múltiples planos (referente a los elementos de la calle), dinámico y que se reajusta a su contexto para apoyar la sostenibilidad. En resumen, una calle está formada de distintos elementos, posee múltiples funciones y se adapta a su contexto urbano. El Manual de diseño de calles activas y caminables (2016), agrega que en años

recientes se ha perdido el sentido de caminabilidad, pues se ha destinado la mayor parte de área a la circulación vehicular; sin embargo, actualmente para el diseño se busca un cambio de enfoque para que en estos espacios públicos se desarrollen todo tipo de actividades. Las partes principales que conforman una calle son la calzada y la acera. Dichos elementos se diseñan bajo distintos criterios y se explicarán a continuación.

Calzada

Según el Manual de diseño de calles activas y caminables (2016), es la parte que ocupa mayor extensión en la sección de una calle y se diseña para que los vehículos puedan acelerar y llegar a su destino rápidamente. Para que se cumpla la premisa de que la calle debe ser multifuncional, la calzada debe garantizar la seguridad de los usuarios más vulnerables. Una de las maneras para lograr este objetivo es reducir la velocidad de los vehículos. En este sentido, la Figura 2.7 presenta anchos de carril mínimos según el tipo de calle y para las cuales pueden permitirse velocidades máximas.

Figura 2.7.

Anchos mínimos de carril según el tipo de calle

Tipo de calle	Velocidad máxima	Ancho de carril mínimo	Ancho de carril máximo
Calles locales	30 km/h	250 cm	300 cm
Colectora local	30 km/h	250 cm	300 cm
Colectora	50 km/h	280 cm	350 cm
Arterial	50 km/h	300 cm	350 cm
Carril bus BRT	30 km/h	300 cm	350 cm
Carril bicicleta 1 sentido	30 km/h	150 cm	180 cm
Carril bicicleta 2 sentidos	30 km/h	250 cm	250 cm

Fuente: Manual de calles activas y caminables, 2016.

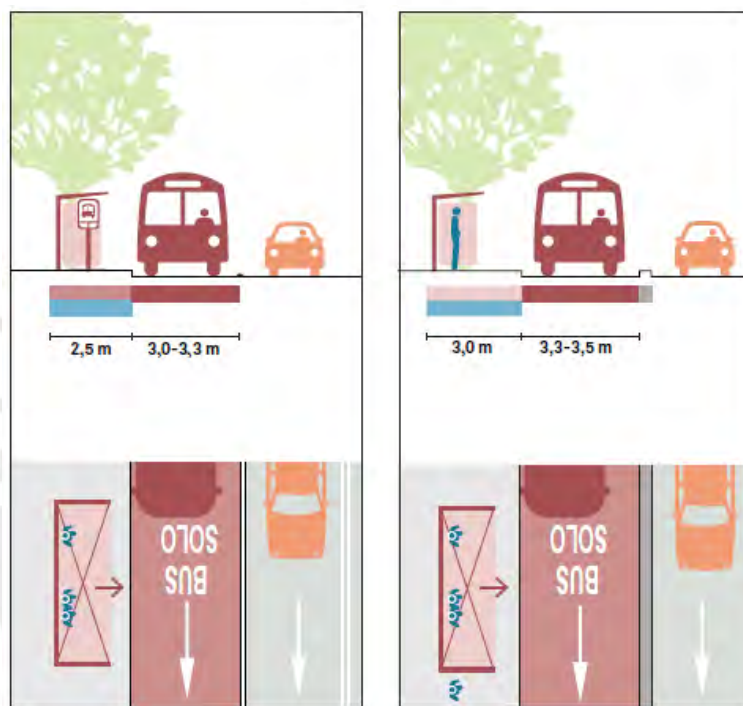
Por otra parte, el *Global Street Design Guide* (2016) agrega que el ancho recomendado para carriles de transporte público va de los 3.00 metros a los 3.30 metros. Puesto que no están separados del resto del tráfico, este ancho es menor que el de un carril exclusivo para el

transporte público, el cual oscilaría entre los 3.30 metros a 3.50 metros, tal como se observa en la Figura 2.8.

Por último, el Manual de diseño urbano de Buenos Aires (2015) simplifica que, para una avenida tipo que cuenta con calzada, acera y que permite la circulación de vehículos públicos y privados, el ancho mínimo de carril es de 3.00 metros.

Figura 2.8.

Ancho de calzada recomendable para carriles de transporte público



Fuente: Global Street Design Guide, 2016.

Acera

La acera es el espacio público que genera vida a la calle, está formada por cuatro franjas diferenciadas las cuales son: franja de borde, franja de circulación, franja de servicios y franja de seguridad (Manual de Diseño de calles activas y caminables, 2016). En este sentido, la *Global Street Design Guide* (2016) no solamente coincide con esta subdivisión, también señala que de estos componentes es la franja de circulación la que está siempre presente. A través de

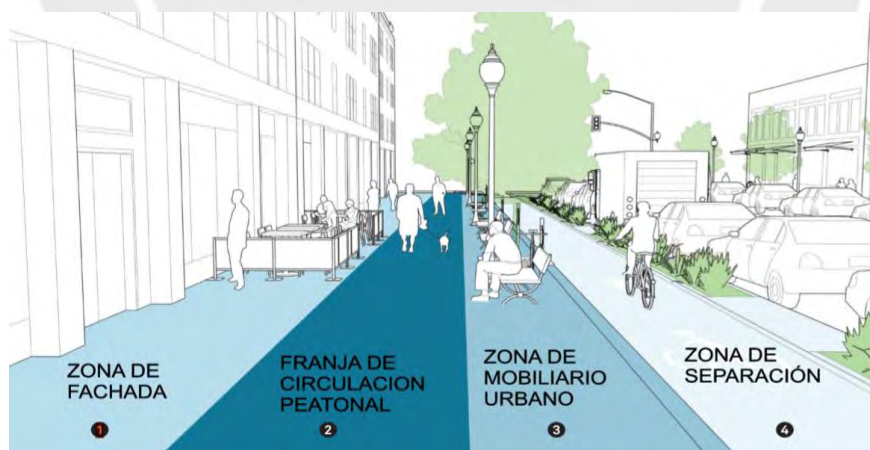
ella, el peatón puede transitar adecuadamente si el ancho se encuentra entre 1.80 metros y 2.40 metros para zonas residenciales y entre 2.40 metros y 4.50 metros para zonas céntricas de la ciudad. Por otra parte, las franjas de circulación peatonal deben ser continuas, sin obstrucciones ni refugios para el transporte público.

El ancho de la franja de circulación puede variar, puesto que depende del flujo peatonal para garantizar una adecuada movilización entre dos peatones en sillas de ruedas o dos peatones que usen paraguas. Se requiere un ancho mínimo de 1.80 metros (Manual de Calles Activas y Caminables, 2016).

Según Chain (2015), “es conveniente destinar 50% de la superficie a la circulación vehicular y 50% a la circulación peatonal”; además, el ancho mínimo de una acera debe ser 1.50 metros y uno de los lados de la calle deberá considerar infraestructura verde, con un ancho mínimo de 2.50 metros. En la Figura 2.9 se muestra una subdivisión de una acera en una calle ideal, en la que se contemplan las cuatro zonas que la conforman.

Figura 2.9.

Subdivisiones en una acera.



Fuente: Global Street Design Guide, 2016.

De acuerdo al Manual de Calles Activas y Caminables (2016), se puede especificar las dimensiones mínimas de las aceras según la categoría de la misma; a continuación, se muestra

en la Figura 2.10 diferentes categorías de acera con medidas mínimas sugeridas para cada componente de la acera.

Figura 2.10.

Especificaciones mínimas de aceras.

CÓDIGO	TIPO	ACERAS (metros)					PARTES DE LA ACERA a= Franja de seguridad. b= franja de servicios. c= franja de circulación peatonal. d= franja de borde, junto a la fachada.
		a	b	c	d	Ancho por lado	
L1	Local 1	0.50	≥0.60	≥1.80	≥0.50	≥3.20	≥6.80
L2	Local 2	0.50	≥0.60	≥1.80	≥0.50	≥3.20	≥6.80
L3	Local 3	0.50	≥0.60	≥1.80	≥0.50	≥3.20	≥6.80
L4	Local 4	0.50	≥0.60	≥1.80	≥0.50	≥3.20	≥7.00
L5	Local 5	0.50	≥0.60	≥1.80	≥0.50	≥3.20	≥9.00
L6	Local 6	0.50	≥0.60	≥1.80	≥0.50	≥3.20	≥7.00
CL1	Colectora local 1	0.50	≥1.20	≥1.80	≥1.20	≥4.50	≥9.00
CL2	Colectora local 2	0.50	≥1.20	≥1.80	≥1.20	≥4.50	≥9.00
CL3	Colectora local 3	0.50	≥1.80	≥2.40	≥1.80	≥6.50	≥9.00
CL4	Colectora local 4	0.50	≥1.80	≥2.40	≥1.80	≥6.50	≥12.00
C1	Colectora 1	0.50	≥1.80	≥2.40	≥1.80	≥6.50	≥13.70
C2	Colectora 2	0.50	≥1.80	≥2.40	≥1.80	≥6.50	≥13.80
C3	Colectora 3	0.50	≥1.80	≥2.40	≥1.80	≥6.50	≥16.40
A1	Arterial 1	0.50	≥2.00	≥3.00	≥2.00	≥7.50	≥15.00
A2	Arterial 2	0.50	≥2.00	≥3.00	≥2.00	≥7.50	≥19.20
A3	Arterial 3	0.50	≥2.00	≥3.00	≥2.00	≥7.50	≥19.20
P	Peatonal	-----	≥2.20	≥1.80	≥2.20	-----	≥6.00
PB	Peatonal bicicleta	0.50	≥0.60	≥1.80	≥0.50	≥3.20	≥6.80
PBRT 1	Peatonal BRT 1	0.50	≥0.60	≥1.80	≥0.50	≥3.20	≥6.80
PBRT 2	Peatonal BRT 2	0.50	≥0.60	≥1.80	≥0.50	≥3.20	≥7.00
E	Escalinata	-----	≥1.20	≥1.80	≥1.20	≥4.00	≥4.00

Fuente: Manual de Calles Activas y Caminables, 2016.

2.5.2. Intersecciones

Para el *Complete Street Design Guide* (2016), es el espacio donde diferentes modos de transporte convergen, por ende, su diseño debe priorizar los desplazamientos de sus usuarios más vulnerables: peatones y ciclistas. A continuación, se mencionan los criterios de diseño de los principales elementos que forman parte de una intersección.

Cruces peatonales

Para el *Global Street Design Guide* (2016) los cruces peatonales son la base para que un entorno sea caminable, por ende, deben ser seguros y estar ubicados en todas las intersecciones o mitad de cuadra.

Este manual, además, brinda algunas recomendaciones en cuanto al diseño. La demarcación, independientemente del patrón o material, debe incluir señalización de alta visibilidad con

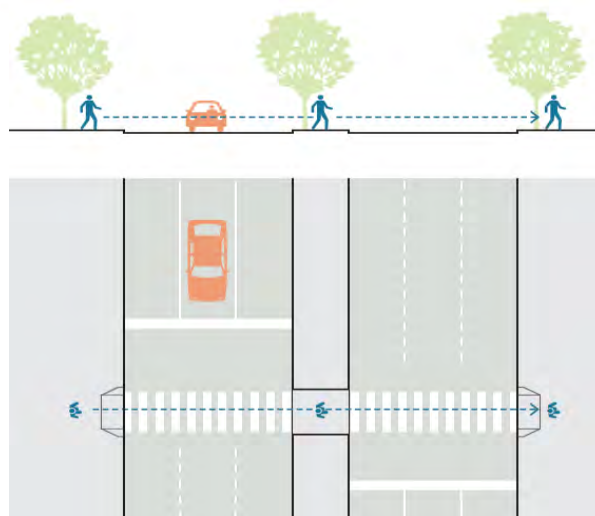
líneas paralelas o discontinuas. La distancia de cruce es recomendable diseñarla lo más corta posible para que los peatones no generen diferentes líneas de deseo; en este sentido, las islas de refugio son elementos que ayudan a acortar dicha distancia. Para el Manual de diseño de calles activas y caminables (2016) el espacio máximo que los peatones pueden cruzar es de 7.00 metros o dos carriles hasta un refugio peatonal.

El ancho del cruce peatonal debe ser tan amplio como las aceras que conecta y nunca inferior a 3.00 metros. Se debe garantizar la visibilidad del cruce para los vehículos y viceversa, para ello el manual recomienda implementar áreas de espera como extensiones de acera o islas de refugio tal como se muestra en la Figura 2.11. Por último, es recomendable reforzar la seguridad en los cruces con elementos adicionales como líneas de pare, señalización horizontal, rampas, semáforos, reductores de velocidad, etc. (Global Street Design Guide, 2016).

Por su parte, el *Complete Street Design Guide* (2016) coincide en que el cruce debe ser tan ancho como las aceras que conecta, sin embargo, para este manual el ancho mínimo debe ser de 15 pies o 4.57 metros. Asimismo, añade que, para zonas aledañas a colegios, las líneas deben ser pintadas de amarillo.

Figura 2.11.

Cruces peatonales alineados con islas de refugio



Fuente: Global Street Design Guide, 2016.

Radios de giro

Como se mencionó anteriormente una de las maneras de garantizar seguridad a los usuarios vulnerables es incitar a los vehículos a reducir su velocidad de circulación. En este sentido, los radios de giro o radios de esquina tienen un impacto directo, pues al minimizar la longitud del radio se aseguran velocidades de giro seguras. Por otra parte, es necesario entender la diferencia entre radio de giro y radio de giro efectivo. El radio de giro es la curva que se forma de la geometría de la intersección y que depende de la presencia de estacionamientos, ciclovías, la calzada, etc., mientras que el radio de giro efectivo es la trayectoria real que sigue el vehículo. (Global Street Design Guide, 2016).

En cuanto al diseño, el *Complete Street Design Guide* (2016) recomienda longitudes de radio de 15 pies o 4.57 metros como mínimo para intersecciones sin extensiones de acera o estacionamientos, por el contrario, para el *Global Street Design Guide*, son usuales los radios de esquina de 3.00 a 5.00 metros en escenarios urbanos, pero recomienda los radios menores a 1.50 metros.

Refugios peatonales

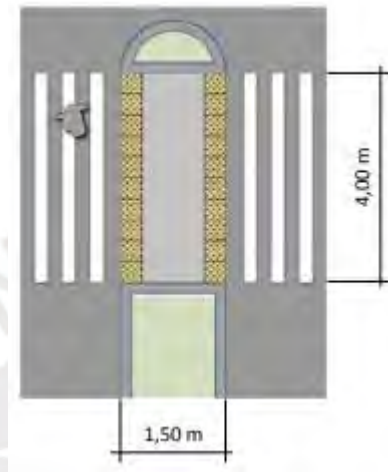
Se trata de un espacio de descanso colocado a mitad de calzada destinado a fraccionar el tiempo de cruce de la misma y, por ende, brindar mayor seguridad a los usuarios. Su diseño presenta las siguientes consideraciones: en su sentido de cruce debe admitir una distancia mínima de 1.50 metros y en su sentido longitudinal es recomendable una distancia de 4.00 metros tal como se muestra en la Figura 2.12. Por otra parte, se debe colocar avisadores podotáctiles en los extremos del refugio (Manual de diseño urbano de Buenos Aires, 2015).

El *Global Street Design Guide* (2016) difiere en cuanto a las dimensiones de la infraestructura. El manual establece una profundidad de paso mínima de 1.80 metros, pero recomienda una longitud de 2.40 metros. Por otra parte, la dimensión longitudinal debe ser tan ancha como el

ancho del cruce peatonal y cuando esta es mayor a 3.00 metros deben instalarse bolardos como medida de seguridad.

Figura 2.12.

Dimensiones de un refugio peatonal

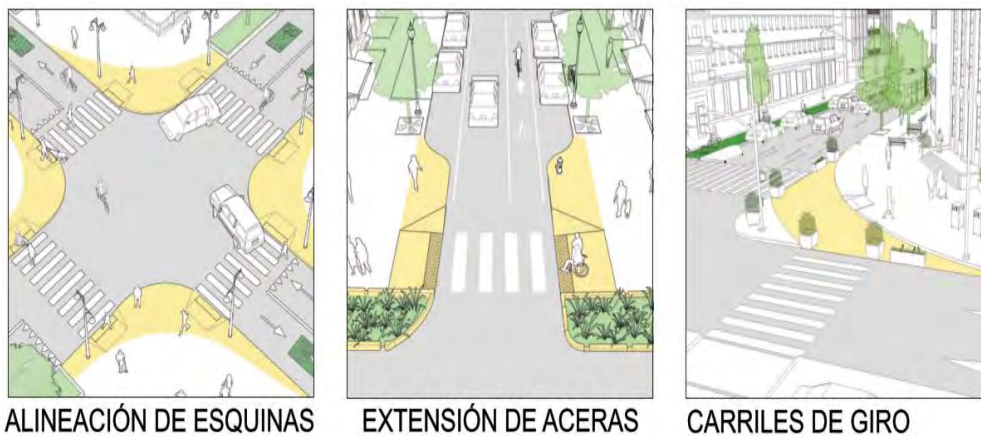


Fuente: Manual de diseño urbano de Buenos Aires, 2015.

Extensiones de acera

Otra manera de apoyar el cruce peatonal es mediante la inclusión de orejas en las esquinas. Estas reducen la distancia de cruce realizada por el peatón de una acera a otra e impiden el estacionamiento de vehículos en las esquinas, lo cual favorece a la movilización del peatón. Las dimensiones de las orejas deben diseñarse de acuerdo al radio de giro, pues de considerarse un radio de giro excesivo se facilitaría la detención de vehículos y aumentaría las velocidades de circulación; por el contrario, si el radio de giro fuera muy corto, dificultaría las maniobras de vehículos más grandes como camiones de carga o camiones de basura (Sanz, 1998). A continuación, la Figura 2.13 representa lo mencionado, las extensiones de acera reducen distancias de cruce; los giros cortos generan menores velocidades y permiten alineamiento de cruces peatonales y los amplios giros a la derecha generan mayores velocidades de circulación, finalmente una medida para adecuarlos al diseño en función del peatón es su peatonalización.

Figura 2.13.



Fuente: Global Street Design Guide, 2016.

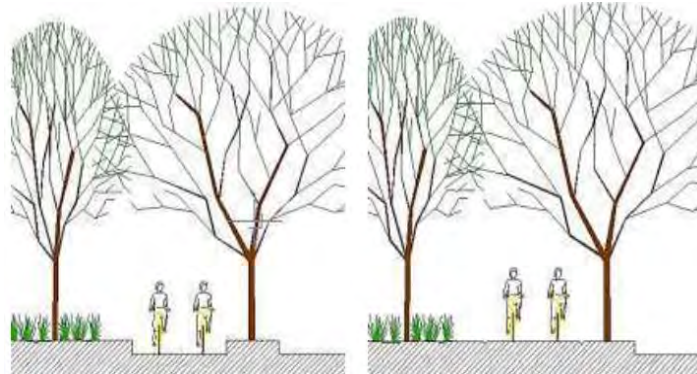
2.5.3. Ciclovía

De acuerdo al Manual de Calles Activas y Caminables (2016), la inclusión de la bicicleta en un espacio peatonal puede darse tanto a nivel de acera como por debajo de esta, tal como se muestra en la Figura 2.14. En cuanto a las dimensiones del carril, se sugiere un ancho mínimo de 1.50 metros cuando la ciclovía es de 1 solo sentido y un mínimo 2.50 metros cuando la ciclovía es de 2 sentidos. El desfase entre la acera y la ciclovía se considerará entre 0.10 metros o 0.15 metros. Por último, se debe considerar una velocidad de diseño igual a diez kilómetros por hora (Km/h) utilizando reductores de velocidad.

Por otro lado, en calles en las que se consideró una velocidad de diseño de hasta 30 km/h no será necesario segregar las ciclovías de los carriles vehiculares. En caso se supere esta velocidad se deberá diseñar la ciclovía segregada del carril para vehículos, tal como se muestra en la Figura 2.15 (Manual de Calles Activas y Caminables, 2016).

Figura 2.14.

Ciclovía por debajo del nivel de la acera y ciclovía a nivel de la acera



Fuente: Manual de calles activas y caminables, 2016.

Figura 2.15.

Ciclovía de un solo sentido, segregada del carril vehicular.



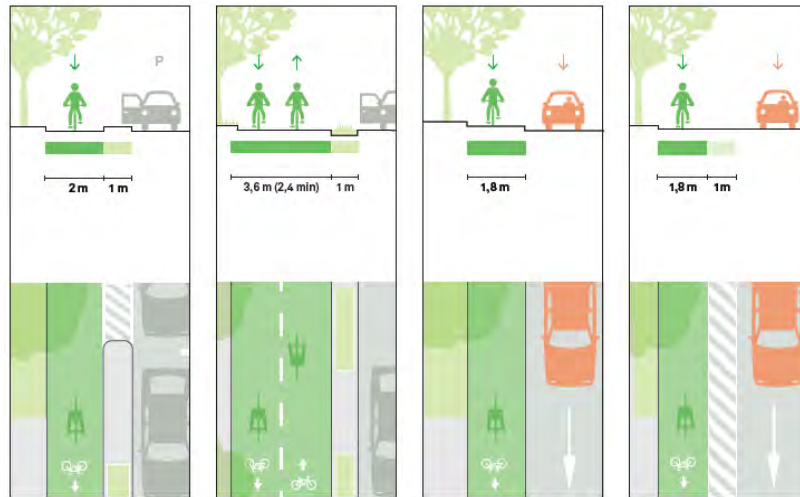
Fuente: Manual de Calles Activas y Caminables, 2016

De acuerdo con el *Complete Street Design Guide* (2016) existen cuatro tipos de ciclovía: ciclovía protegida, ciclovía bidireccional, ciclovía elevada y ciclovía señalizada al costado de la acera. Estas están ordenadas de acuerdo con parámetros como la seguridad, confort, espacio que ocupan y costo. En este sentido, la que es mayor valorada en cada parámetro es la ciclovía protegida, pues está aislada por una elevación a nivel de acera o calzada y presenta un ancho mínimo de 2.00 metros, y recomendable debe estar separada 1.00 metro de la calzada,

tal como se muestra en la Figura 2.16. En esta misma imagen se presentan de izquierda a derecha los demás tipos de ciclovía.

Figura 2.16.

Anchos de ciclovía según su tipo



Fuente: Global Street Design Guide, 2016

2.5.4. Estrategias de diseño

El rediseño de elementos que componen una calle o intersección vial es una forma particular de mejorar la calidad de los espacios urbanos; sin embargo, desde un punto de vista global lo que se busca en el diseño o rediseño de intersecciones es promover el contacto visual y la cooperación activas entre usuarios (Global Street Design Guide, 2016). Para garantizar lo anteriormente mencionado el manual *Global Street Design Guide* (2016), busca diseñar en base a los siguientes principios.

El diseño se debe enfocar en desarrollar intersecciones compactas. Como se mencionó anteriormente, en el inciso que expone a los radios de giro, uno de los objetivos en el rediseño es reducir las velocidades de circulación vehicular cerca de los puntos de conflicto, así como mejorar la visibilidad. Precisamente las intersecciones compactas logran este fin a través de la reducción de los radios de giro, ensanche de esquinas, semaforización de carriles de giro directos, etc.

El diseño debe realizar un análisis de redes. Las intersecciones y calles forman parte de un entorno urbano más grande, por lo cual no se deben analizar de manera aislada. Ello quiere decir que se deben intercambiar volúmenes y capacidades entre intersecciones y la red vehicular.

Rediseño de la semaforización. Es más eficiente, en términos de seguridad, reconfigurar ciclos semafóricos en lugar de aumentar las dimensiones de calzada cuando se busca solucionar las demoras y longitudes de cola. Asimismo, es importante incluir ciclos semafóricos exclusivos de giros a la izquierda.

Peatonalización de espacios públicos. El objetivo es aumentar los espacios peatonales a través de la creación de áreas útiles, asimismo, incluir elementos y materiales de bajo costo para mejorar la calidad de vida pública.

Diseño en base a los usuarios vulnerables. Se busca que el diseño se base en las líneas de deseo de los usuarios más vulnerables. Esta estrategia consiste, además, en implementar elementos de seguridad como aceras más anchas y accesibles, zonas de refugio, señalización adecuada, infraestructura adecuada para ciclistas, etc.

2.5.5. Semaforización de una intersección

La división y convergencia de flujos en una intersección generan hasta 32 puntos de conflictos, los cuales incluyen las líneas de deseo tanto para peatones y ciclistas, como para vehículos. Los semáforos crean una división temporal de los movimientos mediante señales visuales y su función es indicar la detención o el avance ordenado de los usuarios (Cabrera, 2015).

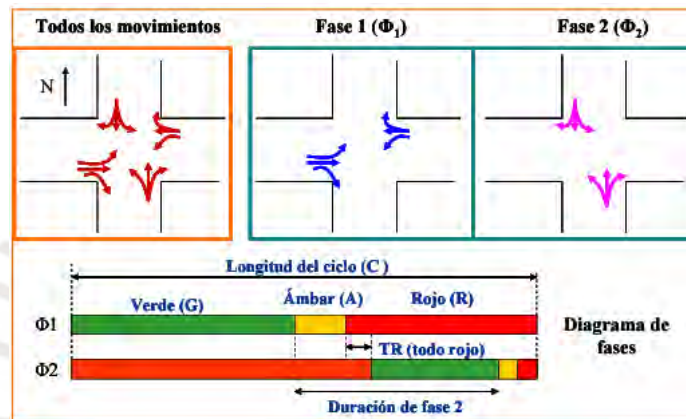
A continuación, se explicará el cálculo de los tiempos semafóricos, los cuales se dividen en fases que incluyan la mayor cantidad de desplazamientos y reduzcan la mayor cantidad de puntos de conflicto.

De forma general, se utiliza una tasa de flujo que corresponde a los quince minutos más cargados de la hora de máxima demanda, luego se detectará el movimiento crítico dentro de

cada fase para poder repartir el tiempo de verde disponible. Por último, distribuir los tiempos semafóricos proporcionando la capacidad de acuerdo con los volúmenes que recibe la intersección, esta relación demanda/oferta se representa por el grado de saturación (Cabrera, 2015), explicado en el inciso 2.2.2. La Figura 2.17 describe la distribución de dos fases para una intersección en la parte superior y el diagrama de fases en la parte inferior.

Figura 2.17.

Diagrama de fases y representación de desplazamientos



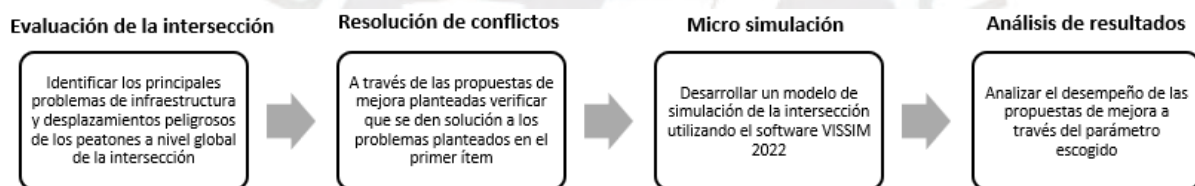
Fuente: Cabrera, 2015

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

Como se ha establecido en los objetivos, el propósito final del presente trabajo es mejorar la gestión del tránsito de una intersección vial, para ello se evaluó la situación actual de la intersección y se plantearon propuestas de mejora basadas en manuales de diseño; asimismo, se representó mediante la microsimulación tanto la situación actual como la propuesta de mejora con ayuda del software VISSIM 2022. En ese sentido, se desarrolló un flujo de trabajo general (Figura 3.1), que expone el desarrollo completo del trabajo, y un flujo de trabajo específico (Figura 3.2), que expone el proceso de micro simulación que se establece desde el trabajo previo en campo hasta la comparación de las propuestas de mejora.

Figura 3.1.

Flujo de trabajo general

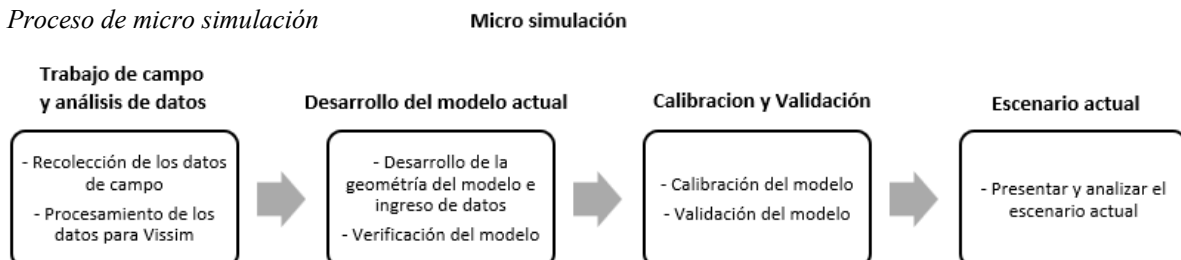


Fuente: Elaboración Propia

En el presente capítulo se expone el procedimiento detallado que se seguirá para la construcción del modelo o micro simulación; la evaluación de la intersección y resolución de conflictos se desarrollan con más detalle en el capítulo 5 y el análisis de resultados se presenta en el capítulo 6.

Figura 3.2.

Proceso de micro simulación



Fuente: Elaboración propia

3.1. Evaluación de la intersección

La intersección se recorrió durante la segunda semana de agosto del 2022 con dos objetivos principales

- Estimar los días de máxima congestión para la recolección de datos.
- Identificar los principales problemas de infraestructura y desplazamientos peligrosos por parte de todos los usuarios de la intersección.

Para ello, dos personas recorrieron la intersección durante una hora en el mediodía y la tarde; asimismo, se anotaron las condiciones actuales de la intersección, encontrándose los siguientes aspectos más relevantes:

3.1.1. Con respecto a los modos motorizados

Demanda vehicular

Se observó que la intersección posee una alta demanda vehicular en todos los accesos que la conforman, los principales modos de transporte fueron autos, buses de transporte público y motos lineales.

Rutas de circulación

Las rutas de circulación de los modos incluyen desplazamientos rectos, giros a la izquierda y giros a la derecha; de estas, las que presentaron mayores dificultades fueron los giros a la izquierda, debido a la geometría de la intersección y al ciclo del semáforo.

3.1.2. Con respecto a los modos no motorizados

Entorno

En cuanto a los peatones, se presentaron altas demandas de tránsito peatonal en todos los accesos, debido a la presencia de un centro educativo (Colegio Claretiano) y un centro recreacional (Parque de las Leyendas).

Semaforización peatonal

La congestión peatonal se formó principalmente en la zona de salida del Parque de las Leyendas, esta fue influenciada por los tiempos de verde de los semáforos peatonales, los cuales fueron menores a 30 segundos de un ciclo total de 120 segundos.

Rutas de circulación

Todos los peatones se desplazan por los cruces peatonales; sin embargo, no se encuentran seguros, especialmente en el cruce de la av. La Mar, pues debido a la semaforización y el giro a la derecha vehicular no cuentan con una fase propia para cruzar de manera segura.

Ciclistas

En cuanto a las rutas para los ciclistas, estas se encuentran ubicadas en una ciclovía de doble sentido que conecta la av. La Mar con la av. Parque de las Leyendas, asimismo comparten el ciclo semafórico peatonal en los cruces de la intersección. Sin embargo, también existen ciclistas que utilizan los carriles vehiculares y realizan movimientos peligrosos para ellos y los conductores.

3.1.3. Con respecto a la infraestructura

Carriles y pavimentación

Se observó la existencia de un carril auxiliar colindante al colegio Claretiano, dicho carril es de uso exclusivo vehicular y se encuentra aislado de los carriles principales por un separador con área verde que se desarrolla en todo el largo del carril auxiliar. Por otro lado, no existen baches, el pavimento se encuentra en buen estado.

Cruces peatonales

En los cruces peatonales se observaron rampas de longitudes inadecuadas, así como islas peatonales cuyo diseño y ubicación perjudica el tránsito peatonal.

Obstáculos

Se observaron obstáculos como postes de luz, postes semafóricos y carteles informativos, todos estos entorpecen el tránsito peatonal. Asimismo, se observaron vallas metálicas en ambas avenidas, estas funcionan como elementos de seguridad y para evitar que se formen paraderos.

Paraderos

Los paraderos son improvisados y entorpecen el flujo vehicular, además se pone en peligro la integridad física de los usuarios.

Estacionamientos

Los estacionamientos ubicados en la av. Parque de las Leyendas (Sur - Norte) quitan espacio para el tránsito peatonal, además promueven la circulación de los modos motorizados, lo cual fomenta el tráfico de la intersección.

Separadores

Tienen un ancho efectivo de 1.20 m en el cruce peatonal y se encuentran en la av. Parque de las Leyendas, Tienen un mal diseño pues no se desarrollan en el ancho total del cruce peatonal, por lo que interrumpen el flujo peatonal.

3.2. Resolución de conflictos

Una vez identificados los conflictos tanto vehiculares como peatonales, se proponen soluciones que correspondan con una adecuada implementación de la seguridad vial. Para ello se hizo uso de los manuales de diseño expuestos en el capítulo anterior. Las propuestas serán presentadas en el siguiente capítulo.

3.3. Micro simulación

A continuación, se describe el proceso que se siguió para la construcción del modelo de micro simulación desde el trabajo en campo para la recolección de datos y su procesamiento, hasta la calibración y validación del modelo.

3.3.1. Trabajo de campo y análisis de datos

En esta etapa se determina el alcance del estudio. En ese sentido, se buscó conocer las principales características geométricas y de demanda para estimar un nivel de complejidad. De esta manera, se planificó eficientemente un cronograma de trabajo, así como el adecuado número de asistentes para la recolección de datos.

Recolección de datos

La obtención de los datos es uno de los pasos más importantes, pues de esta depende la efectividad de los resultados, así como su variabilidad. En primer lugar, debe establecerse los tipos de datos que necesitará el software de microsimulación. A continuación, se mencionan.

Datos geométricos de la zona

Se refiere a las dimensiones de los elementos que componen la intersección de estudio, los cuales son: ancho de carril, anchos cruces peatonales, islas peatonales, anchos de acera peatonal, entre otros. Estas medidas servirán para reproducir de forma más exacta el modelo en la micro simulación. Para la medición de estos elementos se utilizó una cinta métrica de 50 metros y se realizaron estas mediciones el lunes 15 de agosto a las 15:00 pm.

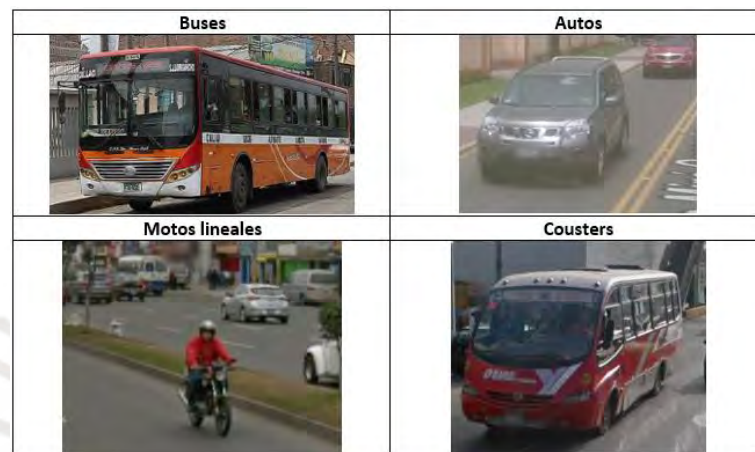
Datos de aforos vehiculares y peatonales

Se refiere a las cantidades tanto de vehículos como de peatones que se desplazan adecuadamente por la intersección. En el caso de los vehículos, se clasificaron de acuerdo a su naturaleza, ya sean autos, motos lineales, camiones, buses de transporte público, 'cousters', (ver Figura 3.3) y se agruparon de acuerdo a su sentido de circulación, ya sea por mantenerse en dirección constante, giro a la derecha o giro a la izquierda. En el caso de los peatones, se agruparon solamente de acuerdo a su circulación (puntos de partida y puntos llegada). Asimismo, para los ciclistas se agruparon de acuerdo a las rutas marcadas por las ciclovías existentes.

Para el conteo de ambos, debido a la complejidad de la zona de estudio, se utilizó una cámara de alta resolución conectada a un 'drone'. Dicha grabación tomó lugar el día 29 de agosto en las horas pico del lugar. Al finalizar el día se realizará un conteo simple con 2 personas para la verificación.

Figura 3.3

Clasificación vehicular



Fuente: Elaboración propia

Datos de velocidades vehiculares y peatonales

Esta data es importante debido a su relación directa con los tiempos de cruce. En el caso de los peatones, se evitarán los datos afectados por factores externos. Para los vehículos, se determinaron las velocidades para los carriles independientemente. En ambos casos se utilizó las distancias y tiempos de cruce para estimar las velocidades. El tiempo será medido con un cronómetro y las distancias serán las obtenidas de los datos geométricos.

Datos de tiempos de viaje

Esta data es importante pues será utilizada como parámetro de calibración. En el caso de los peatones, se evitarán los datos afectados por factores externos. Para los vehículos, se determinaron los tiempos de viaje en una distancia de 50 metros para cada acceso de la intersección de forma independiente. Para los peatones, se determinaron los tiempos de viaje

en la distancia de los cruceos peatonales de cada acceso de la intersección. El tiempo será medido con un cronómetro y las distancias serán las obtenidas de los datos geométricos.

Elementos de control vehicular y peatonal

Son aquellos elementos que se encargan de la gestión del tránsito, principalmente los semáforos. Asimismo, las señales restrictivas (no estacionar, no voltear a la izquierda, paradero prohibido, etc.) e informativas (aeropuerto cerca, gasolinera cerca, etc.). Es importante ubicar cada señal para establecer un orden y seguridad en la intersección.

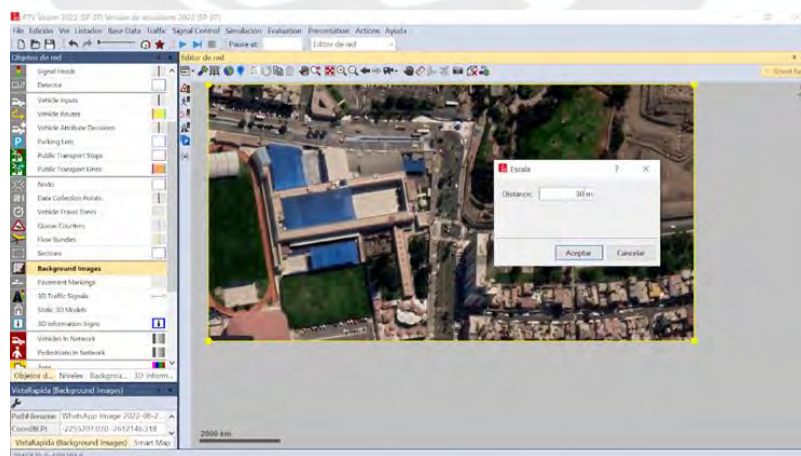
3.3.2. Modelamiento en VISSIM 2022

Desarrollo del modelo real utilizando VISSIM 2022

En esta etapa se describe el procedimiento general que se siguió para la realización del modelo de microsimulación. Primero, se incorporó la imagen de fondo (*background*) para el trazo de la red del modelo (ver Figura 3.4); esto se logró a través de la importación de una imagen de la zona de estudio desde *Google Earth*. Una vez importada, debe escalarse para representar las medidas reales de la intersección.

Figura 3.4

Importación del background en VISSIM 2022

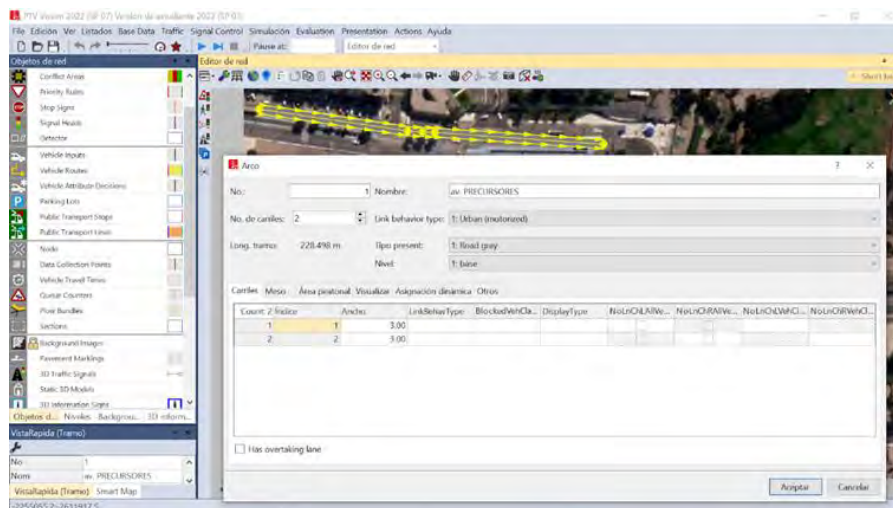


Fuente: Elaboración propia

A continuación, se definieron los tramos de la red vial a través del uso de Links y conectores (ver Figura 3.5). La información básica de la vía se colocó en el cuadro de diálogo ‘Link Data’, mientras que para las intersecciones se utilizó el cuadro de diálogo ‘Conectores’.

Figura 3.5

Colocación de ‘Links’ y conectores en el modelo



Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se insertaron los volúmenes horarios, composición por calle, rutas y porcentaje total que corresponde a cada movimiento de los usuarios. Asimismo, se agregó la composición vehicular, es decir, se definieron todos los vehículos necesarios para el modelo de acuerdo a los accesos de la intersección. En caso de que no aparezca algún tipo de vehículo, este será creado en el listado del programa, y se designó sus velocidades correspondientes, como se observa en la Figura 3.6.

Figura 3.6

Colocación de la composición vehicular en el modelo

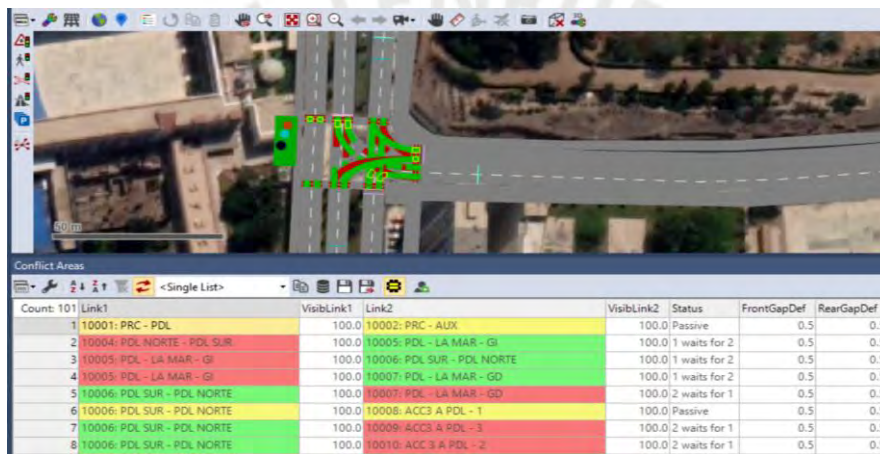
Count	No	Nom	Count	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	1	Predeterminado	1	100: Automovil	25: 25 km/h	882.000
2	2	DEL ACCESO 1	2	300: Bus	20: 20 km/h	20.000
3	3	DEL ACCESO 2	3	630: Moto Lineal	30: 30 km/h	61.000
4	4	DEL ACCESO 3 - 1				
5	5	DEL ACCESO 3 - 2				

Fuente: Elaboración propia

Por último, dependiendo del tipo de intersección, se estableció el control del tráfico a través de los comandos ‘áreas de conflicto’ o ‘reglas de prioridad’ si es que la intersección presenta pocas o muchas zonas de interferencia respectivamente, esto se representa en la Figura 3.7. Asimismo, ya que la intersección es semaforizada se definieron los ciclos semafóricos que se obtuvieron del escenario actual de la intersección, para ello fue necesario crear 4 grupos semafóricos, ver Figura 3.8.

Figura 3.7

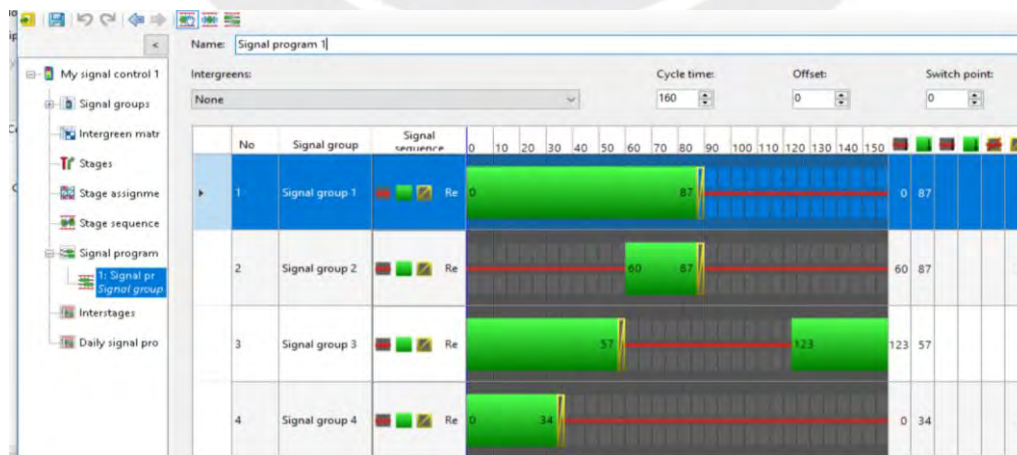
Colocación de áreas de conflicto de la intersección



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8

Colocación de los grupos semafóricos



Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Verificación del modelo

Corresponde a una corroboración visual de que el modelo está representando adecuadamente la circulación de los flujos. Para ello se corrió el modelo en 3D y se visualizaron las zonas de conflicto. Es recomendable verificar el modelo constantemente durante su desarrollo.

Figura 3.9

Representación del escenario real de la intersección en el software VISSIM 2022



Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Calibración y validación del modelo

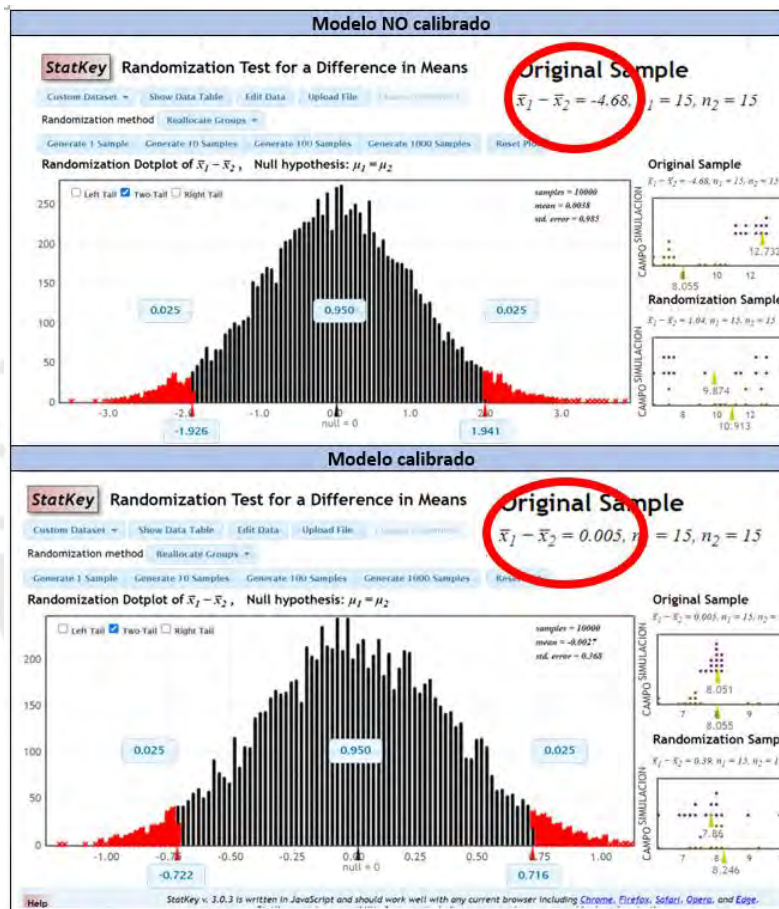
Calibración del modelo

Una vez verificada de forma visual el modelo, se procedió a realizar la calibración. Esta se refiere a adecuar las variables a la realidad observada, para verificar que la simulación sea confiable y, por tanto, proponer propuesta de mejora confiables. En primer lugar, para la verificación se debe escoger un parámetro de análisis, en el presente trabajo se escogió a los ‘tiempos de viaje’. A continuación, se escogió una herramienta de análisis estadístico, la cual

permitió comparar con un grado de aceptación del 95 % la diferencia entre el modelo y los datos de campo, en este caso se utilizó la herramienta 'Statkey', por brindar resultados confiables. Por último, se realizó la comparación; inicialmente se obtuvieron resultados diferentes, sin embargo, al modificar las variables se pudo llegar a un valor aceptable, tal como se ve en la Figura 3.10.

Figura 3.10.

Calibración del modelo



Fuente: Elaboración propia

Validación del modelo

La validación es un proceso similar a la calibración; sin embargo, se realiza con data tomada en días diferentes y al poseer la misma relevancia que la calibración, será necesario reajustar los parámetros si no se cumple con el grado de aceptación. En el caso de este trabajo se realizó la validación con la data tomada el 19 de agosto de 12:00 pm a 1:00 pm.

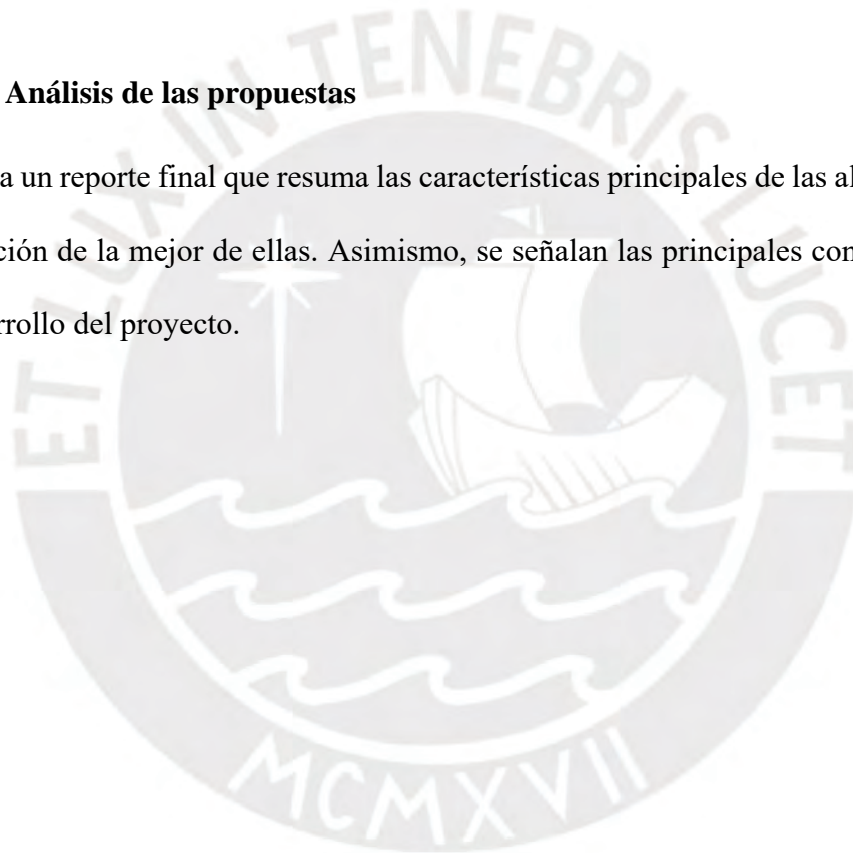
3.4. Análisis de resultados

3.4.1. Análisis situacional actual

Corresponde al análisis de la situación actual de la intersección a través de los parámetros de eficiencia, los cuales son longitudes de cola, longitudes de cola máxima y tiempos de viaje. De esta manera, se evidencia de forma más clara las características cualitativas y cuantitativas de la intersección. Finalmente, se proponen alternativas que mejoren las características antes mencionadas y que se basen en una movilidad sostenible.

3.4.2. Análisis de las propuestas

Corresponde a un reporte final que resuma las características principales de las alternativas, así como la elección de la mejor de ellas. Asimismo, se señalan las principales conclusiones que dejan el desarrollo del proyecto.



CAPÍTULO 4: OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA DATA

4.1. Descripción general de la intersección

La intersección de estudio se encuentra en el cruce de las av. Parque de las Leyendas con av. La Mar en el distrito de San Miguel. Esta intersección en forma de “T” posee 3 accesos, Acceso Norte-Sur (Acceso 1), Acceso Sur-Norte (Acceso 2) y Acceso Este-Oeste (Acceso 3), tal cual se señala en la Figura 4.1.

Los accesos 1 y 2 son de doble sentido y poseen dos carriles por sentido, asimismo se tiene un carril auxiliar, con ciclovía, ubicado en la zona oeste, contiguo al colegio Claretiano y dos separadores, uno entre carriles centrales y otro entre un carril central y el auxiliar. El acceso 3 es el correspondiente a la av. La Mar, el cual es de doble sentido, con 2 carriles por sentido, sin separador central y posee una ciclovía en su vereda más ancha.

Figura 4.1

Esquema de accesos en la intersección de estudio



Fuente: Elaboración propia

4.2. Recolección y procesamiento de los datos

La medición de los datos necesarios se realizó en tres días diferentes de una misma semana, los cuales fueron lunes, miércoles y viernes de la tercera semana de agosto, estas mediciones se dieron sobre condiciones máximas de congestión, para determinar los días de máxima congestión se realizaron visitas a la intersección de estudio durante la semana previa a la toma de datos, para un mejor análisis se excluyeron días feriados; respecto al clima, se mantuvo nublado con presencia de neblina durante toda la semana de medición. A continuación, se explicarán detalladamente las condiciones en la extracción de dicha data.

4.2.1. Datos geométricos de la zona

Se realizó la medición de la longitud transversal de la av. Parque de las Leyendas y av. La Mar el día 15 de agosto del 2022 aproximadamente a las 2 p.m. Para dicha actividad, se utilizó una cinta métrica metálica de 30 metros de longitud máxima, un block de apuntes y un lapicero; se hicieron necesarias dos personas y se midió las longitudes de los elementos más representativos. Se tienen los siguientes resultados.

Anchos de carril

Los anchos de carril en la av. Parque de las Leyendas, son de tres metros con veinte centímetros en ambos sentidos y cada vía es de dos carriles; de igual manera, la av. La Mar, posee dos carriles para ambos sentidos y los anchos de cada carril son de tres metros con veinte centímetros.

Carril auxiliar: En la av. Parque de las Leyendas se encuentra una vía secundaria de dos carriles, en donde se pueden estacionar vehículos, esta vía, a diferencia de las demás, posee un ancho de carril de tres metros.

Veredas

En cuanto a las veredas de la Av. Parque de las leyendas, se tienen dos veredas con anchos totalmente diferentes; la de menor ancho, 1.97 m. y la de mayor ancho, 2.5 m. Por otra parte, las veredas, de la Av. La mar, tienen anchos de 1.20 m. y de 1.30m. que están contiguas a una ciclovía a nivel de vereda.

Ciclovías

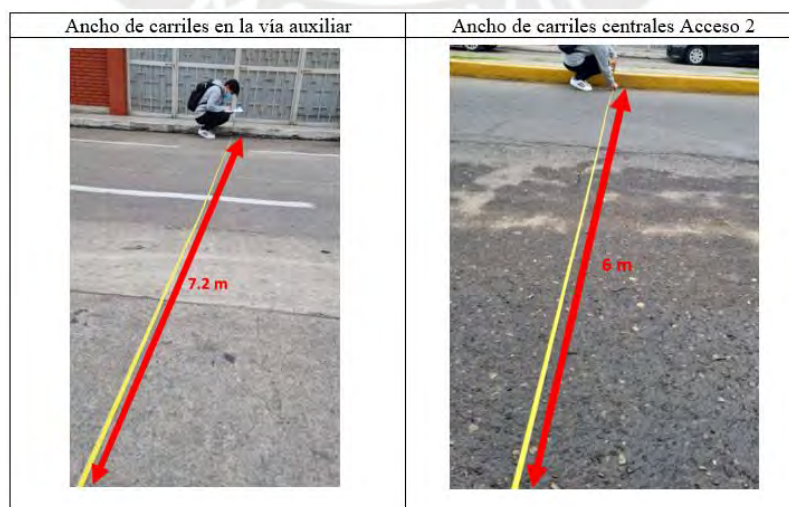
La ciclovía en la Av. Parque de las leyendas, posee dos carriles de sentido opuesto con un ancho de carril de 1.10 m., esta se encuentra pegada al carril izquierdo del acceso auxiliar. Asimismo, la ciclovía en la av. La Mar, posee dos carriles de sentido opuesto que se encuentran a nivel de vereda. Esta ciclovía posee un ancho de carril de 1.05 m.

Separadores

Se tienen dos separadores, uno principal y otro secundario. El secundario tiene un ancho de 2.3 m, mientras que el principal tiene un ancho 4.5 m., ambos separadores están ubicados en la av. Parque de las Leyendas y están compuestas por infraestructura verde en su desarrollo longitudinal a lo largo de la avenida. Cabe mencionar que estos separadores sirven a su vez como isla de refugio para los peatones en las intersecciones con los cruces peatonales.

Figura 4.2

Recolección de datos



Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Datos de aforos vehiculares

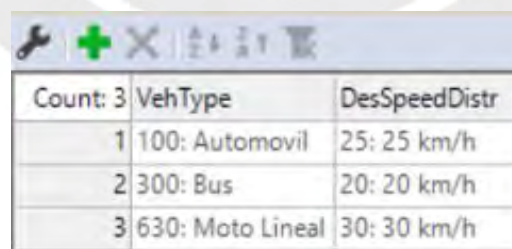
Se registraron los volúmenes vehiculares de dos días: el día lunes 15 de agosto de 6:00 pm a 7:00 pm y el día viernes 19 de agosto de 12:00 pm a 1:00 pm. Para el registro se usó un *drone* en cada hora de análisis de dichos días. De acuerdo a las rutas de los usuarios motorizados, se consideró dos desplazamientos por cada acceso, excepto para la vía auxiliar a la que le corresponde una única ruta; dichas rutas y los aforos correspondientes se muestran en los flujogramas de la Figura 4.4, que serán usados para la calibración y validación correspondientemente.

4.2.3. Datos de velocidades vehiculares

Como se expuso en el capítulo anterior, es necesario registrar las velocidades de los vehículos para el modelo de microsimulación; para esto, si bien se pudo haber determinado dichas velocidades a través de la relación fundamental distancia entre tiempo, se colocaron en el programa velocidades estándar de acuerdo al promedio calculado en las mediciones de campo como las que se muestran en la Figura 4.3.

Figura 4.3

Asignación de velocidades a los diferentes modos de transporte motorizados de la intersección



Count	VehType	DesSpeedDistr
1	100: Automovil	25: 25 km/h
2	300: Bus	20: 20 km/h
3	630: Moto Lineal	30: 30 km/h

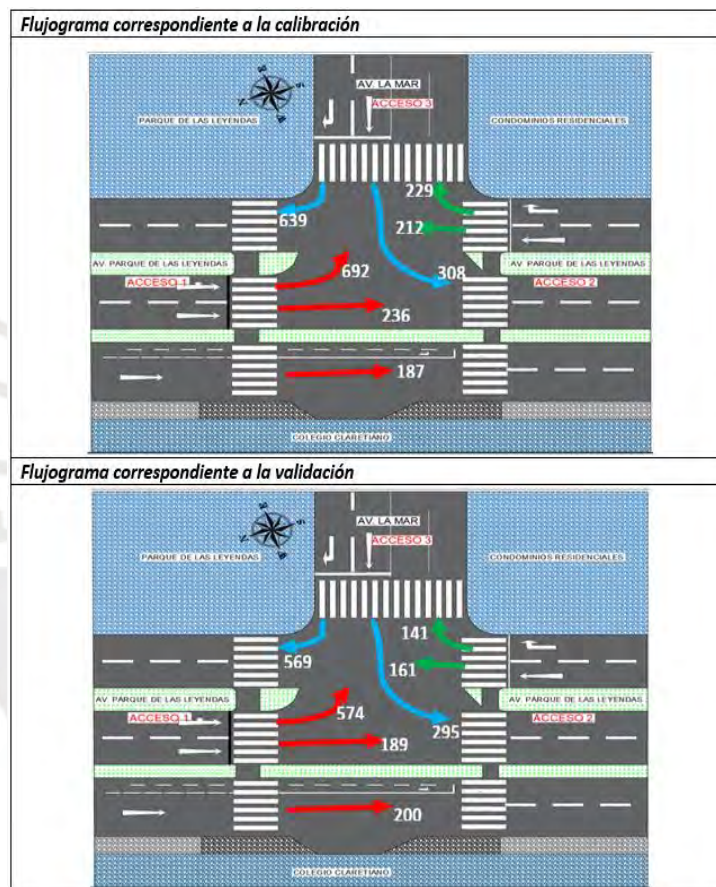
Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Datos de aforos peatonales

Para las rutas de los usuarios no motorizados, caso de los peatones, no se presentaron líneas de deseo pues todos utilizan los cruces peatonales. Asimismo, se consideró que los ciclistas se adecuan a las rutas definidas por las ciclovías.

Figura 4.4.

Flujograma correspondiente a la calibración



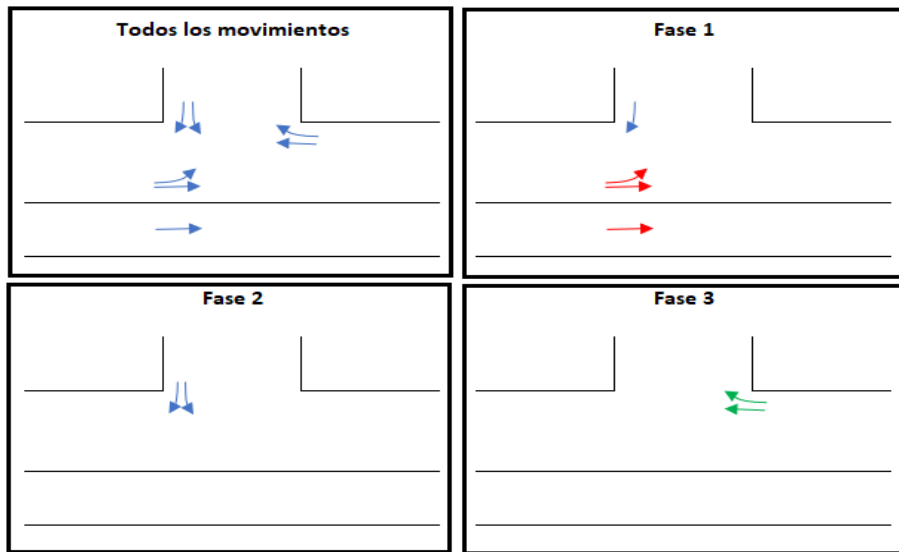
Fuente: Elaboración propia.

4.2.5. Datos provenientes de los semáforos

Se conoce la importancia de los semáforos en la intersección, por lo que se realizó el conteo de cada uno de los tiempos semafóricos. En total se contaron 4 semáforos vehiculares y 5 peatonales. A continuación, se muestran los ciclos semafóricos y las longitudes de ciclo en las Figuras 4.5 y 4.6 respectivamente.

Figura 4.5.

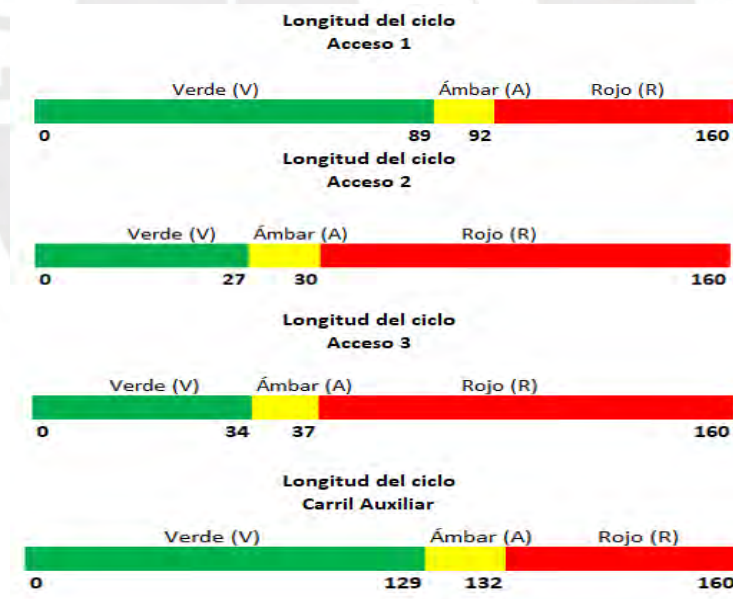
Fases del semáforo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.6.

Longitudes de ciclo semafórico



Fuente: Elaboración propia.

4.2.6. Datos para tiempos de viaje

El parámetro a analizar para este trabajo es el tiempo de viaje que le toma a un vehículo cruzar la intersección, recorriendo un total de 50m. aproximadamente. A continuación, se presentan

los datos tomados el día 31 de agosto, que corresponden al tiempo cronometrado para un sentido de circulación desde cada acceso.

Tabla 4.1.

Tiempos de viaje para recorridos de 50 metros por cada acceso, válidos para la calibración.

MEDICIÓN	Acceso 1 -> Acceso 3	16	Acceso 1 -> Acceso 2	31	Acceso 2 -> Acceso 1
	TIEMPO DE VIAJE		TIEMPO DE VIAJE		VIAJE
	(SEGUNDOS)		(SEGUNDOS)		(SEGUNDOS)
	50 metros		50 metros		50 metros
01	8.58	16	8.79	31	9.34
02	6.02	17	7.45	32	10.01
03	10.80	18	7.68	33	9.10
04	12.30	19	7.63	34	7.69
05	6.32	20	6.07	35	10.54
06	7.60	21	6.66	36	6.33
07	9.35	22	8.12	37	7.23
08	11.99	23	6.79	38	7.45
09	10.87	24	7.23	39	7.51
10	13.10	25	6.14	40	7.11
11	10.94	26	6.64	41	7.32
12	11.10	27	9.22	42	7.03
13	11.26	28	6.50	43	6.27
14	11.27	29	6.55	44	10.46
15	11.83	30	7.38	45	7.44
Media	10.22		7.26		8.06
Desv. Estánd	2.17		0.93		1.44

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.

Tiempos de viaje para recorridos de 50 metros por cada acceso, válidos para la validación

MEDICIÓN	Acceso 1 -> Acceso 3	16	Acceso 1 -> Acceso 2	31	Acceso 2 -> Acceso 1
	TIEMPO DE VIAJE		TIEMPO DE VIAJE		TIEMPO DE VIAJE
	(SEGUNDOS)		(SEGUNDOS)		(SEGUNDOS)
	50 metros		50 metros		50 metros
01	7.62	16	7.23	31	10.54
02	7.50	17	8.05	32	9.04
03	11.52	18	7.62	33	8.61
04	12.01	19	11.52	34	7.01
05	8.63	20	7.06	35	9.85
06	7.90	21	8.01	36	6.57
07	11.63	22	7.75	37	7.12
08	12.00	23	9.27	38	7.63
09	8.07	24	7.25	39	8.12
10	9.80	25	6.09	40	9.12
11	11.80	26	9.15	41	7.01
12	12.03	27	6.73	42	7.98
13	12.50	28	7.91	43	6.53
14	11.14	29	8.12	44	7.50
15	7.95	30	7.21	45	7.25
Media	10.14		7.93		7.99
Desv. Estánd	1.96		1.29		1.21

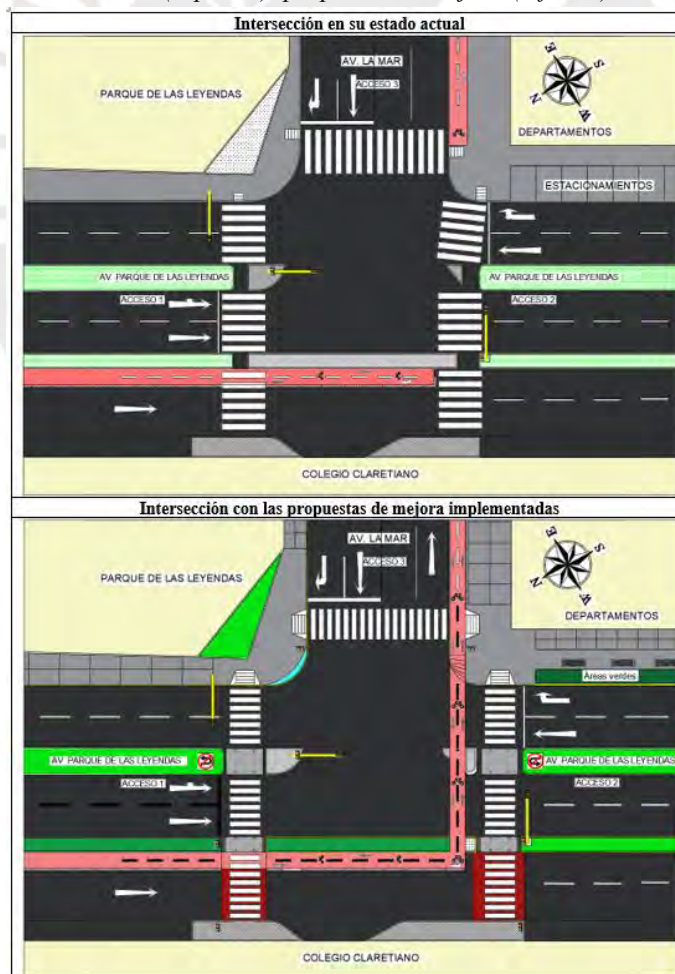
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 5: ESCENARIO ACTUAL Y PROPUESTAS DE MEJORA

Con la data seleccionada y procesada del capítulo anterior se desarrolló un modelo de microsimulación en VISSIM 2022, el cual fue calibrado y validado a través del parámetro “tiempo de viaje”, este procedimiento se explica en el apartado 3.3.4. Una vez validado el modelo, se obtuvieron los resultados actuales de la intersección que buscan cuantificar los niveles de congestión de la misma; dichos resultados servirán para presentar propuestas de mejora y consecuentemente disminuir los niveles de tráfico; asimismo, aumentar la seguridad y accesibilidad para los peatones. La siguiente figura presenta un esquema de la situación actual en infraestructura, así como la propuesta de rediseño.

Figura 5.1

Situación actual de la intersección (superior), propuesta de mejora (inferior).



Fuente: Elaboración propia

5.1. Evaluación del escenario actual

Para cuantificar los niveles de tráfico en la intersección se obtuvieron resultados mediante la microsimulación de la situación actual, para ello se consideró una hora de simulación, es decir, 3600 segundos; sin embargo, no se consideraron los primeros 600 segundos, puesto que el software se toma un lapso determinado para llenar la intersección con los modos de transporte necesarios, es por ello que los resultados obtenidos en los primeros 600 segundos fueron obviados y para compensar la hora de simulación se consideraron los resultados obtenidos en el intervalo de tiempo de 600 segundos a 4200 segundos. Asimismo, se consideraron los tiempos de viaje y longitudes de cola como los principales parámetros de eficiencia a evaluar en cada acceso.

5.1.1. Evaluación del Acceso 1

Se analizaron los resultados del flujo de vehículos que se dirigen del acceso 1 al acceso 2.

Tabla 5.1.

Resultados de la situación actual para los parámetros de tiempo de viaje y longitud de cola

SIMULACION	INTERVALO DE SIMULACION	TIEMPOS DE VIAJE (s)	LONGITUD DE COLA (m)
1	600-4200	16.86	303.31
2	600-4200	19.19	304.32
3	600-4200	17.47	302.65
4	600-4200	18.91	306.51
5	600-4200	24.28	306.85
6	600-4200	16.54	300.41
7	600-4200	19.55	306.98
8	600-4200	24.65	304.04
9	600-4200	16.67	305.09
10	600-4200	15.57	304.45
11	600-4200	21.93	305.3
12	600-4200	20.75	303.25
13	600-4200	19.52	299.57
14	600-4200	14.93	300.24
15	600-4200	21.82	303.85
PROMEDIO	600-4200	19.24	303.79
DESVIACION STND	600-4200	3.00	2.32
VALOR MINIMO	600-4200	14.93	299.57
VALOR MAXIMO	600-4200	24.65	306.98

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados obtenidos de la microsimulación señalan una media para los tiempos de viaje de 19.24 segundos analizados para 50 metros. Este valor resulta alto por diversas razones, por ejemplo, la ineficiente distribución semafórica que ocasiona que los vehículos que se dirigen al acceso 3 (giro a la izquierda) se acumulen en la intersección, entorpeciendo los desplazamientos rectos; asimismo, el estado actual de la infraestructura ocasiona que los vehículos reduzcan su velocidad pues hay baches.

Por otro lado, la longitud de cola promedio es de 304 metros aproximadamente, teniendo en cuenta una longitud de vehículo promedio por vehículo de 5.5 metros, resultaría en 55 vehículos. Valor excesivo que indica una alta congestión en este acceso.

5.1.2. Evaluación del Acceso 2

Se analizaron los resultados del flujo de vehículos que se dirigen del acceso 2 al acceso 1.

Tabla 5.2.

Resultados de la situación actual para los parámetros de tiempo de viaje y longitud de cola

SIMULACION	INTERVALO DE SIMULACION	TIEMPO DE VIAJE (seg)	LONGITUD DE COLA (m)
1	600-4200	8.09	69.38
2	600-4200	8.03	74.61
3	600-4200	7.71	49.61
4	600-4200	7.98	63.21
5	600-4200	7.89	79.94
6	600-4200	7.85	63.45
7	600-4200	7.62	51.06
8	600-4200	8.10	95.93
9	600-4200	8.09	70.85
10	600-4200	7.88	80.22
11	600-4200	8.01	77.34
12	600-4200	8.15	86.14
13	600-4200	7.76	78.00
14	600-4200	7.74	38.73
15	600-4200	7.90	45.69
PROMEDIO	600-4200	7.92	68.28
DESVIACION STND	600-4200	0.16	16.18
VALOR MINIMO	600-4200	7.62	38.73
VALOR MAXIMO	600-4200	8.15	95.93

Fuente: Elaboración propia

En el caso de los resultados para el acceso 2 se obtuvo un tiempo de viaje significativamente menor pues en su fase no existe giro a la izquierda y los vehículos son en su totalidad de uso particular, por otra parte, la longitud de cola obtenida también resulta menor, resultando en unos 13 a 14 vehículos de cola. Estos resultados muestran una mejora con respecto al anterior acceso y se encuentran en condiciones normales de congestión.

5.1.3. Evaluación del Acceso 3

Se analizaron los resultados del flujo vehicular que pertenece al acceso 3

Tabla 5.3.

Resultados del parámetro longitud de cola y longitud de cola máxima

SIMULACION	INTERVALO DE SIMULACION	LONGITUD DE COLA (m)	LONGITUD DE COLA MAXIMA (m)
1	600-4200	17.34	139.92
2	600-4200	14.99	103.58
3	600-4200	15.62	111.93
4	600-4200	16.87	113.07
5	600-4200	12.57	95.51
6	600-4200	15.74	113.54
7	600-4200	17.99	147.73
8	600-4200	15.37	131.36
9	600-4200	14.43	120.1
10	600-4200	19.57	194.3
11	600-4200	15.16	111.45
12	600-4200	13.8	106.14
13	600-4200	16.37	140.93
14	600-4200	20.39	122.88
15	600-4200	15.15	141.44
PROMEDIO	600-4200	16.09	126.26
DESVIACION STND	600-4200	2.08	24.53
VALOR MINIMO	600-4200	12.57	95.51
VALOR MAXIMO	600-4200	20.39	194.3

Fuente: Elaboración propia

De la simulación se obtuvieron los resultados de la tabla 5.3. para los parámetros de longitud de cola y longitud de cola máxima. Como se ve, se obtuvo una longitud de cola promedio de 16.1 metros, que resulta en 3 vehículos; sin embargo, la longitud de cola máxima es de 127 metros, o sea 23 vehículos en promedio en horas de máxima demanda. En consecuencia, intersecciones adyacentes se ven comprometidas en funcionamiento, tal como la intersección entre la av. La mar y la calle Dintilhac.

5.2. Propuestas de mejora

Como se expuso en el apartado anterior, las condiciones actuales en ciertos accesos poseen deficiencias que ponen en riesgo la seguridad del peatón y la transitabilidad de los vehículos; por ello, al estar esta intersección contigua a un centro de recreación (Parque de las Leyendas) y a un centro educativo (colegio Claretiano), se hace imprescindible mejorar la gestión del tránsito.

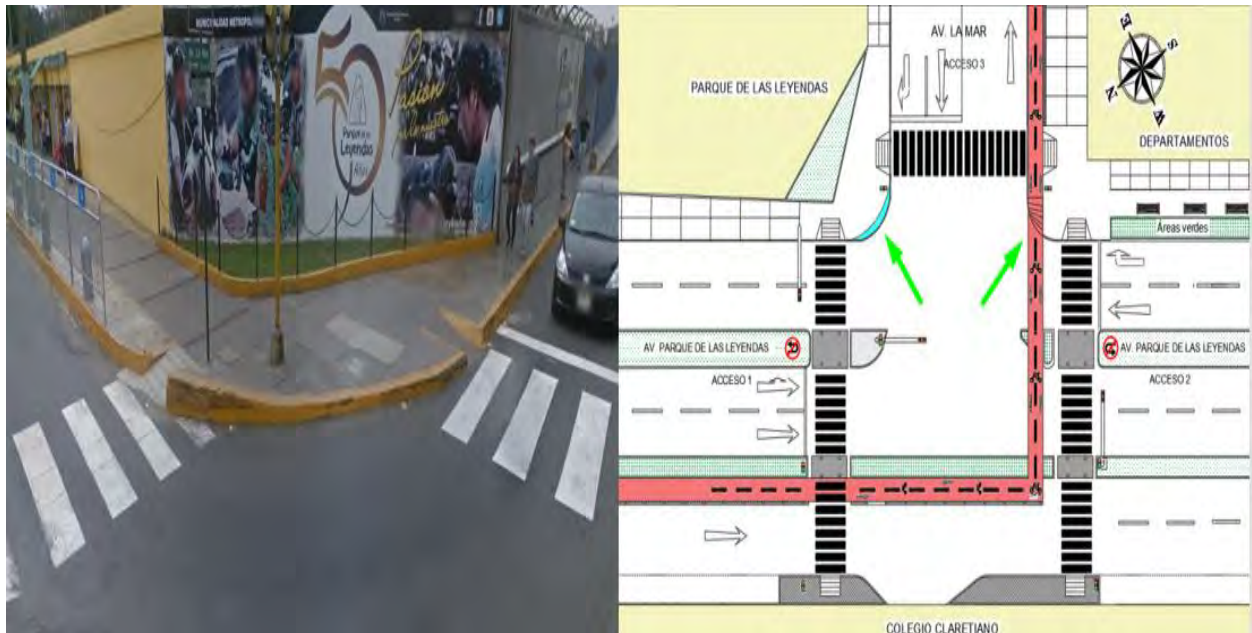
A continuación, se presentan las propuestas de mejora en cuanto a la gestión del tránsito e infraestructura que pretenden mejorar la situación actual de la intersección.

5.2.1. Reducción de radios de giro

Dada la distribución de flujos de la intersección (doble sentido en cada acceso) y su forma en “T” se formuló la reducción de velocidad en los movimientos de giro a la derecha de la av. La mar (acceso 3) y la av. Parque de las Leyendas (acceso 2) mediante la disminución del radio de giro en las esquinas de estos accesos. Como se puede apreciar en el lado izquierdo de la Figura 5.2, la esquina posee un radio de giro pronunciado, igual a 3.5 metros; ante ello, se propuso reducir dicho valor a 2 metros (lado derecho de la Figura 5.2), con la finalidad de que los modos motorizados que transiten del acceso 3 al 1 o del acceso 2 al 3, realicen los giros a la derecha con velocidades reducidas.

Figura 5.2

Radios de giro de la esquina de la av. La Mar actual (lado izquierdo) y propuesta de mejora (lado derecho)



Fuente: Google Earth (izquierda) y elaboración propia (derecha)

5.2.2. Reducción del ancho de los carriles

Tras la medición en campo se observó que todos los carriles de la intersección poseen un ancho de 3.30 metros, a excepción del carril auxiliar el cual tiene un ancho de 3 metros. Ante ello, se propuso reducir todos los anchos de vías a 3 metros para uniformizar geoméricamente la intersección y evitar el adelantamiento que ocurre en la av. La mar, que esta conformada por cuatro carriles, dos para cada sentido.

Además de evitar el adelantamiento entre autos la reducción del ancho de carril pretende quitar espacio vehicular innecesario y dárselo al peatón. Como se observa en la Figura 5.3, la av. La Mar posee carriles con anchos considerables para los vehículos, ello castiga a los anchos de las aceras colindantes a los carriles. La menor de las aceras mide aproximadamente 1.30 metros de ancho.

Figura 5.3

Carriles de la av. La Mar en la actualidad



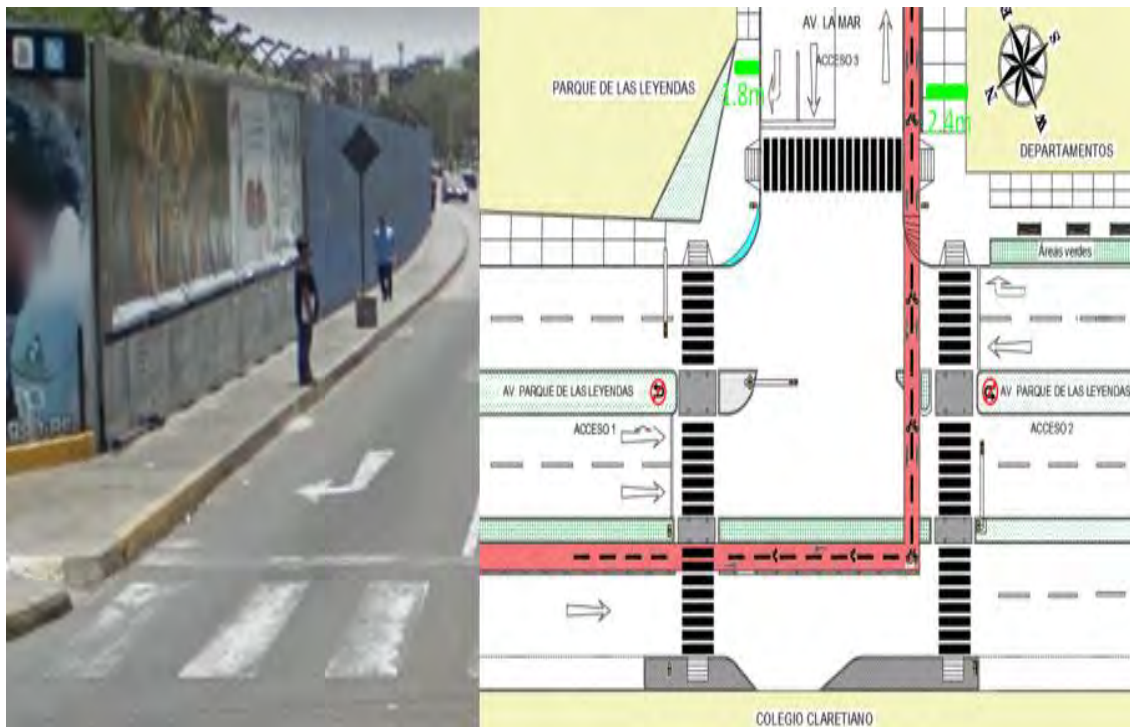
Fuente: Google Earth

5.2.3. Ensanchamiento de aceras

Las principales aceras que conforman la intersección se encuentran en la av. La Mar, estas se desarrollan en toda la longitud de la avenida, colindantes a los carriles extremos. En la Figura 5.4 (izquierda) se puede observar la acera contigua al carril izquierdo en la av. La mar. La medida actual de dicha acera es de 1.30 metros, este valor es un valor adecuado para el tránsito de una sola persona, sin embargo, no cumple con el ancho mínimo que sugieren los manuales de diseño. En este sentido, con el ancho recuperado de la reducción del ancho de los carriles se propuso el ensanchamiento de las aceras a 1.80 metros en el lado izquierdo y 2.40 metros al lado derecho tal como se muestra en la Figura 5.4 (derecha). Estos valores garantizan el tránsito de dos personas, así como el adelantamiento seguro de dos sillas de ruedas.

Figura 5.4

Acera de la av. La Mar actual (lado izquierdo) y propuesta de mejora (lado derecho)



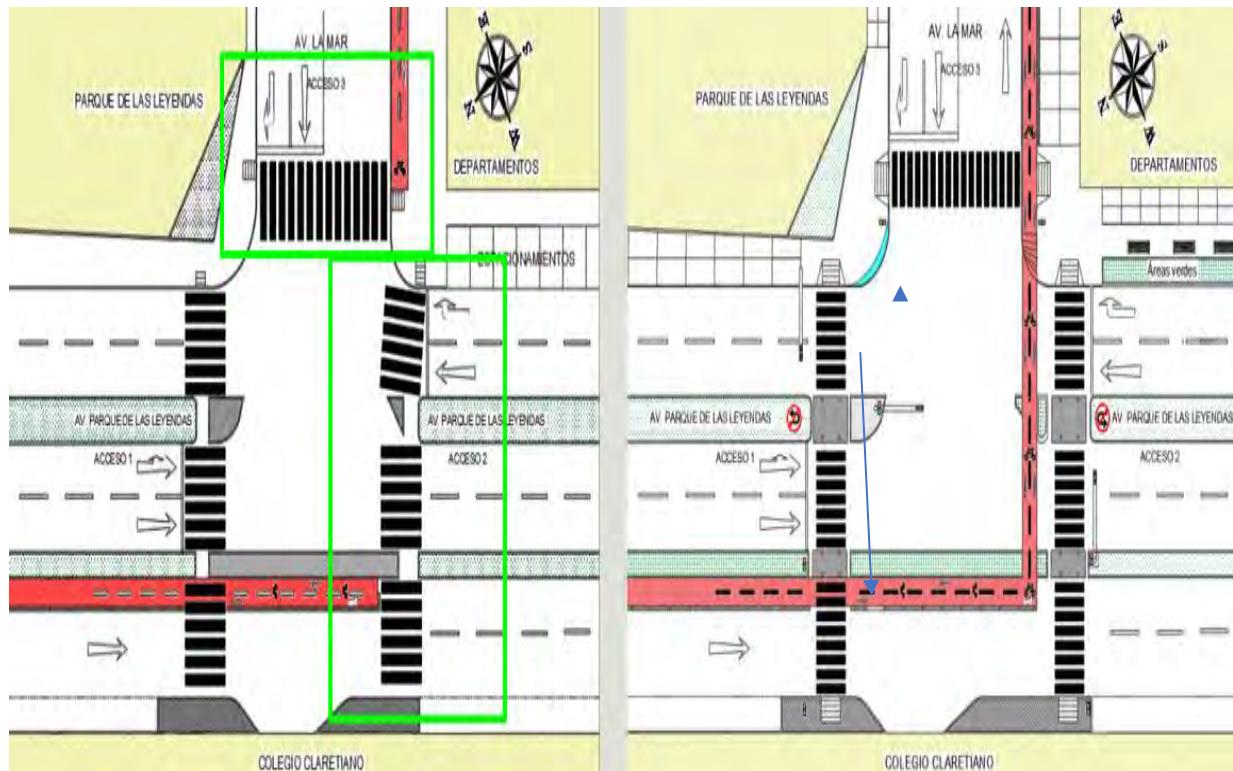
Fuente: Google Earth (izquierda) y elaboración propia (derecha)

5.2.4. Reubicación de cruces peatonales

Uno de los principales aspectos a mejorar es la seguridad en los cruces peatonales. Si bien la intersección posee cruces en todos sus accesos, sí existe inseguridad al cruzar, en especial cuando hay gran afluencia de personas. Por consiguiente, se presentan las siguientes propuestas: La primera de ellas propone retroceder el cruce peatonal en todos los accesos con el fin de alinearlos con su respectiva rampa peatonal y alejarlos del límite de la intersección; además, se retrocederá la isla peatonal del acceso 2 pues entorpece el flujo de tránsito tal como se observa en el lado izquierdo de la Figura 5.5. La segunda, propone uniformizar el ancho de los cruces peatonales de los accesos 1 y 2 a 3 metros y se colocará un cruce peatonal de ancho igual a 4.0 metros en el acceso 3, pues en este acceso hay un mayor flujo de peatones.

Figura 5.5

Ubicación actual de los cruces peatonales (lado izquierdo) y propuesta de mejora (lado derecho)



Fuente: Elaboración propia

5.2.5. Cruce peatonal elevado (Vía Auxiliar)

Debido a la presencia de una institución estudiantil, existe una alta demanda de usuarios vulnerables tales como personas de la tercera edad y niños, por ello, es necesario mantener las velocidades de transitabilidad vehicular bajas. Por otra parte, existe un desnivel del nivel de 15 cm entre el acceso 1 y el carril auxiliar. Por estos motivos se propone implementar dos cruces elevados de altura 15 cm y ancho igual a 4 metros con una longitud suficiente para conectar la acera colindante al ingreso del colegio con la isla peatonal ubicada en la Av. Parque de las leyendas. Estos dos cruces elevados estarán ubicados en los lados extremos de la entrada principal del colegio, tal como se muestra en la Figura 5.6.

Figura 5.6

Implementación de cruceros elevados en la entrada principal del colegio Claretiano



Fuente: Elaboración propia

5.2.6. Ampliación de rampas

La accesibilidad es un aspecto fundamental en el rediseño propuesto pues, como se menciona en el apartado 2.5.4., el diseño de intersecciones debe desarrollarse en base al usuario vulnerable. En la intersección se observan rampas de 1.2 metros de ancho con una profundidad de 1 metro y con pendientes de hasta 15%; asimismo, como se observa en la Figura 5.7, existen rampas que no están alineadas con el cruceo peatonal, no están orientadas en el sentido del cruceo y no se desarrollan en todo el ancho del cruceo peatonal, lo cual perjudica el tránsito del peatón.

Para el rediseño de las rampas se cambió el ancho de los accesos 1 y 2 a 1.8 metros y 2.8 metros para el acceso 3; asimismo, se proponen profundidades de 1.5 metros en todos los accesos y pendientes de 10%, pues la acera tiene un espesor pequeño de 15 centímetros. Por otra parte, los laterales de las rampas cuentan con un ancho de 0.6 metros, lo cual permite que la rampa se desarrolle en la totalidad del ancho del cruceo peatonal. Se justifican estas dimensiones al ser una intersección pequeña, pero con gran afluencia de personas en horas punta, además la intersección es adyacente a un colegio y a un parque recreacional. Por último, todas las rampas deben estar alineadas con los cruceros peatonales, el resultado se observa en la Figura 5.8.

Figura 5.7

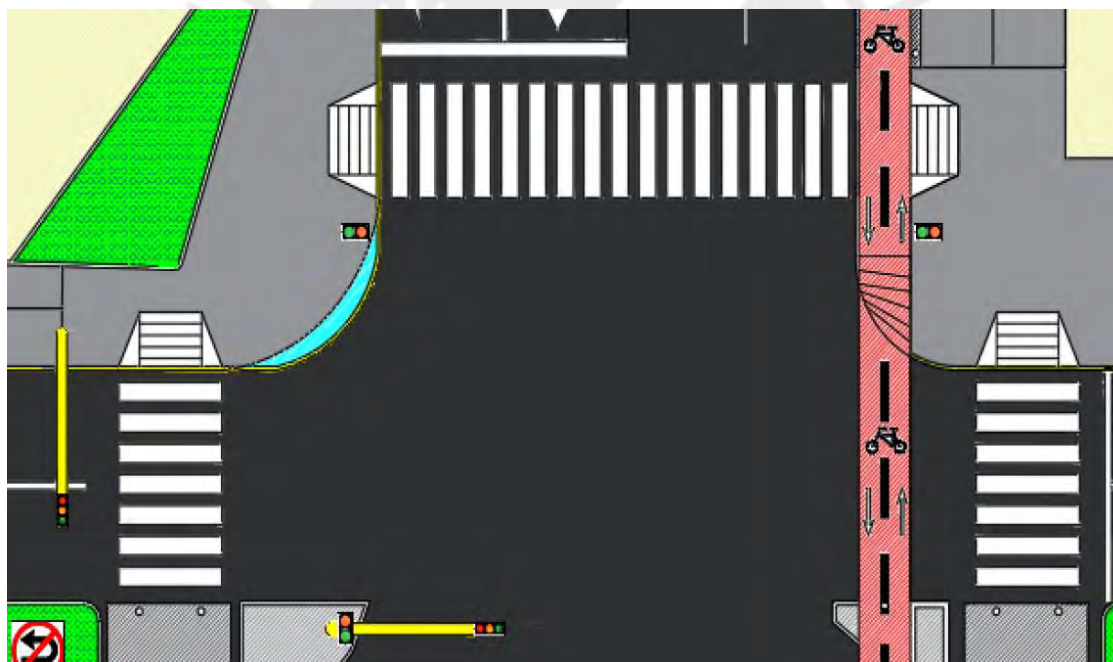
Problemas a solucionar con respecto a las rampas



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.8

Propuesta para el rediseño de las rampas



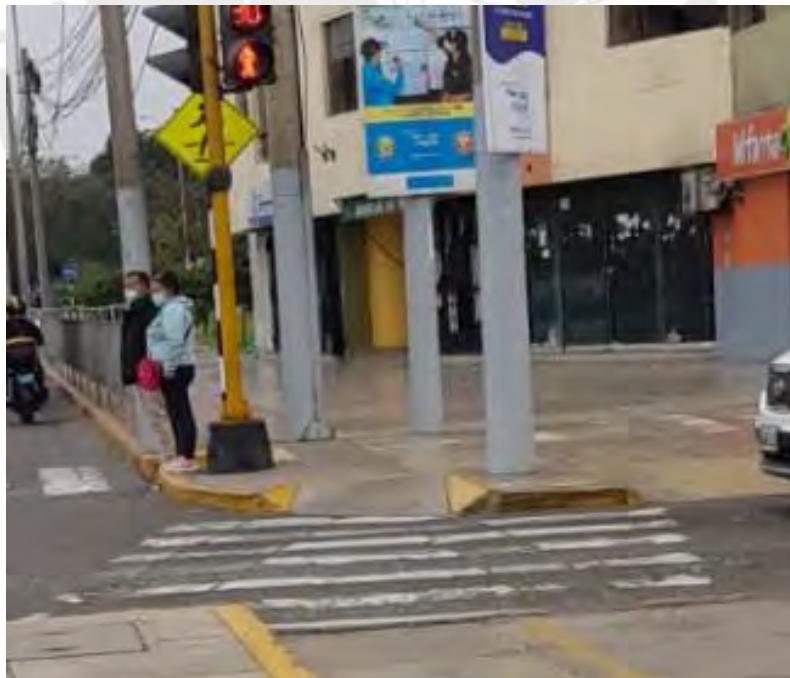
Fuente: Elaboración propia

5.2.7. Obstáculos en la infraestructura

En la identificación de problemas se registraron obstáculos como postes de alumbrado, postes semafóricos y cestos de basura. Estos se encuentran principalmente contiguos a las rampas de acceso de la av. La Mar, tal como se muestra en la Figura 5.9, por lo que se optó por reubicarlos. Sin embargo, se mantuvieron algunos obstáculos necesarios para la seguridad del peatón y que también sirven para mantener el flujo continuo en la intersección. Estas son las vallas de seguridad en el acceso 3 y acceso 1, las cuales evitan que las personas usen el espacio como paradero informal. Para uniformizar las dimensiones de estas vallas de seguridad se propone una altura de 1.50 metros y una longitud de desarrollo superior a 50 metros, esto con la finalidad de imposibilitar la detención de los buses y autos.

Figura 5.9

Bloqueo del flujo peatonal por obstáculos en el acceso a rampas, Av. La Mar.



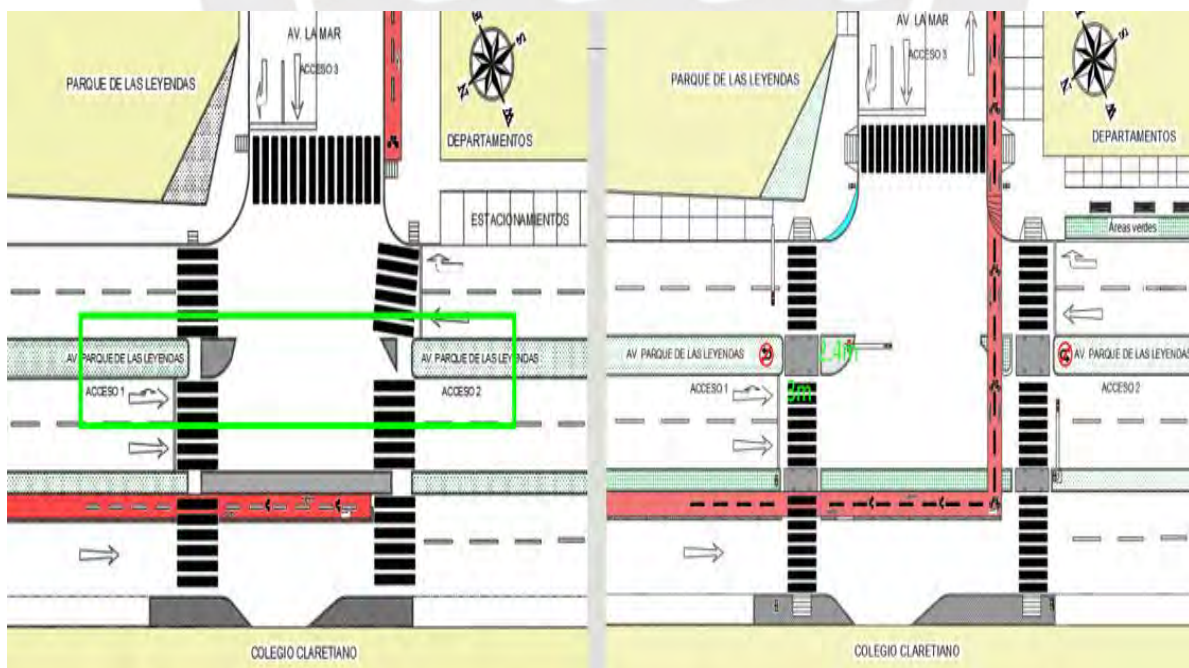
Fuente: Elaboración propia

5.2.8. Islas peatonales

Se propone rediseñar la isla peatonal que se desarrolla en la av. Parque de las Leyendas, pues actualmente se encuentra mal ubicada en la intersección y posee un espacio de refugio de 1.5 metros, como se ve en la Figura 5.10 (izquierda), lo que hace que la isla peatonal sea ineficiente. Por ello, se plantea retroceder el tramo de la isla peatonal del acceso 2 para que quede al nivel de las rampas y los cruceros peatonales, además se debe mantener el ancho de estos últimos, es decir, 3 metros. Por otra parte, se propone mantener la profundidad de 2.4 metros de la isla peatonal y añadir dos bolardos en los lados colindantes a los cruceros peatonales. Las dimensiones de estos serán de 1.2 metros de altura espaciados 1.5 metros y se colocarán con la finalidad de aumentar la percepción de seguridad del peatón. Por último, se propone añadir islas de seguridad en los espacios donde se separa la vía principal de la secundaria y por los que antes solo presentaba acera sin protección.

Figura 5.10

Islas peatonales actuales (lado izquierdo) y propuesta de rediseño (lado derecho)



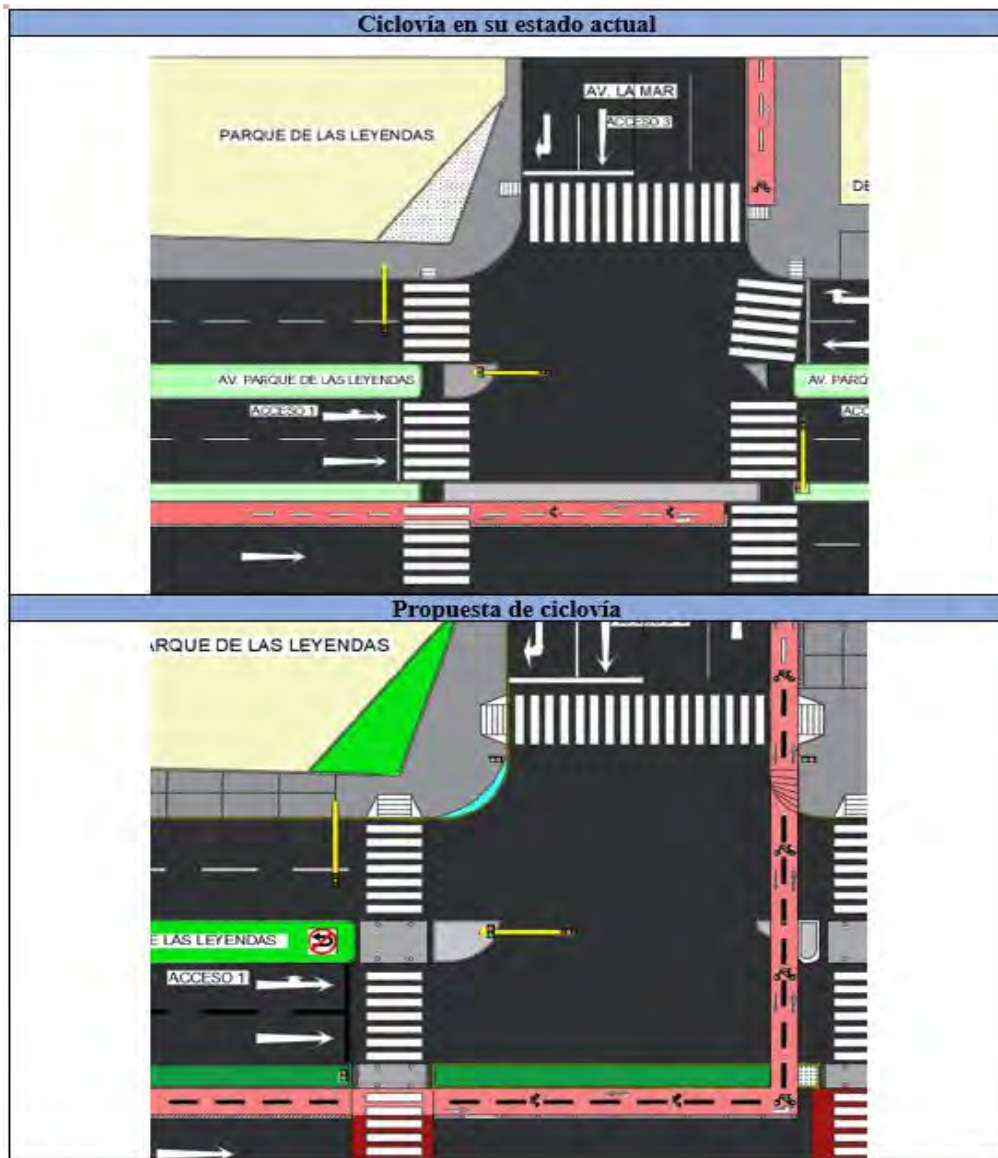
Fuente: Elaboración propia

5.2.9. Ciclovía

Uno de los aspectos más relevantes a señalar es el diseño actual de la ciclovía, pues la cantidad de ciclistas que se contabilizó en 1 hora (204 usuarios) es casi la misma que la cantidad de peatones que cruzan por el acceso 2 (212 personas), ver Figura 4.4.; ello señala su alta demanda y por ende su importancia. Actualmente la ciclovía proveniente del acceso 3 conecta con la ciclovía del acceso 1; sin embargo, su conexión atraviesa el cruceo peatonal, lo cual involucra que el peatón y el ciclista compartan el mismo espacio, por ende, termina afectando la seguridad de ambos usuarios. En este sentido, la propuesta busca, en primer lugar, garantizar la seguridad del peatón, por ello se propone separar la ciclovía del espacio del cruceo peatonal. Además, se sugiere prolongar la ciclovía del acceso 3 por la intersección hasta llegar a la vía auxiliar, para ello se necesita colocar una rampa en la curva correspondiente para el cambio de nivel y se atravesará la isla peatonal del acceso 2. En segundo lugar, se busca brindar seguridad a la ciclovía y a los peatones delimitando con bolardos su límite con la acera peatonal. Los cambios se presentan en la Figura 5.11.

Figura 5.11

Ciclovía antes y después de la propuesta de mejora



Fuente: Elaboración propia

5.2.10. Eliminación de estacionamientos

Actualmente, la intersección presenta un área considerable de estacionamientos ubicada en la parte sur de la av. Parque de las Leyendas, como se ve en la Figura 5.12. Asimismo, la imagen refleja que el espacio de acera destinado para el peatón es mínimo comparado con el espacio destinado para el automóvil, lo cual promueve el uso del automóvil e incrementa la congestión

de la intersección. Como consecuencia del poco espacio en la acera se genera poca atracción para el tránsito peatonal.

Figura 5.12

Estacionamientos ubicados en la zona sur de la avenida Parque de las Leyendas

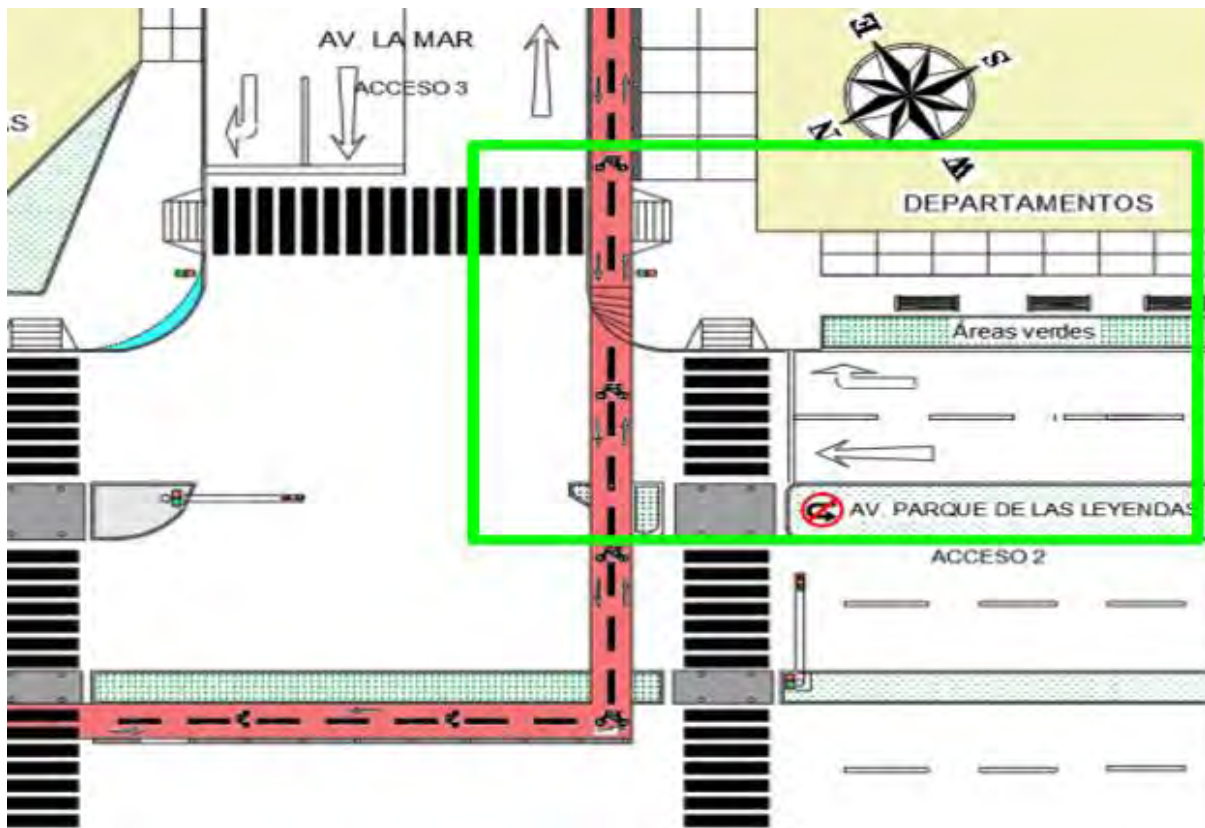


Fuente: Google Earth

Ante las problemáticas mencionadas en el párrafo anterior, se propone la siguiente solución: con la finalidad de promover la caminata y evitar el uso del automóvil, se sugiere eliminar el espacio de estacionamiento y en su lugar se propone extender la acera peatonal, de tal manera que se pase a tener una acera de 2.5 metros a una de 10 metros de ancho; con este ensanchamiento, se propone a colocar elementos que promuevan el uso de dicha acera, tales como banquetas para tres personas, áreas verdes, juegos para niños e iluminación; todo ello con el fin de promover el tránsito peatonal mediante un aspecto de calle de tipo boulevard. La Figura 5.13 representa en el plano los cambios mencionados.

Figura 5.13

Propuesta de mejora tipo boulevard en lugar de los estacionamientos



Fuente: Elaboración propia

5.2.11. Semaforización

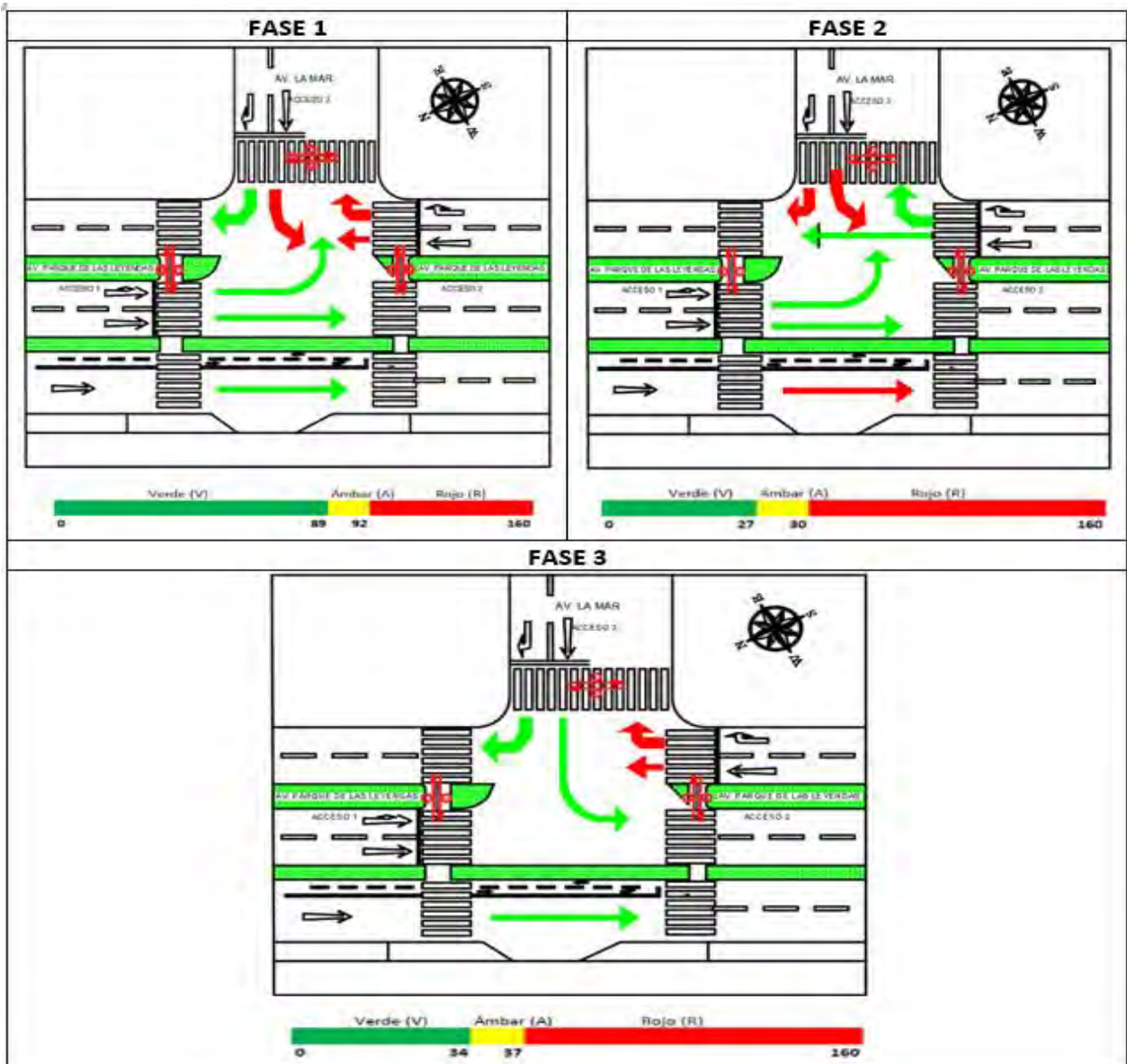
La semaforización es uno de las principales causales de desorden y congestión en la intersección, por ello se buscó equilibrar tiempos de verde, para los 3 accesos, y sobre todo conjugarlos con los semáforos peatonales para que los usuarios más vulnerables puedan cruzar con mayor seguridad. Primero es necesario conocer el estado actual de la semaforización, ello será expuesto en la Figura 5.14. y 5.15.

Como se visualiza, existen tiempos de espera exageradamente grandes para los accesos 2 y 3, 130 y 123 segundos respectivamente, concentrándose gran parte de la congestión precisamente en el acceso 3 (Av. La mar). Asimismo, esta desproporcionada distribución semafórica afecta

la semaforización peatonal, puesto que el tiempo de verde peatonal se limita a 22 segundos y provoca que los peatones busquen maniobras de cruce cuando disminuye el flujo vehicular y no cuando su propio semáforo lo indica, arriesgando su integridad.

Figura 5.14

Semaforización vehicular actual en 3 fases



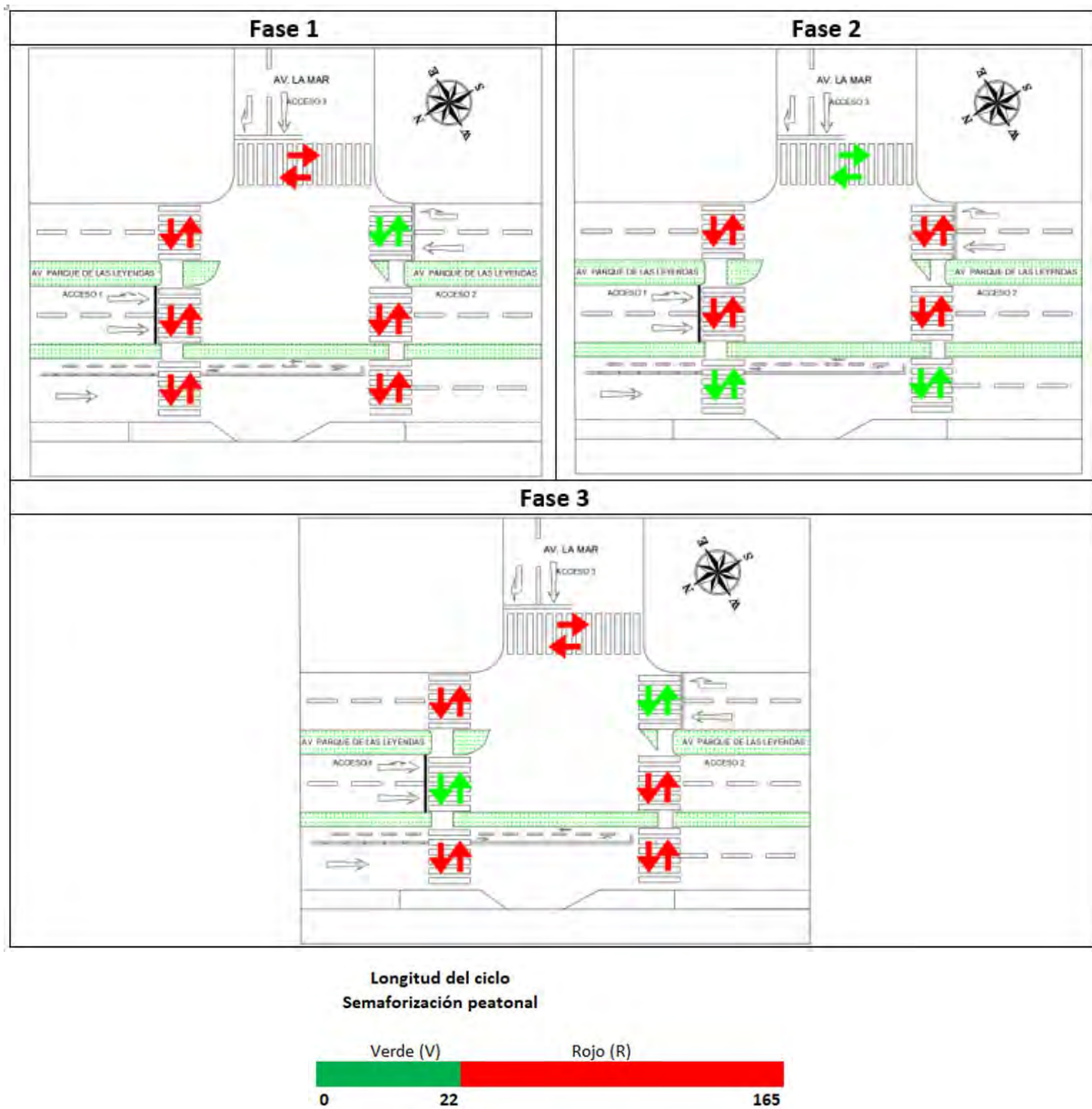
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, como se observa en la Figura 5.15, el tiempo de verde para los peatones es casi 8 veces menor que su tiempo de rojo. Sin embargo, por observación propia se ha visto que los semáforos peatonales son prácticamente ignorados por los peatones, pues estos cruzan en el

instante en que no hay demanda vehicular. Esta situación pone en riesgo la seguridad de los peatones y prácticamente restringe el desplazamiento de personas con discapacidad.

Figura 5.15.

Semaforización peatonal durante las 3 fases



Fuente: Elaboración propia

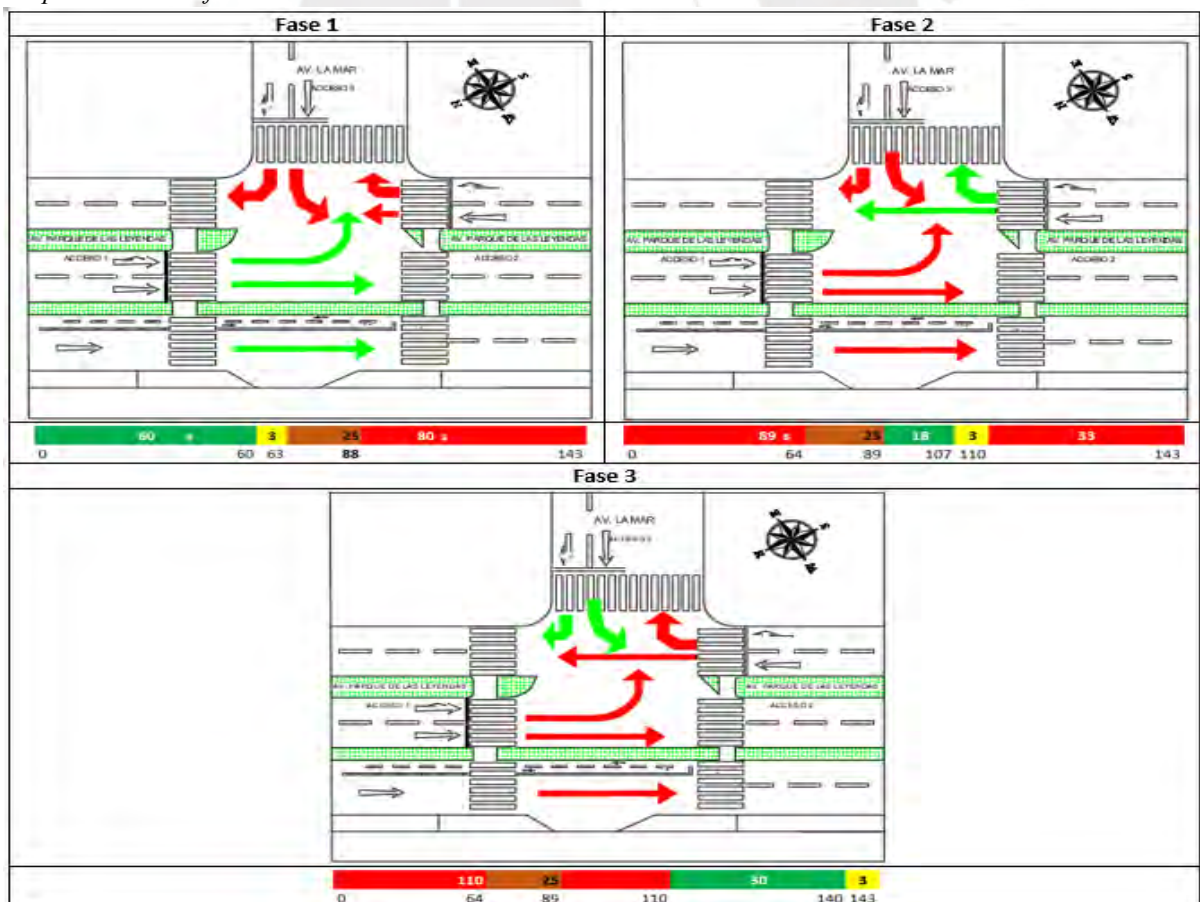
En consecuencia, la propuesta semafórica está organizada en 3 fases, la primera fase corresponde al desplazamiento recto y giro a la izquierda del acceso 1 (av. Parque de las

Leyendas-norte). La segunda fase corresponde al desplazamiento recto y giro a la derecha de los vehículos provenientes del acceso 2 (av. Parque de las Leyendas-sur). Por último, la tercera fase corresponde a los vehículos provenientes del Acceso 3 (av. La Mar) e involucra de manera conjunta en la fase el giro a la izquierda y giro a la derecha. En este ciclo total ya se incluye el giro a la izquierda más crítico (del acceso 1), 3 tiempos de ámbar y el periodo de todo rojo, pues el fin es que no queden vehículos dentro de la intersección cuando los peatones deseen cruzar. Por último, se conjugaron los tiempos semafóricos de los peatones para que puedan cruzar con un tiempo prudente y de forma segura.

Estos cambios se aprecian en el esquema de distribución de tiempos propuesto en la Figura 5.16., que además incluye el tiempo semafórico peatonal exclusivo de 25 segundos.

Figura 5.16.

Propuesta de semaforización vehicular



Fuente: Elaboración propia

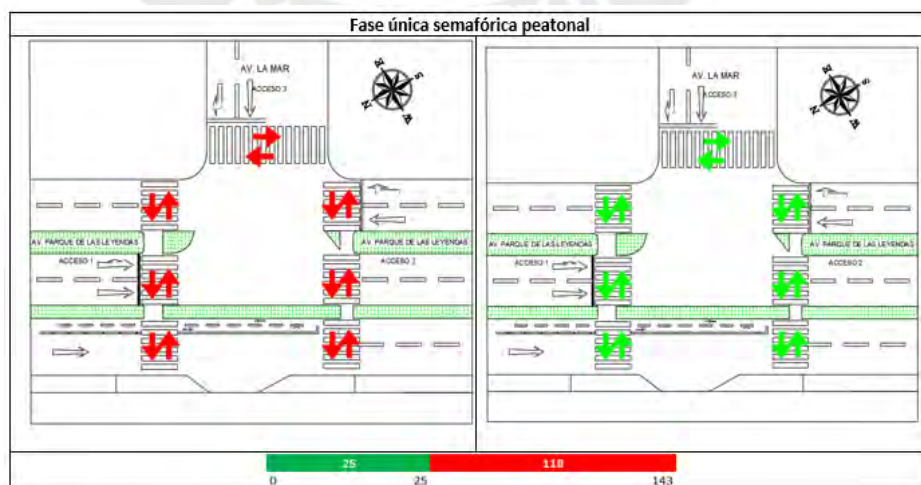
Inclusión del verde peatonal

Como se observa en la Figura 5.16., existe un tiempo intermedio de 25 segundos. Dicho tiempo corresponde al verde peatonal, el cual no afecta el tiempo de espera del acceso 1, pues se incluye en su tiempo de rojo de 80 segundos. En el caso del acceso 2, los vehículos tienen que esperar 25 segundos más, comenzando ya no en el segundo 64, sino en el 89, pero mantienen su verde efectivo de 21 segundos. El más perjudicado es el acceso 3 pues pasa a esperar de 89 segundos a 110 segundos; sin embargo, el verde efectivo otorgado es prácticamente igual al verde efectivo de la situación actual (33 segundos a 37 segundos respectivamente) y como beneficio reducen 13 segundos en su tiempo de espera.

En conclusión, la propuesta presenta la adición de un tiempo exclusivo de 25 segundos en la longitud del ciclo semafórico. En dicho lapso el peatón y el ciclista puede realizar cualquier desplazamiento por los cruces, asimismo, reducen su tiempo de espera y pueden desplazarse igualmente cuando se detienen los flujos, pues todas las islas están acondicionadas para brindar seguridad a los usuarios. El detalle de esta sub fase de la semaforización se observa en la Figura 5.17.

Figura 5.17

Propuesta de semaforización peatonal



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE RESULTADOS CON LAS PROPUESTAS DE MEJORA

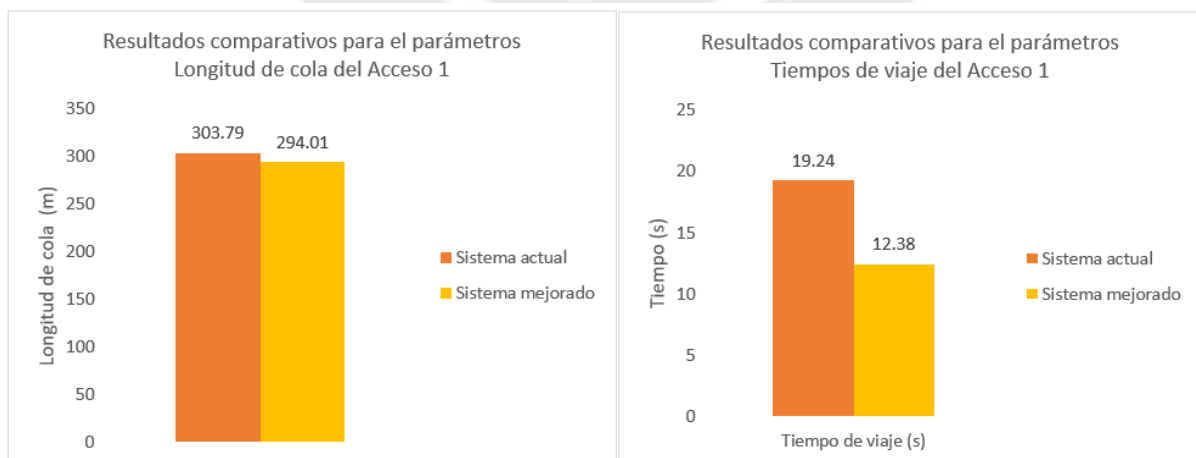
En este capítulo se evalúa de forma comparativa los resultados obtenidos del modelo de simulación actual con el modelo que incluye las propuestas de mejora. Para ello, se usarán los parámetros de tiempo de viaje, longitud de cola y longitud de cola máxima, así como gráficos que faciliten la comprensión de los resultados. También se evalúa el desempeño de los cruces peatonales para finalmente mostrar de manera gráfica las mejoras de la propuesta final.

6.1. Evaluación vehicular del Acceso 1

Correspondiente a la zona norte de la Av. Parque de las Leyendas, los principales aspectos a analizar fueron la reducción de la longitud de cola y reducción de tiempos de viaje (ver apartado 5.1.1.). En este acceso existe mayor congestión pues se encuentra contiguo a la entrada principal del parque de las leyendas y el acceso al colegio claretiano. Se tienen los siguientes resultados.

Figura 6.1

Resultados comparativos de los parámetros escogidos entre la situación actual y la situación mejorada del acceso 1

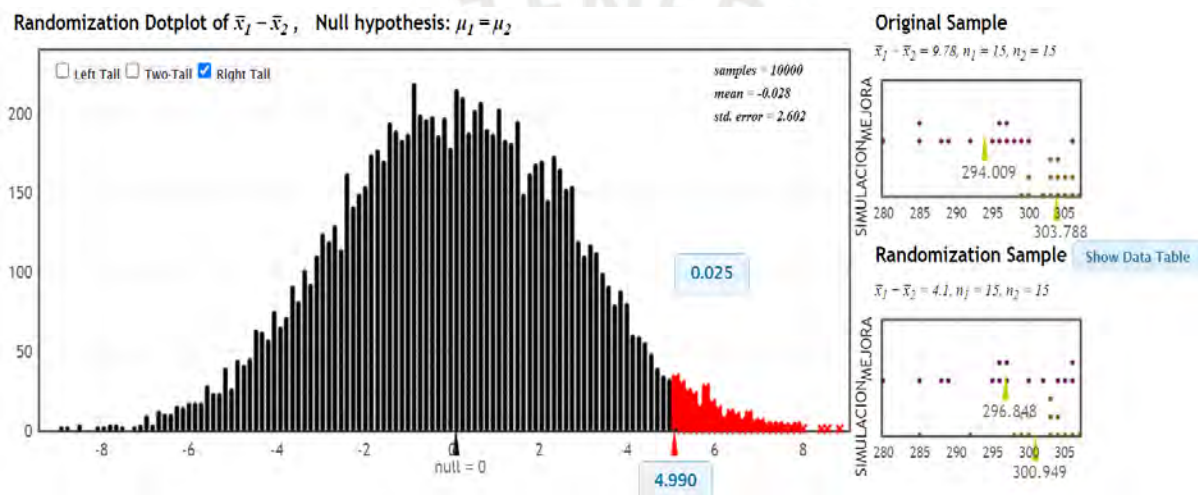


Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, se observa que la longitud de cola en el sistema con las mejoras es ligeramente menor que la que pertenece al sistema actual. Sin embargo, debido a la cercanía de estos valores, se utilizó la herramienta *randomization test* para determinar si efectivamente la longitud de cola es menor en la propuesta de mejora. La hipótesis nula es que las medias son iguales. Como se observa en la Figura 6.2. Existe una diferencia de medias de 9.78, con lo cual la hipótesis nula queda refutada, puesto que el límite de aceptación de la curva es de 4.99.

Figura 6.2

Uso de la herramienta *Randomization test* para determinar si el parámetro longitud de cola es menor.

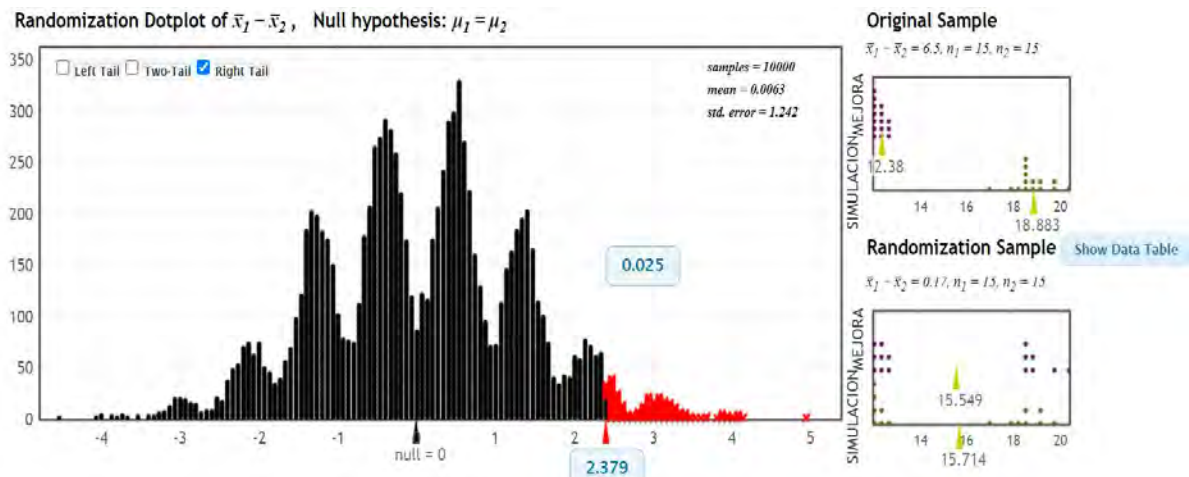


Fuente: Elaboración propia

En segundo lugar, se observa en la Figura 6.1 que con las mejoras se redujo el tiempo de viaje de 19.24 segundos a 12.38 segundos, lo cual representa una reducción del 35.7%. De igual forma, para afirmar con seguridad que hubo una reducción considerable se utilizó la herramienta *randomization test* con una confiabilidad del 95% y una hipótesis nula de medias iguales. De estos se obtuvo un límite superior de aceptación de 2.38 y puesto que la diferencia de medias es de 6.86, se puede decir que el tiempo de viaje efectivamente se reduce.

Figura 6.3

Uso de la herramienta Randomization test para determinar si el parámetro tiempo de viaje es menor.



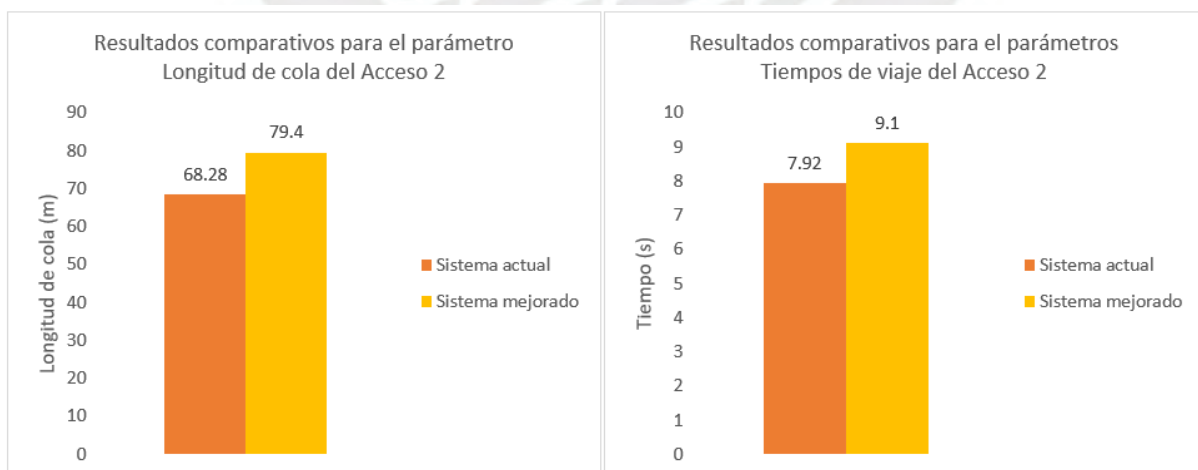
Fuente: Elaboración propia

6.2. Evaluación vehicular del Acceso 2

Correspondiente a la zona sur de la av. Parque de las Leyendas, en este acceso, como se menciona en el apartado 5.1.2., no existen problemas de congestión aparentes, por lo que el principal objetivo sería mantener los resultados de la situación actual. Se tienen los siguientes resultados.

Figura 6.4

Resultados comparativos de los parámetros escogidos entre la situación actual y la situación mejorada del acceso 2



Fuente: Elaboración propia

Se observa un aumento en los parámetros indicados. En el caso de la longitud de cola ocurre un aumento de 11.12 metros, lo que puede representarse en 2 vehículos. En cuanto al parámetro tiempo de viaje, es el correspondiente al tiempo que toma desplazarse del acceso 2 al acceso 1 y superarlo 50 metros; se observa que existe un aumento de 1.18 segundos ocasionado principalmente por la reducción de velocidad originada de la reducción del radio de giro entre los dos accesos.

6.3. Evaluación vehicular del Acceso 3

El caso del acceso 3 (Correspondiente a la av. La Mar) se analizó de manera diferente, pues en la situación actual este acceso posee 2 sub fases. Una de ellas corresponde solo giro hacia la derecha, y la segunda giro a la izquierda y la derecha simultáneamente. Ello genera que se generen longitudes de cola diferentes según el destino, una cola más larga para los vehículos que giran hacia la izquierda y una más corta para los vehículos que giran hacia la derecha, tal como se ve en la Figura 6.5.

Figura 6.5

Resultados de la situación actual para los giros a la izquierda y derecha del acceso 3

Acceso 3 (Giro a la izquierda)

Sistema	Parámetro	
	Longitud de cola (m)	Long. De cola máxima (m)
Sistema actual	167.96	229.05
Sistema mejorado	38.3	145.62

Acceso 3 (Giro a la derecha)

Sistema	Parámetro	
	Longitud de cola (m)	Long. De cola máxima (m)
Sistema actual	16.09	126.26
Sistema mejorado	30.88	150.38

Fuente: Elaboración propia

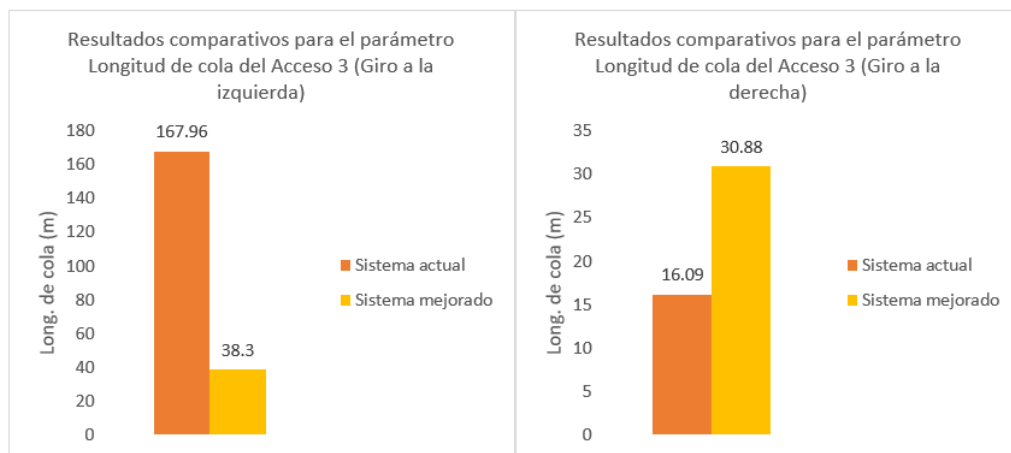
En este sentido, como se explica en el apartado 5.2.5. al modificar la semaforización para eliminar estas 2 sub fases y convertirla en una única, se logró reducir considerablemente la longitud de cola del acceso 3 con giro a la izquierda y se incrementó la longitud de cola del acceso 3 con giro a la derecha, tal como se muestra en la Figura 5.5. Ello quiere decir que se

ha compensado adecuadamente la semaforización equilibrando las longitudes de cola y al mismo tiempo se redujo la más drástica.

Lo mismo sucedió con el parámetro longitud de cola máxima, los resultados se muestran en la Figura 6.6.

Figura 6.6.

Resultados de la situación actual para los giros a la izquierda y derecha del acceso 3



Fuente: Elaboración propia

6.4. Evaluación de los cruces

Seguridad

Si bien no se cuenta con resultados cuantitativos en la evaluación de la circulación peatonal, casi la totalidad de las propuestas repercuten directamente sobre la mejora en los desplazamientos. Así, por ejemplo, para mejorar la seguridad se alinearon los cruces peatonales, se ampliaron los anchos de islas y se colocaron bolardos en estas para proteger a los peatones. Por otro lado, en el acceso 3, se encontraba la ciclo vía al mismo nivel de la vereda, por lo que se optó por separarlos con bolardos y barandas al lado de la pista para evitar que las personas utilicen la ciclo vía como paradero informal.

Agilización de desplazamientos

Como se mencionó en el apartado 5.2.5., se incluyó un tiempo de verde peatonal específico para que no existan conflictos entre los desplazamientos de los vehículos y peatones, por lo que, además de mejorar la seguridad de los desplazamientos, los usuarios pueden recorrer en menor tiempo la intersección.

Mejora del entorno

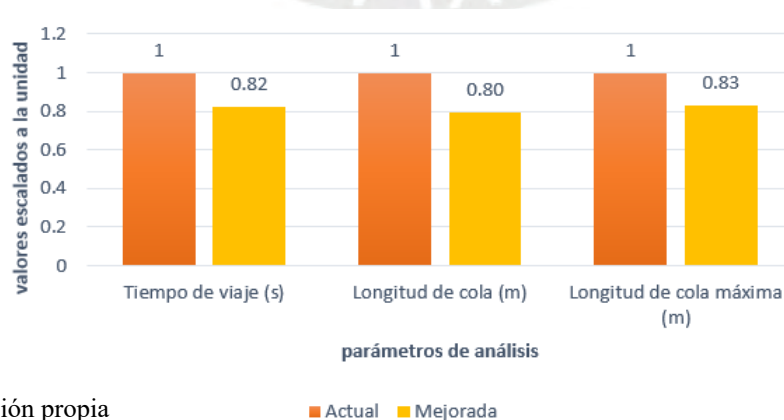
Parte de transformar la intersección en una que se base en movilidad sostenible, se refiere a la reducción de vehículos pues generan mayor contaminación y uso de recursos. En este sentido, una de las propuestas elimina los estacionamientos del Acceso 2, y coloca en su lugar un boulevard que incluye bancas, alumbrado público, zonas verdes, y elementos que motiven al usuario a utilizar el boulevard.

6.5. Comparativa final del sistema actual con el sistema propuesto

Para la comparativa final entre la situación actual y la propuesta de intersección con mejoras se presentan los siguientes resultados cuantificables, escalados a un valor unitario, para facilitar el reconocimiento de la mejora.

Figura 6.7.

Comparativa final de resultados escalados a la unidad



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo principal del trabajo fue proponer una alternativa sostenible en cuanto a la gestión del tránsito de los vehículos y de los peatones. Ello se cumplió pues las mejoras se basan en la preferencia de los usuarios no motorizados sobre los motorizados; como ejemplos principales están el mejoramiento de la ciclovía, la ampliación y reubicación de las islas peatonales y sobre todo la sustitución de los estacionamientos por un boulevard que motive a los transeúntes a circular por la intersección. En consecuencia, la propuesta motiva el uso de transporte no motorizado y la caminata, además de mejorar la intersección a nivel de diseño, estética y a nivel de accesibilidad.

Determinar correctamente las condiciones actuales de circulación es la base para proponer propuestas accesibles que se adecúen a lo que realmente necesita la intersección. Es gracias a esta data que se pueden realizar comparaciones en los resultados con las propuestas de mejora. Para ello, se realizaron dos visitas adicionales a campo a fin de corroborar la primera información. En el caso del presente trabajo se le dio mucha importancia y se le dedicó hasta dos semanas de visitas a campo, por lo que se puede afirmar que se cumplió con el primer objetivo específico.

A partir de los resultados obtenidos en VISSIM con las propuestas de mejora, se afirma que se mejoraron las condiciones de circulación vehicular, principalmente provocado por el reajuste de los tiempos semafóricos. Esta afirmación se basa en la comparación de los resultados obtenidos de la propuesta de mejora y la situación actual, los cuales mostraron disminuciones de hasta un 18% en los tiempos de viaje y reducciones del 20 % en la longitud de cola. Asimismo, se analizaron parámetros no cuantificables como la seguridad peatonal y los desplazamientos peatonales, los cuales se vieron mejorados por la inclusión de un tiempo de

verde peatonal exclusivo, así como la modificación de la infraestructura peatonal de la intersección (ensanchamiento de aceras, ampliación de rampas y rediseño de islas peatonales).

Por último, si bien las propuestas basadas en sostenibilidad y accesibilidad no tienen resultados cuantificables para este trabajo, se puede afirmar que se mejoran los desplazamientos peatonales en dos sentidos. Primero, el aspecto de la seguridad, pues las propuestas basadas en accesibilidad buscan la incorporación y seguridad de los usuarios más vulnerables, por ejemplo: los alumnos del colegio Claretiano, las personas mayores que circulan hacia el parque de las leyendas y los ciclistas. Para ello se propuso tiempos semafóricos exclusivos para los peatones, seguridad en las islas peatonales mediante un rediseño vial y colocación de bolardos, cruceros elevados colindantes a la entrada del colegio, ensanchamiento de aceras que permiten el adelantamiento de dos sillas de ruedas y prolongación de la ciclovía. Segundo, la confortabilidad, pues mientras más comfortable sea el tránsito para el usuario, se verá más incentivado para circular por la intersección, en este sentido la propuesta sostenible se basó en la eliminación de los estacionamientos y creación de un boulevard con áreas verdes y de recreación. Debido a estos cambios se puede decir que se cumplió con el tercer objetivo.

Recomendaciones

Para el desarrollo de trabajos de esta naturaleza es importante reducir la mayor cantidad de fuentes de error, por ello se proponen las siguientes recomendaciones.

Las visitas a campo deben ser preparadas con premura, es decir, se deben estimar los días de máxima demanda para que cuando se realice la toma de datos se cuenta con información lo más representativa posible. Asimismo, esta toma de datos debe realizarse por lo menos en dos oportunidades de una misma semana y evitar días feriados y fines de semana. Por otro lado, se debe verificar que en la zona estudio no se lleven a cabo trabajos de mantenimiento de aceras,

pistas y veredas, pues estos afectan directamente en la circulación de los usuarios de la intersección y por ende en la toma de datos.

Por otro lado, es muy importante tener las medidas correctas de los componentes principales de la intersección; sin embargo, no resulta eficiente medir cada longitud de cada elemento de la intersección. En cambio, es recomendable realizar la medición transversal de una calle, la más grande posible, para luego escalarla con herramientas virtuales como “Google Earth”. En este sentido, mientras más grande sea la longitud medida (>20 metros) más exacta resultará el escalamiento en el software VISSIM.

El desarrollo del modelo de microsimulación es la parte más importante del trabajo, pues se define el nivel de detalle que se pretende otorgar al modelo. Por ejemplo, se pueden crear vehículos y transeúntes no predeterminados y definir sus respectivas velocidades. Además, se recomienda una constante revisión del trabajo para que los resultados sean lo más precisos posibles. Por último, es recomendable la creación de un registro ordenado de la data correspondiente a los parámetros analizados por acceso. Ello permitirá la rápida obtención de la información estadística y su posterior comparación.

CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA

Agudelo, J. (2002). *Diseño geométrico de vías*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, Especialización vías y transporte. Medellín, Colombia.

Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) (2005). Plan maestro de transporte urbano para el área metropolitana de Lima y Callao en la República del Perú. (2005). Lima, Perú.

Borja, J., Muxi Z. (2003). *El Espacio Público, Ciudad y Ciudadanía*. Barcelona, España.

Cabrera, F. (2015). *Material escrito del curso virtual Ingeniería de Tráfico*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Chain, D. (2015). *Manual de diseño urbano*. Buenos Aires, Argentina.

Coeymans, J. E. (1976). *Traffic Management Definition. Description and Relevance to Chile*, M. Sc. Dissertation, Department of Civil Engineering Southampton University.

Dextre, J, C. (2010). *Seguridad Vial. La necesidad de un nuevo marco teórico*. Lima, Perú.

Dextre, J. C. (2014). *Movilidad en zonas urbanas*. Fundación Transitemos. Lima, Perú.

Fellendorf, M., Vortisch, P. (2010). *Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM*. Nueva York, Estados Unidos.

Fernández, R. (2010). *Apuntes de Gestión de Tránsito*. Santiago de Chile. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas.

Fernández, R (2014). *Temas de Ingeniería y Gestión del tránsito*. Santiago de Chile. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Great Streets for Los Angeles (2016). *Complete Streets Design Guide*. City of Los Angeles, Estados Unidos.

Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018

Hurtado, D (2016). *Manual de Diseño de Calles Activas y Caminables*. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Arquitecturas y Urbanismo. Quito, Ecuador.

Huerta, J (2016). *Discapacidad y Diseño Accesible*. Diseño Urbano y Arquitectónico para Personas con Discapacidad. Lima, Perú.

Instituto Nacional de Vías (2020). *Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles*. Universidad del Cauca. Colombia.

Manrique, W. (2017). *Estudio de tráfico y tendencias de movilidad urbana en Lima*. Recuperado el 17 de febrero de 2022 de <http://willardmanrique.pe/wp-content/uploads/2021/02/Estudio-de-Trafico-y-Tendencias-de-Movilidad-Urbana-2018.pdf>

Ministerio de trabajo, migraciones y seguridad social (2020). *Manual de Seguridad Vial. Guía de recomendaciones preventivas*. Gobierno de España.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2018). *Manual de carreteras: Diseño Geométrico 2018*. Lima, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000). *Manual de dispositivos de control del tránsito automotor en calles y carreteras*. Lima, Perú.

Montoya, G. (2005). *Apuntes de Ingeniería de Tránsito*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

National Association of City Transportation Officials (2016). *Global Street Design Guide*. Nueva York, Estados Unidos.

National Association of City Transportation Officials (2012). *Urban Street Design Guide*. Nueva York, Estados Unidos.

Política Nacional de Transporte Urbano. (2019). *Decreto Supremo que aprueba la política nacional de transporte urbano*. MTC.

Reyes, R. C. M. y Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones* (9na ed.). Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V., México.

Sanz, A. (1997). *Movilidad y accesibilidad: un escollo para la sostenibilidad urbana*. Biblioteca CF+S: Ciudades para un futuro sostenible. Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio, E.T.S. de Arquitectura de Madrid-Ministerio de Vivienda. Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/cs/p3/a013.html>

Sanz, A. (1998). *Calmar el Tráfico* (2da ed.). Madrid, España.

Secretaría de comunicaciones y transporte (1991). *Manual de Capacidad Vial*. 1era edición. Coyoacán, México, D.F.

Secretaría de comunicaciones y transportes (2014). *Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad*. (6ta ed.). México, D.F.

TomTom Traffic Index (s.f). *Lima Traffic Report*. Recuperado el 17 de febrero de 2022, de https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/lima-traffic/

Transportation Research Board (2010). *Highway Capacity Manual*. National Research Council, Washington, D.C.


Valencia, V. (2000). *Principios sobre semáforos*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad Nacional de Minas.

Yasar, M., Rashid M.D. (2015). *Implementation of Dynamic Traffic Light Controllers Using Artificial Neural Networks to Diminish Traffic Ordeals*. Madrid, España.

Anexos

Anexo 1. Tablas de resultados de los parámetros con las mejoras incluidas en el modelo.

Tabla A.1. Resultados de los tiempos de viaje para el Acceso 1

SIMULACION	INTERVALO DE SIMULACION	DEL ACCESO 1 AL ACCESO 	CANTIDAS DE VEHICULOS	TIEMPO DE VIAJE (seg)
1	600-4200	3	138	15.49
2	600-4200	3	132	15.38
3	600-4200	3	133	15.42
4	600-4200	3	121	14.54
5	600-4200	3	125	16.42
6	600-4200	3	130	17.53
7	600-4200	3	120	16.56
8	600-4200	3	130	17.52
9	600-4200	3	137	13.41
10	600-4200	3	151	18.21
11	600-4200	3	116	16.45
12	600-4200	3	141	16.15
13	600-4200	3	110	14.98
14	600-4200	3	130	16.34
15	600-4200	3	110	20.61
AVG	600-4200	3	128	16.33
STDDEV	600-4200	3	11	1.71
MIN	600-4200	3	110	13.41
MAX	600-4200	3	151	20.61

Fuente: Elaboración propia

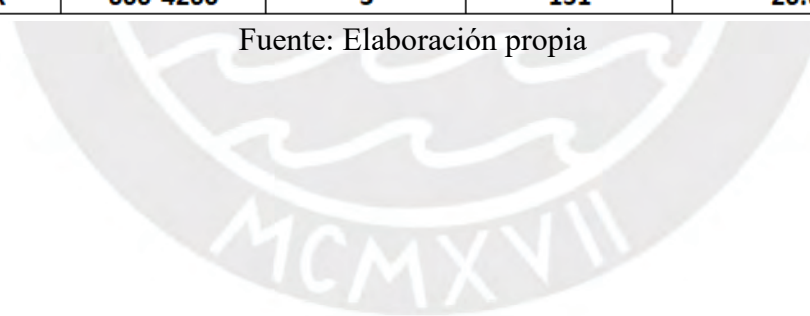


Tabla A.2. Resultados de los tiempos de viaje para el Acceso 2

SIMULACION	INTERVALO DE SIMULACION	DEL ACCESO 2 AL ACCESO 1	CANTIDAS DE VEHICULOS	TIEMPO DE VIAJE (seg)
1	600-4200	1	127	9.12
2	600-4200	1	134	9.2
3	600-4200	1	152	9.02
4	600-4200	1	142	8.76
5	600-4200	1	148	8.69
6	600-4200	1	114	9.6
7	600-4200	1	129	8.8
8	600-4200	1	125	9.56
9	600-4200	1	128	9.32
10	600-4200	1	155	9.01
11	600-4200	1	127	8.85
12	600-4200	1	122	9.16
13	600-4200	1	111	9.63
14	600-4200	1	134	8.81
15	600-4200	1	136	9.03
AVG	600-4200	1	132	9.1
STDDEV	600-4200	1	13	0.31
MIN	600-4200	1	111	8.69
MAX	600-4200	1	155	9.63

Fuente: Elaboración propia

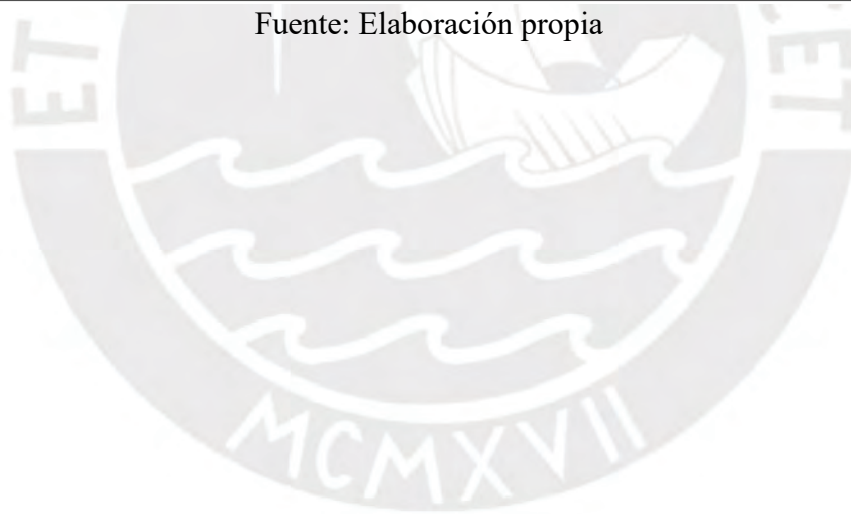


Tabla A.3. Resultados de los tiempos de viaje para el Acceso 3

SIMULACION	INTERVALO DE SIMULACION	DEL ACCESO 1 AL ACCESO 3	CANTIDAD DE VEHICULOS	TIEMPO DE VIAJE (seg)
1	600-4200	2	360	12.02
2	600-4200	2	374	12.4
3	600-4200	2	375	12.19
4	600-4200	2	400	12.3
5	600-4200	2	357	12.17
6	600-4200	2	355	12.67
7	600-4200	2	370	12.05
8	600-4200	2	371	12.25
9	600-4200	2	393	12.34
10	600-4200	2	358	12.81
11	600-4200	2	393	12.79
12	600-4200	2	379	12.4
13	600-4200	2	390	12.61
14	600-4200	2	368	12.08
15	600-4200	2	379	12.62
AVG	600-4200	2	375	12.38
STDDEV	600-4200	2	14	0.26
MIN	600-4200	2	355	12.02
MAX	600-4200	2	400	12.81

Fuente: Elaboración propia

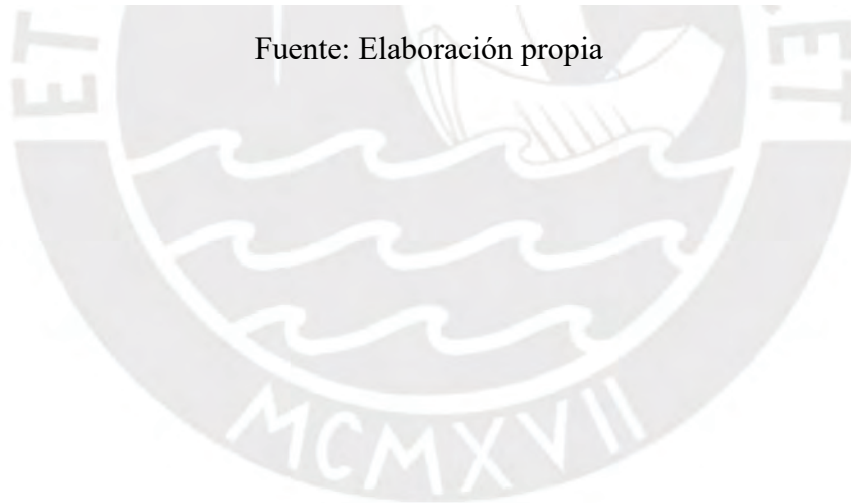


Tabla A.4. Resultados de longitud de cola y longitud de cola máxima para el Acceso 1

SIMULACION	INTERVALO DE SIMULACION	LONGITUD DE COLA	LONGITUD DE COLA MAXIMA
1	600-4200	295.61	317.85
2	600-4200	297.76	317.85
3	600-4200	297.85	317.84
4	600-4200	296.85	317.85
5	600-4200	292.49	317.84
6	600-4200	285.61	317.85
7	600-4200	306.1	317.83
8	600-4200	299.5	317.82
9	600-4200	288.54	317.84
10	600-4200	298.61	317.84
11	600-4200	300.9	317.84
12	600-4200	285.35	317.78
13	600-4200	289.11	317.79
14	600-4200	279.87	317.84
15	600-4200	295.99	317.83
AVG	600-4200	294.01	317.83
STDDEV	600-4200	7.02	0.02
MIN	600-4200	279.87	317.78
MAX	600-4200	306.1	317.85

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.5. Resultados de longitud de cola y longitud de cola máxima para el Acceso 2

SIMULACION	INTERVALO DE SIMULACION	LONGITUD DE COLA	LONGITUD DE COLA MAXIMA
1	600-4200	77.17	97.44
2	600-4200	83.07	97.45
3	600-4200	75.33	97.44
4	600-4200	88.62	97.45
5	600-4200	90.38	97.45
6	600-4200	81.29	97.44
7	600-4200	55.57	97.44
8	600-4200	93.48	97.45
9	600-4200	81.68	97.45
10	600-4200	77.97	97.45
11	600-4200	80.84	97.43
12	600-4200	87.87	97.44
13	600-4200	85.18	97.45
14	600-4200	73.79	97.44
15	600-4200	58.7	97.45
AVG	600-4200	79.4	97.44
STDDEV	600-4200	10.64	0.01
MIN	600-4200	55.57	97.43
MAX	600-4200	93.48	97.45

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.6. Resultados de longitud de cola y longitud de cola máxima para el Acceso 3 (Giro a la izquierda)

SIMULACION	INTERVALO DE SIMULACION	LONGITUD DE COLA	LONGITUD DE COLA MAXIMA
1	600-4200	25.6	112.17
2	600-4200	22.96	91.16
3	600-4200	32.31	137.17
4	600-4200	25.57	121.25
5	600-4200	26.13	110.73
6	600-4200	35.41	142.14
7	600-4200	40.62	149.52
8	600-4200	27.58	96.83
9	600-4200	64.18	204.14
10	600-4200	25.96	99.78
11	600-4200	29.13	114.25
12	600-4200	24.34	115.42
13	600-4200	80.5	229.91
14	600-4200	70.64	230.02
15	600-4200	43.64	229.87
AVG	600-4200	38.3	145.62
STDDEV	600-4200	18.57	51.5
MIN	600-4200	22.96	91.16
MAX	600-4200	80.5	230.02

Fuente: Elaboración propia



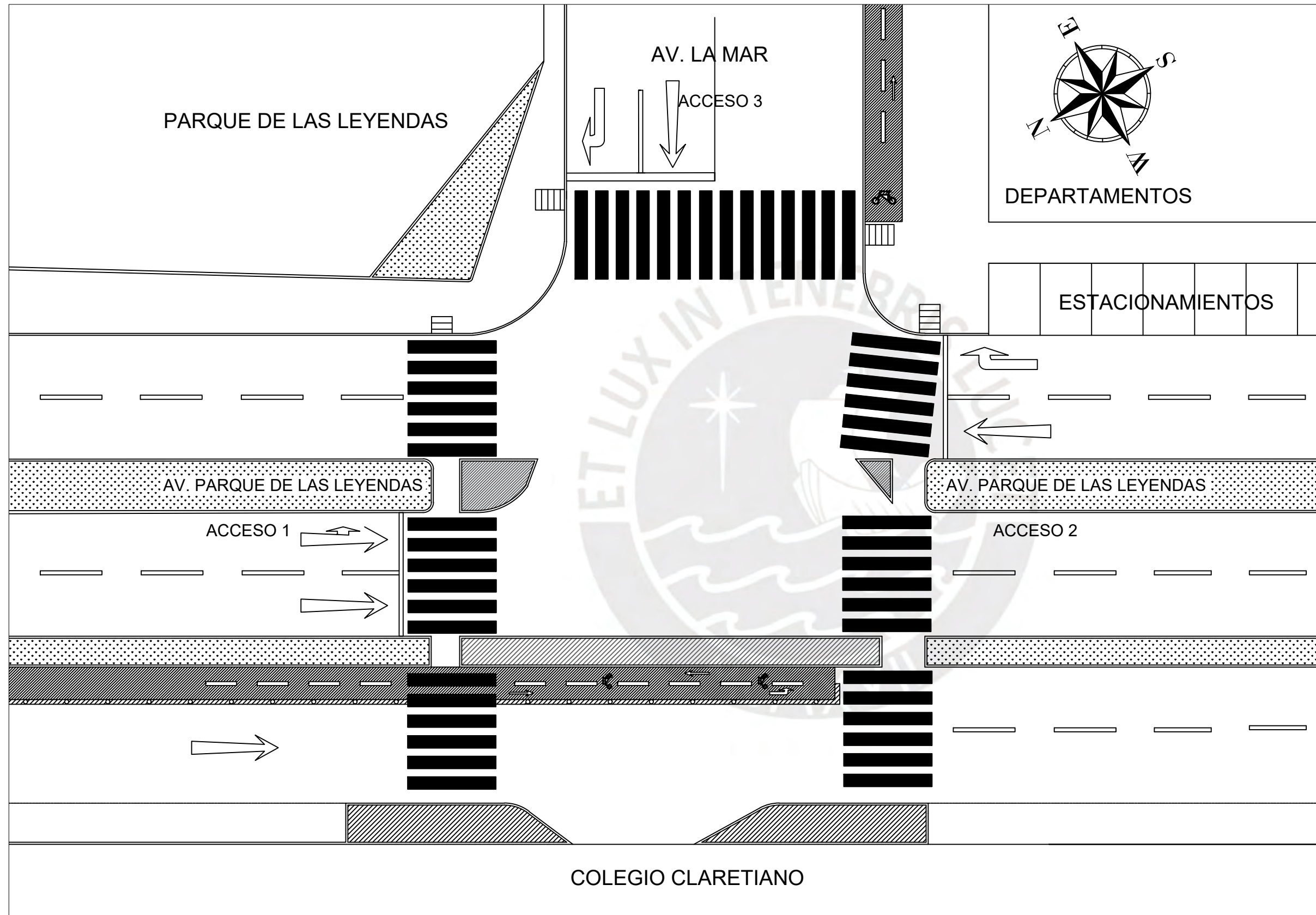
Tabla A.7. Resultados de longitud de cola y longitud de cola máxima para el Acceso 3 (Giro a la derecha)

SIMULACION	INTERVALO DE SIMULACION	LONGITUD DE COLA	LONGITUD DE COLA MAXIMA
1	600-4200	29.45	156.02
2	600-4200	29.97	125.29
3	600-4200	32.05	135.1
4	600-4200	30.04	159.34
5	600-4200	26.75	124.47
6	600-4200	29.65	128.06
7	600-4200	30.17	169.51
8	600-4200	31.96	139.35
9	600-4200	33.71	175.32
10	600-4200	33.11	188.95
11	600-4200	31.22	139.24
12	600-4200	27.18	131.66
13	600-4200	28.39	144.6
14	600-4200	38.2	172.09
15	600-4200	31.35	166.63
AVG	600-4200	30.88	150.38
STDDEV	600-4200	2.83	20.68
MIN	600-4200	26.75	124.47
MAX	600-4200	38.2	188.95

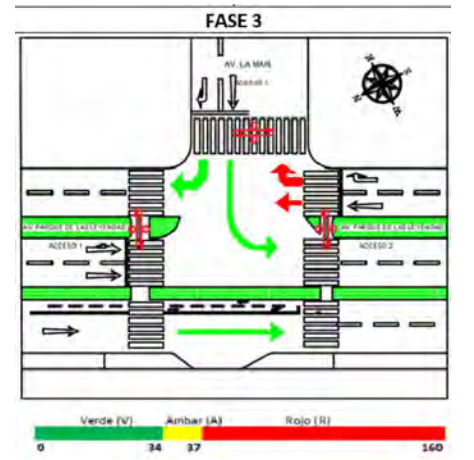
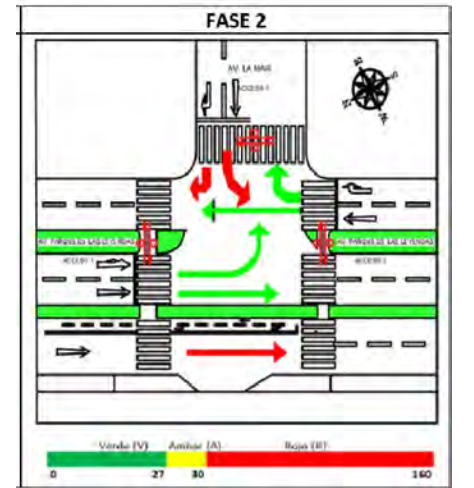
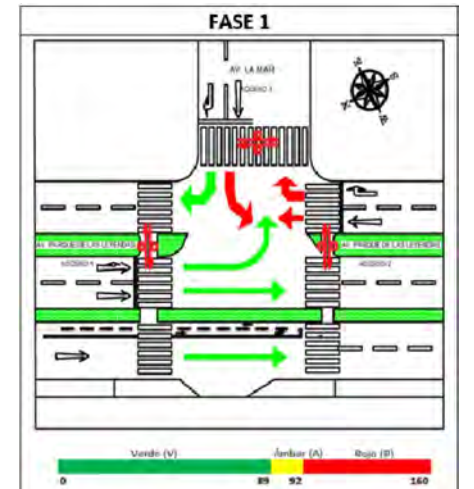
Fuente: Elaboración propia



Anexo 2. Plano del escenario actual de la intersección



FASES SEMAFÓRICAS VEHICULARES DEL ESCENARIO ACTUAL



SEMAFORIZACIÓN PEATONAL ACTUAL



PLANO :
ESCENARIO ACTUAL DE LA INTERSECCIÓN

UBICACIÓN:
INTERSECCIÓN DE LAS AVENIDAS PARQUE DE LAS LEYENDAS Y LA MAR

PROPIETARIOS:
MAURO FABRICIO CARRILLO FERNÁNDEZ
JOEL DAVID VELASQUEZ MACHACA

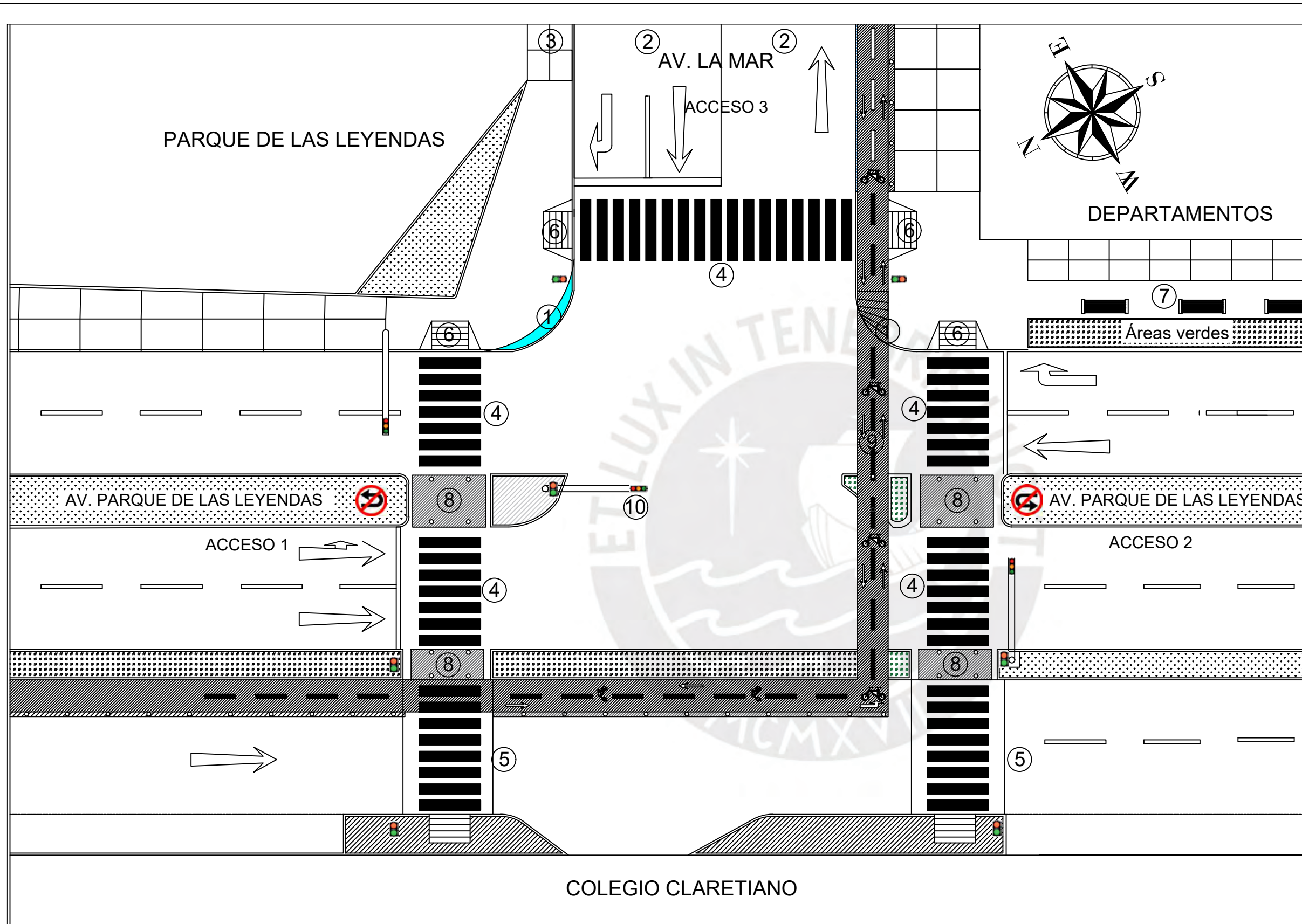
PROYECTO:
TRABAJO DE TESIS PARA LA PUCP

ESCALA :
1/250

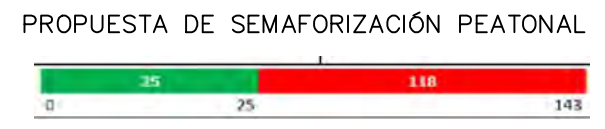
FECHA :
NOVIEMBRE 2022

U-01

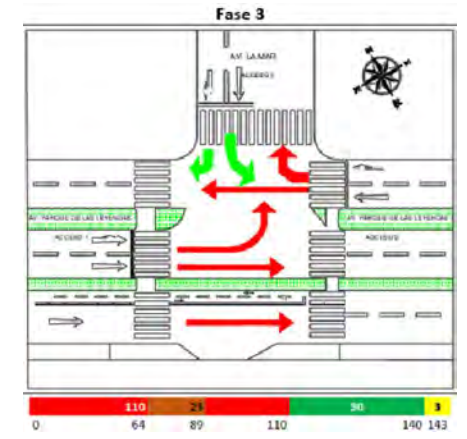
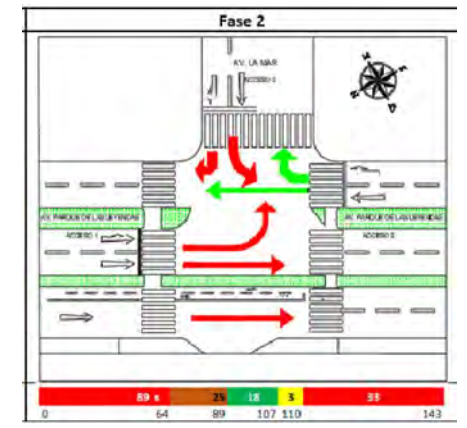
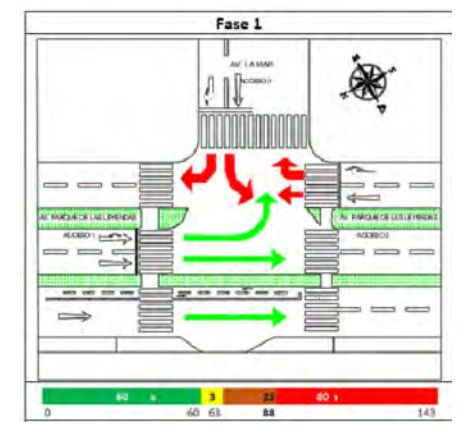
Anexo 3. Plano del escenario con las propuestas de mejora



CUADRO DE MEJORAS			
REDUCCIÓN EN LOS RADIOS DE GIRO	1	AMPLIACIÓN DE LAS RAMPAS	6
REDUCCIÓN DEL ANCHO DE LOS CARRILES	2	ELIMINACIÓN DE ESTACIONAMIENTOS Y CREACIÓN DE ÁREAS VERDES	7
ENSANCHAMIENTO DE LAS ACERAS	3	MEJORAS EN LAS ISLAS PEATONALES	8
REUBICACIÓN DE LOS CRUCEROS PEATONALES	4	PROLONGACIÓN DE LA CICLOVÍA	9
CRUCERO PEATONAL ELEVADO (AV. AUXILIAR)	5	SEMAFORIZACIÓN	10



FASES SEMAFÓRICAS VEHICULARES DEL ESCENARIO MEJORADO



PLANO :
ESCENARIO MEJORADO DE LA INTERSECCIÓN

UBICACIÓN:
INTERSECCIÓN DE LAS AVENIDAS PARQUE DE LAS LEYENDAS Y LA MAR

PROPIETARIOS:
MAURO FABRICIO CARRILLO FERNÁNDEZ
JOEL DAVID VELASQUEZ MACHACA

PROYECTO:
TRABAJO DE TESIS PARA LA PUCP

ESCALA :
1/250

FECHA :
NOVIEMBRE 2022

U-02