

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**IMPLEMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL SOSTENIBLE EN
ZONAS EXCLUIDAS DE LIMA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORA:

Irma Miluska Galvez Anaya

Carolina Narumi Quiroz La Torre

ASESOR:

Félix Israel Cabrera Vega

Lima, Junio, 2023

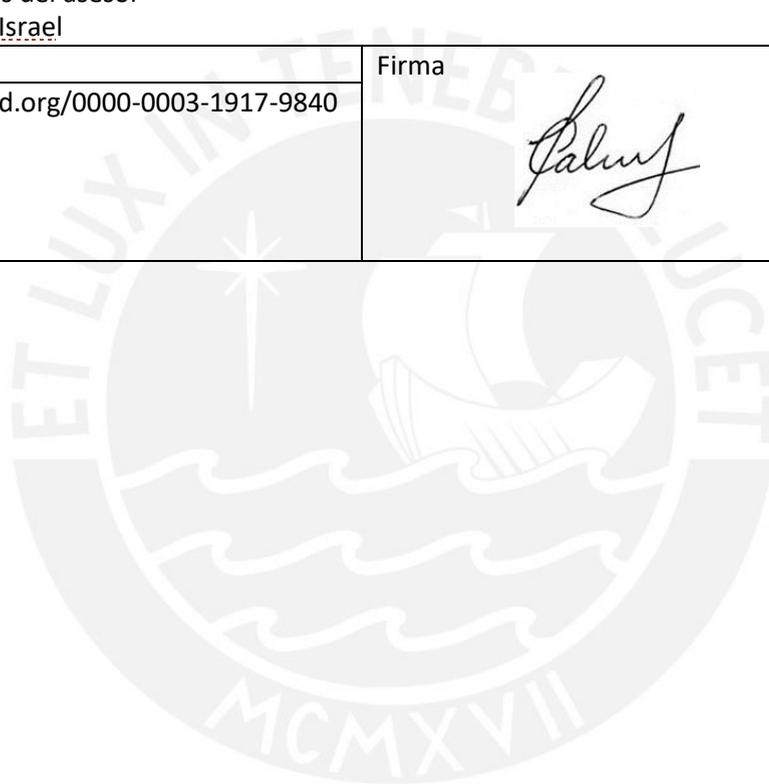
Informe de Similitud

Yo, Felix Cabrera Vega docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada "IMPLEMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL SOSTENIBLE EN LAS ZONAS EXCLUIDAS DE LIMA" de las autoras Carolina Narumi Quiroz La Torre e Irma Miluska Galvez Anaya, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 7 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 07/06/2023.
- 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, 07 de junio 2023

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



RESUMEN

El proyecto de ingeniería que se presenta a continuación se basa en el estudio de tráfico en la intersección de la avenida Túpac Amaru y la calle Miguel Grau. Esta intersección, ubicada en el distrito de Carabaylo, es un punto caótico debido al alto tránsito generado por el mercado mayorista El Progreso. El objetivo principal de este análisis es presentar un modelo óptimo que mejore las dificultades de circulación tanto de vehículos y peatones. Para lograr este fin, se siguieron 5 etapas que se inician con la observación de la intersección desde una zona estratégica para tener el panorama completo. La segunda etapa, consta de evaluar y tomar nota de las condiciones iniciales de la zona como su diseño geométrico, el flujo vehicular, el flujo peatonal y la calidad de la infraestructura vial. Al procesar los datos obtenidos, se procede a crear el modelo en el software VISSIM y, con los valores insertados, se calibra el modelo base para que sea lo más cercano a los problemas visualizados en la realidad. Además, se valida este modelo usando datos recolectados en un horario y día distintos. La cuarta etapa, en la cual se diseña el nuevo modelo mejorado, no solo consiste en el uso del software mencionado, sino que también se compone de la revisión de distintos manuales de diseño urbano extranjeros. Estos manuales facilitan la selección de dimensiones recomendables para un diseño geométrico que mantiene como prioridad al peatón.

Finalmente, para verificar que el nuevo modelo realmente representa una mejora en la problemática inicial, se realiza una comparación tomando en cuenta dos parámetros: tiempo de viaje vehicular y tiempo de viaje peatonal.

Podemos concluir que, el uso de softwares como VISSIM y VISWALK permiten obtener una realidad virtual muy acertada que facilita analizar nuevos diseños y asegurar su correcto funcionamiento.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial a nuestros padres por su apoyo incondicional y su esfuerzo a lo largo de nuestros estudios, ya que sin ellos no podríamos haber cumplido nuestras metas.

A nuestro asesor, el ingeniero Félix Israel Cabrera Vega por compartir sus conocimientos y guiarnos en el proceso de la presente tesis.



ÍNDICE

RESUMEN	<i>i</i>
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos del Proyecto	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Justificación	3
2 MARCO TEÓRICO	4
2.1 La congestión vehicular	4
2.2 Intersecciones	5
2.2.1 Tipología de intersecciones	6
2.2.1.1 Según cantidad de ramales	6
2.2.1.2 Según alternativas de regulación	8
A. Intersección con regulación implícita	8
B. Intersección con Prioridad de Paso	9
C. Rotondas	12
❖ Mini rotondas	14
2.2.2 Elementos canalizadores en la intersección	14
2.2.2.1 Isletas	14
2.2.2.2 Recomendaciones para distintos casos de intersecciones	15
2.3 Semaforización	17
2.3.1 Clasificación de semáforos	18
2.3.1.1 Semáforos para vehículos	18
A. De tiempo fijo	18
B. Accionados por el tránsito	19
❖ Parcialmente accionados	19
❖ Totalmente accionados	20
2.3.1.2 Semáforos especiales	20
A. Semáforos portátiles	20
B. Semáforos de uso temporal	20
C. Semáforo de destello	21
2.3.1.3 Semáforos peatonales	21
A. Pelican Crossing (<i>Pedestrian light – controlled</i>)	21
B. Puffin Crossing (<i>Pedestrian user – friendly intelligent</i>)	21
2.3.2 Requisitos para la instalación de semáforos	22
2.4 Diseño urbano inclusivo	24
2.4.1 Elementos fundamentales para el diseño geométrico	25
2.4.1.1 Para peatones	25
A. Veredas (<i>Sidewalks</i>)	25
B. Cebra peatonal (<i>Conventional crosswalk</i>)	28
C. Isla peatonal (<i>Pedestrian safety islands</i>)	29
D. Rampa peatonal (<i>Pedestrian ramps</i>)	31
2.4.1.2 Para ciclistas	32
A. Ancho de carril (<i>Bicycle Lane</i>)	33
B. Separación de carril de bicicleta (<i>Buffered Bicycle Lanes</i>)	34
2.4.1.3 Para vehículos	35
A. Ancho de carril	35

❖	Para automóviles (<i>Vehicle Lane</i>)	35
❖	Para buses (<i>Bus Lane</i>)	36
❖	Para estacionamiento (<i>Parking Lane</i>)	37
B.	Radio efectivo de la acera (<i>Corner radio</i>)	38
C.	Extensión de curva (<i>Curb extension</i>)	39
❖	<i>Gateway</i>	40
❖	Paradero de bus (<i>Bus bulbs</i>)	40
D.	Elemento de control de velocidad vertical (<i>Vertical speed control element</i>)	41
❖	Reductor de velocidad elevado (<i>Speed table</i>)	41
3	METODOLOGÍA	43
3.1	Observación del área de estudio	43
3.2	Definir y recopilar datos para el análisis	44
3.2.1	Filmación de la intersección	45
3.2.2	Geometría del Sistema	46
3.2.3	Demanda vehicular	46
3.2.4	Demanda peatonal	48
3.2.5	Tiempo de recorrido vehicular y peatonal	49
3.2.6	Lista de chequeo	50
3.3	Modelo de la situación actual	50
3.4	Modelo de la nueva propuesta	50
3.5	Análisis y comparación de resultados	51
4	PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO	52
4.1	Grabación	52
4.2	Geometría de la intersección	52
4.3	Aforo vehicular	53
4.4	Aforo peatonal	57
4.5	Tiempo de viaje vehicular y peatonal	58
4.5.1	Conteo de tiempo de recorrido vehicular	58
4.5.2	Conteo de tiempo de recorrido peatonal	59
4.6	Problemas detectados y lista de chequeo	60
5	MODELO BASE, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN	65
5.1	Micro simulación del modelo base	65
5.1.1	Importación de plano de la zona de estudio	65
5.1.2	Insertar las vías de la intersección	65
5.1.3	Componentes vehiculares	65
5.1.4	Componentes peatonales	67
5.2	Verificación del modelo	67
5.3	Calibración	68
5.3.1	Calibración vehicular	68
5.3.2	Calibración peatonal	70
5.4	Validación	71
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
6.1	Propuesta de mejora	73
6.2	Tiempo de recorrido vehicular	74

6.3	Tiempo de recorrido peatonal	75
6.4	Evaluación estadística de la nueva propuesta	77
6.4.1	Tiempo de recorrido vehicular	77
A.	Avenida Túpac Amaru Este	77
B.	Avenida Túpac Amaru Oeste	78
6.4.2	Tiempo de recorrido peatonal	79
6.4.3	Sector A	79
6.4.4	Sector B	80
6.4.5	Sector C	81
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
	BIBLIOGRAFÍA	87



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Terminología utilizada para la clasificación de la jerarquización vial en distintos manuales	8
Tabla 2. Visibilidad sobre la vía prioritaria	12
Tabla 3. Condiciones para la distancia "x"	12
Tabla 4. Requerimientos para la implementación de una rotonda según diferentes manuales	13
Tabla 5. Clasificación de isletas	15
Tabla 6. Ventajas y desventajas del semáforo	18
Tabla 7. Volumen mínimo de vehículos	23
Tabla 8. Consideraciones para el cumplimiento de volumen mínimo de peatones	23
Tabla 9. Volumen mínimo de vehículos	24
Tabla 10. Comparación de anchos de zona de fachada	26
Tabla 11. Comparación de anchos de zona peatonal	27
Tabla 12. Comparación de anchos de zona de mobiliario	27
Tabla 13. Comparación de longitudes de cebra peatonal	28
Tabla 14. Comparación de distancia de la línea de parada	29
Tabla 15. Comparación de anchos de la isla peatonal	30
Tabla 16. Comparación de longitudes de la isla peatonal	30
Tabla 17. Comparación de dimensiones de rampa peatonal	32
Tabla 18. Comparación de ancho de carril para bicicletas	33
Tabla 19. Comparación de anchos de separación de carril para bicicletas	34
Tabla 20. Comparación de anchos de carril para automóviles	35
Tabla 21. Comparación de ancho de carril para buses	36
Tabla 22. Comparación de anchos de carril para estacionamiento	37
Tabla 23. Comparación de radio efectivo de acera	38
Tabla 24. Comparación de dimensiones de extensión de curva	39
Tabla 25. Comparación de dimensiones de extensión de curva para paradero de bus	41
Tabla 26. Comparación de dimensiones de reductor de velocidad elevado	42
Tabla 27. Formato de conteo de vehículos del Sector 1	47
Tabla 28. Formato de conteo de vehículos del Sector 2	47
Tabla 29. Formato de conteo de vehículos del Sector 3	47
Tabla 30. Formato de conteo de vehículos del Sector 4	47
Tabla 31. Formato de conteo de vehículos del Sector 5	48
Tabla 32. Formato de conteo peatonal	49
Tabla 33. Cantidad de vehículos en el sector 1	54
Tabla 34. Cantidad de vehículos en el sector 2	54
Tabla 35. Cantidad de vehículos en el sector 3	55
Tabla 36. Cantidad de vehículos en el sector 4	55
Tabla 37. Cantidad de vehículos en el sector 5	56
Tabla 38. Conteo peatonal según sectores	57
Tabla 39. Tiempo de recorrido vehicular en la avenida Túpac Amaru Este	58
Tabla 40. Tiempo de recorrido vehicular en la avenida Túpac Amaru Oeste	59
Tabla 41. Tiempo recorrido peatonal en el sector A	59
Tabla 42. Tiempo recorrido peatonal en el sector B	60
Tabla 43. Tiempo recorrido peatonal en el sector C	60
Tabla 44. Tiempo de recorrido vehicular de la propuesta de mejora en la avenida Túpac Amaru Este	75
Tabla 45. Tiempo de recorrido vehicular de la propuesta de mejora en la avenida Túpac Amaru Oeste	75
Tabla 46. Tiempo de recorrido peatonal de la propuesta de mejora en el Sector A	76
Tabla 47. Tiempo de recorrido peatonal de la propuesta de mejora en el Sector B	76
Tabla 48. Tiempo de recorrido peatonal de la propuesta de mejora en el Sector C	77

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 1. Conflictos en intersecciones</i>	5
<i>Ilustración 2. Clasificación de intersecciones</i>	7
<i>Ilustración 3. Vehículos que llegan simultáneamente a una intersección</i>	10
<i>Ilustración 4. Señal de cruce con vía preferente</i>	10
<i>Ilustración 5. Triángulo mínimo de visibilidad</i>	11
<i>Ilustración 6. Circulación en rotondas</i>	13
<i>Ilustración 7. Islas centrales de una mini rotonda</i>	14
<i>Ilustración 8. Clasificación de isletas</i>	15
<i>Ilustración 9. Mapa conceptual de sugerencias de canalización en una intersección</i>	16
<i>Ilustración 10. Ventajas de una intersección canalizada</i>	17
<i>Ilustración 11. Tipos de detectores</i>	19
<i>Ilustración 12. Semáforo peatonal tipo Puffin</i>	22
<i>Ilustración 13. Aceras peatonales</i>	26
<i>Ilustración 14. Cebra peatonal</i>	28
<i>Ilustración 15. Isla peatonal</i>	29
<i>Ilustración 16. Rampas peatonales</i>	31
<i>Ilustración 17. Carril para bicicletas</i>	33
<i>Ilustración 18. Separación de carril para bicicletas</i>	34
<i>Ilustración 19. Carriles para automóviles</i>	35
<i>Ilustración 20. Carril para bus</i>	36
<i>Ilustración 21. Carril para estacionamiento</i>	37
<i>Ilustración 22. Radio efectivo de la acera</i>	38
<i>Ilustración 23. Extensión de curva</i>	39
<i>Ilustración 24. Gateway</i>	40
<i>Ilustración 25. Paradero de bus</i>	40
<i>Ilustración 26. Reductor de velocidad elevado</i>	41
<i>Ilustración 27. Diagrama de flujo de rediseño de una infraestructura vial urbana</i>	43
<i>Ilustración 28. Intersección de estudio</i>	44
<i>Ilustración 29. Dron Mavic Pro 2 DJI</i>	45
<i>Ilustración 30. Cinta métrica y cuaderno de notas utilizados</i>	46
<i>Ilustración 31. Intersección de estudio dividida en sectores</i>	49
<i>Ilustración 32. Grabación de intersección de estudio</i>	52
<i>Ilustración 33. Geometría de la intersección de estudio en AutoCAD</i>	53
<i>Ilustración 34. Conteo por cada tipo de vehículo en la intersección</i>	56
<i>Ilustración 35. Sectorización peatonal en la intersección de estudio</i>	57
<i>Ilustración 36. Mal estado del pavimento en la intersección</i>	61
<i>Ilustración 37. Pendientes de veredas muy elevadas en la calle Miguel Grau</i>	62
<i>Ilustración 38. Posicionamiento informal de vendedores ambulantes</i>	62
<i>Ilustración 39. Inadecuadas rampas peatonales</i>	63
<i>Ilustración 40. Paraderos de mototaxis informales</i>	63
<i>Ilustración 41. Tranquera informal</i>	64
<i>Ilustración 42. Gráfica con 95 % de confiabilidad para calibración vehicular</i>	69
<i>Ilustración 43. Gráfica con 95 % de confiabilidad para calibración peatonal</i>	71
<i>Ilustración 44. Distribución de tiempos de semáforo</i>	73
<i>Ilustración 45. Modelo mejorado de la intersección de estudio</i>	74
<i>Ilustración 46. Evaluación estadística del tiempo de recorrido en la avenida Túpac Amaru Este</i>	78
<i>Ilustración 47. Evaluación estadística del tiempo de recorrido en la avenida Túpac Amaru Oeste</i>	79
<i>Ilustración 48. Evaluación estadística del tiempo de recorrido peatonal en el Sector A</i>	80
<i>Ilustración 49. Evaluación estadística del tiempo de recorrido peatonal en el Sector B</i>	81
<i>Ilustración 50. Evaluación estadística del tiempo de recorrido peatonal en el Sector C</i>	82
<i>Ilustración 51. Comparación de tiempo de recorrido vehicular en segundos</i>	83
<i>Ilustración 52. Comparación de tiempo de recorrido peatonal en segundos</i>	83

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La congestión vehicular es un problema que mortifica a los peruanos al movilizarse por distintas zonas de la capital. En el año 2018, Lima ocupó el tercer lugar como la ciudad con mayor tráfico en el mundo según un estudio de TomTom, una compañía de GPS holandesa (TomTom, s.f.). Tomando en cuenta las estadísticas del año 2019, antes de la propagación de la COVID-19, en el cual nos posicionamos en el séptimo puesto del estudio mencionado, se puede decir que un limeño pierde aproximadamente 8 días y 17 horas al año a causa del embotellamiento en las principales vías de la ciudad (TomTom, s.f.).

Por lo expuesto anteriormente, notamos la envergadura de esta problemática en la ciudad de Lima; es por ello que, para entender el origen de la congestión del tráfico, se distinguen tres causas principales: la ineficiente infraestructura vial, el creciente parque automotor y las obras inconclusas (ECONÓMICA, 2019). Tomando en cuenta el primer motivo presentado, la carencia de una óptima planificación urbana y un alto índice de sobrepoblación son los factores que desencadenan el inadecuado diseño vial de la ciudad (Posada, 2018). Dentro de este orden de ideas, en la capital del Perú existen distritos con infraestructuras viales no planificadas como es el caso de Carabayllo, el distrito de Lima Metropolitana más grande geográficamente. No obstante, es considerado una de las zonas con habitantes de gran escasez monetaria (UNICEF, s.f.), siendo este uno de los motivos por los cuales no se ha realizado inversión suficiente en infraestructura vial urbana ni en la semaforización. Marcos Espinoza, alcalde del distrito en mención, señaló “Somos un distrito que necesita 90% de infraestructura urbana”; por otro lado, también

afirmó que a su distrito le faltan pistas, veredas, parques y muros de contención (Larenas, 2019).

Como se visualiza, el distrito de Carabayllo carece de planeamiento vial urbano en casi todos los sectores que engloba su territorio; teniendo en cuenta esta realidad, en la presente plan de tesis se realizará un análisis de transporte intermodal en el cruce de la avenida Túpac Amaru con la calle Miguel Grau del distrito mencionado; de la misma manera, se dará una propuesta de mejora para la optimización de la circulación de los peatones, residentes y conductores de la zona.

En este proyecto se analizan las condiciones del distrito en estudio, para poder lograr esta finalidad, se plantean los siguientes objetivos, los cuales están focalizados en el bienestar de los transeúntes sin dejar de lado la relación que mantienen con los medios de transporte de su entorno.

1.2 Objetivos del Proyecto

1.2.1 Objetivo general

En este proyecto se tiene como objetivo general mejorar la circulación tanto de los peatones como de los automóviles en el cruce de la avenida Túpac Amaru y la calle Miguel Grau.

1.2.2 Objetivos específicos

Asimismo, consideramos necesarios los siguientes objetivos específicos con la finalidad de alcanzar el propósito presentado anteriormente:

- Implementar medidas de gestión de tránsito en dicho cruce para aumentar la sensación de seguridad de los transeúntes.

- Plantear un diseño geométrico óptimo para la intersección mencionada usando programas de micro simulación VISSIM y VISWALK.
- Fomentar la accesibilidad de los grupos excluidos a partir del rediseño de la infraestructura.
- Reubicar a los vendedores informales en la calle Miguel Grau para que puedan brindar su servicio sin causar disturbios.

1.3 Justificación

La investigación planteada abarca de manera compleja las dificultades tanto de los transeúntes como del flujo de los vehículos de carga pesada en el cruce de la avenida Túpac Amaru con la calle Miguel Grau. Este estudio podría generar un impacto social en los peatones y en los residentes de dicha calle, ya que se examina la forma más eficaz de recuperar los espacios públicos para mejorar la circulación y la convivencia entre los vecinos de la zona.

Por otro lado, tendría una implicancia práctica porque el desarrollo del plan de tesis culmina con mostrar un diseño óptimo con una distribución eficiente y ordenada para todos los implicados; es decir, los residentes, los peatones y los conductores de la zona a estudiar. Este nuevo diseño se lograría a través de la micro simulación peatonal que se emplean en proyectos urbanos de ingeniería como son los programas VISSIM y VISWALK, el cual estaría basado en la recolección de datos de los sujetos implicados.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 La congestión vehicular

En general, la congestión vehicular puede ser asociada con la circulación de una alta cantidad de automóviles que excede la capacidad de su infraestructura vial (Koźlak, 2018). Entonces, podemos notar que gran parte del embotellamiento se debe al alto índice del crecimiento del parque automotor que no fue considerado para el diseño vial, ya que esto significaría que una mayor cantidad de vehículos se transportan de un lugar a otro. Según Fernández (2011), los principales motivos del embotellamiento en las ciudades son cinco: desarrollo urbano inorgánico, particularidades físicas de la red, inapropiadas medidas de transporte, incremento del parque automovilístico y una insuficiente gestión de tránsito.

Por otro lado, si bien las razones anteriores son las más trascendentes, existen otras razones que generan una congestión innecesaria: falta de señalización o demarcación de los carriles de circulación, fortuitos cambios de cantidad de carriles, inadecuada ubicación de paraderos de buses en puntos angostos de la calzada, el mal estado del pavimento por falta de mantenimiento y la inapropiada semaforización (Thomson y Bull, 2001). Estos factores, los cuales son muy comunes en Lima Norte, acrecentan la aglomeración de automóviles y dificultan el óptimo tránsito tanto de los vehículos como de los peatones disminuyendo su velocidad de desplazamiento.

Asimismo, el deficiente diseño vial es una de las causas de los accidentes de tránsito que dejan una cifra preocupante de 3110 víctimas mortales cada año (EL COMERCIO, 2021). Según Adrián Revilla, ex presidente del Consejo Nacional de Seguridad Vial, la capital del Perú abarca unos 500 puntos de alta siniestralidad que en su mayoría son intersecciones, seguidas de

avenidas y curvas con diseños defectuosos (Andina, 2012). Dichas intersecciones son los puntos en los cuales los conductores, tratando de aprovechar una diferencia de segundos para disminuir su tiempo de viaje, se imponen y bloquean el pase a los demás vehículos.

Según lo expuesto, es notorio que las dificultades de la congestión automotriz son, en su mayoría, consecuencia del diseño ineficaz de la infraestructura vial y de la incorrecta práctica de la gestión de tránsito. Por ello, en los siguientes acápite, partiendo de la intersección como zona de estudio, se analizará a detalle las medidas de gestión como la semaforización y los elementos de diseño geométrico considerados para una infraestructura peatonal orgánica.

2.2 Intersecciones

La intersección es el punto de encuentro entre dos o más vías lineales (Fernández, 2011). Tiene como objetivo principal el correcto flujo del tráfico, el cual puede ser obtenido mediante un buen diseño vial. De esta manera, se puede dar solución a los diferentes conflictos generados por los movimientos entre vehículos y peatones (Fernández, 2011): cruce, convergencia, divergencia y entrelace. Estos conflictos se muestran en la ilustración 1.

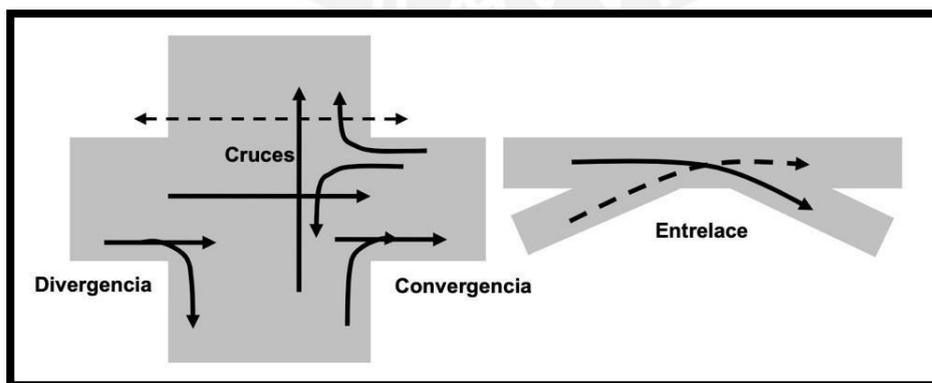


Ilustración 1. Conflictos en intersecciones

Fuente: Fernández (2010)

Asimismo, la implementación de intersecciones generan una mayor facilidad de proyecto y su construcción. Generalmente son económicos, ya que requiere una menor superficie para su aplicación (Bañón y Beviá, 2000).

2.2.1 Tipología de intersecciones

Existe una gran variedad de intersecciones, por lo cual pueden clasificarse de diferentes formas. En este caso, serán distinguidas en función de la cantidad de ramales y las alternativas de regulación.

2.2.1.1 Según cantidad de ramales

Según Bañón y Beviá en el Manual de Carreteras de España (2000), los distintos tipos de intersecciones son cuatro: de tres ramales, de cuatro ramales, con ramales múltiples y giratorias. Las características relevantes a considerar en esta clasificación son las siguientes (Bañón y Beviá, 2000):

- Tres Ramales, cuenta con dos formas en T y en Y. Sin embargo, sus cualidades son diferentes porque en T los ramales tienen ángulos mayores a 60 grados, lo cual aumenta la visibilidad del cruce. Por otro lado en Y se cuenta con ángulos menores de 60 grados y de esta manera facilita los movimientos principales de los conductores.
- Cuatro ramales, cuenta con dos formas. El primero en cruz, se caracteriza porque los ramales cuentan con ángulos mayores a 60 grados y se recomienda usar en este caso isletas para canalizar el flujo vehicular. En cambio, el que tiene forma de X tiene ángulos menores a 60 grados y presenta dificultad de visibilidad en la calzada.
- Múltiple, se recomienda no aplicar este tipo de intersección. Para ello, se opta por remover uno de los ramales y empalmarlo fuera de la intersección. No obstante, si no se puede suprimir una entrada, se aconseja usar intersecciones giratorias.

- Giratoria, presenta dos formas diferentes. La primera, se denomina la rotonda que es el encuentro de varios ramales en un anillo giratorio con un diámetro mayor a 4 metros y su finalidad es que los vehículos circulen dentro del anillo hasta llegar a su ramal de salida. La segunda forma es la mini rotonda, esta tiene el mismo patrón que la rotonda pero su isla central tiene un diámetro menor a 4 metros. Además, su construcción es simple y económica a comparación de una rotonda.

En la ilustración 2 se distinguen gráficamente los tipos de intersecciones que han sido definidos anteriormente.

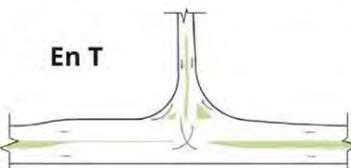
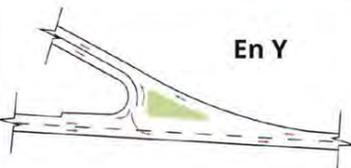
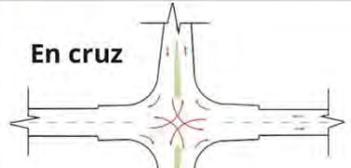
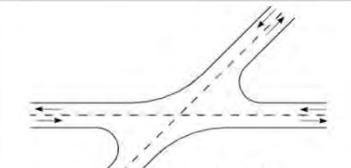
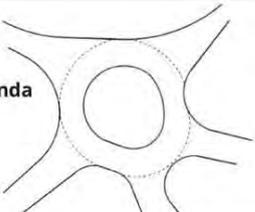
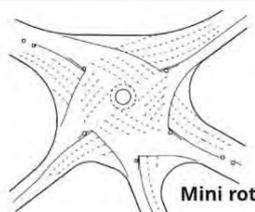
TIPOS DE INTERSECCIONES	
Número de Ramales	Gráficas
Tres Ramales	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>En T</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>En Y</p>  </div> </div>
Cuatro ramales	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>En cruz</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>En X</p>  </div> </div>
Múltiple	
Giratoria	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Rotonda</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Mini rotonda</p>  </div> </div>

Ilustración 2. Clasificación de intersecciones

Fuente: Adaptado de Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (2009)

2.2.1.2 Según alternativas de regulación

Otra manera de diferenciar los cruces es analizándolos según las alternativas de regulación utilizadas en la zona. Según Fernández (2011), se encuentran principalmente cuatro modos de regulación en los cruces de vías: regulación implícita, señal de prioridad, rotonda y semáforo. Por consiguiente, se analizará a detalle las alternativas de regulación presentadas a excepción del semáforo porque este tipo de regulador abarca múltiples conceptos importantes por lo que se considera necesario el uso de un acápite completo.

A. Intersección con regulación implícita

Este tipo de regulación se utiliza en calles con un bajo nivel de jerarquía, vías locales o de servicio (Fernández, 2011). Se debe resaltar que se diferencian distintas categorías para clasificar las vías según cada país, aunque mantienen relación entre sí como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 1. Terminología utilizada para la clasificación de la jerarquización vial en distintos manuales

Fuente: Adaptado de los manuales mostrados (2021)

Fuente	Norma Técnica CE.010 ¹	Ministerio de Vivienda y Urbanismo ²	Manual de Carreteras ³	Design Manual for Urban Roads and Streets ⁴
País	Perú	Chile	España	Irlanda
Clasificación de vías urbanas	Expresa	Expresa	Primaria	Arterial
	Arterial	Troncal		
	Colectora	Colectora	Colectora o Distribuidora	Link
	Local	Local Servicio	Local	Local

¹ Norma Técnica CE.010 (2010)

² Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2009)

³ Manual de Carreteras (2000)

⁴ Design Manual for Urban Roads and Streets (2013)

Como se observa en la Tabla 2, los rangos de las vías son principalmente tres, aunque en algunos países tengan clasificaciones más particulares, pero pueden ser definidas de la siguiente manera (Bañón y Beviá, 2000):

- Vías Primarias: Se encargan de dirigir desplazamientos de larga distancia, su principal objetivo es conectar y distribuir los automóviles que ingresan a la ciudad sin mantener paradas en esta.
- Vías Colectoras: Su función es recoger y repartir el flujo de vehículos que se dirigan a las vías locales o provengan de estas.
- Vías Locales: Son usadas para tipos de movilidad con recorridos de corta distancia y con velocidades bajas. Además, permite el acceso al comercio, servicios y zonas residenciales. Por otro lado, se encuentran índices escasos de flujos vehiculares.

B. Intersección con Prioridad de Paso

Las regulaciones en las intersecciones más utilizadas son las señales de paso. Estas son aplicadas mediante reglas generales de paso que buscan ser cumplidas a través de señales de tránsito, semáforos o policías de tránsito que brindan indicaciones a los usuarios. Todo lo expuesto tiene como objetivo favorecer la circulación tanto de vehículos como peatones, pero su mala praxis puede llegar a complicar en mayor medida su funcionamiento (Radelat, 1964).

En cruces sin reguladores de tránsito, se aplica la **regla de derecho de paso**. Esta norma consiste en brindar preferencia al primer automóvil que llegue a la intersección, el que podría continuar su trayecto sin detenerse. Por otro lado, si dos vehículos llegan al mismo tiempo, el conductor que observe al otro desde su mano derecha, deberá detenerse y ceder el paso. Esta regla se presenta gráficamente en la ilustración 3.

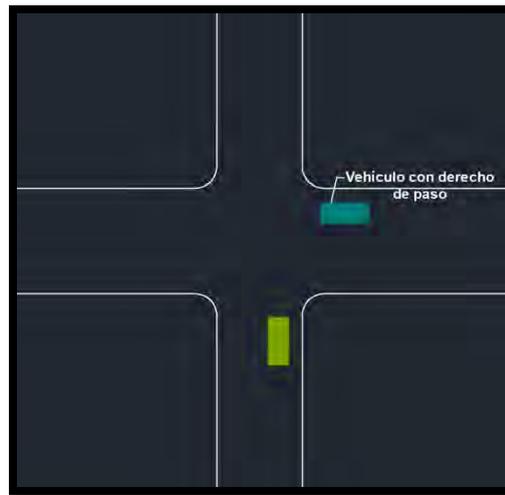


Ilustración 3. Vehículos que llegan simultáneamente a una intersección

Fuente: Radelat (1964)

En algunos casos, cuando el cumplimiento de la regla mencionada deja de ser viable, se considera oportuno el uso de señales de prioridad de paso que dan primacía a ciertas vías del sistema según su jerarquización como las descritas en el acápite 2.2.1. Esta señal de prevención tiene la forma de un triángulo equilátero invertido de color amarillo como se muestra en la ilustración 4 (Radelat, 1964).



Ilustración 4. Señal de cruce con vía preferente

Fuente: Radelat (1964)

Las señales de prioridad de paso se presentan de dos maneras distintas: "Pare" y "Ceda el paso". El primer tipo obliga al vehículo de la vía secundaria a detenerse sin tomar en cuenta el tráfico de la vía principal; mientras que el segundo, solo se detiene frente al alto flujo de

automóviles de la vía prioritaria. Para seleccionar la señal de regulación más eficiente solo se toma en cuenta la visibilidad (Fernández, 2011).

Por ello, para la implementación de la señal de “Ceda el Paso” se deberá disponer de una amplia visibilidad por parte de los conductores. Por el contrario, si no es factible esta situación se dispondrá a colocar la señal de “Pare”, el cual tiene como único requisito que no se cumpla el triángulo de mínima visibilidad mostrado en la ilustración 5.

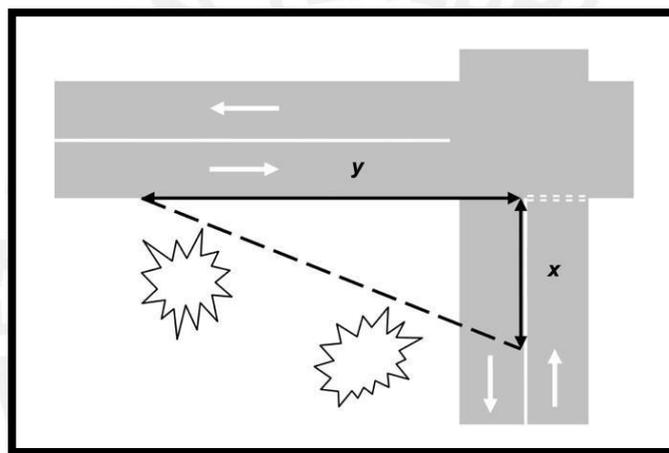


Ilustración 5. Triángulo mínimo de visibilidad

Fuente: Fernández (2010)

La longitud denominada “x” es la distancia del conductor hasta la línea de detención de la intersección y la longitud “y”, la distancia sobre la cual el conductor debe tener visibilidad libre. En el caso de una vía principal unidireccional, la visibilidad solo se verificará hacia donde se aproxima el tráfico. Para el caso de una vía prioritaria bidireccional, se analizará el triángulo mínimo de visibilidad en ambos sentidos; es decir, tanto para la derecha como la izquierda, a menos que se cuente con una mediana que permita cruzar por etapas (Fernández, 2011).

El triángulo rectángulo mostrado en la Figura 4 requiere de datos estadísticos como el percentil 85% de la velocidad de aproximación de los automóviles de la vía prioritaria (V_{85}) y algunas condiciones de visibilidad de la vía secundaria como se muestran en las tablas 3 y 4 a continuación (IHT,1997)

Tabla 2. Visibilidad sobre la vía prioritaria

Fuente: Institution of Highways and Transportation (1997)

$V_{85} \left(\frac{km}{h}\right)$	120	100	85	70	60	50	40	30
Y (m)	295	215	160	120	90	70	45	33

Tabla 3. Condiciones para la distancia "x"

Fuente: Institution of Highways and Transportation (1997)

Condición	X (m)
Deseable	9
Recomendable	4,5
Excepcional	2,5
Mínimo Absoluto	2

C. Rotondas

La rotonda o también llamada glorieta es un regulador especial de intersección, el cual consiste en empalmar distintas vías en un anillo de circulación rotatoria. Este permite el flujo de los vehículos alrededor de una isleta central hasta llegar a la rama de salida deseada. Además, los automóviles que se encuentran dentro del anillo tienen la prioridad de paso (Bañón y Beviá, 2000). Se muestra gráficamente este modo de regulación en la ilustración 6.

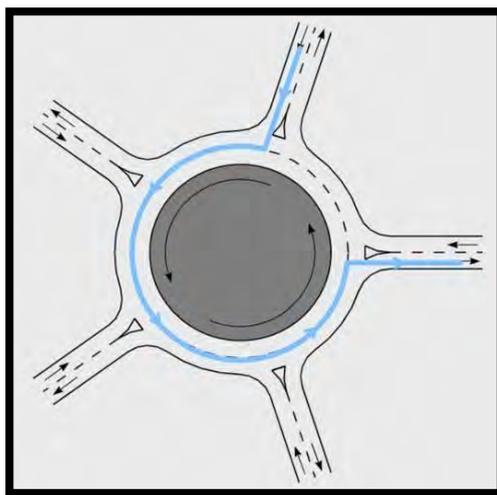


Ilustración 6. Circulación en rotondas

Fuente: Adaptado de Bañón y Beviá (2000)

Existen algunos requisitos para los cuales se recomienda el uso de las rotondas; sin embargo, estos pueden variar de acuerdo al país en el que se encuentre como se distingue en la Tabla 5.

Tabla 4. Requerimientos para la implementación de una rotonda según diferentes manuales

Fuente: Propia (2021)

Nombre del Manual	Street Design Manual ¹	Manual de Carreteras ²	Ministerio de Vivienda y Urbanismo ³
País	New York City	España	Chile
Número mínimo de ramales	3	5	5
Predominio de movimientos de giro	Sí	Sí	Sí
Área Disponible	Extensa	Extensa y Horizontal	Extensa, Horizontal y Barata
Flujo de Peatones	Baja	Baja	Baja

¹ Street Design Manual (2020)

² Manual de Carreteras (2000)

³ Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2009)

Se observa de la tabla anterior que los manuales siguen casi el mismo patrón de condiciones para la construcción de una rotonda con la diferencia de la cantidad mínima de ramales.

❖ Mini rotondas

Al igual que las rotondas, las mini glorietas son elementos utilizados para segregar los flujos en las intersecciones. Ambas mantienen las mismas características con la diferencia del diámetro de la isla central que, en este caso, debe ser menor a 4 metros lo cual genera más capacidad en el anillo central (MINVU, 2009). Además, es una medida de gestión de bajo costo, ya que, a diferencia de una rotonda, su implementación puede ser sencillamente un círculo marcado con pintura y tachones en la calzada como se muestra en la ilustración 7 o también puede ser una estructura sólida (CONASET, s/f).

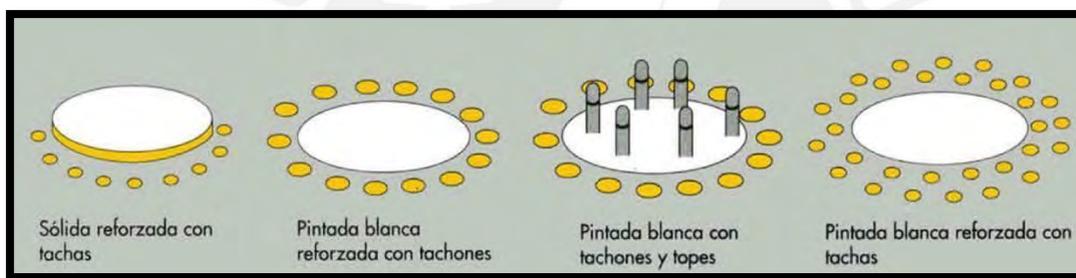


Ilustración 7. Islas centrales de una mini rotonda

Fuente: CONASET (s/f)

2.2.2 Elementos canalizadores en la intersección

La canalización de movimientos tiene como misión separar los puntos de conflicto en los cruces con el fin de analizarlos individualmente. Se conocen dos formas de canalización: *segregación física* usando soleras, islas o medianas y, *segregación virtual* con el uso de señalización, demarcación, tachas o tachones (Fernández, 2011).

2.2.2.1 Isletas

Por otra parte, el modo de canalización física llamada isla o isleta es un área situada entre las vías de circulación, con el objetivo de brindar una zona segura para los transeúntes y para

encaminar el desplazamiento de los vehículos. Su aplicación se presenta de dos maneras: usando marcas viales o elevaciones de superficie (Bañón y Beviá, 2000). Según Bañón y Beviá en el Manual de Carreteras de España (2000), se diferencian tres tipos de isletas:

Tabla 5. Clasificación de isletas

Fuente: Adaptado de Bañón y Beviá (2000)

Islas separadoras	Islas encauzadoras	Refugios peatonales
Separa sentidos iguales u opuestos de vías de circulación.	Controla y dirige los diferentes desplazamientos vehiculares permitidos en la intersección.	Garantiza la seguridad de los peatones en vías con anchos extensos.
Favorece los giros principales	Impide la circulación generando zonas delimitadas	Reduce el tiempo de cruce y la capacidad de la intersección aumenta.

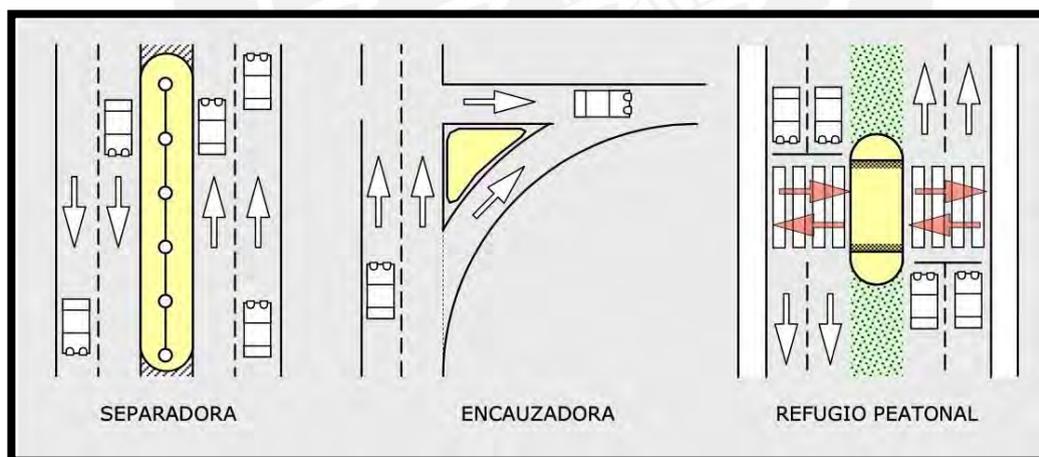


Ilustración 8. Clasificación de isletas

Fuente: Bañón y Beviá (2000)

2.2.2.2 Recomendaciones para distintos casos de intersecciones

La implementación de los tipos de canalización depende únicamente de las singularidades de cada intersección. Si bien es cierto, no hay pautas para un modelo general; sin embargo,

encontramos sugerencias para obtener objetivos particulares como se mostrará en el siguiente mapa conceptual de la ilustración 9.

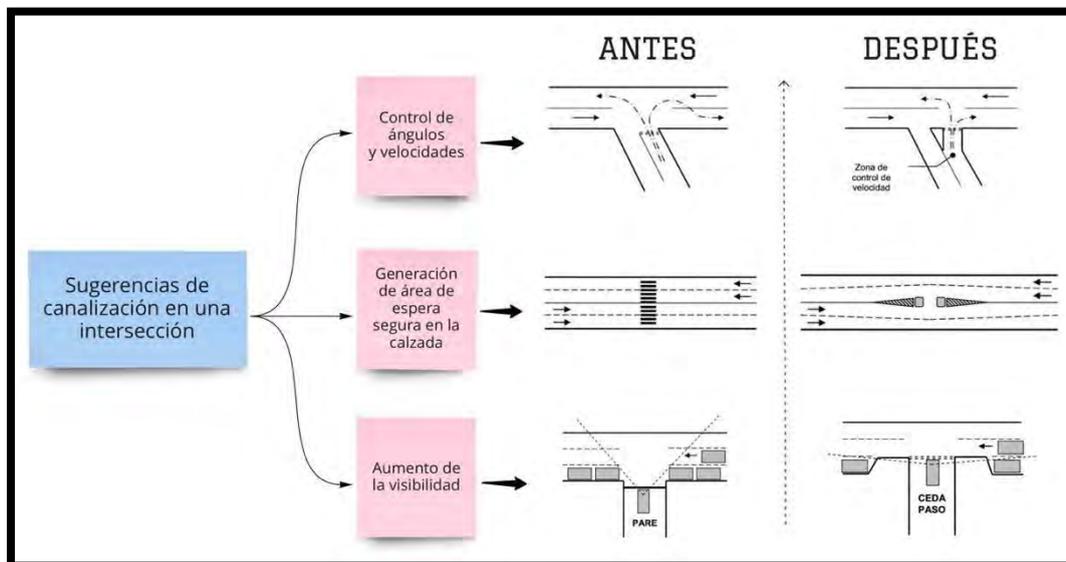


Ilustración 9. Mapa conceptual de sugerencias de canalización en una intersección

Fuente: Adaptado de Fernández (2010)

Se indica en el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (2009) que la correcta canalización del flujo vehicular proporciona las siguientes ventajas:

- Segregar flujos según su maniobra: es idóneo agregar una vía propia de sentido único cuando se presente un movimiento importante con alta intensidad haciendo uso de isletas.
- Creación de zonas protegidas: favorecen a los vehículos y peatones con un espacio en las calzadas hasta encontrar una oportunidad de paso.
- Visibilidad: aumenta su visibilidad a la distancia óptima entre el conductor y otro vehículo con prioridad de paso, por ello la velocidad de los automóviles deben ser limitados en función de este criterio.
- Controlar las velocidades: con el uso adecuado de radios en las curvas es posible manejar la velocidad de entrada a la intersección.

- Impedir movimientos prohibidos: las islas pueden ser utilizadas para obstruir ciertos giros en puntos no adecuados hasta volverlos imposibles o muy complicados de realizar.

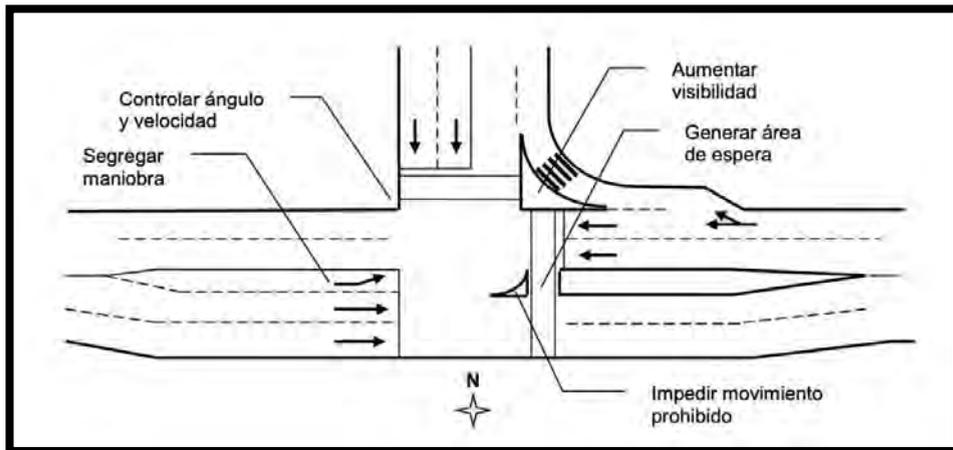


Ilustración 10. Ventajas de una intersección canalizada

Fuente: Fernández (2010)

2.3 Semaforización

Los semáforos son dispositivos reguladores del tránsito de vehículos y peatones (Radelat, 1964). Estos elementos electrónicos cuentan con tres luces: rojo, detiene el paso; ámbar, es una indicación de precaución que anuncia la proximidad de la luz roja; y verde, permite el flujo de vehículos para que se desplacen libremente (Radelat, 1964).

Para la instalación de un semáforo es recomendable realizar un minucioso estudio de la intersección, ya que si bien el uso de este dispositivo brinda ventajas, también puede generar mayores inconvenientes cuando no sea operado correctamente o su instalación no sea justificada como se muestra en la Tabla 6 (Cal y Mayor, 2018).

Tabla 6. Ventajas y desventajas del semáforo

Fuente: Adaptado de Cal y Mayor (2018)

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Ordena la circulación de vehículos y peatones	Genera demoras injustificadas en volúmenes de tránsito pequeños
Incrementa la capacidad de la vía	Los conductores pierden el respeto de las señales de tránsito, por lo que dejan de cumplirlas
Disminuye la frecuencia de algunos accidentes como los choques laterales	
Gestiona la velocidad en los automoviles, para mantener una circulación constante	Aumentan los accidentes de tipo "alcance"
Detiene el volumen de tránsito para generar intervalos de tiempo seguros para el paso de vehículos y peatones en las intersecciones	

Debido a las diferentes necesidades de las intersecciones se cuentan con distintos mecanismos de semaforización como los que se explicarán en el siguiente acápite.

2.3.1 Clasificación de semáforos

Se distinguieron los semáforos en tres categorías principales: semáforos para vehículos, semáforos especiales y semáforos peatonales.

2.3.1.1 Semáforos para vehículos

A. De tiempo fijo

Es un semáforo caracterizado por ser simple, el cual se cumple con un sistema de ciclos e intervalos programados previamente sin que este varíe a menos que se re programe de manera directa (Bañón y Beviá, 2000). Es una óptima alternativa para intersecciones en las cuales se mantenga un flujo vehicular estable y constante a lo largo del día (Cal y Mayor, 2018).

B. Accionados por el tránsito

Este semáforo se aplica en zonas con volúmenes vehiculares irregulares y en las cuales el tránsito en la vía principal debe tener la mínima cantidad de interrupciones (Cal y Mayor, 2018). Su gran ventaja es que se adapta a la variabilidad del tráfico de manera automática. Por otro lado, para poder generar los cambios en los intervalos de tiempo del semáforo, se necesitan los datos de la demanda automotriz de la vía. Para lograr obtener esta información, se utilizan detectores (Radelat, 1964). Los equipos de detección más utilizados en los semáforos accionados por el tránsito son cuatro (Bañón y Beviá, 2000):

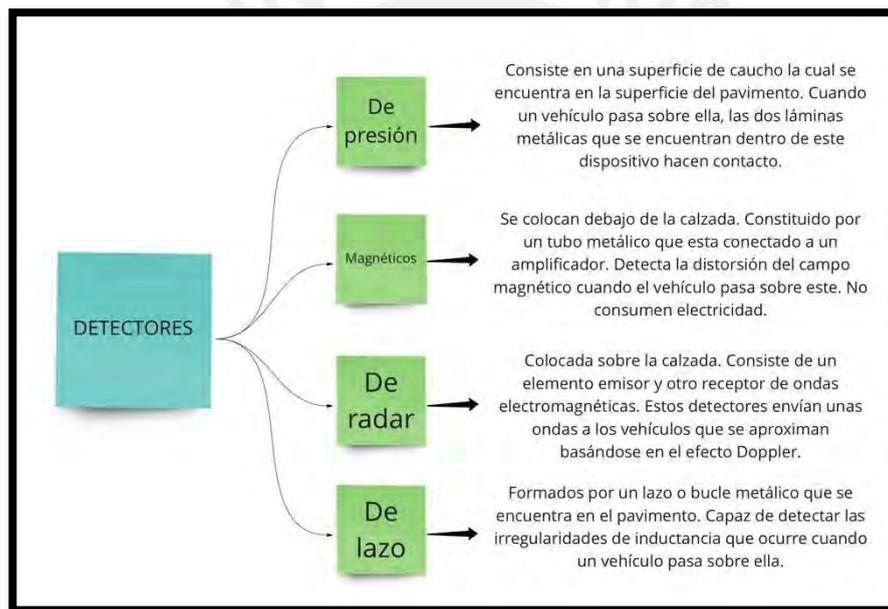


Ilustración 11. Tipos de detectores

Fuente: Adaptado de Bañón y Beviá (2000)

El funcionamiento de este tipo de semáforos se identifican por el tipo de regulador que utilicen. Debido a ello, se diferencian dos casos:

❖ Parcialmente accionados

Estos se aplican la mayoría de veces en una intersección de una vía principal y una secundaria. Asimismo, se emplean detectores especiales como: botones peatonales y sensores en la vía

secundaria para registrar el tráfico (Radelat, 1964). La aplicación de estos detectores se da cuando registra un alto volumen en la vía secundaria cambiando la luz verde de la vía principal por la luz roja, permitiendo el flujo vehicular en la vía congestionada. En este caso, solo uno o más ramales son accionados por el tránsito, pero no todos (Cal y Mayor, 2018).

❖ Totalmente accionados

Los detectores de tráfico se implementan en todas las entradas de la intersección, por lo que el control de las luces del semáforo dependerá del volumen captado (Radelat, 1964). Esta categoría analiza todos los movimientos posibles tanto en la vía principal como en la secundaria, por lo cual es un mecanismo más complejo (Bañón y Beviá, 2000).

2.3.1.2 *Semáforos especiales*

Para algunas intersecciones con características particulares se fabrican semáforos especiales, de los cuales se describen los más relevantes: semáforos portátiles, de uso temporal y de destello. Sin embargo, existe una amplia variedad como los semáforos para cruces de ferrocarril, semáforo para limitar la velocidad y semáforo para puentes levadizos (Radelat, 1964).

A. Semáforos portátiles

Este se aplica en zonas como escuelas o nidos, los cuales se usan en las horas de entrada o salida del alumnado. Se caracteriza por ser un dispositivo ligero que se utiliza por un periodo de tiempo limitado y puede ser removido con facilidad (Radelat, 1964).

B. Semáforos de uso temporal

Se utiliza de forma permanente en zonas con gran concentración vehicular como en estacionamientos de edificios industriales o estadios. Sin embargo, su funcionamiento solo iniciará a la entrada y salida de altas cantidades de vehículos, luego de este corto rango de tiempo, se mantiene apagado (Radelat, 1964).

C. Semáforo de destello

Su funcionamiento se da por una luz intermitente rojo o amarillo , el cual tiene como objetivo llamar la atención de los conductores para indicar posibles riesgos en la vía. Son apropiados para las zonas en las cuales el uso de un semáforo no está justificado para la regulación del tránsito (Cal y Mayor, 2018).

2.3.1.3 Semáforos peatonales

La instalación de semáforos peatonales dependerá del considerable volumen de transeúntes que circulan por la zona. Se puede diferenciar dos tipos:

Este dispositivo se coloca en el básculo de soporte para que los transeúntes puedan utilizarlo y les ceda el pase para continuar su desplazamiento (Bañón y Beviá, 2000). No obstante, estos se deben ubicar a más de 150 o 180 metros de otro semáforo y, de esta forma, asegurar la zona para efectuar el cruce (Radelat, 1964).

A. Pelican Crossing (*Pedestrian light – controlled*)

Este dispositivo se coloca en el básculo de soporte para que los transeúntes puedan utilizarlo y les ceda el pase para continuar su desplazamiento (Bañón y Beviá, 2000). Este consta de un botón que lo accionan los peatones para que cambie el color del semáforo y así crucen manera segura (Dextre, 2003). No obstante, estos se deben ubicar a más de 150 o 180 metros de otro semáforo y, de esta forma, asegurar la zona para efectuar el cruce (Radelat, 1964).

B. Puffin Crossing (*Pedestrian user – friendly intelligent*)

Este sistema se encuentra un paso más adelante que el Pelican pero se diferencia en que cuenta con cámaras con un sistema infrarrojo. Este tiene como objetivo detectar la presencia de los transeúntes mediante el calor corporal para interrumpir el tráfico y, reducir o incrementar el tiempo necesario para que los peatones crucen de manera calmada y segura (Dextre, 2003).



Ilustración 12. Semáforo peatonal tipo Puffin

Fuente: RAC (2020)

2.3.2 Requisitos para la instalación de semáforos

Cal y Mayor (2018) indican que se consideran 13 requisitos, de los cuales se debe verificar al menos uno de ellos antes de sugerir la instalación de un semáforo. Se explicará a continuación los cinco más relevantes en el caso de la intersección de estudio.

- **Volumen mínimo de vehículos:** En este caso, la cantidad de vehículos que circulan en la vía principal o secundaria son el factor fundamental de este requisito. En la Tabla 8 se presentan los valores calculados en una hora de un día representativo para que el uso del semáforo sea justificado.

Tabla 7. Volumen mínimo de vehículos

Fuente: Cal y Mayor (2018)

Número de carriles de circulación por acceso		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	500	150
2 o más	1	600	150
2 o más	2 o más	600	200
1	2 o más	500	200

- **Volúmenes en horas de máxima demanda:** El uso del semáforo es necesario solo durante el intervalo de tiempo con máxima demanda. Se consideran los mismos valores de la Tabla 8.
- **Volumen mínimo de peatones:** Para cumplir este requerimiento, se analizan los siguientes datos en cuatro horas de un día representativo.

Tabla 8. Consideraciones para el cumplimiento de volumen mínimo de peatones

Fuente: Adaptado de Cal y Mayor (2018)

Consideraciones	Número de automóviles de la vía principal en una hora representativa debe ser mayor o igual a 600.
	Número de automóviles de la vía principal en una hora representativa debe ser mayor o igual a 1000 si tiene una mediana de 1.20 metros de ancho.
	Número de peatones que circulan por la vía en una hora representativa sea mayor o igual a 150.

- **Amplias fluctuaciones del tránsito en ambos accesos de la intersección:** Se considera eficaz el uso de un semáforo que sea accionado por el tránsito en casos en que la cantidad de vehículos que se desplazan en las vías sean variables durante el día.

- **Interrupción del tránsito continuo:** El cumplimiento de este caso se da cuando el alto volumen de vehículos de la vía principal genera demoras en la vía secundaria e inseguridad al intentar cruzar la calle prioritaria. Los valores mínimos para este requerimiento como la cantidad de vehículos en la vía principal y secundaria, en una hora representativa, se observan en la Tabla 10.

Tabla 9. Volumen mínimo de vehículos

Fuente: Cal y Mayor (2018)

Número de carriles de circulación por acceso		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 o más	2 o más	900	100
1	2 o más	750	100

2.4 Diseño urbano inclusivo

En nuestro país, el diseño de la infraestructura vial ha tomado como eje central la comodidad para el desplazamiento de los vehículos. Además, para el diseño geométrico de las vías, tomaron como base manuales de carreteras para zonas urbanas en la mayor parte de los sectores del país. Esto se debe a que el Perú no cuenta con un manual de diseño urbano.

En este proyecto de ingeniería, se usarán manuales extranjeros para plantear un nuevo diseño de la intersección de estudio. Se tomará en cuenta aquellos que se centren principalmente en

el desplazamiento de los peatones. Asimismo, que promueva la multimodalidad de medios de transporte y la accesibilidad para personas sin autonomía utilizando criterios urbanísticos y, de esta manera, incrementar la seguridad vial de los transeúntes. Los aspectos mencionados anteriormente pueden ser englobados como “movilidad orgánica” (Cabrera, 2019).

El enfoque presentado genera diversos beneficios: incrementa la seguridad, equidad, vitalidad económica, opciones de transporte y mejora el medio ambiente (Complete Streets Design Guide, 2017).

2.4.1 Elementos fundamentales para el diseño geométrico

Los elementos de diseño geométrico están enfatizados en la seguridad, movilidad y accesibilidad para todos los modos y usuarios. En los distintos manuales analizados, se encontraron similitudes en los componentes básicos a tomar en cuenta. No obstante, en algunos casos, las dimensiones difieren. Por ello, se mostrará a continuación la comparación de las magnitudes según cada manual. En este acápite, se ha dividido los elementos según el usuario al que se encuentra dirigido: peatones, ciclistas o vehículos.

2.4.1.1 Para peatones

A. Veredas (*Sidewalks*)

Las aceras cumplen un rol vital en la vida de la ciudad ya que mejoran la conectividad y promueven la caminata (Urban Street Design Guide, 2013). El principal objetivo del diseño de veredas es proporcionar caminos continuos, seguros y accesibles para los peatones siguiendo la ruta natural de viaje (Complete Streets Design Guide, 2017).

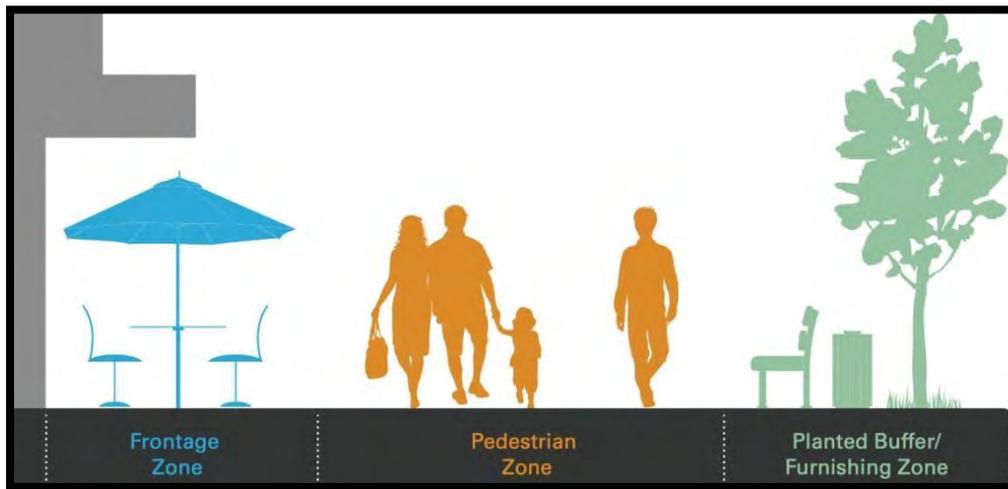


Ilustración 13. Aceras peatonales

Fuente: Complete Streets Design Guide (2017)

Tabla 10. Comparación de anchos de zona de fachada

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

ZONA DE FACHADA "Frontage Zone"		
Manual	País	Ancho (m)
Complete Streets Design Guide ¹	New Jersey	0.61
Abu Dhabi Urban Street Design Manual ²	Emiratos Árabes Unidos	0.50
Model Design Manual for Living Streets ³	Los Ángeles	0.46
Design Manual for Urban Roads and Streets ⁴	Irlanda	1.20

¹ Complete Streets Design Guide (2017)

² Abu Dhabi Urban Street Design Manual (2021)

³ Model Design Manual for Living Streets (2011)

⁴ Design Manual for Urban Roads and Streets (2013)

Tabla 11. Comparación de anchos de zona peatonal

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

ZONA PEATONAL "Pedestrian Zone"			
Manual	País	Ancho (m)	
Urban Street Design Guide ¹	Estados Unidos	Zona Comercial	2.44 - 3.66
		Zona Residencial	1.52 - 2.13
Street Design Manual ²	New York City	1.52 - 2.44	
Complete Streets Design Guide ³	New Jersey	1.52	
Abu Dhabi Urban Street Design Manual ⁴	Emiratos Árabes Unidos	2.20	
Model Design Manual for Living Streets ⁵	Los Ángeles	1.83	
Design Manual for Urban Roads and Streets ⁶	Irlanda	1.80	

1 Urban Street Design Guide (2013)

2 Street Design Manual (2020)

3 Complete Streets Design Guide (2017)

4 Abu Dhabi Urban Street Design Manual (2021)

5 Model Design Manual for Living Streets (2011)

6 Design Manual for Urban Roads and Streets (2013)

Tabla 12. Comparación de anchos de zona de mobiliario

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

ZONA DE MOBILIARIO "Furnishing Zone"			
Manual	País	Ancho (m)	
Complete Streets Design Guide ¹	New Jersey	0.76	
Abu Dhabi Urban Street Design Manual ²	Emiratos Árabes Unidos	1.50 - 1.80	
Model Design Manual for Living Streets ³	Los Angeles	Mínimo	1.52
		En paraderos	1.83 - 2.44
Design Manual for Urban Roads and Streets ⁴	Irlanda	1.50 - 2.00	

1 Complete Streets Design Guide (2017)

2 Abu Dhabi Urban Street Design Manual (2021)

3 Model Design Manual for Living Streets (2011)

4 Design Manual for Urban Roads and Streets (2013)

B. Cebra peatonal (*Conventional crosswalk*)

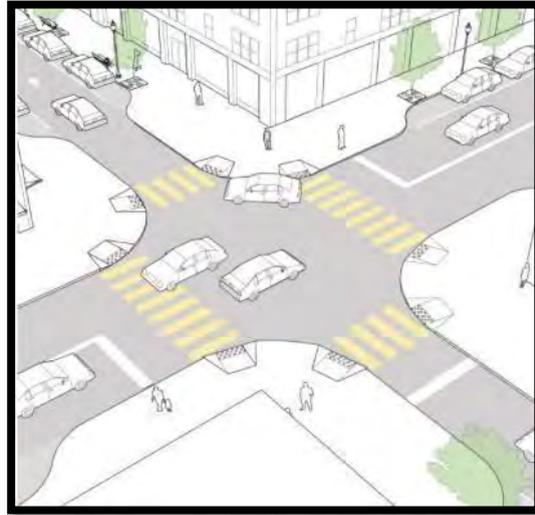


Ilustración 14. Cebra peatonal

Fuente: *Urban Street Design Guide (2021)*

Tabla 13. Comparación de longitudes de cebra peatonal

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

CEBRA PEATONAL "Conventional Crosswalk"		
Manual	País	Longitud (m)
Street Design Manual ¹	New York City	3.10
Complete Streets Design Guide ²	New Jersey	1.83
Abu Dhabi Urban Street Design Manual ³	Emiratos Árabes Unidos	3.00 – 5.00

¹ *Street Design Manual (2020)*

² *Complete Streets Design Guide (2017)*

³ *Abu Dhabi Urban Street Design Manual (2021)*

Tabla 14. Comparación de distancia de la línea de parada

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

LÍNEA DE PARADA "Advanced Stop Bar"			
Manual	País	Longitud (m)	
Urban Street Design Guide ¹	Estados Unidos	Mínimo	2.44
Complete Streets Design Guide ²	New Jersey	Mínimo	1.22
Abu Dhabi Urban Street Design Manual ³	Emiratos Árabes Unidos	2.00 – 3.00	

1 Urban Street Design Guide (2013)

2 Complete Streets Design Guide (2017)

3 Abu Dhabi Urban Street Design Manual (2021)

C. Isla peatonal (Pedestrian safety islands)

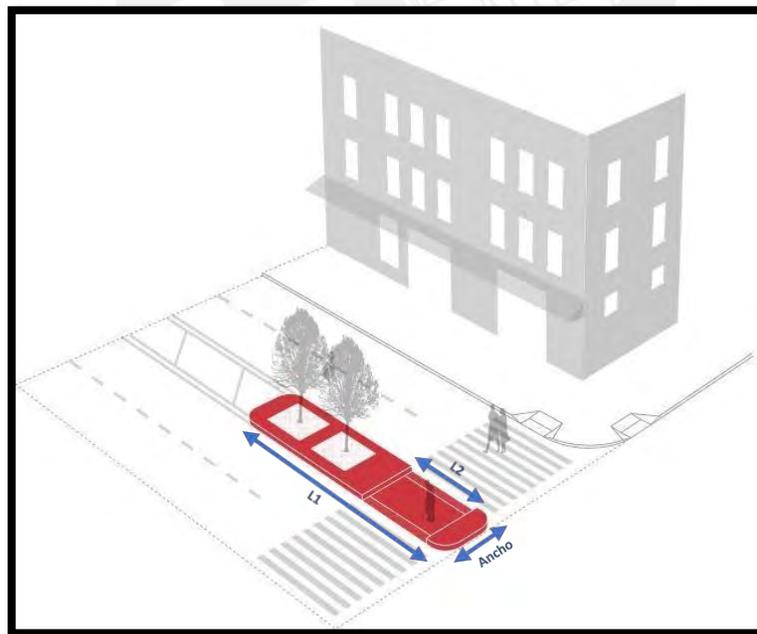


Ilustración 15. Isla peatonal

Fuente: Adaptado del Street Design Manual (2020)

Tabla 15. Comparación de anchos de la isla peatonal

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

ISLA PEATONAL "Pedestrian Safety Island"			
Manual	País	Ancho (m)	
Urban Street Design Guide ¹	Estados Unidos	Mínimo	1.83
		Recomendable	2.44 – 3.05
Street Design Manual ²	New York City	Mínimo	2.13
Complete Streets Design Guide ³	New Jersey	Mínimo	1.83
		Recomendable	2.44 – 3.05
Abu Dhabi Urban Street Design Manual ⁴	Emiratos Árabes Unidos	Mínimo	2.00 – 3.00
Model Design Manual for Living Streets ⁵	Los Ángeles	Mínimo	1.83

1 Urban Street Design Guide (2013)

2 Street Design Manual (2020)

3 Complete Streets Design Guide (2017)

4 Abu Dhabi Urban Street Design Manual (2021)

5 Model Design Manual for Living Streets (2011)

Tabla 16. Comparación de longitudes de la isla peatonal

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

ISLA PEATONAL "Pedestrian Safety Island"				
Manual	País	Longitud 1 (m)		Longitud 2 (m)
Urban Street Design Guide ¹	Estados Unidos	Ideal	12.2	Mismo ancho que la cebra peatonal
		Mínimo	1.83	
Complete Streets Design Guide ²	New Jersey	Recomendable	2.44 - 3.05	Mismo ancho que la cebra peatonal
		Mínimo	1.83	
Abu Dhabi Urban Street Design Manual ³	Emiratos Árabes Unidos	Mínimo	5.00 - 6.00	Mismo ancho que la cebra peatonal
Model Design Manual for Living Streets ⁴	Los Ángeles	Mínimo	1.83	Mismo ancho que la cebra peatonal

1 Urban Street Design Guide (2013)

2 Complete Streets Design Guide (2017)

3 Abu Dhabi Urban Street Design Manual (2021)

4 Model Design Manual for Living Streets (2011)

D. Rampa peatonal (*Pedestrian ramps*)

Las rampas peatonales son esenciales para brindar acceso a peatones de todas las edades y habilidades, no solo se benefician aquellos transeúntes sin autonomía sino también adultos mayores, niños o aquellos con coches, carritos o carretillas de reparto. El buen diseño de las rampas de acera concede una transición suave desde el nivel de la acera hasta el nivel del pavimento (*Complete Streets Design Guide*, 2017). Para este elemento, se tomarán en cuenta manuales de accesibilidad de distintos países como se muestran en la Tabla 17.

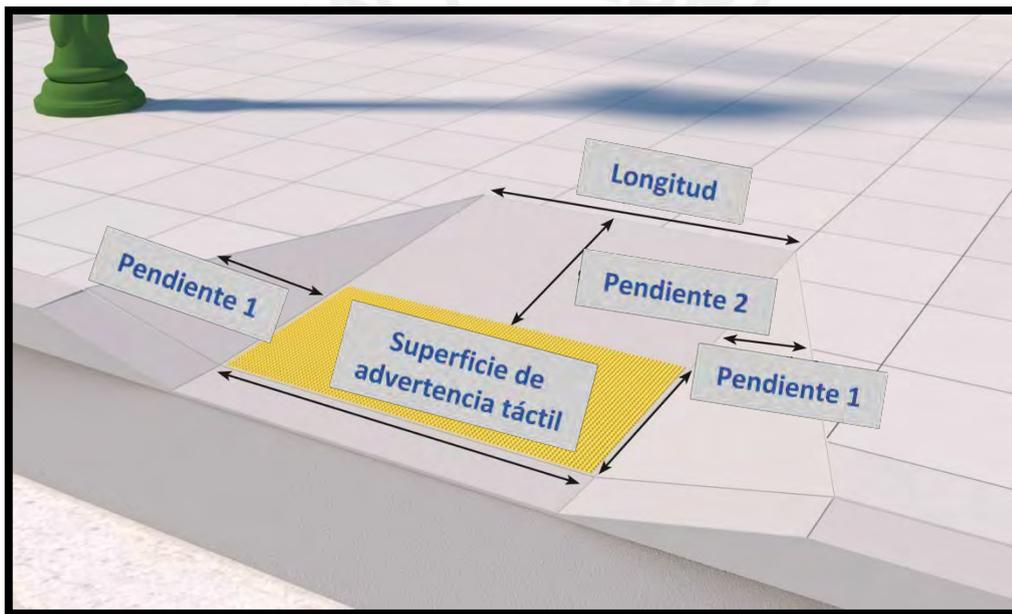


Ilustración 16. Rampas peatonales

Fuente: Adaptado del *Complete Streets Design Guide* (2017)

Tabla 17. Comparación de dimensiones de rampa peatonal

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

RAMPA PEATONAL "Pedestrian Ramps"				
Manual	País	Longitud (m)	Pendiente 1 (H/L)	Pendiente 2 (H/L)
ADA Standards for Accessible Design ¹	Estados Unidos	Mínimo 0.90	Máximo 10%	Máximo 8.3%
Manual de Normas Técnicas de Accesibilidad ²	México	No precisa	Máximo 8%	Máximo 6%
Manual de Accesibilidad Universal ³	Chile	Mínimo 1.20	Máximo 12%	Máximo 12%
Complete Streets Design Guide ⁴	New Jersey	Mínimo 1.50	Máximo 10%	Máximo 8.3%
Abu Dhabi Urban Street Design Manual ⁵	Emiratos Árabes Unidos	3.00 - 5.00	Máximo 10%	Máximo 8.3%

¹ ADA Standards for Accessible Design (2010)

² Manual de Normas Técnicas de Accesibilidad (2016)

³ Manual de Accesibilidad Universal (2010)

⁴ Complete Streets Design Guide (2017)

⁵ Abu Dhabi Urban Street Design Manual (2021)

2.4.1.2 Para ciclistas

Es importante brindar facilidades a los ciclistas para incrementar el ciclismo como un modo de transporte. Estas instalaciones deben ser bien diseñadas e implementadas para garantizar que sean seguras, cómodas y útiles para los usuarios (Complete Streets Design Guide, 2017)

A. Ancho de carril (*Bicycle Lane*)

Ilustración 17. Carril para bicicletas

Fuente: Adaptado de Streetmix (2021)

Tabla 18. Comparación de ancho de carril para bicicletas

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

CARRIL PARA BICICLETAS "Bicycle Lane"			
Manual	País	Ancho (m)	
Urban Street Design Guide ¹	Estados Unidos	1.83	
Street Design Manual ²	New York City	Mínimo	1.22
Complete Streets Design Guide ³	New Jersey	Mínimo	1.52
		Recomendable	1.83 - 2.13
Abu Dhabi Urban Street Design Manual ⁴	Emiratos Árabes Unidos	Mínimo	2.00
Model Design Manual for Living Streets ⁵	Los Ángeles	Mínimo	1.52

1 Urban Street Design Guide (2013)

2 Street Design Manual (2020)

3 Complete Streets Design Guide (2017)

4 Abu Dhabi Urban Street Design Manual (2021)

5 Model Design Manual for Living Streets (2011)

B. Separación de carril de bicicleta (*Buffered Bicycle Lanes*)

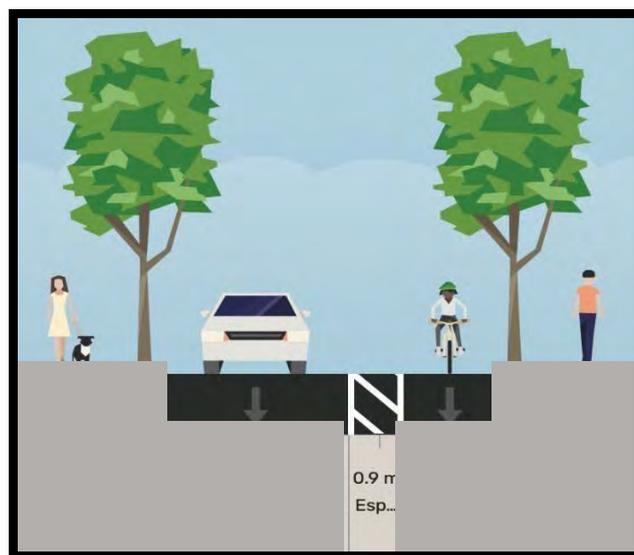


Ilustración 18. Separación de carril para bicicletas

Fuente: Adaptado de Streetmix (2021)

Tabla 19. Comparación de anchos de separación de carril para bicicletas

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

SEPARACIÓN DE CARRIL PARA BICICLETAS " <i>Buffered Bicycle Lane</i> "		
Manual	País	Ancho (m)
Urban Street Design Guide ¹	Estados Unidos	0.91 - 1.22
Street Design Manual ²	New York City	0.91
Complete Streets Design Guide ³	New Jersey	1.22

¹ Urban Street Design Guide (2013)

² Street Design Manual (2020)

³ Complete Streets Design Guide (2017)

2.4.1.3 Para vehículos

A. Ancho de carril

Se ha demostrado, en investigaciones recientes, que vías más angostas pueden gestionar las velocidades de forma eficaz sin reducir la seguridad. Además, reducen las distancias de cruce de los peatones y son más baratos de construir (Complete Streets Design Guide, 2017).

❖ Para automóviles (*Vehicle Lane*)

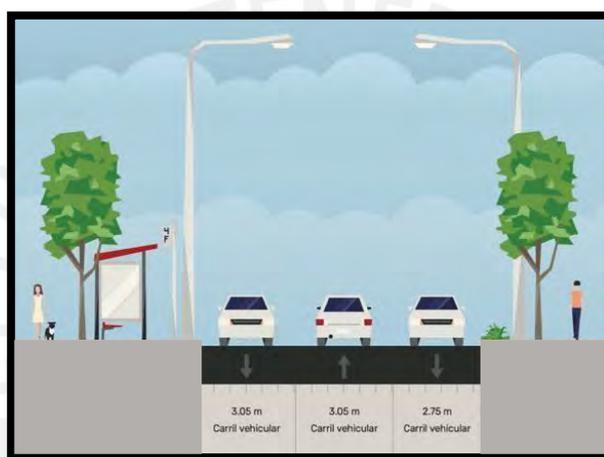


Ilustración 19. Carriles para automóviles

Fuente: Adaptado de Streetmix (2021)

Tabla 20. Comparación de anchos de carril para automóviles

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

CARRIL PARA AUTOMÓVILES "Vehicle Lane"		
Manual	País	Ancho (m)
Urban Street Design Guide ¹	Estados Unidos	3.05
Complete Streets Design Guide ²	New Jersey	3.05
Abu Dhabi Urban Street Design Manual ³	Emiratos Árabes Unidos	3.30
Model Design Manual for Living Streets ⁴	Los Ángeles	2.74 - 3.05

¹ Urban Street Design Guide (2013)

² Complete Streets Design Guide (2017)

³ Abu Dhabi Urban Street Design Manual (2021)

⁴ Model Design Manual for Living Streets (2011)

❖ Para buses (*Bus Lane*)

Ilustración 20. Carril para bus
Fuente: Adaptado de Streetmix (2021)

Tabla 21. Comparación de ancho de carril para buses

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

CARRIL PARA BUSES "Bus Lane"			
Manual	País		Ancho (m)
Urban Street Design Guide ¹	Estados Unidos	Offset Bus Lane	3.35
		Curbside Bus Lane	3.05
Street Design Manual ²	New York City	Offset Bus Lane	3.35 - 3.66
		Curbside Bus Lane	3.35 - 4.27
Complete Streets Design Guide ³	New Jersey		3.35
Abu Dhabi Urban Street Design Manual ⁴	Emiratos Árabes Unidos		3.50
Model Design Manual for Living Streets ⁵	Los Ángeles		3.35

¹ Urban Street Design Guide (2013)

² Street Design Manual (2020)

³ Complete Streets Design Guide (2017)

⁴ Abu Dhabi Urban Street Design Manual (2021)

⁵ Model Design Manual for Living Streets (2011)

❖ Para estacionamiento (*Parking Lane*)

Ilustración 21. Carril para estacionamiento

Fuente: Adaptado de Streetmix (2021)

Tabla 22. Comparación de anchos de carril para estacionamiento

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

CARRIL PARA ESTACIONAMIENTO “ <i>Parking Lane</i> ”		
Manual	País	Ancho (m)
Urban Street Design Guide ¹	Estados Unidos	2.13 - 2.74
Abu Dhabi Urban Street Design Manual ²	Emiratos Árabes Unidos	2.50
Model Design Manual for Living Streets ³	Los Ángeles	2.13 – 2.43

¹ Urban Street Design Guide (2013)

² Abu Dhabi Urban Street Design Manual (2021)

³ Model Design Manual for Living Streets (2011)

B. Radio efectivo de la acera (*Corner radio*)

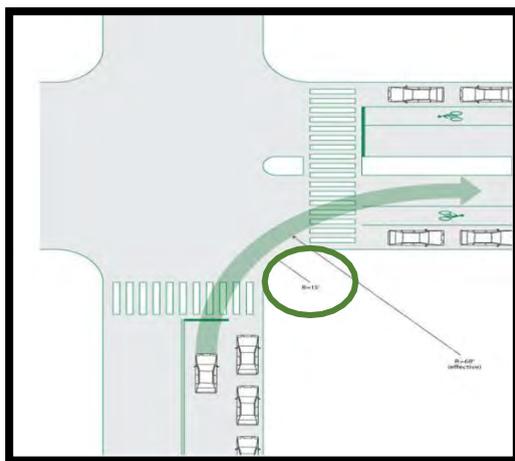


Ilustración 22. Radio efectivo de la acera

Fuente: *Urban Street Design Guide (2021)*

Tabla 23. Comparación de radio efectivo de acera

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

RADIO EFECTIVO DE LA ACERA "Corner Radio"			
Manual	País	Radio (m)	
Urban Street Design Guide ¹	Estados Unidos	3.05 - 4.57	
Complete Streets Design Guide ²	New Jersey	4.57	
Abu Dhabi Urban Street Design Manual ³	Emiratos Árabes Unidos	Existen giros	5.00
		No existen giros	0.50
Model Design Manual for Living Streets ⁴	Los Ángeles	4.57	

¹ *Urban Street Design Guide (2013)*

² *Complete Streets Design Guide (2017)*

³ *Abu Dhabi Urban Street Design Manual (2021)*

⁴ *Model Design Manual for Living Streets (2011)*

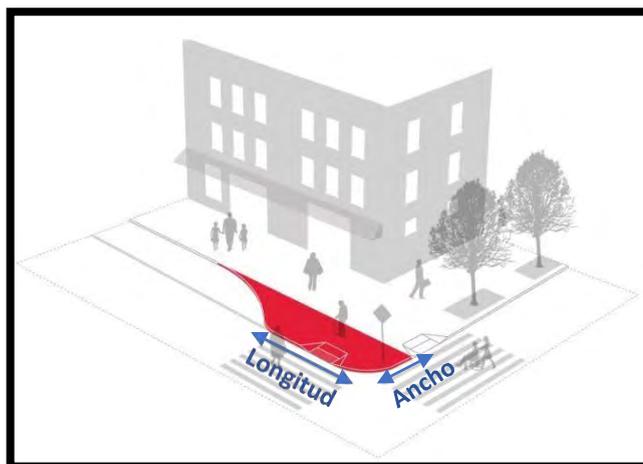
C. Extensión de curva (*Curb extension*)

Ilustración 23. Extensión de curva

Fuente: Adaptado del *Street Design Manual* (2020)

Tabla 24. Comparación de dimensiones de extensión de curva

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

EXTENSIÓN DE CURVA “Curb Extension”			
Manual	País	Ancho (m)	Longitud (m)
Urban Street Design Guide ¹	Estados Unidos	0.30 - 0.61 más angosto que el carril de estacionamiento	Mínimo: misma longitud de la cebra peatonal
Street Design Manual ²	New York City	0.61 más angosto que el carril de estacionamiento	Mínimo: misma longitud de la cebra peatonal
Complete Streets Design Guide ³	New Jersey	1.83	Desde 1.83 hasta 6.10
Abu Dhabi Urban Street Design Manual ⁴	Emiratos Árabes Unidos	2.00	Mínimo: misma longitud de la cebra peatonal
Model Design Manual for Living Streets ⁵	Los Ángeles	2.13	Mínimo: misma longitud de la cebra peatonal

1 *Urban Street Design Guide* (2013)2 *Street Design Manual* (2020)3 *Complete Streets Design Guide* (2017)4 *Abu Dhabi Urban Street Design Manual* (2021)5 *Model Design Manual for Living Streets* (2011)

❖ *Gateway*

Este elemento es un tipo de extensión de curva. Se considera un “*Gateway*” cuando se encuentran dos extensiones de curva en una intersección como se muestra en la Figura 22.

Sus dimensiones por cada extensión de curva son las mismas que se presentaron en la Tabla 25.

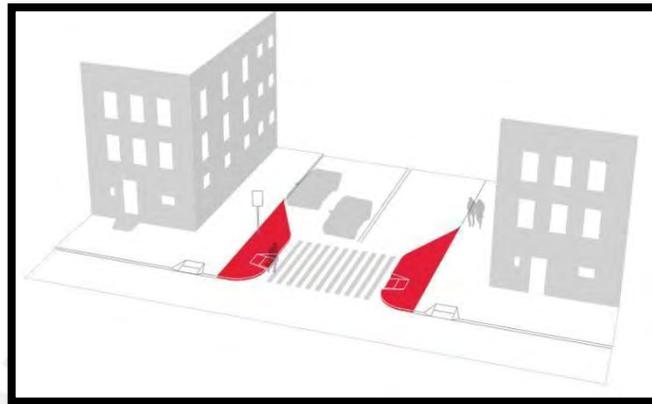


Ilustración 24. Gateway

Fuente: Street Design Manual (2020)

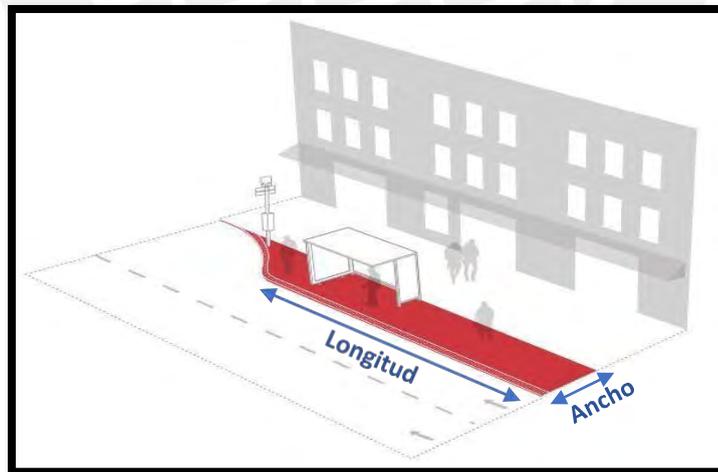
❖ *Paradero de bus (Bus bulbs)*

Ilustración 25. Paradero de bus

Fuente: Adaptado del Street Design Manual (2020)

Tabla 25. Comparación de dimensiones de extensión de curva para paradero de bus

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

EXTENSIÓN DE CURVA PARA PARADERO DE BUS "Bus Bulbs"					
Manual	País	Ancho (m)		Longitud (m)	
Urban Street Design Guide ¹	Estados Unidos	Mínimo	1.83	Poca frecuencia	9.14
		Recomendable	2.43 - 3.05	Alta frecuencia	42.67
Street Design Manual ²	New York City	0.61 más angosto que el carril de estacionamiento		Poca frecuencia	9.14
Complete Streets Design Guide ³	New Jersey	Mínimo	1.21	Poca frecuencia	9.14
		0.30 - 0.61 más angosto que el carril de estacionamiento			
Model Design Manual for Living Streets ⁴	Los Ángeles	2.13		Poca frecuencia	16.76
				Alta frecuencia	36.58

¹ Urban Street Design Guide (2013)

² Street Design Manual (2020)

³ Complete Streets Design Guide (2017)

⁴ Model Design Manual for Living Streets (2011)

D. Elemento de control de velocidad vertical (*Vertical speed control element*)

Se ha demostrado que estos elementos gestionan la circulación de los vehículos y reducen su velocidad, creando un entorno más seguro y atractivo para los peatones (Urban Street Design Guide, 2013).

❖ Reductor de velocidad elevado (*Speed table*)

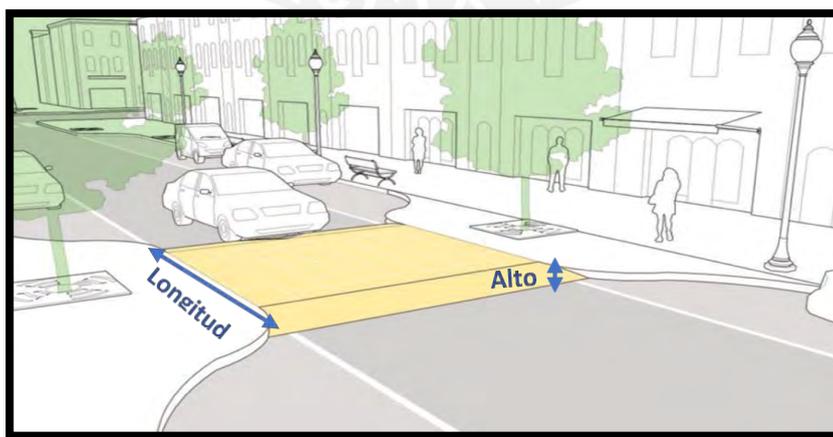


Ilustración 26. Reductor de velocidad elevado

Fuente: Adaptado del Urban Street Design Guide (2013)

Tabla 26. Comparación de dimensiones de reductor de velocidad elevado

Fuente: Adaptado de los manuales mencionados (2021)

REDUCTOR DE VELOCIDAD ELEVADO "Speed Table"			
Manual	País	Longitud (m)	Alto (m)
Urban Street Design Guide ¹	Estados Unidos	6.70	0.08 - 0.09
Street Design Manual ²	New York City	3.05 - 4.57	0.08 - 0.10
Complete Streets Design Guide ³	New Jersey	6.71	0.08 - 0.09
Abu Dhabi Urban Street Design Manual ⁴	Emiratos Árabes Unidos	no precisa	0.15

¹ Urban Street Design Guide (2013)

² Street Design Manual (2020)

³ Complete Streets Design Guide (2017)

⁴ Abu Dhabi Urban Street Design Manual (2021)

3 METODOLOGÍA

En la presente tesis se busca, a través de diversas etapas, obtener un nuevo diseño vial urbano que sea óptimo ante las necesidades de los usuarios de la zona. Por ello, en este tercer acápite, se mostrarán y detallarán los pasos a seguir tomando como base el procedimiento del modelo microscópico del *Federal Highway Administration* (2004) como se distingue de manera resumida en la ilustración 27.

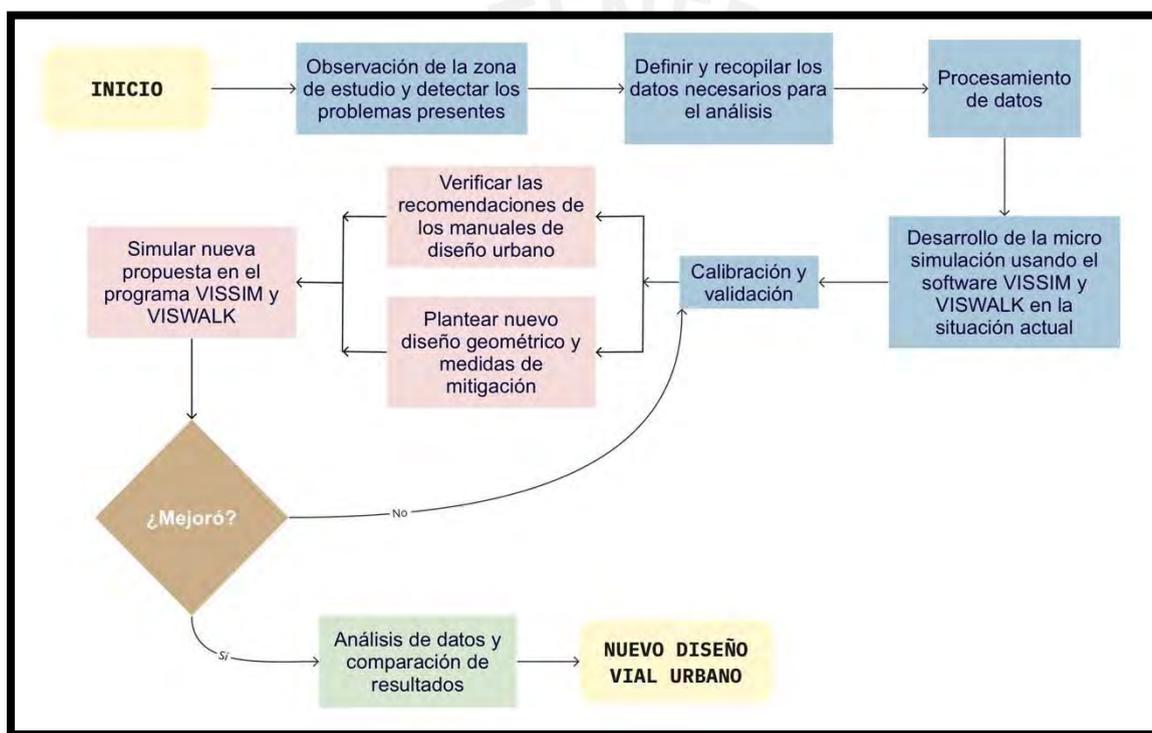


Ilustración 27. Diagrama de flujo de rediseño de una infraestructura vial urbana

Fuente: Adaptado del *Federal Highway Administration* (2004)

3.1 Observación del área de estudio

La zona de estudio se encuentra en el cruce de la avenida Túpac Amaru con la calle Miguel Grau en el distrito de Carabayllo como se muestra en la ilustración 28. Para comenzar, se observará el área desde un lugar estratégico para poder analizar el panorama completo. En este caso, se tendrá acceso a una vivienda de 4 pisos que se encuentra en la misma

intersección y, se recolectarán los datos desde la azotea ya que nos brinda un amplio rango de visión. Por un lado, este procedimiento se realizará el domingo 22 de setiembre desde las 9 a.m. hasta el mediodía para identificar los distintos escenarios que dependen en su mayoría del mercado mayorista El Progreso. Luego de estas horas de observación, se notó que la hora con mayor afluencia de vehículos y peatones era desde las 9:35 hasta las 10:35 de la mañana. Finalmente, se detectarán y describirán los problemas encontrados en dicha intersección.

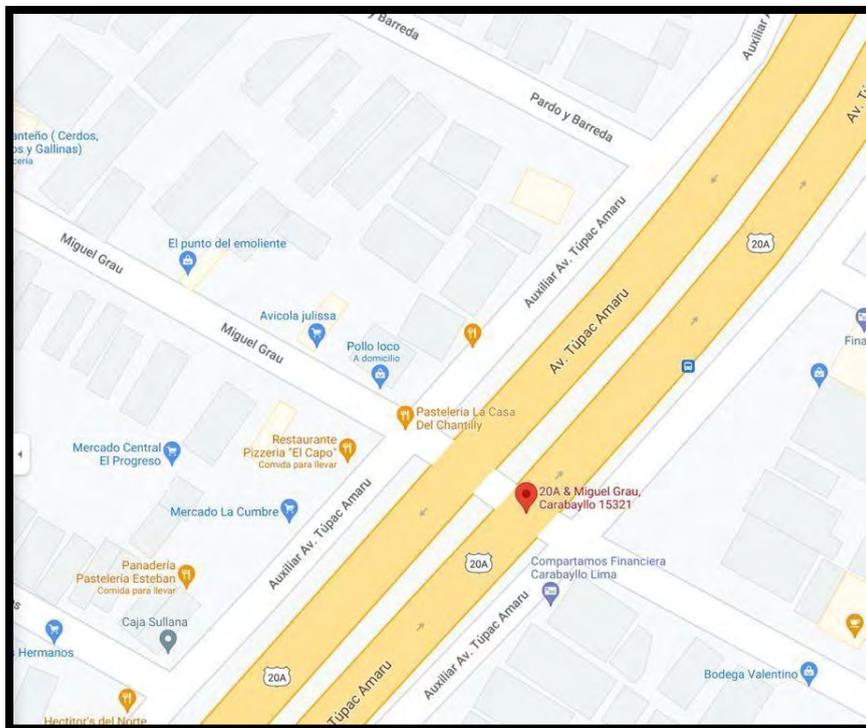


Ilustración 28. Intersección de estudio

Fuente: Google Maps (2021)

3.2 Definir y recopilar datos para el análisis

Se buscará la obtención de la información relevante para desarrollar un modelo que cumpla las necesidades de los transeúntes, conductores y vecinos de la zona.

Se definen como datos necesarios el flujo vehicular, cantidad de peatones, tipos de vehículos que circulan por la zona, longitud de cola, tiempo de demora y recorrido peatonal. Por lo cual,

se elegirán herramientas de trabajo como un dron, cinta métrica, libreta, cronómetro y lista de chequeo.

3.2.1 Filmación de la intersección

Esta es una actividad esencial para el proyecto, ya que esta filmación contiene la demanda de vehículos, el comportamiento de los transeúntes y su flujo, las longitudes de cola, los tipos de vehículos que transitan en la zona entre otros detalles relevantes. Se filmará usando un dron del modelo Mavic Pro 2 marca DJI con video de alta calidad como se muestra en la siguiente figura tomando una hora representativa del día para poder calibrar y validar el modelo base.

Igualmente, se tomarán fotografías de la intersección de estudio y de la calle Miguel Grau desde la azotea de la casa de un vecino ubicada en la misma intersección de estudio para no pasar por alto ningún detalle.



Ilustración 29. Dron Mavic Pro 2 DJI

Fuente: Propia

3.2.2 Geometría del Sistema

La geometría de la intersección se registró con los planos obtenidos por la municipalidad de Carabayllo de la zona aledaña a la intersección. Sin embargo, el plano carecía de detalles importantes como el ancho de cada carril por vía, los radios de la acera o el ancho de las veredas; por lo tanto, usaremos una cinta métrica y mediremos las distancias correspondientes para complementar el plano .



Ilustración 30. Cinta métrica y cuaderno de notas utilizados

Fuente: Propia

3.2.3 Demanda vehicular

En este caso, se efectuará el conteo directamente haciendo uso de la grabación obtenida de la zona de estudio. Para ello, se emplea el análisis de media hora representativa desde las 10:05 hasta las 10:35 de la mañana. La toma de estos datos se realizará diferenciado el tipo de vehículos como se muestra en las diferentes tablas a continuación. Además, se clasificarán por los distintos movimientos que realicen desde la entrada de la intersección hasta su destino, lo cual varía dependiendo de cada sector.

Tabla 27. Formato de conteo de vehículos del Sector 1

Fuente: Propia (2021)

SECTOR 1									
Hora	Mov	Demanda Vehicular							
		Auto	Camión	Bus	Micro	Combi	Motocicleta	Bicicleta	Mototaxi
10:05 –									
10:35									
a.m.									
Total									

Tabla 28. Formato de conteo de vehículos del Sector 2

Fuente: Propia (2021)

SECTOR 2									
Hora	Mov	Demanda Vehicular							
		Auto	Camión	Bus	Micro	Combi	Motocicleta	Bicicleta	Mototaxi
10:05 –									
10:35									
a.m.									
Total									

Tabla 29. Formato de conteo de vehículos del Sector 3

Fuente: Propia (2021)

SECTOR 3									
Hora	Mov	Demanda Vehicular							
		Auto	Camión	Bus	Micro	Combi	Motocicleta	Bicicleta	Mototaxi
10:05 –									
10:35									
a.m.									
Total									

Tabla 30. Formato de conteo de vehículos del Sector 4

Fuente: Propia (2021)

SECTOR 4									
Hora	Mov	Demanda Vehicular							
		Auto	Camión	Bus	Micro	Combi	Motocicleta	Bicicleta	Mototaxi
10:05 –	↻								
10:35	↻								
a.m.	↻								
Total									

Tabla 31. Formato de conteo de vehículos del Sector 5

Fuente: Propia (2021)

SECTOR 5									
Hora	Mov	Demanda Vehicular							
		Auto	Camión	Bus	Micro	Combi	Motocicleta	Bicicleta	Mototaxi
	↻								
10:05 –	↻								
10:35	↻								
a.m.	↻								
Total									

3.2.4 Demanda peatonal

Teniendo en cuenta la misma idea que se usó para calcular el aforo vehicular, se tomará datos de la circulación de transeúntes y su tipo de recorrido en los tres cruces que identificamos en la intersección. Asimismo, notaremos las líneas de desplazamiento que originen los usuarios según sus necesidades para tomarlas en cuenta en el posible diseño. Se usará un formato que clasifique a los peatones según el movimiento que utilicen como se muestra a continuación.

Tabla 32. Formato de conteo peatonal

Fuente: Propia (2021)

DEMANDA PEATONAL				
Hora	Movimiento	A	B	C
10:05 – 10:35 a.m.				

3.2.5 Tiempo de recorrido vehicular y peatonal

En la zona de recolección de datos, se designó un sector a cada vía que converge en la intersección como se muestra en la siguiente figura. Se medirá el tiempo promedio en el que los vehículos recorren distancias conocidas, en este caso, marcadas y medidas previamente haciendo uso de una cinta métrica. Para el cálculo del tiempo se usará un cronómetro y se tomará el registro de los vehículos según su clasificación para obtener un promedio. Estos datos nos ayudarán a obtener mayor precisión en el modelo base.

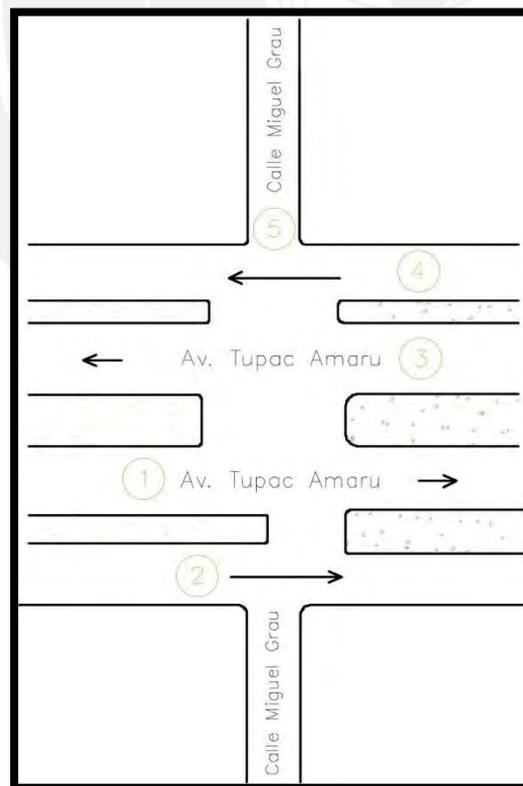


Ilustración 31. Intersección de estudio dividida en sectores

Fuente: Propia (2021)

3.2.6 Lista de chequeo

Esta es una herramienta de registro de datos, en la cual se utilizará un formato preparado con la que se chequean distintos elementos de la intersección a estudiar. Algunos de los factores a considerar en esta lista son el estado del pavimento, la existencia de señalizaciones horizontales y verticales, tipos de incidentes en la zona, estado actual de la infraestructura vial, entre otros datos que se consideren relevantes.

3.3 Modelo de la situación actual

Con los datos obtenidos en campo y usando el programa VISSIM y VISWALK, se inicia el modelamiento de la situación encontrada. El procedimiento a seguir se indica paso a paso en el siguiente acápite que solo muestra el modelo base con los valores de vehículos y peatones recolectados. Cabe resaltar que este modelo debe ser verificado, calibrado y validado. Por ello, se extrajeron datos en dos días y horarios distintos, usando uno para calibrar y otro para validar este proceso.

3.4 Modelo de la nueva propuesta

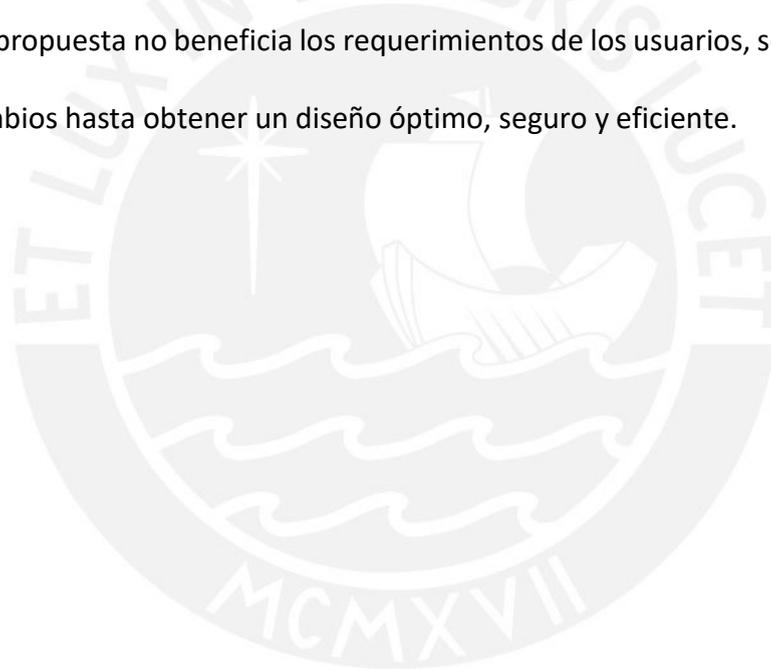
Como se planteó al inicio de la tesis, nuestro proyecto tiene como propósito presentar un nuevo diseño vial que mejore el funcionamiento de la zona de estudio. Por consiguiente, se tomará en cuenta los problemas detectados y las diferentes necesidades de los usuarios.

Se iniciará analizando el diseño geométrico de la intersección desde el día de la observación. Para realizar los cambios necesarios, se tomará como base las recomendaciones de los distintos manuales mencionados en la sección del marco teórico. Luego, se implementarán medidas de mitigación que ayuden a incrementar el rendimiento de la intersección y, para

corroborar la actividad del nuevo modelo, se usará la micro simulación usando el programa VISSIM. El procedimiento a seguir es igual al mencionado en el acápite 3.1.4.

3.5 Análisis y comparación de resultados

Al simular la nueva propuesta, se analizará los resultados que nos arroje el software usando algunos parámetros como la longitud de cola, tiempo de recorrido vehicular y peatonal y velocidad de desplazamiento. Estos valores nos permitirán comparar la situación original y la nueva propuesta de manera estadística con el programa *StatKey*. Finalmente, al obtener los resultados, si la propuesta no beneficia los requerimientos de los usuarios, se volverá a revisar y ajustar los cambios hasta obtener un diseño óptimo, seguro y eficiente.



4 PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO

En este acápite se mostrarán los datos obtenidos en el campo que se procesaron debidamente y se detallarán a continuación.

4.1 Grabación

Este paso se realizó el día 5 de setiembre ya que, como indicamos anteriormente, el proceso de observación se culminó dos semanas antes. El inicio de la grabación fue desde las 9:35 hasta las 10:05 de la mañana. Esto fue posible por la ubicación estratégica en la intersección que nos brindó visibilidad para recopilar los datos con facilidad como se muestra en la siguiente imagen.



*Ilustración 32. Grabación de intersección de estudio
Fuente: Propia (2021)*

4.2 Geometría de la intersección

La geometría encontrada en campo, fue modelada en el programa AutoCAD y se muestra en la siguiente figura. Los valores de las longitudes fueron medidas manualmente para obtener mayor precisión con los cambios ocurridos en los últimos años.

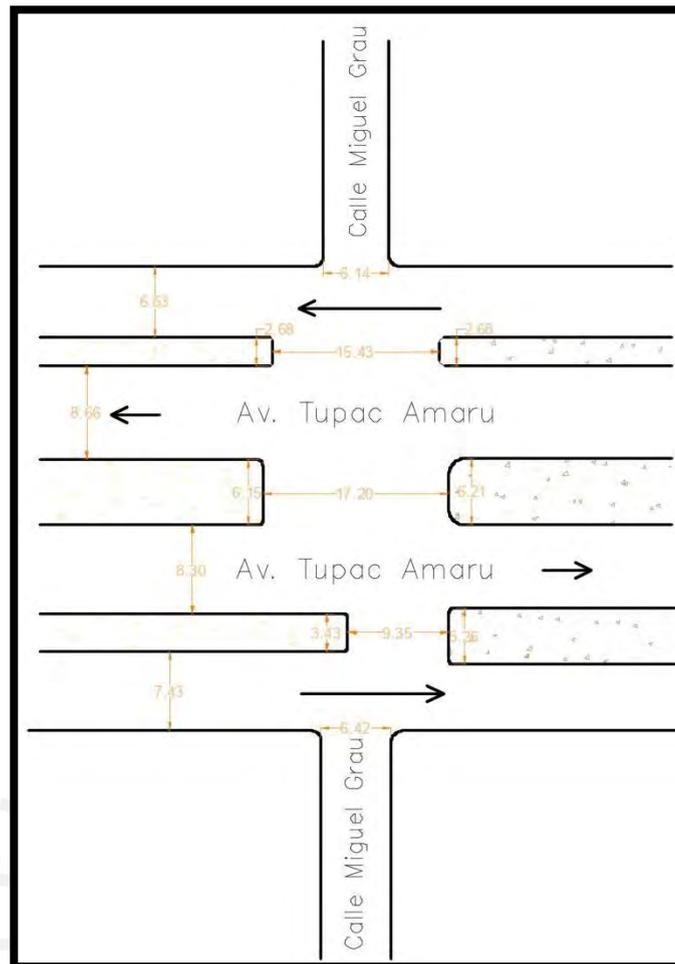


Ilustración 33. Geometría de la intersección de estudio en AutoCAD
Fuente: Propia (2021)

4.3 Aforo vehicular

Se presenta el conteo por cada uno de los cinco sectores diferenciando el tipo de vehículo en cada caso. Estos resultados fueron recopilados en un intervalo de 30 minutos como se mencionó anteriormente. Cabe resaltar que en el transcurso de tiempo observado, no se detectó la presencia de bicicletas que circulen por la intersección.

Tabla 33. Cantidad de vehículos en el sector 1

Fuente: Propia (2021)

Tipos de vehículos	SECTOR 1
Auto	821
Camión	33
Bus	174
Micro	207
Combi	182
Motocicleta	41
Mototaxi	91
TOTAL	1550

Tabla 34. Cantidad de vehículos en el sector 2

Fuente: Propia (2021)

Tipos de vehículos	SECTOR 2
Auto	209
Camión	0
Bus	51
Micro	130
Combi	115
Motocicleta	29
Mototaxi	166
TOTAL	700

Tabla 35. Cantidad de vehículos en el sector 3

Fuente: Propia (2021)

Tipos de vehículos	SECTOR 3
Auto	249
Camión	4
Bus	37
Micro	53
Combi	56
Motocicleta	21
Mototaxi	32
TOTAL	452

Tabla 36. Cantidad de vehículos en el sector 4

Fuente: Propia (2021)

Tipos de vehículos	SECTOR 4
Auto	17
Camión	0
Bus	1
Micro	0
Combi	7
Motocicleta	4
Mototaxi	29
TOTAL	58

Tabla 37. Cantidad de vehículos en el sector 5

Fuente: Propia (2021)

Tipos de vehículos	SECTOR 5
Auto	5
Camión	0
Bus	0
Micro	0
Combi	2
Motocicleta	9
Mototaxi	68
TOTAL	84

Finalmente, se presenta una gráfica con la cantidad total de vehículos contabilizados según el tipo de transporte en toda la intersección de estudio como se nota a continuación.

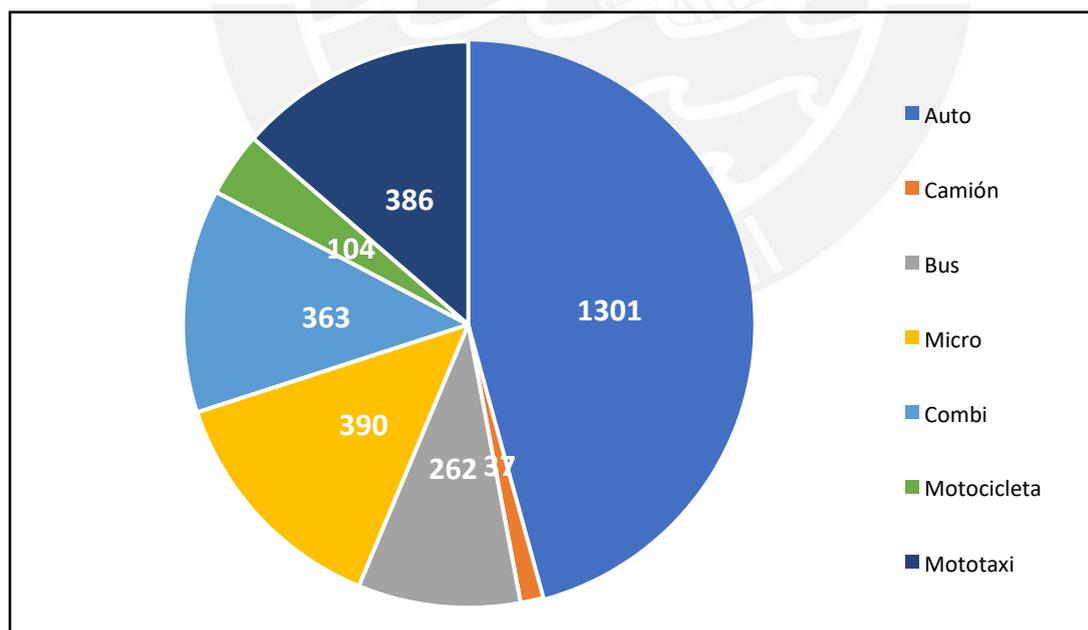


Ilustración 34. Conteo por cada tipo de vehículo en la intersección

Fuente: Propia (2021)

4.4 Aforo peatonal

Para los datos recolectados del número de peatones se determinaron tres sectores: A, B y C. Estos se encuentran paralelos a la Calle Miguel Grau y líneas de deseo que se mostrarán a continuación en la siguiente figura de la intersección estudiada. Por otro lado, se realizó el conteo manual en la Calle Miguel Grau por falta de recursos y porque esta se encuentra clausurada para el pase de vehículos. Se obtuvo la cantidad de 1500 personas aproximadamente en la calle mencionada.



Ilustración 35. Sectorización peatonal en la intersección de estudio

Fuente: Propia (2021)

Tabla 38. Conteo peatonal según sectores

Fuente: Propia (2021)

Tipo de Movimiento	A	B	C
Norte	108	190	100
Sur	266	183	101
TOTAL	374	373	201

4.5 Tiempo de viaje vehicular y peatonal

El parámetro a utilizar es el tiempo de recorrido vehicular y peatonal. Por lo cual, se realizó el conteo de cada uno de los sectores mencionados anteriormente para poder utilizarlos en la calibración y validación.

4.5.1 Conteo de tiempo de recorrido vehicular

Para el recorrido vehicular se tomaron el registro de dos zonas: la avenida Túpac Amaru Este y la avenida Túpac Amaru Oeste. Los datos obtenidos se muestran en las tablas siguientes.

Tabla 39. Tiempo de recorrido vehicular en la avenida Túpac Amaru Este

Fuente: Propia (2021)

Avenida Túpac Amaru Este		
Tiempo de viaje (segundos)		
102	149	230
75	136	192
81	145	230
111	204	228
112	218	196
222	210	199
229	211	183
209	202	210
211	173	187
217	149	153

Tabla 40. Tiempo de recorrido vehicular en la avenida Túpac Amaru Oeste

Fuente: Propia (2021)

Avenida Túpac Amaru Oeste		
Tiempo de viaje (segundos)		
57	22	65
30	18	108
38	55	135
20	99	120
18	38	73
16	86	185
22	106	180
31	104	175
17	95	144
18	160	155

4.5.2 Conteo de tiempo de recorrido peatonal

En el caso del recorrido peatonal, se realizó el conteo por cada uno de los tres sectores que se mencionó anteriormente (A, B y C). Se registraron 20 valores por cada sector, los cuales se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 41. Tiempo recorrido peatonal en el sector A

Fuente: Propia (2021)

SECTOR A	
Tiempo de recorrido (seg)	
49	45
39	56
55	39
44	47
48	50
51	62
65	57
51	49
49	43
54	55

Tabla 42. Tiempo recorrido peatonal en el sector B

Fuente: Propia (2021)

SECTOR B	
Tiempo de recorrido (seg)	
60	70
27	36
22	55
34	25
87	39
35	48
29	58
46	40
30	49
48	47

Tabla 43. Tiempo recorrido peatonal en el sector C

Fuente: Propia (2021)

SECTOR C	
Tiempo de recorrido (seg)	
31	18
27	34
35	44
31	37
45	19
19	58
15	69
17	32
22	46
21	37

4.6 Problemas detectados y lista de chequeo

Los problemas detectados se mencionarán a continuación. Por otro lado, la lista de chequeo se presenta en el anexo 1.

- **Falta de semáforo:** Se observó en la intersección la ausencia de un semáforo para tan alta cantidad de flujo vehicular y peatonal debido a la presencia del mercado mayorista El Progreso.
- **Mal estado del pavimento:** En cada de los 5 sectores mencionados, se encontraron tramos de pavimento desgastados, con huecos, con falla de agregados y, en algunos casos, falta de pavimentación.



Ilustración 36. Mal estado del pavimento en la intersección

Fuente: Propia (2021)

- **Veredas muy angostas:** Gracias a la toma de distancias de manera manual, notamos que la longitud de ancho mínima requerida no se cumple en varios tramos de la intersección.
- **Pendiente de veredas muy elevadas:** En las veredas aledañas a la intersección, se presentan pendientes muy distintas, lo cual dificulta el tránsito peatonal, sobre todo en la calle Miguel Grau.



Ilustración 37. Pendientes de veredas muy elevadas en la calle Miguel Grau

Fuente: Propia (2021)

- **Posicionamiento informal de vendedores ambulantes:** Se notó que los vendedores se ubican con su mercadería en zonas restringidas como la auxiliar de la avenida Túpac Amaru.



Ilustración 38. Posicionamiento informal de vendedores ambulantes

Fuente: Propia (2021)

- **Ausencia de señales de tránsito:** No se presentan señales horizontales ni verticales en la intersección como las líneas continuas blancas de separación de carriles o señales reguladoras para indicar al conductor el correcto desplazamiento vehicular a seguir.

- **Inadecuadas rampas peatonales:** Las rampas encontradas poseen pendientes muy elevadas lo cual dificulta su uso para personas con discapacidad, además no cuentan con el ancho mínimo para el traslado peatonal.



Ilustración 39. Inadecuadas rampas peatonales

Fuente: Propia (2021)

- **Paraderos de mototaxis informales:** Existen dos zonas usadas como paradero de mototaxis que no son autorizadas. Una de ellas se encuentra ubicada en el sector 5 y otra en el sector 2. Esto genera desorden y congestión vehicular.



Ilustración 40. Paraderos de mototaxis informales

Fuente: Propia (2021)

- **Falta de paradero para buses:** Debido a la zona comercial, se considera imprescindible la instalación de dos paraderos vehiculares, uno en cada sentido de la avenida Túpac Amaru. Sin embargo, hasta la fecha, no han sido colocadas y esto ocasiona que los buses se detengan en cualquier punto.
- **Necesidad de estacionamiento:** Se encontró que algunos compradores dejan sus vehículos estacionados en la avenida principal Túpac Amaru hasta finalizar sus compras, lo cual disminuye el flujo vehicular.
- **Tranquera informal:** Los propietarios de las tiendas de la calle Miguel Grau han colocado una tranquera en la entrada sur para que no circulen vehículos debido al alto contagio del COVID-19.



Ilustración 41. Tranquera informal

Fuente: Propia (2021)

5 MODELO BASE, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN

5.1 Micro simulación del modelo base

El modelo base se realizará con ayuda del software VISSIM y VISWALK 8.0, para que este sea preciso, reproducible y verificable. Se usarán los datos obtenidos de la filmación para programar el software mencionado y, de esta manera, poder obtener la situación real encontrada. Para obtener este modelo, se seguirán las siguientes etapas.

5.1.1 Importación de plano de la zona de estudio

Para iniciar la micro simulación, debemos importar la imagen de la zona de estudio al programa VISSIM 8.0 usando el comando *Background Images*. Se utilizó una fotografía obtenida gracias al dron.

5.1.2 Insertar las vías de la intersección

Luego, se debe dibujar los carriles sobre el plano insertado. Esto es posible al usar el comando *Links*, haciendo click desde donde inicia la vía y arrastrándolo hasta donde termine. Además, al crear cada una de las vías, aparecerá un cuadro que requiere de datos el número de carriles, el ancho de cada uno de ellos y el nombre que se le asignará. Finalmente, se debe añadir conectores en cada una de las vías y vincularlas.

5.1.3 Componentes vehiculares

El siguiente paso es señalar los distintos puntos por los cuales ingresan los vehículos, en este caso, sería cada una de las entradas a la intersección. Para lograrlo, se

selecciona el comando *Vehicle Inputs* y, con el click derecho, los colocamos en los sitios mencionados. Al realizar este paso, aparecerá un cuadro en la zona inferior que requiere de dato la cantidad total de vehículos que entran por cada ramal.

También debemos señalar las distintas rutas de los vehículos desde su origen hasta su destino. Se usa el comando *Vehicle Routes* para plasamarlo y, cuando aparezca el cuadro de diálogo, insertaremos datos como tipos de vehículos, flujos de cada ruta y sus respectivas velocidades. En este caso, para cada vía se creó la composición de los vehículos usando el comando *Vehicle Compositions* y, de esta manera, obtener resultados más cercanos a la realidad. Por otro lado, en la intersección de estudio circulan una cantidad considerable de mototaxis, por lo cual se insertó este vehículo desde las imágenes 2D y 3D que nos brinda el mismo programa VISSIM.

Seguidamente, seleccionamos el comando *Reduced Speed Areas* y, con el click derecho, añadimos las zonas en las cuales los automóviles deben reducir su velocidad de movimiento como los conectores que insertamos al colocar las vías. Se brindan los datos de los tipos de vehículos y la velocidad a la que se reduce.

Para finalizar con la modelación de elementos motorizados, se utiliza el comando *Conflict Areas*, el cual nos muestra los puntos en los cuales se generan conflictos en los movimientos. Se debe decidir qué movimiento tiene la prioridad y, con el click derecho, establecer su jerarquía teniendo en cuenta que el color verde indica el movimiento prioritario y el color rojo el secundario.

5.1.4 Componentes peatonales

Para iniciar, se empleará el comando *Pedestrian Area* para dimensionar la zona donde esperan los peatones para poder cruzar. En el cuadro de diálogo, seleccionamos la opción de *Pedestrian Area Gray* y le colocamos un nombre a cada espacio creado.

Para colocar los elementos peatonales, de manera similar al componente vehicular, se señalan los puntos por donde transitan los peatones. Para ello, se utiliza el comando *Pedestrian Inputs*.

Luego, con el comando *Links*, marcamos la zona por la que transitan los usuarios y, al aparecer el cuadro de diálogo, seleccionamos que es una vía para desplazamiento peatonal. Además, usamos el comando *Pedestrian Routes* para marcar las rutas por la que se movilizan los peatones haciendo uso del click derecho y arrastrándolo hasta su destino.

5.2 Verificación del modelo

Cuando se haya completado el modelo de micro simulación con todos los datos obtenidos previamente, se debe verificar el modelo base. Esto permite detectar los errores al momento de la codificación y, de esta manera, corregir las situaciones incoherentes con la realidad observada en la filmación. Se descubren estas incongruencias al reproducir la simulación repetidas veces y verificar el comportamiento tanto de los vehículos como de los peatones. Además, el programa genera un archivo en el cual muestra los errores que haya percibido.

5.3 Calibración

La calibración nos permite acercarnos más a la realidad de la zona de estudio. Para lograrlo, se utilizan diferentes parámetros y se ajustan con el fin de obtener resultados muy cercanos a los obtenidos en campo. Con respecto a la calibración vehicular, se usará el tiempo de recorrido de una distancia conocida por los motorizados en cada una de las entradas y, para el caso de la calibración peatonal, se utilizará el tiempo de recorrido desde un punto de origen a uno de destino en la intersección. Al realizar este procedimiento, se considerará un nivel de confianza del 95 %. Para ello, usaremos el programa *StatKey* y se colocarán los datos recopilados en campo y los que nos arroja el programa VISSIM de cada parámetro mencionado. Para finalizar, se observará si el valor promedio de los parámetros son similares para poder afirmar su calibración.

5.3.1 Calibración vehicular

Para iniciar, se calculará el valor mínimo de muestra. Para lo cual se usará la siguiente fórmula de estadística inferencial que muestra un 95 % de confianza y un 10 % de margen de error.

$$n = \left(\frac{t * S^2}{E} \right)$$

Donde:

- n = Número mínimo de muestra
- t = Valor de t de student
- S = Desviación estándar
- E = Margen de error

Entonces

$$n = \left(\frac{1.67 * 46.556}{0.10 * 194.233} \right)^2 = 16.02$$

Por lo tanto, las 30 muestras tomadas son suficientes para cumplir con esta condición.

Luego, usando el programa *Statkey* se realiza una comparación de diferencia de medias que tiene como base la hipótesis nula. Esta comparación se realiza entre los valores obtenidos en campo y los obtenidos en el modelo base realizado en VISSIM. Para iniciar, colocamos todos los datos en una hoja de cálculo de Excel y procedemos a introducir estos valores en el programa estadístico mencionado. Finalmente, nos arroja una gráfica que nos muestra la validez de los datos obtenidos como se identifica en la siguiente ilustración.

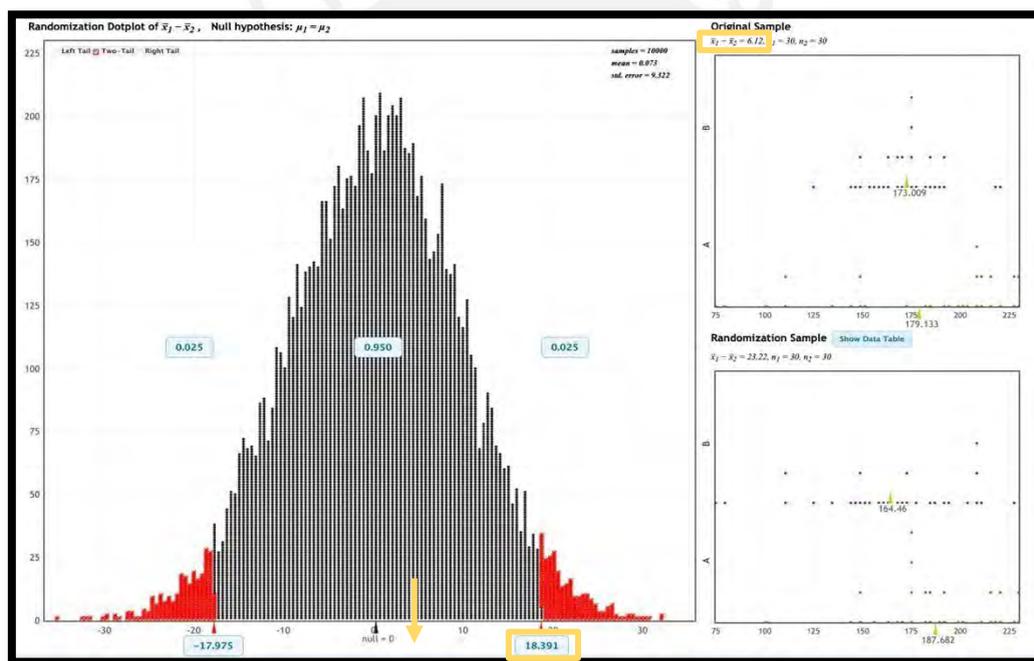


Ilustración 42. Gráfica con 95 % de confiabilidad para calibración vehicular

Fuente: Statkey (2021)

Como se observa en la gráfica anterior, la diferencia de promedios de los datos de campo y los datos del modelo base es de 6.12. Por lo tanto, este valor se encuentra dentro del rango del 95 % de confiabilidad y se puede afirmar que el modelo se encuentra calibrado.

5.3.2 Calibración peatonal

Se realiza el mismo procedimiento que se detalló anteriormente en la calibración vehicular.

Por lo cual, se calcula el valor mínimo de muestra de la misma manera.

$$n = \left(\frac{t * S}{E} \right)^2$$

Donde:

- n = Número mínimo de muestra
- t = Valor de t de student
- S = Desviación estándar
- E = Margen de error

Entonces

$$n = \left(\frac{1.69 * 6.83}{0.10 * 50.4} \right)^2 = 5.12$$

Por lo tanto, las 20 muestras tomadas son suficientes para cumplir con esta condición.

De manera similar, usamos el programa Statkey para realizar la comparación de diferencia de medias y arroja los resultados que se muestran a continuación.

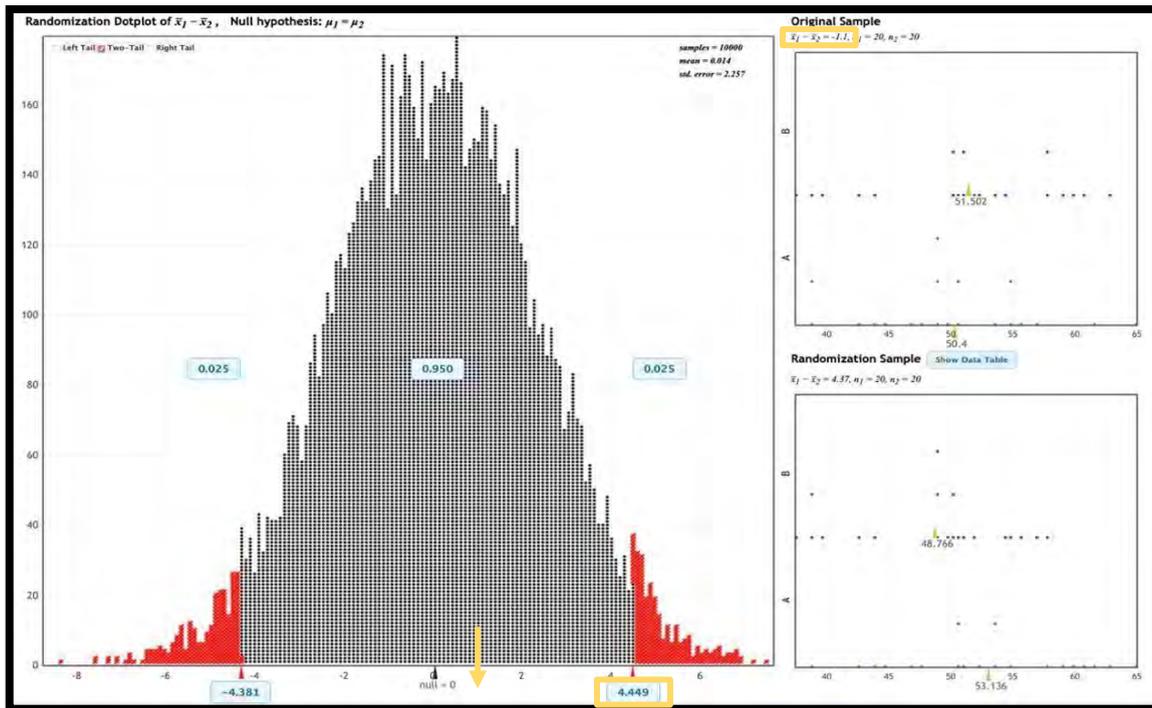


Ilustración 43. Gráfica con 95 % de confiabilidad para calibración peatonal

Fuente: Statkey (2021)

Como es de notar en la ilustración presentada, la diferencia de medias de ambas muestras es de 1.1. Este valor se encuentra dentro del 95 % de confiabilidad, por lo cual se puede afirmar que el modelo base está calibrado en este parámetro.

5.4 Validación

Es necesario volver a recopilar datos en la zona de estudio para comenzar el proceso de validación de la simulación. Como se mencionó en la sección anterior, se utilizó de parámetro el tiempo de recorrido tanto para vehículos como para peatones. Entonces, para desarrollar el último paso del modelo base, se debe obtener nuevos datos de los mismos parámetros en un escenario diferente. Es decir, se recolecta estos valores en un rango de tiempo distinto usado en la calibración. No obstante, de manera similar a la calibración, los nuevos datos de campo y los obtenidos con la micro simulación, se rigen bajo un nivel de confianza del 95% y,

mediante el programa estadístico *StatKey*, se obtendrá la similitud de sus resultados usando pruebas no paramétricas. En caso contrario, si los valores no nos cercanos, se debe ajustar los datos y modificar la codificación hasta que los resultados sean aproximadamente iguales.



6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos de los parámetros tomados en cuenta para realizar el nuevo rediseño. De esta manera, se podrá lograr una comparación de ambas situaciones y verificar que realmente se haya conseguido una mejora significativa en la intersección de estudio.

6.1 Propuesta de mejora

El nuevo diseño presentado incluye la instalación de un semáforo en la intersección principal. Este dispositivo cuenta con un ciclo de 60 segundos que se dividen entre verde, rojo y ámbar. Se ubicarán estratégicamente en la avenida principal y en la secundaria. Además, se colocarán tanto semáforos vehiculares como peatonales. A continuación, se muestra en la siguiente ilustración el tiempo de cada uno de los dispositivos instalados en la propuesta de mejora.

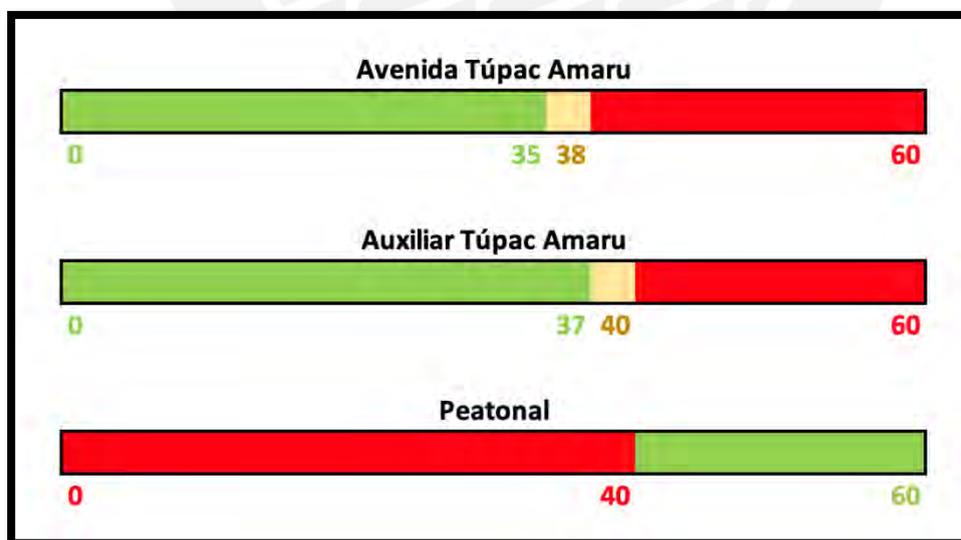
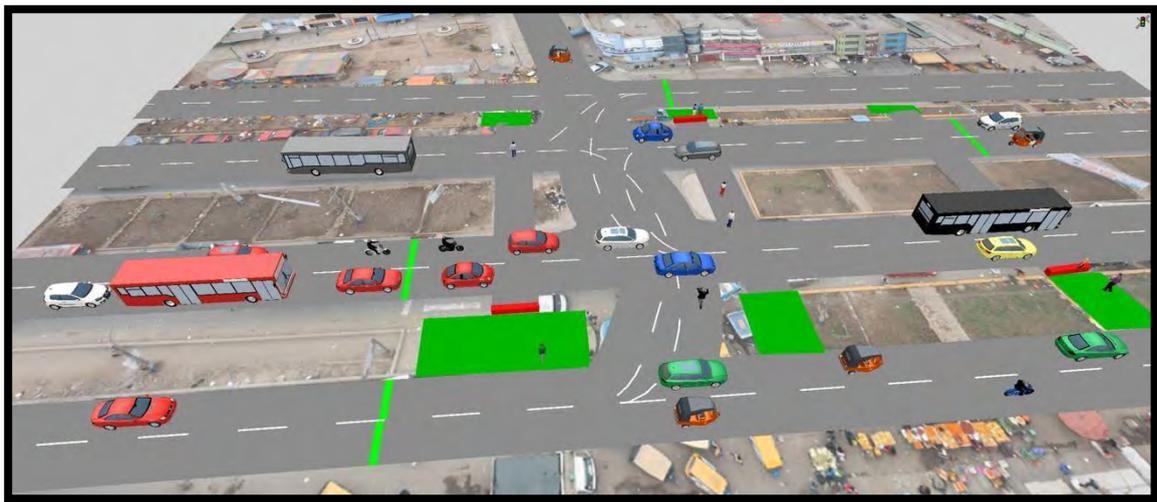


Ilustración 44. Distribución de tiempos de semáforo

Fuente: Propia (2021)

Por otro lado, se redujeron los anchos de los carriles a 3 metros en caso de las vías secundarias y, en las vías principales, 3.35 metros. Esta reducción nos brindó el espacio suficiente para poder incorporar un paradero de buses en la intersección y un paradero para las mototaxis en la calle Miguel Grau. Adicionalmente, se colocó una zona de estacionamiento en el lado derecho de la vía auxiliar de la avenida Túpac Amaru con la finalidad de resolver la falta de zonas de parqueo.



*Ilustración 45. Modelo mejorado de la intersección de estudio
Fuente: Adaptado de VISSIM (2021)*

6.2 Tiempo de recorrido vehicular

Para el conteo del tiempo de recorrido vehicular se tomaron dos zonas principales: la avenida Túpac Amaru en ambas direcciones. Usando el programa VISSIM, se pudo modelar la nueva propuesta con los datos vehiculares basados en el primer modelo que fue calibrado y validado. Los valores obtenidos luego de simular este modelo 30 veces fueron los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 44. Tiempo de recorrido vehicular de la propuesta de mejora en la avenida Túpac Amaru Este

Fuente: Propia (2021)

Avenida Túpac Amaru Este		
Tiempo de viaje (segundos)		
34.39	33.24	33.17
35.56	39.43	35.82
43.26	36.24	37.5
34.24	34.58	34.84
40.91	36.38	36.23
37.1	35.02	36.87
40.81	34.58	33.58
40.24	33.28	39.02
41.42	35.52	37.43
38.26	36.72	36.26

Tabla 45. Tiempo de recorrido vehicular de la propuesta de mejora en la avenida Túpac Amaru Oeste

Fuente: Propia (2021)

Avenida Túpac Amaru Oeste		
Tiempo de viaje (segundos)		
25.2	30.42	24.32
27.88	29.54	34.78
26.58	32.32	28.28
26.22	25.49	26.74
27.03	23.75	28.65
25.41	24.91	22.05
26.36	24.58	25.54
28.67	25.46	22.94
27.08	26.86	28.11
30.66	23.78	29.49

6.3 Tiempo de recorrido peatonal

Para el caso del recorrido peatonal, se mantuvo los 3 sectores (A, B, C) que se mencionaron previamente en el acápite anterior. El tiempo de recorrido de los peatones en cada uno de

estos sectores se contabilizaron luego de realizar 20 simulaciones en la propuesta mejorada usando el programa VISSIM. Los valores obtenidos en cada uno de ellos fueron los siguientes:

Tabla 46. Tiempo de recorrido peatonal de la propuesta de mejora en el Sector A

Fuente: Propia (2021)

SECTOR A	
Tiempo de recorrido (seg)	
41.48	42.76
41.83	43.81
44.68	44.43
42.17	42.38
43.37	40.18
45.07	42.9
43.45	42.29
42.71	43.04
41.52	42.73
44.03	42.83

Tabla 47. Tiempo de recorrido peatonal de la propuesta de mejora en el Sector B

Fuente: Propia (2021)

SECTOR B	
Tiempo de recorrido (seg)	
44.96	40.52
37.98	37.16
41.14	39.65
40.84	40.32
41.51	38.63
37.68	39.03
40.06	38.32
40.06	43.06
43.22	38.42
42.68	41.85

Tabla 48. Tiempo de recorrido peatonal de la propuesta de mejora en el Sector C

Fuente: Propia (2021)

SECTOR C	
Tiempo de recorrido (seg)	
40.64	36.98
41.08	39.42
39.33	39.52
37.94	39.38
38.16	39.54
41.26	40.06
39.54	38.47
42.4	41.14
41.47	40.89
39.4	36.75

6.4 Evaluación estadística de la nueva propuesta

Para finalizar este acápite, se realizará una evaluación estadística de la propuesta mejorada para analizar si los resultados obtenidos muestran cambios significativos en los parámetros utilizados; es decir, el tiempo de recorrido vehicular y peatonal. Para ello, se usará la prueba de hipótesis nula con ayuda del programa *Statkey*.

6.4.1 Tiempo de recorrido vehicular

A. Avenida Túpac Amaru Este

El tiempo promedio de recorrido vehicular de este tramo es de 173.01 segundos en el modelo base, mientras que en la nueva propuesta el promedio es de 36.73. A pesar de la notoria diferencia, se realiza la prueba estadística de la hipótesis nula para afirmar la mejora de la intersección de estudio como se muestra en el siguiente gráfico.

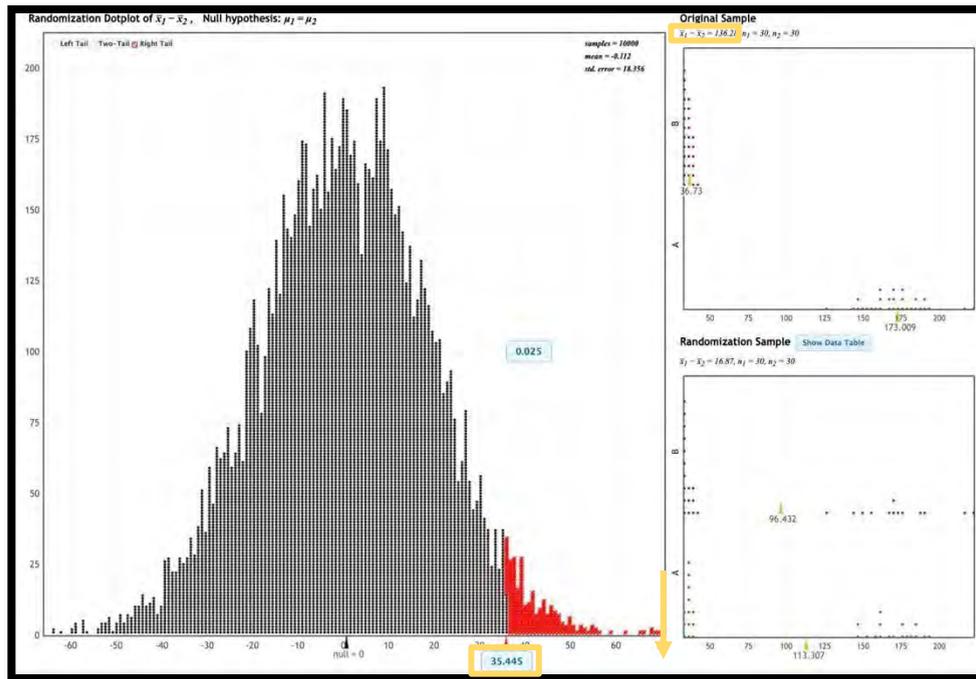


Ilustración 46. Evaluación estadística del tiempo de recorrido en la avenida Túpac Amaru Este
Fuente: Statkey (2021)

Notamos que el valor de la diferencia de medias es 136.28 y que se encuentra en la zona roja de la cola derecha, esto quiere decir que se puede afirmar que el valor promedio del modelo base es mayor que el valor promedio de la propuesta de mejora.

Por lo tanto, se tuvo una reducción del tiempo de recorrido vehicular del 78.8 %

B. Avenida Túpac Amaru Oeste

El tiempo promedio de recorrido vehicular de este tramo es de 97.23 segundos en el modelo base, mientras que en la nueva propuesta el promedio es de 26.97. De manera similar, se realiza la prueba estadística de la hipótesis nula que nos brinda el siguiente resultado.

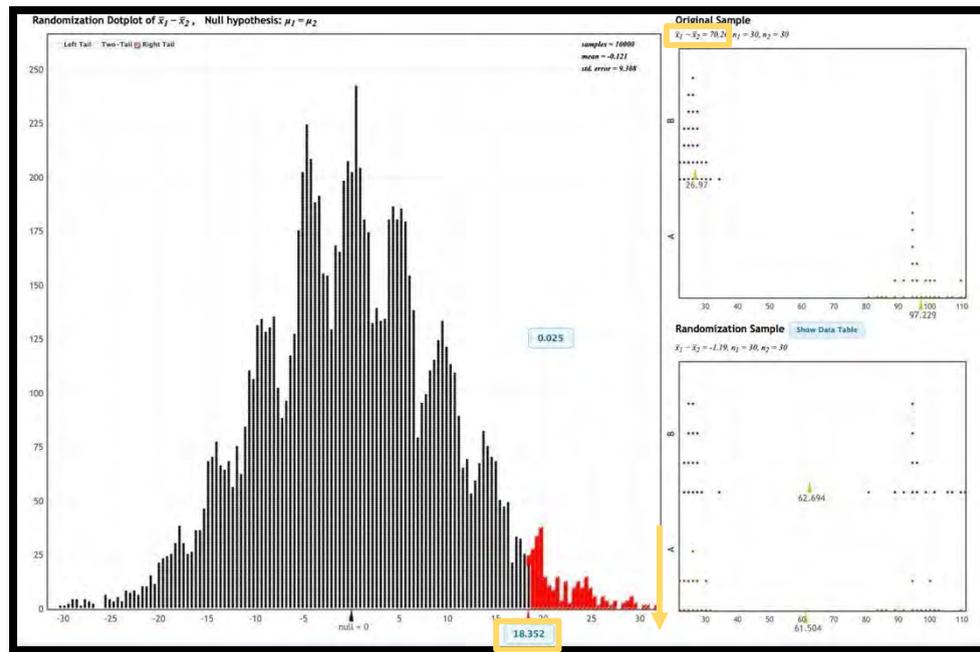


Ilustración 47. Evaluación estadística del tiempo de recorrido en la avenida Túpac Amaru Oeste

Fuente: Statkey (2021)

Notamos que el valor de la diferencia de medias es 70.26 segundos y que se encuentra en la zona roja de la cola derecha, esto quiere decir que se puede afirmar que el valor promedio del modelo base es mayor que el valor promedio de la propuesta de mejora. Por lo tanto, se tuvo una reducción del tiempo de recorrido vehicular del 72.3 %

6.4.2 Tiempo de recorrido peatonal

A. Sector A

El tiempo de recorrido peatonal promedio del sector A en el modelo base es de 51.50 segundos, mientras que en la propuesta de mejora este valor es de 42.88 segundos. Notamos que hay una mejora de 8 segundos aproximadamente; sin embargo, de manera similar al tiempo de recorrido vehicular, se realizará la prueba estadística en

el programa Statkey para asegurar este resultado. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente gráfica.

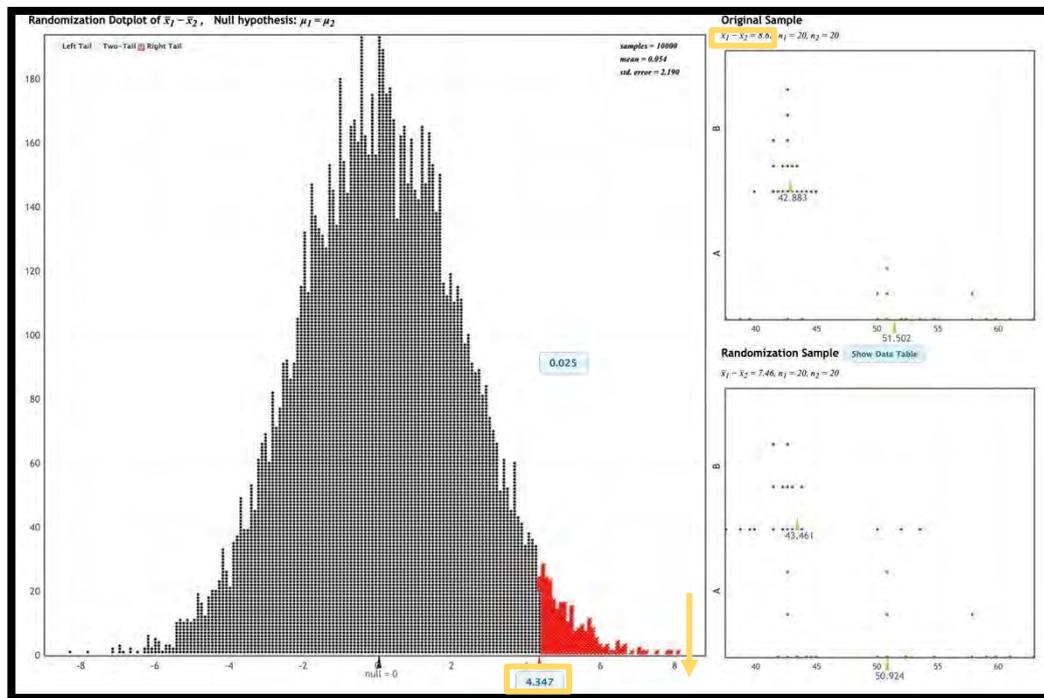


Ilustración 48. Evaluación estadística del tiempo de recorrido peatonal en el Sector A

Fuente: Statkey (2021)

Como se observa en la ilustración, la diferencia de medias es de 8.62 segundos y este valor se encuentra en la zona roja de la gráfica. Lo que indica que el valor medio del tiempo de recorrido del modelo base es mayor que el de la propuesta de mejora. Por lo cual, se puede asegurar con el 95 % de confiabilidad que se logró una reducción del tiempo de recorrido peatonal en un 16.7 %

B. Sector B

El tiempo de recorrido peatonal promedio del sector B en el modelo base es de 50.37 segundos, mientras que en la propuesta de mejora este valor es de 40.35 segundos. Notamos que hay una mejora de 10 segundos aproximadamente; sin embargo, de

manera similar, se realizará la prueba estadística en el programa Statkey para asegurar este resultado. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

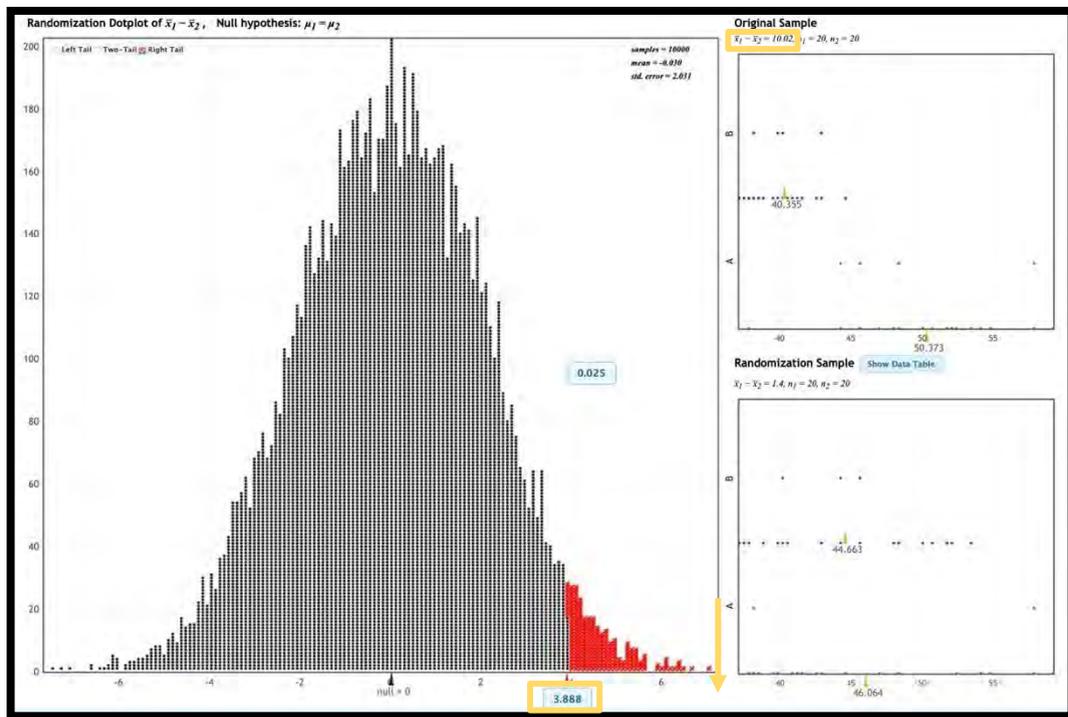


Ilustración 49. Evaluación estadística del tiempo de recorrido peatonal en el Sector B
Fuente: Statkey (2021)

La diferencia de medias en la gráfica es de 10.02 segundos y este valor se encuentra en la zona roja de la gráfica. Lo que indica que el valor medio del tiempo de recorrido del modelo base es mayor que el de la propuesta de mejora. Por lo cual, se puede asegurar con el 95 % de confiabilidad que se logró una reducción del tiempo de recorrido peatonal en un 19.9 %

C. Sector C

El tiempo de recorrido peatonal promedio del sector C en el modelo base es de 38.58 segundos, mientras que en la propuesta de mejora este valor es de 39.67 segundos. En este caso el tiempo de recorrido aumentó aproximadamente 1 segundo; esto se debe a que en la situación actual, los buses se quedan parados antes de llegar a este

sector para poder recoger pasajeros y eso incita a los peatones a cruzar en cualquier momento. De manera similar, se realizará la prueba estadística en el programa Statkey. Se presentan los resultados en la siguiente ilustración.

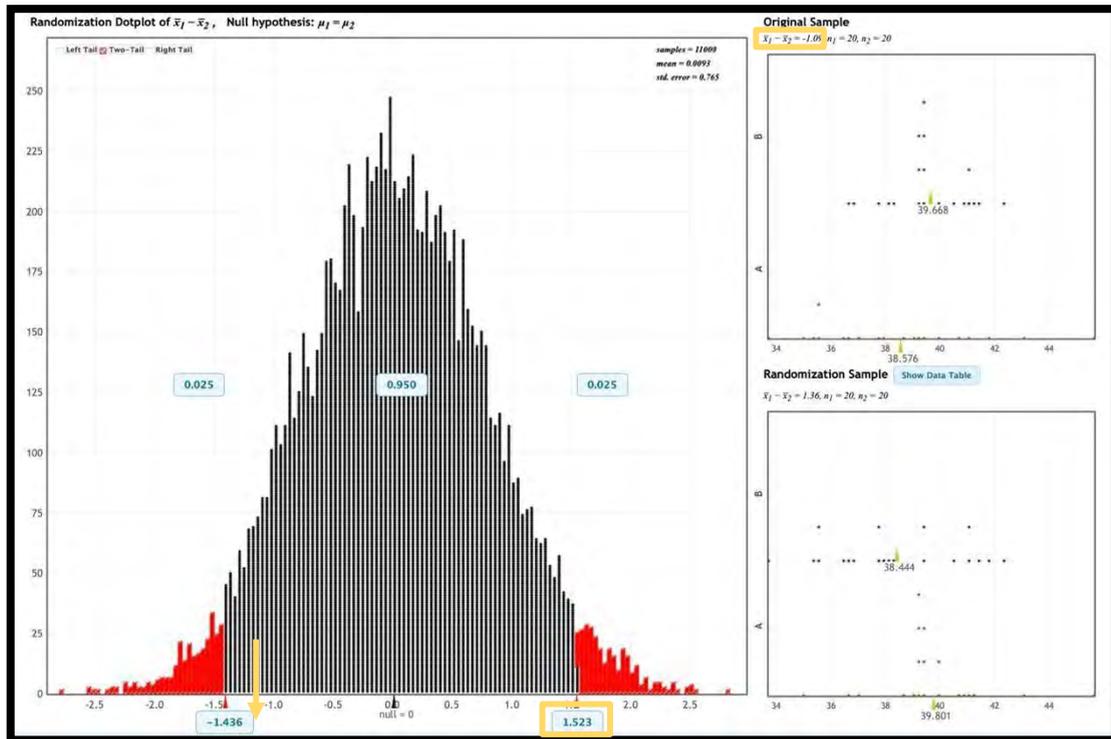


Ilustración 50. Evaluación estadística del tiempo de recorrido peatonal en el Sector C

Fuente: Statkey (2021)

Se observa que el valor de la diferencia de medias es de 1.09 segundos. Este valor se encuentra en la zona negra, lo que quiere decir que se puede decir con el 95% de confiabilidad que los valores de recorrido promedios tanto del modelo base como del modelo de mejora son iguales. Por lo cual, en este sector, no hubo una mejora en el tiempo de recorrido pero tampoco aumentó el tiempo.

Finalmente, para mostrar con mayor claridad y precisión las mejoras realizadas usando los parámetros mencionados, se mostrará una gráfica resumen que compara los valores de la

situación actual y de la simulación de la propuesta de mejora tanto de las reducciones de tiempo de recorrido vehicular y peatonal.

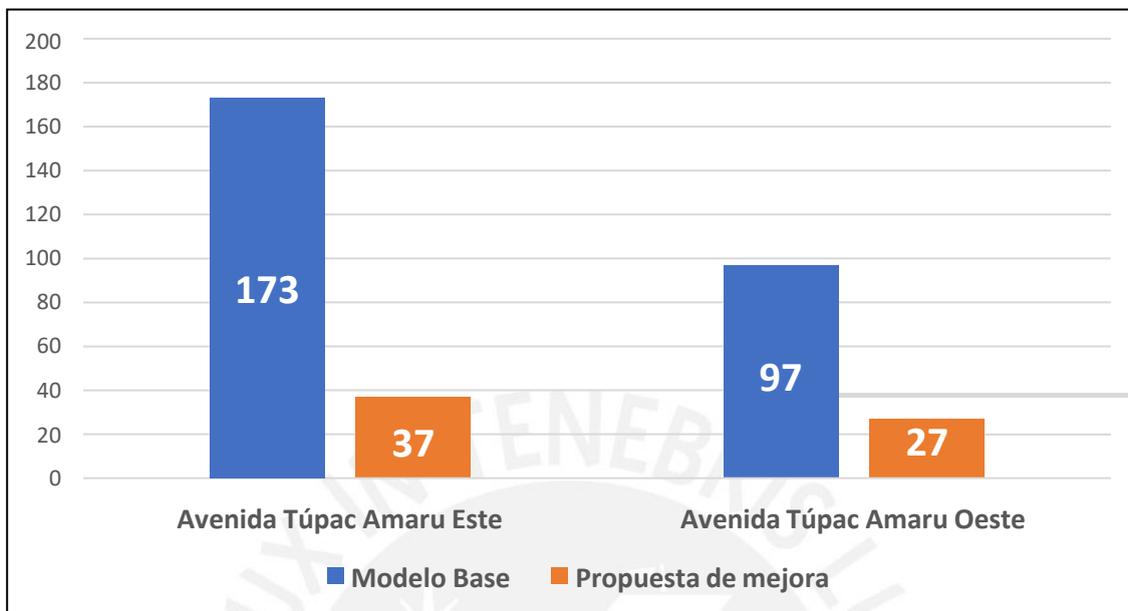


Ilustración 51. Comparación de tiempo de recorrido vehicular en segundos

Fuente: Propia (2021)

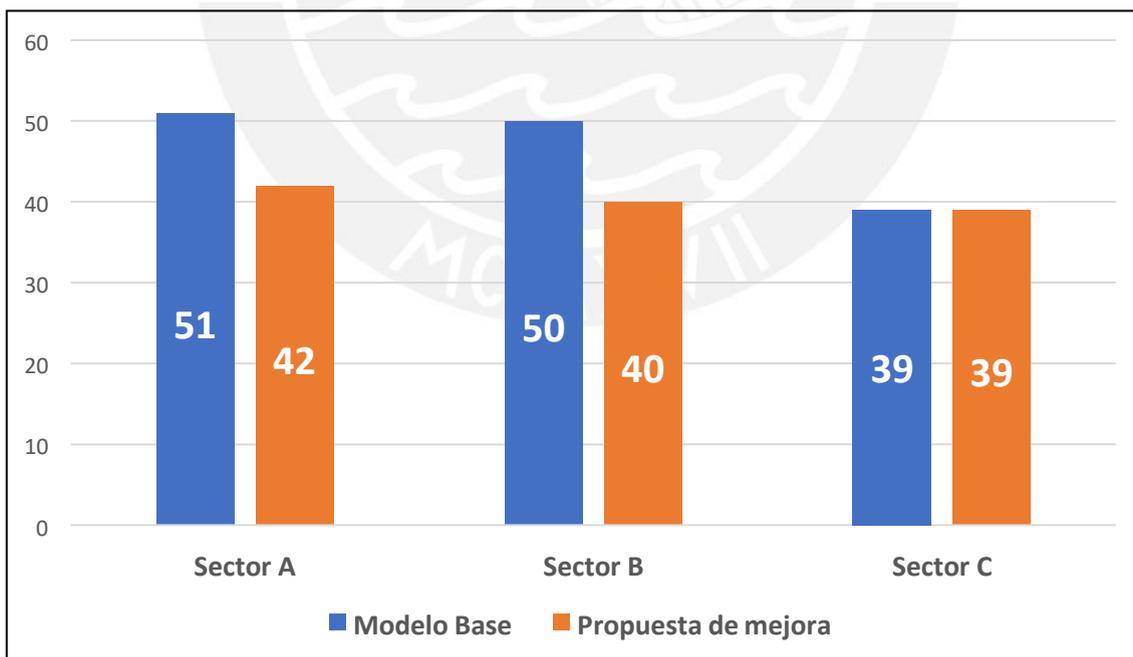


Ilustración 52. Comparación de tiempo de recorrido peatonal en segundos

Fuente: Propia (2021)

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Objetivo 1: Implementar medidas de gestión de tránsito en dicho cruce para aumentar la sensación de seguridad de los transeúntes.

La implementación de las medidas de gestión en la intersección de estudio que se utilizaron fueron un factor clave para las mejoras del tráfico. La instalación del semáforo peatonal y vehicular en la avenida principal Túpac Amaru mejoró significativamente el desplazamiento de los vehículos en conjunto con el movimiento de los peatones. Asimismo, debido al tiempo exclusivo en cada una de las tres fases, se incrementó la seguridad de los peatones brindándoles el tiempo necesario para cruzar y realizar sus actividades de manera sencilla. Por otro lado, los pequeños cambios geométricos realizados en la propuesta de mejora canalizaron el flujo vehicular en la vía principal. Además, se colocaron señales horizontales y verticales en distintos puntos estratégicos de la intersección.

B. Objetivo 2: Reubicar a los vendedores informales en la calle Miguel Grau para que puedan brindar su servicio sin causar disturbios.

La ubicación informal de los vendedores ambulantes en ambas direcciones de la vía auxiliar Túpac Amaru era el principal obstáculo para un tráfico fluido en la intersección. Esta invasión de la zona pública se debe al alto comercio del mercado mayorista “El Progreso”. En consecuencia, los vehículos no podían desplazarse directamente por la vía secundaria sino que tenían que utilizar exclusivamente la avenida principal, lo cual causaba la gran congestión. Al remover a los vendedores de la auxiliar Túpac Amaru,

los vehículos podían fluir sin demoras y su tiempo de recorrido disminuyó en más del 70% en ambas vías. Sin embargo, se consideró que retirar a los ambulantes sin pensar en sus necesidades no era la mejor opción, por lo cual, se optó por reubicarlos. En la nueva propuesta, se reubica a más del 60% de los vendedores en la calle Miguel Grau. De tal manera que se genere una zona de comercio ordenada y armoniosa, en la cual los vendedores puedan brindar sus servicios sin causar disturbios ni molestias. La propuesta de mejora toma en cuenta las necesidades de todos los sujetos de estudio de esta intersección.

C. Objetivo 3: Plantear un diseño geométrico óptimo para la intersección mencionada usando programas de micro simulación VISSIM y VISWALK.

La revisión de los distintos manuales de diseño urbano internacionales influyó en las medidas de mejora que se aplicaron en la propuesta. Para lograr un nuevo diseño geométrico óptimo, se tomaron como base los valores recomendados de tal manera que se adecúe a nuestra realidad.

La simulación usando el programa VISSIM y VISWALK ayudó a comprobar la utilidad de este diseño, pues genera el flujo vehicular del modelo base pero en el nuevo diseño con distintos factores que cambian el resultado. Cabe resaltar que es necesario calibrar el diseño en este programa para poder decir que refleja la situación encontrada en la intersección de estudio. En este caso, la calibración y validación del cruce fueron acertados. Finalmente, al comparar el parámetro de tiempo de recorrido vehicular y peatonal notamos que si se logró una mejora significativa en los tiempos de demora tanto vehicular como peatonal. El programa Statkey colaboró con la comparación de

estos datos usando la hipótesis nula en una gráfica con 95% de confiabilidad para comprobar los resultados en la mejora de los parámetros elegidos.

D. Objetivo 4: Fomentar la accesibilidad de los grupos excluidos a partir del rediseño de la infraestructura.

La intersección de estudio se encuentra en una zona con pendientes bastante pronunciadas que aumenta la dificultad de movimiento para el acceso de grupos excluidos. La implementación de las rampas peatonales con pendientes longitudinales mínimas del 10% según los manuales de diseño urbano para personas con discapacidad mejoró la accesibilidad en los tres sectores de los cruces peatonales. A pesar de que no se notó la presencia abundante de este grupo, se tomó en cuenta para el diseño, ya que su ausencia en esta intersección se debe a la inseguridad en su desplazamiento y la falta de rampas peatonales adecuadas. Estas dos causas fueron consideradas en el rediseño geométrico y urbano.

BIBLIOGRAFÍA

Abu Dhabi Urban Planning Council. (2009) Abu Dhabi Urban Street Design Manual.

<https://bicycleinfrastructuremanuals.com/manuals4/Abu-Dhabi-StreetDesignManual.pdf>

Andina (2012, 23 de enero). *Plantean rediseñar vías para acabar con los “puntos negros” en distritos.*

<https://andina.pe/agencia/noticia.aspx?id=396430>

Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. (2018). Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones. Alfaomega. Novena edición.

Dextre, J. Pirola, M. Tabasso, C. Bermudez, J. y Gracia, A. (2008). Vías Humanas. Un enfoque multidisciplinario y humano de la seguridad vial. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Primera Edición.

Bañón, L., Bevia, J. (2000). Manual de Carreteras. Volumen I: elementos y proyectos.

Guido, R. (1964). Manual de Ingeniería de Tránsito. The Reuben H. Donnelly Corporation.

Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito. (2013). Lista de Verificación Condiciones de Infraestructura.

https://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2016/01/lista_verificacion_condiciones_infraestructura.pdf

AASTHO. (2018). A policy on geometric design of highways and streets. Séptima edición.

Económica. (2019, 18 de marzo). La congestión vehicular de Lima: cuando y donde menos lo esperas. <https://economica.pe/la-congestion-vehicular-de-lima-cuando-y-donde-menos-lo-esperas/>

El Comercio (2021, 05 de febrero). *En el Perú, los accidentes de tránsito dejan más muertos que los homicidios.*

<https://elcomercio.pe/lima/transporte/en-el-peru-los-accidentes-de-transito-dejan-mas-muertos-que-los-homicidios-nczg-linea-amarilla-evitamiento-lima-como-vamos-noticia/?ref=ecr>

Fernández, R. (Dextre, J, ed). (2011). Elementos de la teoría de tráfico vehicular. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Koźlak, A. (2018). *Causes of traffic congestion in urban areas. Case of Poland* [tesis de maestría, University of Gdansk]. SHS Web of Conferences.

https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2018/18/shsconf_infoglob2018_01019.pdf

Posada, C. (2018, 26 de febrero). Aumento continuo del parque automotor, un problema que urge solucionar. La Cámara.

https://apps.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r816_3/comercio%20exterior.pdf

Los Angeles Country. (2011). Model Design Manual for Living Streets. https://ssti.us/wp-content/uploads/sites/1303/2012/07/LA_Co_model_street_design_manual-1.pdf

MINVU. (2009). Manual de viabilidad urbana recomendación para el diseño de elementos de infraestructura vial urbana.

<https://catalogo.minvu.cl/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=b66b1ef94ce6d5208f43da0bd63b2ef1>

NACTO. (2012, octubre). Urban Street Design Guide Overview.

<http://www.nyc.gov/html/dot/downloads/pdf/2012-nacto-urban-street-design-guide.pdf>

Thomson, I., Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas sociales*. División de Recursos Naturales e Infraestructura CEPAL.

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6381/1/S01060513_es.pdf

TomTom. (s.f.). As our world changes, traffic tells the history.

https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/

Unicef. (s. f.). Conoce las acciones en Carabayllo. <https://www.unicef.org/peru/donde-estamos/carabayllo>

New York City Department of Transportation. (2020). Street Design Manual. Third Edition.

Jefatura de Gobierno de la Ciudad de Mexico. (2016). Manual de Normas Tecnicas Vial de Accesibilidad.

http://www.data.seduvi.cdmx.gob.mx/portal/images/banners/banner_derecho/documentos/Manual_Normas_Tecnicas_Accesibilidad_2016.pdf

Corporación Ciudad Accesible Boudeger & Stella ARQ. (2010, Octubre). Manual de Accesibilidad Universal. Primera Editorial.

Parsons Brickerhoff. (2017). New Jersey Complete Streets Design Guide.

Federal Highway Administration. (2004, Julio). Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software.