

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**EVALUACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE MEJORA PEATONAL Y VEHICULAR EN
LAS INTERSECCIONES DEL JR. GRAU Y AYACUCHO EN LA CIUDAD DE
CHACHAPOYAS.**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES:

Héctor Edgardo Arana Mori

Edson Ronaldo Serván Santillán

ASESOR:

Félix Israel Cabrera Vega


Lima, marzo, 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 “EVALUACION Y PLANTEAMIENTO DE MEJORA PEATONAL Y VEHICULAR EN LAS INTERSECCIONES DEL JR. GRAU Y AYACUCHO EN LA CIUDAD DE CHACHAPOYAS, de los autores Héctor Edgardo Arana Mori y Edson Ronaldo Serván Santillán, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 14 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 25/03/2023.
- 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, 25 de marzo 2023

Apellidos y nombres del asesor	
<u>Cabrera Vega Felix Israel</u>	
DNI: 22309049	Firma 

RESUMEN

El inadecuado diseño urbano vial, en las ciudades pequeñas, es un problema a largo plazo, ya que, si no se tiene consideraciones a futuro, estos pueden ocasionar complicaciones para peatones y conductores. El presente proyecto de ingeniería se desarrolla en la ciudad de Chachapoyas, en el departamento de Amazonas y tiene como objetivo evaluar la circulación de los peatones y vehículos, en la intersección de los jirones Grau y Ayacucho. Además de plantear propuestas de mejora en el diseño y seguridad de la intersección. Dicha evaluación, se realiza mediante modelos microscópicos, previamente calibrados y validados con los datos obtenidos en campo. Además, se basa en los lineamientos de la FHWA para un modelado exitoso de micro simulación, en el cual se siguen siete pasos: alcance del proyecto, recopilación de datos, desarrollo del modelo base, calibración, validación del modelo, ejecuciones finales del modelo y desarrollo de alternativas de solución. Asimismo, se analiza el diseño geométrico de la intersección, el cual se contrasta con manuales de diseño urbano nacional e internacional con el objetivo de verificar si cumple las dimensiones mínimas. Por último, se realizaron tres propuestas de mejora. Para las dos primeras propuestas, se utiliza el modelo de micro simulación, en el que se modifica el semáforo y se agrega una isla de refugio. La tercera propuesta, se centra en optimizar el diseño geométrico de la intersección. Luego de evaluar la intersección, se concluye que la intersección cumple con las medidas mínimas establecidas por la norma peruana e internacional. Sin embargo, existen colas, demoras y velocidades por encima del promedio. En ese sentido, se obtiene que las propuestas de mejora optimizan los elementos de la intersección, en el que el tiempo de viaje peatonal disminuye de 21.14 segundos a 16.21 segundos y el vehicular de 17.71 segundos a 12.39 segundos. Por lo que se concluye que las propuestas de mejora optimizan los recursos de la intersección y mejoran el flujo de los peatones y vehículos.

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres que siempre nos apoyaron y nos brindaron palabras de aliento para lograr nuestros objetivos.

A nuestros hermanos quienes con una palabra de aliento estuvieron presentes.

A nuestras familias quienes nos motivaron a superarnos siempre.

A nuestro asesor y excelente docente Félix Israel Cabrera Vega por su instrucción y consejos en cuanto a la carrera profesional y para la vida.

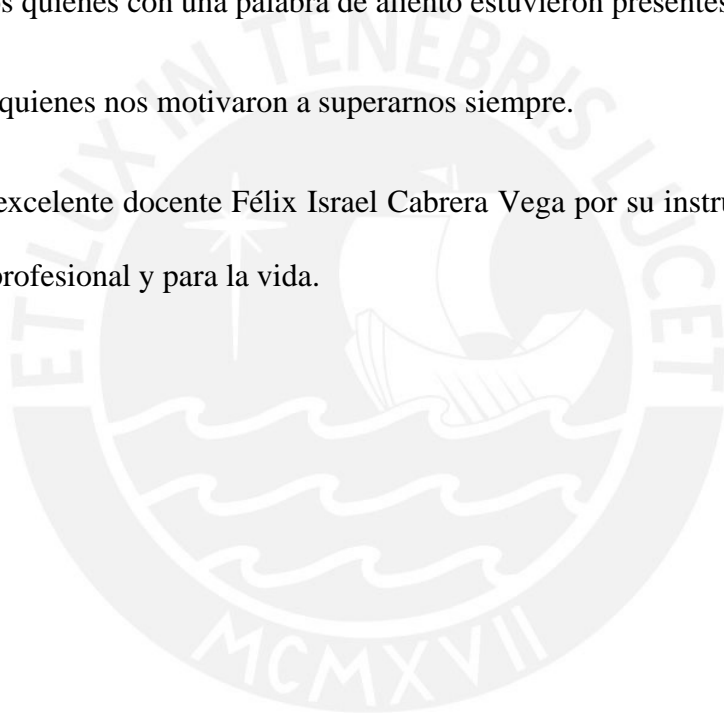


TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Justificación del proyecto.....	3
1.4. Alcances y limitaciones.....	3
CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA	5
2.1. Factores que intervienen en la evaluación vial de la intersección.....	5
2.1.1. Factores que afectan la funcionalidad vial.....	5
2.1.2. Planeamiento de mejoras en el sistema de tránsito.....	5
2.1.3. Características de peatones	6
2.1.4. Características de vehículos.....	8
2.2. Manual de diseño urbano	9
2.2.1. Manual de diseño peatonal	9
2.2.2. Manual urbano de una intersección para vehículos	16
2.3. Simulación.....	26
2.3.1. Simulación como Modelo de Tráfico Vehicular	26
2.3.2. Modelos de escalas de simulación.....	27
2.3.4. Fundamentos de la micro simulación	30
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	37
3.1. Consideraciones generales	37
3.2. Recolección de datos	37
3.1.2. Obtención de datos de peatones y vehículos	39
3.2. Desarrollo del modelo base	41
3.3. Calibración del modelo	42
3.5. Validación del modelo	43
CAPÍTULO 4: RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO	44
4.1. Diseño geométrico de la intersección.....	44
4.2. Flujos vehiculares.....	45

4.2. Flujos peatonales	47
4.3. Calibración y Validación.....	49
CAPÍTULO 5: DESARROLLO DEL MODELO, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROYECTO	51
5.1. Desarrollo del modelo	51
5.1.1 Área de estudio	51
5.2. Verificación de errores y comprobación del modelo	52
5.3. Calibración del modelo	52
5.3.1. Calibración de tiempos de viaje de vehículos.....	53
5.3.2. Calibración de velocidades de desplazamiento de peatones.....	56
5.4. Validación del modelo	58
5.4.1. Validación de Vehículos.....	58
5.4.2. Validación de Peatones.....	61
CAPITULO 6. ANÁLISIS DEL PROYECTO ACTUAL Y PROPUESTAS DE MEJORA	65
6.1. Análisis de los resultados vehiculares	65
6.1.1. Eficiencia Vehicular	66
6.1.2. Eficiencia Peatonal	67
6.2. Propuestas de mejora.....	68
6.2.1. Cambio de fase del semáforo.....	68
6.2.2. Creación de isla de refugio y aumento de 1 semáforo en el jirón Grau.....	69
6.2.3. Mejora en el diseño geométrico de la intersección.....	71
6.3. Evaluación de las propuestas de mejora.....	75
6.3.1. Cambio de fase en el semáforo.....	75
6.3.2. Creación de isla y semáforos	78
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
7.1. Conclusiones	82
7.2. Recomendaciones.....	85
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Velocidades promedio de peatones de acuerdo a su edad	6
Tabla 2. Dimensiones ocupadas por el peatón	7
Tabla 3. Dimensiones del ancho de vereda por países.....	11
Tabla 4. Dimensiones del ancho mínimo de Vado por País	12
Tabla 5. Dimensiones de Paso de Cebra	14
Tabla 6. Mínimo de ancho de carril	17
Tabla 7. Ejemplos de señales reglamentarias en Perú	21
Tabla 8. Ejemplos de señales preventivas en Perú.....	22
Tabla 9. Ejemplos de señales informativas de Perú.....	23
Tabla 10. Diseño geométrico peatonal del jr. Ayacucho	44
Tabla 11. Diseño geométrico vehicular del jr. Ayacucho	44
Tabla 12. Tiempo de las fases del semáforo del jr. Ayacucho.....	45
Tabla 13. Volumen vehicular (veh/h) de los jirones Ayacucho y Grau de acuerdo al periodo de tiempo.....	46
Tabla 14. Distribución del volumen por tipo de vehículo de los jirones Ayacucho y Grau	46
Tabla 15. Volumen de vehículos por tipo y sus porcentajes en Jr. Ayacucho.....	46
Tabla 16. Tabla de flujos peatonales.....	48
Tabla 17. Volumen y porcentajes por tipo de peatones en O1	48
Tabla 18. Volúmenes parciales en 1h según punto de origen	49
Tabla 19. Tiempos de vehículos Jr. Ayacucho	53
Tabla 20. Resumen de resultados de la calibración para tiempos de viaje en el Jr. Ayacucho	54
Tabla 21. Velocidades de desplazamiento de Niños.....	56
Tabla 22. Resultados de la calibración para velocidades de desplazamientos de niños	56
Tabla 23. Tiempos de viaje para la validación en Jr. Ayacucho.....	58
Tabla 24. Volumen de vehículos en general en cada jirón con su respectivo porcentaje	59
Tabla 25. Volúmenes según rutas Jr. Ayacucho	59
Tabla 26. Parámetros de Wiedemann obtenidos en la calibración	59
Tabla 27. Resumen de Validación de tiempos de viaje en el Jr. Ayacucho.....	60
Tabla 28. Velocidades de niños tomados en campo para validación	61

Tabla 29. Volumen de peatones de O1	62
Tabla 30. Total de peatones por tipo y sus porcentajes	62
Tabla 31. Volumen de peatones en total de O1 según intervalo.....	62
Tabla 32. Resumen de validación de velocidad de desplazamiento de niños.....	63
Tabla 33. Volumen total vehicular en la intersección (veh/h)	65
Tabla 34. Volumen total peatonal en la intersección (veh/h)	65
Tabla 35. Resultados de los parámetros de eficiencia vehicular.....	66
Tabla 36. Resultados de los parámetros de eficiencia vehicular.....	67
Tabla 37. Resultados de los parámetros de eficiencia peatonal	68
Tabla 38. Resultados de los parámetros de eficiencia vehicular.....	69
Tabla 39. Resultados de los parámetros de eficiencia peatonal	71
Tabla 40. Resultados de los parámetros de eficiencia vehicular.....	71
Tabla 41. Comparación de los resultados peatonal del diseño actual con el diseño de mejor.....	77
Tabla 42. Comparación de los resultados vehicular del diseño actual con el diseño de mejor	78
Tabla 43. Comparación de los resultados peatonal del diseño actual con el diseño de mejor.....	80
Tabla 44. Comparación de los resultados vehicular del diseño actual con el diseño de mejor	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación del flujo vehicular entre los años enero 2016-2021	2
Figura 2. Intersección de los jirones Ayacucho y Grau	4
Figura 3. Ejemplo de dimensiones de un vehículo ligero	9
Figura 4. Velocidades máximas en vías urbanas	9
Figura 5. Ejemplo de Vado o Rampa.....	11
Figura 6. Cruce Peatonal o Paso de Cebra.....	13
Figura 7. Criterio para la utilización de cruce peatonal diagonal	15
Figura 8. Ejemplo de superficie podotáctil.....	16
Figura 9. Radio de giro en una intersección.....	17
Figura 10. Indicación de los colores de los lentes de un semáforo.....	20
Figura 11. Ejemplo de líneas longitudinales.....	24
Figura 12. Ejemplo de Línea de retención de parada y Línea de ceder el paso	25
Figura 13. Ejemplo de demarcaciones	26
Figura 14. Tiempo de equilibrio del modelo.....	30
Figura 15. Ejemplo de tiempo de equilibrio en un sistema.....	31
Figura 16. Ejemplo de factores de flujo según múltiples semillas aleatorias	31
Figura 17. Ejemplo de número de semillas para las características del conductor	32
Figura 18. Nivel de confianza en campana de gauss	34
Figura 19. Versión modificada del modelo de Wiedemann y Reiter	35
Figura 20. Pasos del desarrollo exitoso del modelo de micro simulación	37
Figura 21. Obtención de la geometría de la intersección analizada.....	38
Figura 22. Puntos de origen de vehículos y peatones en plano.....	40
Figura 23. Ejemplos de contadores manuales que se utilizó para la recolección de datos	40
Figura 24. Videograbaciones en la intersección analizada	41
Figura 25. Diseño geométrico de la intersección del jr. Ayacucho	44
Figura 26. Tiempo de las fases del semáforo en el jr. Ayacucho	45
Figura 27. Tiempo de las fases del semáforo en el jr. Grau.....	45
Figura 28. Puntos de origen con sus respectivos puntos de llegada (izquierda) y sus volúmenes respectivos (derecha)	47

Figura 29. Distancia considerada para cálculo de tiempos de vehículos en los Jr. Ayacucho (izquierda) y Jr. Grau (derecha)	49
Figura 30. Ubicación de la intersección de análisis	51
Figura 31. Parámetros para la calibración de peatones y vehículos.....	53
Figura 32. Verificación de calibración de tiempos de viaje del Jr. Ayacucho con las herramientas Statkey.....	55
Figura 33. Verificación de calibración de Niños con la herramienta Statkey.....	57
Figura 34. Validación de tiempos de los vehículos en el Jr. Ayacucho con la herramienta StatKey.....	60
Figura 35. Validación de velocidades de Niños con la herramienta StatKey	63
Figura 36. Modelo de la intersección en 3D con el programa Vissim 2022.....	64
Figura 37. Tramo crítico peatonal O3-O4.....	67
Figura 38. Ciclo semafórico de la primer propuesta de mejora	68
Figura 39. Situación actual de la intersección.....	69
Figura 40. Propuesta de añadir un semáforo en el jr. Grau que este sincronizado con el semáforo del jr. Ayacucho	70
Figura 41. Plano de la segunda propuesta de mejora con sus respectivos sentidos de dirección de flujo vehicular para ambos jirones	70
Figura 42. Pasos de cebrá ausentes en el flujo peatonal en la intersección analizada	72
Figura 43. Aumento de pasos de cebrá como propuesta de mejora.....	73
Figura 44. Aglomeración de peatones en la vereda de la intersección	74
Figura 45. Aumento del ancho de vereda como propuesta de mejora	74
Figura 46. Test randomizado del tiempo de demora en los peatones (s) de la primer propuesta de mejora	76
Figura 47. Test randomizado de las velocidades de los vehículos (km/h) de la primer propuesta de mejora.....	77
Figura 48. Test randomizado del tiempo de demora de los peatones (s) de la segunda propuesta de mejora.....	79
Figura 49. Test randomizado de las velocidades de los vehículos (km/h) de la segunda propuesta de mejora.....	80

CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES

1.1. Introducción

La “congestión” vehicular es un fenómeno que se refleja a través de conceptos como colas, demoras y detenciones. Las cuales pueden medirse en la calle o predecir mediante modelos matemáticos. Por lo que, al hacer mención de una calle congestionada, solo tiene sentido si las colas, demoras y detenciones, que se producen, son mayores a un determinado umbral (Fernández, 2011).

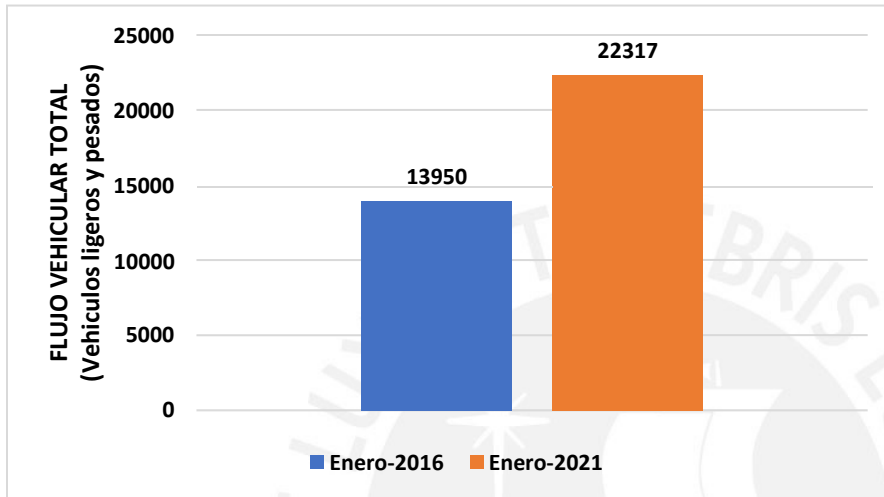
Dicho fenómeno se ve reflejado en Lima, la capital de Perú, donde los principales motivos de la congestión vehicular se deben al crecimiento de vehículos, a la carencia de planificación del sistema de transporte urbano y a la insuficiente planificación de la infraestructura vial. En consecuencia, los usuarios del sistema de transporte, se han visto con pérdidas económicas, una reducción en su nivel de competitividad y productividad, asimismo, afecta la calidad de vida debido al estrés y el menor tiempo que una persona comparte con su familia (Almeida, 2018).

Así, como ocurre en la ciudad de Lima, este fenómeno se puede extrapolar a las ciudades pequeñas con economía emergente, una de estas ciudades es Chachapoyas, provincia de la región de Amazonas. La ciudad ha tenido un gran aumento de vehículos particulares, lo que ha ocasionado colas, demoras y detenciones, en las calles y cruces de la ciudad. Este aumento se puede corroborar con el informe técnico del flujo vehicular por unidad de peaje del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2016), conjuntamente con el Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional – PROVIAS Nacional.

Este informe, relacionado con el peaje de Pedro Ruiz Gallo de Amazonas, peaje más cercano a la ciudad de Chachapoyas, nos muestra que para enero del 2016 el flujo vehicular en dicho peaje fue

de 13 950 unidades (INEI, 2016), entre vehículos ligeros y pesados, a diferencia de enero del 2021 el cual asciende a 22 317 unidades de vehículos totales (INEI, 2021), como se muestra en la siguiente figura 1.

Figura 1
Comparación del flujo vehicular entre los años enero 2016-2021



Fuente: Adaptado del informe técnico del flujo vehicular por unidad de peaje del Instituto Nacional de Estadística e Informática 2016 y 2021

Por lo expuesto, nuestra propuesta de tesis buscó evaluar la circulación de los peatones y vehículos, además de proponer mejoras en la intersección de los jirones Grau y Ayacucho, de la ciudad de Chachapoyas. La evaluación se realizó mediante el software de micro simulación Vissim.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

El objetivo general fue evaluar la circulación de los peatones y vehículos en una intersección de jirones y plantear propuestas de mejora en el diseño y seguridad de la intersección.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Analizar las características de velocidad y desplazamiento de los peatones y vehículos que transitan en la intersección del Jr. Ayacucho y Jr. Grau, de la ciudad de Chachapoyas.

2. Evaluar el diseño actual de la intersección del Jr. Ayacucho y Jr. Grau, de la ciudad de Chachapoyas.
3. Plantear propuestas de mejora en el flujo de los peatones y vehículos que transitan en la intersección del Jr. Ayacucho y Jr. Grau, de la ciudad de Chachapoyas.

1.3. Justificación del proyecto

El proyecto que se planteó buscó desarrollar opciones de mejora de movilización para los usuarios, lo que le otorga relevancia social al proyecto, el cual permitiría otorgar seguridad y un menor tiempo de traslado a los transeúntes. La evaluación de las propuestas se realizó con el software Vissim.

Por otro lado, debido a que, todavía, no es común utilizar estos medios para el desarrollo de proyectos urbanos, en dicha ciudad, el proyecto buscó fomentar el uso de herramientas modernas con el fin de aumentar el conocimiento y la práctica de estas, dotándolo de una utilidad metodológica para la ingeniería en la ciudad.

1.4. Alcances y limitaciones

El alcance de la tesis fue la obtención de parámetros numéricos de velocidad, aceleración y trayectoria, de los peatones y vehículos, que transitan la intersección del jirón Ayacucho y jirón Grau, ubicados en Chachapoyas, provincia de la región de Amazonas. Dicha intersección está localizada en una esquina de la plaza de armas (plazuela central de la ciudad) y a una cuadra del mercado modelo, como se observa en la figura 2, donde, además, el control del tráfico está dado por un semáforo de tres fases.

Figura 2
Intersección de los jirones Ayacucho y Grau



Fuente: Adaptado de Google maps, 2022

Nota: Se muestra la ubicación de la intersección a analizar

Las muestras tomadas variarán de acuerdo a las fechas, debido a que, a mediados y fin de año, los colegios y universidad tienen vacaciones, además, de los días festivos que se celebran en la ciudad. Asimismo, el clima es muy variado por lo que no es ajeno a tener días seguidos de lluvias torrenciales, lo que afecta a la variabilidad de las muestras. Por lo que, la toma de medidas y mejoras que se plantearon dependen del periodo en el cual se analizó la intersección, debido a que la congestión vehicular varía de acuerdo a la época del año.

Las muestras fueron tomadas en la hora de mayor congestión vehicular, en la hora de entrada y salida de los centros de trabajo y colegios en la tarde. Por ello, se tomaron los datos de 6 pm a 7 pm. Se contó con los recursos de una cámara de grabación y filmadora, de las cuales se obtuvieron los datos de las velocidades, tiempos y cantidades de usuarios que transitan la intersección.

CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Factores que intervienen en la evaluación vial de la intersección

2.1.1. Factores que afectan la funcionalidad vial

Cal y Mayor et al (2016), menciona, que a pesar de los avances de la tecnología que se ha podido plasmar y construir en los sistemas viales, aún existen problemas de tránsito en diferentes ciudades. Estos problemas de tránsito van desde los diferentes vehículos que transitan la vía (camiones, motocicletas, bicicletas, etc.), el diseño vial inadecuado (calles estrechas, deficiente trazo urbano, carreteras antiguas), deficiente planificación del tránsito (inexistente política de estacionamientos, intersecciones mal ejecutadas), desinterés político en el sector transporte, además de la falta de educación vial de los mismos usuarios.

2.1.2. Planeamiento de mejoras en el sistema de tránsito

Conocidos los factores que afectan a la funcionalidad en el tránsito, es importante la planificación de las posibles soluciones. En ese sentido, Garber et al (2005), plantea que la planificación empieza con la definición de la situación, donde se entiende el problema y se percibe la necesidad de mejorar el transporte. Luego, define el problema, en el cual se describen los objetivos mediante criterios que se puedan medir. Definido el problema, busca las posibles soluciones, aquí se consideran las ideas que aporten soluciones factibles al problema. Luego, se analizan los desempeños de estas mediante modelos matemáticos, además de las consecuencias ambientales. Obtenidos los datos del desempeño, se evalúa el costo-beneficio que estas puedan ofrecer, para, luego, seleccionar el proyecto. Por último, se detalla el diseño y especificaciones técnicas para su ejecución.

2.1.3. Características de peatones

Los peatones son importantes para los problemas de circulación por su vulnerabilidad. Esto ocurre, debido a que el peatón carece de protección física, lo cual lo expone a mayor riesgo al compartir la vía con los vehículos. Por eso, el mayor número de fallecidos, en accidentes de tránsito, son los peatones (Radelat, 1964). Wright et al. (1993) resalta que el peatón es el usuario que más utiliza el sistema de caminos por lo que cuando esta falla, el peatón es el más perjudicado.

Debido a todo lo expuesto anteriormente, es importante observar el comportamiento de circulación de los peatones. Dentro de estas características se encuentran su velocidad, para Kishor et al. (2010), la velocidad está relacionada con la capacidad, la densidad del flujo y del tipo de peatón. Además, la Transportation Research Board (2000), agrega que la velocidad del peatón también depende de la edad, así como de los obstáculos que se producen en la acera. Asimismo, la Canadian Council of Motor Transport Administration (2013), añade que la velocidad varía de acuerdo al clima ya sea un día lluvioso, nevando o soleado, además de que la persona este sobrecargada con bolsas, equipaje, etc. Los autores, mencionados, señalan que la velocidad media promedio, en un grupo de personas, varía de 4.86 km/h a 5.40 km/h. A continuación, se muestran las velocidades promedio de acuerdo a la variación de edad según los autores mencionados.

Tabla 1
Velocidades promedio de peatones de acuerdo a su edad

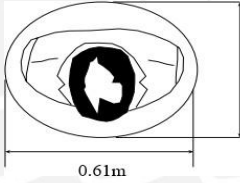
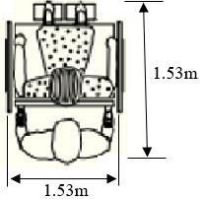
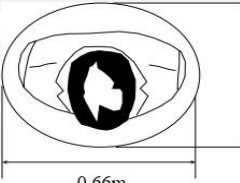
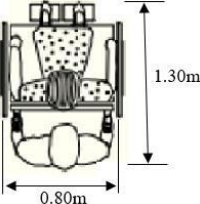
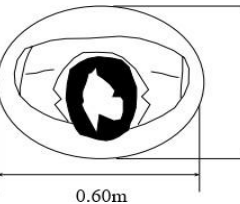
EDAD (años)	(1)	(2)	(3)
	VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)
10 - 17	4.43	3.60	4.07
18 - 65	4.86	5.40	5.26
66 -	4.32	4.32	4.32

Los valores indicados de la tabla se establecen a partir de la interpretación de la información contenida en las siguientes referencias.

1. Kishor et al. (1998)
2. TRB (2000)
3. CCMTA (2013)

Asimismo, otra característica importante del peatón, que interviene en la circulación, es la dimensión que este ocupa en la acera. Según la investigación de la Federal Highway Administration (2013), el cuerpo de un peatón abarca una elipse de 45.72 cm por 60.96 cm; sin embargo, esta no considera los peatones que caminan al costado. Además, menciona que se especifican un mínimo de 152.5 cm por 152.5 cm para que una silla de ruedas pueda dar un giro de 180°. Por otra parte, según la MPC (1998), la dimensiones que ocupa un peatón común es la de 66 cm por 31cm y para una silla de ruedas un área de 80cm por 130cm. De igual manera, el Highway Capacity Manual (2000) menciona que la elipse que abarca un peatón es 50cm por 60cm. A continuación, se resumen lo explicado sobre el espacio que ocupan los peatones.

Tabla 2
Dimensiones ocupadas por el peatón

Tipo	Persona común	Persona en sillas de ruedas
Dimensión ocupada por el peatón (m) (1)		
Dimensión ocupada por el peatón (m) (2)		
Dimensión ocupada por el peatón (m) (3)		-

Los valores indicados de la tabla se establen a partir de la interpretación de la información contenida en las siguientes referencias.

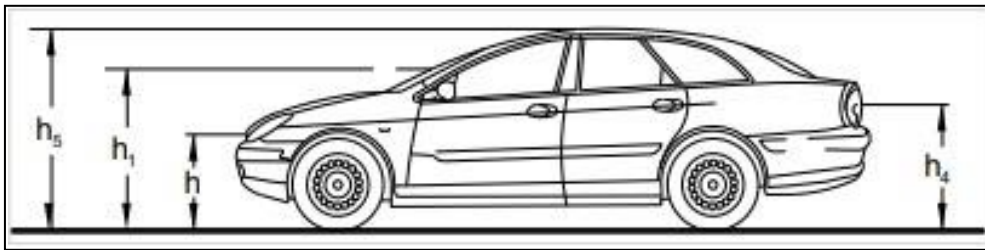
1. FHWA (2013)
2. MPC (1998)
3. HCM (2000)

2.1.4. Características de vehículos

La importancia del vehículo, en el flujo vehicular, se basa en que se utilizan las características estáticas (peso y tamaño), cinemáticas (movimiento del vehículo sin considerar alteraciones) y dinámicas (fuerzas que originan su movimiento), para el diseño geométrico de las pistas (Garber et al, 2005). Sin embargo, a continuación, solo se describirán las características estáticas y cinemáticas como características de los vehículos. Wright et al (1993), menciona que el tamaño y el peso son factores importantes en el diseño del ancho de carril, ancho de cuneta, longitud y medidas de los estacionamientos. Por otra parte, la característica cinemática, está relacionada con la variación de la aceleración a los elementos tales como la distancia y la velocidad (Garber et al, 2005). Por consiguiente, se describen las características de los vehículos: tipos a estudiar, dimensiones y aceleraciones promedio.

Los vehículos motorizados pueden variar de dimensiones dependiendo de la marca y modelo; sin embargo, se han establecido medidas promedio que van, para vehículos de dos y tres ruedas, de 1.75 m a 2.00 m de largo y de 0.80 m a 1.00 m de ancho, y para vehículos automóviles de 4.50 m a 5.00 m de largo, de 1.80 m a 2.00 m de ancho y 1.50 m a 1.70 m de alto (NACTO, 2016). Por otro lado, el manual de carreteras de Perú, describe como vehículos ligeros a los automóviles de origen norteamericano, los cuales tienen 2.10 m de ancho y 5.80m de largo (MTC, 2018). Asimismo, describe la altura de 0.60 m de faros delanteros (h); la altura de los ojos del conductor, 1.07m (h1); la altura de un obstáculo fijo en la carretera, 0.15 (h2); altura de las luces traseras de un automóvil, 0.45 h4); y, la altura del techo de un automóvil, 1.30 m (MTC, 2018).

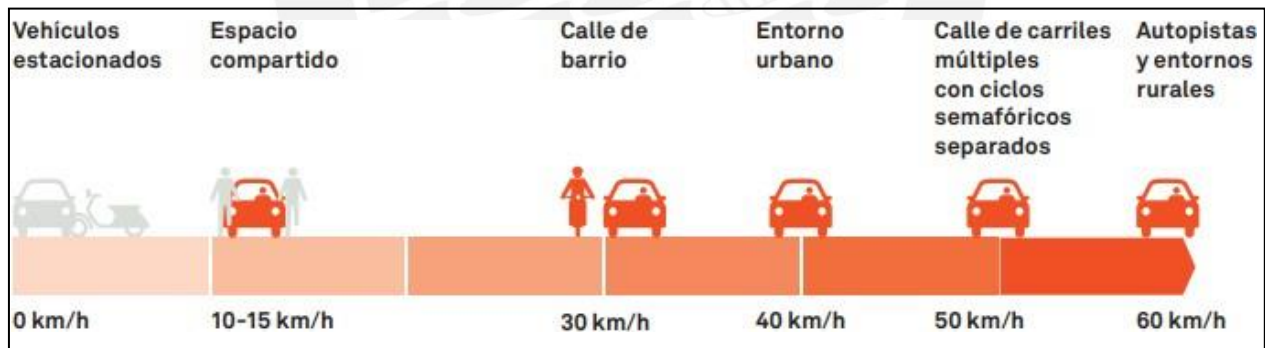
Figura 3.
Ejemplo de dimensiones de un vehículo ligero



Fuente: MTC, (2018).

Asimismo, las velocidades máximas que puede recorrer, el automóvil, en zonas urbanas, es de 30 km/h en calles y jirones, y 50 km/h en avenidas (MTC, 2021). Dichas velocidades coinciden con la norma de Quito, Ecuador (Hurtado et al, 2019) y NACTO (2016), con velocidad en zonas urbanas, es de 30 km/h en calles y jirones, y 50 km/h en avenidas. Por otro lado, en Argentina todavía se mantienen las velocidades de 40 km/h en calles tipo (calles y jirones) y 60 km/h en avenidas tipo (Ministerio de Desarrollo Urbano, 2015).

Figura 4.
Velocidades máximas en vías urbanas



Fuente: MTC, (2018).

2.2. Manual de diseño urbano

2.2.1. Manual de diseño peatonal

Como se mencionó en párrafos anteriores, los autores como Cal y Mayor et al. (2016), Radelat (1964) y Wright et al. (1993) mencionan que los peatones son parte importante dentro del diseño de una intersección urbana, pues ellos son los usuarios más vulnerables si ocurriese un accidente.

Por ello, existen distintos parámetros que ayudan a salvaguardar su salud, por ejemplo, las veredas, rampas contiguas en cruces, señalizaciones horizontales, tales como los pasos de cebra y las señalizaciones verticales.

Vereda

Se denomina vereda al espacio ubicado entre la calzada y el límite de la propiedad, el cual tiene como fin el uso peatonal (ICG, 2005). Asimismo, existen diversas especificaciones para el ancho de vereda de acuerdo al manual de diseño de los países en cuestión, por ejemplo, para la norma otorgada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), el ancho de vereda mínimo, en vías locales principales, tiende a ser de 1.80 m a 3.00 m, mientras que para el manual de diseño geométrico de vías urbanas (VCHI, 2005) del país de Chile, el ancho de vereda mínimo es de 1.20 m a 1.50 m, recomendando un ancho de 2.00 m. Lo mismo ocurre en el manual centroamericano de diseño geométrico (SIECA, 2004), en el cual se encuentra que el ancho de las veredas, en los tipos de carreteras suburbanas, son de 1.20 m a 2.00 m. Por otro lado, en Colombia, según Arboleda (2020), el ancho de las veredas varía de 1.50 m a 2.50 m de ancho. En Argentina, las dimensiones del ancho de vereda varían similar al país de Colombia, 1.50 m a 2.50m, con la diferencia que en este último en uno de los dos lados de la calle se garantiza que el ancho mínimo sea de 2.50 m para plantar árboles (Ministerio de Desarrollo Urbano, 2015). Como se observa, los valores comunes de ancho de vereda varían en 1.20 m a 1.80 m, como mínimo.

Tabla 3
Dimensiones del ancho de vereda por países

País	Ancho de vereda (m)	Referencias
Perú	1.80 m – 3.00 m	Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2011)
Chile	1.20 m – 2.00 m	VCHI (2005)
Centroamérica	1.20 m – 2.00 m	SIECA (2004)
Colombia	1.50 m – 2.50 m	Arboleda (2010)
Argentina	1.50 m – 2.50 m	Ministerio de Desarrollo Urbano (2015)

Nota* Las referencias se ubican dentro de la misma tabla.

Vados o Rampas Contiguas

Asimismo, otro parámetro utilizado son los vados o rampas contiguas de las aceras. Los vados están ubicados en las intersecciones de las calles y en las esquinas. El acceso de rampas en las veredas, tienen como finalidad, salvar la diferencia de desnivel entre la calzada y la vereda, con lo que se interrumpe las bermas laterales, centrales y/o sardineles; en el caso de que estos elementos no existan dentro de una vereda misma, se debe tener continuidad en las rutas accesibles (El Peruano, 2016).

Figura 5
Ejemplo de Vado o Rampa



Fuente. Ministerio de Desarrollo Urbano (2015)

La normativa en el Perú, en el cual menciona las características de las rampas, se presenta en El Peruano (2016). Dicha normativa describe que el ancho mínimo de la rampa, recomendable, menor a 1.80 m, la longitud de llegada es 1.50 m, como mínimo, y la pendiente máxima es de 12%. Por otro lado, de acuerdo al Manual de diseño urbano de Argentina (Ministerio de Desarrollo Urbano, 2015), la pendiente a utilizar debe tener una relación de 1:12 (pendiente máxima 2%), un ancho mínimo de 1.50 m y una longitud que depende de la altura del cordón. En Chile, las rampas deben tener una pendiente comprendida entre el 5% y el 15%, con un ancho mínimo de 2.50 m (VCHI, 2005). Mientras que, en Uruguay, el ancho mínimo libre debe ser mayor o igual a 0.90 m, con una pendiente que puede aumentar hasta los 12.5%.

Tabla 4
Dimensiones del ancho mínimo de Vado por País

País	Ancho de Vado Mínimo (m)	Pendiente (%)	Referencias
Perú	1.80 m	12	El Peruano (2016)
Argentina	1.50 m	2	Ministerio de Desarrollo Urbano (2015)
Chile	2.50 m	15	VCHI (2005)
Uruguay	0.90 m	12.5	Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (2014)

Nota* Las referencias se ubican dentro de la misma tabla

Cruceros peatonales

Otro parámetro utilizado para la seguridad de los peatones, son los pasos peatonales o cruceros peatonales, los cuales están ubicados en las intersecciones de las calles y esquinas. Estas señales están dadas por líneas paralelas en todo el ancho de la calzada, el cual tiene la función de indicar el cruce peatonal (MTC, 2016), como se muestra a continuación.

Figura 6
Crucero Peatonal o Paso de Cebra



Fuente: MTC (2016)

Para la norma peruana, dada por el MTC (2016), las líneas contiguas deben ser de color blanco, de grosor de 0.30 m a 0.50 m cada una, cuya separación es la del mismo grosor de su ancho. Este cruce debe tener como mínimo 2.00 metros de ancho, el cual puede ser de forma paralela o diagonal (MTC, 2016). En la prefectura de Sao Paulo, Brasil, utilizan, también, el color blanco o un color que contraste con el pavimento, pero las dimensiones son diferentes: las líneas paralelas deben tener un ancho de 0.40 m con un espaciamiento de 0.60 m y con una longitud mínima de 3.00 m (Compañía de Ingeniería de tráfico, 2019). Asimismo, el manual interamericano para el control del tránsito, describe que el ancho de las líneas y la separación entre estas, debe ser de 0.40 m, con un ancho mínimo de 1.80 m y de color blanco (MTC-OEA, 1991). Como se observa, se prefiere el color blanco para resaltar los pasos de cebra, pero las dimensiones, en cada país, son diferentes, por lo que a continuación se presenta una tabla con el resumen de las dimensiones de los pasos de cebra de distintos países.

Tabla 5
Dimensiones de Paso de Cebra

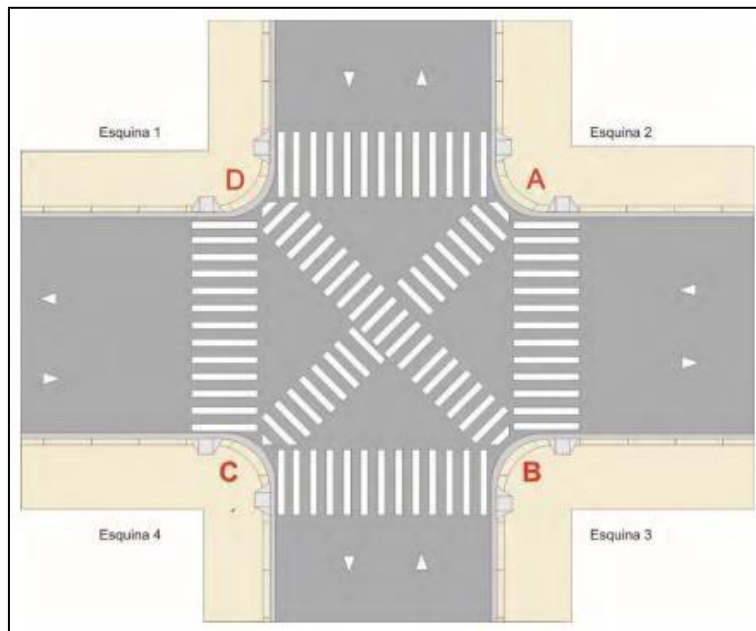
País	Dimensiones		Ancho mínimo	Color	Referencias
	e (m)	a (m)	(m)		
Perú	0.30	0.30	2.00	Blanco	Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016)
Brasil	0.60	0.40	3.00	Blanco	Compañía de Ingeniería de Trafico (2019)
MTC-OEA	0.40	0.40	1.80	Blanco	MTC-OEA (1991)
Chile	0.50	0.20	2.00	Blanco	Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (2013)
Uruguay	0.40	0.40	2.50	Blanco	Ministerio de Transportes y Obras Publicas dirección Nacional de Vialidad (1999)

Fuente: Propia

Cruceros peatonales en diagonal

Los cruceros peatonales se utilizan cuando el aforo de peatones es mayor al aforo de vehículos en una intersección. Asimismo, el manual de señalización urbana de Sao Paulo (Compañía de Ingeniería de Trafico, 2019) describe varios criterios de uso para dichos cruceros peatonales, dentro de los cuales destacan que el semáforo debe administrar la capacidad de programarlo en tiempo más corto en verde y rojo intermitente que permita el cruce peatonal en diagonal. El área de ubicación debe caracterizarse por la concentración de colegios, comercio y otros que generen volumen importante de peatones que impulse el cruce en diagonal; asimismo, para colocar un crucero en diagonal, las personas que pasan por los trayectos ABC y ADC, como se observa en la imagen, deben sumar más de 600 personas por hora.

Figura 7
Criterio para la utilización de cruceo peatonal diagonal



Fuente: Adaptado de Compañía de Ingeniería de Trafico (2019)

Mosaicos podo táctiles

Los mosaicos podo táctiles son pavimentos especiales que indican información de peligro, cambio de dirección, detenerse o seguir el camino. Por lo general, dichos pavimentos son módulos de conos truncados que tienen un ancho mínimo de 0.30 m x 0.30 m y máximo 0.40 m x 0.40 m (SEDATU, 2016). Estos pavimentos son usados en aceras, estaciones de transporte público y edificios públicos. Asimismo, tienen ciertos beneficios como que poseen gran resistencia para el tránsito peatonal, no requieren un alto costo en mantenimiento, otorgan una superficie antideslizante y son detectables por personas con poca capacidad visual (Ministerio de Desarrollo Urbano, 2015).

Figura 8
Ejemplo de superficie podo-táctil



Fuente: Adaptado de Ministerio de Desarrollo Urbano (2015) y NACTO (2016).

2.2.2. Manual urbano de una intersección para vehículos

Ancho de carril en vías urbanas

El código de tránsito brasileño, define a un carril de circulación como un área cualquiera en que, el carril, sea lo suficientemente ancho para permitir la circulación de vehículos (Compañía de Ingeniería de Trafico, 2019). Los anchos de carriles son diseñados según diferentes parámetros con el fin de cumplir con los flujos vehiculares (ICG, 2005).

En la norma técnica peruana de diseño urbano, el ancho de carril, en vías locales, es de un mínimo de 2.70 m y puede llegar a 3.60 m (El Peruano, 2011). Por otro lado, en la Ciudad de Sao Paulo, Brasil, se tiene un mínimo, de ancho de carril, de 2.70 m a 3.00m, para vías locales (Ciudad de Sao Paulo, 2022). Asimismo, en las calles tipo, que para Argentina son vías locales, se tiene un mínimo de ancho de calzada de 3.00 m a 5.00 m (Ministerio de Desarrollo Urbano, 2015). De igual manera, para el manual de diseño de Chile, define un ancho mínimo de 2.75 m, para vías locales (VCHI, 2005). Se puede observar, que el mínimo del ancho de carril para países latinoamericanos como Perú, Brasil, Argentina y Chile, es de 2.70 m.

Tabla 6
Mínimo de ancho de carril

País	Ancho mínimo (m)	Referencias
Perú	2.70 – 3.60	Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016)
Brasil	2.70 – 3.00	Compañía de Ingeniería de Trafico (2019)
Argentina	3.00 – 5.00	Ministerio de Desarrollo Urbano (2015)
Chile	2.75 – 3.00	CVHI (2005)

Fuente: Propia

Radio de giro en intersecciones urbanas

Asimismo, se analiza el radio de giro en las intersecciones debido a que forma parte importante de la seguridad de los usuarios, debido a que esta limita la velocidad con la que el automóvil gira, por lo que, a menores radios de giro, se producirán menores velocidades y por ende mayor seguridad para los usuarios (NACTO, 2016; SEDATU et al, 2018; Compañía de Ingeniería de Trafico, 2019). Además, dichos autores mencionan que el radio de giro está relacionado con el radio de curvatura de la esquina, el radio mínimo de curvatura y el número de carriles tanto en la calle de inicio del giro como en la llegada del giro.

Figura 9
Radio de giro en una intersección



Fuentes: SEDATU (2018)

Para la NACTO (2016), la velocidad límite en el giro debe de ser 10 km/h y esta velocidad se logra reduciendo el radio de esquina entre 3 a 5 m en espacios urbanos, además menciona que es preferible radios de esquina menores a 1.5 m.

Por otro lado, para la SEDATU et al (2018), no son pertinentes los radios de giro menores a 1.5 m, solo se usan cuando no exista giro en una esquina. Para este autor, el radio de giro se relaciona directamente con las características de operación: las velocidades referenciales según los tipos de automóviles, por ejemplo, para generar una velocidad baja en una vuelta de vehículos particulares se debe disponer de un radio de esquina de 3m.

Para la ciudad de Sao Paulo el límite de velocidad en el giro debe ser de 15 km/h, donde se define que el máximo de la longitud del radio de giro esta dado por las ruedas exteriores del vehículo, donde se indica que el radio a considerarse es de 4.00 m (Compañía de Ingeniería de Trafico, 2019).

Por otra parte, en Quito, Ecuador, el radio de giro, en vías urbanas, está relacionado directamente con el ancho del carril de entrada y el de salida, por ejemplo, para un ancho de calzada antes del giro igual a 3.00 m y un ancho de 3.00 m de calzada en la salida del giro, se tiene un radio de giro de 2.00 m para automóviles (Hurtado et al, 2019).

Sin embargo, para la norma peruana de carreteras (MTC, 2018), se utiliza el radio de giro efectivo, donde describe que, para vehículos ligeros, el radio mínimo de giro, en 90°, es de 7.30 m, el cual lo toma hacia las ruedas exteriores del vehículo ligero (VL).

Semáforos

Los semáforos son indispensables en calles, diagonales, transversales, entre otras, para la organización y óptima movilización del parque automotor de las grandes ciudades. Su programación debe ser cuidadosa para evitar accidentes en vías principales (Tellez, 1990). Por ello, el Ministerio de Transporte y Comunicaciones enfatiza en la compatibilidad del diseño determinado de una intersección y su semaforización o tipo de control instalado, ya que puede generar riesgos en la seguridad vial para peatones y vehículos (MTC, 2017).

Existen 3 modos comunes de funcionamiento de los semáforos, según la FHWA (2013), los cuales funcionan en modo preprogramadas, semiaccionado y accionado. El modo preprogramado trabaja con longitudes de ciclo fijas y precronometradas, el cual puede trabajar en coordinación con semáforos cercanos. Dicho modo es ideal para intersecciones donde el volumen y patrones de tráfico son relativamente similares en todos los días. El modo semiaccionado no tiene una duración de ciclo fija, ya que esta depende del tráfico que se genere, sin embargo, el sistema esta normalmente aplicado para calles secundarias. El modo accionado, proporciona longitudes variables de tiempo en verde, las cuales están equipadas con detectores. Estas longitudes se basan en las características y demandas de la intersección.

Asimismo, Valencia (2000), describe el significado de los colores en los semáforos: la luz verde, de “SIGA”, significa que los vehículos que se desplacen hacia el semáforo pueden seguir de frente o girar a la izquierda o derecha, si no hubiese alguna señal prohibida de dichos movimientos. La luz amarilla, de “transición”, indica a los conductores que deben empezar a detenerse ya que está por cambiar a luz roja de “PARE”, además de comunicar, a los peatones, el limitado tiempo que disponen para cruzar. La luz roja, significa “PARE”, es decir, el tránsito que se dirige hacia el semáforo debe detenerse detrás de la línea de detención o frente al semáforo (Valencia, 2000).

Figura 10.
Indicación de los colores de los lentes de un semáforo.



Fuente: Valencia (2000)

Señalizaciones Verticales

Las señales verticales son herramientas de información para los conductores ya sean para difundir límites de velocidad, restricciones de giro, proporcionar nombres de direcciones, etc. (NACTO, 2016). En los diferentes manuales de países como Perú, Argentina, Brasil, Colombia, México, Chile, entre otros, concuerdan que las señales verticales se clasifican como señales reglamentarias, preventivas e informativas (MTC, 2016; Vialidad Nacional, 2017; Compañía de Ingeniería de tránsito, 2019; MINTRANSPORTE, 2015; SEDATU, 2018; Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2018).

Dichos manuales mencionan, que las señales reglamentarias tienen como fin difundir las prohibiciones, restricciones y obligaciones al hacer uso de una vía y que su omisión significa una infracción al reglamento de tránsito. Asimismo, las señales preventivas, tienen como fin notificar advertencias de peligro, de manera temporal o permanente, presentes en la vía o en su alrededor. Por último, las señales informativas, tienen como fin difundir información de destinos, nombres

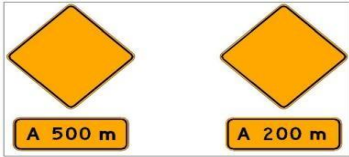






de calles, distancias de ciudades, lugares de interés turístico, servicios, etc. (MTC, 2016; Vialidad Nacional, 2017; Compañía de Ingeniería de tránsito, 2019; MINTRANSPORTE, 2015; SEDATU, 2018; Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2018). A continuación, se presentan ejemplos de los distintos tipos de señales de acuerdo al de Perú.

Tabla 7
Ejemplos de señales reglamentarias en Perú

Imagen	Descripción
	Mensajes en Señal
	Señales de Prioridad
	Señales de prohibición de maniobras y giros
	Señales de Prohibición de paso por clase de vehículo
	Otras señales de prohibición
	Señales de restricción
	Señales de obligación
	Señales de autorización





Fuente: Adaptado de MTC (2016)

Tabla 8
Ejemplos de señales preventivas en Perú

Imagen	Descripción
	Señal preventiva con placa
	Señales preventivas de curva
	Señales preventivas de reductores de velocidad
	Señales preventivas por restricciones físicas de la vía
	Señales preventivas de intersección con otras vías
	Señales preventivas por características operativas de la vía
	Señales preventivas para emergencias

Fuente: Adaptado de MTC (2016)

Tabla 9
Ejemplos de señales informativas de Perú

Imagen	Descripción
	Señales de dirección
	Señales de dirección turística
	Señales de dirección de salida de autopistas
	Señales informativas de servicios generales

Fuente: Adaptado de MTC (2016)

Señalización Horizontal

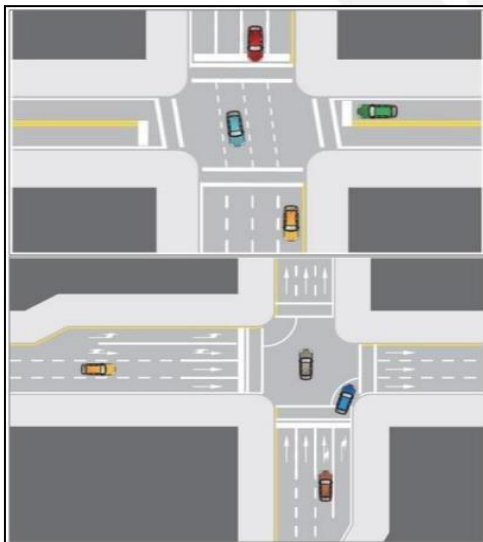
La señalización horizontal alude a las señales que se imprimen en el pavimento, en el cual se difunde información del comportamiento requerido a los conductores en la vía. Estas informaciones abarcan límites de velocidad, separación de vías, flechas direccionales, entre otros (NACTO, 2016).

Los objetivos de la señalización horizontal en los países como Perú, Brasil, Colombia, México y Argentina, es controlar, orientar y regular la circulación vehicular y peatonal de manera segura y fluida mediante códigos comunes en todo el país (MTC, 2016; Compañía de Ingeniería de Trafico, 2019; MINTRANSPORTE, 2015; SEDATU, 2018; Dirección Nacional de Vialidad, 2012).

Dichos manuales comparten la misma información, con la diferencia que el manual de Perú (MTC, 2016), el manual de Colombia (MINSTRASPORTE, 2015) y el manual de México (SEDATU, 2018) clasifican a las señales horizontales en demarcaciones de manera general, pero para los manuales de Sao Paulo, Brasil (Compañía de Ingeniería de Trafico, 2019) y para Argentina (Dirección Nacional de Vialidad, 2012) los clasifican en señalización longitudinal, transversal, además de canalización, estacionamiento, parada (Brasil), y combinados (Argentina).

Para las marcas longitudinales se encuentran las líneas de carril, donde el MTC (2016) clasifica a cuatro líneas longitudinales. La primera es la línea doble continua, la cual significa la máxima restricción que no se puede cruzar o invadir el carril contrario. Asimismo, se tiene la línea continua, la cual además de dividir la vía en carriles, restringe la invasión al carril contiguo. Otra línea longitudinal es la línea discontinua, la cual permite el cambio o invasión de carril de sentido contrario. Por último, describe la línea punteada, que indica la transición entre líneas longitudinales ya descritas.

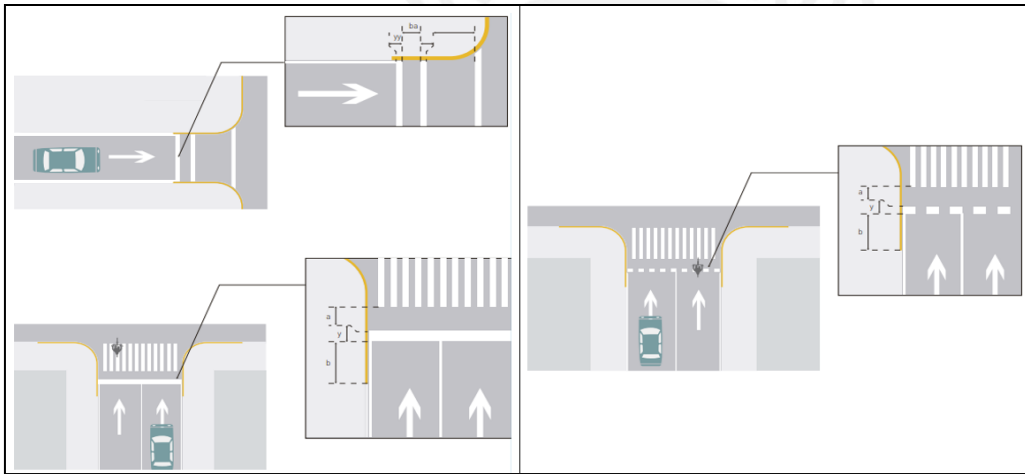
*Figura 11
Ejemplo de líneas longitudinales*



Fuentes: MTC (2016)

Por otro lado, en las señalizaciones transversales, se tiene, primero, la línea de retención de parada obligatoria, el cual indica el límite en el cual el auto debe detenerse obligatoriamente, asimismo esta línea se utiliza siempre que se considere necesario el lugar de parada de un vehículo (Compañía de Ingeniería de Trafico, 2019). Asimismo, se tiene la línea de ceda el paso, el cual indica que los conductores deben detenerse. Dichas líneas se colocan paralelos a los cruces peatonales o de ciclistas (SEDATU, 2018). Además, ambas líneas se ubican a una distancia de 1,00 m antes del paso peatonal y en otros casos a 1.50 m como mínimo (MTC, 2016).

Figura 12
Ejemplo de Línea de retención de parada y Línea de ceder el paso

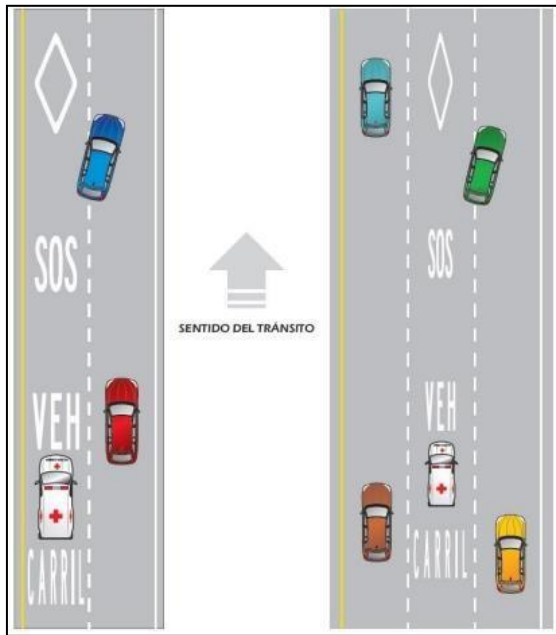


Fuente: (SEDATU, 2018).

Nota: La imagen de la izquierda es de Líneas de retención y la imagen de la derecha es de la Líneas de ceder el paso.

Otras demarcaciones que menciona la norma peruana del MTC (2016) son la velocidad máxima permitida, el cual es un símbolo impreso en el pavimento para informar la velocidad máxima que se permite en la vía en circulación; la fecha recta y de giro, las cuales informan el sentido o dirección que se permite desplazarse con el vehículo; las leyendas, que son marcas reglamentarias que se usan para informar al conductor, como por ejemplo “PARE”, “SOLO”, “CEDA EL PASO”, etc.

Figura 13
Ejemplo de demarcaciones



Fuente: MTC (2016)

2.3. Simulación

2.3.1. Simulación como Modelo de Tráfico Vehicular

Los modelos se construyeron con el fin de sustentar la toma de decisiones, esto a partir de la búsqueda de soluciones a problemas de un sistema estudiado, como, por ejemplo, los peatones, ciclistas, geometría de la zona de estudio, entre otros (Barceló, 2012). Dentro de los tipos de modelos que se analizan se encuentran los modelos empíricos: predicen el rendimiento de acuerdo al análisis estadístico de los datos de campo; analíticos, se basan en consideraciones teóricas, los cuales buscan crear relación entre los componentes del sistema como templado, validado y calibrado de acuerdo a los datos de campo y de simulación; y, los modelos de tráfico vehicular, que se benefician de herramientas matemáticas para plasmar los datos de campo, como el comportamiento del tráfico, a una computadora, durante periodos largos de tiempo de un sistema determinado (HCM, 2000).

Los modelos de simulación se centran en la dinámica del flujo del tráfico, los cuales se representan mediante la teoría de seguimiento vehicular y el modelo fluido-dinámico. En este último, el tráfico se modela como el promedio de un conjunto de particulares semejantes. Mientras que, la teoría de seguimiento vehicular, relaciona la interacción del vehículo antecesor y el vehículo sucesor (Fernández et al, 2011).

Asimismo, las características positivas que se pueden encontrar en la simulación son que se puede estudiar el sistema en tiempo real, tiempo comprimido o tiempo expandido, se pueden realizar experimentos inseguros sin tener ningún tipo de riesgo, se puede replicar las condiciones base para compararlas con alternativas de mejora, puede variar el tiempo u el espacio, analizar los efectos de los cambios del sistema, entre otros (HCM, 2000).

Por otra parte, la simulación tiene sus deficiencias como existir formar más sencillas de solucionar el problema; requieren considerables datos de entrada que pueden ser complicados de obtener; requiere verificación, calibración y validación, los cuales no se pueden omitir ya que hace no confiables a los modelos; el desarrollo de los modelos requieren el conocimiento de varias disciplinas para su uso optimizado ya que se requiere programar, operar computador, probabilidad, análisis estadístico; entre otros (HCM, 2000).

2.3.2. Modelos de escalas de simulación

Macroscópico

Los modelos macroscópicos no manejan mucha información a comparación del mesoscópico y microscópico, por ello se desarrollan modelos de gran escala en menor tiempo (CSMP, 2012). Para obtener modelos macroscópicos, es importante la recolección de cuatro tipos de datos, según la FHWA (2013). Dichos datos se contemplan a continuación.

El primero son los datos generales como volúmenes de tráfico y sus respectivas direcciones de camino, las cuales se analizan en intervalos de 15 minutos, dentro de una hora de tiempo. Estos datos se clasifican como datos de entrada, los cuales se realizan para un periodo y día de interés, los cuales incluyen los picos de mañana, tarde y noche, además de los periodos de menos actividad. El segundo dato, son los datos geométricos, por ejemplo, las longitudes y número de carriles, los radios de giro, los anchos de vereda, entre otros.

El tercer dato, son los datos de fase que se puedan encontrar en la vía a analizar, por ejemplo, las fases del semáforo, su ubicación, configuraciones y su capacidad para controlar. Estos datos son dependientes de la geometría existente del lugar.

El cuarto dato, que menciona la FHWA (2013), son los requisitos de los usuarios en las intersecciones, como es su tránsito, el cual tendrá un impacto directo a la temporización de la señal.

Mesosκόpico

Por otro lado, los modelos mesoscópicos estudian o realizan modelos con mayor detalle que los modelos macroscópicos, pero con menor detalle que los microscópicos (FHWA, 2014). Sin embargo, guardan relación con ambos debido a que, también, mezclan herramientas y conceptos de los modelos macroscópicos y microscópicos, al analizar el comportamiento de los conductores, por lo que representan una aproximación de ambos modelos (Papageorgiou, 2003). Esto se puede ejemplificar en las actividades e interacciones que se simulan en vehículos individuales basándose en sus relaciones macroscópicas con el flujo del tráfico a simplificar (CSMP, 2012).

Microscόpico

Por último, se tiene el modelo microscópicos, el cual realiza modelos con mayor precisión y detalle que los modelos macroscópicos y mesoscópicos, debido a que analiza a los usuarios mediante

simulaciones individuales en periodos muy pequeños de tiempo: 1 segundo aproximadamente o menos (CSMP, 2012).

Wiering (2004), define a un modelo microscópico como un campo donde los usuarios se relacionan e interactúa con sus propias reglas. CSMP (2012), acota que el objetivo del modelo microscopio es generar una realidad virtual que se aproxime con los valores tomados del mundo real. Por ello, dicho modelo, es de naturaleza estocástica, el cual permite determinar las características de varios objetos, que se presentan de manera aleatoria, con una distribución de probabilidad normal (CSMP, 2012). Asimismo, el análisis de los modelos microscópicos se realiza mediante softwares de micro simulación (FHWA, 2013).

2.3.3. Micro simulación

La micro simulación al estar relacionado con el modelo microscópico, tiende a tener una naturaleza estocástica, la cual se basa en un conjunto de reglas para obtener la ubicación de los vehículos y peatones de acuerdo a un paso de tiempo (HDWA, 2013). Para Johansson (2013), la naturaleza estocástica, de la micro simulación, es su característica más importante, debido a que cada vehículo y peatón es independiente de los demás, por lo que se obtiene un modelo más preciso y apegado a la realidad. También menciona que esto es la que lo diferencia respecto a otros modelos de simulación.

Actualmente, la micro simulación de tráfico se utiliza como planificador de transportes e ingenieros de tráfico. Debido a ello, se diseñaron varios softwares desde distintos enfoques, con el fin de analizar y optimizar los flujos de tráfico (Fellendorf & Vortich, 2010). Dichos softwares contienen herramientas como seguimientos de automóviles, cambio de carril, respuesta a señales, etc. (FHWA, 2013).

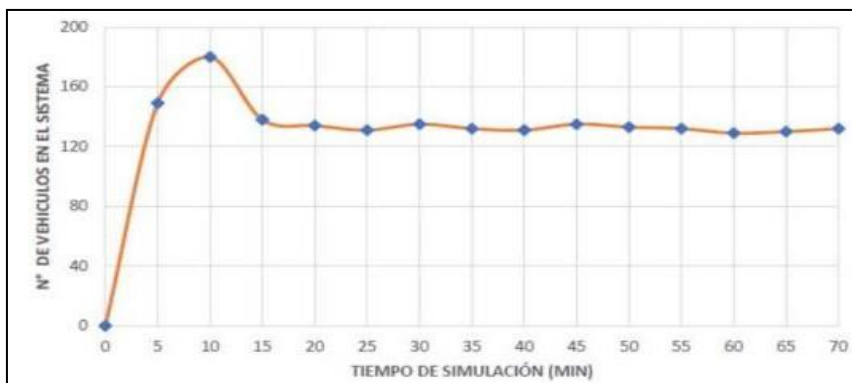
Para la FHWA (2013), los análisis de micro simulación utilizan modelos macroscópicos y microscópicos. Los primeros para generar archivos de entrada para un modelo de micro simulación y el modelo microscópico para desarrollar y modelar planes alternativos de manera de sencilla y automatizada. Sin embargo, para el análisis microscópico es necesario la calibración y validación de los resultados para generar resultados creíbles y con mayor precisión. Por ello, la FHWA (2013) describe los siguientes pasos: alcance del proyecto, recopilación de datos, desarrollo del modelo base, calibración, validación del modelo, ejecuciones finales del modelo y desarrollo de alternativas de solución.

2.3.4. Fundamentos de la micro simulación

Periodo de estabilización del sistema (warm up)

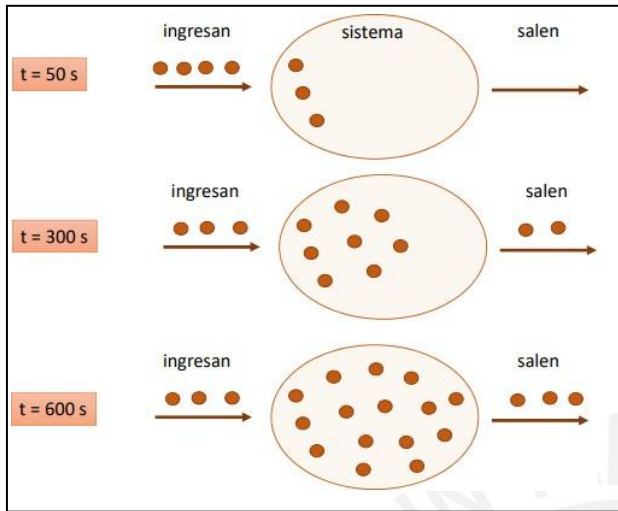
Debido a que el modelo se genera al inicio sin ningún vehículo en la red y se necesita un tiempo necesario para que se alcance el volumen de vehículos real, el sistema del modelo necesita un tiempo requerido para que alcance un equilibrio. Dicho tiempo requerido para el equilibrio es denominado warm up o periodo de estabilización del sistema (FHWA, 2014). Asimismo, la FHWA (2014), menciona que el tiempo estimado de estabilización es de 10 a 15 minutos, sin embargo, este tiempo puede aumentar si la demanda es mayor a la capacidad del sistema.

Figura 14
Tiempo de equilibrio del modelo



Fuente: Pérez (2016)

Figura 15
Ejemplo de tiempo de equilibrio en un sistema

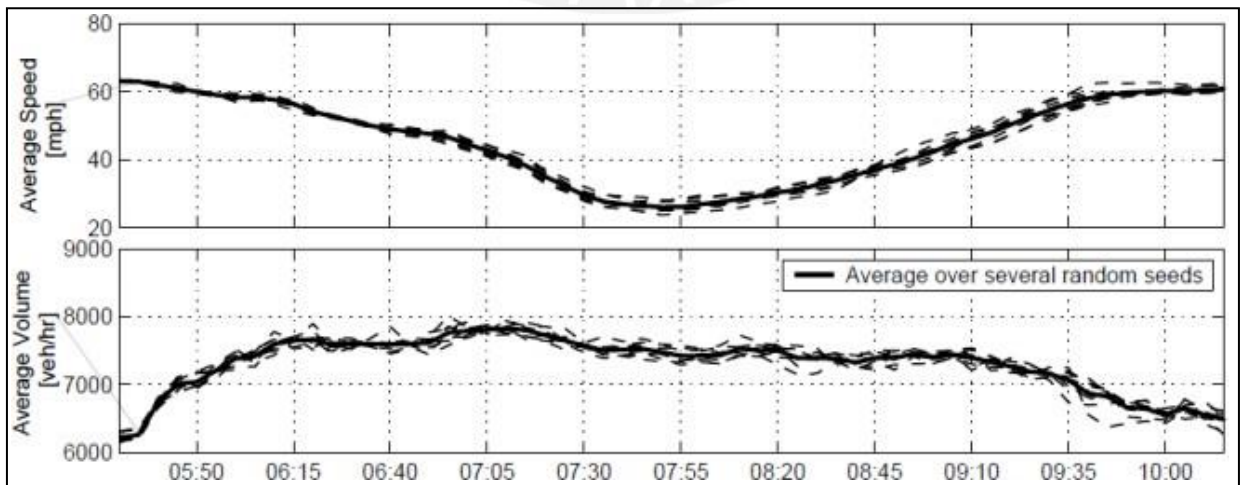


Fuente: Cabrera (2022)

Número de semilla y números aleatorios

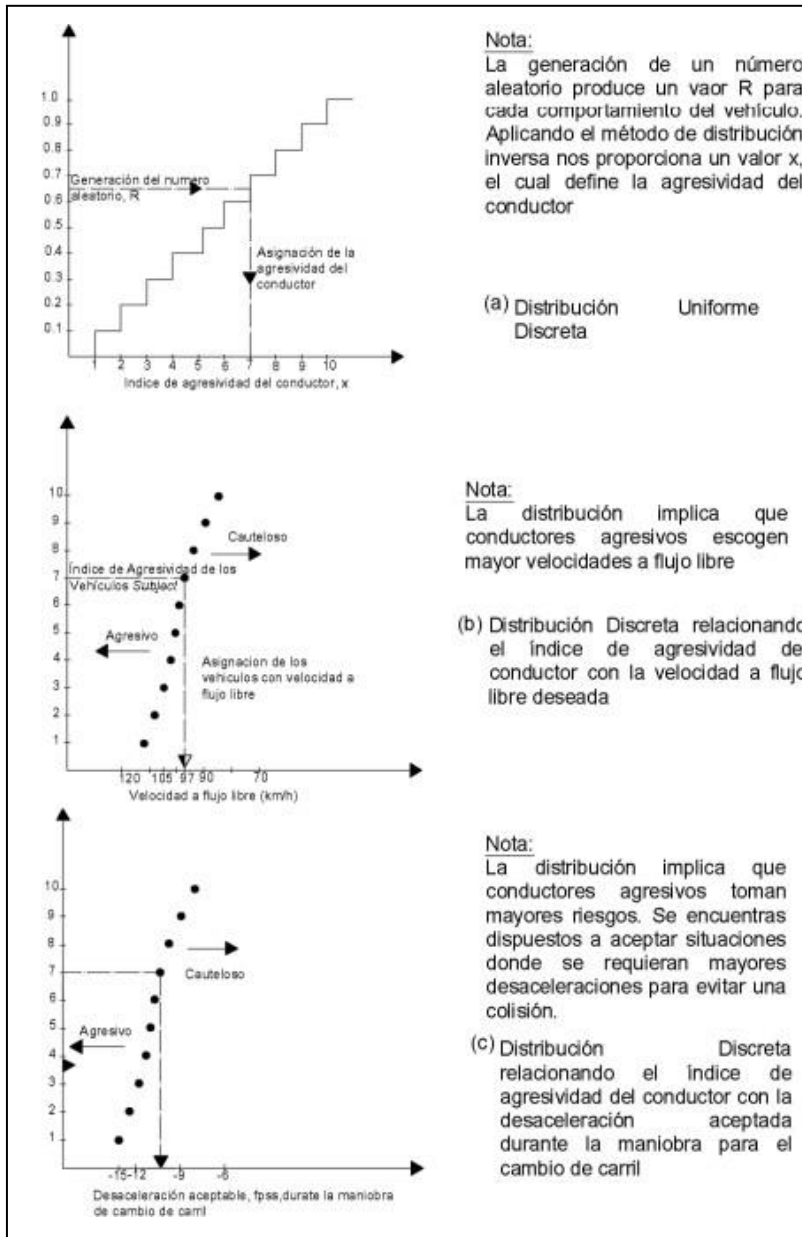
El número de semilla alude a un parámetro que modifica los comportamientos y características de los vehículos en el modelo, el cual inicia con la generación de números aleatorios (ODT, 2011). Este parámetro afecta directamente a los resultados aleatorios que se presentan en el software, como, por ejemplo, los flujos de entrada, el nivel de agresividad del conductor, entre otros (Cabinet Kentucky Transportation, 2014).

Figura 16
Ejemplo de factores de flujo según múltiples semillas aleatorias



Fuente: Gomes (2004)

Figura 17
Ejemplo de número de semillas para las características del conductor



Fuente: Adaptado de FHWA (2014)

Asimismo, otro valor estocástico que se utiliza en la micro simulación son los números de corridas, debido a que la aleatoriedad del modelo es lo que lo diferencia del resto de modelos. El número de corridas mínimo que nos muestra la FHWA (2014), es de mínimo 5 veces, pero que puede variar o aumentar debido a que es directamente proporcional al tamaño de la red y la variabilidad del

rendimiento. Sin embargo, Cabrera (2015), recomienda 15 corridas, con diferente número de semilla para ejecutar el modelo.

Debido a que, los valores obtenidos por el número de semilla son aleatorios, esta debe ser evaluada por representaciones estadísticas promedio (Oregon Department of Transportation, 2011). A continuación, se presenta la fórmula a utilizar para el número de corridas mínimo.

$$N = \left(t_{0.025, N-1} * \frac{S}{e} \right)^2$$

Donde:

e: margen de error

$t_{0.025, N-1}$: valor probabilística t de student con 2.5% de error y con grado de libertad n-1

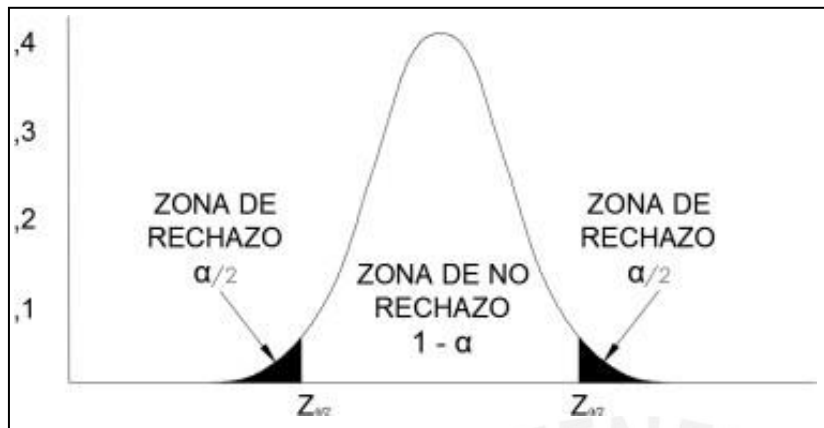
S: desviación estándar

N: número de corridas necesarias

Como se mencionó, para verificar que la calibración y el número de corridas son las correctas, se utilizan parámetros probabilísticos como la desviación estándar, el intervalo de confianza y el nivel de confianza.

Asimismo, el intervalo de confianza, mostrara el nivel de proximidad del modelo con la realidad. El nivel de confianza no debe ser menor al 95% y tener una tolerancia de 10%, este nivel de confianza se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 18
Nivel de confianza en campana de gauss



Fuente: Oswaldo et al (2017)

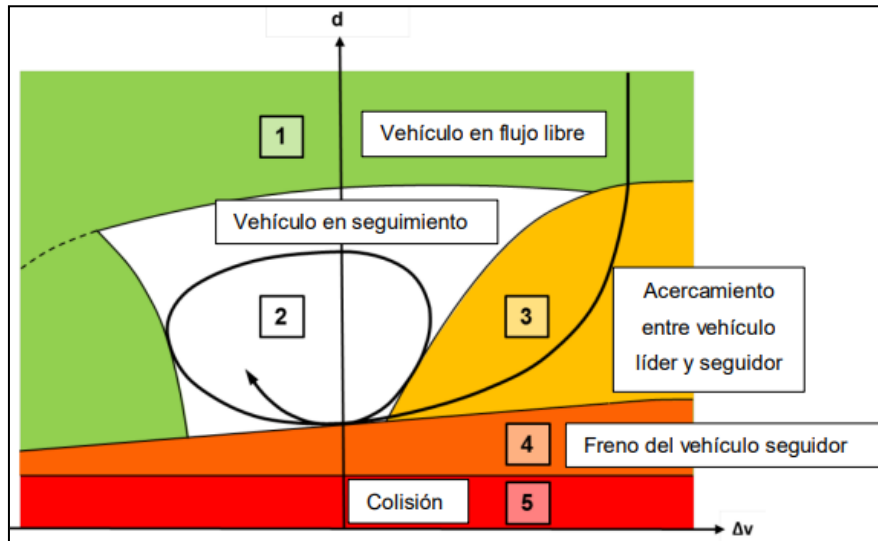
Modelo de Wiedemann

El modelo de Wiedemann o también modelo de seguimiento vehicular, alude al modelo que permite a los conductores tener una percepción individual respecto a la influencia de los vehículos aledaños, así los conductores pueden interpretar, por ejemplo, cuando moverse más rápido o desacelerar, cuando cambiar de carril, entre otros. La reacción de los conductores depende de los parámetros ingresados de las distancias, velocidades y el comportamiento del conductor (Fellendorf, 1994).

Elefteriadou (2014), PTV (2022) y Eidmar et al (2014), concuerdan en que existen cuatro regímenes vehiculares en los que se basa el modelo de Wiedemann. El primero es el conductor libre, en el cual el conductor está desligado del comportamiento del vehículo principal, otorgándole la percepción de espaciamiento y velocidad; el segundo, es el conductor próximo, en el que el conductor se verá influenciado por el vehículo líder y buscará dejar una distancia y velocidad segura con este; el tercero, se denomina conductor siguiente, en el cual también buscará una distancia segura con el vehículo líder, sin ser dependiente de la aceleración y frenado del vehículo líder; y por último, se encuentra el conductor frenado, el cual alude a la influencia directa de la

distancia de seguridad que se debe tener con el vehículo líder y a la necesidad de frenar para asegurar la distancia de seguridad estándar.

Figura 19
Versión modificada del modelo de Wiedemann y Reiter



Fuente: Adaptado de PTV (2022)

Modelo de fuerza social

Otro modelo utilizado en la micro simulación, es el modelo de fuerza social, el cual se centra en las características y perspectivas de los peatones (Eidmar et al, 2014). Este modelo fue propuesto por Dirk Helbing y Peter Molnar (1995), y busca representar en los modelos, según modelos matemáticos de la dinámica de Newton con la unidad de masa, el comportamiento y cambios de conducta del peatón respecto a las motivaciones de su entorno, por ejemplo, la distancia entre peatones y la velocidad de los mismos. Este modelo se basa principalmente en la hipótesis de campos sociales (Gonzales, 2011; Apel, 2004).

Johansson (2013), describe que los campos sociales, que representan al modelo, se basan en la sumatoria de cuatro fuerzas principales: la fuerza de dirección o movimiento, el cual representa el deseo del peatón para dirigirse hacia cierta dirección; la fuerza de repulsión, el cual ingresa a los

peatones la capacidad de diferir obstáculos; la fuerza de atracción, que añade el interés a los peatones sobre objetos o entre las personas mismas; y la fuerza de fluctuación, el cual representa las variación que se puedan dar en el movimiento del peatón.

Estas fuerzas se ven representadas por la siguiente ecuación en el que se basa Modelo de Fuerza Social.

$$FT = F_{direccion} + \sum F_{Repulsion} + \sum F_{Atraccion} + \sum F_{Fluctuacion}$$

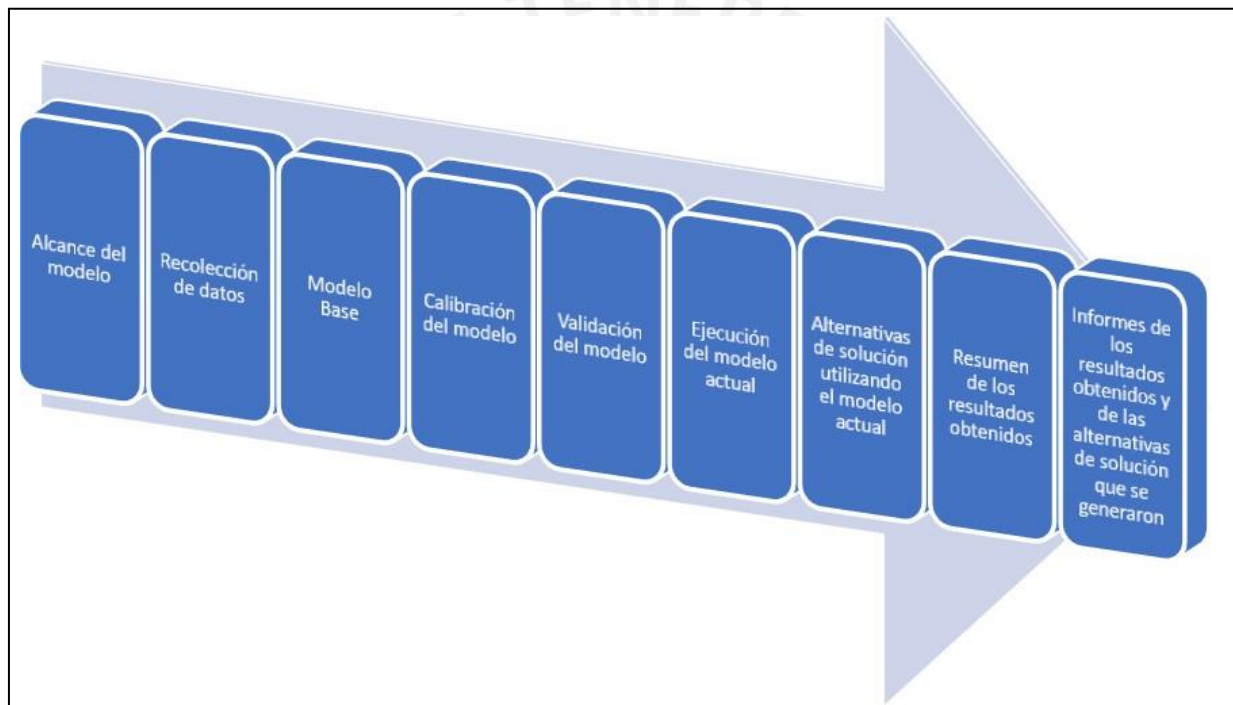


CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1. Consideraciones generales

El carácter general de la tesis fue un proyecto de ingeniería, en la especialidad de transporte. Para el análisis y desarrollo del proyecto, se utilizó lo descrito por la FHWA (2013), con respecto al desarrollo exitoso de la micro simulación, el cual se mencionó en el marco teórico y que se presenta resumido a continuación.

Figura 20.
Pasos del desarrollo exitoso del modelo de micro simulación



Fuente: Adaptado de la FHWA (2013)

3.2. Recolección de datos

La técnica que se utilizó, en la recolección de datos, fue observar y anotar las características de los usuarios que se necesitaron para desarrollar el proyecto: velocidades, tiempos de demora, volúmenes y longitudes de cola de los vehículos y peatones en la intersección. Asimismo, se obtuvo las medidas geométricas de la intersección: veredas, calzadas, rampas, pasos de cebra, entre otros. Por último, se controló el tiempo de fase del semáforo en la intersección.

Estos datos fueron obtenidos el 18 de julio del 2022 para el desarrollo de la calibración del modelo de micro simulación. Asimismo, se volvió a recolectar los datos necesarios para la validación del modelo de micro simulación el 23 de julio del 2022. Ambas fechas a las 6:00 pm, la cual fue la hora crítica de flujo de los peatones y vehículos.

3.1.1. Obtención de la geometría de la intersección

Para la obtención de la geometría de la intersección, fue necesario tomar las medidas en campo, el día 18 de julio del 2022 a las 6:00 pm, como el ancho de las aceras, el ancho de las veredas, las dimensiones de las rampas, los vados, las dimensiones de los pasos de cebra, entre otros. Para dicho trabajo, se necesitó el uso de dispositivos como cinta métrica de 20 metros y cuadernillo para apuntar las medidas. Asimismo, se utilizó el plano catastral de la ciudad de Chachapoyas, como referencia, para compatibilizar las dimensiones tomadas en campo.

Por otra parte, también, se utilizó cronómetros para obtener el tiempo de cambio de fase del semáforo ubicado en la intersección.

*Figura 21
Obtención de la geometría de la intersección analizada*



Fuente: Propia

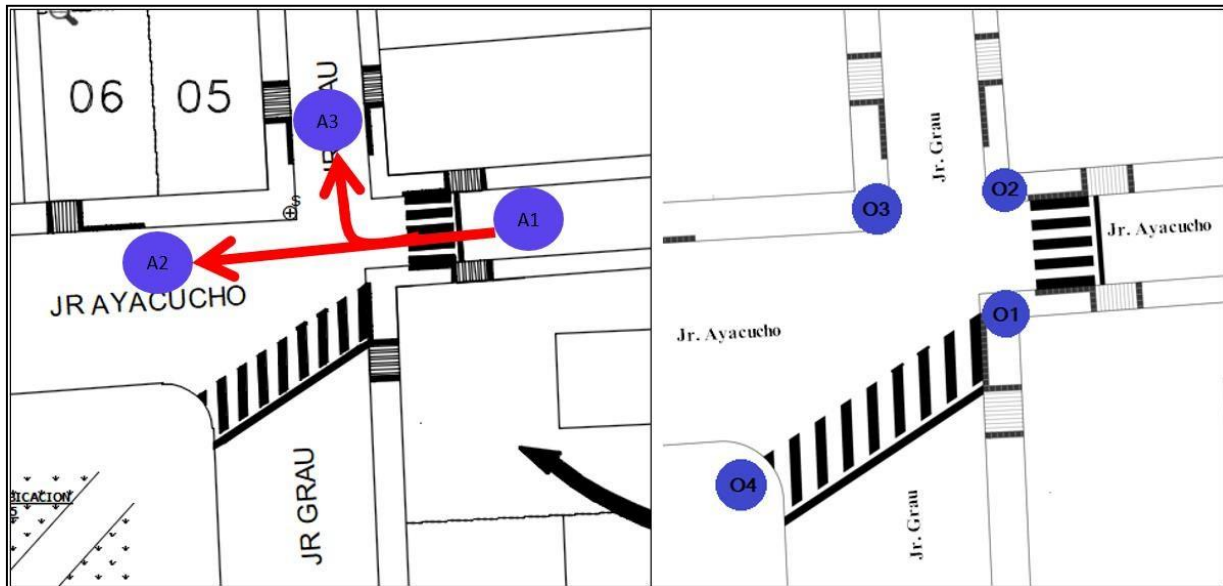
3.1.2. Obtención de datos de peatones y vehículos

Para la recolección de datos, de peatones y vehículos, fue necesario contar con dispositivos como una videocámara, un trípode y contadores manuales (contómetro). Con todos estos dispositivos, se tomó los datos en una esquina de la intersección, además se grabó la interacción de vehículos y peatones, el día 18 de julio del 2022 a las 6:00 pm. Con las grabaciones obtenidas y los números registrados en los contómetros, se procedió a tabular los datos en tablas para obtener los datos que se necesitan para el programa VISSIM como los flujos peatonales, rutas peatonales y velocidades de desplazamiento.

Para la recolección de datos, fue necesario usar tablas en las cuales se ingresaron los datos de campo. Dichas tablas se diseñaron para realizar el conteo de vehículos y peatones; para los vehículos, se vinculó un punto de origen por jirón transitado (línea recta o giro). Por otro lado, para los peatones se vinculó cuatro puntos de origen O1, O2, O3 y O4. Para el caso de los vehículos, se consideró motos, autos y combis; para los peatones se consideró niños, jóvenes y adultos.

Se presenta a continuación, los puntos de origen de los contadores de vehículos y peatones:

Figura 22
Puntos de origen de vehículos y peatones en plano



Nota: La imagen de la izquierda es el punto de origen de los vehículos que inician el tránsito en el jirón Ayacucho. Asimismo, la imagen de la derecha son los cuatro puntos de origen del tránsito peatonal en la intersección.
Fuente: Propia

Asimismo, se presenta a continuación el formato de las tablas que se utilizaron para el conteo de vehículos y peatones de acuerdo a su punto de origen y el intervalo de tiempo que se generó dichos datos.

Figura 23.
Ejemplos de contadores manuales que se utilizó para la recolección de datos como tablas

Dirección A1-A2			O1 → O2	Niños	Jóvenes	Adultos
Motos	Autos	Combis				
6:00-6:15			18:00-18:10			
6:15-6:30			18:10-18:20			
6:30-6:45			18:20-18:30			
6:45-7:00			18:30-18:40			
TOTAL			18:40-18:50			
			18:50-19:00			
			TOTAL			

Nota: La tabla de la izquierda se utilizó para contar los vehículos que pasaron por la intersección en intervalos de 15 minutos por una hora. La tabla de la derecha se utilizó para contar los peatones que pasaron por la intersección en intervalos de 10 minutos por una hora.

Fuente: Propia

Por otra parte, se utilizó videograbaciones con el fin de tener registrado las velocidades, el tiempo de viaje, la longitud de cola, entre otros. También, se realizó dos veces la filmación de la intersección, uno para la calibración del modelo y el segundo para la validación.

Por otra parte, también se contó con la cámara de videovigilancia del colegio Isabel Linch de Rubio, la cual se ubica en la misma intersección, por el lado del jirón Ayacucho.

Figura 24
Videograbaciones en la intersección analizada



Nota: La imagen de la izquierda pertenece a la del jirón Ayacucho y la imagen de la derecha al jirón Grau.
Fuente: Propia

3.2. Desarrollo del modelo base

Para la creación de la red, fue necesario contar con una imagen satelital de la intersección en estudio, o contar con una imagen de AutoCAD de la misma, de manera que se pueda importar.

Primero, se cargó la imagen del programa, se escaló con las dimensiones necesarias y se procedió a crear áreas, en nuestro caso, el tipo será rectangular para las vías de la intersección, también pequeñas áreas (ingresos) que se traslapan con las otras áreas creadas.

Luego que se tiene las áreas creadas, se definió la composición de los “inputs”, el cual consiste en colocar el volumen peatonal y vehicular según lo obtenido en campo, así como el tipo de peatón y vehículo. Los datos anteriores fueron para los datos de entrada, luego se procedió a crear, de manera similar, otras áreas pequeñas que tienen que superponer a las otras más largas y estas fueron los “outputs”, los cuáles serán los puntos de llegada. Con ello se tuvo definido las rutas tanto para peatones como para vehículos. Adicionalmente, se colocó elementos como los semáforos y accesos (rampas, cruceros).

Asimismo, se verificaron los posibles errores dentro del programa de micro simulación. En este paso, se comprobó si existen algunos datos o elementos erróneos, por ejemplo, uno de los más comunes es la no superposición de áreas, esto genera que no exista conexión de red (no exista llegada), otro caso podría ser las dimensiones de las vías, accesos que se comprobarán en la simulación. Para esto, al momento que se realizó la simulación, por medio de puntos (2D) se pudo verificar los posibles errores existentes ya que se visualizaron como partículas con movimiento que probablemente tengan obstáculos sin que lo hayamos diseñado de esa manera.

3.3. Calibración del modelo

Consistió en realizar iteraciones mientras se ajustaban los parámetros vehiculares (parámetros de Wiedemann), como peatonales (parámetros de fuerza social - walking behaviors) del modelo para poder obtener un resultado que sea cercano a la realidad. Para esto, con los datos que se obtuvo en campo (velocidad de peatones y tiempos de viaje de vehículos), se fue comparando sus medias con los datos obtenidos en cada corrida del programa mediante la herramienta StatKey.

Una vez que tuvo los datos necesarios, se realizó la primera corrida del programa y con ello se obtuvo resultados sobre velocidades según los datos que colocamos en la creación de la red. Cabe añadir que, para obtener los resultados deseados, se realizaron las corridas necesarias y en cada una de ellas se cambió los valores de los parámetros hasta obtener el más óptimo. En este paso, fue necesario trabajar con un 95% de nivel de confianza con un 10% de error ya que se trata de un proyecto de ingeniería. Para confirmar que el modelo este calibrado, la diferencia de medias entre los valores de campo con la media de la corrida óptima, deberá estar en el intervalo de confianza (parte central del histograma en StatKey).

3.5. Validación del modelo

Consiste en verificar los resultados según lo obtenido por la simulación con datos de campo que no se usaron en la calibración y también ante un caso a partir de los datos de campo para poder realizar comparaciones. Para poder concluir con el análisis, se debe corroborar que exista un 95% de nivel de confianza, ya que ese valor corresponde a un modelo calibrado válido, caso contrario no se obtenga ese nivel de confianza, necesitará ajustar los parámetros del programa hasta obtener el nivel de confianza previamente establecido (95%).



CAPÍTULO 4: RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO

4.1. Diseño geométrico de la intersección

La intersección está ubicada en la plaza de armas de la ciudad de Chachapoyas, entre los jirones Ayacucho y Grau, como se muestra en el plano de ubicación que se encuentra en el anexo 1. Dicha intersección cuenta con calzadas, veredas, rampas, pasos de cebra, entre otros que serán analizados a continuación.

Tabla 10
Diseño geométrico peatonal del jr. Ayacucho

	Ancho (m)	Largo (m)	Pendiente (%)
Vereda A	1.30	-	-
Vereda B	1.40	-	-
Rampa A	1.30	2.00	12
Rampa B	1.40	2.00	12
Mosaico podo táctil	0.30	0.30	-

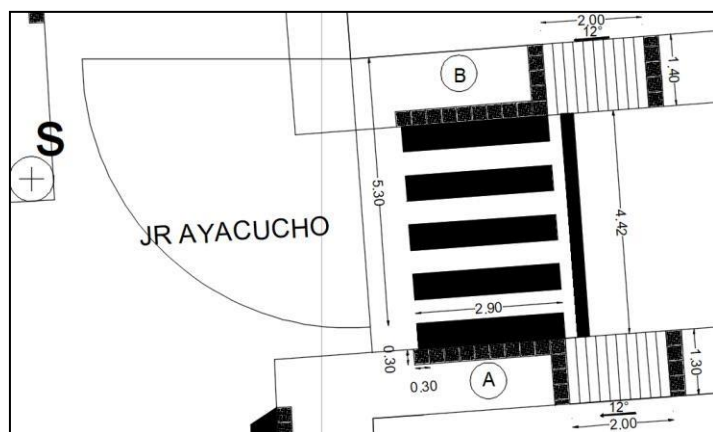
Fuente: propia

Tabla 11
Diseño geométrico vehicular del jr. Ayacucho

	Ancho (m)	Largo (m)	Pendiente (%)
Calzada	4.42	-	-
Radio de giro	-	5.30	-
Crucero Peatonal	2.90	-	-

Fuente: Propia

Figura 25
Diseño geométrico de la intersección del jr. Ayacucho



Fuente: Propia

Las demás medidas de los jirones, que intervienen en la intersección, se encuentran en el anexo 1.

Asimismo, se obtuvo las fases del semáforo ubicado en la intersección, como se observa en las figuras 26 y 27.

Tabla 12
Tiempo de las fases del semáforo del jr. Ayacucho

FASE	TIEMPO (s)					PROMEDIO (s)
VERDE	30.00	30.06	30.01	29.58	29.57	30.00
AMBAR	2.93	2.97	3.01	3.00	3.04	3.00
ROJO	33.28	34.71	33.19	32.52	33.01	33.00

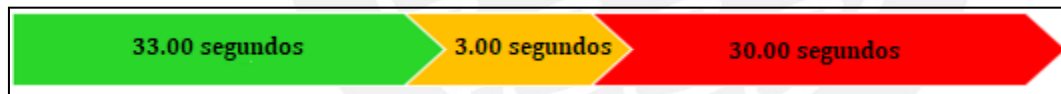
Fuente: Propia

Figura 26
Tiempo de las fases del semáforo en el jr. Ayacucho



Fuente: propia

Figura 27
Tiempo de las fases del semáforo en el jr. Grau



Fuente: propia

4.2. Flujos vehiculares

Se contabilizó los vehículos que transitan en las vías de la intersección en análisis, es decir, los jirones Ayacucho y Grau. Para realizar el aforo vehicular se realizó la contabilidad por una hora de análisis divididos en cuatro intervalos de 15 minutos.

En la siguiente figura se muestra la cantidad de vehículos y las rutas que siguen, lo cual nos sirve para calibrar el modelo.

Tabla 13

Volumen vehicular (veh/h) de los jirones Ayacucho y Grau de acuerdo al periodo de tiempo

PERIODO	Jr. Ayacucho		Jr. Grau	
	FLUJO PARCIAL	FLUJO ACUMULADO	FLUJO PARCIAL	FLUJO ACUMULADO
18:00 – 18:15	119	119	159	159
18:15 – 18:30	101	220	169	328
18:30 – 18:45	118	338	216	544
18:45 – 19:00	121	459	181	725
TOTAL	459	459	725	725

Fuente: Propia

Tabla 14

Distribución del volumen por tipo de vehículo de los jirones Ayacucho y Grau

TIPO DE VEHÍCULO	Jr. Ayacucho	Jr. Grau
	Cantidad de vehículos	Cantidad de vehículos
Motos	120	214
Autos	330	501
Combis	9	10

Fuente: Propia

En la siguiente tabla, se muestra el aforo según tipo de vehículo, respecto del total.

Tabla 15

Volumen de vehículos por tipo y sus porcentajes en Jr. Ayacucho

JR. AYACUCHO				
	Motos	Autos	Combis	Parcial
6:00 - 6:15	32	83	4	119
6:15 - 6:30	30	69	2	101
6:30 - 6:45	32	86	0	118
6:45 - 7:00	26	92	3	121
TOTAL	120	330	9	459
TOTAL	459			
%	26.14%	71.90%	1.96%	

Fuente: Propia

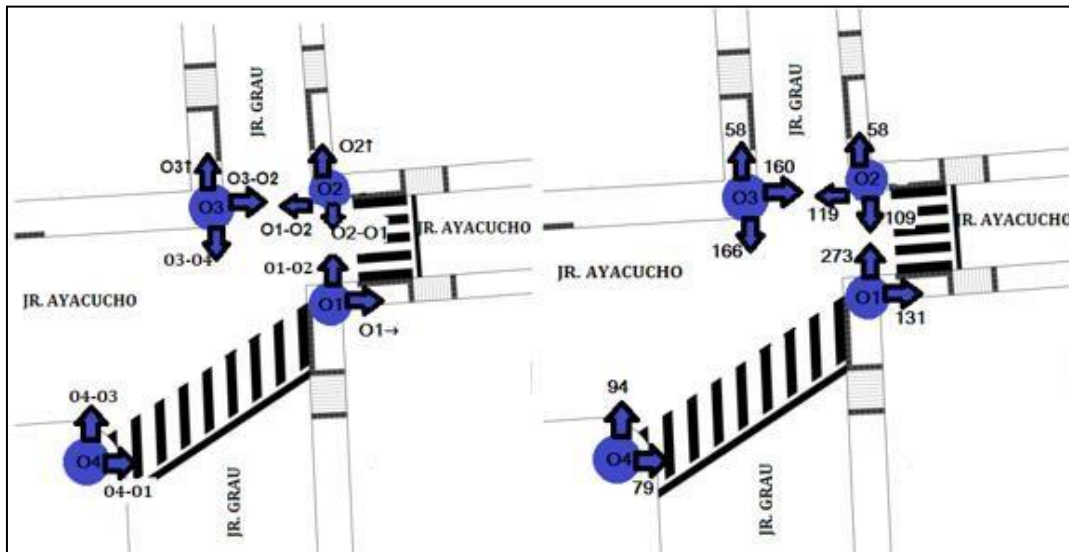
Los datos restantes se visualizan en el Anexo 2

4.2. Flujos peatonales

Para la realización del aforo peatonal, se consideró 4 lugares de origen (O1, O2, O3, O4) los cuales tienen respectivas llegadas como se muestran en las figuras siguientes:

Figura 28

Puntos de origen con sus respectivos puntos de llegada (izquierda) y sus volúmenes respectivos (derecha)



Fuente: Propia

Como se muestra en la figura anterior, se visualiza la cantidad total del volumen de personas según las rutas definidas.

En la tabla siguiente, se muestran los flujos peatonales parciales y acumulados en intervalos de 10 minutos. Este valor de 10 minutos se tomó en cuenta ya que al tratarse de una intersección que se encuentra cercana a personas que salen de colegios, centros del estado y demás peatones, se necesita contabilizar especialmente en los primeros minutos de toda la hora para una mayor precisión.

Tabla 16
Tabla con flujos peatonales

HORA	FLUJO PARCIAL	FLUJO ACUMULADO
18:00 - 18:10	143	143
18:10 - 18:20	197	340
18:20 - 18:30	192	532
18:30 - 18:40	247	779
18:40 - 18:50	234	1013
18:50 - 19:00	234	1247
TOTAL	1247	1247

Fuente: Propia

A continuación, se muestran los valores obtenidos de campo de la cantidad de peatones según tipo (niños, jóvenes y adultos) desde su punto de origen (O1, O2, O3 y O4). Asimismo, se calcula el porcentaje de cada tipo de peatón para insertar en el modelo.

Tabla 17
Volumen y porcentajes por tipo de peatones en O1

O1	Niños	Jóvenes	Adultos	Parcial
18:00 - 18:10	9	14	32	55
18:10 - 18:20	13	24	33	70
18:20 - 18:30	5	23	34	62
18:30 - 18:40	22	21	37	80
18:40 - 18:50	13	23	36	72
18:50 - 19:00	13	21	31	65
TOTAL	75	126	203	
TOTAL		404		
%	19%	31%	50%	

Fuente: Propia

Los datos de los demás puntos de origen se encuentran en el Anexo 3

De los valores totales parciales, se obtiene la cantidad total de peatones en general por cada intervalo; sin embargo, como cada intervalo es representativo de una fracción de diez minutos del intervalo total, es necesario que se multiplique dicho valor por seis en nuestro caso para poder obtener valores de una hora ya que el programa Vissim lo reconoce de esa manera, estos valores se muestran a continuación:

Tabla 18
Volúmenes parciales de peatones en una hora según punto de origen

	O1	O2	O3	O4
	Parcial en 1h	Parcial en 1h	Parcial en 1h	Parcial en 1h
18:00 - 18:10	330	132	282	114
18:10 - 18:20	420	294	318	150
18:20 - 18:30	372	216	408	156
18:30 - 18:40	480	396	420	186
18:40 - 18:50	432	354	366	252
18:50 - 19:00	390	324	510	180

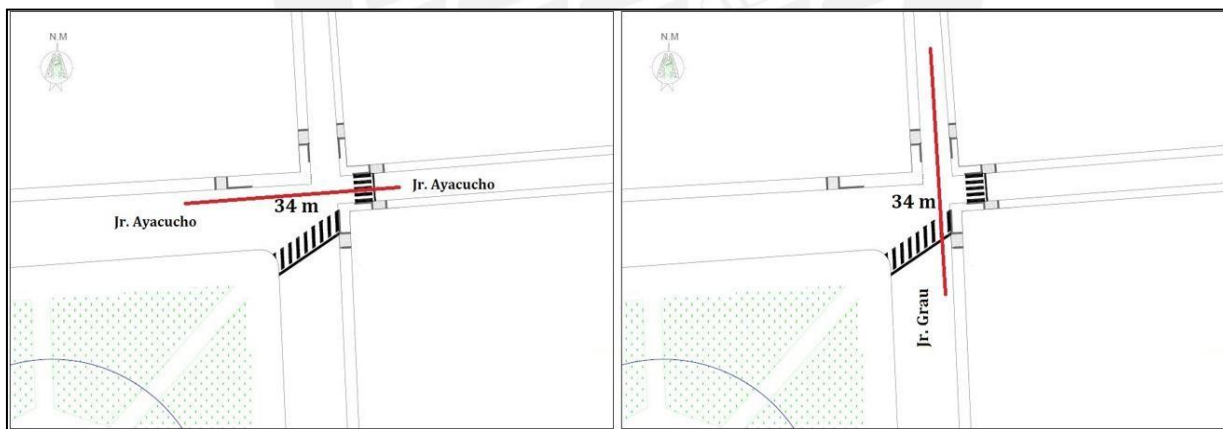
Fuente: Propia

Estos valores obtenidos en la tabla 18 son los volúmenes que se ingresan en el programa según intervalo.

4.3. Calibración y Validación

En la siguiente figura se muestra las distancias consideradas en ambos jirones para realizar los cálculos de los tiempos de viaje vehiculares y velocidades peatonales.

Figura 29
Distancia considerada para cálculo de tiempos de vehículos en los Jr. Ayacucho (izquierda) y Jr. Grau (derecha)



Fuente: Adaptación propia.

Para el caso de los vehículos, se consideró una muestra de 32 vehículos al azar para cada jirón y se registraron los tiempos que demoran en cruzar los 34 m en cada jirón. Estos tiempos, se compararon con las 15 corridas del programa Vissim. Asimismo, para el caso de los peatones, se consideró una muestra de 60 velocidades, estas velocidades se compararon con los valores obtenidos por el programa Vissim. En este caso, como se analizaron 4 cruces peatonales, los

valores del Vissim serán 4 grupos de 15 corridas en cada crucero con los que realizará la comparación. Para ambos casos, vehículos y peatones, se trabajó con un porcentaje del 95% de confianza.



CAPÍTULO 5: DESARROLLO DEL MODELO, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROYECTO

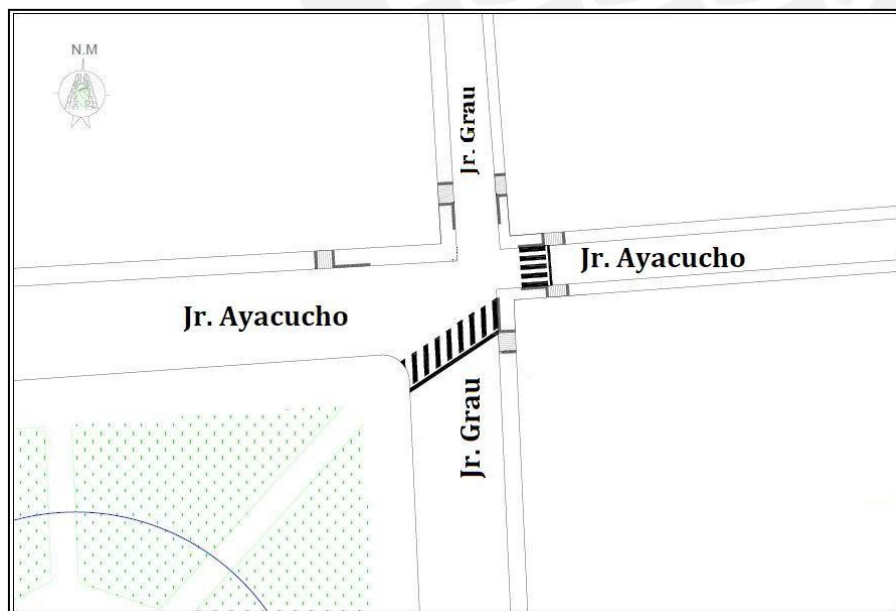
5.1. Desarrollo del modelo

Con los datos obtenidos en campo como las velocidades, flujos tanto peatonales y vehiculares; así como los datos geométricos de los elementos de la intersección en análisis (ancho de veredas, pista, cruces peatonales, rampas), se inició el desarrollo de la calibración del modelo a partir del programa VISSIM 9.0. A continuación, se explicará el procedimiento realizado para la creación del modelo.

5.1.1 Área de estudio

La imagen de fondo que se utilizó en el programa fue una adaptación realizada en AutoCAD con las dimensiones reales de todos los elementos que fueron tomados en campo, sobre ella se crearon los links y conectores.

Figura 30
Ubicación de la intersección de análisis



Fuente: Adaptación propia

5.2. Verificación de errores y comprobación del modelo

Esta etapa es importante para poder verificar el modelo de nuestros flujos vehiculares y peatonales, la geometría de la intersección y las señales de control con la finalidad de poder encontrar posibles errores al ingresar los datos obtenidos en campo.

5.3. Calibración del modelo

La calibración del modelo en el programa consiste en representar las condiciones reales de nuestra intersección, para ello fue necesario establecer parámetros de Wiedemann y poder encontrar una similitud entre los resultados obtenidos en campo con la que nos genera el programa y verificar que cumpla un nivel de confianza y margen de error establecidos.

En el caso de los peatones, la calibración se realizó cambiando los valores de comportamiento peatonal para lograr obtener la velocidad similar al comportamiento en campo.

A continuación, se mostrará las tablas en las que se realizaron las pruebas iterativas para lograr la calibración tanto para vehículos como para peatones.

Para la calibración del comportamiento vehicular, se muestra el valor de la calibración con los parámetros de Wiedemann y para la calibración del comportamiento peatonal, se muestra el valor de la calibración con los parámetros de fuerza social por tipo de peatón en la siguiente tabla:

Figura 31
Parámetros para la calibración de peatones y vehículos

No	Name	NumInteractObj	StandDistIsFix	StandDist	CarFollowModType	W74bxAdd	W74bxMult	LnChgRule	AdvMerg	DesLatPos	OvtLDef	OvtRDef	LatDistDriv
1	Urban (motorized)	4	<input checked="" type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 74	1.80	1.80	Free lane selection	<input checked="" type="checkbox"/>	Middle of lane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Right-side rule (motorize...	2	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 99	2.00	3.00	Slow lane rule	<input checked="" type="checkbox"/>	Middle of lane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Freeway (free lane select...	2	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 99	2.00	3.00	Free lane selection	<input checked="" type="checkbox"/>	Middle of lane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Footpath (no interaction)	2	<input type="checkbox"/>	0.50	No interaction	2.00	3.00	Free lane selection	<input checked="" type="checkbox"/>	Any	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Cycle-Track (free overtak...	2	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 99	2.00	3.00	Free lane selection	<input checked="" type="checkbox"/>	Right	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	101 AV cautious (CoExist)	2	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 99	2.00	3.00	Free lane selection	<input checked="" type="checkbox"/>	Middle of lane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	102 AV normal (CoExist)	2	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 99	2.00	3.00	Free lane selection	<input checked="" type="checkbox"/>	Middle of lane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

No	Name	Tau	ReactToN	ASocIso	BSocIso	Lambda	ASocMean	BSocMean	VD	Noise	SidePref
1	1 Niños	0.100	8	2.720	0.200	0.850	0.400	2.800	3.000	1.200	None
2	2 Jóvenes	0.080	8	2.720	0.200	0.900	0.400	2.800	3.000	1.200	None
3	3 Adultos	0.050	8	2.720	0.200	0.850	0.400	2.800	3.000	1.200	None

Nota: Parámetros de Wiedemann con los que logra la calibración (superior) y parámetros de fuerza social con los que se logra la calibración (inferior)

Fuente: Propia

El proceso iterativo para poder lograr la iteración fueron muchas pruebas; sin embargo, solo se mostrará las últimas 4 pruebas que se realizó para finalmente obtener la calibración:

A manera representativa, solo se mostrará las tablas de 1 caso tanto para vehículos (jr. Ayacucho) como para peatones (Niños), las demás tablas están adjuntas en los anexos.

5.3.1. Calibración de tiempos de viaje de vehículos

Tabla 19
Tiempos de viaje de vehículos en el Jr. Ayacucho

Tiempos (s) - Jr. Ayacucho			
8.71	8.1	8.65	8.76
9.81	8.77	8.74	8.88
9.09	6.96	8.91	8.23
9.93	9.22	8.52	9.64
9.68	8.83	9.54	8.75
7.55	9.13	9.64	8.42
8.88	8.5	9.87	8.22
9.34	8.14	9.13	8.14

Fuente: Propia

Las tablas restantes de tiempos de viaje para la calibración se pueden observar en el anexo

4

- **Tiempos de viaje Jr. Ayacucho:**

Tabla 20

Resumen de resultados de la calibración para tiempos de viaje en el Jr. Ayacucho

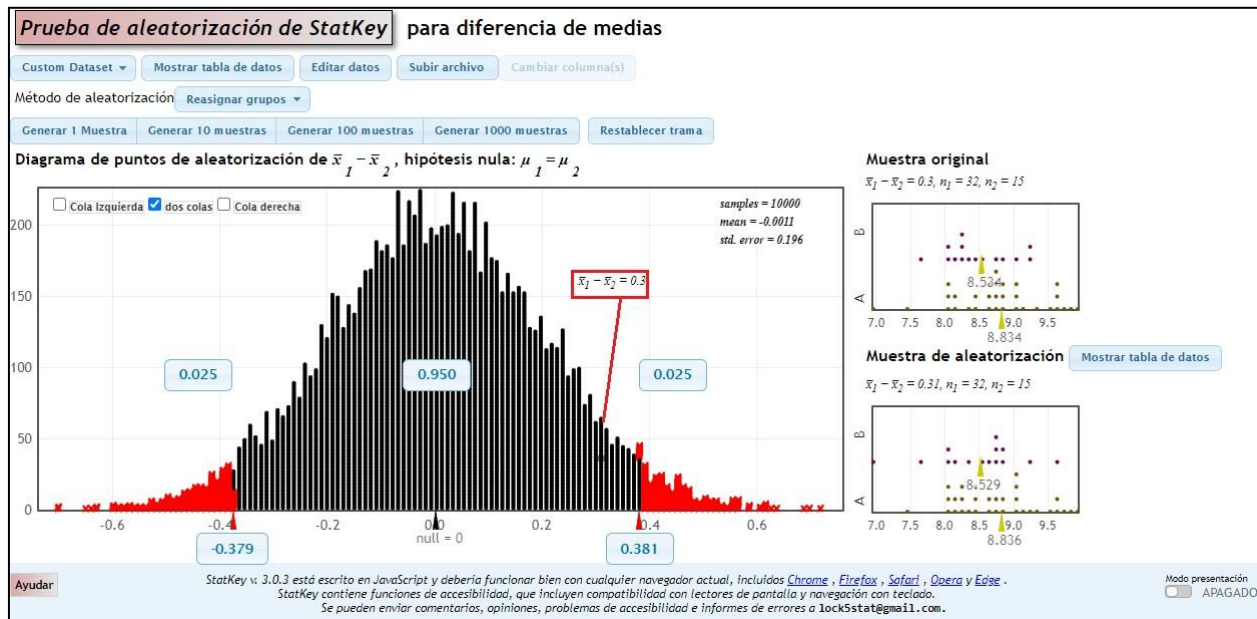
	Campo	Iteraciones			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Promedio	8.83	8.5328	8.4567	8.3339	8.9245
Desv Estándar Muestral	0.68	0.4533	0.4385	0.4304	0.4657
Min	6.96	7.7488	7.7202	7.6672	8.3814
Máx	9.93	9.2980	9.2402	9.1194	9.7347
a_x		0.80	0.80	1.00	0.20
b_add		3.00	2.00	2.00	1.80
b_mult		3.00	2.00	2.00	1.80
Prueba Student		13.48%	7.33%	2.04%	65.05%

Fuente: Propia

Las tablas completas de la calibración se pueden observar en el anexo 5

El promedio de tiempos en la prueba 4 se visualiza que es un valor cercano al promedio de los que se tomaron en campo, con este valor se realizó la comparación mediante la herramienta de análisis estadístico StatKey.

Figura 32
Verificación de calibración de tiempos de viaje Jr. Ayacucho con la herramienta StatKey



Fuente: Propia

Para el análisis del resultado obtenido por la herramienta StatKey, se considera 2 hipótesis planteadas:

H_0 : La media de ambos grupos de datos son iguales

H_1 : La media de ambos grupos de datos no son iguales

Como se observa en la figura 32, la diferencia entre medias es de 0.3, lo cual se demuestra en la imagen con un rectángulo en color rojo donde se encuentra; este valor pertenece al rango de confiabilidad del 95% prueba de calibración que cae dentro del intervalo de confianza, por lo que se asegura que está calibrado para el Jr. Ayacucho.

Las figuras restantes de calibración mediante StatKey se pueden observar en el anexo 6

5.3.2. Calibración de velocidades de desplazamiento de peatones

Tabla 21
Velocidades de desplazamiento de Niños

Velocidad (km/h) - Niños					
3.854	4.489	4.050	5.520	3.646	4.430
4.534	4.289	3.800	4.394	3.644	4.272
4.069	4.018	4.196	4.344	4.180	4.372
4.289	4.063	4.239	4.210	4.467	4.144
4.085	3.933	4.167	4.242	4.358	3.854
4.826	4.094	4.160	4.141	4.170	3.965
4.448	4.572	4.480	4.376	3.905	4.245
4.122	3.737	4.565	4.700	3.985	4.290
4.448	3.768	4.692	4.530	4.069	4.097
4.272	3.950	4.604	4.180	4.113	4.790

Fuente: Propia

Las tablas restantes de velocidades de la calibración se pueden observar en el anexo 7

- Velocidad de desplazamiento de Niños

Tabla 22
Resultados de la calibración para velocidades de desplazamiento de niños en km/h

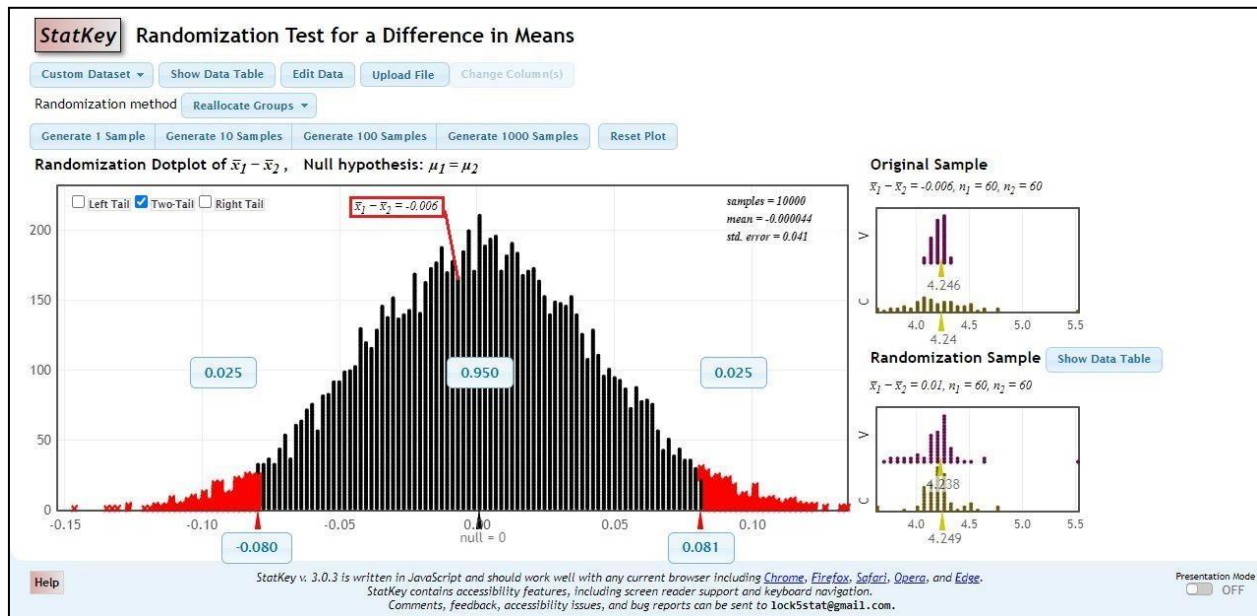
Tau		0.4	0.2	0.2	0.2	0.15	0.1
Lambda		0.176	0.176	0.5	0.8	0.8	0.85
N.º	Campo	Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3	Iteración 4	Iteración 5	Iteración 6
promedio	4.24	4.0414	4.1184	4.1454	4.1656	4.1917	4.2461
desvest	0.31964775	0.2098	0.1771	0.1456	0.1223	0.1072	0.0577
prueba T		0.01%	1.08%	3.83%	9.15%	26.22%	89.92%

Fuente: Propia

El promedio de velocidades en la prueba 6 se visualiza que es un valor cercano al promedio de los que se tomaron en campo, con este valor se realizó la comparación mediante la herramienta de análisis estadístico StatKey.

Las tablas completas de velocidades de la calibración se pueden observar en el anexo 8

Figura 33
Verificación de calibración de Niños con la herramienta StatKey



Fuente: Propia

Para el análisis del resultado obtenido por la herramienta StatKey, se considera 2 hipótesis planteadas:

H_0 : La media de ambos grupos de datos son iguales

H_1 : La media de ambos grupos de datos no son iguales

Como se observa en la figura 33, la diferencia entre medias es de 0.006, lo cual se demuestra en la imagen con un rectángulo en color rojo donde se encuentra; este valor pertenece al rango de confiabilidad del 95% prueba de calibración que cae dentro del intervalo de confianza, por lo que se asegura que está calibrado para este caso de los niños.

Las gráficas restantes de verificación de la calibración en StatKey se pueden observar en el anexo 9

5.4. Validación del modelo

La validación del modelo en el programa consistió en insertar la cantidad de volúmenes tanto de peatones como la de vehículos en campo el 20 de julio del 2022. Para esto solo fue necesario los volúmenes y con estos valores y sin cambiar los parámetros de Wiedemann (para vehículos) ni los parámetros de fuerza social (para peatones) los valores que se obtuvieron en el programa Vissim cumplen con la calibración.

5.4.1. Validación de Vehículos

Para la realización de validación de vehículos se registró la data de campo como se mencionó anteriormente (otro día distinto al de la calibración) con lo que se obtuvo el volumen general por avenidas, así como también los porcentajes de volúmenes según tipo de vehículos y rutas como se muestra en las siguientes tablas:

A manera representativa, solo se mostrará las tablas de 1 caso tanto para vehículos (jr. Ayacucho) como para peatones (niños), las demás tablas están adjuntas en los anexos.

Tabla 23
Tiempos de viaje para la validación en Jr. Ayacucho

Tiempos (s) - Jr. Ayacucho			
8.97	9.1	9.2	9.22
8.55	9.04	8.4	8.8
9.39	8.5	8.2	9.4
9.05	8.01	8.65	8.96
8.24	8.69	8.72	9.02
9.65	9.46	8.24	8.87
8.48	8.6	8.76	9.22
9.4	8.7	9.14	9.45

Fuente: Propia

Las tablas restantes de tiempos de viaje para la validación se pueden observar en el anexo

Tabla 24
Volumen de vehículos en general en cada jirón con su respectivo porcentaje

	JR. GRAU				JR. AYACUCHO			
	Motos	Autos	Combis	Parcial	Motos	Autos	Combis	Parcial
6:00 - 6:15	41	73	6	120	32	93	4	129
6:15 - 6:30	35	70	1	106	45	99	5	149
6:30 - 6:45	56	105	6	167	34	74	0	108
6:45 - 7:00	66	135	5	206	32	88	2	122
TOTAL	198	383	18	599	143	354	11	508
TOTAL	599				508			
%	0.33	0.64	0.03		0.28	0.70	0.02	

Fuente: Propia

Tabla 25
Volúmenes según rutas Jr. Ayacucho

	Dirección A1-A2			Dirección A1-A3		
	Motos	Autos	Combis	Motos	Autos	Combis
6:00 - 6:15	26	75	4	6	18	0
6:15 - 6:30	38	78	4	7	21	1
6:30 - 6:45	26	53	0	8	21	0
6:45 - 7:00	27	75	2	5	13	0
TOTAL	117	281	10	26	73	1
TOTAL	408			100		
%	0.29	0.69	0.02	0.26	0.73	0.01

Fuente: Propia

Las tablas restantes de volúmenes de vehículos se pueden observar en el anexo 11

Con estos valores, se insertó los volúmenes en el programa Vissim sin cambiar los parámetros, ya que el modelo ya estaba calibrado.

Resultados de validación de vehículos:

Como se mencionó previamente, los valores que se obtuvieron a continuación son resultados sin cambiar los parámetros con los que nos cumplió la calibración.

Tabla 26
Parámetros de Wiedemann obtenidos en la calibración

<u>a_x</u>	0.20
<u>b_add</u>	1.80
<u>b_mult</u>	1.80

Fuente: Propia

- **Tiempos de viaje Jr. Ayacucho:**

Tabla 27

Resumen de Validación de tiempos de viaje Jr. Ayacucho

N.º	Campo	Iteraciones	
		Prueba 1	
Promedio	8.88	8.847	
Desv Estándar Muestral	0.42	0.35	
Min	8.01	8.29	
Máx	9.65	9.36	
a_x		0.20	
b_add		1.80	
b_mult		1.80	
Prueba Student		85.96%	

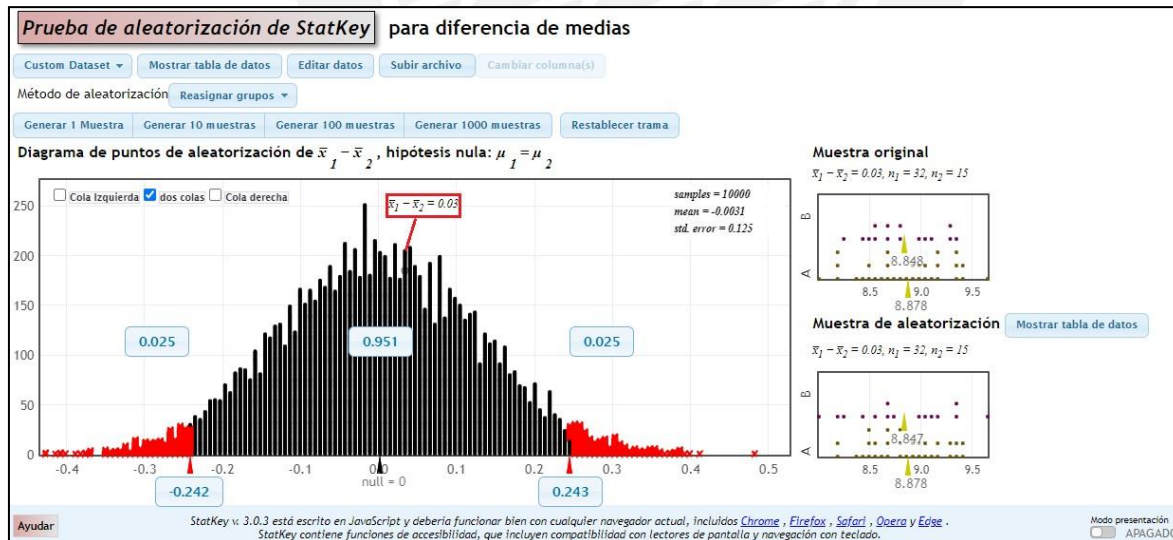
Fuente: Propia

Como se observa en los resultados de validación, el valor promedio de los tiempos de los vehículos es casi cercanos a los obtenidos en campo.

Las tablas completas de tiempos de viaje de vehículos para la validación se pueden observar en el anexo 12

Figura 34

Validación de tiempos de los vehículos en el Jr. Ayacucho con la herramienta StatKey



Fuente: Propia

Para el análisis del resultado obtenido por la herramienta StatKey, se consideró 2 hipótesis planteadas:

H₀: La media de ambos grupos de datos son iguales

H₁: La media de ambos grupos de datos no son iguales

Como se observa en la figura 34, la diferencia entre medias es de 0.03, lo cual se demuestra en la imagen con un rectángulo en color rojo donde se encuentra; este valor pertenece al rango de confiabilidad del 95% de prueba de calibración que cae dentro del intervalo de confianza, por lo que se aseguró que está validado para este caso de los tiempos en el Jr. Ayacucho.

Las gráficas de los resultados de la validación en StatKey se pueden observar en el anexo 13

5.4.2. Validación de Peatones

Para la realización de validación de peatones se registró la data de campo, como se mencionó anteriormente el día 20 de julio con lo que se obtuvo el volumen general por intervalos, así como también los porcentajes de volúmenes según tipo de peatones y rutas como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 28
Velocidades de niños tomados en campo para validación

Velocidad (km/h)- Niños					
4.323	4.944	4.349	4.471	4.167	4.610
4.643	4.813	4.064	4.278	3.704	4.450
4.348	6.170	5.089	4.129	4.710	4.767
3.946	4.503	4.171	4.476	4.023	3.531
4.014	4.430	3.779	4.956	4.348	3.577
3.821	4.231	3.898	4.704	4.045	3.846
4.059	4.134	4.023	4.186	5.142	3.994
4.157	3.704	4.087	3.396	4.583	3.624
4.630	3.868	4.556	3.393	4.101	4.210
4.756	4.283	4.323	4.186	4.583	4.273

Fuente: Propia

Las tablas de velocidades de desplazamiento restantes se pueden observar en el anexo 14

Tabla 29
Volumen de peatones de O1

	O1 → O2			O1 ↓		
	Niños	Jóvenes	Adultos	Niños	Jóvenes	Adultos
18:00 - 18:10	4	14	12	2	11	14
18:10 - 18:20	7	19	31	4	16	28
18:20 - 18:30	2	10	16	0	7	15
18:30 - 18:40	10	11	13	2	12	16
18:40 - 18:50	12	24	22	5	13	17
18:50 - 19:00	6	14	20	4	18	12
TOTAL	41	92	114	17	77	102
TOTAL	247			196		

Fuente: Propia

Tabla 30
Total de peatones por tipo y sus porcentajes

TOTAL		443		
	Niños	Jóvenes	Adultos	
O1	58	169	216	
%	0.13	0.38	0.49	

Fuente: Propia

Tabla 31
Volumen de peatones en total de O1 según intervalo

	O1 → O2		O1 ↓		Flujo Parcial Total	Flujo Parcial en 1h
	Flujo Parcial	Flujo Acumulado	Flujo Parcial	Flujo Acumulado		
18:00 - 18:10	30	30	27	27	57	342
18:10 - 18:20	57	87	48	75	105	630
18:20 - 18:30	28	115	22	97	50	300
18:30 - 18:40	34	149	30	127	64	384
18:40 - 18:50	58	207	35	162	93	558
18:50 - 19:00	40	247	34	196	74	444

Fuente: Propia

Las tablas de aforo peatonal se pueden observar en el anexo 15

- **Resultados de validación de velocidad de peatones:**

Tabla 32
Resumen de validación de velocidad de desplazamiento de Niños

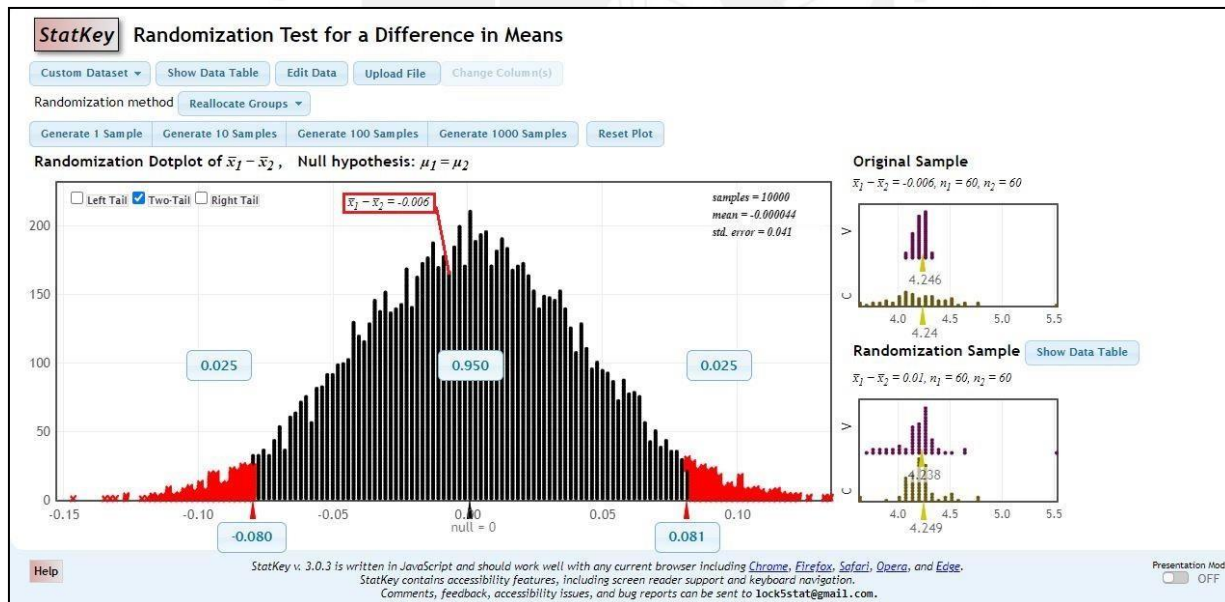
Tau	0.1	
Lambda	0.85	
N.º	Campo	Vissim
promedio	4.276	4.228
desvest	0.473	0.053
prueba T	44.01%	

Fuente: Propia

Como se observó en los resultados de la validación de velocidades de los niños, la velocidad promedio es un valor muy cercano.

Las tablas de validación de velocidades de desplazamiento restantes se pueden observar en el anexo 16

Figura 35
Validación de velocidades de Niños con la herramienta StatKey



Fuente: Propia

Para el análisis del resultado obtenido por la herramienta StatKey, se consideró 2 hipótesis planteadas:

H₀: La media de ambos grupos de datos son iguales

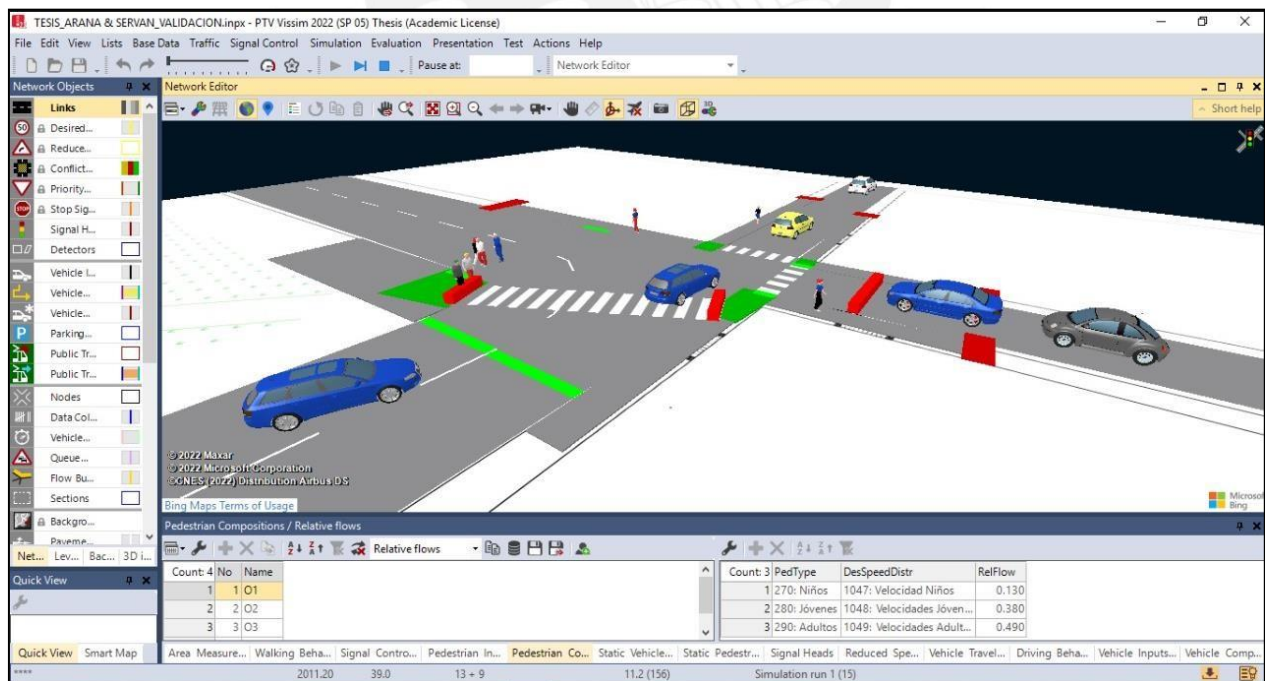
H₁: La media de ambos grupos de datos no son iguales

Como se observa en la figura 36, la diferencia entre medias es de 0.05, lo cual se demuestra en la imagen con un rectángulo en color rojo donde se encuentra; este valor pertenece al rango de confiabilidad del 95% de prueba de calibración que cae dentro del intervalo de confianza, por lo que se asegura que está validado para este caso de la velocidad de los niños.

Las gráficas restantes de validación con el StatKey de velocidades de desplazamiento restantes se pueden observar en el anexo 17

Finalmente, se obtuvo el modelo de micro simulación en 3 dimensiones como se observa en la siguiente figura, el cual sirvió para realizar la calibración y validación de datos.

Figura 36
Modelo de la intersección en 3D con el programa Vissim 2022



Fuente: Propia

CAPITULO 6. ANÁLISIS DEL PROYECTO ACTUAL Y PROPUESTAS DE MEJORA

A continuación, se presenta un análisis general del proyecto y los resultados obtenidos en la validación. El análisis estuvo en torno a los parámetros de eficiencia obtenidos en la etapa de validación tanto para vehículos como para peatones. Asimismo, se evaluó tres propuestas de mejora, en las cuales se comparan los parámetros de eficiencia para observar una mejora en la intersección.

Para vehículos se tomaron 3 parámetros de eficiencia: longitudes de cola, velocidad de viaje y demora de viaje. Por otro lado, para los peatones se utilizaron 2 parámetros de eficiencia: velocidad promedio y tiempo de viaje.

6.1. Análisis de los resultados vehiculares

En primer lugar, se analizaron los resultados obtenidos en Vissim y Viswalk de acuerdo a los parámetros de eficiencia, en el que se realizó las comparaciones de la demanda vehicular y peatonal con los datos para calibración y validación:

Tabla 33
Volumen total vehicular en la intersección (veh/h)

18:00-19:00	Jr. Ayacucho	Jr. Grau	Total
Calibración	459	725	1184
Validación	508	599	1107

Fuente: Propia

Tabla 34
Volumen total peatonal en la intersección (pea/h)

	O1	O2	O3	O4	Total
Calibración	404	286	384	173	1247
Validación	443	316	396	194	1349

Fuente: Propia

Como se observa, los datos obtenidos tanto en calibración como en validación existe una variación.

Para vehículos la diferencia entre los datos obtenidos es del 6% y para peatones 7.5%, por lo que las diferencias para ambas categorías son pequeñas.

6.1.1. Eficiencia Vehicular

Como se mencionó, para los vehículos se utilizaron 3 parámetros de eficiencia: longitudes de cola, velocidad de viaje y demora de viaje, los cuales son los más comunes. Asimismo, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 35.
Resultados de los parámetros de eficiencia vehicular

Parámetros de eficiencia vehicular	Longitud de cola promedio (m)	Velocidad de viaje promedio (km/h)	Demora de viaje promedio (s)
Grau	10.87	20.62	17.71
Ayacucho	7.78	20.62	17.71

Fuente: Propia

En primer lugar, se tienen las longitudes de colas, las cuales son medidas para cada jirón dentro de la intersección. Asimismo, los resultados obtenidos son los promedios de las longitudes de colas, como se muestra a continuación. Para el jirón Ayacucho se tiene una longitud de cola de 7.78 metros aproximadamente y para el jirón Grau 10.87 metros aproximadamente.

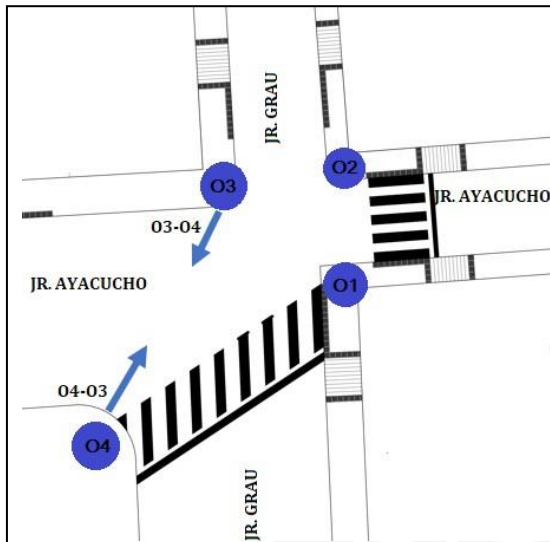
En segundo lugar, como parámetro de eficiencia, tenemos la velocidad promedio de todos los vehículos analizados en la intersección. Se obtuvo que dicha velocidad promedio fue de 20.62 km/h, la cual varía entre el mínimo de 19.78 km/h y el máximo de 21.41 km/h.

Por último, se tiene a la demora de viaje como parámetro de eficiencia vehicular. Este parámetro se obtiene al analizar el tiempo de viaje real y compararlo con el tiempo de viaje ideal, en el cual, la diferencia, resulta en la demora de viaje. La demora que se obtiene en el análisis es de 17.71 segundos, la cual es el promedio de las demoras obtenidas. Dicha demora varía entre los 16.19 segundos y 19.75 segundos.

6.1.2. Eficiencia Peatonal

Asimismo, para los peatones se utilizarán 2 parámetros de eficiencia: velocidad promedio y tiempo de viaje de viaje. Esta eficiencia peatonal está relacionada con el tramo más crítico, el cual, en este caso, es el tramo más largo, el cual es O3-O4.

Figura 37
Tramo crítico peatonal O3-O4



Fuente: Propia

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los parámetros de eficiencia peatonal.

Tabla 36.
Resultados de los parámetros de eficiencia vehicular

Parámetros de eficiencia peatonal	Velocidad de viaje promedio (km/h)	Tiempo de viaje peatonal (s)
O3-O4	4.6	21.14

Fuente: Propia

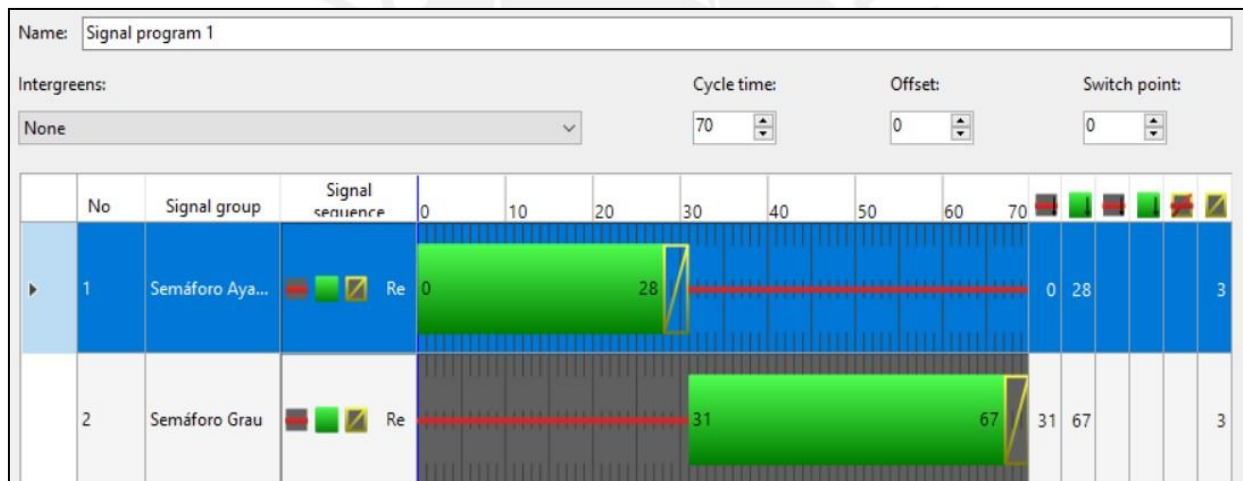
En primer lugar, se analizó el parámetro de velocidad promedio, el cual tuvo un valor de 4.6 km/h. Asimismo, otro parámetro de eficiencia que se utilizó fue el tiempo de viaje peatonal, que se tomó en la dirección más crítica. Dicho tiempo de viaje peatonal es de 21.14 segundos como promedio. Este valor oscila entre 19.94 segundos como mínimo y 22.71 segundos como máximo.

6.2. Propuestas de mejora

6.2.1. Cambio de fase del semáforo

En este apartado, como parte de una de las propuestas de mejora, una opción que se escogió fue el cambio del ciclo del semáforo, en el cual se priorizo la velocidad y tiempo de desplazamiento de los peatones. Esto es debido a que es una esquina de la plaza de armas de la ciudad de Chachapoyas, por lo que es una intersección mayormente utilizada por los peatones. Se opto por disminuir el tiempo de fase en el jirón Ayacucho a 28 segundos y aumentar el tiempo de fase del jirón Grau a 36 segundos, con un total de 70 segundos de fase total en la intersección.

Figura 38
Ciclo semafórico de la primera propuesta de mejora



Fuentes: Propia

Se observa un cambio en los tiempos de fase, en el cual se opta por darle prioridad de paso al jirón Grau con lo cual se buscó que los peatones de O3-O4 tengan mayor tiempo de cruzar la calle. Esto generó los siguientes resultados.

Tabla 37
Resultados de los parámetros de eficiencia peatonal

Parámetros de eficiencia peatonal	Tiempo de viaje peatonal (s)
O3-O4	19.12

Fuentes: Propia

Tabla 38
Resultados de los parámetros de eficiencia vehicular

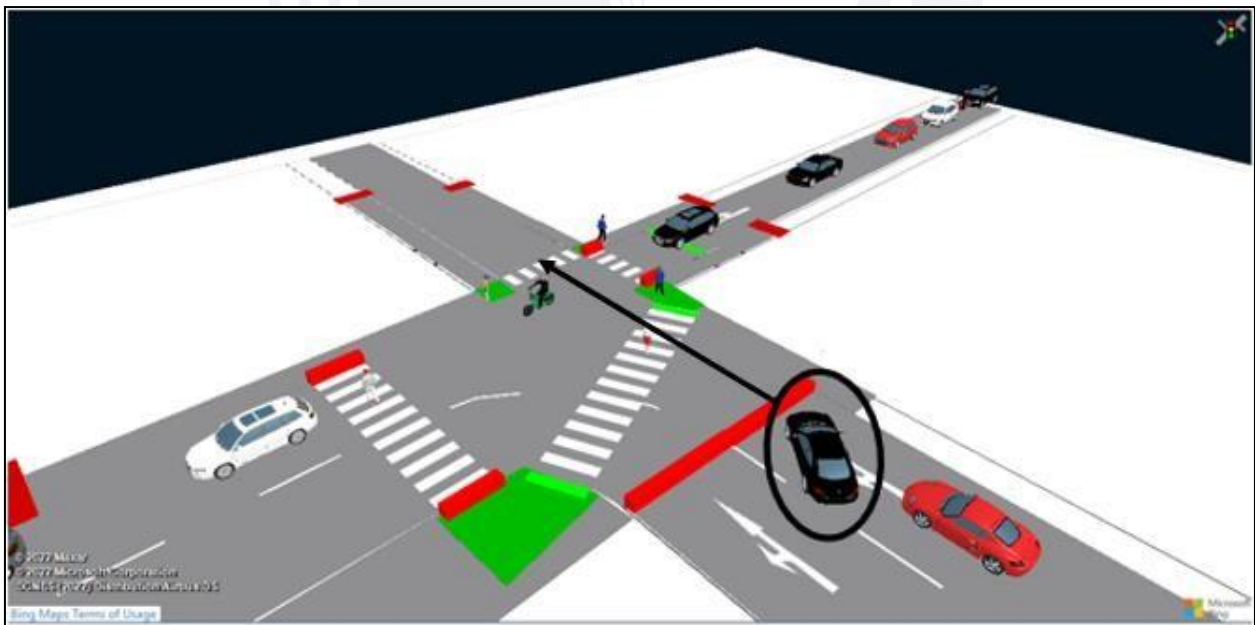
Parámetros de eficiencia vehicular	Longitud de cola promedio (m)	Velocidad de viaje promedio (km/h)	Demora de viaje promedio (s)
Grau	8.17	21.29	15.71
Ayacucho	9.27	21.29	15.71

Fuentes: Propia

6.2.2. Creación de isla de refugio y aumento de 1 semáforo en el jirón Grau

En este apartado, la propuesta de mejora elegida, fue agregar un semáforo en el jirón Grau, para los vehículos que están en el carril izquierdo y solo tengan giro a la izquierda, para esto, se mantuvo el ciclo de semáforo de 68 s. Esta propuesta se sostiene en darle un mejor orden en cuanto al flujo vehicular para evitar embotellamientos que se generan con los vehículos que van en el jirón Grau de 2 carriles hacia 1 carril, como se observa en la figura 40.

Figura 39
Situación actual de la intersección

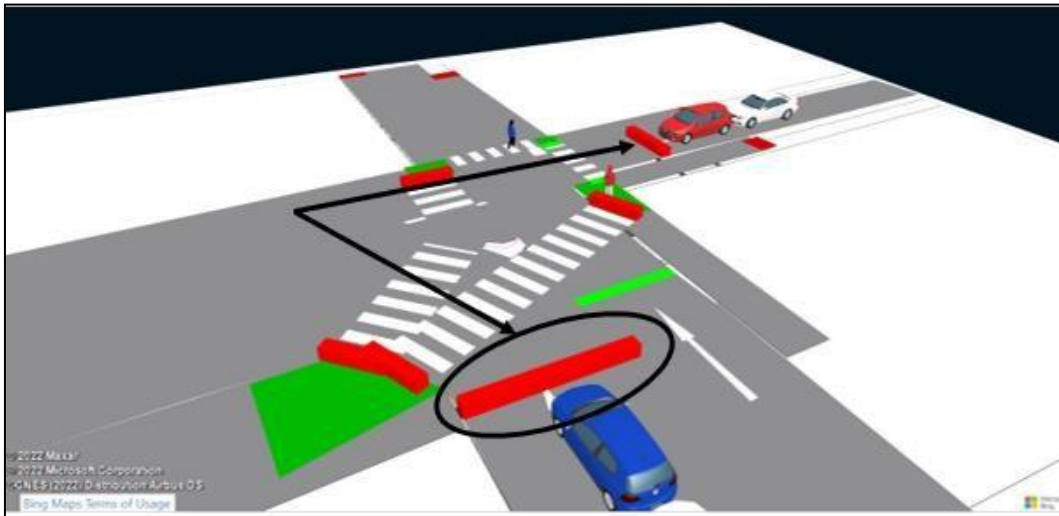


Fuente: Propia

A continuación, se muestra la figura de propuesta junto con la ubicación del semáforo añadido, el cual se muestra encerrado en un círculo negro y está sincronizado con el que se muestra con una flecha como se muestra en la figura 42.

Figura 40

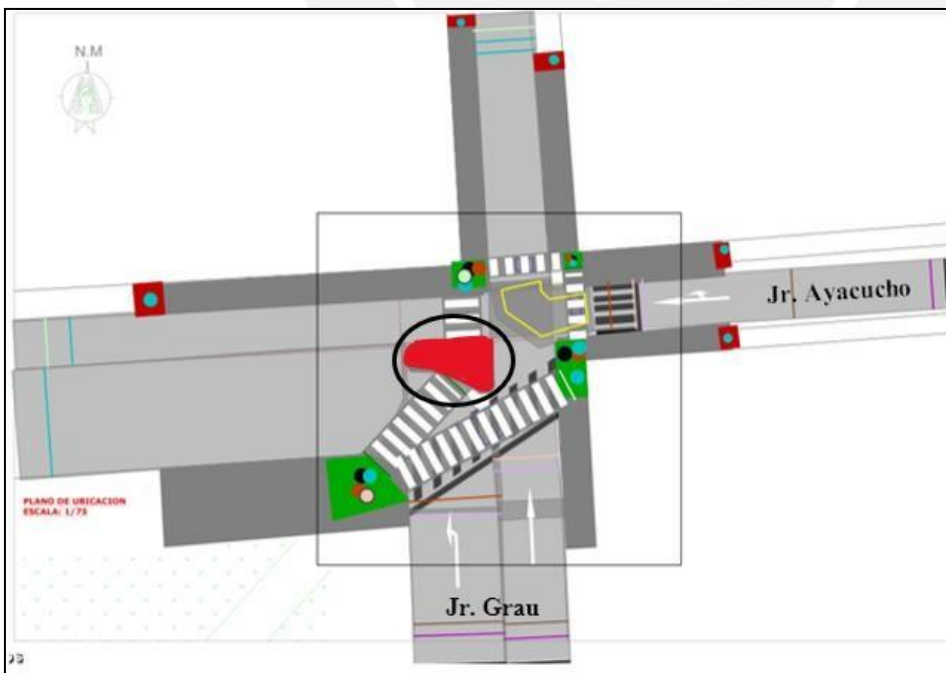
Propuesta de añadir un semáforo en el jirón Grau que esté sincronizado con el semáforo del jirón Ayacucho



Fuente: Propia

Figura 41

Plano la segunda propuesta de mejora con sus respectivos sentidos de dirección de flujo vehicular para ambos jirones



Fuente: Propia

Como se observa, en la figura 42, se estableció un orden para los vehículos con el apoyo de una isla de refugio la que se muestra en el círculo negro. Con esta isla de refugio, se ordena también el flujo vehicular, puesto que los vehículos del carril izquierdo del jirón Grau, solamente giran a la izquierda y están sincronizados con los vehículos que van en línea recta del jirón Ayacucho; asimismo, para el carril derecho del jirón Grau, solamente va en dirección recta y para esto, los vehículos del jirón Ayacucho estarán detenidos en semáforo rojo. Con esta propuesta, se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 39
Resultados de los parámetros de eficiencia peatonal

Parámetros de eficiencia peatonal	Tiempo de viaje peatonal (s)
O3-O4	16.21

Fuente: Propia

Tabla 40
Resultados de los parámetros de eficiencia vehicular

Parámetros de eficiencia vehicular	Longitud de cola promedio (m)	Velocidad de viaje promedio (km/h)	Demora de viaje promedio (s)
Grau	4.55	20.62	12.39
Ayacucho	8.31	20.62	12.39

Fuente: Propia

6.2.3. Mejora en el diseño geométrico de la intersección

Aumento de cruces peatonales

Otra propuesta de mejora son colocar pasos de cebra por donde las personas más trascurren. Como se puede observar en la figura 44, los transeúntes no utilizan siempre los pasos de cebras existentes ya que prefieren disminuir el tiempo de desplazamiento exponiéndose al peligro. Por ello, se planteó aumentar los pasos de cebra, dos pasos de cebra transversal y uno en diagonal como se observa en la figura 45.

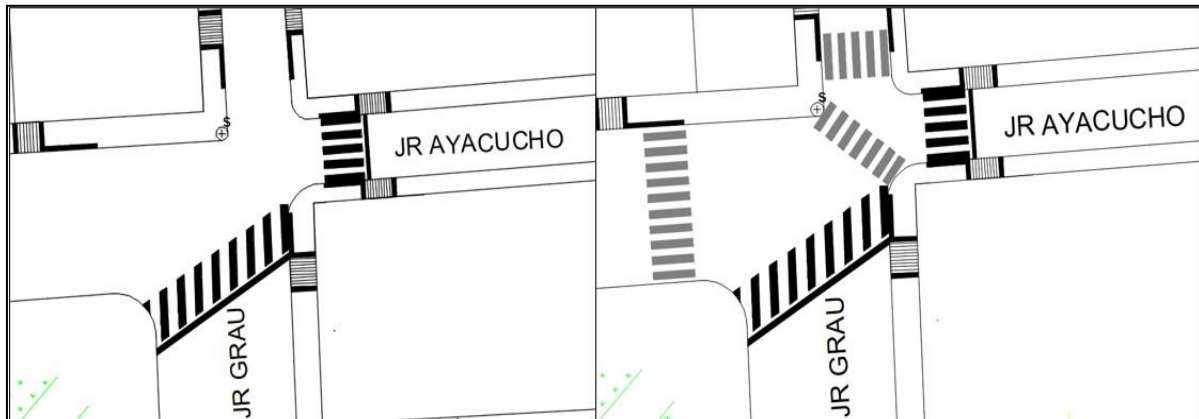
Asimismo, para el paso de cebra en diagonal se tuvo en cuenta lo mencionado por el manual de señalización urbana de Sao Paulo (Compañía de Ingeniería de Trafico, 2019), en la cual menciona que se puede instalar en áreas donde se generen un volumen importante de personas. En este caso se tiene concentración zona de colegios y comercio. Además, en el conteo de personas que transcurren las veredas, que componen la diagonal, como se observa en la figura 22, se tiene un total de 286 personas que transitan O3, O2, O1 y 384 personas que transitan O3, O4, O1, sumando un total de 670 personas. Dicho total es mayor al mínimo que se requiere para tomar en cuenta un paso de cebra diagonal que es 600 personas (Compañía de Ingeniería de Trafico, 2019), el cual se mencionó en el marco teórico.

Figura 42
Pasos de cebra ausentes en el flujo peatonal en la intersección analizada



Fuente: Propia

Figura 43
Aumento de pasos de cebra como propuesta de mejora



Fuente: Propia

Aumento de ancho de vereda

Se planteó aumentar el ancho de vereda, debido a que las personas no caben en dicha esquina al momento de esperar el pase hacia la otra acera, como se observa en la figura 43. Como se observa en la figura 44, se planteó aumentar el ancho de vereda de 1.30m a 1.90m, con lo cual se consigue un mayor espacio de espera para los peatones. Esto se genera sin perjudicar el resto de medidas en el diseño geométrico de la intersección, ya que, como se observa, el nuevo ancho de carril quedaría de 3.80m, el cual todavía es mayor al mínimo estipulado por el MTC (2016) que es 2.70m. Asimismo, el radio de giro quedaría con 5.00m, el cual todavía se mantiene mayor al radio de giro mínimo de 4.00m que recomienda la Compañía de Ingeniería de Tráfico (2019), de la ciudad de Sao Paulo.

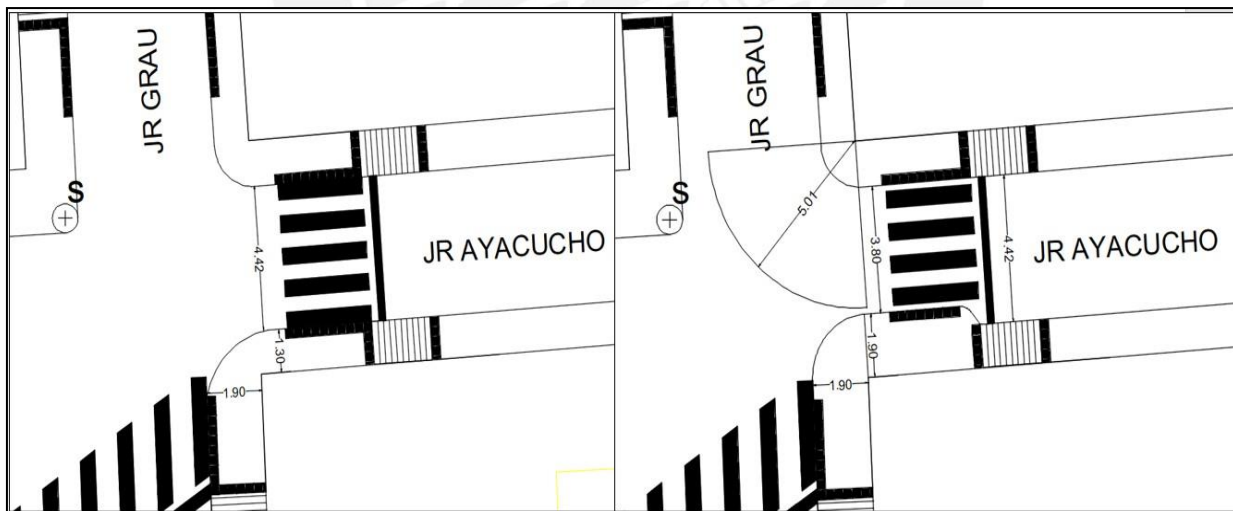
Por otra parte, al disminuir el ancho de carril se disminuye también la velocidad de giro de los vehículos y con ello se aumenta la seguridad de los peatones al cruzar la pista (Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas, 2005).

Figura 44
Aglomeración de peatones en la vereda de la intersección



Fuente: Propia

Figura 45
Aumento del ancho de vereda como propuesta de mejora



Nota: La imagen de la izquierda es la intersección sin ninguna modificación. La imagen de la derecha es el aumento de ancho de vereda como propuesta de mejora

Fuente: Propia

6.3. Evaluación de las propuestas de mejora

A continuación, se evaluó si las propuestas proporcionan una mejora en la intersección. Dicha evaluación se realizó con pruebas estadísticas, donde los datos son ingresados al t-student y se comprueban las propuestas de acuerdo al nivel de confianza del 95%. Los datos toman como referencia los resultados obtenidos en la etapa de validación y se comparan con los resultados obtenidos de las propuestas de mejora ingresados en el software Vissim.

Asimismo, se realizaron pruebas paramétricas, donde se comparan dos muestras: hipótesis nula, H_0 , donde $u_1 = u_2$; y, H_a , donde $u_1 > u_2$ o $u_1 < u_2$. Si la hipótesis H_0 se rechaza, entonces la hipótesis H_a es verdadera.

6.3.1. Cambio de fase en el semáforo

A continuación, se evaluó si los cambios en las fases del semáforo proporcionan una mejora en la intersección. Los datos toman como referencia los resultados obtenidos en la etapa de validación y se comparó con los resultados obtenidos del cambio de fase del semáforo.

Primero se analizaron los parámetros eficiencia de los vehículos como colas, velocidades promedio y demoras, y, luego, los parámetros de eficiencia de los peatones como velocidades promedio en O3-O4 y los tiempos de viaje de O3-O4.

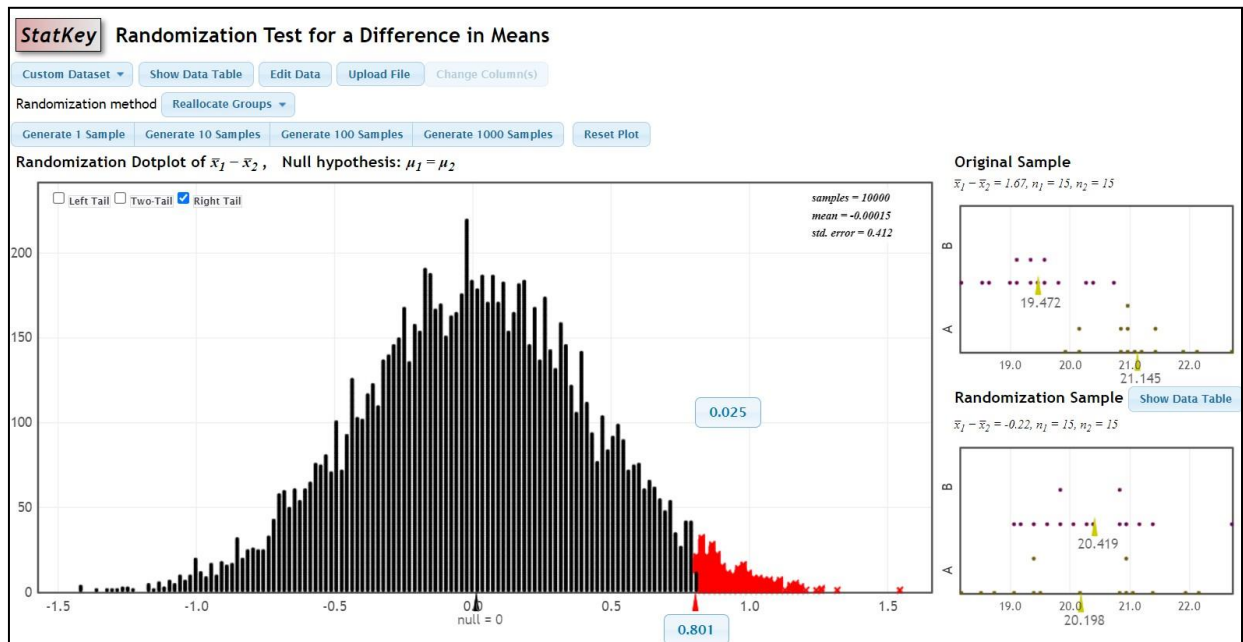
Evaluación de los tiempos de viaje de los peatones

Para el análisis de las velocidades promedio, se consideraron dos hipótesis planteadas:

H_0 = La media tiempos de viaje son iguales, $u_1 = u_2$

H_a = Una de las medias de tiempos de viaje es mayor o menor que la otra, $u_1 > u_2$

Figura 46
 Test randomizado del tiempo de demora de los peatones (s) de la primera propuesta de mejora



Fuente: Propia

Se observa que la diferencia de medias se sitúa fuera de la zona del intervalo de confianza ($0.801 < 1.67$), por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0). Asimismo, al rechazar la hipótesis nula, se acepta la hipótesis que el tiempo de demora u_1 es mayor a u_2 , lo cual denota, que la propuesta de mejora disminuye los tiempos de demora en la dirección O3-O4, de 21.14 segundos a 19.12 segundos.

Evaluación de las velocidades promedio de los vehículos

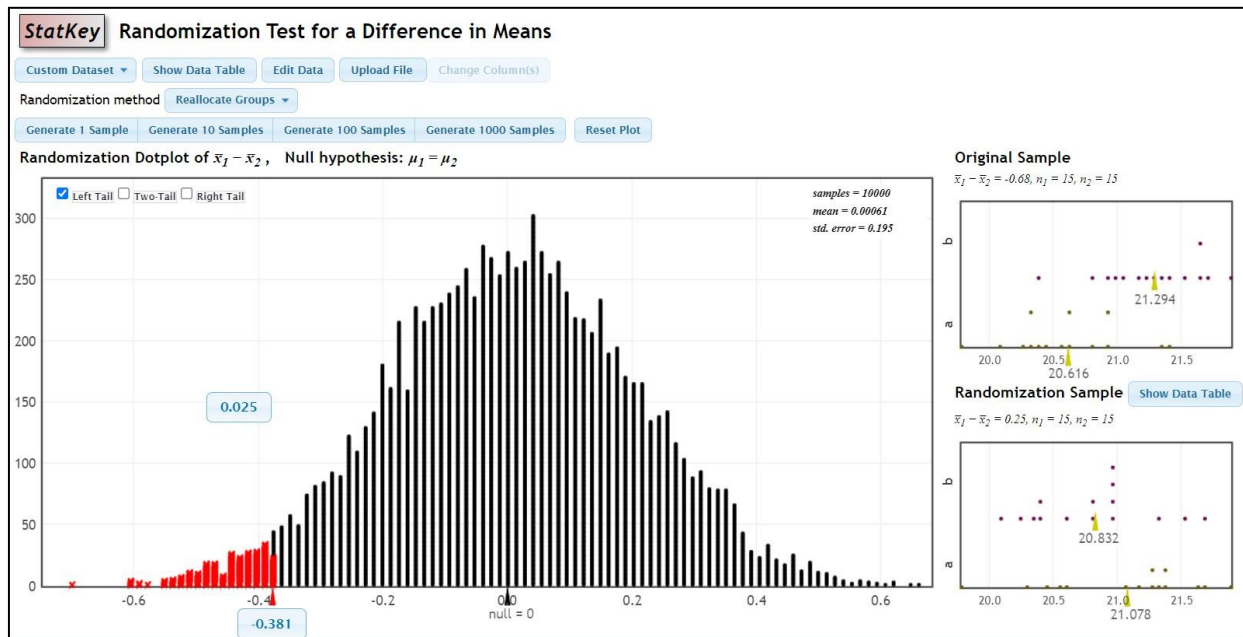
Para el análisis de las velocidades promedio, se consideraron dos hipótesis planteadas:

H_0 = La media de ambos grupos de datos es igual, $u_1 = u_2$

H_a = Una de las medias es mayor o menor que la otra, $u_1 < u_2$

Figura 47

Test randomizado de las velocidades de los vehículos (km/h) de la primera propuesta de mejora



Fuente: Propia

Se observa que la diferencia de medias se sitúa fuera de la zona del intervalo de confianza $(-0.381 > -0.68)$, por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0). Asimismo, al rechazar la hipótesis nula, se acepta la hipótesis que la velocidad promedio de los vehículos u_1 es menor a u_2 , lo cual denota, que la propuesta de mejora aumenta las velocidades promedio de los vehículos en la intersección, de 20.62 km/h a 21.29 km/h.

La evaluación de los demás parámetros de eficiencia, en el StatKey, se encuentran en el anexo 18.

Resumen de los resultados de la primera propuesta de mejora

Tabla 41

Comparación de los resultados peatonal del diseño actual con el diseño de mejora

Parámetros de eficiencia peatonal	Diseño Actual	Diseño con Mejora
Tiempo de viaje peatonal (s)	21.14	19.12

Fuente: Propia

Tabla 42
Comparación de los resultados del diseño actual con el diseño de mejora

Parámetros de eficiencia vehicular	Diseño Actual		Diseño con Mejora	
	Grau	Ayacucho	Grau	Ayacucho
Longitud de cola promedio (m)	10.87	7.78	8.17	9.27
Velocidad de viaje promedio (km/h)	20.62		21.29	
Demora de viaje promedio (s)	17.71		15.71	

Fuente: Propia

6.3.2. Creación de isla y semáforos

A continuación, se evaluó si los cambios en las fases del semáforo proporcionan una mejora en la intersección. Los datos toman como referencia los resultados obtenidos en la etapa de validación y se comparó con los resultados obtenidos del cambio de fase del semáforo.

Primero se analizaron los parámetros eficiencia de los vehículos como colas, velocidades promedio y demoras, y, luego, los parámetros de eficiencia de los peatones como velocidades promedio en O3-O4 y los tiempos de viaje de O3-O4.

Evaluación de los tiempos de viaje de los peatones

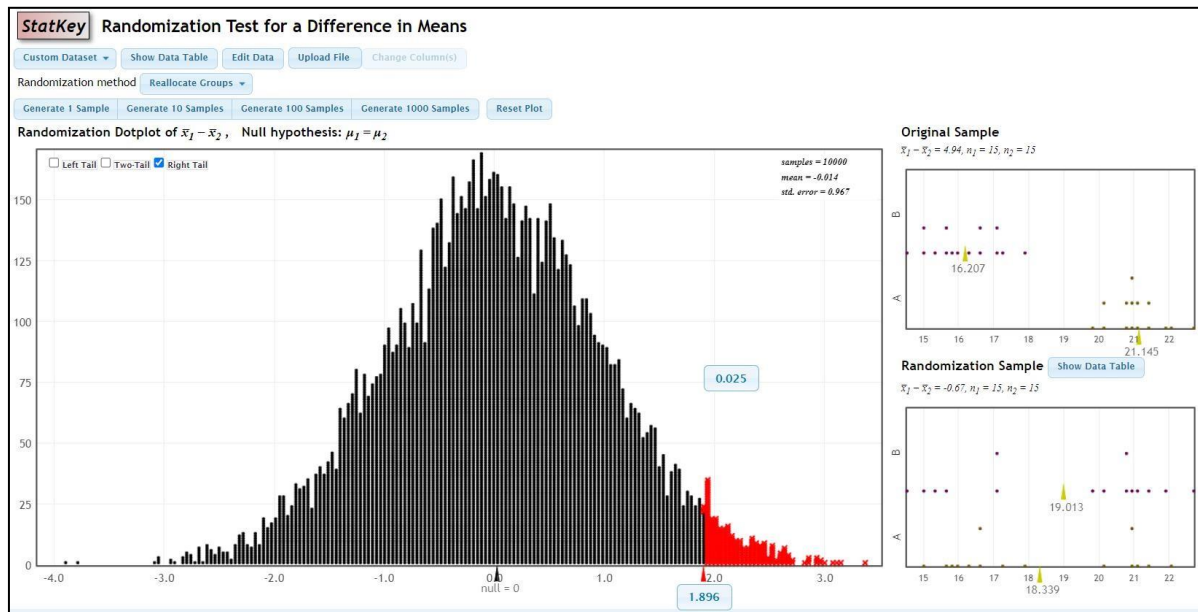
Para el análisis de las velocidades promedio, se consideraron dos hipótesis planteadas:

H_o = La media tiempos de viaje son iguales, $u_1 = u_2$

H_a = Una de las medias de tiempos de viaje es mayor o menor que la otra, $u_1 > u_2$

Figura 48

Test randomizado del tiempo de demora de los peatones (s) de la segunda propuesta de mejora



Fuente: Propia

Se observa que la diferencia de medias se sitúa fuera de la zona del intervalo de confianza (1.896 < 4.94), por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0). Asimismo, al rechazar la hipótesis nula, se acepta la hipótesis que el tiempo de demora μ_1 es mayor a μ_2 , lo cual denota, que la propuesta de mejora disminuye los tiempos de demora en la dirección O3-O4, de 21.14 segundos a 16.21 segundos.

Evaluación de las velocidades promedio de los vehículos

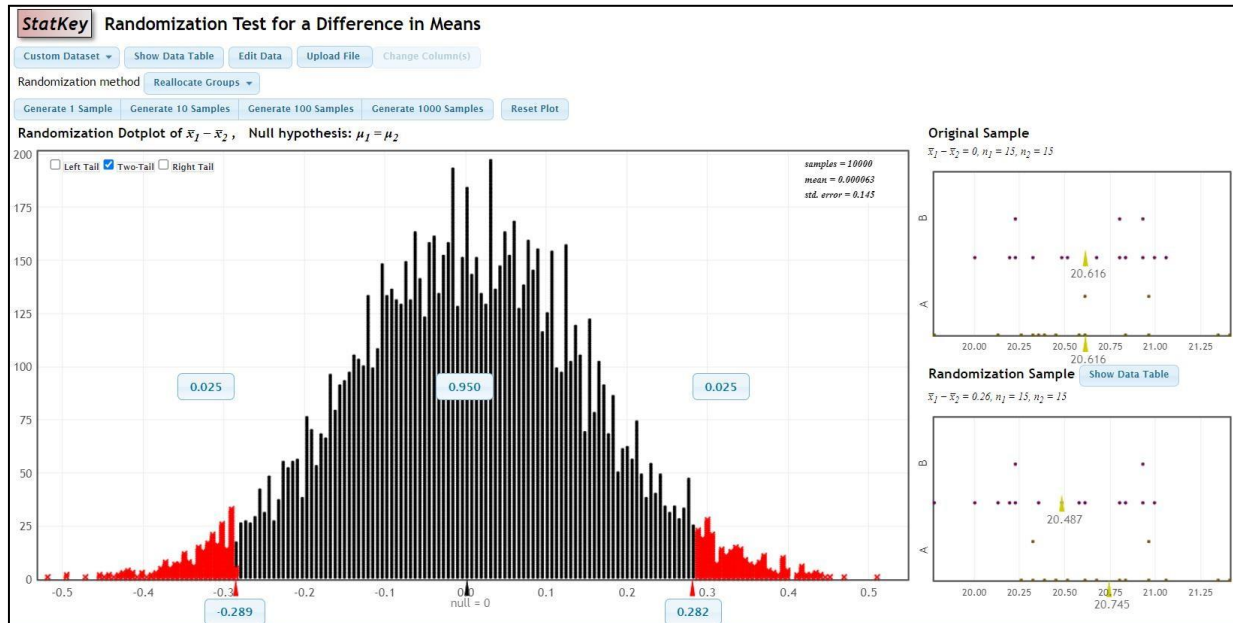
Para el análisis de las velocidades promedio, se consideraron dos hipótesis planteadas:

H_0 = La media de ambos grupos de datos es igual, $\mu_1 = \mu_2$

H_a = Una de las medias es mayor o menor que la otra, $\mu_1 \neq \mu_2$

Figura 49

Test randomizado de las velocidades de los vehículos (km/h) de la segunda propuesta de mejora



Fuente: Propia

Se observa que la diferencia de medias se sitúa dentro de la zona del intervalo de confianza, por lo que se acepta la hipótesis nula (H_0). Por lo que la velocidad promedio de los vehículos μ_1 es igual a μ_2 , lo cual denota, que la propuesta de mejora mantiene las velocidades promedio de los vehículos en la intersección, de 20.62 km/h.

La evaluación de los demás parámetros de eficiencia, en el StatKey, se encuentran en el anexo 18.

Resumen de los resultados de la segunda propuesta de mejora

Tabla 43.

Comparación de los resultados de tiempo peatonal del diseño actual con el diseño de mejora

Parámetros de eficiencia peatonal	Diseño Actual	Diseño con Mejora
Tiempo de viaje peatonal (s)	21.14	16.21

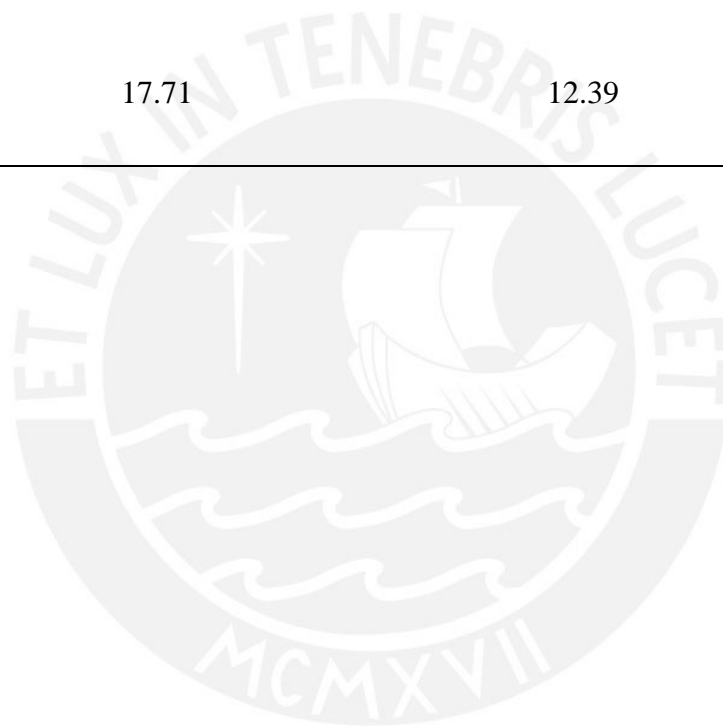
Fuente: Propia

Tabla 44

Comparación de los resultados vehicular del diseño actual con el diseño de mejora

Parámetros de eficiencia vehicular	Diseño Actual		Diseño con Mejora	
	Grau	Ayacucho	Grau	Ayacucho
Longitud de cola promedio (m)	10.87	7.78	4.55	8.31
Velocidad de viaje promedio (km/h)	20.62		20.62	
Demora de viaje promedio (s)	17.71		12.39	

Fuente: Propia



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Objetivo Especifico: Analizar las características de velocidad y desplazamiento de los peatones y vehículos que transitan en la intersección del Jr. Ayacucho y Jr. Grau, de la ciudad de Chachapoyas

El análisis de las características de velocidad y desplazamiento de los peatones y vehículos, que transitan en la intersección, se desarrolló en el modelo de micro simulación obtenido de los datos de campo. De dicho modelo se obtuvo velocidades promedio, colas y demoras promedio, parámetros de eficiencia, de los peatones y vehículos en la intersección.

Los peatones tienen una velocidad promedio baja de 4.6 km/h a comparación de lo que nos muestran la TBR (2000), la Transportation Research Board (2000) y Kishor et al (1998), los cuales describen una velocidad promedio de 4.86 km/h a 5.40 km/h a los peatones. Asimismo, el tiempo de demora, para cruzar la ruta más crítica (O3-O4), es elevado ya que se tiene una demora de 21.14 segundos. Este valor fue reducido y optimizado en las propuestas de mejora.

También, se analizó las características de los vehículos. Dentro de estas características, se muestra que, para el tiempo de fase del semáforo, ocurre una mayor cola en el jirón Grau con 10.87 metros, aproximadamente el largo de dos automóviles, a diferencia del jirón Ayacucho con 7.78 metros, aproximadamente la longitud de un automóvil y una moto. Asimismo, la velocidad promedio de los vehículos es bajo en la intersección, ya que el valor promedio es de 20.62 km/h que está por debajo del valor promedio que es de 30 km/h. Por último, se analizó el tiempo de demora de viaje en la intersección, el cual tiene un valor de 17.71 segundos, considerándolo alto para el desplazamiento de los vehículos. Estas características fueron afectadas por las propuestas de mejora.

Objetivo Especifico: Evaluar el diseño actual de la intersección del Jr. Ayacucho y Jr. Grau, de la ciudad de Chachapoyas.

Si bien el diseño de la intersección cumple los requisitos mínimos de los manuales nacionales e internacionales, su diseño no es el óptimo, ya que, como se observó anteriormente, existen demoras y colas elevadas, además de velocidades bajas en los usuarios.

El diseño geométrico obedece y cumple los requisitos de los manuales nacionales e internacionales de diseño urbano. En sus veredas de 1.30 metros, no cumple con el manual de diseño peruano de mínimo 1.80 metros, sin embargo, para la norma chilena y Centroamericana si cumple con 1.20 metros como mínimo. En rampas, 12% de pendiente, cumple con el mínimo exigido por la norma peruana de 12% de pendiente. En cruces peatonales de 2.90 metros, también cumple con lo mínimo exigido en la norma peruana de 2.00 metros. En calzadas de 4.42 metros, también cumple con lo mínimo exigido en la norma peruana de 2.70 metros. Por último, el radio de giro de 5.30 metros, no cumple con lo exigido por la norma peruana de 7.30 metros, sin embargo, si cumple con la norma brasileña de 4.00 metros.

Objetivo Especifico: Plantear propuestas de mejora en el flujo de los peatones y vehículos que transitan en la intersección del Jr. Ayacucho y Jr. Grau, de la ciudad de Chachapoyas.

De acuerdo con lo anterior, en las propuestas de mejora, se buscó mejorar y optimizar el diseño geométrico para el beneficio de los peatones y vehículos, pero priorizando a los peatones debido a que es una zona mayormente peatonal.

En la primera propuesta de mejora, solo se modificó las fases del semáforo ya existente. Esto resulto en que se redujo el tiempo de demora de los peatones, en la ruta más crítica O3-O4, de 21.14 segundos a 19.12 segundos. Asimismo, hubo mejoras en la velocidad promedio y tiempo de

demora, de 20.62 km/h a 21.29 km/h, y de 17.71 segundos a 15.71 segundos, respectivamente. Además, se mejoró la longitud de cola en el jirón Grau de 10.87 metros a 8.17 metros; sin embargo, en el jirón Ayacucho se incrementó la longitud de cola de 7.78 a 9.27 metros. Por lo que, la propuesta de mejora puede ser realizada ya que se obtienen más beneficios que desventajas.

En la segunda propuesta de mejora, con la finalidad de controlar el giro de los vehículos en el jr. Grau y otorgar mayor orden a la intersección, se optó por aumentar un semáforo con el mismo ciclo de duración que el semáforo del jr. Ayacucho. Asimismo, se creó una isla de refugio en la intersección. Esto mejoró en gran medida el tiempo de demora de los peatones, en la ruta más crítica O3-O4, de 21.14 segundos a 16.21 segundos. Asimismo, otra mejora significativa es en el tiempo de demora promedio de los vehículos, en la intersección, ya que se disminuyó de 17.71 segundos a 12.39 segundos. Por otro lado, la velocidad promedio de los vehículos, en la intersección, se mantuvo en 20.62 km/h. Por lo que, la mejora del tiempo de demora de los vehículos se produce porque se disminuyó, en gran medida, la longitud de cola el jirón de Grau, ya que se disminuyó de 10.87 metros a 4.55 metros. Sin embargo, la longitud de cola del jirón Ayacucho incremento de 7.78 metros a 8.31 metros. Por lo que, la propuesta de mejora puede ser realizada ya que se obtienen más beneficios que desventajas.

En la tercera propuesta, se priorizó la seguridad de los peatones en la mejora se mejora del diseño geométrico de la intersección. Con el aumento del ancho de veredas, se mejora la circulación y la seguridad de las personas. Además, se agrega un paso de cebra para la seguridad de los peatones y que los vehículos respeten estas señalizaciones. Asimismo, se alinean las veredas de las intersecciones para que exista mayor orden en los vehículos y peatones.

Por último, se concluye que el software de micro simulación empleado tiene la capacidad de reflejar la realidad con alta precisión y calidad, ya que los resultados obtenidos en campo concuerdan con los resultados obtenidos en el software. Asimismo, agregar que el análisis y recolección de datos se realizó en una fecha específica, por lo que estos datos pueden variar en los meses y años próximos.

7.2. Recomendaciones

De acuerdo a las propuestas de mejora, se recomienda optar por la primera y tercera propuesta de mejora, ya que, como se observó, los beneficios son buenos. Debido, a que sí se elige la segunda propuesta, el costo adicional de un semáforo puede ser costoso y el crear una isla podría impedir algunas actividades como marchas que se realizan en plena plaza de armas.

Además, se considera importante reevaluar el proyecto los meses de agosto y diciembre, ya que, Chachapoyas es una ciudad turística en la que tiene mayor afluencia de personas dichos meses. Asimismo, los planos catastrales, de Chachapoyas, están desactualizados, por lo que se podría analizar el proyecto con mayor precisión si se actualizarán dichos planos.

Por otro lado, exhortar a la Municipalidad Provincial de Chachapoyas tener presente este proyecto ya que, como se observó, se consiguieron mejoras sin necesidad de modificar la intersección. Asimismo, invitarlos a evaluar las demás intersecciones, con la micro simulación, para optimizar el tránsito vehicular y peatonal en la ciudad de Chachapoyas.

Por último, el presente proyecto queda como precedente para fomentar los proyectos de ingeniería de transporte urbano, en la ciudad de Chachapoyas, debido a que se obtuvo interesantes resultados en la intersección con la micro simulación.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, A. (2018) *Congestión vehicular y la autoridad de transporte urbano de Lima y Callao*. Lima, Perú: Fondo editorial U Lima.

Arboleda, G. (2020) *Vías Urbanas, una ciudad para todos*. Bogotá, Colombia: Alpha editorial.

Apel, M. (2004) *Simulation of pedestrian flows based of the social force model using the verlet link cell algorithm*. Poznan, Polonia: Poznan University of technology.

Barceló, J. (2011). *Fundamentals of Traffic Simulation*. New York, USA: Springer-Verlag New York Inc.

Cabrera, F. (2022) *Micro simulación peatonal, Micro simulación Peatonal y Sistemas Adaptativos*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Cabrera, F. (2015) *Herramientas de modelación y gestión de tránsito*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Cal y Mayo R., Cárdenas J. (2016) *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y aplicaciones*, Bogotá, Colombia: Alfaomega Grupo Editor.

Compañía de Ingeniería de Trafico. (2019) *Manual de Señalización Urbana*. Prefectura de Sao Paulo, Brasil. Recuperado de:

<http://www.cetsp.com.br/media/1131601/Vol05HorizontalRev03.pdf>

Canadian Council of Motor Transport Administrators. (2013) *Countermeasures to improve pedestrian safety in Canada*. Canada: CCMTA.

D. Helbing y P. Molnár. (1995) *Social force model for pedestrian dynamics*. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/1947096_Social_Force_Model_for_Pedestrian_Dynamics/link/02bfe510e677d8de59000000/download

Dirección Nacional de Vialidad. (2012) *Manual de señalamiento horizontal*. Buenos Aires, Argentina: ILITIA GRUPO CREATIVO. Recuperado de:

<https://www.aacarreteras.org.ar/pdfs/documentos-tecnicos/msh-ebook.pdf>

Eidmar E., Hultman J., (2014) *Traffic Network Evaluation using Microsoft Simulation and Analytical Model*. Goteborg, Suecia: Chalmers University of Technology.

Elefteriadou, L. (2013) *An introduction of to traffic flow theory*. New York, USA: Springer.

El Peruano. (2016) *Ordenanza que regula la accesibilidad universal y fomenta la inclusión en el distrito de Miraflores*. Lima, Perú. Recuperado de:

El Peruano. (2011) *Normal legal GH. 020*. Lima, Perú. Recuperado de:

http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/NORMA_GH.020_COMPOENENTES_DE_DISENO_URBANO.pdf.

Fellendorf y Vortisch, P. (2010) *Fundamentals of the traffic Simulation*. New York, USA: Springer.

Fellendorf, M. (1994) *A microscopic Simulation Tool to Evaluate Actuated Signal Control including Bus Priority*. New York, USA: Springer.

Fernández, R. & Dextre, J.C. (2011) *Elementos de la teoría del tráfico vehicular*, Lima, Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

FHWA (2013). *Traffic Analysis toolbox Volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software*. Recuperado de :

https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/tat_vol3/vol3_guidelines.pdf

FHWA. (2014) *Traffic Analysis toolbox Volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software*. Recuperado de:

https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/tat_vol3/vol3_guidelines.pdf

Garber N., Hoel L. (2005) *Ingeniería del tránsito de carreteras*. México D.F., México: International Thomson Editores.

González, J. (2011) Estudio de modelos para tráfico peatonal y su aplicación a los pasillos en diferentes escenarios. México D.F., México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Gomes, G. (2004) *Calibration of VISSIM for a Congested Freeway*. California, USA: University of California, Berkeley. Recuperado de:

https://horowitz.me.berkeley.edu/Publications_files/All_papers_numbered/Gomes_may_horowitz_PATH_report04.pdf

Hernández Sampieri, R., Fernández, C & Baptista, P. (2010) *Metodología de la Investigación*. (Quinta Edición). México D.F, México: McGraw-Hill.

Hurtado Q., Vásquez A., Lluqui, Cr. (2019) *Manual de aceras, intersecciones, tipos de calles y redes peatonales*. Quito, Ecuador. Recuperado de:

https://www.academia.edu/20329765/Manual_de_dise%C3%B1o_aceras_calles_intersecciones_y_redes_peatonales

Kishor L., Rastogi R., Chandra., (2010, 1 de marzo) Pedestrian Flow Characteristics in Mixed Traffic Conditions. *Journal of Urban Planning and Development*, pp. 23-24

Instituto Nacional de Estadística e Informática, (2016). *Informe técnico flujo vehicular por unidades de peajes*. Lima, Perú. Recuperado de:

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/informe-tecnico-n03_flujo-vehicular-ene2016.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática, (2021). *Informe técnico flujo vehicular por unidades de peajes*. Lima, Perú. Recuperado de

<https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/04-informe-tecnico-flujo-vehicular-feb-2021.pdf>

Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. (2014) *Accesibilidad de las personas al medio físico. Criterios y requisitos generales de diseño para un entorno edificado accesible*. Montevideo, Uruguay. Recuperado de:

https://www.dgeip.edu.uy/documentos/2018/privada/normativafrecuente/Normas_UNIT2014.pdf

Ministerio de Desarrollo Urbano. (2015) *Manual de Diseño Urbano*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de:

[https://www.buenosaires.gov.ar/sites/gcaba/files/manual de diseno urbano - gcba ago-2015_0.pdf](https://www.buenosaires.gov.ar/sites/gcaba/files/manual_de_diseno_urbano_-_gcba_ago-2015_0.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2000) *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor en calles y carreteras*. Lima, Perú. Recuperado de:

<http://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2015/08/manualdedispositivosdecontrolde transitautomotorencallesycarreteras1.pdf>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2009) *Reglamento nacional de tránsito*. Lima, Perú. Recuperado de : <https://www.protransporte.gob.pe/pdf/transparencia/docgestion/DS-016-2009-MTC.pdf>

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2013) *Facilidades explícitas para peatones y ciclistas*. Santiago de Chile, Chile. Recuperado de:

http://www.subtrans.gob.cl/subtrans/doc/MANUAL6_facilidadespeatones.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016) *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para calles y carreteras.*, Lima, Perú. Recuperado de:

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_6%20DCT-2016.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2017) *Manual de seguridad vial*, Lima, Perú. Recuperado de:

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual_de_Seguridad_Vial_2017.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018) *Manual de carreteras: Diseño Geométrico DG-2018*, Lima, Perú. Recuperado de:

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2021) *Disposiciones complementarias modificatorias*. Lima, Perú: El Peruano. Recuperado de:

<https://www.gob.pe/26617-nuevos-limites-de-velocidad-en-zonas-urbanas-a-nivel-nacional>

Ministerio de Transporte, de Comercio, Industria y Turismo. (2015) *Manual de Señalización Vial, dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia*. Bogotá, Colombia. Recuperado de:

<https://inteinsapavimentos.com.co/wp-content/uploads/2020/07/Manual-de-Sen%CC%83alizacio%CC%81n-Vial-2015-1.pdf>

Ministerio de Transportes y Obras Publicas dirección Nacional de Vialidad. (1999) *Norma de Señalización Horizontal*. Montevideo, Uruguay. Recuperado de:

<https://www.gub.uy/unidad-nacional-seguridad-vial/sites/unidad-nacional-seguridad-vial/files/documentos/publicaciones/DIC-1999-NORMA-DE-SENALIZACION-HORIZONTAL-MTOP.pdf>

MTC-OEA. (1991) *Actualización del manual interamericano de dispositivos para el control del tránsito en calles y carreteras*. Montevideo, Uruguay. Recuperado de:

<https://www.gub.uy/unidad-nacional-seguridad-vial/sites/unidad-nacional-seguridad-vial/files/documentos/publicaciones/Manual%20Interamericano%20de%20Dispositivos%20de%20Control.pdf>

NACTO. (2016) *Guía global de diseños de calles*. Recuperado de:

<https://es.scribd.com/document/489445143/Global-Street-Design-Guide-Es>

Oregon Department of Transportation. (2011) *Protocol for Vissim Simulation*. Recuperado de:

https://www.oregon.gov/odot/Planning/Documents/APMv2_Add15A.pdf

Pérez, C. (2016) *Análisis de confiabilidad del tiempo de tránsito en sistemas de transporte de carga por carretera: un enfoque de Fluidez*. Guanajuato, México: Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC).

PTV VISSIM (2022). User Guide. Recuperado de:

<https://www.myptv.com/en/mobility-software/ptv-vissim/knowledge-base>

Radelat, G. (1964) *Manual de Ingeniería de Tránsito*. Chicago, USA: The Reuben H. Donnelly Corporation.

SEDATU. (2019) *Manual de calles, diseño vial para ciudades Mexicanas*. Gobierno de México, México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/manual-de-calles-diseno-vial-para-ciudades-mexicanas>

SIECA. (2004). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque en gestión de riesgo y seguridad vial*. Recuperado de:

<https://intercoonecna.aecid.es/Gestin%20del%20conocimiento/Manual%20Centroamericano%20de%20normas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20geometrico%20de%20carreteras%202011.pdf>

Téllez, L. (1990) *Semaforización*. Colombia, Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/6205>.

Transportation Research Board. (2000) *Highway Capacity*. USA: The National Academy of Sciences.

Valencia, V. (2000) *Principios sobre Semáforos*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

VCHI. (2005) *Manual de diseño geométrico de vías urbanas*. Santiago de Chile, Chile: Instituto de la Construcción y Gerencia.

Vialidad Nacional. (2017) *Manual de señalamiento vertical*. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Transporte Presidencia de la Nación,

Wright, P., Paquette, R. (1993) *Ingeniería de Carreteras*. México: Limusa Wiley.

Wiering, M. (2004). *Intelligent traffic light control*. Utrecht, Países Bajos: Institute of information and computing sciences.