

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**MICRO SIMULACIÓN INTERMODAL EN LA INTERSECCIÓN DE
LA AV. GENERAL VIVANCO CON LA CALLE MANUEL
UGARTECHE CON EL SOFTWARE VISSIM 8**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presenta el bachiller:

Fiorella Meza Campos

ASESOR: Félix Cabrera

Lima, Noviembre de 2018



...a Dios por darme fuerzas y salud en el día a día para cumplir mis metas; a mis padres Hugo Meza y Mery Campos, que con su ejemplo y apoyo constante aprendí a luchar por mis sueños durante toda mi vida; a mis hermanas Indira, Noemí y Harly por sus consejos y cariño; a mis abuelos porque siempre me cuidan desde el cielo; y a mi tío Leonidas por ser un excelente guía durante mi niñez.



*...Agradezco a mi asesor Félix
Cabrera porque desde un inicio me
dio la iniciativa y apoyo constante
para realizar mi proyecto de tesis.*

RESUMEN

Con el pasar de los años, tanto especialistas como los mismos peatones se han dado cuenta de la falta de inclusión peatonal en los diseños de las vías, un claro ejemplo se aprecia en las calles del centro de Lima donde se prioriza el espacio vehicular, privando de veredas amplias a los peatones, perjudicando en gran medida a las personas con discapacidad. Por otro lado, en un inicio se usaron modelos determinísticos pues se creía que estos llevarían a una única solución viable; sin embargo, en la actualidad se conoce que los modelos estocásticos presentan soluciones más veraces considerando que atribuye cualidades específicas a cada conductor y peatón.

Ante esta situación se crearon softwares capaces de simular usando estadística y parámetros de ajuste que llevarán a una simulación más acorde con la realidad. Entre estos está el Vissim, el cual será el programa con el que se realizará la micro simulación de la intersección de la Av. General Vivanco con la calle Manuel Ugarteche. Para ello se tuvo que hacer una revisión de literatura, donde se investigó acerca de los fundamentos de la micro simulación junto a metodologías para diseñar intersecciones. Posteriormente, para la toma de datos se usaron elementos como cámaras y contadores manuales con el objetivo de organizar los datos para colocarlos en un flujograma e ingresarlos al Vissim. Asimismo, este proceso se llevó a cabo durante dos días distintos, pues se considera necesario realizar una calibración y una validación de datos.

Consecuentemente, una vez ingresados los datos al modelo se obtuvieron los parámetros de eficiencia para calibración, cuyo valor de demora promedio es 8.54 seg/veh; tiempo detenido es 0.54 seg; y velocidad de vehículos es 19.5 km/h. Así como también los parámetros del rediseño, cuyo valor de demora promedio es 7.95 seg/veh, tiempo detenido es 0.46 seg, velocidad de vehículos es 21.80 km/h. Luego, estos serían comprobados mediante un análisis estadístico haciendo uso del programa Randomization Test, revelando si los parámetros se encuentran dentro de la zona de rechazo de manera que se pueda constatar las mejoras en la vía.

Asimismo, este nuevo planteamiento tendrá como finalidad mejorar la calidad de la vía para los peatones, sobre todo para los más vulnerables como son los niños, personas con discapacidad y ancianos. De esta manera, esta intersección se volverá un ejemplo de movilidad sostenible.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Micro simulación intermodal en la intersección de la Av. General Vivanco con la calle Manuel Ugarteche con el software Vissim 8"

Área : Movilidad y Transporte

Asesor : ING. FELIX ISRAEL CABRERA VEGA

Alumno : FIORELLA MEZA CAMPOS

Código : 2011.1892.412

Tema N° : # 83

Fecha : Lima, 21 de setiembre del 2018



INTRODUCCIÓN

Por las características del tráfico de Lima, la forma más adecuada de representar la interacción entre vehículos y peatones es a través de los modelos de micro simulación. Pero para que estos sean válidos es necesario que se respeten sus fundamentos y se desarrollen obligatoriamente las etapas de calibración y validación. Lo anterior también incluye el uso de pruebas estadísticas debido a su carácter estocástico. Finalmente, con estos modelos es posible evaluar el impacto de las medidas de mitigación que se puedan proponer para mejorar los desplazamientos de todos los usuarios.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar las condiciones del tráfico vehicular y peatonal en la intersección de la Av. General Vivanco y la calle Manuel Ugarteche en la ciudad de Lima.

Objetivos específicos

- Identificar las características del tráfico en la intersección mencionada, con énfasis en la accesibilidad y la gestión del tránsito
- Optimizar los desplazamientos de todos los usuarios de la vía (peatones, ciclistas y conductores) desde un enfoque interdisciplinario que incluya a la micro simulación

PROGRAMA DE TRABAJO

El desarrollo de la tesis considerará los siguientes temas:

- a) Planteamiento del problema y objetivos de la investigación
- b) Revisión de la literatura: modelos de simulación, micro simulación vehicular y peatonal, Vissim.

Handwritten signature/initials.

Handwritten number 67.

- c) Metodología de la investigación.
- d) Resultados.
- e) Conclusiones y recomendaciones.

METODOLOGÍA

La recolección y análisis de la información se desarrollará en 6 etapas: la recolección de los datos de campo (mediante técnicas manuales y filmaciones); la extracción de la información de los videos (en forma manual); la construcción de la red en VISSIM 8.0 y VISWALK 8.0; la calibración y validación del modelo (mediante pruebas no paramétricas y un nivel de confianza del 95%); las corridas del modelo y el análisis estadístico de los resultados. Finalmente, la evaluación de las propuestas de mejora.

REVISIONES

Primera Revisión:

- Objetivo general y objetivos específicos.
- Revisión de la literatura

Segunda Revisión

- Metodología del trabajo.
- Recolección de datos de campo.

Tercera Revisión:

- Procesamiento y análisis de la información de campo.
- Conclusiones y recomendaciones.

NOTA

Extensión máxima: 100 páginas.

Sabry
B



Índice

Índice de figuras	vi
Índice de esquemas.....	viii
Índice de tablas	ix
Índice de ecuaciones	x
CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos.....	2
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA	3
2.1. Modelos de simulación.....	3
2.1.1. Modelos según su naturaleza.....	3
2.1.1.1. Modelos continuos	4
2.1.1.1. Modelos discretos	4
2.1.2. Modelos según su aleatoriedad.....	5
2.1.2.1. Modelos determinísticos.....	5
2.1.2.2. Modelos estocásticos.....	6
2.1.3. Modelos según su nivel de detalle	6
2.1.3.1. Modelos microscópicos	7
2.1.3.1. Modelos macroscópicos	7
2.1.3.1. Modelos mesoscópicos	7
2.2. Micro simulación vehicular y peatonal	7
2.2.1. Fundamentos de la microsimulación	8
2.2.1.1. Naturaleza aleatoria y número de semilla	8
2.2.1.2. Múltiples corridas de la simulación	8
2.2.1.3. Periodo de estabilización del sistema (warm up).....	9
2.2.1.4. Modelos de seguimiento vehicular (car following models).....	10
2.2.1.4.1 Primer modelo de General Motors.....	10
2.2.1.4.2. Modelo de Wiedemann	12
2.2.1.4.3. Modelos de cambio de carril.....	13
2.2.2. Modelos de simulación peatonal	14
2.2.2.1. Modelo de fuerza social	14
2.2.2.2. Modelos de autómatas celulares	15
2.2.2.3. Modelo de parámetros dinámicos.....	15
2.2.2.4. Modelo de patrones de colisión	16
2.2.2.5. Modelo de distancias sociales.....	16
2.3. Vissim	17

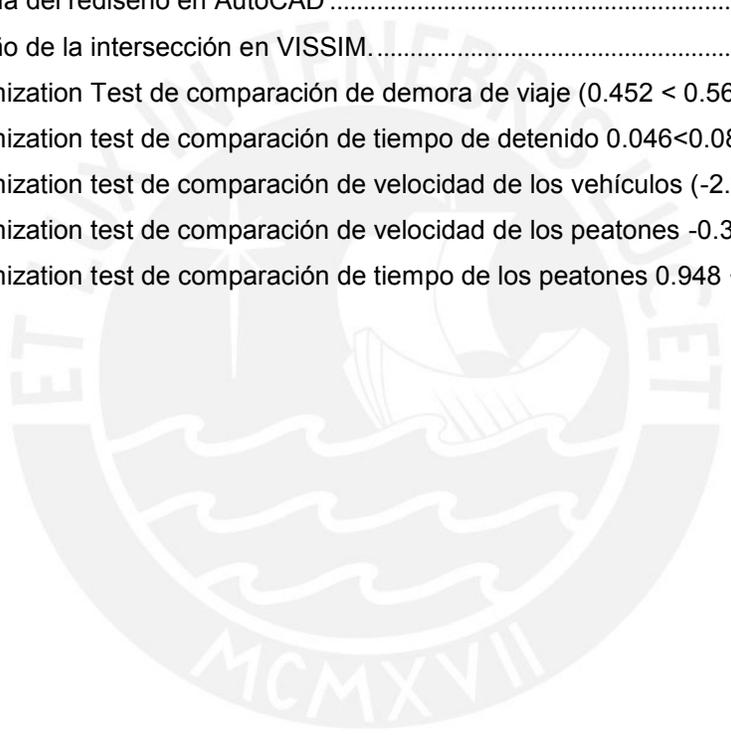
2.3.1. Antecedentes de Vissim	17
2.3.2. Funcionamiento del Software Vissim.....	17
2.3.3. Infraestructura del modelo.....	18
2.3.3.1 Componente estático.....	19
2.3.3.2 Componente dinámico.....	19
2.3.3.2 Otras componentes del modelo	19
2.3.4. Control de tráfico.....	20
2.3.4.1 Intersecciones no semaforizadas.....	20
2.3.4.2 Intersecciones semaforizadas	20
2.3.5 Calibración del modelo.....	21
2.3.6 Validación del modelo	21
2.3.7. Prueba de hipótesis nula en Randomization Test	21
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	22
3.1. Alcance del proyecto	23
3.2. Recolección de datos de Campo.....	23
3.2.1. Equipo necesario para la toma de datos.....	23
3.2.2. Datos fundamentales para el modelo de calibración	26
3.2.2.1. Geometría del área analizada	27
3.2.2.2. Clasificación previa a la toma de datos para aforo vehicular	29
3.2.2.3. Aforo vehicular para calibración.....	32
3.2.2.3. Aforo peatonal para calibración.....	34
3.2.4. Tiempos de viaje peatonal para la Calibración	35
3.2.2.4. Velocidades de peatones.....	36
3.2.3. Tiempos de viaje vehicular para la Calibración	38
3.2.2.5. Velocidades de vehículos	39
3.2.5. Datos Fundamentales para la validación del modelo	41
3.2.5.1. Aforo vehicular para Validación.....	41
3.2.5.2. Aforo Peonatal para Validación.....	43
3.2.6. Tiempo de viaje vehicular para la Validación	44
3.2.7. Tiempo de viaje peatonal para la Validación.....	45
CAPÍTULO 4. MODELO DE MICRO SIMULACIÓN DE LA INTERSECCIÓN	47
4.1. Desarrollo del modelo base vehicular VISSIM	47
4.1.1. Importación y escala de imagen.....	47
4.1.2. Creación de las vías de la intersección.....	48
4.1.3. Composición vehicular para calibración.....	48
4.1.4. Flujo total de vehículos para cada avenida	49
4.1.5. Porcentaje de la cantidad de vehículos por cada dirección	50
4.1.6. Velocidades en giros.....	52
4.1.7. Reglas de prioridad en la red.....	52

4.2. Ajuste de parámetros en la Calibración del modelo vehicular	52
4.2.1. Determinación de los tiempos de viaje vehicular.....	52
4.2.2. Parámetros del comportamiento del conductor	53
4.3. Prueba de Hipótesis nula de igualdad de medias para vehículos.....	53
4.4. Calibración del modelo peatonal	56
4.4.1. Determinación de los tiempos de viaje peatonal	56
4.4.2. Parámetros del comportamiento del peatón.....	56
4.4.3. Evaluación del número de corridas del modelo para peatones.....	56
4.4.4. Prueba de Hipótesis nula de igualdad de medias para peatones.....	58
4.5. Validación del Modelo	59
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y PROPUESTA DE REDISEÑO.....	63
5.1. Resultados de la Micro simulación del escenario actual	63
5.2. Propuestas de Rediseño.....	64
5.2.1. Anchos adecuados de los carriles, veredas, jardines, rampas, ciclovías y semáforos. .	66
5.2.1.2. Veredas.....	67
5.2.1.3. Jardines	67
5.2.1.4. Uso de rampas continuas en cruceros.....	67
5.2.1.5. Restricción de giro en U	68
5.2.1.6. Adicionar señalización para niños	68
5.2.1.7. Creación de espacios para uso de bicicletas.....	69
5.2.1.8. Inclusión de semáforos.....	71
5.3. Resultados de la Micro simulación con las propuestas de rediseño	72
5.4. Comparación de los resultados del modelo.....	75
5.4.1. Demoras de viaje de los vehículos	75
5.4.2. Tiempo detenido de los vehículos (paradas)	76
5.4.3. Velocidad de viaje de los vehículos.....	77
5.4.4. Velocidad de los peatones	77
5.4.5. Tiempo de viaje de los peatones.....	78
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79

Índice de figuras

Figura 1. Tipos de modelo considerados	3
Figura 2. Representación de un modelo continuo	4
Figura 3. Representación de un modelo discreto	5
Figura 4. Representación de un modelo determinístico	5
Figura 5. Representación de un modelo estocástico	6
Figura 6. Gráfico de tiempo de espera vs número de observación	10
Figura 7. Seguimiento vehicular representado por un modelo de General Motors	11
Figura 8. Fases del modelo de Wiedemann	12
Figura 9. Vehículo adelantando a otro	13
Figura 10. Vehículo obligado a realizar una maniobra	13
Figura 11. Modelo de parámetros dinámicos	15
Figura 12. Modelo de patrones de coalición	16
Figura 13. Combinaciones de posibles posiciones para dos personas	17
Figura 14. Modelo 3D de una intersección semaforizada	19
Figura 15. Intersección de la Av. General Vivanco y Av. Manuel Ugarteche	23
Figura 16. Contador manual impreso	25
Figura 17. Cámara CANON	26
Figura 18. Intersección de la Av. General Vivanco y Av. Manuel Ugarteche	26
Figura 19. Bosquejo de la geometría de la intersección en AutoCAD	27
Figura 20. Vista de Norte a Sur en la calle Manuel Ugarteche	28
Figura 21. Vista de Sur a Norte en la calle Manuel Ugarteche	28
Figura 22. Vista de Oeste a Este en la Av. General Vivanco	29
Figura 23. Vista de Este a Oeste en la Av. General Vivanco	29
Figura 24. Líneas que representan el flujo vehicular en el carril A, B, C, D, E y F	32
Figura 25. Flujograma de los carriles A y B	34
Figura 26. Líneas de deseo de calibración del origen 1	34
Figura 27. Líneas que representan el flujo peatonal en el origen 1A y 3C	35
Figura 28. Frecuencias acumuladas de las velocidades de los peatones	38
Figura 29. Líneas que representan el flujo vehicular en los carriles A y B	38
Figura 30. Gráfico de velocidad vs Frecuencia Acumulada en el tramo A y B	41
Figura 31. Flujograma de los carriles A y B en la validación	43
Figura 32. Flujograma de las líneas de deseo del origen 1	43
Figura 33. Intersección de la Av. General Vivanco y calle Manuel Ugarteche	47
Figura 34. Opción Links en el VISSIM para el dibujo de vías y conexiones.	48
Figura 35. Hipótesis nula de tiempo de viaje vehicular.	56

Figura 36. Prueba de hipótesis nula del tiempo de viaje peatonal.	59
Figura 37. Prueba de hipótesis nula de igualdad de medias de vehículos.....	60
Figura 38. Prueba de hipótesis nula de igualdad de medias de vehículos.....	62
Figura 39. Obstrucción de vehículos en la Intersección	65
Figura 40. Uso de ciclovía como estacionamiento para vehículos	66
Figura 41. Señal de “Prohibido Giro en U”	68
Figura 42. Señal de “Escolares Transitando”	69
Figura 43. Vista frontal de un modelo de una ciclovía ubicada entre vereda y pista	69
Figura 44. Ejemplo de hitos verticales de poliuretano, Bogotá.....	70
Figura 45. Bosquejo del rediseño de la intersección incluido el semaforo	71
Figura 46. Esquema del rediseño en AutoCAD	72
Figura 47. Rediseño de la intersección en VISSIM.....	75
Figura 48. Randomization Test de comparación de demora de viaje ($0.452 < 0.56$).	76
Figura 49. Randomization test de comparación de tiempo de detenido $0.046 < 0.08$	76
Figura 50. Randomization test de comparación de velocidad de los vehículos ($-2.26 < -1.04$)	77
Figura 51. Randomization test de comparación de velocidad de los peatones $-0.3 < -0.149$	78
Figura 52. Randomization test de comparación de tiempo de los peatones $0.948 < 2.01$	79



Índice de esquemas

Esquema 1. Tipos de enfoque según el nivel de detalle	6
Esquema 2. Principales modelos de microsimulación.....	8
Esquema 3. Modelo de la Fuerza Social	14
Esquema 4. La arquitectura del sistema de Vissim.....	18
Esquema 5. Situaciones donde se aplica las reglas de prioridad	20
Esquema 6. Esquema de los pasos a seguir para este estudio.....	22
Esquema 7. Tipos de vehículos (Automóvil, combi, coaster)	30
Esquema 8. Tipo de vehículo (bus y camión).	30
Esquema 9. Tipo de vehículo (bicicleta y motocicleta).....	31



Índice de tablas

Tabla 1. Formato de contador manual para peatón.....	24
Tabla 2. Formato de contador manual para vehículos.....	25
Tabla 3. Aforo vehicular para calibración.....	33
Tabla 4. Aforo peatonal de calibración según líneas de deseo del origen 1.....	35
Tabla 5. Tiempo de viaje peatonal para origen 1.....	36
Tabla 6. Frecuencias de velocidades peatonales de origen 1.....	37
Tabla 7. Frecuencias de velocidades peatonales de origen 3.....	37
Tabla 8. Tiempo de viaje de vehicular en una muestra de 25 vehículos.....	39
Tabla 9. Frecuencias de velocidades de vehículos del tramo A.....	40
Tabla 10. Frecuencias de velocidades de vehículos del tramo B.....	40
Tabla 11. Aforo vehicular en validación.....	42
Tabla 12. Aforo peatonal de validación según líneas de deseo del origen 1.....	44
Tabla 13. Tiempo de viaje vehicular para validación.....	45
Tabla 14. Tiempo de viaje peatonal del origen 1.....	46
Tabla 15. Volumen total por cada tipo de vehículo en el carril A.....	49
Tabla 16. Porcentaje total por cada tipo de vehículo.....	49
Tabla 17. Porcentaje de vehículos en el carril A y B.....	50
Tabla 18. Porcentaje de vehículos en el carril C y D.....	50
Tabla 19. Porcentajes de vehículos en la dirección A1, A2, A3.....	51
Tabla 20. Porcentaje de vehículos en la dirección B1, B2.....	51
Tabla 21. Porcentaje de vehículos en la dirección F1, F2.....	51
Tabla 22. Porcentaje de vehículos en la dirección D1, D2.....	52
Tabla 23. Tiempos promedio obtenidos usando parámetros de Wiedemann.....	53
Tabla 24. Resultado de las 15 Corridas de vehículos en VISSIM.....	54
Tabla 25. Tiempo de viaje vehicular de 25 vehículos en campo.....	55
Tabla 26. Tiempo de viaje peatonal del cruce 1 en dirección A.....	57
Tabla 27. Resultado de las 15 corridas de vehículos en VISSIM.....	58
Tabla 28. Resultados estadísticos de las muestras.....	60
Tabla 29. Resultados estadísticos de las muestras.....	61
Tabla 30. Resultados de rendimiento de los vehículos en la vía (Diseño actual).....	63
Tabla 31. Resultados del tiempo de viaje y velocidades de los peatones (Diseño actual).....	64
Tabla 32. Tabla de la Norma GH. 020.....	67
Tabla 33. Resultados del desempeño de los vehículos en la vía (Rediseño).....	73
Tabla 34. Resultados de viaje de los peatones (Rediseño).....	74

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Varianza de una muestra.....	9
Ecuación 2. Número de corridas resultante.....	9
Ecuación 3. Ley de movimiento según Newton.....	11
Ecuación 4. Fórmula general de General Motors.....	11
Ecuación 5. Verificación del número de corridas.....	59



CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Introducción

Hace algunas décadas el tráfico en las vías de la ciudad de Lima no era ni remotamente tan saturado como lo es en la actualidad. Asimismo, debido a la falta de visión por parte de los ingenieros no se pudo prever ni acondicionar las vías para los volúmenes de vehículos que ahora transitan por las calles de Lima; vías como la Av. Javier Prado y Elmer Faucett presentan notorias faltas de proyección, pues no son capaces de administrar el flujo vehicular eficientemente. Adicionalmente, la poca cultura por parte de los conductores privados y públicos ha ocasionado que el tránsito en ciertas horas como son las “horas punta” sea insoportable. Por lo que se propondrán las siguientes preguntas. ¿Alguna vez ha pasado el doble de tiempo esperado en un autobús o automóvil debido al creciente tráfico en la ciudad de Lima? ¿En algún momento tuvo que dejar de asistir a alguna actividad importante por el sencillo hecho de no haber podido llegar a tiempo?

Muy probablemente usted respondió afirmativamente a estas preguntas y así como usted distintos ciudadanos de otros países saben de esta problemática. Por ello, ante esta necesidad se busca modelar el comportamiento de los peatones y vehículos en las intersecciones, teniendo como objetivo realizar un análisis de dicho comportamiento para, posteriormente, poder mejorarlo.

Dentro de dichas intersecciones disfuncionales se puede ubicar el cruce la Av. General Vivanco y la calle Manuel Ugarteche. Debido a la presencia de alto flujo vehicular y peatonal, además de no presentar ningún semáforo y la nula importancia de las ciclovías.

Por este motivo, en la presente tesis se buscará analizar dicho cruce con ayuda del software PTV Vissim 8.0, de manera que se pueda replicar su comportamiento como medir los tiempos de espera, volumen de autos que lo transitan, cantidad de peatones que cruzan la intersección.

Para proceder con dicho análisis se partirá por realizar un procedimiento el cual implicará la recolección de datos del cruce indicado para desarrollar un modelo base en dicho software. Luego, se verificarán errores para posteriormente calibrar, validar la intersección. Finalmente, se buscarán soluciones a las problemáticas que pueda presentar el cruce, dando como resultado final un rediseño óptimo a las necesidades de los peatones y vehículos, especialmente aquellos peatones que padezcan de alguna incapacidad.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos general

- Analizar las condiciones del tráfico vehicular y peatonal en la intersección de la Av. General Vivanco y la calle Manuel Ugarteche en la ciudad de Lima

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar las características del tráfico en la intersección mencionada, con énfasis en la accesibilidad y la gestión del tránsito
- Optimizar los desplazamientos de todos los usuarios de la vía (peatones, ciclistas y conductores) desde un enfoque interdisciplinario que incluya a la micro simulación

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Modelos de simulación

Los modelos de micro simulación son modelos de computadora que evalúan aspectos a nivel individual. Estos modelos amplifican el comportamiento de dichos individuos aplicándolo a poblaciones más representativas (Rodríguez, 2015). Un ejemplo básico es la velocidad promedio de un vehículo en un carril, cuyo valor podría aplicarse a una mayor cantidad de vehículos.

Entre los distintos modelos para describir el comportamiento de vehículos y peatones destacan la siguiente clasificación: escala de las variables Independientes, nivel de detalle, representación de los procesos.



Figura 1. Tipos de modelo considerados

Fuente: Alcalá (2016)

2.1.1. Modelos según su naturaleza

Para desarrollar un estudio de tráfico es posible escoger entre dos tipos de modelos: continuos o discretos; si bien es cierto, es posible usar ambos sistemas, pues son complementarios. El enfoque que se le dará depende mucho de los objetivos planteados para simulación.

2.1.1.1. Modelos continuos

Los modelos continuos consisten en que las variables cambian instantáneamente para intervalos de tiempo distinto, además se caracterizan principalmente porque sus variables son dependientes de otras en el mismo sistema. Esto se ve reflejado en la gráfica tiempo vs Número de trabajos en cola (Figura 2). Para fines de esta tesis se identificarán algunas variables continuas como lo son: la velocidad, aceleración entre otras dependientes del tiempo.

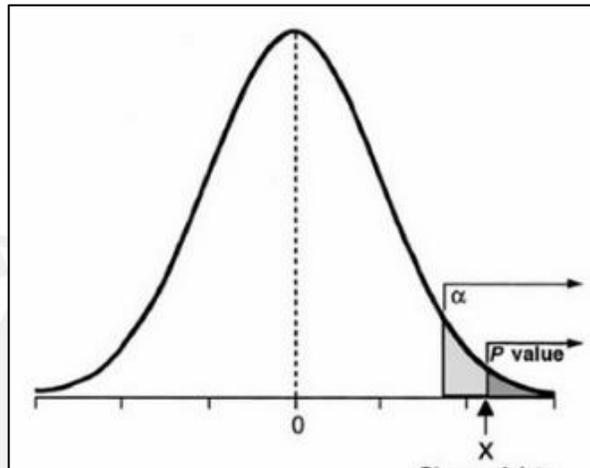


Figura 2. Representación de un modelo continuo

Fuente: <http://lifeisgood.tistory.com/1676> (2012)

2.1.1.1. Modelos discretos

En contraste a los modelos continuos, estas variables se muestran independientes entre sí, tal como se muestra en la gráfica discontinua del modelo (Figura 3). Un ejemplo de variable independiente se aprecia al tomar datos de los vehículos, cuyo comportamiento es completamente arbitrario respecto a otros.

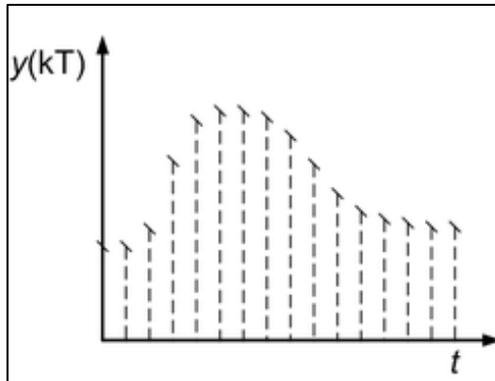


Figura 3. Representación de un modelo discreto

Fuente: <https://blogdocontroleiro.wordpress.com/2017/08/27/modelagem-de-sistemas-discretizados/> (2012)

2.1.2. Modelos según su aleatoriedad

2.1.2.1. Modelos determinísticos

Estos son modelos matemáticos caracterizados por tener una sola solución, es decir, basado en ecuaciones que no presentarán variaciones. Por ejemplo, en un modelo determinístico, los vehículos tendrán un comportamiento igual e invariable en todo momento, generando resultados controlables. Por ello, al ser uniforme no es necesario recurrir a la estadística.



Figura 4. Representación de un modelo determinístico

Fuente: Adaptado de Fernandes (2014)

2.1.2.2. Modelos estocásticos

A diferencia de los modelos determinísticos, este modelo no plantea el mismo número de entradas como de salidas. Esto es debido a que este sistema considera un enfoque probabilístico, cambiando así las características de los conductores arrojando resultados más reales.

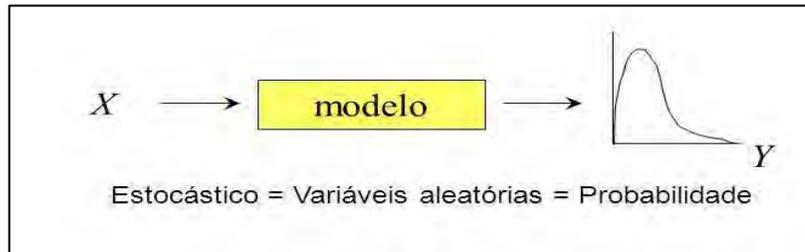
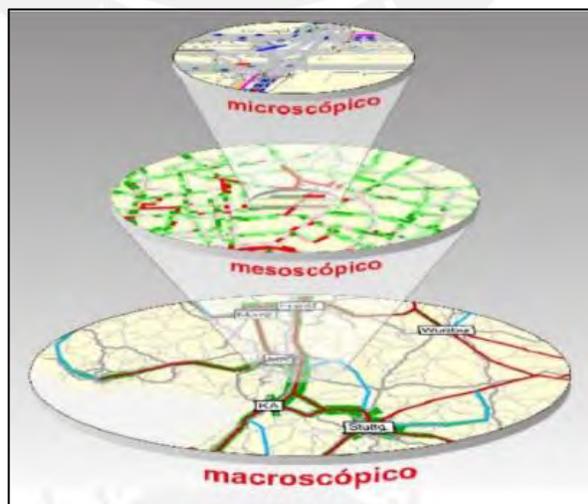


Figura 5. Representación de un modelo estocástico

Fuente: Adaptado de Fernandes (2014)

2.1.3. Modelos según su nivel de detalle

En la búsqueda de hacer una simulación similar a la realidad hace falta realizar muchas aproximaciones, todas estas con un distinto grado (Jiménez, 2011). De este modo, para darle un enfoque a la simulación existen diversos puntos de vista, estos dependerán de lo que se busca analizar. Siendo de este modo tres enfoques los que priman: microscópico, macroscópico y mesoscópico.



Esquema 1. Tipos de enfoque según el nivel de detalle

Fuente: PTV Group (2016)

2.1.3.1. Modelos microscópicos

Como indica su nombre, este modelo se avoca a un estudio de los elementos básicos del sistema como lo son los vehículos y peatones (Cabrera, 2012). Por ello, se busca darle características propias a cada vehículo; sin embargo, es complicado para este estudio ver solo las características individuales, puesto que el comportamiento de un vehículo podría depender de otro. Las características más resaltantes son la velocidad, la aceleración, la secuencia de movimiento y el cambio de carril.

2.1.3.1. Modelos macroscópicos

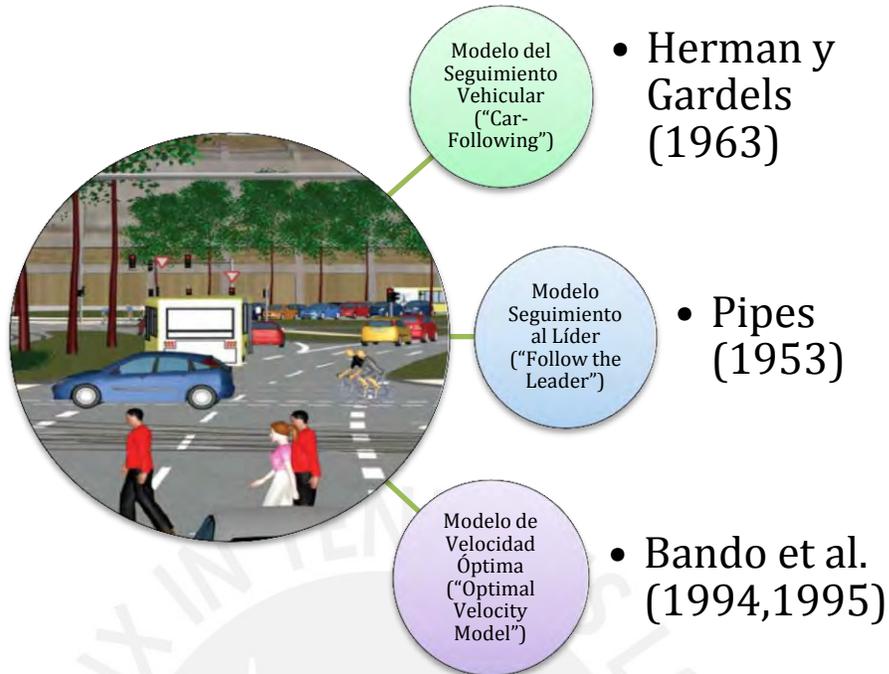
En contraste con los microscópicos, estos modelos se centran en las características generales del sistema vial. Por ejemplo, los valores como velocidad media de vehículos, el tiempo promedio de cruce de peatones en cada origen, entre otras. Asimismo, cabe resaltar que las características macroscópicas partirán de valores de modelos microscópicos, haciendo uso de la estadística.

2.1.3.1. Modelos mesoscópicos

Estos modelos pueden ser considerados un punto medio entre los dos mencionados anteriormente, debido a que buscan agrupar vehículos de características similares para generalizar cualidades. Por ejemplo, la agrupación de las cantidades de vehículos según el tamaño, velocidad (Cluster, 2018); así como también, los cambios dinámicos inducidos por la variación de la aceleración de los vehículos (Prigogine y Herman, 1961).

2.2. Micro simulación vehicular y peatonal

Hace algunos años, la idea de evaluar cada elemento del sistema por separado constituía un reto muy grande para ejecutar el estudio, imposibilitando su realización. Posteriormente, con la inserción de nuevas tecnologías se han programado software que permiten realizar dicha tarea. Sin embargo, no solo se puede apostar por estos, sino que también se debe analizar que el modelo de seguimiento vehicular sea el adecuado, pues constituye el corazón de los modelos de micro simulación (Cabrera, 2012). A continuación, se presenta los modelos más usados en el siguiente esquema.



Esquema 2. Principales modelos de microsimulación.

Fuente: Adaptado de Avilés (2017) y PTV (2008)

2.2.1. Fundamentos de la microsimulación

2.2.1.1. Naturaleza aleatoria y número de semilla

Las características del comportamiento de los conductores son regidas por un número aleatorio denominado número semilla. Dentro del VISSIM el valor por defecto de este parámetro es 42, el cual irá variando en cada corrida. Asimismo, para cada número de semilla se le atribuye un índice de agresividad, el cual asigna un valor de velocidad de flujo libre y una desaceleración aceptable (FHWA, 2004). Naturalmente, se generará un cambio en el tráfico al cambiar este parámetro, cambiando así las longitudes de cola, velocidad de cruce, tiempos de espera. Cabe resaltar que al incrementar el número semilla no implicará que necesariamente haya un mayor índice de agresividad, pues es independiente de los resultados obtenidos.

2.2.1.2. Múltiples corridas de la simulación

Para obtener resultados más confiables se busca realizar un mayor número de corridas, ya que es un proceso aleatorio y necesita de tener una mayor cantidad de

resultados. Para ello, primero se debe correr un número de veces para posteriormente calcular la desviación estándar.

Ecuación 1. Varianza de una muestra

$$S^2 = \frac{\sum(X - M)^2}{N - 1}$$

Dónde:

- S = desviación estándar
- X = variable para la que se requiere la varianza de la muestra
- M = media de los valores obtenidos
- N = número de corridas

Este valor servirá para comprobar el número de corridas y ver si es el adecuado o se requieren más. Para ello se debe comparar el número de corridas asumido con el número de corridas obtenido de la desviación estándar.

Ecuación 2. Número de corridas resultante

$$N \geq (t_{a/2} \times S / e)^2$$

Dónde:

- e = margen de error
- $t_{a/2}$ = valor de la distribución *t student*
- S = desviación estándar
- N = número de corridas asumido

Finalmente, se debe corroborar que los resultados obtenidos tengan un nivel de confiabilidad del 95% una vez termino el proceso iterativo.

2.2.1.3. Periodo de estabilización del sistema (warm up)

El warm up es un intervalo fundamental de tiempo, el cual tiene como fin llegar al equilibrio vehicular, esto es debido a que al iniciar la simulación no hay vehículos en la vía y estos van apareciendo de manera paulatina durante este periodo hasta que

el tráfico se estabilice. Por esta razón, no se consideraron los resultados obtenidos en este intervalo; asimismo, el tiempo de estabilización variará dependiendo de ciertos factores como la cantidad de vehículos, el largo de la vía, etc.

Como se puede apreciar en la figura 6, el tiempo inicial para cada una de las corridas tiene resultados atípicos que luego se terminan por estabilizar al alcanzar el equilibrio vehicular.

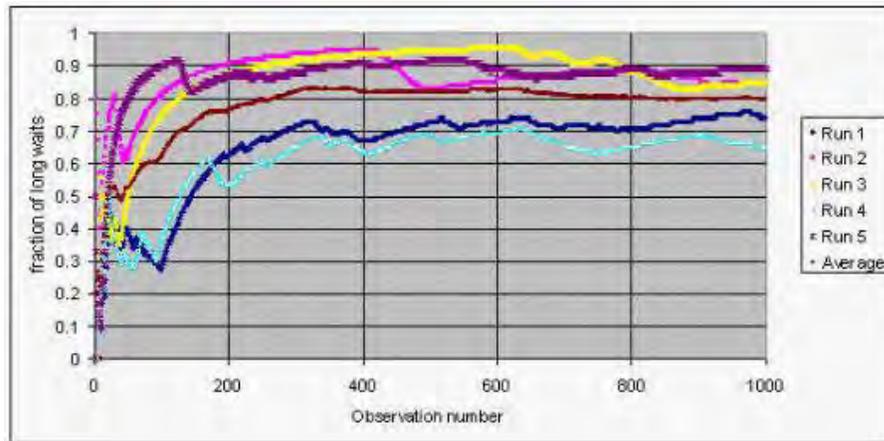


Figura 6. Gráfico de tiempo de espera vs número de observación

Fuente: Thesen (2001)

2.2.1.4. Modelos de seguimiento vehicular (car following models)

Se presentarán 3 modelos microscópicos basados en el modelo de seguimiento vehicular.

2.2.1.4.1 Primer modelo de General Motors

Este modelo consiste en la relación lineal que hay entre el estímulo generado y la acción del conductor. Dicho estímulo representa un conjunto de factores que pueden ser percibidos por el conductor. Por ende, para este tipo de seguimiento existirá un vehículo líder, el cual presentará una velocidad, aceleración y desaceleración constante; y el vehículo que sigue, el cual reaccionará utilizando el modelo General Motors. Estos vehículos tendrán comportamientos similares siendo la única diferencia la respuesta (sensibilidad y estímulo) del vehículo siguiente. En la (Figura 8) se puede apreciar ambos vehículos junto con la sensibilidad y tiempo de reacción por parte del vehículo siguiente.



Figura 7. Seguimiento vehicular representado por un modelo de General Motors

Fuente: Cabrera (2015)

Se usarán las ecuaciones de ley de movimiento para obtener la posición, velocidad y aceleración del vehículo líder

Ecuación 3. Ley de movimiento según Newton

$$V_f = V_o + at$$

$$X_f = X_o + V_o t + 0.5at^2$$

Dónde:

- V_f = Velocidad final del vehículo líder
- V_o = velocidad inicial del vehículo líder
- a = aceleración constante
- t = tiempo
- X_f = Posición final
- X_o = Posición inicial

Para el vehículo siguiente se utilizará la fórmula general de General Motors

Ecuación 4. Fórmula general de General Motors

$$a_n(t + T) = \lambda(V_{n-1}(t) - V_n(t))$$

Dónde:

- $a_n =$ aceleración del vehículo siguiente
- $t =$ tiempo
- $T =$ tiempo de reacción para la respuesta del vehículo siguiente
- $\lambda =$ sensibilidad
- $V_{n-1} =$ velocidad del vehículo líder
- $V_n =$ velocidad del vehículo siguiente

2.2.1.4.2. Modelo de Wiedemann

El modelo Wiedemann se basa en las características psico-físico del conductor y además este modelo asume que un conductor está en 1 de cuatro posibles modos de conducir como son: el “conductor libre”, el cual no se ve influenciado por el vehículo líder, sino que busca ir a su propia velocidad; el “próximo”, buscar alcanzar la velocidad del vehículo líder hasta que la diferencia de ambo sea cero y que alcance una distancia segura; el “siguiente”, el cual se centra en mantener una distancia segura sin acelerar o desacelerar. Finalmente, el “Frenado”, ocurre cuando el vehículo siguiente se encuentra muy cerca y deberá desacelerar.

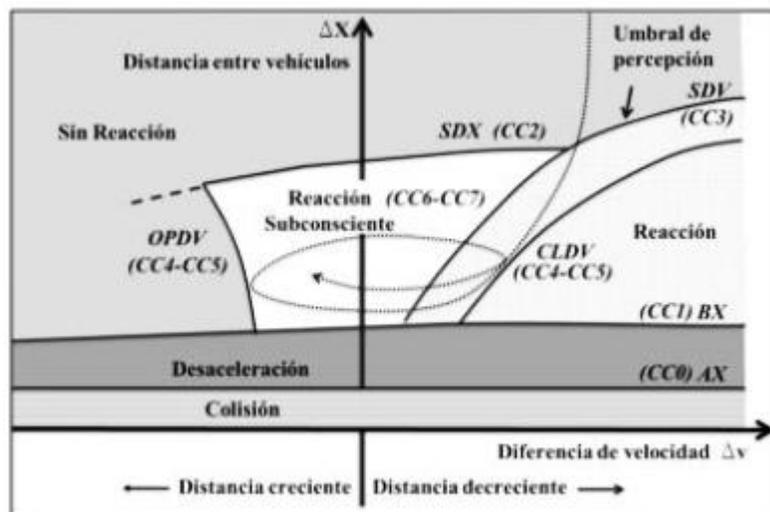


Figura 8. Fases del modelo de Wiedemann

Fuente: Casares & Galarraga (2015)

2.2.1.4.3. Modelos de cambio de carril

Este modelo ocurre cuando el vehículo puede cambiar de carril por diversos motivos. Una de ellas es denominada el cambio de carril libre, el cual consiste que un vehículo adelanta a otro que va a una menor velocidad. En la (Figura 9) se puede mostrar como un vehículo intenta adelantar a otro.



Figura 9. Vehículo adelantando a otro

Fuente: <https://www.motorpasion.com/seguridad/conducir-en-rotondas-la-guia-definitiva> (2013)

Ulteriormente, cuando un conductor se ve obligado a realizar una maniobra para continuar es denominado un cambio de carril necesario.

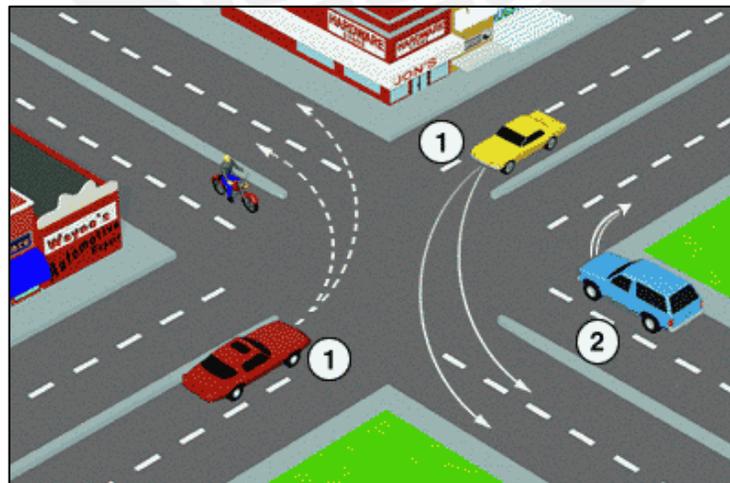


Figura 10. Vehículo obligado a realizar una maniobra

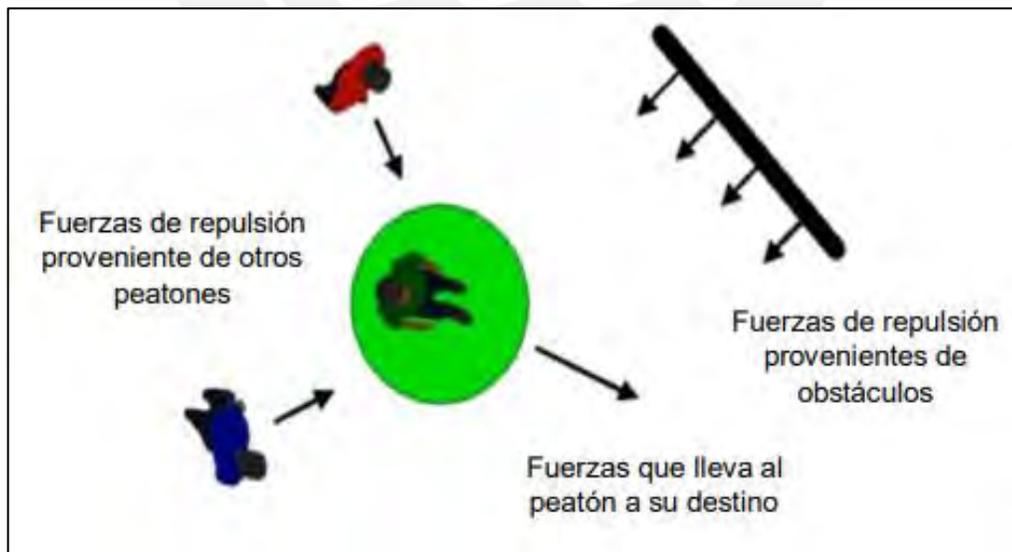
Fuente: http://pages.cs.wisc.edu/~gdguo/driving/RoadMarkings_files/ (2002)

2.2.2. Modelos de simulación peatonal

Así como existen modelos de simulación vehicular, también está la necesidad de evaluar el comportamiento peatonal; puesto que, los vehículos y peatones no comparten todas las características (físicas y psicológicas) por lo que se crearon modelos de simulación peatonal.

2.2.2.1. Modelo de fuerza social

Este modelo, propuesto por Helbing y Molnar (1995), busca describir el accionar de los peatones frente a los distintos estímulos que puedan encontrar en una vía basándose en fuerzas de atracción y repulsión dadas por las Leyes de Newton. De esta forma, los peatones interactúan con obstáculos y otros elementos de la vía como las personas que constituyen fuerzas sociales y determinarán las características de velocidad y aceleración que presenta cada uno de los peatones. Este comportamiento se rige por una serie de procesos cognitivos, los cuales determinarán su movimiento dado cierto estímulo sensorial, provocando una respuesta que dependerá de los destinos que haya escogido previamente el peatón, lo que desembocará una decisión final. Es decir, en términos más sencillos, *“el modelo de fuerza social describe como las fuerzas exteriores de su entorno influyen en el movimiento de un peatón”* (González, 2011).



Esquema 3. Modelo de la Fuerza Social

Fuente: Adaptado de PTV GROUP (2016)

2.2.2.2. Modelos de autómatas celulares

El modelo celular Autómata (CA) es diferenciado de los demás modelos por presentar un enfoque relacionado con la vida artificial (Levy, 1992). Este modelo crea una aproximación al comportamiento real de una persona, la cual actuará acorde a un conjunto de reglas dictadas en la simulación.

La principal diferencia entre otros modelos tradicionales radica en que el CA se basa en comportamientos intuitivos y comprensible en lugar de funciones de rendimiento. A continuación, se describirán los tres modelos más representativos.

2.2.2.3. Modelo de parámetros dinámicos

Es un modelo que considera que solo un peatón puede abarcar el espacio de una casilla o celda; a su vez, este se relaciona con la vecindad de Moore usando un radio de 1 para proponer los posibles movimientos.

Dentro de cada celda se tienen 4 parámetros los cuales son: dirección, refleja si el peatón se aleja o se acerca a su destino; vacío, interpreta si las casillas aledañas están ocupadas o no; categoría, enumera la cantidad de individuos dirigiéndose al mismo destino; y avance, que presenta el magnetismo entre el individuo y su lugar de destino.

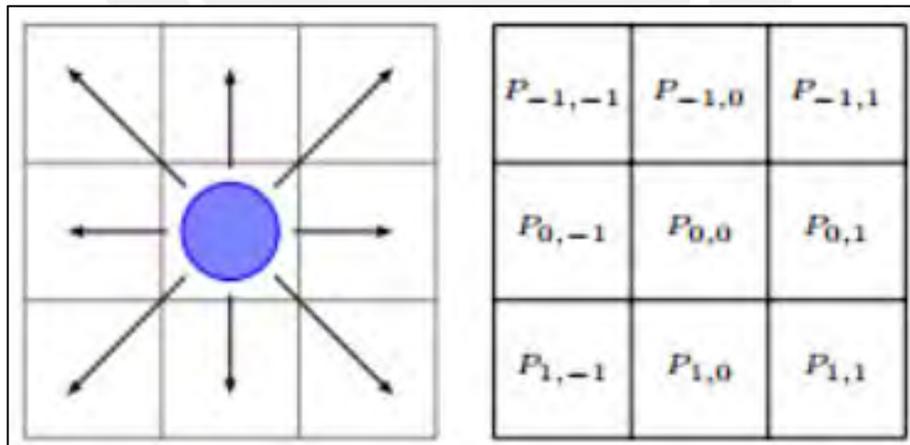


Figura 11. Modelo de parámetros dinámicos

Fuente: González (2011)

2.2.2.4. Modelo de patrones de colisión

Este modelo, desarrollado por Narimatsu (2004), consiste que durante el proceso de simulación se determina las reglas de movimiento del peatón. Para esto, el peatón tendrá una velocidad constante y tres opciones de movimiento (izquierda, derecha y adelante). Asimismo, esta simulación tendrá como finalidad evitar colisionar con otro individuo o con algún obstáculo presente en la vía.

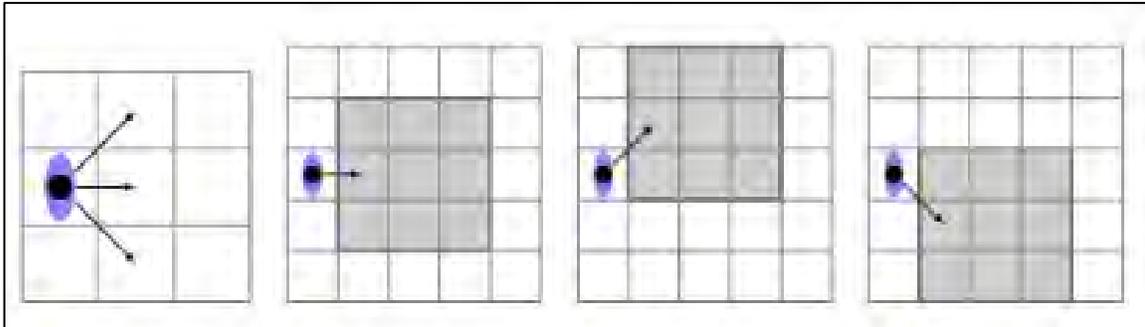


Figura 12. Modelo de patrones de coalición

Fuente: González (2011)

2.2.2.5. Modelo de distancias sociales

Este modelo, desarrollado por Jaroslaw (2006), consiste en usar celdas con dimensiones de 0.25 cm; a su vez, los peatones son representados por elipses y son ubicados dentro del centro de cada celda. Asimismo, en este modelo son cuatro las posibles posiciones que puede tener cada peatón. Finalmente, para distintos intervalos de tiempo se tendrán distintas combinaciones, dependiendo de la posición de los peatones adyacentes y sus intersecciones.

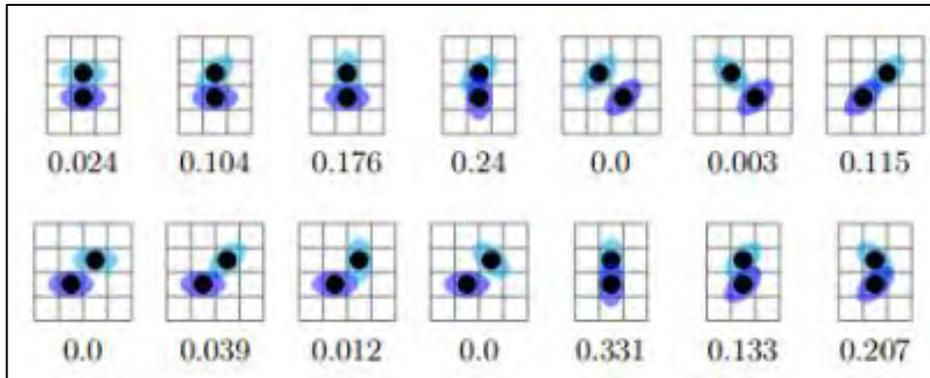


Figura 13. Combinaciones de posibles posiciones para dos personas

Fuente: González (2011)

2.3. Vissim

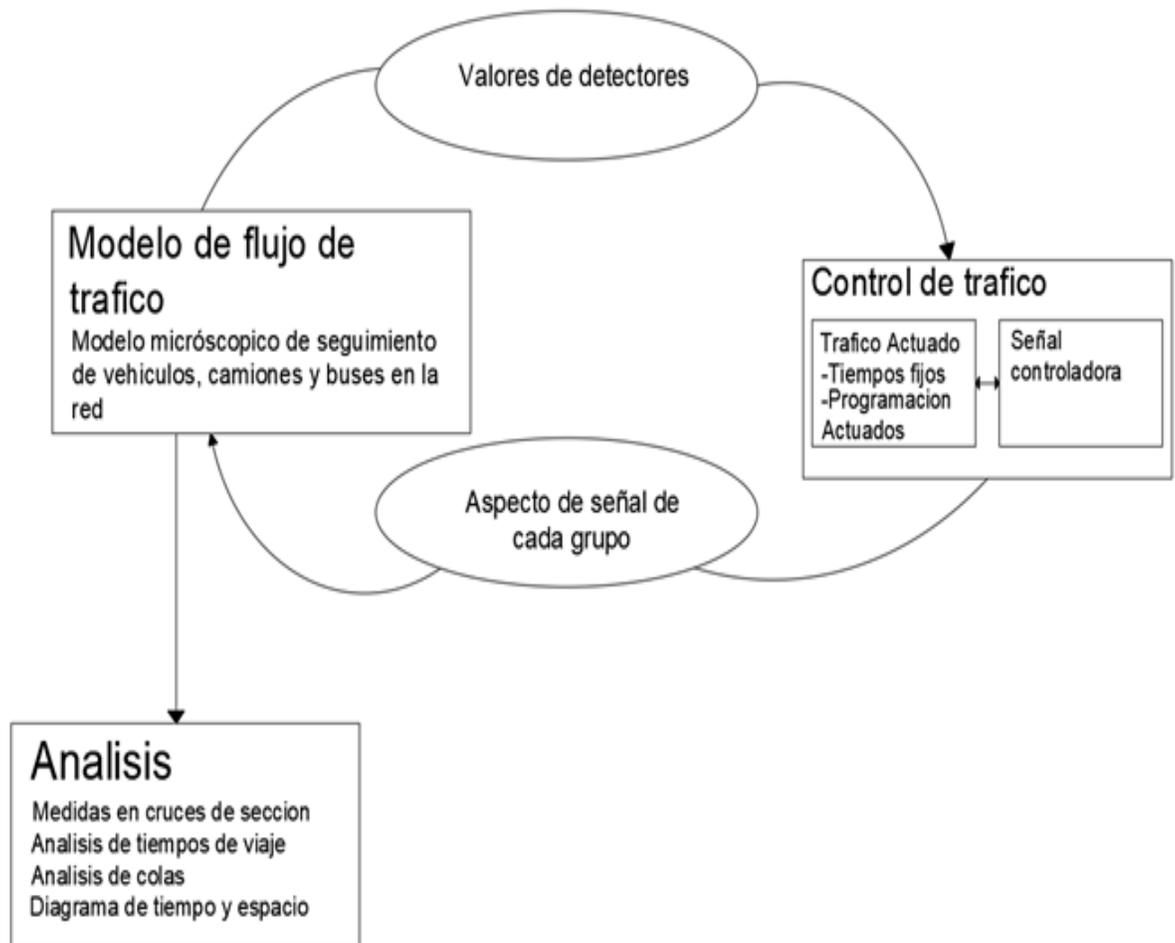
VISSIM es un software empleado para modelar sistemas de control de tráfico. Esta herramienta permite realizar un análisis microscópico centrado particularmente en los vehículos de manera individual. Esta característica lo vuelve idóneo para escenarios tales como intersecciones, rotondas, cruces, entre otros. Cabe destacar que se pueden trabajar con diversos tipos de vehículos desde bicicletas hasta camiones (Papageorgiou, 2006).

2.3.1. Antecedentes de Vissim

Este programa fue desarrollado por el grupo PTV (Planung Transport Verkehr) en Karlsruhe, Alemania. Su nombre deriva de un acrónimo que significa “Verkehr In Städten- SIMulation”, que traducido significa simulación de tránsito en una ciudad. Asimismo, se comercializó en el año 1973 en Alemania arribando posteriormente a los Estados Unidos en 1995. Hoy en día, la versión más actual es la 8.0 y es la que es empleada en la presente tesis.

2.3.2. Funcionamiento del Software Vissim

El programa Vissim parte de los modelos de seguimiento vehicular, específicamente del modelo de Widemann, el cual describe el comportamiento para un solo carril. Esta aplicación se divide en dos programas separados, el modelo de flujo de tráfico y el modelo de control de señales (Esquema 4).



Esquema 4. La arquitectura del sistema de Vissim

Fuente: Adaptado de PTV America (2006)

La circulación vehicular es el resultado del modelo de flujo de tráfico, mientras que las longitudes de cola y los tiempos de viaje vienen proporcionados por el control de tráfico (Bloomberg, 2000).

El Vissim es mayormente usado en cruces o intersecciones estando ligado a un modelo de seguimiento vehicular y en menor medida al modelo de cambio de carril.

2.3.3. Infraestructura del modelo

El análisis a realizar dependerá considerablemente de los que planea efectuar. Es decir, para un análisis simple bastará con esbozar la intersección; sin embargo, en caso se busque resultados más detallados ser necesario realizar escalas y metodologías establecidas (Fellendorf & Vortisch, 2010).

2.3.3.1 Componente estático

Son los elementos de la infraestructura que no se someterán a ningún cambio, por ejemplo, los links, los representarán las vías con un determinado número de carriles; y conectores, que serán los encargados de unir cada uno de los links para representar los giros dentro de una intersección. Asimismo, las señales de tránsito también son consideradas componentes estáticos, teniendo la función de servir para el cumplimiento de las normas en dicho modelo.

2.3.3.2 Componente dinámico

A diferencia de los elementos estáticos estos variaran conforme avance el tiempo (Narváz & Zapardiel, 2015). Un ejemplo de estos son los semáforos, los cuales modificaran el comportamiento de los vehículos afectando el sistema considerablemente, dado que es un análisis microscópico.



Figura 14. Modelo 3D de una intersección semaforizada

Fuente: Tichý (2009)

2.3.3.2 Otras componentes del modelo

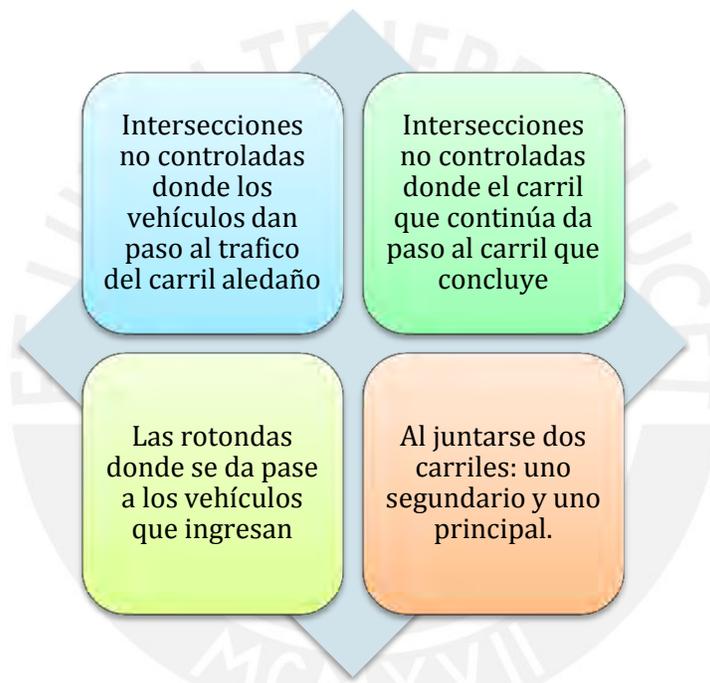
A parte de los componentes ya mencionados, existen otros que también ayudan a que el modelo sea tan parecido a la realidad como sea posible. Entre ellos figuran las áreas de reducción de velocidad, aplicadas en los giros o para simular rompemuelles

en la vía; las prioridades, cuya función radica en dar preferencia a los vehículos que vienen por cierto carril respecto de otros.

2.3.4. Control de tráfico

2.3.4.1 Intersecciones no semaforizadas

En esta clase de intersecciones se tendrá que definir de manera óptima las reglas de prioridad entre links y conectores. A continuación, se mostrará un esquema de las situaciones donde se aplica las reglas de prioridad.



Esquema 5. Situaciones donde se aplica las reglas de prioridad

Fuente: Adaptado de Fellendorf & Vortisch (2010)

2.3.4.2 Intersecciones semaforizadas

A diferencia del acápite anterior, estas intersecciones son controladas por los comandos “Signal control”. Además, presentan tres fases marcadas por los colores rojo, amarillo y verde. Asimismo, el modelo de simulación microscópica por el que se rigen los semáforos se denomina “Signal head” y son colocados en cruces o puntos donde se desea un mayor control (Fellendorf & Vortisch, 2010).

2.3.5 Calibración del modelo

En esta etapa se busca comprobar que los valores obtenidos en campo sean parecidos a los resultados del modelamiento. Para ello, se cambiarán los parámetros de Wiedemann hasta representar adecuadamente el área estudiada (Siddharth & Gitakrishnan,2013). Entre los parámetros que pueden ser modificados están los tiempos de viaje, longitud de colas, demoras, velocidad, entre otros. (Dowling et al, 2004).

2.3.6 Validación del modelo

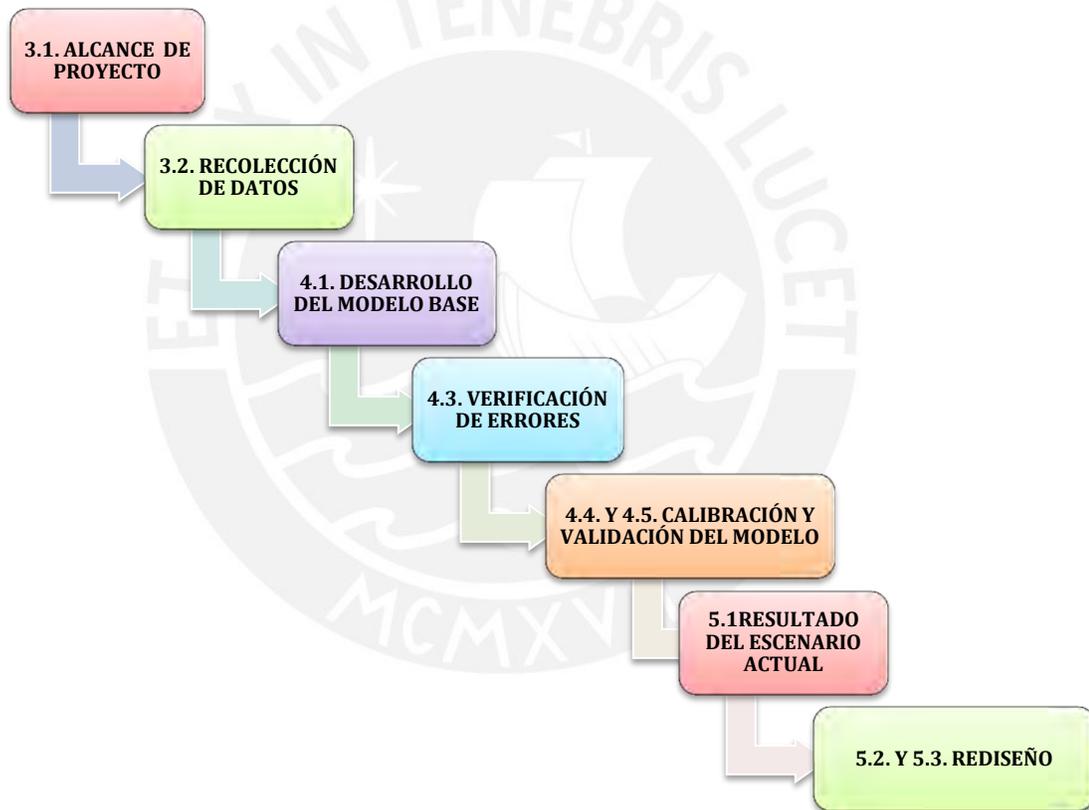
Una vez calibrado el modelo se comparará con una nueva serie de datos obtenidos en campo tales como composición de tráfico, volúmenes de entrada por carril, tiempos de demoras, entre otros. Asimismo, se considerará el modelo como validado siempre y cuando los datos nuevos de campo concuerden con los resultados obtenidos de la calibración (Siddharth & Gitakrishnan,2013).

2.3.7. Prueba de hipótesis nula en Randomization Test

Este es una herramienta estadística que permitirá realizar ensayos, haciendo uso de datos obtenidos en campo y del programa Vissim. Luego, el programa agrupará los valores y realizará una prueba de diferencia de medias ($X_1 - X_2$), prueba de hipótesis nula de igualdad de medias ($\mu_1 = \mu_2$) y una hipótesis alternativa de diferencia de medias ($\mu_1 \neq \mu_2$). Tras ello, se procederá a verificar si los resultados se encuentra dentro de la zona de no rechazo a la hipótesis nula con 95% de confiabilidad mediante un análisis de two tails.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

Para desarrollar la micro simulación de la intersección examinada se seguirán las pautas trazadas por la FHWA (2004), la cual divide el proceso en siete etapas (alcance de proyecto, recolección de datos, desarrollo del modelo base, verificación de errores, calibración y validación del modelo, resultado del escenario actual y rediseño). A continuación, se mostrará un esquema de las pautas mencionadas, las cuales se explicarán con mayor profundidad en los próximos acápite.



Esquema 6. Esquema de los pasos a seguir para este estudio

Fuente: Adaptado de FHWA (2004)

3.1. Alcance del proyecto

El área del proyecto que se analizará se encuentra ubicado en la intersección de la Av. General Vivanco y Av. Manuel Ugarteche. Asimismo, el objetivo de dicho análisis es poder contar con suficientes datos vehiculares y peatonales para posteriormente plantear una propuesta de rediseño que permita facilitar la calidad de vida de todos los usuarios y en especial a los más vulnerables.



Figura 15. Intersección de la Av. General Vivanco y Av. Manuel Ugarteche

Fuente: Elaboración propia

3.2. Recolección de datos de Campo

La recolección de los datos de campo es una de las partes fundamentales para el análisis. Para ello, se debe determinar la forma en que serán recolectados en los contadores manuales y las herramientas que se utilizarán. A continuación, se explicará detalladamente el equipo necesario para la toma de datos.

3.2.1. Equipo necesario para la toma de datos

El equipo a utilizar para las medidas realizadas en campo son las siguientes:

CONTADORES MANUALES

- **Contadores manuales para peatones**

Para empezar, se clasificarán de acuerdo a la esquina del cual provienen a lo que se denominará origen. En este conteo se utilizarán 4 orígenes, tomando en cuenta las líneas de deseo y un intervalo de tiempo de 15 minutos para la toma de datos. A continuación, se muestra el formato que se utilizará para la toma de datos de peatones.

Tabla 1. Formato de contador manual para peatón.

LINEAS DE DESEO 1		PEATÓN			
PERIODO		SENTIDO			
		A 	B 	C 	D 
1	18:30-18:45				
2	18:45-19:00				
3	19:00-19:15				
4	19:15-19:30				
N° PEATONES					
% PEATONES					

Fuente: Elaboración propia (2018)

- **Contadores manuales para vehículos**

En este conteo se dividirán los datos dependiendo del carril y sentido de maniobra que realizarán los vehículos. Asimismo, el conteo se clasificará de acuerdo al tipo de vehículo que transite por la zona, usando intervalos de 15 minutos. A continuación, se muestra el formato que se utilizará para la toma de datos de vehículo.

Tabla 2. Formato de contador manual para vehículos.

PERIODO	CARRIL	SENTIDO	TIPO DE VEHICULO					TOTAL	
			AUTO-COMBI-COASTER	BUS	CAMIÓN	MOTO	BICICLETA		
18:30 - 18:45	CARRIL A	A1	↗						
		A2	→						
		A3	↘						
	CARRIL B	B1	↗						
		B2	→						
	CARRIL C	C1	↓						
		D1	↓						
	CARRIL D	D1	↓						
		D2	↘						
	CARRIL E	E1	↑						
		F1	↑						
	CARRIL F	F1	↑						
F2		↘							

Fuente: Elaboración propia (2018)

HERRAMIENTAS:

- **Formatos impresos a papel**

Para determinar aforo vehicular y peatonal se usarán los contadores manuales impresos explicados anteriormente (Tabla 2), haciendo uso de papel y lápiz para recopilar los datos vistos en campo.

PERIODO	CARRIL	SENTIDO	TIPO DE VEHICULO					TOTAL	
			AUTO-COMBI-COASTER	BUS	CAMIÓN	MOTO	BICICLETA		
18:30 - 18:45	CARRIL A	A1	↗	30	1	0	6	0	37
		A2	→	27	2	1	3	1	34
		A3	↘	31	0	0	1	0	32
	CARRIL B	B1	↗	28	0	1	1	0	30
		B2	→	25	1	0	0	2	28
	CARRIL C	C1	↓	80	3	2	3	0	88
		D1	↓	95	1	1	2	0	99
	CARRIL D	D1	↓	95	1	1	2	0	99
		D2	↘	7	0	0	1	0	8
	CARRIL E	E1	↑						
		F1	↑						
	CARRIL F	F1	↑						
F2		↘							

Figura 16. Contador manual impreso

Fuente: Elaboración propia (2018)

- **Cámara**

Para facilitar la tarea de toma de datos se realizará una filmación, haciendo uso de una cámara profesional, durante una hora; con la finalidad de poder adelantar o retroceder la grabación evitando errores.

Además, se evaluó la posibilidad de usar un dron, pero ante la inseguridad ciudadana y el alto costo de este se prefirió declinar.



Figura 17. Cámara CANON

Fuente: www.Canon.com (2017)

3.2.2. Datos fundamentales para el modelo de calibración

Para conseguir los datos de calibración se filmó el día jueves 12 de Julio de 2018, dicho metraje fue grabado desde las 18:30 hasta 19:30. Este periodo de tiempo fue escogido, ya que presenta el panorama más caótico de la intersección.



Figura 18. Intersección de la Av. General Vivanco y Av. Manuel Ugarteche

Fuente: Elaboración propia (2018)

3.2.2.1. Geometría del área analizada

La geometría vista en planta tiene la forma de una doble "T" (Figura 19). Además, se puede apreciar los giros que serán evaluados en la presente tesis. Partiendo de este esquema se podrán, posteriormente, crear flujogramas.

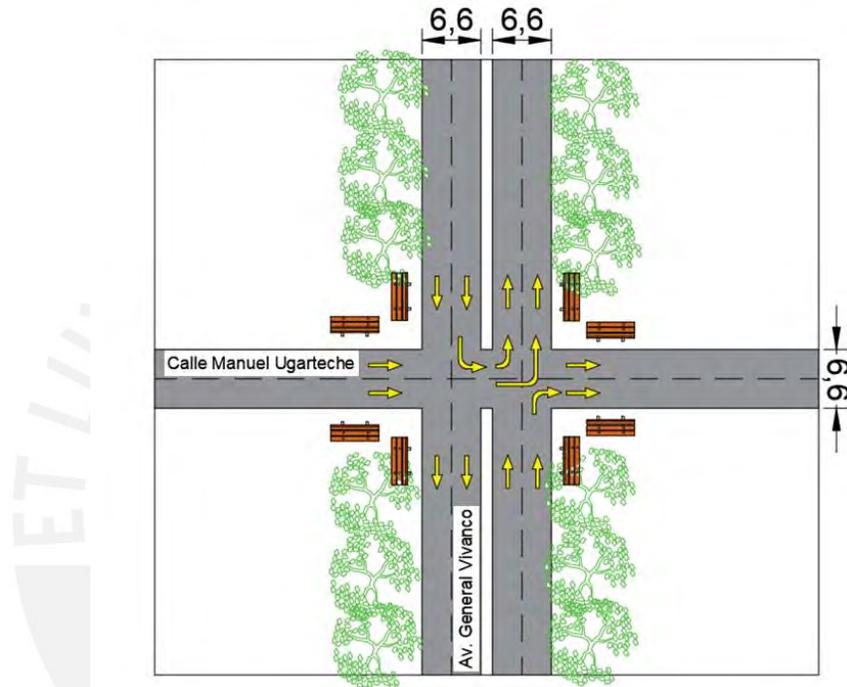


Figura 19. Bosquejo de la geometría de la intersección en AutoCAD

Fuente: Elaboración propia (2018)

Por otra parte, se obtuvieron capturas haciendo uso de la plataforma GOOGLE EARTH. A continuación, se podrá apreciar dichas figuras en los diferentes puntos de vista de cada calle.



Figura 20. Vista de Norte a Sur en la calle Manuel Ugarteche

Fuente: Google Earth (2018)



Figura 21. Vista de Sur a Norte en la calle Manuel Ugarteche

Fuente: Google Earth (2018)



Figura 22. Vista de Oeste a Este en la Av. General Vivanco

Fuente: Google Earth, (2018)



Figura 23. Vista de Este a Oeste en la Av. General Vivanco

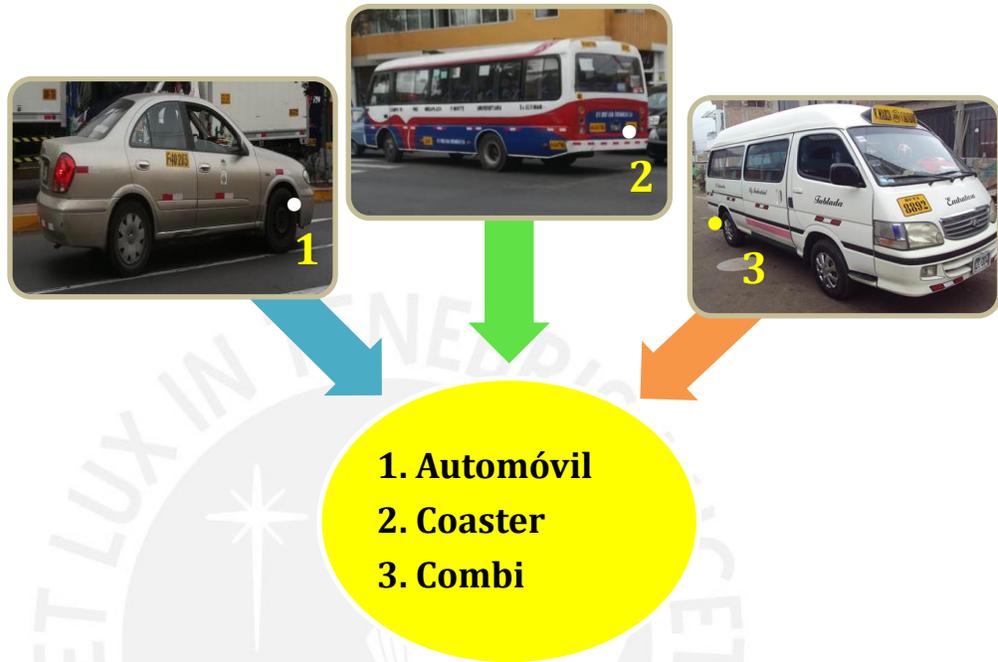
Fuente: Google Earth (2018)

3.2.2.2. Clasificación previa a la toma de datos para aforo vehicular

El aforo vehicular se contabilizó mediante formatos especiales mencionados anteriormente. Por ello, la primera tarea fue la clasificación de cada vehículo dependiendo de su naturaleza.

Para ello, se mostrará la lista de los tipos de vehículos que serán tomados en cuenta para este estudio, acompañado de una imagen por cada uno.

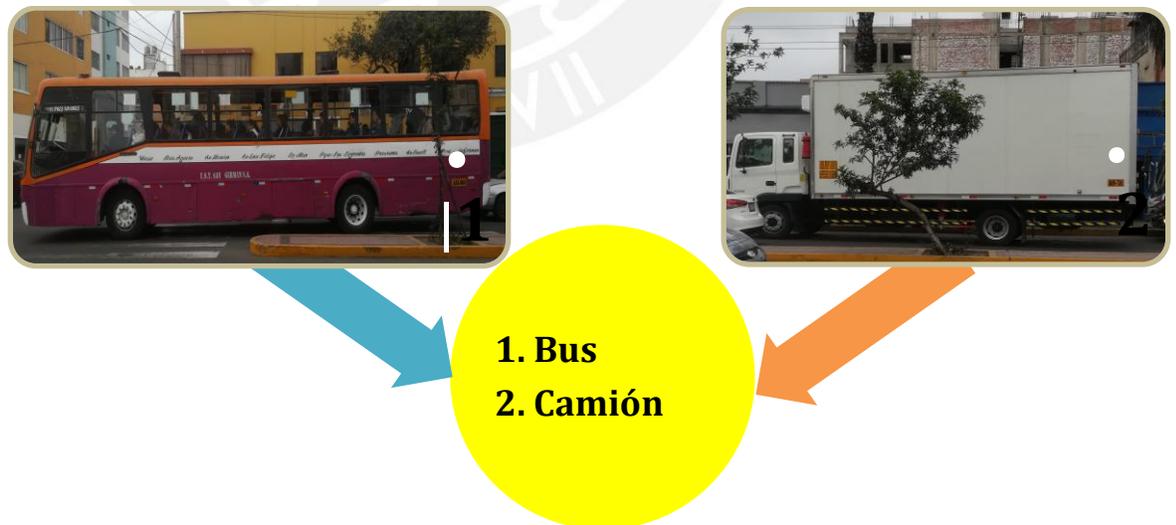
- Automóvil-Combi-Coaster



Esquema 7. Tipos de vehículos (Automóvil, combi, coaster)

Fuente: Elaboración propia

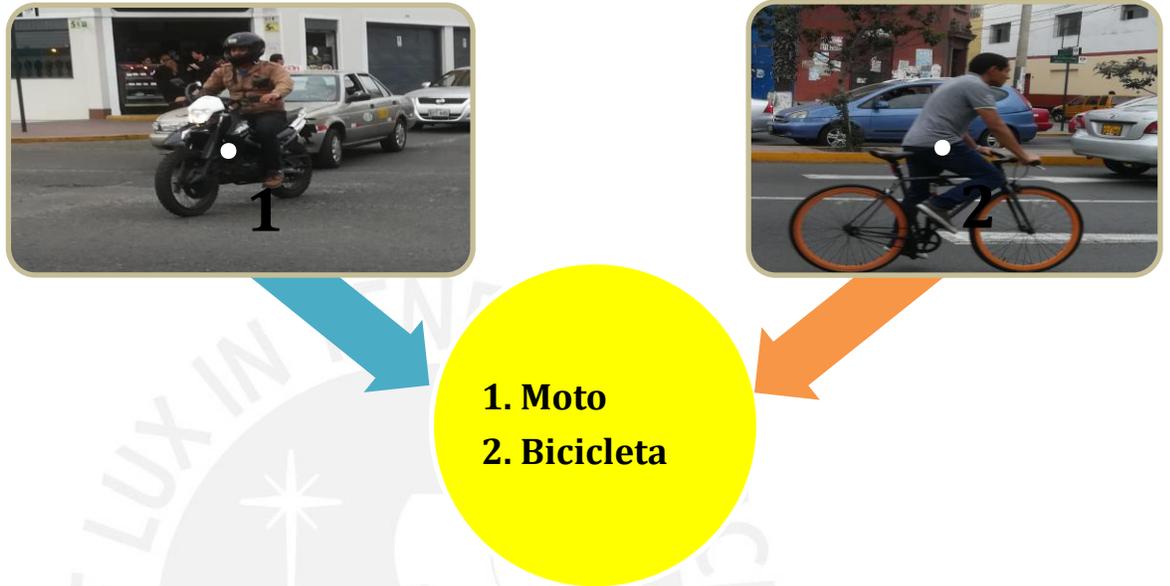
- Bus y camión



Esquema 8. Tipo de vehículo (bus y camión).

Fuente: Elaboración propia

- Moto y bicicleta



Esquema 9. Tipo de vehículo (bicicleta y motocicleta).

Fuente: Elaboración propia

Luego se dividió el esquema en posibles acciones que podría realizar el vehículo. En primer lugar, en el carril A se pueden realizar 3 posibles acciones: Ir de frente, girar a la izquierda o a la derecha. En segundo lugar, el carril B puede ir de frente o girar a la izquierda. Por otro lado, en el carril C y E solo pueden ir de frente. Mientras que en el carril D y F es posible ir de frente o realizar un giro (izquierda y derecha, respectivamente).

Ulteriormente, se mostrará los movimientos mencionados anteriormente de los carriles A, B, C, D, E y F

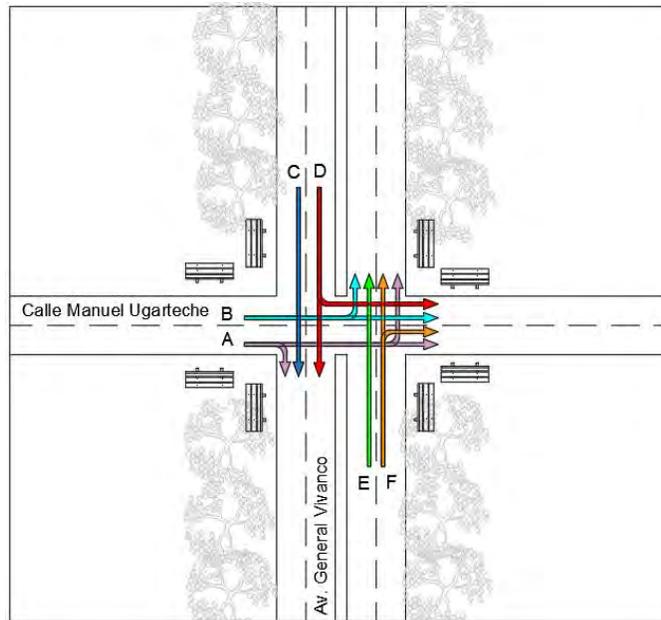


Figura 24. Líneas que representan el flujo vehicular en el carril A, B, C, D, E y F

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3. Aforo vehicular para calibración

Se procedió a organizar los datos de acuerdo al tipo de vehículo durante intervalos de 15 minutos (Tabla 3). Una vez terminada la hora, se procederá a sumar todos los vehículos, de modo que se obtenga los flujogramas (Figura 25). Asimismo, las categorías consideradas son auto/combi/coaster, bus, camión, moto, bicicleta.

Para fines prácticos se decidió incluir la cantidad de motos al número de autos.

Tabla 3. Aforo vehicular para calibración.

PERIODO	CARRIL	SENTIDO		TIPO DE VEHÍCULO					TOTAL
				AUTO-COMBI-COASTER	BUS	CAMIÓN	MOTO	BICICLETA	
18:30 - 18:45	CARRIL A	A1		30	1	0	6	0	37
		A2		27	2	1	3	1	34
		A3		31	0	0	1	0	32
	CARRIL B	B1		28	0	1	1	0	30
		B2		25	1	0	0	2	28
	CARRIL C	C1		80	3	2	3	0	88
	CARRIL D	D1		95	1	1	2	0	99
		D2		7	0	0	1	0	8
	CARRIL E	E1		41	3	1	3	2	50
	CARRIL F	F1		33	1	0	6	1	41
		F2		3	0	0	1	0	4
	18:45 - 19:00	CARRIL A	A1		29	2	0	1	0
A2				25	1	0	2	1	29
A3				40	0	1	2	0	43
CARRIL B		B1		33	1	0	1	0	35
		B2		35	0	0	0	1	36
CARRIL C		C1		72	1	1	5	3	82
CARRIL D		D1		97	2	1	2	1	103
		D2		8	0	0	1	0	9
CARRIL E		E1		45	3	0	2	2	52
CARRIL F		F1		39	2	1	1	1	44
		F2		1	0	0	1	0	2

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentará un esquema (los dos restantes serán colocados en los anexos) con las cantidades totales por maniobra, tanto para el Jr. Manuel Ugarteche como para la Av. General Vivanco.

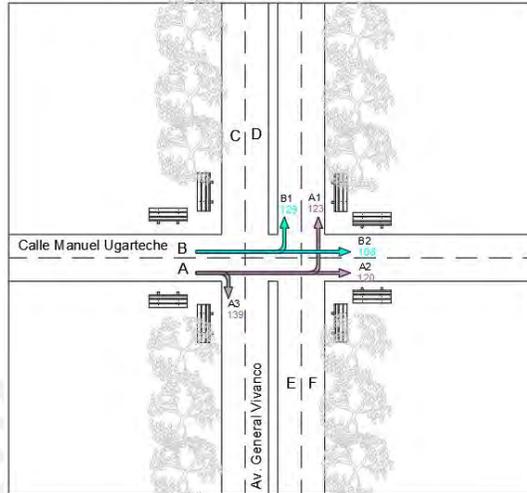


Figura 25. Flujograma de los carriles A y B

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3. Aforo peatonal para calibración

Para recolectar la información se identificaron 4 punto de origen de los cuales partirían todos los peatones (Figura 26). Posteriormente, tras una hora dividida en intervalos 15 minutos se obtuvieron los resultados totales acorde a sus líneas de deseo (Tabla 4).

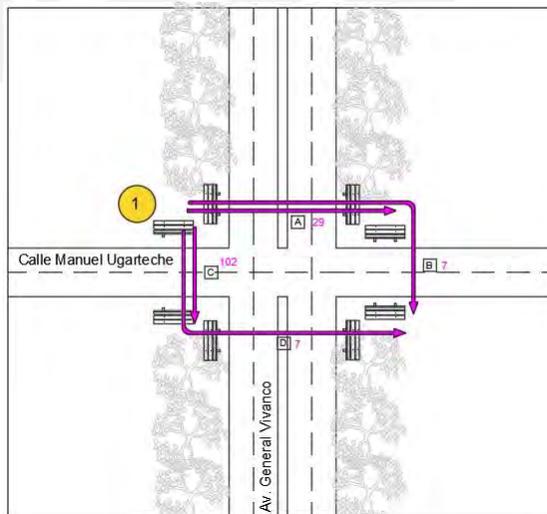


Figura 26. Líneas de deseo de calibración del origen 1.

Fuente: Elaboración propia

Las líneas de deseo de los orígenes restantes están adjuntadas en la sección de Anexos

Tabla 4. Aforo peatonal de calibración según líneas de deseo del origen 1

LINEAS DE DESEO 1		PEATÓN				
		SENTIDO				
PERIODO		A	B	C	D	
						
1	18:30-18:45	5	2	27	1	
2	18:45-19:00	7	2	22	2	
3	19:00-19:15	7	1	24	3	
4	19:15-19:30	10	2	29	1	
N° PEATONES		29	7	102	7	145
% PEATONES		0.200	0.048	0.703	0.048	1.000

Fuente: Elaboración propia

Las tablas de los orígenes restantes están adjuntadas en la sección de Anexos

3.2.4. Tiempos de viaje peatonal para la Calibración

Se recolectaron los tiempos de viaje peatonal de una muestra de 12 personas en la Av. General Vivanco (Tabla 5), cuya distancia es 14.5m. Además, se aprecia una alta duración en los tiempos en este cruce, esto es debido a que existe un alto flujo vehicular y una vereda intermedia en las vías que impide un tránsito rápido por parte de los peatones.

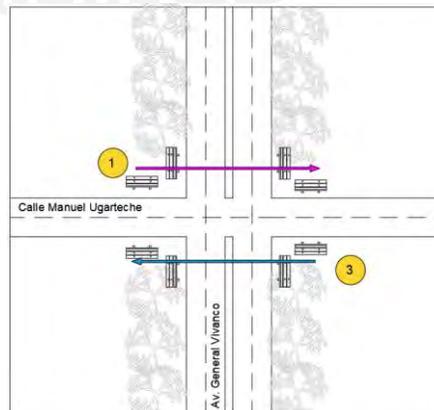


Figura 27. Líneas que representan el flujo peatonal en el origen 1A y 3C

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Tiempo de viaje peatonal para origen 1

TIEMPO DE VIAJE PEATONAL		
ORIGEN 1 y 3	TIEMPO (s)	
MUESTRA	1-A	3-C
	1	28.56
2	30.45	30.28
3	32.15	31.22
4	28.24	29.36
5	31.37	32.19
6	30.76	31.08
7	30.28	30.41
8	29.54	29.36
9	27.81	28.54
10	26.11	27.83
11	32.94	32.97
12	30.15	32.74
PROMEDIO	29.86	30.44

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.4. Velocidades de peatones

Con los tiempos obtenidos anteriormente y conociendo el valor de la distancia recorrida se procedió a calcular las velocidades para los peatones.

Posteriormente, los valores de velocidad se dividieron en tres intervalos (Tabla 6) para hallar las frecuencias acumuladas con el objetivo de expresarlas en un gráfico (velocidad vs frecuencia acumulada). Finalmente, se puede apreciar que son similares las gráficas de los orígenes 1A y 3C (Figura 28).

Tabla 6. Frecuencias de velocidades peatonales de origen 1

ORIGEN 1 (A)					
VELOCIDAD INFERIOR (Km/h)	VELOCIDAD SUPERIOR (Km/h)	fi	Fi	hi	Hi
1.58	1.72	6	6	0.500	0.500
1.72	1.86	4	10	0.333	0.833
1.86	2	2	12	0.167	1.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Frecuencias de velocidades peatonales de origen 3

ORIGEN 3 (C)					
VELOCIDAD INFERIOR (Km/h)	VELOCIDAD SUPERIOR (Km/h)	fi	Fi	hi	Hi
1.58	1.68	5	5	0.417	0.417
1.68	1.78	5	10	0.417	0.833
1.78	1.88	2	12	0.167	1.000

Fuente: Elaboración propia

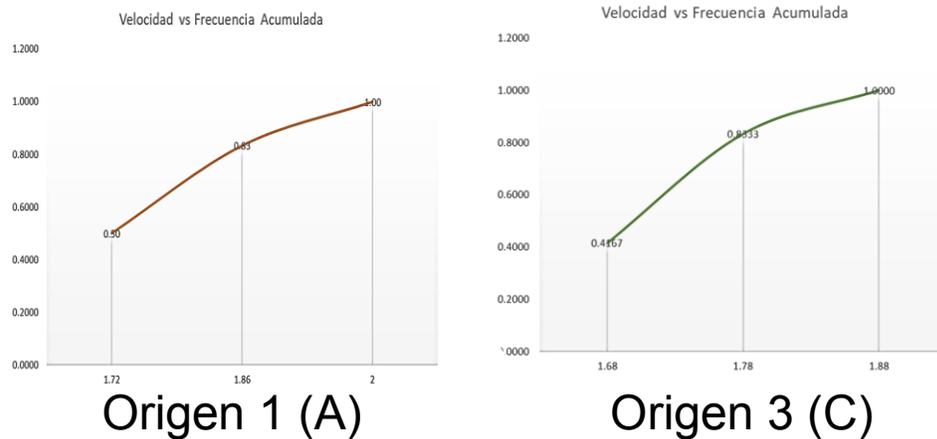


Figura 28. Frecuencias acumuladas de las velocidades de los peatones

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Tiempos de viaje vehicular para la Calibración

A diferencia de los tiempos de viaje peatonal se realizó un muestreo de 25 vehículos por carril (Tabla 8). Por ello, se midieron 30 metros en la calle Manuel Ugarteche (Figura 29). Se visualiza unos tiempos de demora bastante cortos, esto es debido a la rapidez de los vehículos que circulan por dichos carriles.

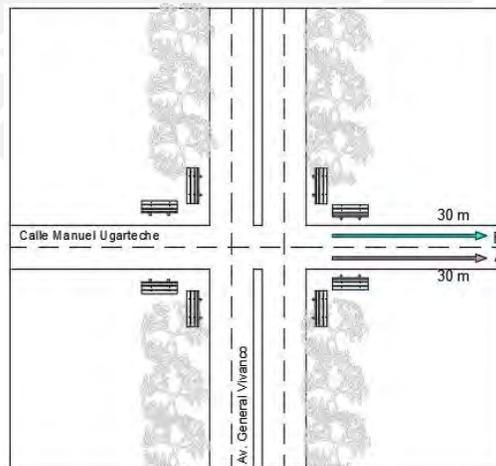


Figura 29. Líneas que representan el flujo vehicular en los carriles A y B

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Tiempo de viaje de vehicular en una muestra de 25 vehículos

TIEMPO DE VIAJE (segundos)		
N°	CARRIL A	CARRIL B
1	3.16	2.21
2	2.18	2.35
3	2.79	2.52
4	2.29	2.24
5	2.26	2.64
6	2.37	2.56
7	2.20	3.89
8	2.17	3.38
9	3.18	2.30
10	2.33	3.24
11	2.61	3.27
12	2.04	2.92
13	2.81	3.56
14	2.93	2.32
15	3.32	2.54
16	2.93	2.28
17	2.82	2.23
18	3.12	3.24
19	2.02	2.67
20	2.58	3.30
21	2.57	3.77
22	3.01	2.22
23	2.00	2.19
24	3.16	3.27
25	4.12	5.28
MEDIA	2.79	
DESVIACIÓN ESTANDAR	0.636	

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.5. Velocidades de vehículos

Con los tiempos obtenidos anteriormente y conociendo el valor de la distancia recorrida se procedió a calcular las velocidades para los vehículos.

Posteriormente, los valores de velocidad se dividieron en ocho intervalos (Tabla 9 y 10) para hallar las frecuencias acumuladas con el objetivo de expresarlas en un gráfico (velocidad vs frecuencia acumulada). Finalmente, se puede apreciar que son similares las gráficas de los orígenes 1A y 3C (Figura 30).

Tabla 9. Frecuencias de velocidades de vehículos del tramo A

TRAMO A					
VELOCIDAD INFERIOR (Km/h)	VELOCIDAD SUPERIOR (Km/h)	fi	Fi	hi	Hi
26.21	29.69	1	1	0.040	0.040
29.69	33.16	1	2	0.040	0.080
33.16	36.63	5	7	0.200	0.280
36.63	40.11	5	12	0.200	0.480
40.11	43.58	3	15	0.120	0.600
43.58	47.05	2	17	0.080	0.680
47.05	50.53	5	22	0.200	0.880
50.53	54.00	3	25	0.120	1.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Frecuencias de velocidades de vehículos del tramo B

TRAMO B					
VELOCIDAD INFERIOR (Km/h)	VELOCIDAD SUPERIOR (Km/h)	fi	Fi	hi	Hi
20.45	24.06	1	1	0.040	0.040
24.06	27.67	0	1	0.000	0.040
27.67	31.28	3	4	0.120	0.160
31.28	34.88	6	10	0.240	0.400
34.88	38.49	1	11	0.040	0.440
38.49	42.10	2	13	0.080	0.520
42.10	45.71	3	16	0.120	0.640
45.71	49.32	9	25	0.360	1.000

Fuente: Elaboración propia

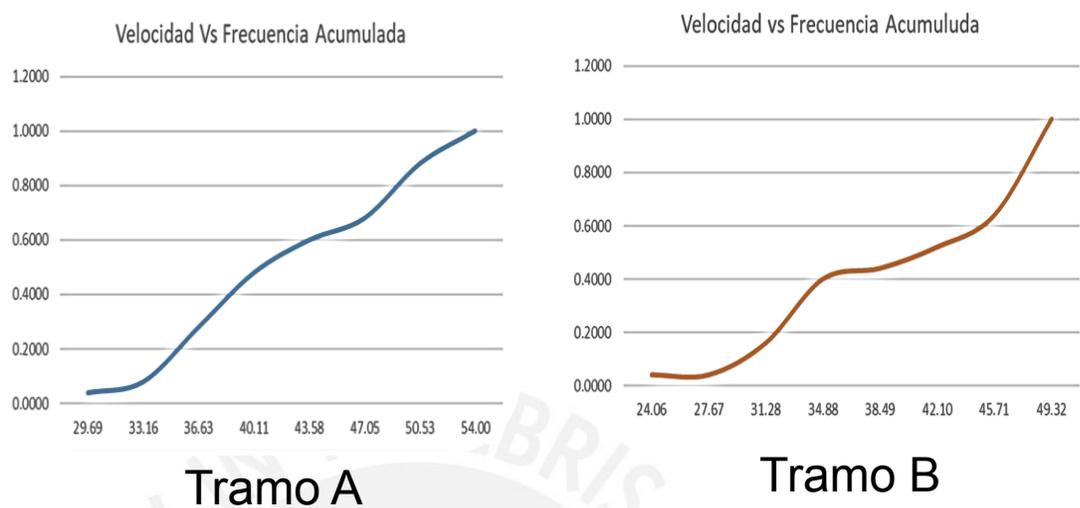


Figura 30. Gráfico de velocidad vs Frecuencia Acumulada en el tramo A y B

Fuente: Elaboración propia

Las tablas de velocidad para validación se adjuntan en la sección de Anexos.

3.2.5. Datos Fundamentales para la validación del modelo

Para conseguir los datos de validación se filmó el día jueves 19 de Julio de 2018, dicho metraje fue grabado desde las 18:30 hasta 19:30, debido a que se consideró que las condiciones eran las mismas que en la calibración.

3.2.5.1. Aforo vehicular para Validación

Al igual que en la calibración, se procedió a organizar los datos de acuerdo al tipo de vehículo durante intervalos de 15 minutos (Tabla 11). Una vez terminada la hora, se procederá a sumar todos los vehículos, de modo que se obtengan los flujogramas (Figura 31).

Tabla 11. Aforo vehicular en validación

PERIODO	CARRIL	SENTIDO		TIPO DE VEHÍCULO					TOTAL
				AUTO-COMBI-COASTER	BUS	CAMIÓN	MOTO	BICICLETA	
18:30 - 18:45	CARRIL A	A1		30	1	0	6	0	37
		A2		27	2	1	3	1	34
		A3		31	0	0	1	0	32
	CARRIL B	B1		28	0	1	1	0	30
		B2		25	1	0	0	2	28
	CARRIL C	C1		80	3	2	3	0	88
	CARRIL D	D1		95	1	1	2	0	99
		D2		7	0	0	1	0	8
	CARRIL E	E1		41	3	1	3	2	50
	CARRIL F	F1		33	1	0	6	1	41
F2			3	0	0	1	0	4	
18:45 - 19:00	CARRIL A	A1		29	2	0	1	0	32
		A2		25	1	0	2	1	29
		A3		40	0	1	2	0	43
	CARRIL B	B1		33	1	0	1	0	35
		B2		35	0	0	0	1	36
	CARRIL C	C1		72	1	1	5	3	82
	CARRIL D	D1		97	2	1	2	1	103
		D2		8	0	0	1	0	9
	CARRIL E	E1		45	3	0	2	2	52
	CARRIL F	F1		39	2	1	1	1	44
F2			1	0	0	1	0	2	

Fuente: Elaboración propia

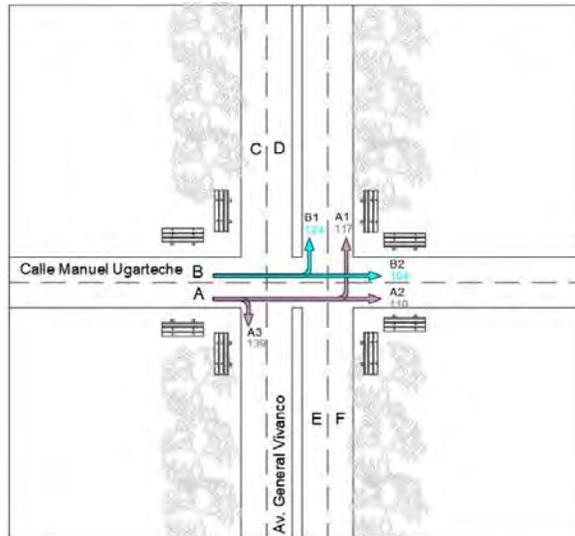


Figura 31. Flujo de los carriles A y B en la validación

Fuente: Elaboración propia

El resto de flujogramas serán presentados en la sección de anexos.

3.2.5.2. Aforo Peatonal para Validación

Al igual que en la calibración, se identificaron 4 puntos de origen de los cuales partirían todos los peatones. Posteriormente, tras una hora dividida en intervalos 15 minutos se obtuvieron los resultados totales acorde a sus líneas de deseo (Tabla 12).

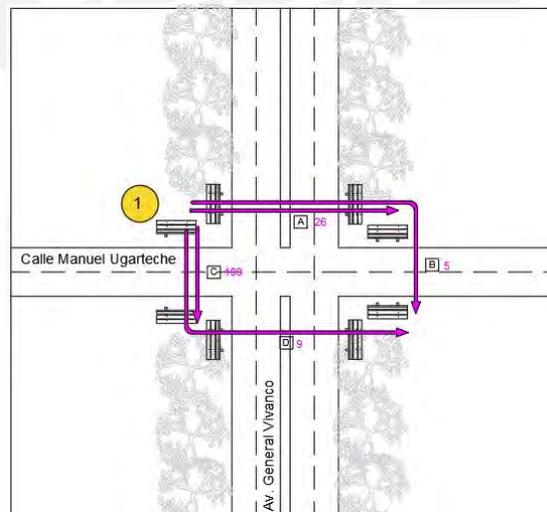


Figura 32. Flujo de las líneas de deseo del origen 1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Aforo peatonal de validación según líneas de deseo del origen 1

LINEAS DE DESEO 1		PEATÓN				
		SENTIDO				
PERIODO		A	B	C	D	
						
1	18:30-18:45	4	1	30	2	
2	18:45-19:00	5	1	24	2	
3	19:00-19:15	6	1	23	4	
4	19:15-19:30	11	2	32	1	
N° PEATONES		26	5	109	9	149
%PEATONES		0.174	0.034	0.732	0.060	1.000

Fuente: Elaboración propia

Las figuras y tablas de las líneas de deseo restantes se adjuntan en los anexos.

3.2.6. Tiempo de viaje vehicular para la Validación

Al igual que en el tiempo de viaje vehicular de calibración, se realizó un muestreo de 25 vehículos por carril (Tabla 13). Por ello, se midieron 30 metros en la calle Manuel Ugarteche. Además, se puede visualizar unos tiempos de demora bastante cortos, esto es debido a la rapidez de los vehículos que circulan por dichos carriles.

Como resultado, se puede observar que el promedio de tiempo de viaje de ambos carriles (A y B) es de 2.81; mientras que la desviación estándar tiene un valor de 0.448. Cabe resaltar que la alta velocidad que tienen los vehículos resulta perjudicial para los peatones, pues estos no tienen suficiente tiempo para poder cruzar con seguridad la vía.

Tabla 13. Tiempo de viaje vehicular para validación.

TIEMPO DE VIAJE (segundos)		
N°	CARRIL A	CARRIL B
1	2.97	3.08
2	2.41	3.34
3	3.81	2.15
4	3.12	3.25
5	2.03	2.42
6	2.15	2.83
7	2.73	3.12
8	3.19	2.68
9	2.46	2.94
10	2.09	2.19
11	3.23	2.24
12	2.48	3.01
13	3.17	3.64
14	2.56	2.93
15	3.04	2.75
16	2.89	2.81
17	2.75	2.33
18	2.39	2.41
19	2.43	3.32
20	3.11	3.23
21	3.20	3.84
22	2.98	2.93
23	2.56	2.72
24	2.04	2.67
25	2.75	3.32
MEDIA	2.81	
DESVIACIÓN ESTANDAR	0.448	

Fuente: Elaboración propia

3.2.7. Tiempo de viaje peatonal para la Validación

Al igual que en el tiempo de viaje peatonal de calibración se realizó un muestreo de 12 personas en la Av. General Vivanco, cuya distancia es 14.5m (Tabla 14). Se aprecia una alta duración en los tiempos en este cruce, esto es debido a que existe un alto flujo vehicular y una vereda intermedia en las vías que impide un tránsito rápido por parte de los peatones.

Tabla 14. Tiempo de viaje peatonal del origen 1.

TIEMPO DE VIAJE PEATONAL		
ORIGEN 1 y 3	TIEMPO (s)	
MUESTRA	1-A 	3-C 
1	30.23	32.01
2	31.17	30.24
3	33.4	30.61
4	30.85	31.44
5	29.78	30.57
6	29.63	32.18
7	28.97	30.29
8	29.12	32.37
9	29.35	29.78
10	28.43	32.65
11	31.22	32.45
12	30.67	32.85
PROMEDIO	30.24	31.45

Fuente: Elaboración propia

Las tablas de tiempo de viaje peatonal para los orígenes restantes se adjuntan en los anexos.

CAPÍTULO 4. MODELO DE MICRO SIMULACIÓN DE LA INTERSECCIÓN

En este capítulo, se desarrollará el modelo base de micro simulación en el programa VISIM de la intersección analizada; para ello, se insertarán los datos tomados en campo. Posteriormente, se realizará la verificación de los datos de entrada para ver si son los adecuados. Por ende, se observará la animación del diseño para validar y hacer un rediseño del modelo estudiado.

4.1. Desarrollo del modelo base vehicular VISSIM

Para aplicar correctamente el software usaremos los datos recolectados del Capítulo 3 y también se hará uso de las herramientas de dicho software las cuales se especificarán en los siguientes índices.

Es necesario acotar que los pasos a seguir en el VISSIM serán expuestos en su totalidad dentro de los Anexos.

4.1.1. Importación y escala de imagen

Primero se usará la herramienta Google Earth pro para la captura de la imagen (Figura 33), luego se insertará al VISSIM, haciendo uso herramienta Background Images. Posteriormente, se escalará la imagen para obtener las medidas precisas. De modo que, se oprimirá la tecla ctrl y clic derecho en la captura y se escogerá la opción Set scale. Finalmente, se seleccionará un carril y se pondrá la longitud correspondiente a cada uno (Anexos).



Figura 33. Intersección de la Av. General Vivanco y calle Manuel Ugarteche

Fuente: Google Earth

4.1.2. Creación de las vías de la intersección

En esta parte se dibujará los carriles encima de la imagen insertada. De modo que, primero se escogerá la opción Links y presionando el clic derecho se procederá a dibujar las vías y sus conexiones (Figura 34). Esta creación servirá para posteriormente ingresar los volúmenes y porcentajes de los vehículos.

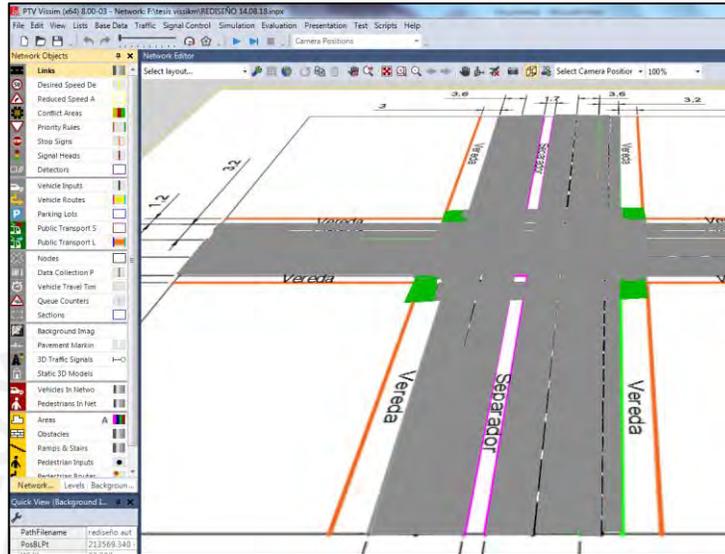


Figura 34. Opción Links en el VISSIM para el dibujo de vías y conexiones.

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Composición vehicular para calibración

Haciendo uso de los datos obtenidos en el capítulo 3 se crearán nuevas tablas para la obtención de porcentajes por cada tipo de vehículo. Por ello, primero se hizo la suma total para cada carril (Tabla 15), luego se agruparon los carriles para cada avenida o calle, esto será explicado detalladamente en el siguiente acápite. Finalmente, se mostrará los porcentajes totales por cada tipo de vehículo (Tabla 16).

Tabla 15. Volumen total por cada tipo de vehículo en el carril A

CARRIL A						
PERIODO	AUTO-COMBI-COUSTER	BUS	CAMION	MOTO	BICICLETA	
18:30-18:45	88	3	1	10	1	
18:45-19:00	94	3	1	5	1	
19:00-19:15	71	3	0	3	2	
19:15-19:30	87	1	1	4	3	
TOTAL	340	10	3	22	7	382

Fuente: Elaboración propia

La tabla de los carriles B, C y D se encuentran en la sección de anexos.

Tabla 16. Porcentaje total por cada tipo de vehículo

SUMATORIA TOTAL						
TIPO	AUTO-COMBI-COUSTER	BUS	CAMION	MOTO	BICICLETA	TOTAL
N° VEHICULOS	1665	44	19	73	32	1833
%VEHÍCULOS	90.83%	2.40%	1.04%	3.98%	1.75%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Flujo total de vehículos para cada avenida

Para la determinación del flujo total para cada avenida, se usaron las tablas del acápite anterior; posteriormente, se agruparon los carriles para cada avenida, siendo el volumen de la calle Manuel Ugarteche (carril A y B), igual a 619. Asimismo, en la Av. General Vivanco se ordenaron en dos grupos, en el carril A

y B, se obtuvo un volumen igual a 582; en el carril C y D, se obtuvo un valor igual a 486 y en el carril E y D, se obtuvo un valor igual a 413.

Tabla 17. Porcentaje de vehículos en el carril A y B

SUMATORIA DE LOS CARRILES A y B						
TIPO	AUTO-COMBI-COUSTER	BUS	CAMION	MOTO	BICICLETA	TOTAL
N° VEHICULOS	563	14	5	26	11	619
%VEHÍCULOS	90.95%	2.26%	0.81%	4.20%	1.78%	100%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Porcentaje de vehículos en el carril C y D

SUMATORIA DE LOS CARRILES C y D						
TIPO	AUTO-COMBI-COUSTER	BUS	CAMION	MOTO	BICICLETA	TOTAL
N° VEHICULOS	735	15	10	30	11	801
%VEHÍCULOS	91.76%	1.87%	1.25%	3.75%	1.37%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Porcentaje de la cantidad de vehículos por cada dirección

Para determinar el porcentaje de cada vehículo se usaron los volúmenes de las tablas mencionadas en el acápite de composición vehicular y flujo total de vehículos por cada carril. A continuación, se mostrará el porcentaje para cada dirección.

La sumatoria de la cantidad de vehículos en A es 382 y B es 237. Asimismo, cada uno tiene diferentes volúmenes en cada dirección. Por ello, los vehículos del grupo A dividirá en tres direcciones A1, A2, A3 (Tabla 19) y del grupo B en dos direcciones B1 y B2 (Tabla 20).

Tabla 19. Porcentajes de vehículos en la dirección A1, A2, A3

GIRO	A1	A2	A3	TOTAL
N° VEHICULOS	123	120	139	382
%VEHÍCULOS	32.20%	31.41%	36.39%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Porcentaje de vehículos en la dirección B1, B2

GIRO	B1	B2	TOTAL
N° VEHICULOS	129	108	237
%VEHÍCULOS	54.43%	45.57%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

La sumatoria de la cantidad de vehículos en F es 206 y D es 424. Asimismo, cada uno tiene diferentes volúmenes en cada dirección. Por ello, los vehículos del grupo F dividirá en dos direcciones F1, F2 (Tabla 21) y del grupo B en dos direcciones D1 y D2 (Tabla 22).

Tabla 21. Porcentaje de vehículos en la dirección F1, F2

GIRO	F1	F2	TOTAL
N° VEHICULOS	196	10	206
%VEHÍCULOS	95.15%	4.85%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Porcentaje de vehículos en la dirección D1, D2

GIRO	D1	D2	TOTAL
N° VEHICULOS	392	32	424
%VEHÍCULOS	92.45%	7.55%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

4.1.6. Velocidades en giros

En esta sección se realizará los cambios de velocidad de los vehículos, dependiendo de su naturaleza. De modo que, en los carros se redujo la velocidad hasta 20 Km/h y a los demás vehículos como bicicletas, se redujeron hasta 15 Km/h.

4.1.7. Reglas de prioridad en la red

Este acápite constituye uno de los puntos más importantes, puesto que asignará prioridades ya sea para vehículos como para peatones. En la toma de datos se pudo observar que son los vehículos los cuales tienen la prioridad; por esta razón, en el modelo se dio prioridad a estos. Sin embargo, en el rediseño se priorizará a los peatones. Asimismo, esta herramienta evitará el atropello de los peatones y el choque de vehículos.

4.2. Ajuste de parámetros en la Calibración del modelo vehicular

Este proceso consiste en representar las circunstancias en el que se encuentra el lugar de estudio. De modo que los parámetros de Wiedemann se ajustarán hasta obtener los valores más reales posibles. Cabe indicar que en el acápite de los parámetros del comportamiento del conductor, se explicará con mayor detalle.

4.2.1. Determinación de los tiempos de viaje vehicular

En este acápite se usará la herramienta Vehicle Travel Time para obtener los tiempos de los vehículos, los cuales serán representados en 15 corridas para posteriormente poder compararlos con los resultados de campo.

Cabe destacar que estos valores se modificarán cuando se cambia los parámetros de Wiedemann.

4.2.2. Parámetros del comportamiento del conductor

Para este estudio se tomaron los parámetros de Wiedemann, porque la zona analizada es una zona urbana. Con estos parámetros se calibró el modelo adecuándolo al escenario actual, para ello se realizó la micro simulación de 3 repeticiones, cambiando en cada caso los parámetros de Wiedemann.

A continuación, se muestra los tiempos promedios obtenidos, usando los distintos parámetros de Wiedemann que se realizaron con el fin de obtener valores parecidos a los que se recopilaron en campo, siendo los últimos parámetros(resaltados) los que usaremos de manera definitiva.

Tabla 23. Tiempos promedio obtenidos usando parámetros de Wiedemann.

ax	bx_add	bx_mult	Promedio de los tiempos en VISSIM(seg)	Promedio de los tiempos en Campo(seg)
1	1	3	2.732	
2.5	3	3.5	2.754	
2.5	4	5	2.781	2.79

Fuente: Elaboración propia

4.3. Prueba de Hipótesis nula de igualdad de medias para vehículos

En esta parte se utilizó la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias con un nivel de confianza del 95%, mediante una prueba no paramétrica, haciendo uso del programa Randomization Test. Por ello, se recopilaron los tiempos de viaje de 25 vehículos para cada carril (Tabla 24) y los resultados obtenidos de las 15 corridas del Vissim (Tabla 25). Para simplificar el estudio, se optó por utilizar los tiempos de viaje de los carriles A y B, mostrados en el siguiente esquema.

Tabla 24. Resultado de las 15 Corridas de vehículos en VISSIM.

Número de corridas	Intervalo de tiempo	Vehiculos (total)	Tiempo de viaje
1	600-3600	102	2.73
2	600-3600	133	2.88
3	600-3600	105	2.69
4	600-3600	132	2.69
5	600-3600	124	2.80
6	600-3600	120	2.74
7	600-3600	122	2.80
8	600-3600	112	2.82
9	600-3600	129	2.77
10	600-3600	127	2.85
11	600-3600	130	2.74
12	600-3600	131	2.87
13	600-3600	99	2.79
14	600-3600	107	2.72
15	600-3600	121	2.83
PROMEDIO	600-3600	120	2.78
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	600-3600	12	0.06
MÍNIMO	600-3600	99	2.69
MÁXIMO	600-3600	133	2.88

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Tiempo de viaje vehicular de 25 vehículos en campo.

TIEMPO DE VIAJE (segundos)			PROMEDIO
N°	CARRIL A	CARRIL B	
1	3.16	2.21	2.69
2	2.18	2.35	2.27
3	2.79	2.52	2.66
4	2.29	2.24	2.27
5	2.26	2.64	2.45
6	2.37	2.56	2.47
7	2.20	3.89	3.05
8	2.17	3.38	2.78
9	3.18	2.30	2.74
10	2.33	3.24	2.79
11	2.61	3.27	2.94
12	2.04	2.92	2.48
13	2.81	3.56	3.19
14	2.93	2.32	2.63
15	3.32	2.54	2.93
16	2.93	2.28	2.61
17	2.82	2.23	2.53
18	3.12	3.24	3.18
19	2.02	2.67	2.35
20	2.58	3.30	2.94
21	2.57	3.77	3.17
22	3.01	2.22	2.62
23	2.00	2.19	2.10
24	3.16	3.27	3.22
25	4.12	5.28	4.70
MEDIA	2.79		2.79
DESVIACIÓN ESTANDAR	0.636		0.636

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, haciendo uso de la prueba de Two Tails, se obtuvo un rango de -0.306 a 0.355 y la diferencia de medias de los tiempos de viaje fue de -0.01 (Figura 36). Al encontrarse este valor dentro del rango aceptable, también llamada zona de no rechazo, se cumple la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias.

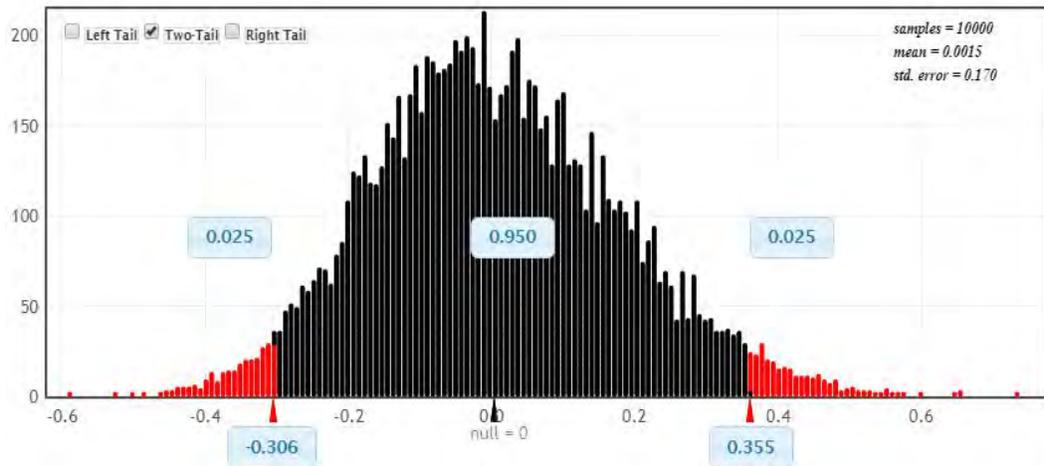


Figura 35. Hipótesis nula de tiempo de viaje vehicular.

Fuente: Elaboración propia

4.4. Calibración del modelo peatonal

Al igual que en la calibración vehicular, se tomarán datos de campo y se insertarán en el modelo para posteriormente poder validarlos.

4.4.1. Determinación de los tiempos de viaje peatonal

En este acápite se usará la herramienta Vehicle Travel Time para obtener los tiempos de los peatones, los cuales serán representados en 15 corridas para posteriormente poder compararlos con los resultados de campo.

4.4.2. Parámetros del comportamiento del peatón

Los parámetros que intervendrán para la calibración peatonal, serán las variables Tau y Lambda. La primera representa a la aceleración y la segunda a la distancia existente entre los peatones, ambos dependen de la densidad peatonal existente. Cabe resaltar que para nuestro modelo se usará un valor de Tau igual a 0.4 y el valor de lambda a 0.176.

4.4.3. Evaluación del número de corridas del modelo para peatones

Se recopilaron los tiempos de viaje de campo de una muestra de 12 peatones en el cruce del origen 1 en la dirección A (Tabla 26) y los resultados obtenidos de las 15 corridas del Vissim (Tabla 27), para que posteriormente sean analizados en el programa Randomization Test.

Tabla 26. Tiempo de viaje peatonal del cruce 1 en dirección A

TIEMPO DE VIAJE PEATONAL			
ORIGEN 1	TIEMPO (s)	DISTANCIA (m)	14.5 m
MUESTRA	A 	VELOCIDAD (Km/h)	
1	28.56	1.83	
2	30.45	1.71	
3	32.15	1.62	
4	28.24	1.85	
5	31.37	1.66	
6	30.76	1.70	
7	30.28	1.72	
8	29.54	1.77	
9	27.81	1.88	
10	26.11	2.00	
11	32.94	1.58	
12	30.15	1.73	
PROMEDIO	29.86	1.75	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Resultado de las 15 corridas de vehículos en VISSIM

Número de corridas	Intervalo de tiempo	Peatones (total)	Tiempo de viaje
1	600-3600	33	27.35
2	600-3600	30	30.90
3	600-3600	36	27.95
4	600-3600	33	33.95
5	600-3600	32	31.34
6	600-3600	24	30.72
7	600-3600	34	31.40
8	600-3600	24	30.82
9	600-3600	27	28.22
10	600-3600	26	28.63
11	600-3600	31	32.67
12	600-3600	36	32.45
13	600-3600	29	32.72
14	600-3600	19	31.76
15	600-3600	21	30.34
PROMEDIO	600-3600	29	30.75
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	600-3600	5	1.94
MÍNIMO	600-3600	19	27.35
MÁXIMO	600-3600	36	33.95

Fuente: Elaboración propia

4.4.4. Prueba de Hipótesis nula de igualdad de medias para peatones

En esta parte, al igual que con los vehículos, se usará la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias con un nivel de confianza del 95%, mediante una prueba no paramétrica, haciendo uso del programa Randomization Test. Para ello, se usarán los resultados de la (Tabla 26) y (Tabla 27), mencionadas anteriormente.

Se debe indicar que solo se analizará el origen 1 en dirección A para fines prácticos.

Finalmente, haciendo uso la prueba Two Tails, se obtuvo un rango de -1.432 a 1.497 y la diferencia de medias de los tiempos de viaje fue de 1.13 (Figura 38). Al encontrarse este valor dentro del rango aceptable, también llamada zona de no rechazo, se cumple la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias.

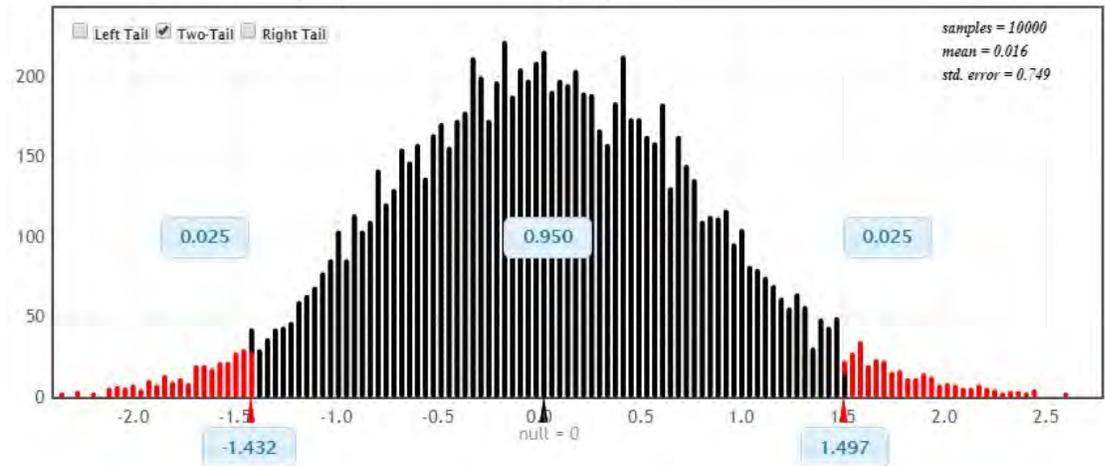


Figura 36. Prueba de hipótesis nula del tiempo de viaje peatonal.

Fuente: Elaboración propia

4.5. Validación del Modelo

Para la realización de este procedimiento se tuvo que insertar nuevos valores obtenidos en campo en el diseño actual. Por esta razón, se usaron los mismos parámetros de la calibración (Wiedemann, Tau y Lambda) y se simuló 15 veces. Pasaremos a verificar si este número de corridas es el adecuado, haciendo uso de la siguiente ecuación.

Ecuación 5. Verificación del número de corridas

$$N_{\text{corridas}} \geq \left(\frac{t_{\alpha/2} * S}{ME} \right)^2$$

Donde:

- $t_{\alpha/2}$: Distribución *t* – student a un 95% de confianza (Anexo)
- S : Desviación Estándar
- ME : Margen de error

a) Validación para vehículos:

Estas variables serán obtenidas, usando los datos de campo y Vissim de los carriles A y B (Tabla 28).

Tabla 28. Resultados estadísticos de las muestras

	TIEMPO DE VIAJE			
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	NÚMERO DE MUESTRA	t-student
CAMPO	2.81	0.448	25	-
VISSIM	2.8	0.06	15	2.145

Fuente: Elaboración propia

Reemplazando los valores obtenidos de la tabla:

$$N_{corridas} \geq \left(\frac{2.145 * 0.06}{0.14} \right)^2$$

Al ser este resultado menor que el número de corridas, comprobamos que este es aceptable. Asimismo, se realizó la evaluación estadística mediante la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias, usando el programa Randomization Test al igual que en la calibración. Para ello, se usó la prueba Two Tails y se obtuvo un rango de -0.236 a 0.240 y la diferencia de medias de los tiempos de viaje fue de -0.007 (Figura 39). Al encontrarse este valor dentro del rango aceptable, también llamada zona de no rechazo, se cumple la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias.

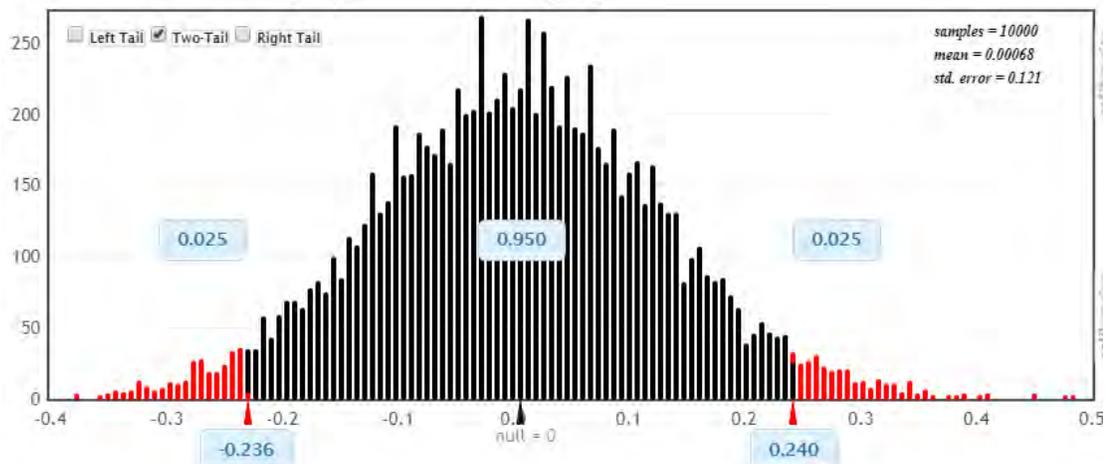


Figura 37. Prueba de hipótesis nula de igualdad de medias de vehículos

Fuente: Elaboración propia

La tabla de los datos de los tiempos vehicular para validación se adjunta en el anexo.

b) Validación para peatones:

Estas variables serán obtenidas, usando los datos de campo y Vissim de peatones del origen 1-A (Tabla 29)

Tabla 29. Resultados estadísticos de las muestras

	TIEMPO DE VIAJE			
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	NÚMERO DE MUESTRA	t-student
CAMPO	30.24	1.34	12	-
VISSIM	30.05	1.842	15	2.145

Fuente: Elaboración propia

Reemplazando los valores obtenidos de la tabla:

$$N_{corridas} \geq \left(\frac{2.145 * 1.842}{1.5} \right)^2$$

Al ser este resultado menor que el número de corridas, comprobamos que este es aceptable.

Posteriormente, se realizó la evaluación estadística mediante la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias, usando el programa Randomization Test al igual que en la calibración. Para ello, se usó la prueba Two Tails y se obtuvo un rango de -1.244 a 1.243 y la diferencia de medias de los tiempos de viaje fue de -0.22 (Figura 40). Al encontrarse este valor dentro del rango aceptable, también llamada zona de no rechazo, se cumple la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias.

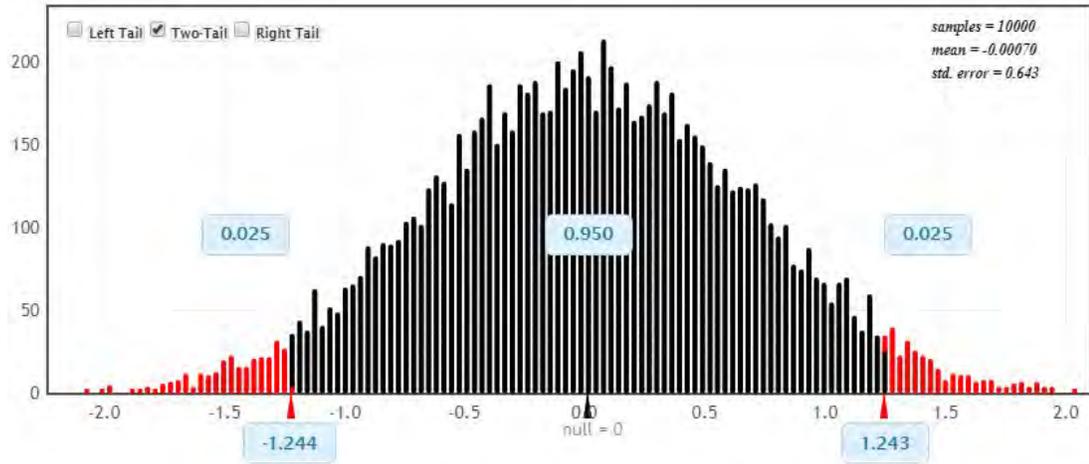
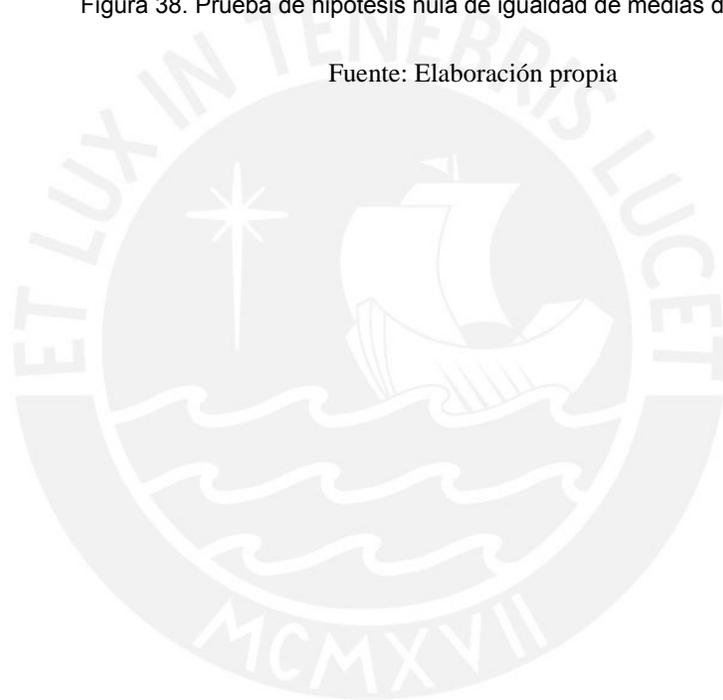


Figura 38. Prueba de hipótesis nula de igualdad de medias de vehículos

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y PROPUESTA DE REDISEÑO

5.1. Resultados de la Micro simulación del escenario actual

Se pudo observar que los valores del tiempo de viaje vehicular y peatonal se encuentran dentro del rango aceptable, haciendo los ajustes con los parámetros de Wiedemann, tau, lambda y usando la evaluación estadística mediante la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias. Por otra parte, cuando se tuvo el modelo calibrado y validado se pudo observar que el estado actual de dicho escenario presenta varias deficiencias en dicha intersección, como la falta de prioridad que se le da a los peatones, la ausencia de semáforos, y el desuso de ciclovías. Posteriormente, con esta información se podrá plantear nuevas propuestas de rediseño.

- Calibración

Los resultados de rendimiento o eficiencia para vehículos en nuestro caso son las demoras, el tiempo detenido y la velocidad. Asimismo, se puede observar que el resultado promedio de demoras es 8.54 seg/veh; el promedio de tiempo detenido es de 0.54 seg; y la velocidad promedio es de 23.50 km/h.

Tabla 30. Resultados de rendimiento de los vehículos en la vía (Diseño actual)

Número de corridas	Intervalo de tiempo (seg)	Demoras (seg/veh)	Tiempo detenido (seg)	Velocidad (Km/h)
1	600-3600	9.00	0.56	18.90
2	600-3600	7.75	0.49	20.44
3	600-3600	8.47	0.56	19.59
4	600-3600	8.39	0.53	19.66
5	600-3600	8.59	0.58	19.43
6	600-3600	8.47	0.55	19.58
7	600-3600	8.48	0.55	19.57
8	600-3600	8.91	0.56	18.94
9	600-3600	9.72	0.66	18.24
10	600-3600	9.38	0.61	18.57
11	600-3600	8.42	0.50	19.58
12	600-3600	7.54	0.45	20.60
13	600-3600	9.63	0.62	18.34
14	600-3600	8.59	0.54	19.43
15	600-3600	6.70	0.35	21.61
PROMEDIO	600-3600	8.54	0.54	19.50
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	600-3600	0.788	0.075	0.890
MÍNIMO	600-3600	6.70	0.35	18.24
MÁXIMO	600-3600	9.72	0.66	21.61

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, para los peatones se obtuvieron resultados relativos a la eficiencia tal y como son la velocidad y tiempo de viaje (Tabla 31)

Tabla 31. Resultados del tiempo de viaje y velocidades de los peatones (Diseño actual)

Número de corridas	Intervalo de tiempo (seg)	Velocidad (Km/h)	Tiempo de viaje (seg)
1	600-3600	3.12	21.70
2	600-3600	3.21	22.21
3	600-3600	3.13	21.68
4	600-3600	3.01	22.91
5	600-3600	3.07	22.33
6	600-3600	3.01	23.06
7	600-3600	3.02	22.45
8	600-3600	3.11	21.88
9	600-3600	3.10	21.59
10	600-3600	3.01	23.07
11	600-3600	3.03	22.54
12	600-3600	3.15	21.27
13	600-3600	3.08	21.84
14	600-3600	3.08	21.60
15	600-3600	3.20	21.28
PROMEDIO	600-3600	3.09	22.09
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	600-3600	0.067	0.612
MÍNIMO	600-3600	3.01	21.27
MÁXIMO	600-3600	3.21	23.07

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el resultado promedio de velocidades es 3.09 Km/h y del tiempo de viaje es de 22.09 seg.

5.2. Propuestas de Rediseño

En el rediseño se considerará los resultados obtenidos del diseño actual. Como, por ejemplo, para el caso vehicular serían resultados las demoras, el tiempo detenido y la velocidad y para el caso peatonal serían las velocidades y los tiempos de viaje. Además, se analizará los problemas presentados en dicha intersección para posteriormente realizar las modificaciones en el rediseño. Posteriormente, se obtendrán los resultados del nuevo modelo para poder analizar si los cambios en la geometría generan mejoras en los resultados

obtenidos con la ayuda de tablas en Excel. Finalmente, se mostrará cada propuesta de rediseño, dependiendo de la problemática existente para cada elemento de la vía.

Previamente a proponer mejoras, se mencionarán algunos problemas y riesgos que se pudieron observar en la intersección. En primer lugar, la falta de semaforización en la intersección (Figura 41) afecta tanto a los peatones como a los vehículos en el cruce de las avenidas, lo cual genera obstrucciones que pueden acarrear en accidentes. Asimismo, se encontró ciclovías en desuso total debido a que los vehículos lo usan como estacionamiento o como un carril más, imposibilitando el tránsito seguro de los ciclistas (Figura 42). Posteriormente, en cada acápite se irá explicando la problemática para cada elemento de la vía.



Figura 39. Obstrucción de vehículos en la Intersección

Fuente: Elaboración propia



Figura 40. Uso de ciclovía como estacionamiento para vehículos

Fuente: Elaboración propia

5.2.1. Anchos adecuados de los carriles, veredas, jardines, rampas, ciclovías y semáforos.

5.2.1.1. Ancho de carriles

Para rediseñar el ancho de carriles en la Av. General Vivanco, se usó el artículo 8 del capítulo II de la Norma GH. 020 del Reglamento Nacional de Edificaciones. Partiendo de ello, se consideró una zona comercial con un ancho de carril de 3.6 metros, existiendo dos carriles en cada sentido y un separador central con un ancho de 1.3 m.

En un inicio, estas solo tenían un ancho de 3.3 m debido a que era considerada una zona de viviendas. Sin embargo, este estatus varió con el pasar de los años, pues el distrito de Pueblo Libre no era una zona tan comercialmente activa.

Tabla 32. Tabla de la Norma GH. 020

TIPOS DE VIAS	VIVIENDA			COMERCIAL	INDUSTRIAL	USOS ESPECIALES
VIAS LOCALES PRINCIPALES						
ACERAS O VEREDAS	1,80	2,40	3,00	3,00	2,40	3,00
ESTACIONAMIENTO	2,40	2,40	3,00	3,00 - 6,00	3,00	3,00 - 6,00
PISTAS CALZADAS	SIN SEPARADOR CENTRAL 2 MODULOS DE	CON SEPARADOR CENTRAL 2 MODULOS A CADA LADO DEL SEPARADOR		SIN SEPARADOR 2 MODULOS DE 3,60	SIN SEPARADOR 2 MODULOS DE 3,60	SIN SEPARADOR 2 MODULOS DE 3,30 - 3,60
	3,60	3,00	3,30	CON SEPARAD. CENTRAL: 2 MODULOS A C/ LADO		
VIAS LOCALES SECUNDARIAS						
ACERAS O VEREDAS	1,20			2,40	1,80	1,80 - 2,40
ESTACIONAMIENTO	1,80			5,40	3,00	2,20 - 5,40
PISTAS CALZADAS	DOS MODULOS DE 2,70			2 MODULOS DE 3,00	2 MODULOS DE 3,60	2 MODULOS DE 3,00

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (2006)

5.2.1.2. Veredas

Para rediseñar las veredas en la calle Manuel Ugarteche se usó el artículo 8 del capítulo II de la Norma GH. 020 del Reglamento Nacional de Edificaciones, el cual indica que en las calles usadas para viviendas solo se necesitará un ancho de 1.20 m.

5.2.1.3. Jardines

Debido a la demanda de espacio de la ciclovía en la Av. General Vivanco, se vio la necesidad de anular los espacios designados a los jardines, pues en este espacio se ampliarán los carriles y el separador central, con la finalidad de tener un diseño más inclusivo.

5.2.1.4. Uso de rampas continuas en cruces

El diseño actual presenta solo cuatro rampas en la intersección, una en cada esquina. En el rediseño se usará el artículo 23 de la Norma GH. 020 del Reglamento Nacional de Edificaciones, la cual propone colocar ocho rampas para discapacitados, cuya pendiente máxima no excederá el 12 por ciento y el

ancho mínimo libre será de 0.9 metros. Asimismo, estas formarán una ruta accesible hasta el ingreso de los locales y establecimientos públicos.

Para la calle Manuel Ugarteche se debe colocar avisos, con el fin de prevenir a los discapacitados de transitar por allí, pues el espacio de la vereda es muy reducido.

5.2.1.5. Restricción de giro en U

En el diseño actual se pudo observar que ciertos vehículos realizaban giros en U en la Av. General Vivanco, resultando en maniobras temerarias y que en la mayoría de veces perjudicaba en gran medida el avance del resto de vehículos y el paso libre de peatones. Esta restricción se usará para que el conductor no pueda girar en 180 grados, pues constituye un factor de riesgo.



Figura 41. Señal de “Prohibido Giro en U”

Fuente: DS 016-2009-MTC (2009)

5.2.1.6. Adicionar señalización para niños

En las cercanías de la intersección se observó que existen colegios, por lo que la afluencia de infantes en la zona es alta. Se ve claramente que la clase de peatones más afectados por el ritmo del tránsito son los niños. Por ello, se plantea colocar señalización especial para ellos, pues en el rediseño de esta tesis prima la movilidad sostenible.



Figura 42. Señal de “Escolares Transitando”

Fuente: DS 016-2009-MTC (2009)

5.2.1.7. Creación de espacios para uso de bicicletas

En esta parte nos guiamos del artículo 6 (Lineamientos técnicos para el diseño y construcción de ciclovías) de la Norma CE.030, el cual indica que la ciclovía dispuesta a un solo lado de la vía debe ser considerado un ancho mínimo efectivo de 2 m por carril. Asimismo, se tomó en cuenta un ancho de segregación de 0.20 m, pues los límites de la ciclovía no son respetados por los conductores; por ello, se usarán elementos que servirán como separadores

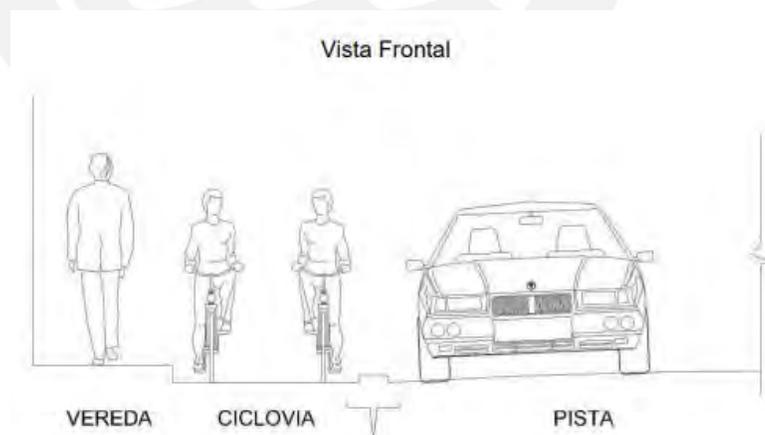


Figura 43. Vista frontal de un modelo de una ciclovía ubicada entre vereda y pista

Fuente: NORMA CE.030 (2014)

Cabe destacar que, respecto al esquema de segregación, nos basamos en el manual Vialidad ciclo- Inclusiva creado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo del Gobierno de Chile, el cual indica que una ciclovía no necesariamente constituye una ruta en sí misma, sino que corresponde a una condición de la calzada cuando el volumen y/o velocidad de los vehículos motorizados generan riesgos a quienes van en bicicletas.

Asimismo, este manual indica que se pueden usar varios modelos de separadores de 20 cm, estos pueden variar en cada ciudad. Sin embargo, más allá de recomendar un modelo en particular, estos deben cumplir las siguientes características:

1. Ser atractivos, con diseño y materiales seguros para el ciclista.
2. Resistir golpes laterales de vehículos pesados y actos de vandalismo.
3. Incorporar elementos reflectantes.
4. Ser desmontable para permitir mantenimiento y estar disponible en el mercado.



Figura 44. Ejemplo de hitos verticales de poliuretano, Bogotá

Fuente: Manual Vialidad Ciclo - Inclusiva

5.2.1.8. Inclusión de semáforos

Debido al elevado flujo vehicular y el poco control existente durante las horas más transitadas se vió conveniente incluir un semáforo con fases similares al que se encuentra aledaño en la Av. Brasil. De modo que las fases consideradas fueron:

- Av. General Vivanco
 - Verde: 35 segundos
 - Amarillo: 3 segundos
 - Rojo: 22 segundos

- Calle Manuel Ugarteche
 - Verde: 19 segundos
 - Amarillo: 3 segundos
 - Rojo: 38 segundos

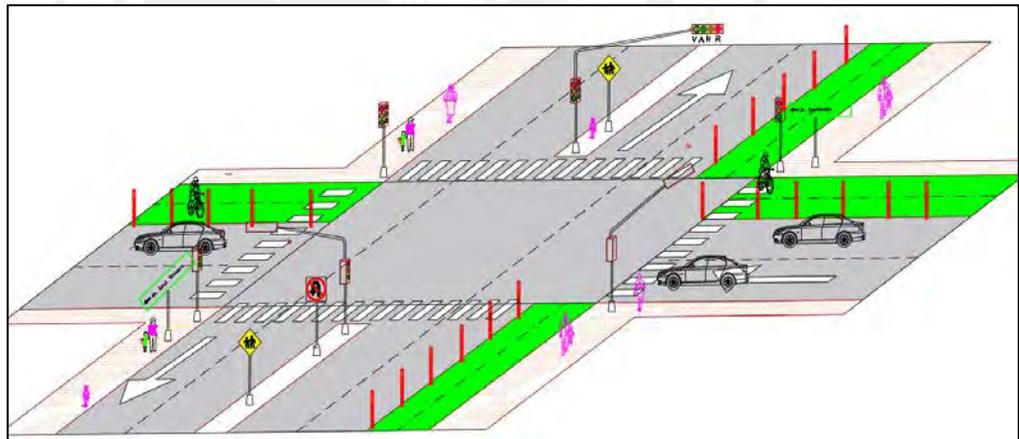


Figura 45. Bosquejo del rediseño de la intersección incluido el semáforo

Fuente: Elaboración propia

5.3. Resultados de la Micro simulación con las propuestas de rediseño

En base a las normas leídas y las propuestas de rediseño se elaboró un esquema en AutoCAD, con la finalidad de que este se inserte en Vissim y sirva de guía para el rediseño. Asimismo, el esquema considera las dimensiones de las nuevas ciclovías, carriles, veredas, separadores y jardines (Figura 47).

Posteriormente, se realizó el modelo en el Vissim, de manera que se usaron los parámetros previamente insertados en la calibración, siendo los parámetros de Wiedemann de $ax=2.5$, $bx_add=4$ y $bx_mult=5$ y para los peatones los parámetros de $Tau =0.4$ y $Lambda=0.176$. Posteriormente, se realizaron 15 corridas para la obtención de los parámetros de eficiencia (Tabla 33).

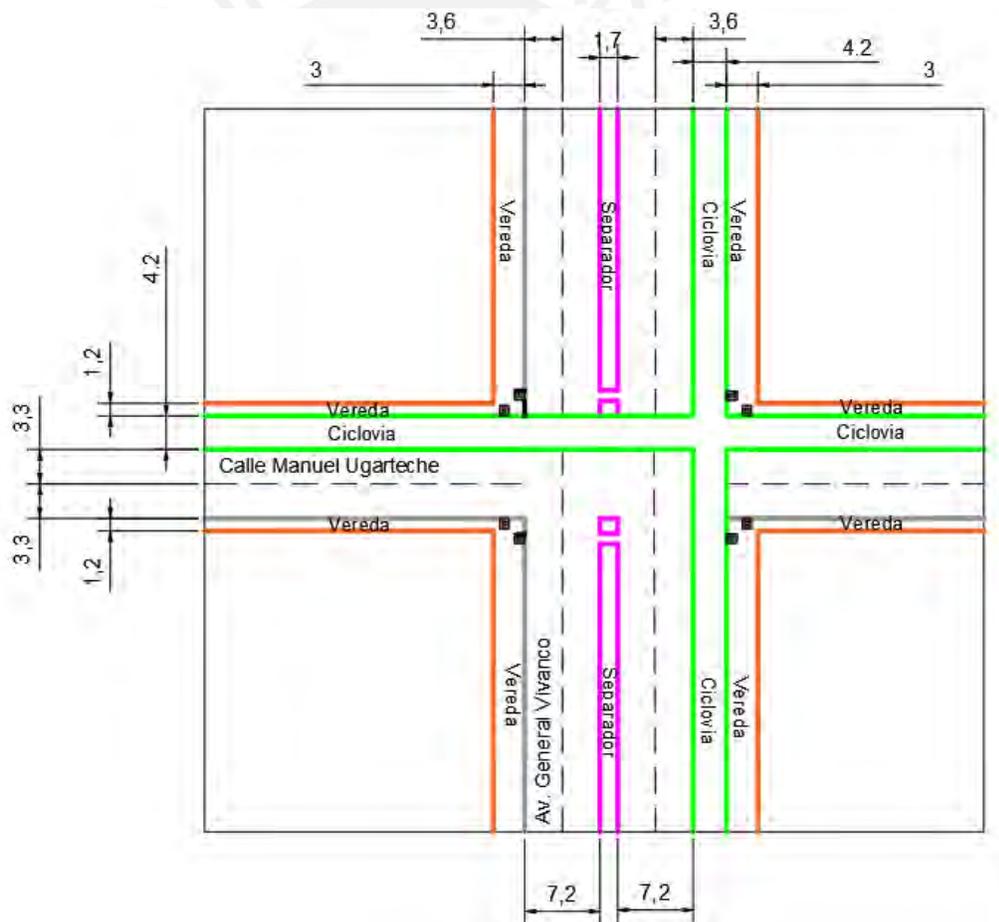


Figura 46. Esquema del rediseño en AutoCAD

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Resultados del desempeño de los vehículos en la vía (Rediseño)

Número de corridas	Intervalo de tiempo (seg)	Demoras (seg/veh)	Tiempo detenido (seg)	Velocidad (Km/h)
1	600-3600	8.20	0.46	21.10
2	600-3600	7.62	0.47	22.70
3	600-3600	7.56	0.46	22.88
4	600-3600	8.22	0.45	21.05
5	600-3600	8.13	0.44	21.28
6	600-3600	8.19	0.48	21.12
7	600-3600	8.15	0.45	21.23
8	600-3600	7.92	0.44	21.84
9	600-3600	7.28	0.45	23.76
10	600-3600	7.95	0.51	21.76
11	600-3600	8.23	0.48	21.02
12	600-3600	8.07	0.44	21.44
13	600-3600	8.11	0.45	21.33
14	600-3600	8.16	0.45	21.20
15	600-3600	7.42	0.45	23.32
PROMEDIO	600-3600	7.95	0.46	21.80
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	600-3600	0.318	0.018	0.910
MÍNIMO	600-3600	7.28	0.44	21.02
MÁXIMO	600-3600	8.23	0.51	23.76

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 33 se puede observar que el resultado promedio de demoras es 7.95 seg/veh; el promedio de tiempo detenido, es de 0.46 seg; y la velocidad promedio, de 21.80 km/h. Por otro lado, para los peatones se obtuvieron resultados relativos a la eficiencia tal y como son la velocidad y tiempo de viaje (Tabla 34)

Tabla 34. Resultados de viaje de los peatones (Rediseño)

Número de corridas	Intervalo de tiempo (seg)	Velocidad (Km/h)	Tiempo de viaje (seg)
1	600-3600	3.23	21.05
2	600-3600	3.27	20.80
3	600-3600	3.33	20.42
4	600-3600	3.17	21.45
5	600-3600	3.29	20.67
6	600-3600	3.31	20.54
7	600-3600	3.16	21.52
8	600-3600	3.49	19.48
9	600-3600	3.53	19.26
10	600-3600	3.28	20.73
11	600-3600	3.72	18.28
12	600-3600	3.49	19.48
13	600-3600	3.17	21.45
14	600-3600	3.39	20.06
15	600-3600	3.58	18.99
PROMEDIO	600-3600	3.36	20.28
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	600-3600	0.168	0.985
MÍNIMO	600-3600	3.16	18.28
MÁXIMO	600-3600	3.72	21.52

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 34 se puede observar que el resultado promedio de velocidades es 3.36 Km/h y del tiempo de viaje es de 20.28 seg.

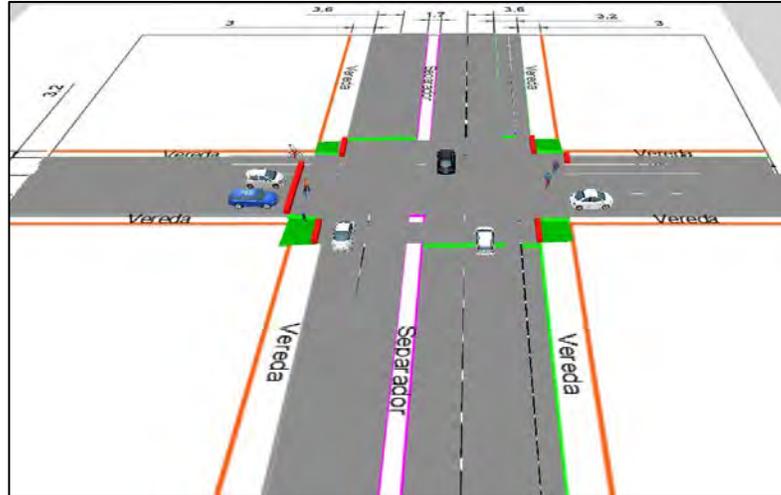


Figura 47. Rediseño de la intersección en VISSIM.

Fuente: Elaboración propia

5.4. Comparación de los resultados del modelo

Se realizará una comparación de los parámetros de eficiencia de vehículos y peatones del diseño actual y del rediseño. Por ello, se hará un análisis estadístico, haciendo uso de la prueba de hipótesis alternativa de diferencias de medias, mediante una prueba no paramétrica en el programa Randomization test.

5.4.1. Demoras de viaje de los vehículos

El tiempo detenido promedio de las demoras en el diseño actual, obtenido de un análisis estadístico, es de 8.54 seg, mientras que en el rediseño el promedio es de 7.95 seg. Luego, se evaluará si las demoras de viaje del rediseño son menores a las del diseño actual.

En la (Figura 49) se aprecia que la diferencia de medias es 0.56, encontrándose este valor en la zona de rechazo, cuyo valor mínimo es 0.45. Por lo que se concluye que la demora de viaje del rediseño es distinta a la del diseño actual y en este caso será más eficiente, pues la demora será menor.

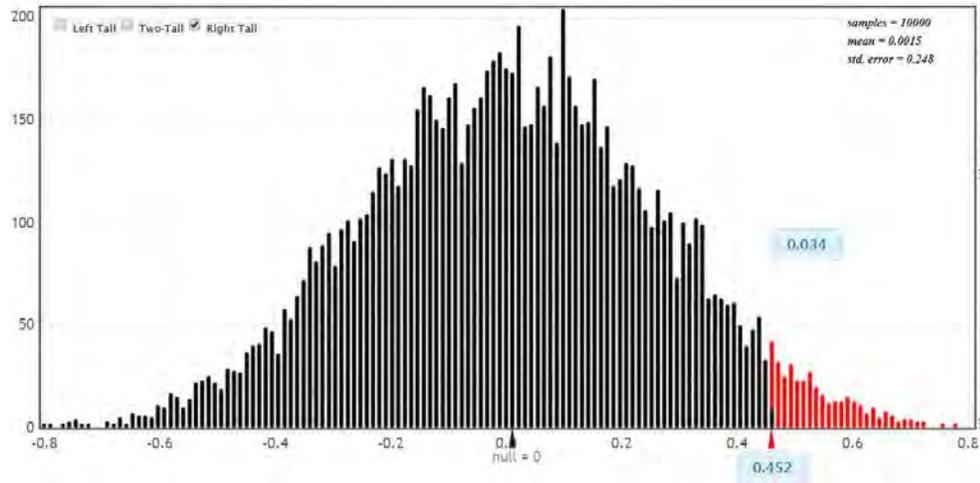


Figura 48. Randomization Test de comparación de demora de viaje ($0.452 < 0.56$).

Fuente: Elaboración propia

5.4.2. Tiempo detenido de los vehículos (paradas)

El tiempo detenido promedio de los vehículos en el diseño actual, obtenido de un análisis estadístico, es de 0.54 seg, mientras que en el rediseño el promedio es de 0.46 seg. A continuación, se evaluará si el tiempo detenido del rediseño es menor a la del diseño actual.

En la (Figura 50) se aprecia que la diferencia de medias es 0.08, encontrándose este valor en la zona de rechazo, cuyo valor mínimo es 0.046. Por lo que se concluye que el tiempo detenido del rediseño es distinto al del diseño actual y en este caso será más eficiente, pues el tiempo detenido será menor.

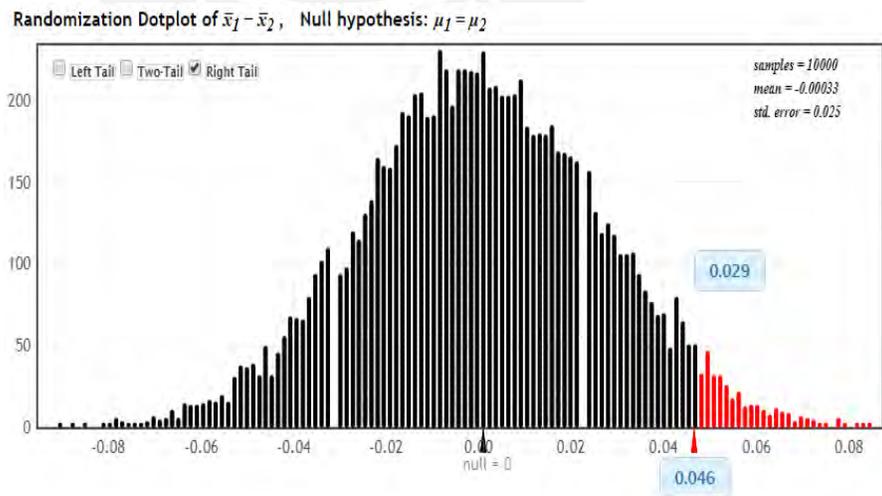


Figura 49. Randomization test de comparación de tiempo de detenido $0.046 < 0.08$.

Fuente: Elaboración propia

5.4.3. Velocidad de viaje de los vehículos

El promedio de la velocidad de los vehículos en el diseño actual, obtenido mediante un análisis estadístico, es de 19.50 Km/h, mientras que en el rediseño el promedio es de 21.80 km/h. A continuación, se evaluará si la velocidad de viaje de vehículos del rediseño es mayor a la del diseño actual.

En la (Figura 51) se aprecia que la diferencia de medias es -2.26, encontrándose este valor en la zona de rechazo, cuyo valor máximo es -1.04. Por lo que se concluye que la velocidad de viaje del rediseño es distinta a la del diseño actual y en este caso será más eficiente, pues la velocidad será mayor.

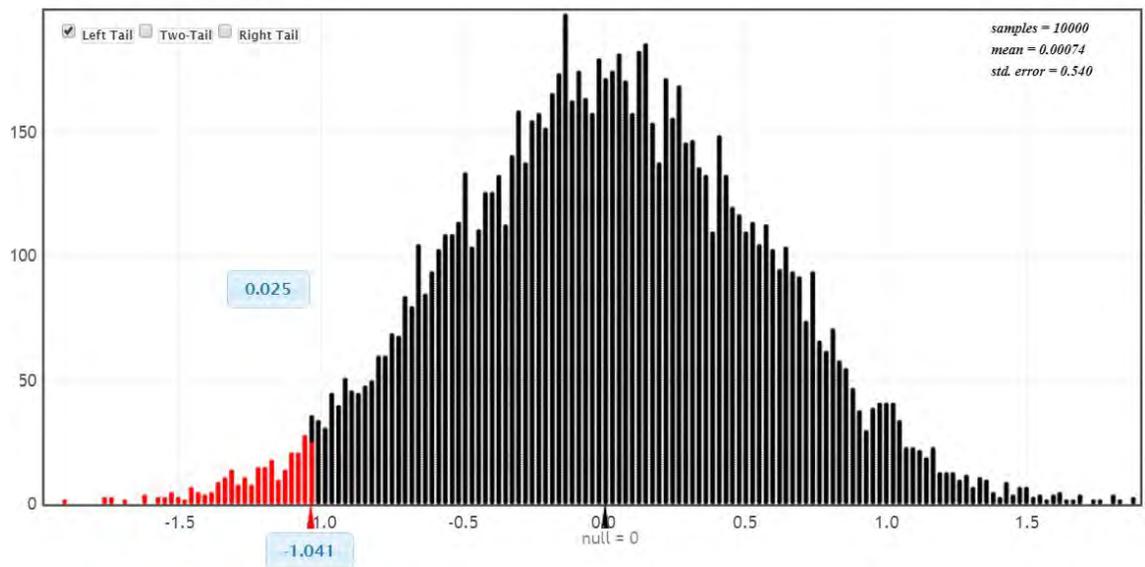


Figura 50. Randomization test de comparación de velocidad de los vehículos ($-2.26 < -1.04$)

Fuente: Elaboración propia

5.4.4. Velocidad de los peatones

El promedio de la velocidad de los peatones en el diseño actual, obtenido mediante un análisis estadístico, es de 3.09 Km/h, mientras que en el rediseño el promedio es de 3.36 km/h. A continuación, se evaluará si la velocidad de peatones del rediseño es mayor a la del diseño actual.

En la (Figura 52) se aprecia que la diferencia de medias es -0.3, encontrándose este valor en la zona de rechazo, cuyo valor máximo es -0.149. Por lo que se

concluye que la velocidad de los peatones del rediseño es distinta a la del diseño actual y en este caso será más eficiente, pues la velocidad será mayor.

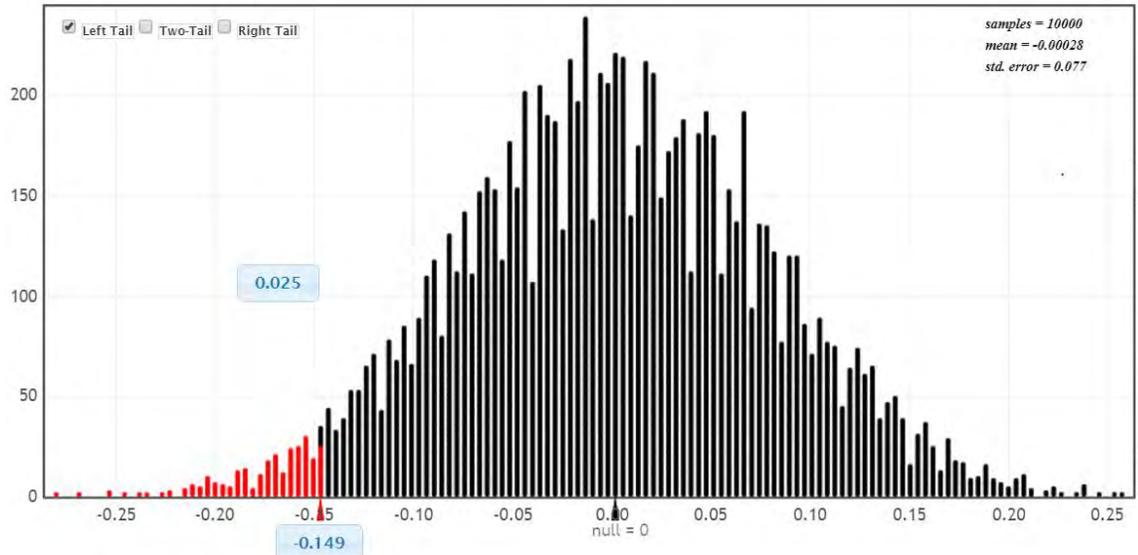


Figura 51. Randomization test de comparación de velocidad de los peatones $-0.3 < -0.149$

Fuente: Elaboración propia

5.4.5. Tiempo de viaje de los peatones

El promedio del tiempo de viaje de los peatones en el diseño actual, obtenido mediante un análisis estadístico, es de 22.09 seg, mientras que en el rediseño el promedio es de 20.28 seg. A continuación, se evaluará si el tiempo de viaje de peatones del rediseño es menor a la del diseño actual.

En la (Figura 53) se aprecia que la diferencia de medias es 2.01, encontrándose este valor en la zona de rechazo, cuyo valor mínimo es 0.948. Por lo que se concluye que el tiempo de viaje de peatones del rediseño es distinto al del diseño actual y en este caso será más eficiente, pues el tiempo será menor.

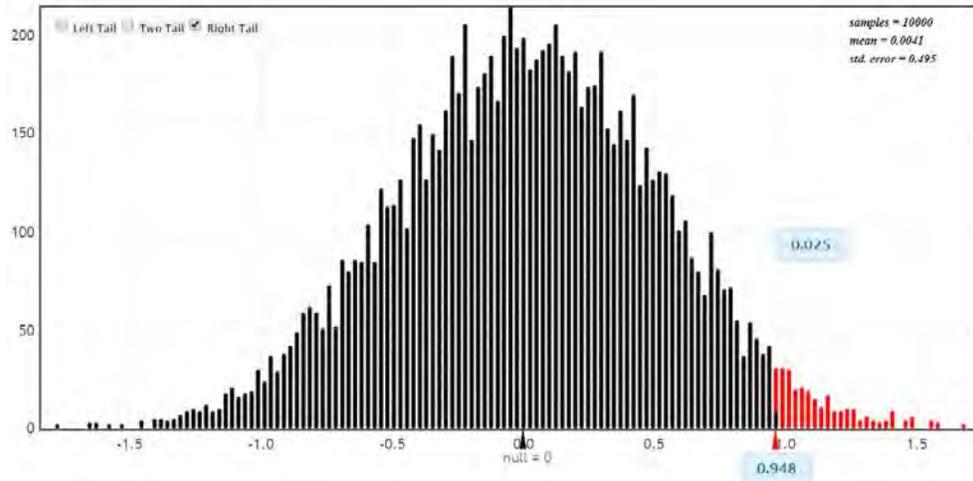


Figura 52. Randomization test de comparación de tiempo de los peatones $0.948 < 2.01$

Fuente: Elaboración propia (2018)

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Para concluir, es necesario indicar que el análisis de cruce de la Av. General Vivanco y la calle Manuel Ugarteche se basó principalmente en tres parámetros de eficiencia vehicular (demoras, tiempo detenido y velocidad) y dos parámetros peatonales (velocidad y tiempo de viaje). Además, se tomó en cuenta la accesibilidad y seguridad de la intersección.

Por otra parte, al realizar el análisis de eficiencia vehicular se puede apreciar que las demoras y el tiempo detenido se redujeron respecto a la calibración, pues la vía mejoró su tránsito al incluir semáforos en esta. Además, la velocidad de los vehículos aumentó, lo cual denota una mayor fluidez en el tránsito de la intersección. Por otra parte, respecto a los peatones, se registró una mayor velocidad en el rediseño en comparación con el diseño actual, esto indica que la vía se volvió más eficiente, pues hay un mayor control de los vehículos que se desplazan por la intersección, dando más libertad de cruce a los peatones. Consecuentemente, aumentar la velocidad ocasionará un menor tiempo de viaje.

La inclusión del semáforo era necesaria, puesto que la vía presentaba un alto tráfico que dificultaba el cruce de los peatones y representaba un peligro para estos. Adicionalmente, para mejorar la seguridad se incluyó señalización para escolares, así como también indicadores para personas con discapacidad. Asimismo, se decidió prohibir el giro en "U" en la Av. General Vivanco, puesto que representa una situación de peligro tanto para peatones como para conductores y genera congestión en la vía.

Si bien es cierto, los resultados de la presente tesis serán válidos hasta un periodo de tiempo no mayor a cuatro años, pues las condiciones y características de las vías estudiadas variarán con el tiempo, como resultado de la evolución de la ciudad y de su economía. Sin embargo, los pasos seguidos y la metodología aplicada seguirán siendo utilizables. Asimismo, se debe buscar simular el comportamiento real de la vía dentro del Vissim, por ello es que se debe ser minucioso al momento de determinar el alcance del proyecto y la recolección de datos ya que gran parte de la validez del estudio se perdería si los datos no fueran correctos.

Por otro lado, el software facilita la comparación entre la situación actual y la propuesta de rediseño para poder cuantificar las mejoras en la situación actual. De manera que se pueda determinar si dichos cambios representan un beneficio o no, frente a la problemática observada. Un ejemplo de mejora se puede apreciar al constatar los parámetros de eficiencia vehicular y peatonal, los cuales en su totalidad fueron más eficiente respecto al diseño actual.

Otro avance importante en la infraestructura de la vía se puede apreciar en la ciclo vía incluida, que pasó de estar en un total desuso y representar un peligro para los ciclistas; a ser una ciclo vía funcional, segura y con su propia señalización que evitará conflictos con la vía principal.

Los resultados iniciales indicaron que el rediseño será más eficiente, pues las demoras y los tiempos detenidos de los vehículos se redujeron en un 6.89% y 15.21%, respectivamente; la velocidad de viaje de los vehículos aumentó en un

11.82%. Asimismo, para los peatones la velocidad aumentó en un 8.81% y el tiempo de viaje disminuyó en un 8.21 %.

RECOMENDACIONES

Una de las principales razones por las que se realizó esta tesis fue para promover

el uso de software de micro simulación con el fin de evitar rediseños erróneos que son tan comunes en nuestras vías actuales; pues estos errores solo llevan a pérdidas de tiempo, dinero y recursos. Asimismo, es necesario recalcar que no basta con el uso de un programa, sino que también se necesita herramientas que lo complementen como normas y reglamento para establecer medidas y AutoCAD para realizar los planos que sean necesarios.

Otra sugerencia es respecto a la toma de datos, la cual consiste en que los valores de calibración y validación sean similares; por lo que se aconseja realizarla a la misma hora. Además, se recomienda filmar la intersección para así poder ver lo que acaece repetidas veces y apuntar los datos que sea necesarios.

Por otra parte, se aconseja hacer énfasis en un enfoque de movilidad sostenible, es decir, poner al peatón como el centro del rediseño, además de incluirle facilidades de transporte. Esto guiará a las futuras propuestas a tener un mejor desempeño en cuanto a la movilidad sostenible.

Finalmente, otra recomendación consiste en revisar los resultados obtenidos del software VISSIM, pues estos no siempre van a ser certeros; por ello, se debe constatar con la realidad para evitar datos que estén fuera de lo común. Como consecuencia de esto, existen parámetros que colaboran con la solución de estos errores y permiten ajustarlos a la realidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcalá, M. (2016). *Micro simulación del tráfico de la intersección de las avenidas Bolívar, Córdoba y calle Andalucía empleando el software Vissim 6*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú
- Alvarez, J. (2017). *Micro-Simulación Intermodal En La Ciudad Del Cusco*. Lima: PUCP
- Avilés, C. (2017). *Microanálisis De Los Desplazamientos*. Lima: PUCP.
- Barrera, D. (2016). *Modelos Deterministicos y Probabilisticos*. Caracas: Universidad José María Vargas.
- Bloomberg, L.& Dale, J. (2000). A comparison of the Vissim and Corsin traffic simulation models. Oakland: Institute of Transportation Engineers Annual Meeting.
- Cabrera, F. (2012). MICRO SIMULACIÓN DE VEHÍCULOS Y PEATONES. *CIVILÍZATE*, 33-34.
- Carvalho. (2003). *Sistema de Eventos Continuos*. Obtenido de <https://simulacion5stec.wordpress.com/2012/01/29/sistema-de-eventos-continuos/>
- Dowling, R., Skabardonis, A., Halkias, J., McHale, G., & Zammit, G. (2004). Guidelines for calibration of microsimulation models: framework and applications. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1876), 1-9.
- Fellendorf, M. & Vortisch, P. (2010). *Microscopic traffic flow simulator Vissim*. Alemania: International Series in Operation Research and Management Science.
- FHWA (2004). *Traffic analysis toolbox Volume II: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software*. Washington: FHWA-HRT-04-040.
- Flores , Y. (2016). *Micro-Simulación De La Intersección De La Avenida*. Lima: PUCP.
- Gao, dY.d(2008). *Calibration and comparison of the Vissim and integration microscopic traffic simulation model*. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute.
- González, J. D. (2011). *Estudio de modelos para tráfico peatonal y su aplicación a pasillos en diferentes escenarios*. Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Matemáticas, México D.F.
- Helbing, D. & Molnár, P. (1995). *Social force model for pedestrian dynamics*. Institute of Theoretical Physics.
- Legua, G., & Sabino, M. (2016). *Estudio de vida pública y micro simulación*. Lima: PUCP.

Narváez, R. & Zapardiel, A. (2015). Modelación del tránsito vehicular en el sector bomba El Ampari-Sao la Plazuela, Cartagena por medio del software PTV Vissim. Cartagena: Universidad de Cartagena.

Papageorgiou G. (2006). Towards a microscopic simulation model for traffic management: A computer-based Approach. Cyprus: University of Cyprus.

PTV Group. (2015). *PTV Vissim 8. User Manual*. Karlsruhe

Rodriguez, D. H. (2015). *MODELO PARA MICRO-SIMULACIÓN DE TRÁFICO VEHICULAR Y PEATONAL UTILIZANDO CUDA*. Colombia: Universidad de los Andes.

Siddharth S. & Gitakrishnan R. (2013). Calibration of VISSIM for Indian Heterogeneous Traffic Conditions. Chennai: Department of Civil Engineering.

