

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**ANÁLISIS DEL TRÁFICO Y PROPUESTA DE MEJORA EN LA
INTERSECCIÓN DE LA AV. ARNALDO MÁRQUEZ Y LA CALLE
NAZCA EN LA CIUDAD DE LIMA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORA:

Rodriguez Maza, Zayuri Ivonne

ASESOR:

Ing. Cabrera Vega, Felix Israel

Lima, diciembre, 2019

RESUMEN

Los problemas de congestión vehicular y la falta de inclusión de los distintos modos de transporte son preocupantes en la ciudad, debido al mal diseño y la falta de prioridad en el sistema vial de los usuarios más vulnerables. En el presente estudio, se hace una mejora al diseño actual de la intersección de la Av. Arnaldo Márquez con la Av. Nazca y se realiza un análisis peatonal y vehicular, para luego presentar una propuesta de rediseño.

El trabajo se inició con la revisión de la literatura de los temas relacionados al que se tocó y la explicación de temas de diseño de intersecciones, así como modelos de estudio del tráfico; fundamentos de la micro-simulación vehicular y peatonal; seguridad vial y accesibilidad; congestionamiento y tráfico; y, normativas sobre infraestructura vial.

En primer lugar, la metodología comenzó con la recolección de los datos de campo necesarios, donde destacan el aforo vehicular y peatonal; las velocidades de vehículos y peatones; los tiempos de viaje vehicular y peatonal en las etapas de calibración y la de validación.

Posteriormente, se procedió a realizar los modelos de micro-simulación del diseño actual para la etapa de validación y calibración. Después de ello, se obtuvieron los resultados en base a los parámetros de eficiencia del diseño para los dos procesos, los cuales fueron analizados estadísticamente mediante el uso del programa STATKEY.

Por último, se analizan los mismos parámetros para presentar posibles soluciones a los problemas en la intersección y presentar una propuesta de rediseño en donde se tuvo como prioridad la seguridad vial y la accesibilidad.

Finalmente, se concluye que las mejoras implementadas, con una visualización integral del problema en esta intersección, priorizan a los usuarios más vulnerables y permiten un adecuado re-ordenamiento de la circulación vehicular en la intersección, esto gracias a un adecuado análisis de los resultados y rediseño de la vía.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres que siempre me apoyaron y me dieron fuerzas para lograr mis metas.

A mi hermano y hermana que, con su perseverancia, me impulsaron a crecer y mostrar lo mejor de mí.

A mi familia que me motivo a superarme y desarrollar todo mi potencial.

A mis compañeros de estudio que me apoyaron incondicionalmente.

A mi asesor y gran docente Israel Félix Cabrera por sus consejos y enseñanzas sobre la profesión y la vida.

A mis amigos que, con su confianza y palabras de aliento, me brindaron fuerzas para culminar este proyecto.



Índice

Capítulo 1. Aspectos generales	12
1.1. Introducción.	12
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivos generales.	14
1.2.2. Objetivos Específicos.	14
1.3. Alcance del proyecto.	14
Capítulo 2. Revisión de la literatura	15
2.1. Aspectos generales del sistema de transporte.	15
2.1.1. Efectos positivos y negativos que produce el sistema de transporte.....	15
2.1.2. Infraestructura vial actual y el desarrollo social.	15
2.1.3. Factores que intervienen en el problema del tránsito y tipos de solución.	16
2.1.4. Características de los elementos básicos que generan el flujo de tránsito (el peatón, los conductores, los vehículos, los dispositivos de control y las vías).	17
2.1.5. Las variables del flujo del tránsito (volumen del tráfico, velocidad vehicular, flujo vehicular, capacidad vehicular, tiempos de viaje, colas y congestión).	19
2.1.6. Semaforización en el sistema de transporte.....	22
2.1.7. Intersecciones en el sistema de transporte.....	22
2.2. Criterios de diseño y control de tráfico en intersecciones.	23
2.2.1. Intersecciones controladas por semáforos.	23
2.2.2. Intersecciones no controladas por semáforos.	24
2.2.3. Canalización de las intersecciones.	25
2.3. Modelos del tránsito vehicular.	26
2.4. Modelos de Simulación del tránsito vehicular.	27
2.5. Fundamentos de la micro-simulación.	28
2.5.1. Número de semilla y naturaleza aleatoria.	29
2.5.2. Múltiples corridas en la simulación.	29
2.5.3. Periodo de estabilización del sistema y Warm up.	30
2.5.4. Modelos de seguimiento vehicular o Método del vehículo flotante (car following models).	31
2.5.5. Modelos de Wiedemann.	32
2.5.6. Modelos de cambio de carril.....	34
2.5.7. Modelos de simulación peatonal.....	34
2.6. PTV VISSIM 8.0.	35
2.6.1. Antecedentes y aplicación del software.	35
2.6.2. Modelamiento de infraestructura en PTV VISSIM 8.0.....	36
2.6.3. Modelamiento de tráfico en PTV VISSIM 8.0.....	37
2.6.4. Control de tráfico en PTV VISSIM 8.0.	37
2.7. Uso de datos para calibración y validación del modelo.	38
2.7.1. Uso de datos de entrada.....	38
2.7.2. Uso de los datos de salida.....	38
2.8. Calibración y Validación del modelo.	38

2.8.1. Calibración del modelo.	38
2.8.2. Validación del modelo.....	39
2.9. Planes estratégicos para la planificación del transporte.....	39
2.9.1. Seguridad vial.	40
2.9.2. Accesibilidad.	41
2.10. Normativas nacionales e internacionales sobre planificación del transporte.	42
2.10.1. Señalización en la intersección vial.	43
2.10.2. Semaforización en la intersección.....	44
2.10.3. Anchos adecuados de los carriles.....	45
2.10.4. Veredas.	45
2.10.5. Visibilidad en las intersecciones	46
2.10.6. Extensión de los bordes de esquina.....	46
2.10.7. Uso de cruces peatonales.....	47
2.10.8. Uso de rampas continuas en cruces.....	48
Capítulo 3. Metodología	49
3.1. Recolección de los datos de campo.	49
3.1.1. Equipo necesario para la toma de datos.	50
3.2. Datos fundamentales para el modelo de calibración.	51
3.2.1. Geometría del área analizada.	51
3.2.2. Análisis del aforo vehicular.	52
3.2.3. Aforo vehicular para calibración.	54
3.2.4. Aforo peatonal para calibración.....	56
3.2.5. Velocidades de peatones para calibración.	57
3.2.6. Velocidades de vehículos para calibración.....	58
3.2.7. Velocidades de giro para vehículos.....	60
3.2.8. Tiempos de viaje vehicular cola para la Calibración.	60
3.2.9. Tiempos de viaje peatonal para la Calibración.	61
3.3. Datos Fundamentales para la validación del modelo	62
3.3.1. Aforo vehicular para Validación.....	63
3.3.2. Aforo Peatonal para Validación.....	65
3.3.3. Velocidad peatonal para validación.	65
3.3.4. Velocidad vehicular para validación.	66
3.3.5. Tiempo de viaje vehicular para la Validación.	66
3.3.6. Tiempo de viaje peatonal para la Validación.	67
Capítulo 4. Modelo de micro-simulación de la intersección	69
4.1. Desarrollo del modelo vehicular actual en PT VISSIM 8.0.	69
4.1.1. Importación de la ubicación de la intersección y escala de la imagen en el software.	69
4.1.2. Creación de las vías de la intersección con Links, conectores y asignación de rutas estáticas.	70
4.1.3. Composición vehicular para calibración.	70
4.1.4. Flujo total y porcentaje de los vehículos para cada carril.	72
4.1.5. Velocidades de los vehículos y velocidades de giros.....	72

4.1.6. Reglas de prioridad en la red.	73
4.2. Calibración del modelo vehicular.	73
4.2.1. Determinación de los tiempos de viaje vehicular.	73
4.2.2. Parámetros del comportamiento del conductor de Wiedemann.	74
4.2.3. Prueba de Hipótesis nula de igualdad de medias para vehículos.	74
4.3. Calibración del modelo peatonal.	78
4.3.2. Determinación de los tiempos de viaje peatonal.	78
4.3.3. Parámetros del comportamiento del peatón.	78
4.3.4. Evaluación del número de corridas del modelo para peatones.	78
4.3.5. Prueba de Hipótesis nula de igualdad de medias para peatones.	79
4.4. Validación del modelo.	82
4.4.1. Validación del modelo vehicular.	82
4.4.2. Validación para peatones.	86
Capítulo 5. Resultados y propuestas de rediseño.	89
5.1. Resultados de la Micro-simulación del escenario actual.	89
5.2. Propuestas de mejora.	90
5.2.1. Señalización en la intersección.	92
5.2.2. Semaforización en la intersección.	92
5.2.3. Anchos adecuados de los carriles.	93
5.2.4. Veredas.	94
5.2.5. Extensión de los bordes de esquina.	94
5.2.6. Uso de cruceros peatonales.	95
5.2.7. Uso de rampas continuas en cruceros.	96
5.3. Resultados de la Micro-simulación con las propuestas de rediseño.	96
5.4. Comparación de los resultados del modelo actual con el rediseño.	98
5.4.1. Análisis y evaluación estadística de las demoras de viaje de los vehículos.	98
5.4.2. Análisis y evaluación estadística del tiempo detenido de los vehículos.	98
5.4.3. Análisis y evaluación estadística de la velocidad de viaje de los vehículos.	99
5.4.4. Análisis y evaluación estadística del tiempo de viaje de los vehículos.	100
5.4.5. Análisis y evaluación estadística de la velocidad de los peatones.	101
5.4.6. Análisis y evaluación estadística del tiempo de viaje de los peatones.	101
Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones.	103
6.1. Conclusiones.	103
6.2. Recomendaciones.	106
CAPÍTULO 7. REFERENCIAS.	107
CAPÍTULO 8. ANEXOS.	111

Índice de Figuras

Figura 1.1 Efectos del aumento progresivo del tráfico.....	2
Figura 2.1 Relaciones del tiempo y espacio entre vehículos.....	9
Figura 2.2 Tipos de movimiento de los flujos vehiculares.....	12
Figura 2.3 Vías controladas por semáforos.....	13
Figura 2.4 Intersecciones no controladas por semáforos.....	14
Figura 2.5 Modelos analíticos y determinísticos (simulación).....	15
Figura 2.6 Categorías de estudio por niveles de detalle.....	17
Figura 2.7 Nivel de confiabilidad.....	19
Figura 2.8 Método de réplicas independientes con periodos transitorios.....	20
Figura 2.9 Modelo de seguimiento vehicular.....	22
Figura 2.10 Accidentabilidad en el transporte.....	30
Figura 2.11 Movilidad y accesibilidad en el transporte.....	31
Figura 2.12 Marcas en el pavimento.....	32
Figura 2.13 Señales reguladoras, preventivas e informativas.....	32
Figura 2.14 Semáforos pre-sincronizados con tiempos predeterminados.....	33
Figura 2.15 Visibilidad.....	35
Figura 2.16 Bordos de esquina.....	36
Figura 2.17 Tipos de cruceo.....	36
Figura 3.1 Pasos secuenciales a seguir para este estudio.....	38
Figura 3.2 Bosquejo de la geometría del lugar estudiado.....	40
Figura 3.3 Vista de los vehículos que se dirigen al Norte en la intersección.....	41
Figura 3.4 Vista de los vehículos que se dirigen al Este.....	41
Figura 3.5 Líneas que representan el flujo vehicular en calle Nazca.....	42
Figura 3.6 Líneas que representan el flujo vehicular en Av. Arnaldo Márquez.....	42
Figura 3.7 Flujograma en la calle Nazca.....	45
Figura 3.8 Flujograma de Av. Arnaldo Márquez.....	45
Figura 3.9 Líneas de deseo del origen 1.....	46
Figura 3.10 Grafico de la velocidad promedio en la intersección.....	48
Figura 3.11 Longitud de 33 m para determinar el tiempo de viaje vehicular.....	49
Figura 3.12 Medición del tiempo de viaje peatonal.....	51
Figura 3.13 Flujo vehicular de validación en calle Nazca.....	52
Figura 3.14 Flujo vehicular de validación en Av. Arnaldo Márquez.....	52
Figura 4.1 Captura del Google earth introducida en el VISSIM.....	59
Figura 4.2 Opción Links para el dibujo de vías y conexiones.....	59
Figura 4.3 Esquema de carriles A y B.....	63
Figura 4.4 Prueba de hipótesis nula de tiempo de viaje vehicular.....	66
Figura 4.5 Esquema de cruce 1-4 y 4-1.....	69

Figura 4.6 Prueba de hipótesis nula del tiempo de viaje peatonal.....	71
Figura 4.7 Prueba de hipótesis nula del tiempo de viaje vehicular.....	74
Figura 4.8 Prueba de hipótesis nula del tiempo de viaje peatonal.....	77
Figura 5.1 Problemas en la Av. Arnaldo Márquez.....	80
Figura 5.2 Problemas en la calle Nazca.....	80
Figura 5.3 Rediseño de Intersección en AutoCAD.....	81
Figura 5.4 Rediseño de Intersección en PTV VISSIM 8.....	81
Figura 5.5 Ancho de los carriles.....	82
Figura 5.6 Ciclo de semáforos.....	82
Figura 5.7 Ancho de las veredas.....	83
Figura 5.8 Ancho de los bordes de esquina.....	84
Figura 5.9 Cruceos peatonales.....	84
Figura 5.10 Rampas continuas.....	85
Figura 5.11 Randomization Test de comparación de tiempo de viaje de vehículos $-2.812 < 7.25$	87
Figura 5.12 Randomization Test de comparación de velocidad de los peatones $-0.07 < 0.080$	88
Figura 5.13 Randomization Test de comparación de tiempo de viaje de peatones $-0.832 < -1.45$	88
Figura 5.14 Randomization Test de comparación de tiempo de viaje de vehículos $-0.36 < 0.888$	89
Figura 5.15 Randomization Test de comparación de tiempo de viaje de vehículos $-0.675 < -1.61$	90
Figura 5.16 Randomization Test de comparación de velocidad de los peatones $0.515 < 1.61$	90
Figura 5.17 Randomization Test de comparación de tiempo de viaje de peatones $-1.091 < 3.2$	91



Índice de Tablas

Tabla 2.1 Ancho de veredas según el tipo de habilitación y vía.....	34
Tabla 2.2 Pendientes de las rampas.....	37
Tabla 3.1 Formato para el conteo de peatones.....	39
Tabla 3.2 Formato para el conteo del número de vehículos.....	39
Tabla 3.3 Aforo vehicular para calibración.....	44
Tabla 3.4 Aforo peatonal según líneas de deseo.....	46
Tabla 3.5 Velocidad promedio de peatones.....	47
Tabla 3.6 Velocidad promedio de vehículos en la intersección.....	48
Tabla 3.7 Datos de tiempo de viaje de vehículos.....	50
Tabla 3.8 Tiempo de viaje peatonal para origen 1.....	51
Tabla 3.9 Aforo vehicular para validación.....	53
Tabla 3.10 Aforo peatonal para validación.....	54
Tabla 3.11 Velocidad promedio de peatones.....	54
Tabla 3.12 Velocidad de vehículos promedio en la intersección.....	55
Tabla 3.13 Tiempo de viaje vehicular para validación.....	56
Tabla 3.14 Tiempo de viaje peatonal del origen 1.....	57
Tabla 4.1 Cantidad total de cada tipo de vehículo del carril A.....	60
Tabla 4.2 Porcentaje total de cada tipo de vehículo en carril A.....	60
Tabla 4.3 Porcentaje total de las rutas de los vehículos en carril A y B.....	61
Tabla 4.4 Resultado de datos recolectados.....	64
Tabla 4.5 Tiempo de viaje vehicular obtenidas en campo para calibración.....	65
Tabla 4.6 Corridas de tiempo de viaje vehicular obtenidas en PTV VISSIM 8 para calibración.....	66
Tabla 4.7 Tiempos promedio de viaje peatonal de cada cruce obtenidas en campo.....	68
Tabla 4.8 Resultados promedio de tiempo de viaje peatonal entre PTV VISSIM 8 y campo.....	68
Tabla 4.9 Resultados de los datos recolectados.....	69
Tabla 4.10 Tiempo de viaje peatonal obtenidos del campo para calibración.....	70
Tabla 4.11 Corridas del tiempo de viaje peatonal obtenidas del PTV VISSIM 8 para calibración.....	70
Tabla 4.12 Resultados de datos recolectados.....	72
Tabla 4.13 Tiempo de viaje vehicular obtenidas del campo para validación.....	73
Tabla 4.14 Corridas del tiempo de viaje vehicular obtenidos del PTV VISSIM 8 para validación.....	74
Tabla 4.15 Resultados de datos recolectados.....	75
Tabla 4.16 Tiempo de viaje peatonal obtenidas del campo para validación.....	76
Tabla 4.17 Corridas del tiempo de viaje peatonal obtenidas del PTV VISSIM 8 para validación.....	76
Tabla 5.1 Resultados del desempeño de los vehículos en la vía.....	78
Tabla 5.2 Resultados del desempeño peatonal.....	79
Tabla 5.3 Resultados del desempeño vehicular en la vía.....	86
Tabla 5.4 Resultados del desempeño peatonal.....	86

Índice de Ecuaciones

Ecuación 2.1 Múltiples corridas de simulación.....	18
Ecuación 2.2 Modelo de general Motors.....	19
Ecuación 2.3 Modelo de Fuerza Social.....	23
Ecuación 2.4 Múltiples corridas en una simulación.....	24



Capítulo 1. Aspectos generales

1.1. Introducción.

Para el desarrollo de este siguiente estudio, haremos un breve reseña histórica a través del tiempo del origen y aparición de los primeros caminos, ya que desde el siglo XIX surge la necesidad de crear superficies de rodamiento para el funcionamiento de tránsitos incipientes. Los primeros caminos surgieron en los pueblos como el asirio y el egipcio, en las que se evidencia la existencia de rutas entre Asia y Egipto (Cal y Mayor, 1972). Con la aparición del Imperio Romano se llega a consolidar los primeros caminos científicamente construidos (Cal y Mayor, 1972). En América, se desarrollaron los caminos en dos grandes civilizaciones, tales como la cultura Maya y el Imperio Incaico (Cal y Mayor, 1972). Así es como el transporte fue evolucionando, a través de la desaparición de vehículos de tracción animal y la aparición de los vehículos modernos como lo fueron los carruajes y luego los primeros automóviles.

Actualmente, el problema no radica en la disparidad entre el vehículo y las vías, como se planteó en el siglo XIX, sino en el aumento desmedido del número de vehículos y los efectos secundarios de este fenómeno, tal como se muestra en la figura 1.2. Si bien es cierto que la mayoría de estos problemas tienen como causa principal una infraestructura de transporte ineficiente, en el siglo XIX no se consideró un replanteo de trazos urbanos correctos; no se tomó en cuenta los diferentes automóviles que transitaban en las vías; no se hizo una planificación en el transporte; no se consideró al automóvil como un factor de futuros problemas en el tránsito, y no hubo interés del gobierno para reglamentar el tránsito, mediante el uso de aparatos de control del flujo vehicular (Cal y Mayor, 1972); por ello, recién en este siglo XXI, se está evidenciando las consecuencias de lo que no se hizo más los problemas ambientales que ha ocasionado una mala gestión del transporte, es decir, se tuvo una indebida proyección a futuro del sistema de tránsito dentro de las ciudades, así como se observa en la ciudad de Lima. Por ello, varios distritos de la ciudad de Lima sufren diversos problemas de caos vehicular, tráfico en las vías, contaminación y otros problemas como se observa en la figura 1.2.

Como lo revela un estudio, realizado por la agencia de Marketing y la Escuela de Postgrado de la Universidad del Pacífico, que el 92% de limeños sufren de estrés del tráfico urbano (Peru21, 2017) y que el 21.3% de los encuestados invierten en un rango de 2 y 3 horas para desplazarse (Correo, 2018). Esto indica que la quinta parte de la población limeña pierde hasta 3 horas de su día laboral, lo cual solo nos puede dar a conocer que las causas de estos problemas son las razones anteriormente mencionadas, tales como exceso vehicular, vías en mal estado, una falta de cultura vial, y el problema ambiental.



Figura 1.1 Efectos del aumento progresivo del tráfico.

Tomado de la Junta de Andalucía, 2018.

Naturalmente, sería complicado realizar ensayos empíricos para hallar soluciones de manera rápida, pues estos ensayos ocasionarían un mayor caos vehicular. Ante problemáticas similares, en diversas ciudades del mundo, se han creado en las últimas décadas diversos softwares que permiten la mejora del tráfico en cualquier ciudad cuando se quiere realizar nuevas vías o mejorar vías existentes de tránsito vehicular como peatonal. Con el fin de poder aplicar estas herramientas tecnológicas y simultáneamente mejorar y observar el estado del tráfico en las calles de la ciudad de Lima, en esta siguiente investigación se realizará un estudio en la intersección vial de la Av. Arnaldo Márquez y la calle Nazca para entender desde un modelo microscópico lo que sucede de manera general en el tránsito vehicular. Se realizará una micro-simulación para gestionar el tránsito tomando en cuenta varios parámetros como los tiempos de viaje y las velocidades tanto peatonales como vehiculares; sin embargo, antes de ello, se recolectarán todos los datos necesarios para poder trabajar dentro del programa PTV VISSIM 8.0. Además, en este proyecto, se evaluará las posibles soluciones de los problemas que presenta la intersección vial; por ejemplo, la factibilidad del uso de ciclovías, semaforización y señales de tránsito.

Finalmente, una vez planteada algunas modificaciones, se podrá crear un rediseño de la vía, con el objetivo de optimizar el flujo vehicular y peatonal aumentando la seguridad vial y aminorando el tráfico, así como el número de accidentes de tránsito.

1.2. Objetivos.

El objetivo general es evaluar cómo se puede mejorar una intersección, mediante el uso de los parámetros de tiempo de viaje y de velocidad, correspondientes a los peatones y vehículos.

1.2.1. Objetivos generales.

El objetivo general es evaluar cómo se puede mejorar una intersección haciendo uso del software PTV VISSIM 8.0 mediante la evaluación de los parámetros de tiempo de viaje y de velocidad correspondientes a los peatones y a los vehículos respectivamente.

1.2.2. Objetivos Específicos.

Los objetivos específicos, para realizar este proyecto, son los siguientes puntos:

- Analizar las características de desplazamiento de todos los usuarios en la intersección de la Av. Arnaldo Márquez con la Calle Nazca, ubicado en la ciudad de Lima.
- Plantear propuestas de mejora de la intersección como mayor accesibilidad, seguridad vial y movilidad sostenible teniendo como prioridad a los usuarios más vulnerables.

1.3. Alcance del proyecto.

El propósito de este estudio es contar con la información necesaria de la vía actual, es decir, la intersección de la Av. Arnaldo Márquez y Calle Nazca, para poder realizar un diseño posteriormente y plantear un rediseño que brinde un mejor comportamiento de los vehículos y los peatones, en base a sistemas de control vehicular y peatonal. El análisis de esta intersección responde al interés de estudiar los problemas de tránsito en estas dos vías secundarias de la ciudad de Lima, debido a que se ha evidenciado un creciente aumento del flujo de vehículos en la zona, así como la falta de priorización de los usuarios más vulnerables.

Capítulo 2. Revisión de la literatura

2.1. Aspectos generales del sistema de transporte.

El transporte es una actividad económica que está conformada por tres elementos importantes como la infraestructura, los vehículos y las empresas de servicio de transporte (Truyols, Martínez y Alcubilla, 2004). Los objetivos, por las que se empezó a desarrollar un sistema de transporte en el siglo XIX, fueron para mejorar la accesibilidad territorial; conectar los centros de producción con los de consumo; permitir el desplazamiento de mercancías y de personas; conseguir accesos a las múltiples poblaciones; elevar la productividad y el rendimiento en distintos sectores; fomentar relaciones sociales y culturales; e influir en la modernización del país. Esto se resume a que el sistema de transporte cumple funciones esenciales como las económicas, sociales, estratégicas y públicas (Truyols, Martínez y Alcubilla, 2004).

2.1.1. Efectos positivos y negativos que produce el sistema de transporte.

El transporte tiene como efectos positivos el aumento de la calidad de vida, mayor libertad de movimiento para el destino que se desee llegar y el incremento de la producción de la economía. Como efectos negativos destacan la accidentabilidad, el gran impacto ambiental, la generación de una economía sumergida, y la creación de elevados costes de amortización y mantenimiento (Truyols, Martínez y Alcubilla, 2004).

2.1.2. Infraestructura vial actual y el desarrollo social.

El crecimiento de una región se ve limitado por la insuficiente conectividad, ya sea en el interior de la misma comunidad o en vinculación con las comunidades vecinas. Esta relación entre un sistema de transporte y el desarrollo social se puede entender con más claridad mediante el modelo de Manheim (Solminihac, 2004). Este modelo explica que esta dinámica o relación entre estos dos fenómenos puede ser entendida en base a tres variables esenciales como el sistema de transporte, el sistema de actividades y la estructura del flujo (Solminihac, 2004). Este modelo evidencia la importancia que tienen los planificadores del sistema de transporte, ya que la calidad de la circulación de los usuarios, en distintos modos de transporte, genera impactos sobre otros usuarios y sobre el entorno (Fernández y Dextre, 2011).

2.1.3. Factores que intervienen en el problema del tránsito y tipos de solución.

El actual rediseño vial de la ciudad de Lima se hizo en base a lineamientos de una ciudad antigua desarrollada desde su fundación como se evidencia en el centro de Lima; debido a que, los intentos de reforma urbanística fueron minimizados por otros tipos de intereses creados entre particulares y autoridades. Inicialmente, uno de los factores que intervienen en el problema del tránsito es el trazo urbano que es sustancial para crear sistemas amigables de transporte en las calles; por ello, es necesario compatibilizar, en el diseño vial, la jerarquía y función del sistema vial urbano con la velocidad de operación de los vehículos.

Asimismo, hay que tener en cuenta otros dos factores importantes para entender los problemas de tránsito, las cuales son la demanda vehicular y la oferta vial (Cal y Mayor, Cárdenas, 2016). En cuanto a la demanda vehicular se consideran los vehículos que están circulando, los que se encuentran en cola esperando circular y los que deciden tomar rutas alternas. En cambio, en la oferta vial, se puede considerar la cantidad máxima de vehículos en una vía que pueden desplazarse o circular en dicho espacio físico en términos de capacidad. Al comparar estos dos factores podremos observar si la operación vehicular se da en condiciones de flujo estable o saturado.

Adicionalmente, existen otros factores que intervienen en el problema del tránsito; por ejemplo, la circulación de los distintos tipos de vehículos en la misma vía; la superposición del tránsito motorizado en vías inadecuadas; la falta de planificación en el tránsito; la falta de legislación y reglamentos de tránsito adecuadas; la falta de educación vial; y la falta de consideración al automóvil como un agente de impacto que afecta a la economía del transporte.

Por último, las soluciones a los problemas de tránsito que causan pérdidas humanas y bienes, por los distintos factores que anteriormente se mencionaron, se obtendrán desarrollando un tránsito seguro y eficiente. Por ello, la solución es la construcción de nuevos tipos de viabilidad y la reconstrucción de las vías existentes con cambios necesarios que requieran de inversiones mínimas o una gran cantidad de recursos. En

conclusión, las bases de la solución de este problema deben de requerir una ingeniería de tránsito, una educación vial, una adecuada legislación y una vigilancia policial.

2.1.4. Características de los elementos básicos que generan el flujo de tránsito (el peatón, los conductores, los vehículos, los dispositivos de control y las vías).

- El peatón

Para estudiar la ingeniería del tránsito hay que tener en cuenta los elementos básicos que producen los flujos de tránsito, los cuales interactúan entre sí. Estos elementos son los usuarios o peatones, los conductores, los vehículos, las vías o caminos, el medio ambiente y los dispositivos de control. Se le puede considerar al peatón como el público en general y es importante estudiar al peatón, ya que, por jerarquía entre modos, es el más vulnerable, lo cual lo convierte en el más importante dentro de la seguridad vial (Cal y Mayor, 1972). Además, es relevante para la práctica de la ingeniería del transporte, pues influye en el diseño y la ubicación de los dispositivos de control (Garber y Hoel, 2005). Adicionalmente, los peatones tienen ciertas características visuales y auditivas que influyen en el diseño de estos controles. Por último, cabe mencionar, que el ciclista es otro usuario importante; por ello, las bicicletas, las ciclovías y los ciclistas son componentes fundamentales en las zonas urbanas; por lo tanto, es necesario el entendimiento de sus características en cualquier proyecto dentro del sistema de transporte.

- Los conductores

Por otro lado, otros problemas a tratar, en el diseño de las vías, son las características de los conductores que son muy variables y dependen de factores internos, factores externos y el tiempo de reacción (Valdés, 2008). Los factores internos dependen de las habilidades y la capacidad de percepción de cada uno de los conductores, así como ver, oír, evaluar y reaccionar a la información (Garber y Hoel, 2005). En complemento a ello, dentro de los factores externos se pueden considerar el tiempo, el tráfico, la vía y el uso del suelo (Valdés, 2008).

- Los vehículos

Otro factor a considerar, son los vehículos, que son un elemento importante en el diseño de las vías de transporte, ya que el diseño de las mismas se basa en características estáticas, cinemáticas y dinámicas de los vehículos. Las características estáticas consideran el peso y el tamaño del vehículo; las características cinemáticas comprenden el movimiento del vehículo sin considerar el peso y el tamaño del vehículo; y, por último, las características dinámicas toman en cuenta las fuerzas que causan el movimiento del vehículo (Garber y Hoel, 2005). Adicionalmente, hay distintos tipos de vehículos que circulan en las vías, así como los vehículos ligeros, pesados, especiales, de proyecto y bicicletas, que son las motocicletas y las bicicletas (Cal y Mayor, 2002). Para concluir este punto, las dimensiones, el peso y los radios de giro de los vehículos son aspectos que también se tienen que considerar (Valdés, 20008).

- Las vías

Otro elemento es la condición y las características de la vía que se relacionan con el paro, el rebase y el diseño geométrico de la misma; sin embargo, en esta sección no se detallará mucho estos aspectos, ya que no son temas útiles para este estudio, pero es crucial dentro del marco del sistema vial, puesto que la calidad y la magnitud del sistema vial representan el nivel de desarrollo de una región, los que se pueden medir en términos de movilidad y accesibilidad para un sistema vial urbano. Por último, cabe mencionar que un sistema vial urbano no solo está compuesto por calles principales con características específicas viales, sino también por autopistas y vías rápidas, calles colectoras y calles locales con distintas peculiaridades (Cal y Mayor, 2016).

- Los dispositivos de control

Los dispositivos de control de un sistema de transporte son factores que se diseñan para un eficiente sistema vial. Se ha hecho relevante desarrollar sistemas de señalización uniformes para que, en el momento de la interpretación de la información por parte del usuario, este sea de forma precisa y clara. La clasificación de los dispositivos de control del tránsito en las calles y carreteras son las siguientes: las señales verticales (preventivas,

restrictivas, informativas, turísticas y de servicio, y diversas); las señales horizontales (rayas, marcas y botones); los dispositivos de protección en obra (señales horizontales, señales verticales, barreras levadizas, barreras fijas, conos, tambos, dispositivos luminosos y señales manuales); y, los semáforos (vehiculares, peatonales y especiales) (Cal y Mayor, 2016). En adición a ello, cabe mencionar que la regulación del tráfico no solo cuenta con dispositivos de control, sino que también cuenta con entidades reguladoras, normas legislativas y profesionales especializados (Pline, 1999).

2.1.5. Las variables del flujo del tránsito (volumen del tráfico, velocidad vehicular, flujo vehicular, capacidad vehicular, tiempos de viaje, colas y congestiónamiento).

- Volumen del tráfico

Las vías están solicitadas y cargadas por volúmenes de tránsito, los cuales poseen características espaciales (ocupan un lugar) y temporales (consumen tiempo) que son ocasionadas por el deseo de la gente de efectuar viajes entre determinados puntos de origen y destino (Cal y Mayor, 2016). El volumen es el número de vehículos o peatones que pasan por un determinado punto durante un tiempo específico (Garber y Hoel, 2002). El volumen varía según el tiempo que se considera para su medición; sin embargo, en este estudio, se analizarán las variaciones de los volúmenes a lo largo de una hora. Además, los volúmenes son medidos mediante aforos que se toman para registrar el número de vehículos que pasan por un punto, que entran a una intersección o que usan parte de un camino, ya que representan muestras de volúmenes actuales (Box y Oppenlander, 1976).

- Velocidad vehicular

Por otro lado, cabe mencionar que la velocidad vehicular es un factor conveniente a analizar, ya que se manifiesta como una respuesta del deseo del conductor para llegar de un punto de origen a un punto de destino, según la velocidad que se decida mantener, ya sea de forma rápida o lenta (Cal y Mayor, 2016). En este sentido, la velocidad es un indicador que mide la calidad de la operación en el sistema de transporte que influye otros parámetros como distancia de recorrido, tiempo de recorrido, demoras y ahorro del

tiempo (Box y Oppenlander, 1976). Según Cal y Mayor, 2016, pag.59, se cita lo siguiente: *“La velocidad debe ser estudiada, regulada y controlada con el fin de que origine un perfecto equilibrio entre el usuario, el vehículo y la vía, de tal manera que siempre se garantice la seguridad”*. Existen variables relacionadas a la velocidad con el flujo vehicular que son la velocidad de punto, la velocidad instantánea, la velocidad media temporal, la velocidad media espacial, la velocidad de recorrido, la velocidad de marcha, la distancia recorrida y el tiempo recorrido.

- Flujo vehicular

Además, un concepto muy sustancial es el flujo vehicular o tasa de flujo que es la frecuencia con la que pasan los vehículos o personas durante un tiempo específico. Esta variable nos resulta útil para el desarrollo de modelos microscópicos y macroscópicos, pues relaciona diferentes variables tales como volumen, velocidad, densidad, intervalos y espaciamientos (Pline, 1999). Existen otras variables relacionadas al flujo como son la tasa de flujo, el volumen, el intervalo simple entre vehículos consecutivos y el intervalo promedio entre vehículos. Adicionalmente a estas variables, se puede mencionar que el flujo vehicular se encuentra relacionada con la densidad mediante las variables como la concentración, el espaciamiento simple entre vehículos consecutivos y el espaciamiento promedio entre varios vehículos (Cal y Mayor, 2016). Existe una relación entre flujo vehicular, velocidad, densidad, intervalo y el espaciamiento como se muestra en la figura (Figura 2.1)

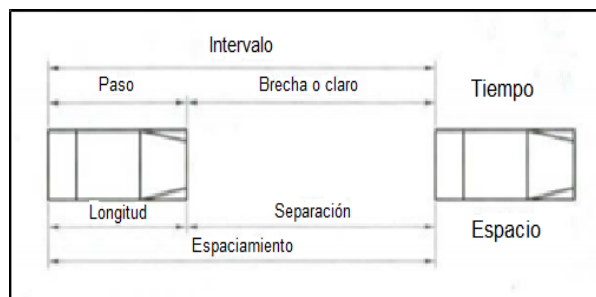


Figura 2.1 Relaciones de tiempo y espacio entre vehículos.

Tomado de Cal y Mayor, 2016.

- Capacidad vehicular

La capacidad es el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto durante un tiempo específico bajo determinadas condiciones, el cual representa la oferta del

sistema vial (Fernández, 2011). Dependiendo del tipo de infraestructura vial a analizar, se debe establecer un procedimiento para el cálculo de la capacidad vial para estimar la máxima cantidad de vehículos que se pueden acomodar con seguridad en un tiempo específico; por ejemplo, para el caso de autopistas rurales y vías urbanas, la metodología de cálculo de capacidad se hace con la tecnología que define niveles de servicio (Dall'Orto, Zegarra y Vásquez, 2016); sin embargo, hay que tener en cuenta los siguientes factores para su correcta medición: condiciones de infraestructura vial, condiciones del tránsito (tránsito en el tiempo, espacio y composición vehicular) y condiciones de los controles. Por otro lado, la demanda es el número de vehículos o personas que desean viajar que pasan por un punto determinado durante un tiempo específico. En otras palabras, podríamos decir que la demanda es una medida del número de vehículos o personas que esperan o desean ser servidos, distinto del volumen que son los vehículos que son servidos y de la capacidad que son los que pueden ser servidos (Cal y Mayor, 2016).

- Tiempos de viaje

Por otro lado, los tiempos de viaje determinan la cantidad de tiempo requerido para viajar de un punto a otro en una ruta dada, lo que hace que se obtenga un indicador del nivel de servicio de la sección de estudio (Garber y Hoel, 2005).

- Colas y congestión

Finalmente, el congestionamiento, que no es un objetivo de la ingeniería del tránsito, es un fenómeno, el cual se desea evitar planeando y diseñando sistemas viales para que sean eficientes. Sin embargo, desde el continuo crecimiento del número de vehículos, el movimiento vehicular se ha tornado deficiente, por lo que se ha convertido en un sistema que tiende a saturarse hasta llegar a un congestionamiento vehicular, lo que genera demoras y colas asociadas. Las demoras pueden ser causadas por los dispositivos de control del tránsito o también por el mismo flujo vehicular. Asimismo, las detenciones periódicas pueden ser causadas por cuellos de botella y las detenciones no periódicas pueden ser causadas por incidentes como los accidentes, cierres de vías eventuales o vehículos descompuestos (Cal y Mayor, 2016). Por otro lado, la teoría de las colas, nos

puede ayudar a entender este fenómeno, que es causado por la variabilidad del tránsito, mediante el uso de algoritmos y modelos matemáticos. Por último, las características del fenómeno o sistema de cola están representadas por los siguientes elementos que son las llegadas (expresadas en vehículo por hora o segundos por vehículo), las salidas (expresada en tasas de flujo o intervalos) y disciplina de cola. Todos estos elementos pueden ser analizados de forma determinística o probabilística (Fernández, 2011).

2.1.6. Semaforización en el sistema de transporte.

Los semáforos son dispositivos electromagnéticos y electrónicos que tienen como función controlar el tránsito de los vehículos y peatones mediante indicaciones visuales de luces de colores universalmente aceptadas, con la finalidad de permitir el paso de las corrientes de tránsito, que se cruzan en una vía, haciéndola más segura y ordenada (Pájaro y Quezada, 2012). Las ventajas pueden ser diversas como el ordenamiento de la circulación del tránsito, la reducción de la cantidad de accidentes, interrupción de volúmenes intensos de alguna vía para permitir el paso de otros usuarios distintos, y una mayor habilidad del control del tránsito (Cal y Major, 2016). Como desventajas se puede nombrar lo siguiente: la causa de demoras injustificadas, la incursión en gastos no justificados, y el incremento de accidentes por cambios sorpresivos de color de luz (Cal y Major, 2016). Se recomienda que la cara de todo semáforo debe tener por lo menos tres lentes: rojo, ámbar, y verde; y cuando más, cinco lentes: rojo, ámbar, flecha de frente, flecha izquierda y flecha derecha (Pájaro y Quezada, 2012).

2.1.7. Intersecciones en el sistema de transporte.

Las intersecciones son una parte vital del diseño vial y se definen como áreas comunes de dos vías que se cruzan a un mismo nivel cuya principal función es el cambio de dirección de la ruta (Roess, Prassas y McShane, 2011). Las intersecciones tienen un alto potencial de accidentes, pues tienden a limitar y a interrumpir el flujo de tráfico continuo que influye directamente sobre la seguridad de una vía ocasionando diversos movimientos que se intersectan por las que se requiere de regulación y control (Garber, Hoel, 2005). Los tipos de movimiento que generalmente se producen en ellas son cruce o movimiento recto, divergencia (giros a la derecha y a la izquierda) y convergencia (unión de corrientes que provienen desde diferentes accesos) (Secretaría de tránsito y transporte de Bogotá, 2005), como se ve en la Figura 2.2. Asimismo, los cruces en las

intersecciones generan puntos de conflicto, definidos como puntos potenciales de colisión, los cuales requieren de controles de tránsito mencionados anteriormente. Por último, las intersecciones se dividen en intersecciones a nivel (simples, normales, en T y en Y) (Austroads, 2009), a desnivel con rampas y a desnivel sin rampas (Garber y Hoel, 2005).

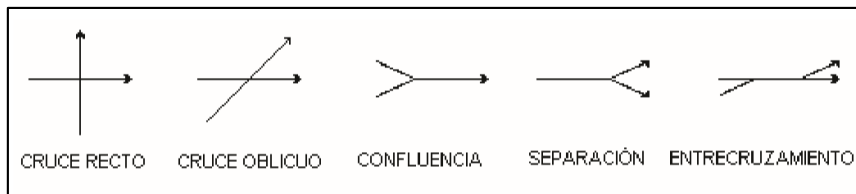


Figura 2.2 Tipos de movimientos de los flujos vehiculares.

Tomado de la Secretaría del tránsito y transporte de Bogotá, 2010.

2.2. Criterios de diseño y control de tráfico en intersecciones.

Se pueden distinguir dos tipos de sistemas que regulan las intersecciones: las que están controladas por semáforos y las que no están semaforizadas.

2.2.1. Intersecciones controladas por semáforos.

Si bien es cierto que las intersecciones controladas por semáforos se aplican para altos volúmenes de tráfico, la semaforización también se proyecta cuando existe un gran número de peatones o cuando la vía presenta un número elevado de accidentes (Secretaría de tránsito y transporte de Bogotá, 2005). Lo que se quiere lograr con la semaforización, es un diseño óptimo que busca el beneficio de los vehículos y, también, de los usuarios más vulnerables. Existen requerimientos básicos para el diseño de vías controladas por semáforos que se toman en cuenta para el diseño de semáforos, las cuales son la distancia de los semáforos respecto de los conductores; el tiempo de los semáforos, ligado a la velocidad de reacción del peatón; y, la visibilidad de los conductores y los peatones (Esquivel, 2011). Finalmente, se puede apreciar en la imagen (Figura 2.3) un modelo de intersección controlada por semáforos, ya que se usa el termino Signal head (semáforo), Pedestrian signal (controlador peatonal), y Tram Stop (controlador del tranvía).

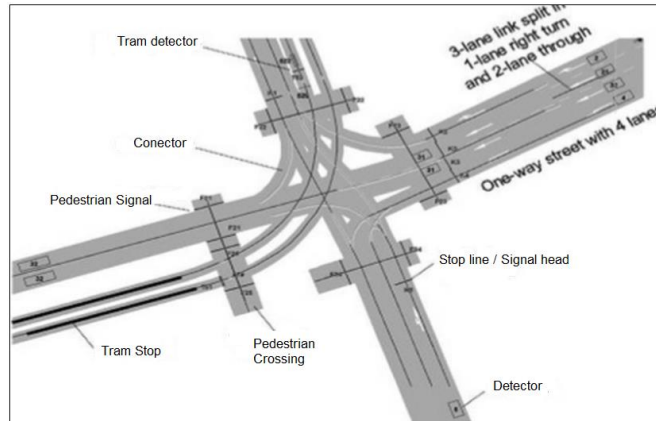


Figura 2.3 Vías controladas por semáforos.

Tomado de Fellendorf, 2010.

2.2.2. Intersecciones no controladas por semáforos.

Estas intersecciones que no son controladas por semáforos se utilizan normalmente en calles cuyos volúmenes son reducidos (Roess, Prassas y McShane, 2011). En donde es necesario hacer un análisis y un estudio más profundo, de modo que se implemente una señalización óptima para el cruce o intersección. Para realizar dicha elección es necesario fijarnos en factores determinantes, los cuales son la cantidad de vehículos y peatones que circulan por la vía, además de ello la revisión de las direcciones involucradas para indicar cuál de todas debe de tener preferencia. Por ello, en estas intersecciones se implementan otros tipos de control del tránsito como rompe muelles, medianas, camellones, señales de pares, señales de ceder el paso, etc. (Austroads, 2009). Finalmente, buena parte del funcionamiento de este cruce depende de la cultura de los conductores en el momento de cederle el paso a los otros usuarios dentro de la vía (Lazo y Araujo, 2017), así como se muestra en la Figura 2.4, puesto que el conductor del vehículo 2 puede observar que no le conviene pasar a la vía principal (mayor road) cuando hay vehículos acercándose como el vehículo 1.

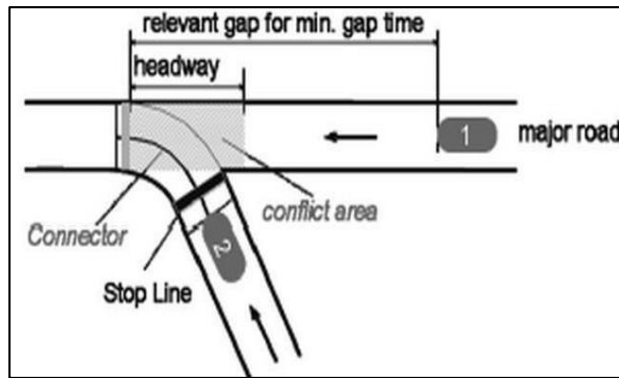


Figura 2.4 Intersecciones no controladas por semáforos.

Tomado de Fellendorf, 2010.

2.2.3. Canalización de las intersecciones.

Las canalizaciones de las intersecciones sirven para guiar el tránsito de manera adecuada, de modo que se dé una mejor regulación del tráfico y para que no se puedan presentar varias decisiones del usuario al mismo tiempo (Cal y Mayor, 1972). Así como, la AASHTO define que el trazado de carriles, que es la separación de movimientos conflictivos del tránsito, es fundamental para el flujo vehicular, también es crucial la implementación de camellones o marcas en el pavimento para facilitar movimientos seguros y ordenados de los vehículos, así como de los peatones, puesto que favorecen su seguridad. Además, las canalizaciones pueden ser implementadas mediante el uso de islas, medianas y soleras; o, mediante la señalización, demarcación, tachas y tachones. Finalmente, para la NACTO (2012) y Fernández (2011), los principales elementos de canalización, que pueden ser usados en una intersección, son los siguientes: la segregación de los flujos para desviar la cantidad de vehículos por una calle alterna; la creación de áreas de espera seguras (islas) en la intersección para que los peatones puedan detenerse el tiempo necesario antes de cruzar la calle (2.4 a 3 m de ancho y un mínimo de 1.8 m de largo); el aumento de la visibilidad en las intersecciones (señales, marcas o extensión de los bordes de las veredas en las esquinas) para que los autos se detengan antes de llegar a las esquinas y puedan ser vistos por los autos de las otras vías; el control de los ángulos y velocidades de aproximación en las intersecciones, mediante pequeñas islas que limitan el ángulo de giro y disminuyen la velocidad de los vehículos (radios de esquina de 3 a 4.5 m) ; y, otros, que se mencionan en la NACTO (2012).

2.3. Modelos del tránsito vehicular.

Ante la necesidad de estudiar el comportamiento del tránsito vehicular, se plantearon diversas metodologías para poder hacer simulaciones de las vías de una intersección. Así es como surgen los modelos matemáticos o determinísticos y los modelos probabilísticos o estocásticos.

Los modelos determinísticos forman parte de los modelos matemáticos, es decir, modelos que resultan en una única solución y están basadas en estudios analíticos, los cuales se rigen en base a ecuaciones matemáticas que no varían en relación al tiempo (Starfield, 2005). Adicionalmente, estos tipos de modelo consideran una invariabilidad respecto a los conductores y vehículos que hacen que sus características sean controlables; por ende, no recurren al azar y la estadística (HCM 2000). Por ejemplo, el acceso a una rotonda es un caso claro del funcionamiento de un modelo determinístico, pues todos los datos de entrada serán los mismos que las de salida (Avilés, 2017), es decir, las relaciones funcionales entre las variables de entrada y los parámetros, que miden la efectividad, son constantes y solo ocurrirá un valor de la función objetivo para cualquier conjunto de valores de variables de entrada (Cal y Mayor, 2016).

Característica	Modelo analítico	Modelo de simulación
Referencia de tiempo	No siempre se considera	Tiempo especificado
Presentación de Resultados	Resultado único	Variaciones aleatorias
Representación	Macroscópica Microscópica	Macroscópica Microscópica

Figura 2.5 Modelos analíticos y determinísticos.

Tomado de la Secretaria de tránsito y transporte de Bogotá, 2005.

Sin embargo, a diferencia del modelo anterior, los modelos estocásticos sí plantean una variabilidad para cada conductor y vehículo (HCM 2000); debido a ello, se plantean distribuciones estadísticas mediante componentes aleatorios, los cuales serán distintos para cada proceso de simulación que se pueda realizar. En la realidad, los vehículos transitan de forma aleatoria; por ello, la distribución de probabilidad, que representa

fielmente a esta realidad, debe de cumplir con tres aspectos que son los siguientes: cada conductor situara su vehículo independientemente de los demás; el número de vehículos que pasa por un punto dado es independiente de los vehículos que pasan por otro punto en el mismo tiempo; y, el número de vehículos que pasa por un punto es independiente del número de vehículos que pasan por el mismo punto en un tiempo dado (Cal y Mayor, 2016). De este modo, la distribución de poisson cumple con los supuestos anteriormente mencionados; sin embargo, es necesario el uso de un software, que se base en modelos estocásticos, para manejar con mayor rapidez el procesamiento de data; por ello, el software PTV VISSIM 8.0 es adecuado para el análisis de la vía, ya que genera valores aleatorios para cada vehículo en base a datos de entrada fijos.

2.4. Modelos de Simulación del tránsito vehicular.

La simulación del tránsito nos ayuda al análisis del comportamiento de los vehículos en las avenidas, así como, la observación del comportamiento peatonal de la misma. En la simulación del tráfico, hay varios modelos que existen actualmente; sin embargo, si bien es cierto que hay varios métodos que se pueden presentar en este análisis, solo nos enfocaremos en el método que contribuye a este estudio. En primer lugar, los modelos macroscópicos se enfocan en captar las relaciones entre velocidad de los vehículos, flujo y densidad de tráfico; para ello, estos modelos tienden a ser continuos y utilizan ecuaciones diferenciales (De Moor y Maerivoet, 2005). Para realizar un estudio de modelo macroscópico, se partirá de los modelos microscópicos, haciendo uso de una estimación estadística. Estas características del modelo pierden mucho detalle, pero ganan en habilidad para tratar los problemas de dimensiones colosales dentro de tiempos de ejecución cortos (Pájaro y Quezada, 2012).

Los modelos mesoscópicos utilizan métodos estadísticos para expresar la probabilidad de que un vehículo se encuentre en una posición determinada, además de ello, tienen como finalidad agrupar vehículos de características similares para poder regularizar su estudio con métodos estadísticos, es decir, la metodología de estos modelos consiste en simular un conjunto reducido de vehículos como si fueran uno solo (De Moor y Maerivoet, 2005). Esto no quiere decir que se analizan a los vehículos como un conjunto del todo, ya que en el caso de algunos parámetros (los giros, tiempos de entrada y salida) se evalúan de manera individual (Suarez, 2007).

Los modelos microscópicos son la base del resto de modelos antes mencionados, puesto que, estos estudios se realizan en segundos o sub segundos con el propósito de evaluar el desempeño individual de una autopista o de un sistema de calles (FHWA, 2004). Los modelos microscópicos tratan de modelar el tránsito describiendo el comportamiento individual de cada uno de los vehículos; sin embargo, este modelo también evalúa la relación de un vehículo con el resto de sistema de tráfico, es decir, se estudia cómo el comportamiento individual afecta el comportamiento de los demás vehículos, ya que forman parte del sistema (Eidmar y Hultman, 2014). Las características principales a tomar en cuenta, de esta clase de modelamiento, son la velocidad, la aceleración, la posición, la secuencia del movimiento y el cambio de carril de los vehículos (De Moor y Maerivoet, 2005).

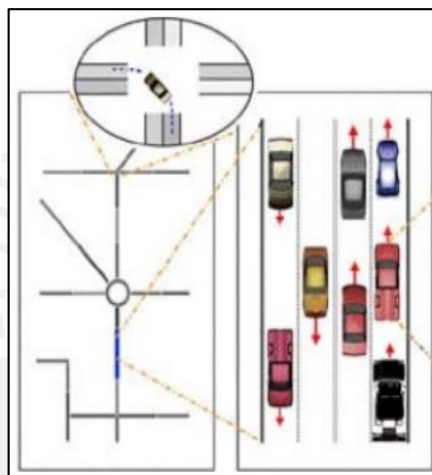


Figura 2.6 Nivel de detalle macroscópico (izquierda), mesoscópico (superior) y microscópico (derecha).

Tomado de la UNAM (2015).

2.5. Fundamentos de la micro-simulación.

En la actualidad, la utilización de modelos microscópicos se ha vuelto más viable, debido al gran avance de la tecnología, además estos modelos se ajustan a la demanda vehicular que existe actualmente. Estos modelos microscópicos simulan el comportamiento detallado de cada automóvil por medio de las reglas de evolución y la relación con los otros vehículos, con el fin de determinar su comportamiento (Fellenfort, 2001). Tres de los modelos que pertenecen a esta categoría son los siguientes, según las fuentes obtenidas:

- El Modelo del Seguimiento Vehicular (“Car-Following”) de Herman y Gardels (1963) y Pipes (1953).
- El Modelo Seguimiento al Líder (“Follow the Leader”) de Pipes (1953).
- Modelo de Velocidad Óptima (“Optimal Velocity Model”) de Bando et al. (1994, 1995).

2.5.1. Número de semilla y naturaleza aleatoria.

El número de semilla sirve para fijar la particularidad que podrían presentar los conductores durante la realización de la micro-simulación en el programa PTV VISSIM 8.0. Este parámetro influirá en la primera corrida y posteriormente se irá modificando, dependiendo del valor de incremento que se haya puesto (Cabrera, 2015). Cabe resaltar que la data ingresada no variará; a pesar de que se cambie el número de semilla por la naturaleza estocástica de la simulación. Asimismo, se debe tomar en cuenta que el número de semilla es independiente de los resultados obtenidos, pues al aumentar el número de semillas esta no necesariamente originará una mayor agresividad del conductor o velocidad de flujo, sino que estos índices mencionados se derivan de manera aleatoria.

2.5.2. Múltiples corridas en la simulación.

Debido a la naturaleza estocástica de la micro-simulación, mientras mayor sea el número de corridas, mejores resultados se obtendrán, pues en cada corrida el número de semilla ira cambiando, lo que permitirá tener mayor cantidad de resultados. Para determinar el número de corridas, la FHWA (2004) indica que se deberá seguir un proceso iterativo, en el que primero se debe correr el programa un número de veces (se recomienda que la primera muestra sea de cuatro corridas) y, con los resultados obtenidos, se determinará la desviación estándar con la siguiente fórmula:

$$S^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1}$$

Ecuación 2.1 Desviación estándar para Múltiples corridas en una simulación.

Dónde:

S= desviación estándar

X= variable para la que se requiere la varianza de la muestra

\bar{x} = promedio de los valores de x

N=número de corridas Luego de obtener la desviación estándar se podrá estimar el número de corridas que serán útiles para tener resultados adecuados.

Luego, se utilizará la fórmula que se muestra a continuación que busca obtener el valor de N (número de corridas obtenida) que resulte ser menor al número de corridas asumidas al inicio (para este estudio se asumió 15 corridas).

$$N = \left(t_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{S}{e} \right)^2$$

Ecuación 2.2 N para múltiples corridas en una simulación.

Dónde:

e= margen de error asumido (5%)

$t_{\alpha/2}$ = valor de la distribución “t” student

S = derivación estándar

N= número de corridas obtenido

Una vez que se termine el proceso iterativo, se puede correr el programa STATKEY con la lista de datos que se obtuvo, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos deben de tener un nivel de confiabilidad al 95% (Figura 2.7); sin embargo, se puede obviar este método si se consideran los estudios del PTV (2011), las cuales señalan que el número de corridas deben estar en un intervalo de 5 a 20 corridas.

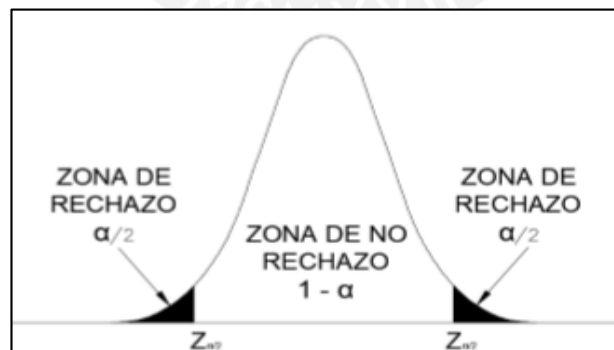


Figura 2.7 Nivel de confiabilidad.

Tomado de Lazo y Araujo, 2017.

2.5.3. Periodo de estabilización del sistema y Warm up.

Warm up o periodo de estabilización del sistema es un método que consiste en realizar series independientes de simulación para cada semilla, que se aplica, generalmente, para

sistemas con periodos cortos. Sin embargo, los datos que se obtienen en este periodo transitorio no deben tomarse en cuenta para la evaluación de los resultados, pero, pasado este tiempo, se puede recopilar y procesar los datos para estimar el rendimiento y el nuevo intervalo de confianza. En otras palabras, una vez transcurrido el tiempo de “Warm-up”, los datos recolectados podrán ser considerados para el análisis y el procesamiento de los mismos. Además, el FHWA (2004) determinó que este tiempo debe ser como mínimo de 10 minutos de simulación, pero el PTV (2011) indica que el Warm-up podría ser de 15 minutos. Finalmente, se observa en la Figura 2.8 la gráfica tiempo versus el tamaño de cola del estado estacionario promedio, es decir, la estabilización del sistema a través del tiempo para poder analizar la data.

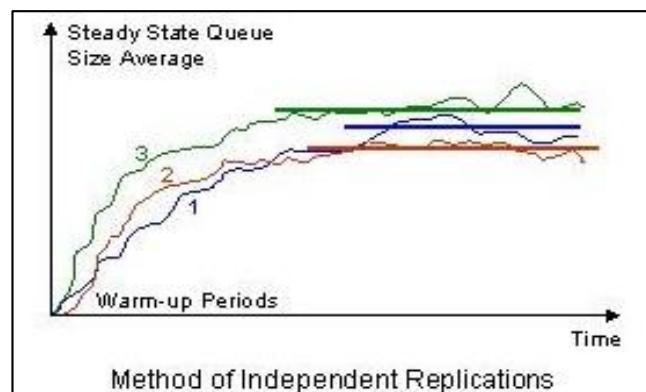


Figura 2.8 Método de réplicas independientes con corto periodo transitorio.

Tomado de <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/simulation/sim.htm>, 2018.

2.5.4. Modelos de seguimiento vehicular o Método del vehículo flotante (car following models).

Los modelos de seguimientos vehiculares fueron creados en 1950, con el fin de estudiar el comportamiento de los vehículos en una vía y su relación con los demás vehículos, es decir, que mediante una descripción microscópica, el cual refleja el comportamiento de un vehículo en ir tras de otro, se pueda extrapolar el comportamiento macroscópico de toda una corriente de vehículos (Fernández, 2011). Estos modelos describen al vehículo como el líder o precedente (vehículo n) y el vehículo que le sigue como vehículo siguiente (vehículo $n+1$). Además, se busca representar cómo reacciona el vehículo siguiente al movimiento del vehículo líder, en donde se consideran los espaciamientos entre vehículos individuales (100-250 m), así como sus velocidades (Garber y Hoel,

2002). Para manejar el comportamiento de los vehículos, se consideran dos factores que son los siguientes: el giro de curvas, por el cual se tendrá que establecer una velocidad límite para que el vehículo no salga del carril al momento de transitar por él; y, el distanciamiento de los vehículos, los cuales no deben estar muy cercanos entre sí, con el fin de tener una distancia de seguridad.

2.5.5. Modelos de Wiedemann.

Es un modelo que utiliza las velocidades de los vehículos para definir regímenes de seguimiento. Para ello, según Elefteriadou (2014) y PTV (2011) hay cuatro regímenes vehiculares que pertenecen al modelo de Wiedemann que son los siguientes (Eidmar y Hultman, 2014):

- **Conductor libre:** Esta libre de la influencia del vehículo líder y depende de sí mismo en cuestiones de espaciamiento y velocidad.
- **Conductor próximo:** El conductor próximo variará su velocidad hasta que, entre el conductor y el vehículo líder, no exista velocidad relativa. El conductor próximo busca dejar una distancia segura con el líder.
- **Conductor siguiente:** El conductor siguiente busca estar a una distancia segura del líder; sin embargo, su aceleración y frenado no dependerán de este.
- **Conductor frenado:** Es cuando el conductor se ve en la necesidad de frenar hasta estar en los estándares de una distancia de seguridad entre el conductor frenado y el conductor líder.

En la siguiente imagen (Figura 2.9) se muestra el modelo del seguimiento vehicular en donde se observan los ejes de Diferencia de velocidad y Distancia entre vehículos, en donde el eje vertical divide la gráfica en dos zonas (Wiedemann, 1974). Una donde la distancia se incrementa y otra donde se acorta. En otras palabras, el modelo de Wiedemann considera que la distancia del vehículo siguiente percibe cambios en la velocidad relativa del vehículo líder según Elefteriadou (Eidmar y Hultman, 2014).

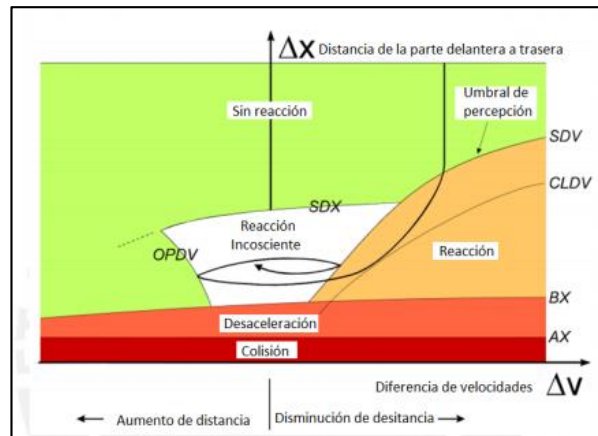


Figura 2.9 Modelo de seguimiento vehicular.

Tomado de PTV AG, 2013.

“Hasta que el conductor pasa el umbral de percepción (SDV), el conductor no se obstaculiza por el vehículo precedente y existe en el régimen de conducción libre, donde el conductor mantiene la velocidad deseada. Cuando se supera el umbral SDV, comienza el régimen de aproximación y el conductor desacelera para alcanzar la distancia de seguridad deseada (Δx) cuando la diferencia de velocidad relativa (Δv) es cero. Luego, el conductor ingresa al siguiente régimen e inconscientemente cambia su velocidad mediante aceleración y desaceleración en un proceso iterativo. La desaceleración continúa hasta que el conductor alcanza el punto en el que nota que es más lento que el vehículo líder (OPDV) o que se alcanza la distancia de seguimiento máxima deseada (SDX). El conductor comienza a acelerar nuevamente para alcanzar la distancia y velocidad de seguimiento deseadas. La distancia de seguimiento mínima deseada se compone de dos factores, la distancia deseada en reposo hasta el vehículo líder (AX) y una distancia de seguridad dependiendo de la velocidad de desplazamiento (BX). Si la distancia al vehículo precedente es menor que $AX + BX$ para una velocidad determinada, el conductor ingresa al régimen de frenado explicado anteriormente” (Eimar y Hultman, 2014, pág. 8)

Dentro del programa PTV VISSIM 8.0, se puede ingresar diversas variables que indiquen cómo será el comportamiento de los conductores. Estos permiten lograr mejores resultados en la micro-simulación; sin embargo, se describirán los que se usarán dentro del programa PTV VISSIM 8.0 que son los siguientes: el Average standstill distance (ax), que define la distancia que se espera que haya entre dos vehículos detenidos; y, las dos siguientes variables que son el Additive part of desired safety distance (bx_add) y el

Multiplicative part of safety distance (bx_mult), que son las distancias seguras aditiva y multiplicativa entre dos vehículos que están relacionadas a la velocidad de los vehículos. Estos tres elementos sirven para determinar la distancia (d) entre los vehículos mediante la siguiente fórmula:

$$d = ax + (bx_add + bx_mult * Z) * \sqrt{v}$$

Ecuación 2.3 Ecuación de Wiedemann.

donde:

Z= valor entre 0 y 1 (obtenido de una distribución normal).

v= velocidad (m/s).

2.5.6. Modelos de cambio de carril.

Permite apreciar todas las posibilidades de cambio de carril que un vehículo realiza, ya sea obligatoriamente (cuando hay una vía por donde se desea cambiar de carril) o libre (cuando hay necesidad de adelantar al vehículo delante del otro). Para este análisis, se considera la herramienta PTV VISSIM 8.0, ya que con este software se usa este tipo de análisis.

2.5.7. Modelos de simulación peatonal.

Si bien es cierto que la micro-simulación, en el caso de los vehículos, es muy valioso, también es relevante considerar a los peatones, que son parte esencial de este sistema de flujo de tránsito y de los cuales dependen muchas cosas como la semaforización o no de las intersecciones, entre otras cosas más. Los peatones tienen un comportamiento distinto a los vehículos, tanto físicas como psicológicas; por ello, para tener una perspectiva más amplia de los estudios de tránsito peatonal se sugiere analizar modelos de simulación peatonal (Eidmar & Hultman, 2014). A continuación, se presenta el modelo que se usa en el software PTV VISSIM 8.0 (Helbing & Molnar, 1995).

El modelo de fuerza social, propuesto por Helbing, es la representación matemática de la modelación de cambios de conducta del peatón por distintas motivaciones que le incitan a cometer ciertas acciones. La hipótesis fundamental de la modelación es que los cambios de comportamiento de las personas son realizados en base a “campos sociales” (González, 2011), las cuales se clasifican en cuatro grupos según Johansson (2013), y son los siguientes:

- La primera fuerza es la fuerza de dirección o movimiento que es la representación matemática del deseo del peatón para dirigirse en una dirección determinada, es decir, esta fuerza surge de la persona en análisis.
- Las fuerzas de repulsión que pueden ser provocadas por personas u objetos que signifiquen un obstáculo y/o generan incomodidad en la persona; por ejemplo, los muros de una edificación, entre otros.
- Las fuerzas de atracción, las cuales representan el interés de las personas en otras personas u objetos; por ejemplo, los escaparates de tiendas, entre otros similares.
- Las fuerzas de fluctuación son las variaciones que se pueden presentar durante el movimiento del peatón.

A continuación, se presenta la ecuación general de este modelo.

$$FT = F_{Dirección} + \sum F_{Repulsión} + \sum F_{Atracción} \sum F_{Fluctuaciones}$$

Ecuación 2.4 Modelo de Fuerza Social.

2.6. PTV VISSIM 8.0.

PTV VISSIM 8.0 es un software que permite simular la situación del tráfico en una avenida o en una intersección. El software tiene como principal función estudiar con gran detalle áreas pequeñas, en base a varios parámetros que se toman en cuenta en el momento de análisis. Finalmente, para este estudio, se usó este software y se realizó un diseño actual de la vía, así como un rediseño para solucionar las dificultades que se presentaron en dicha zona.

2.6.1. Antecedentes y aplicación del software.

Este programa tuvo su primera aparición en el año 1992; sin embargo, sus inicios datan de la década de los ochenta en Alemania, en donde se realizaron trabajos de planificación de redes de autobús y transporte en la carretera de Mannheim. A finales del 2016, PTV Group lanzó al mercado la versión más reciente de este programa, el cual fue desarrollada en la actualidad con la versión 8.0. La aplicación de PTV VISSIM 8.0 tiene como finalidad el cumplimiento de varios objetivos como son los siguientes:

- Modelar el tráfico urbano y rural, así como los flujos de peatones para un adecuado análisis.
- Hacer un planeamiento del tráfico y analizar el impacto de los proyectos en el tráfico urbano.
- Realizar un control de los sistemas de tráfico ya existentes en la zona a un nivel microscópico.
- Examinar el impacto de las señales y medidas de control en la zona analizada.
- Modelar de detalles que adornan al modelo para que se vea estéticamente más parecido a la realidad.
- Plantear mejoras operacionales específicas, simula y compara los distintos caminos que puede tomar el transporte público y las posibles ubicaciones de las paradas.

2.6.2. Modelamiento de infraestructura en PTV VISSIM 8.0.

“Para la simulación de tráfico, es necesario replicar la infraestructura de la red a escala” (Fellendorf y Vortisch, 2010). Existen dos formas en las que se puede crear las redes en este programa. La primera es importar desde programas de planeamiento macroscópico de transporte y, la otra, es realizar el trazo manual de la intersección. Para la creación de la red es importante conocer los elementos que PTV VISSIM 8.0 nos proporciona para generar distintas infraestructuras. Se mencionarán, según PTV Group (2015), las que se usaron más en este estudio, las cuales son las siguientes: la creación de las vías, dependiendo de su geometría, por ejemplo, dos vías que se unen en una sola, dos vías que se cruzan, o una vía que se divide en dos o más; los enlaces, que son utilizados para la representación del eje de la vía con sus características, por ejemplo, coordenadas, gradientes, distribución de tráfico, entre otros; los conectores, que permiten la unión de las distintas vías, los cuales ayudan a crear geometrías detalladas; las reglas de prioridad y cambios de velocidad, por ejemplo, las señales de velocidad máxima o los indicadores de ceder el paso para priorizar a un tipo de usuarios; los efectos de dibujo, que son la creación de paraderos de buses, así como incluir zonas de estacionamiento o bloques para mejorar la visualización del modelo; y, otros elementos, que se pueden analizar detalladamente en el manual de uso del software PTV VISSIM 8.0.

2.6.3. Modelamiento de tráfico en PTV VISSIM 8.0.

Según PTV Group (2015), el software PTV VISSIM 8.0 está capacitado para modelar el tráfico, por lo que distingue entre el transporte público y el transporte privado. El transporte público, a diferencia del transporte privado, que sigue rutas determinadas, respeta paradas ya estipuladas; por ello, dentro del software, se pueden definir secuencias de llegada para los 20 primeros vehículos, en base a cronogramas de llegada que se detallan dentro de la simulación. Por otro lado, el transporte privado, puede tomar rutas y realizar paradas, en base a la decisión del conductor sin seguir una regla. Para este caso, el software permite la diferenciación entre categorías y tipos de vehículos, así como, la posibilidad de plantear distribuciones de tráfico, en base a estas dos diferenciaciones. Los tipos de vehículo que el PTV VISSIM 8.0 presenta son autos, camiones, autobuses, tranvías, trenes, bicicletas y peatones, así como, categorías de vehículos que son los livianos y pesados. Adicionalmente, al tipo y categoría de vehículos, el software te permite introducir distintos parámetros; por ejemplo, la distribución de la velocidad deseada, parámetro que impacta en la capacidad de las vías y en los tiempos de viaje; la distribución de peso y potencia, parámetro exclusivo de los vehículos pesados; y, la distribución del tiempo, la cual permite simular los tiempos de parada de los buses, señales de pare, tiempos en peajes, y otros. Finalmente, se puede visualizar el tráfico mediante la animación en 2D y 3D.

2.6.4. Control de tráfico en PTV VISSIM 8.0.

Según la PTV Group (2015), el análisis de las intersecciones en PTV VISSIM 8.0 se puede dividir en dos grandes grupos. Aquellas controladas por semáforos y aquellas que no lo son. A continuación, se describe cada uno de los siguientes casos de análisis.

- Avenidas e intersecciones no controladas por semáforos para PTV VISSIM 8.0.

En primer lugar, cabe mencionar que el programa tiene por defecto ciertas reglas de prioridad de paso, las cuales no necesariamente van a ser las mismas en todos los escenarios; es por esta razón, que el software PTV VISSIM 8.0 puede ser flexible en el uso de las reglas de prioridad de tránsito para cada proyecto. De igual manera, esta opción permite determinar cuando los peatones tienen la prioridad de paso (PTV Group, 2015).

- Avenidas e intersecciones controladas por semáforos para PTV VISSIM 8.0.

El modelo de las intersecciones controladas por semáforos está regulado por controladores, los cuales gestionan el tráfico en la intersección. En otras palabras, estos reguladores son representaciones de los semáforos con fases de tiempo en verde, rojo y ámbar. PTV VISSIM 8.0 permite regular y cambiar los ciclos de los controladores, así como escoger entre varias combinaciones de intervalos de luz, en base a lo observado en el proyecto o situación actual de la vía.

2.7. Uso de datos para calibración y validación del modelo.

2.7.1. Uso de datos de entrada.

El uso de los datos de entrada se utiliza en el proceso iterativo del programa PTV VISSIM 8.0 hasta llegar al ajuste de los parámetros de Wiedemann, el cual busca semejar el modelo virtual con lo observado en la realidad, mediante las comparaciones de la media estándar de los parámetros escogidos. Luego, estos factores se compararán con las mediciones realizadas en campo, es decir los datos de entrada, mediante el STATKEY.

2.7.2. Uso de los datos de salida.

Después de la introducción de todos los datos y valores en el PTV VISSIM 8.0, se podrá correr el modelo y obtener los valores finales requeridos, que son los resultados de los parámetros. Adicionalmente, se puede correr el programa en vista 2D y 3D, los cuales son herramientas que permiten un mejor entendimiento de los valores finales obtenidos de un modo ilustrativo, así como la creación de modelos para generar videos en formato AVI. Por último, para una mejor presentación del modelo 2D, se pueden importar imágenes y dibujos CAD, y, para el modelo 3D, se pueden importar modelos desde el programa Google Sketchup o Autodesk 3DS Max.

2.8. Calibración y Validación del modelo.

2.8.1. Calibración del modelo.

Para realizar la calibración del modelo, según el PTV Group (2015), se debe seguir un proceso iterativo. Para realizar este proceso, en el programa PTV VISSIM 8.0, se ajustan

los parámetros de Wiedemann hasta lograr que el modelo sea lo más parecido a la realidad; por ello, se debe considerar qué parámetros de eficiencia se medirán.

- Prueba de hipótesis nula en Randomization Test

En este análisis, se usará la prueba de hipótesis nula, debido a que cumple con los requisitos de los modelos estocásticos. Este análisis se hará en el StatKey que es un programa que permitirá hacer ensayos o pruebas no paramétricos. Para ello, se ingresará dos grupos de datos que son los datos obtenidos de campo y los resultados obtenidos de la plataforma PTV VISSIM. Luego de ello, el programa irá agrupando los valores, de manera que las variables analizadas sean la diferencia de las medias ($X1 - X2$), la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias ($\mu_1 = \mu_2$) y una hipótesis alternativa de diferencia de medias ($\mu_1 \neq \mu_2$). Luego, se realiza un análisis de two tails (dos colas), donde la parte central es la zona de no rechazo a la hipótesis nula con 95% de confiabilidad. Por último, se verifica que el valor ($X1 - X2$) se encuentre en la zona de confiabilidad.

2.8.2. Validación del modelo.

La validación, según el PTV Group (2015), es el proceso en el que se verifica el rendimiento del modelo de micro- simulación, a partir de datos de campo para este proceso, es decir, a partir de una nueva información recogida en campo. Esto significa que, una vez colocados los nuevos datos de campo, el programa recreará la intersección y se obtendrán valores que deberán ser similares a los obtenidos en el proceso de calibración, con un nivel de confianza del 95%. Si es así, el modelo estará calibrado y validado, si no es así, se deberán reajustar los parámetros de Wiedemann nuevamente o recolectar una nueva data con mayor cuidado.

2.9. Planes estratégicos para la planificación del transporte.

Tomando como referencia el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT) del Ministerio de Fomento de España, se pueden rescatar algunas consideraciones para futuros planes nacionales en el sector de transporte. Algunos de estos planes son los siguientes: mejorar la eficiencia del sistema para que se desarrolle un sistema de transporte integrado en un marco de complementariedad y de interacción de los distintos modos, gestión de la demanda de la infraestructura existente, fomentar el mantenimiento

del patrimonio de la infraestructura, fortalecer la cohesión social y territorial, contribuir a la sostenibilidad en general del sistema e impulsar el desarrollo económico y de competitividad (Solminihaç, 2000). Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, en este estudio se hará énfasis, solamente, en la gestión de la demanda existente en la vía analizada para poder sacar el mejor provecho de la infraestructura actual de la vía, haciendo cambios que sean necesarios para el desarrollo de una adecuada seguridad vial, accesibilidad y sostenibilidad en la intersección.

2.9.1. Seguridad vial.

La seguridad se define como algo que está exento de algún tipo de riesgo, es decir, que sea confiable y protegido. Por ello, es necesario el estudio de la seguridad vial, ya que los usuarios necesitan estar seguros dentro del sistema de transporte. Dicho análisis contempla una revisión de la seguridad actual de las vías, el análisis de los distintos factores que afectan la seguridad vial, la señalización, el diseño geométrico, el análisis de dispositivos de protección de usuarios y auditorías de seguridad vial para proyectos existentes o futuros (Solminihaç, 2000; Cabrera, 2015). Sin embargo, en este estudio, se hará énfasis, solamente, en los tres primeros aspectos mencionados anteriormente, para que la ciencia y las políticas de seguridad vial tengan como objetivo contribuir a la reducción del número de accidentes y sus consecuencias (Rune E. y Truls V., 2006). Finalmente, existen varias metodologías como las auditorías viales o la evaluación del impacto del tráfico, entre otros, que pueden evaluar un proyecto vial existente o futuro (Dextre J. et al, 2008); sin embargo, cabe mencionar, que en este estudio se desea mencionar ello, puesto que solo se aplicaron medidas técnicas para mejorar la seguridad de la vía y no se planteó evaluaciones cualitativas de la vía como la formulación de las listas de chequeos y otras pruebas como se mencionó anteriormente.

Causa	Descripción
Exceso de velocidad	Conducir a una velocidad mayor a la permitida en el sitio del accidente
Imprudencia en el manejo	Realizar alguna maniobra sin la debida anticipación o previsión que logre advertir a los demás conductores
Desobedecer las señales de tránsito	No acatar las indicaciones de las señales existentes en el momento del accidente
Desobedecer el semáforo	Cruzar la intersección cuando el semáforo está en rojo
Adelantar por la derecha	Utilizar la berma o parte de ella para sobrepasar un vehículo.
Recoger o dejar pasajeros sobre la vía	No orillarse para dejar los pasajeros o para recogerlos en la berma o en el andén.
Vehículo mal estacionado	Estacionar un vehículo parcial o totalmente paralelo o atravesado sobre la calzada.
Fallas mecánicas	Daño repentino que presentan los vehículos durante el viaje en alguno de sus componentes
Imprudencia de los peatones	Cuando el peatón no toma las precauciones necesarias para cruzar la vía con seguridad.
Circulación en contravía	Vehículo conducido en sentido contrario al permitido en la vía
Embriaguez del conductor	Cuando se observa que el conductor ha ingerido alcohol.
Condiciones de la vía	Cuando la vía se encuentre en mal estado, superficie lisa o húmeda.

Figura 2.10 Accidentabilidad en el transporte.

Tomado de la Secretaria de tránsito y transporte de Bogotá, 2005.

2.9.2. Accesibilidad.

El objetivo de una movilidad accesible, en todos los ámbitos, es el tránsito de los usuarios sin ninguna dificultad o preocupación a lo largo de las vías y sin la necesidad de una implementación masiva de infraestructura vial, es decir, el desarrollo de modelos ingenieriles que sean más amigables frente a los peatones, a los ciclistas, a las personas discapacitadas y al medio ambiente (Dextre, 2010).

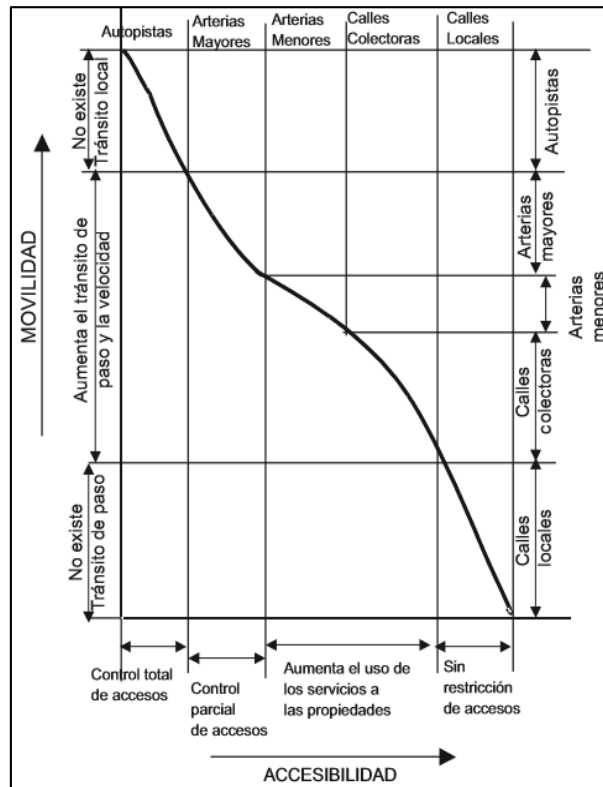


Figura 2.11 Movilidad y Accesibilidad del transporte.

Tomado de la Secretaria de tránsito y transporte de Bogotá, 2005.

2.10. Normativas nacionales e internacionales sobre planificación del transporte.

Hay varias normas o legislaciones internacionales que pueden servir como punto de referencia para las mejoras que se pueden implementar en el sistema de transporte del país; por ejemplo, el Manual de planeación y diseño para administración del tránsito y transporte de Bogotá D.C., la norma National Association of City Transportation Officials del Gobierno de U.S.A. (NACTO), las normas que emite The Department for Transport under licence from the Controller of Her Majesty's Stationery Office del Gobierno del Reino Unido, la norma The Guide to Road Design del Gobierno de Australia, el Acuerdo Nacional por la Seguridad vial del Gobierno de Chile, el Programa Sectorial de Comunicaciones y Transporte del Gobierno de México D.F., entre otras. Estas normas internacionales pueden servir como punto de comparación entre ellas y las normas del país, es decir, el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú y del MTC, para poder aplicarlas en este estudio tomando como base la vía seleccionada. Sin embargo, solo se tomaron algunas y se interpretaron si eran aplicables a la vía.

2.10.1. Señalización en la intersección vial.

La señalización en una intersección es necesaria para una mayor seguridad en la vía. Aunque, en la legislación nacional no se puede encontrar normas que regularicen de forma detallada la señalización, se utilizarán estas mismas, debido a que en este caso las normas internacionales no se aproximan a este estudio. En cuanto a señalización horizontal sobre vías urbanas, la norma MTC (2000) recomienda el diseño de marcas en el pavimento con las siguientes dimensiones: las líneas sobre la vía deben de tener 0.1 de ancho, de largo 3 m y una separación entre ellas de 5 m (Figura 2.14); y, las flechas direccionales que tienen dimensiones que se encuentran en la norma MTC (2000). En estos casos no se usan las normas internacionales, porque no son aplicables a la realidad vial peruana.

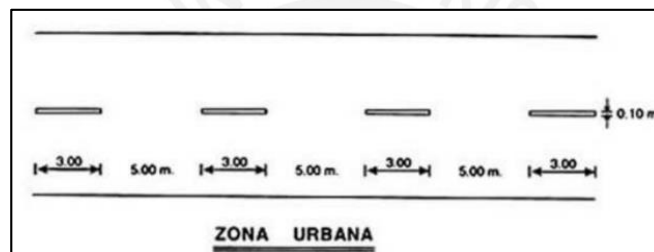


Figura 2.12 Marcas en el pavimento.

Tomado de la MTC (2000).

Se especifican algunas señales verticales básicas que ayudaran para este estudio según la norma MTC (2000).



Figura 2.13 Señales reguladoras, preventivas e informativas.

Tomado de la MTC (2000).

En las normas internacionales, se puede observar que hay gran detalle en las reglas de señalización; por ejemplo, las publicaciones de The Department for Transport under licence from the Controller of Her Majesty's Stationery Office del Reino Unido, pero no son aplicables a la realidad vial peruana.

2.10.2. Semaforización en la intersección.

Los semáforos son dispositivos de control del tránsito. Existen varios tipos de semaforización como semáforos de tiempo fijo, semáforos actuados, semáforos PELICAN, semáforos PUFFIN, semáforo para caballos, semáforos TOUCAN, etc. (Department of Transport, 1995). Lo importante de estos controladores es la señal de encendido de las luces del semáforo o la combinación de varias luces a la vez, así como el ciclo que es el tiempo necesario para efectuar todos los movimientos posibles de todas las indicaciones del semáforo (Cabrera, 2015). Cabe mencionar que en este estudio se limitará el uso de controladores a unos semáforos de tiempo fijo, los cuales son semáforos en donde el tiempo no varía, es decir, la indicación de luz verde y la siguiente, después de pasar por el ámbar y el rojo, no cambia (Alpade et al., 1976). Por último, en la siguiente imagen (Figura 2.16) se puede observar los diferentes tipos de luces que se pueden implementar en el diseño del semáforo según la norma MTC (2000). Además, se puede observar que los semáforos pueden ser diseñados de manera horizontal como vertical, de acuerdo a lo que se planeó en el proyecto vial.

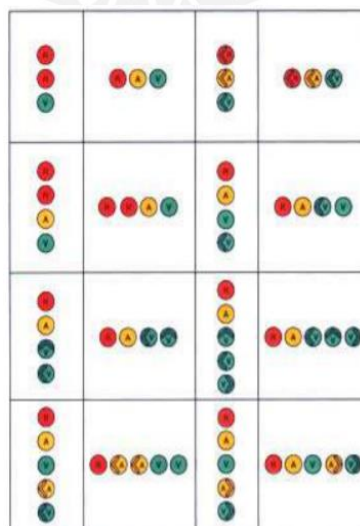


Figura 2.14 Semáforos pre-sincronizados con tiempos predeterminados.

Tomado de la MTC (2000).

2.10.3. Anchos adecuados de los carriles.

Los anchos de las vías son diseñados previamente durante el proceso de construcción del proyecto. Sin embargo, es necesario verificar y observar si estos anchos son adecuados para la demanda vehicular actual. Cabe mencionar que los anchos de los carriles y de las vías son diseñadas en los proyectos viales, en base a determinadas metodologías para realizar las dimensiones adecuadas de las vías; por ello, solo se evaluó, mediante la observación, el flujo vehicular y peatonal, con el fin de ver si los anchos de la vía son los correctos para los flujos actuales.

2.10.4. Veredas.

Las veredas son resguardos de los peatones para que puedan transitar de manera armoniosa sin generar conflictos ni invadir el espacio de otros modos de transporte. En estos casos, las veredas tienen diferentes dimensiones dependiendo del lugar donde se encuentren, ya sea en vías principales o secundarias. Cabe mencionar que las secciones de las vías locales, principales o secundarias, se diseñan de acuerdo al tipo de habilitación urbana, según lo que la norma nos muestra. (Ministerio de transporte, vivienda y construcción, 2019).

Por último, se puede observar en la Tabla 2.1 que la norma MTC (2000) especifica según el tipo de vías, ya sean vías locales principales o secundarias, las dimensiones de las veredas con un mínimo y un máximo, pero hay que tener en cuenta que la elección de los anchos de las veredas también depende del tipo de habilitación en donde se encuentra la vía.

Tabla 2.1 Ancho de veredas según el tipo de habilitación y vía.

	TIPO DE HABILITACION			
	VIVIENDA	COMERCIAL	INDUSTRIAL	USOS ESPECIALES
VIAS LOCALES PRINCIPALES				
ACERAS O VEREDAS	1.80-2.40-3.00	3.00	2.40-3.00	3.00
ESTACIONAMIENTO	2.20-3.00	3.00	3.00	3.00-6.00
CALZADAS O PISTAS	3.00-3.30-3.60	3.30-3.60	3.60	3.30-3.60
VIAS LOCALES SECUNDARIAS				
ACERAS O VEREDAS	0.60-1.20	2.40	1.80	1.80-2.40
ESTACIONAMIENTO	1.80	5.40	3.00	2.20-5.40
CALZADAS O PISTAS	2.70	3.00	3.60	3.00

Nota. Tomado de <https://sanisidrolibertad.files.wordpress.com/2016/05/anexo-nc2ba-05-norma-gh-020-del-rne.pdf>, 2016

2.10.5. Visibilidad en las intersecciones

La visibilidad es un factor muy relevante que se ve afectada por el diseño y la velocidad de funcionamiento de los vehículos de una carretera. Determinar las líneas de visión basadas en velocidades existentes o en el percentil 85, no es suficiente en todos los casos (NACTO, 2014). Los diseñadores viales deben reducir las velocidades de forma proactiva cerca de los puntos de conflicto para garantizar que las líneas de visión sean adecuadas y los movimientos sean predecibles, en lugar de ampliar la intersección o eliminar los obstáculos de la línea de visión (NACTO, 2014).

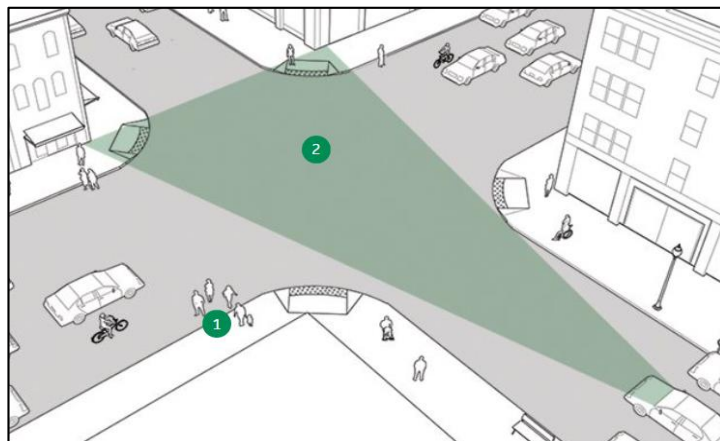


Figura 2.15 Visibilidad.

Tomado de NACTO, 2014.

2.10.6. Extensión de los bordes de esquina

El tamaño de la esquina se relaciona directamente con la longitud del paso de los peatones. Los pasos peatonales más largos, con radio menor, tardan más en cruzar, lo que aumenta el riesgo de exposición de los peatones a cualquier accidente y disminuye la seguridad dentro de la vía. Sin embargo, un radio de acera más pequeño expande el área peatonal, lo que permite una mejor alineación de la rampa peatonal, pero no es lo mismo el radio de la esquina y el radio de giro efectivo que es crucial distinguir, ya que a menudo se pasa por alto. El radio de la esquina puede ser una curva simple o compleja y depende principalmente de la presencia de estacionamientos en la calle, carriles para bicicletas, carriles de viaje, medianas y dispositivos de control de tráfico. Los diseñadores a menudo determinan los radios de las esquinas basándose únicamente en la geometría de la intersección y pasan por alto el radio efectivo. Como resultado, los conductores que hacen un giro en una señal verde tienen pocos incentivos para girar hacia el carril receptor

más cercano y girar de manera rutinaria lo más ancho posible para mantener las velocidades de desplazamiento (NACTO, 2014).

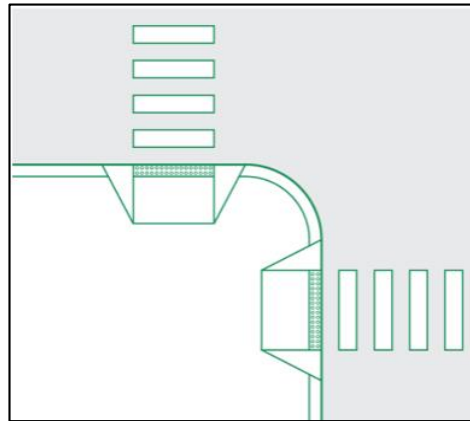


Figura 2.16 Bordes de esquina.

Tomado de NACTO, 2014.

2.10.7. Uso de cruces peatonales

Los cruces peatonales deben estar diseñados para ofrecer la mayor comodidad y protección posible a los peatones. Históricamente, muchos cruces peatonales, se diseñaron utilizando rayas estrechas y desviadas del camino. En el diseño de cruces peatonales a nivel se recomienda, por lo menos, tener en cuenta el tipo y el ancho de las veredas; la visibilidad de los cruces para los conductores; las pendientes máximas de las rampas; el flujo peatonal, y tener presente los costos de instalación y operación (Dextre, 2003).

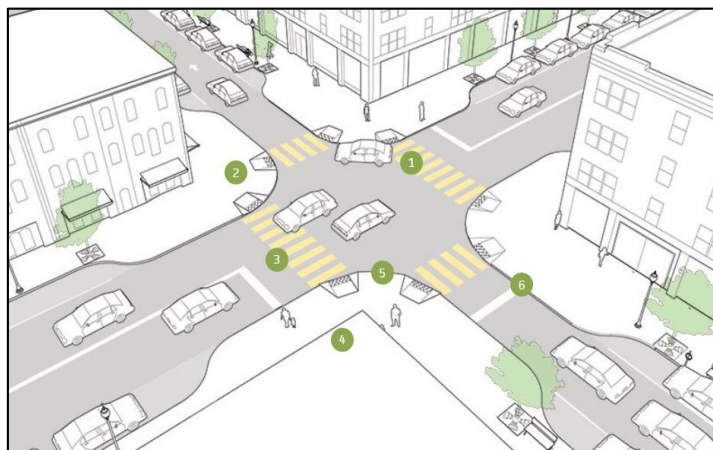


Figura 2.17 Tipos de cruce.

Tomado de NACTO, 2014.

2.10.8. Uso de rampas continuas en cruces

Las avenidas de una ciudad deben ser accesibles e inclusivas; por ello, la implementación de las rampas es relevante, ya que provee acceso entre las veredas y las vías de las personas con sillas de ruedas, caminantes, personas con muletas, y personas que tienen impedimentos en su movilidad (NTIS, 2002). Por ello, las rampas son cruciales en cuanto a diseños inclusivos; por ello, tienen que construirse adecuadamente según la diferencia de nivel y deben cumplir con la pendiente máxima (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2019).

Tabla 2.2 Pendientes de las rampas.

DIFERENCIA DE NIVEL	PENDIENTE MÁXIMA
Hasta 0.25 m	12%
De 0.26 m hasta 0.75 m	10%
De 0.76 m hasta 1.20 m	8%
De 1.21 m hasta 1.80 m	6%
De 1.81 m hasta 2.00 m	4%
De 2.01 m a más	2%

Nota. Adaptado del RNE (2019).

Capítulo 3. Metodología

Para poder realizar una micro-simulación de la intersección estudiada, es necesario poder establecer una serie de pasos a seguir para el entendimiento del flujo vehicular (Figura 3.1); por ende, poder obtener los resultados esperados. Lo primero que se hizo fue establecer el alcance del proyecto, el cual comprende el área de influencia para la recolección de los datos de la vía. Una vez que se definió el alcance (ver Capítulo 2), se realizó el trabajo de campo para la recolección de data; por ejemplo, el tiempo de viaje peatonal, el tiempo de viaje vehicular, la velocidad peatonal, la velocidad vehicular, el aforo de los tipos de vehículos y el aforo de peatones. Para ello, se definió el equipo que será utilizado y se determinó el día y la hora para la toma de datos, con el fin de analizar el volumen horario de la máxima demanda. Finalmente, se requirieron los datos para la validación del modelo, los cuales fueron recolectados un día distinto a los datos de calibración, pero a la misma hora. Con la información obtenida, se procedió a desarrollar y verificar el modelo de micro-simulación en el programa PTV VISSIM 8 que será explicado a detalle en el Capítulo 4.

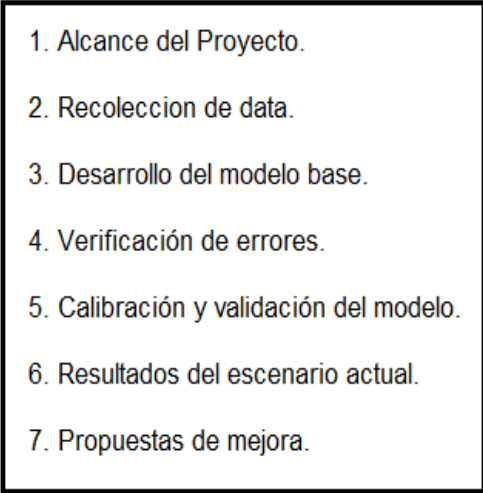
- 
1. Alcance del Proyecto.
 2. Recoleccion de data.
 3. Desarrollo del modelo base.
 4. Verificación de errores.
 5. Calibración y validación del modelo.
 6. Resultados del escenario actual.
 7. Propuestas de mejora.

Figura 3.1 Pasos secuenciales a seguir en este estudio.

Tomado de Fuente Propia.

3.1. Recolección de los datos de campo.

Para realizar la recolección de los datos de campo en la intersección analizada, se utilizó las siguientes herramientas como una cámara, con el cual se filmó la intersección para extraer los datos de calibración y validación. Asimismo, se usó contadores manuales





impresos para registrar la data (Box y Oppenlander, 1976). Finalmente, en los siguientes puntos, se definirá a detalle los datos que se recolectaron.

3.1.1. Equipo necesario para la toma de datos.

- Contadores manuales para peatones

Los contadores manuales sirvieron para medir el aforo peatonal, en donde se toman en cuenta todas las líneas de deseo que recorren los usuarios según lo que se observó en campo (Tabla 3.1). Se usó estos formatos en periodos cortos de 15 min por el lapso de una hora según recomendaciones de Cal y Mayor (2016).

Tabla 3.1 *Formato para el conteo de los peatones.*







ORIGEN 1		PEATÓN			
PERIODO		SENTIDO			
		 1-4	 1-3	 1-3	 1-2
1	12:00 - 12:15 pm				
2	12:15 - 12:30 pm				
3	12:30 - 12:45 pm				
4	12:45 - 13:00 pm				

Nota. Tomado de *Fuente Propia.*

- Contadores manuales para vehículos

Los contadores manuales se usaron para los aforos vehiculares y aforo de ciclistas (Tablas 3.2). Se usaron formatos que contenían información necesaria como el tipo de vehículo (auto, combi, coaster, bus, camión y moto), y rutas vehiculares en periodos cortos de 15 min por el lapso de una hora (Cal y Mayor, 2016).

Tabla 3.2 *Formato para el conteo del número de vehículos.*

PERIODO	SENTIDO	TIPO DE VEHÍCULO				
		AUTOS, COMBIS Y COASTERS	BUSES	CAMIONES	MOTOS	BICICLETAS
12:00 - 12:15 pm	A 					
	A 					
	B 					
	C 					
	D 					
	D 					

Nota. Tomado de *Fuente Propia.*

- Cámara de video

Se usó la cámara debido a la portabilidad de la herramienta y por comodidad, con el fin de recolectar la data para calibración y validación con el que se obtuvo una filmación de la intersección para cada uno respectivamente.

3.2. Datos fundamentales para el modelo de calibración.

Para obtener los datos fundamentales de calibración, se realizó una filmación con la cámara de video, la cual fue ubicada en la azotea de un departamento cercano. El día martes 13 de noviembre del 2018 de 12:00 p.m. a 01:00 pm se tomaron datos para el proceso de calibración. Finalmente, al observar los videos varias veces, se pudo obtener la información necesaria para el modelo de micro- simulación descritos a detalle en los siguientes puntos.

3.2.1. Geometría del área analizada.

La geometría del área analizada vista en planta tiene una forma de cruz, es decir, es una intersección a nivel normal o simple (Cal y Mayor, 1972). A partir de esta imagen (Figura 3.2) se crearon los flujogramas para poder ver el comportamiento de los flujos vehiculares como los flujos de peatones.

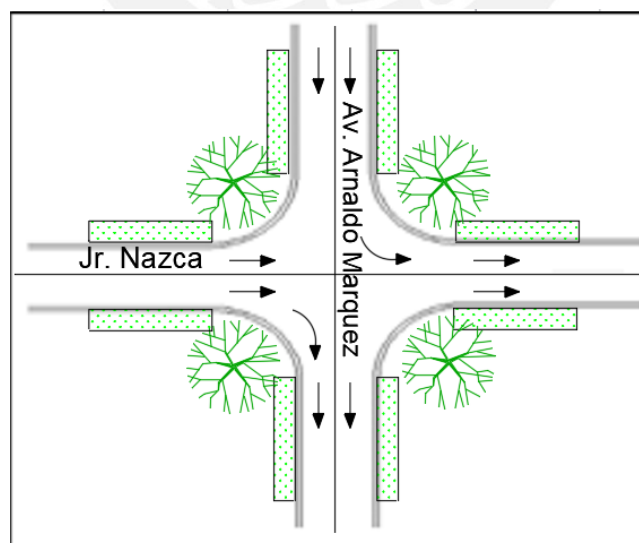


Figura 3.2 Bosquejo de la geometría del lugar estudiado.

Tomado de Fuente Propia.

Además, se muestra la geometría del área de la zona con vista en dirección de la Av. Arnaldo Márquez y de la Calle Nazca desde el buscador de Google Earth.



Figura 3.3 Vista de la vía en dirección de la Av. Arnaldo Márquez.

Tomado de Google Earth (2018).



Figura 3.4 Vista de la vía en dirección de calle Nazca.

Tomado de Google Earth (2018).

3.2.2. Análisis del aforo vehicular.

Como se mencionó anteriormente, el aforo vehicular se midió manualmente con los formatos impresos, las cuales muestran las rutas observadas en campo. Para realizar el aforo vehicular, lo primero que se hizo fue clasificar a los vehículos según su naturaleza, ya que, en la intersección, se encontraron distintos tipos de vehículos. Estos tipos de vehículos son los automóviles, las motos, las combis o coaster, los buses y los camiones.

Con la clasificación vehicular establecida anteriormente, se empezó a llenar la información en el formato correspondiente para el aforo vehicular en cada carril. Para entender el formato, hay que indicar que los carriles A y B corresponden a la Calle Nazca y los carriles C y D corresponden a la Av. Arnaldo Márquez. Por último, cabe resaltar que las flechas indican las rutas que siguen los vehículos de cada carril (Tabla 3.3). Para una explicación a detalle de las rutas vehiculares, se muestran las figuras 3.5 y 3.6, que sirven para poder observar las rutas vehiculares y poder estructurar de manera organizada

la recolección de los datos, de tal manera que al momento de realizar la micro-simulación se tengan datos previamente ordenados. Por último, para este estudio se establecieron 4 carriles y se utilizó un formato por carril.

- El carril A pertenece a la calle Nazca en el sentido Oeste-Sur con un ancho de 3m.
- El carril B pertenece a la calle Nazca en el sentido Oeste-Este con un ancho de 3 m.
- El carril C pertenece a la Av. Arnaldo Márquez en el sentido Norte-Sur con un ancho de 3m.
- El carril D pertenece a la Av. Arnaldo Márquez en el sentido Norte-Este con un ancho de 3m.



Figura 3.5 Líneas que representan el flujo vehicular en la calle Nazca.

Tomado de Fuente Propia.



Figura 3.6 Líneas que representan el flujo vehicular en Av. Arnaldo Márquez.

Tomado de Fuente Propia.

En el caso de flujo vehicular, se tomó en cuenta todas las rutas posibles que los vehículos recorren para tener un estudio más detallado, así como se hizo con los peatones; sin

embargo, en el caso de los peatones se aclarará, en el capítulo correspondiente, la razón por las que se tomó algunas líneas de deseo para modelar y no todas.

3.2.3. Aforo vehicular para calibración.

Primero se agrupó, en la siguiente tabla, el número parcial de diferentes tipos de vehículos para la etapa de calibración. Asimismo, se dividió en intervalos de 15 minutos, en un periodo total de 1 h, para obtener el total de cada tipo de vehículo (Tabla 3.3) y poder determinar el porcentaje, con respecto del total, de cada uno de los tipos de vehículos y poder determinar el porcentaje, con respecto del total, de cada una de las rutas, con el fin de poder hallar el flujo vehicular por tipo de vehículo y, también, el flujo vehicular por ruta respectivamente. Los flujos vehiculares representados en porcentaje son útiles para poder introducirlos en el software PTV VISSIM 8.0.



Tabla 3.3 Aforo vehicular para calibración.

PERIODO	SENTIDO	TIPOS DE VEHÍCULOS				
		AUTOS, COMBIS Y COASTERS	BUSES	CAMIONES	MOTOS	BICICLETAS
12:00 - 12:15 pm	A ↓	39	0	0	4	2
	A ↶	65	0	2	6	0
	B ↓	82	0	3	7	1
	C ↶	78	1	0	3	1
	D ↶	26	0	1	3	1
	D ↷	12	0	2	0	0
12:15 - 12:30 pm	A ↓	50	0	0	3	0
	A ↶	44	0	4	4	0
	B ↓	69	0	3	0	2
	C ↶	107	4	2	1	0
	D ↶	24	0	0	4	0
	D ↷	10	0	0	1	0
12:30 - 12:45 pm	A ↓	42	0	1	1	0
	A ↶	54	0	0	2	1
	B ↓	87	0	9	7	3
	C ↶	67	3	1	5	2
	D ↶	33	2	0	4	0
	D ↷	16	0	0	2	0
12:45 - 13:00 pm	A ↓	57	0	2	6	0
	A ↶	50	0	0	4	0
	B ↓	98	0	3	7	0
	C ↶	54	1	0	4	0
	D ↶	25	0	0	2	0
	D ↷	14	0	0	0	0

Nota. Tomado de Fuente Propia.

A continuación, se procedió a esquematizar los volúmenes vehiculares totales de la intersección de la Av. Arnaldo Márquez con la Calle Nazca para cada carril respectivamente (Figura 3.7 y Figura 3.8).

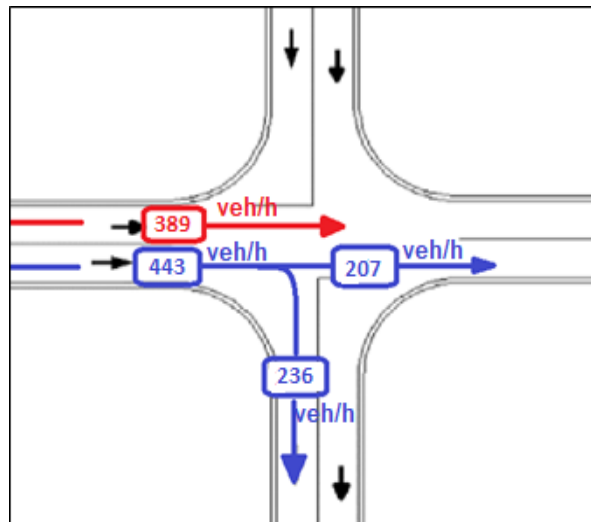


Figura 3.7 Flujograma en la calle Nazca

Tomado de Fuente Propia.

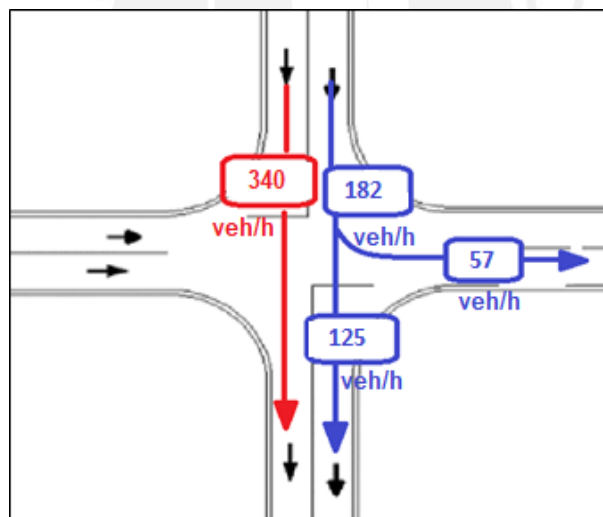


Figura 3.8 Flujograma de la Av. Arnaldo Márquez.

Tomado de Fuente Propia.

3.2.4. Aforo peatonal para calibración.

Se consideraron 4 puntos de origen (origen 1, 2, 3 y 4) por donde los peatones empiezan su recorrido; por ejemplo, se muestra las líneas de deseo desde el origen 1 (Figura 3.9), así como se hizo para los orígenes que restan. Luego se recolectó la data durante una hora

y se dividió en intervalos de 15 minutos para, posteriormente, obtener el total de peatones según su dirección, de acuerdo a cada origen (Tabla 3.4).







Figura 3.9 Líneas de deseo del origen 1.

Tomado de Fuente Propia.

Las imágenes de las líneas de deseo restantes o puntos de origen se adjuntan en la parte de Anexos.

Tabla 3.4 Aforo peatonal según líneas de deseo.

ORIGEN 1		PEATÓN			
PERIODO		SENTIDO			
		 1-4	 1-2-3	 1-4-3	 1-2
1	12:00 -12:15 pm	17	0	1	7
2	12:15 -12:30 pm	21	0	0	14
3	12:30 -12:45 pm	29	0	0	8
4	12:45 -13:00 pm	9	0	0	5
TOTAL		76	0	1	34

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Por último, las tablas de los orígenes restantes están adjuntadas en la sección de Anexos.

3.2.5. Velocidades de peatones para calibración.

La velocidad de los peatones es uno de los factores más influyentes en el tiempo de cruce, ya que estas se ven influenciadas por distintos factores como el nivel de comodidad, las habilidades de los usuarios y la necesidad de llegar a su destino (Radelat G., 2011). Según estudios de Helbing & Molnar (1998), los peatones evitan desviarse de su velocidad estándar, a menos que condiciones externas lo fueren a hacerlo, es decir, las velocidades de los peatones se ven influenciadas, no solo por factores internos del mismo usuario, sino que también se ven influenciados por factores externos y esto se refleja en los datos recolectados en este estudio. A continuación, se muestra una tabla de las velocidades promedio de peatones obtenidas de una muestra de 6 peatones para cada dirección y

origen. En la siguiente tabla de velocidad (Tabla 3.5), se toma una muestra de personas para el origen 1 en dirección 1-2 y 1-4. Por último, las tablas de los orígenes restantes están adjuntadas en la sección de Anexos.

Tabla 3.5 *Velocidad promedio de peatones (m/s).*

ORIGEN 1	DISTANCIA (m)	6	
MUESTRA	VELOCIDAD (m/s)		
	1-2	1-4	PROMEDIO
1	0.926	1.098	1.012
2	0.945	1.082	1.013
3	1.020	1.062	1.041
4	0.922	1.092	1.007
5	0.927	1.112	1.020
6	0.845	1.063	0.954
7	0.923	1.058	0.991
8	0.962	1.060	1.011
9	0.948	1.080	1.014
10	0.965	1.053	1.009
11	0.946	1.072	1.009
12	0.912	1.097	1.004
Promedio de tiempo (s)	0.937	1.077	1.007
Desv. Estandar	0.041	0.019	0.020

Nota. Tomado de *Fuente Propia.*

3.2.6. Velocidades de vehículos para calibración.

Para determinar la velocidad de los vehículos, se revisaron los valores referenciales de tablas, con fuente verídica, que mencionan que la velocidad promedio de los vehículos varía entre los 14km/h y 16km/h (Capital, 2012). Sin embargo, para no tener ninguna duda al respecto, se compararon estos datos con las velocidades obtenidas de una muestra de 25 vehículos de los carriles A y B, con el fin de verificar el estudio de la fuente (Tabla 3.6).

Tabla 3.6 Velocidad promedio de vehículos en la intersección (km/h).

VELOCIDAD DE VEHICULOS			DISTANCIA RECORRIDA (m)	72	
MUESTRA	TIEMPO(s)		VELOCIDAD A (Km/h)	VELOCIDAD B (Km/h)	VEL. PROM (km/h)
	CARRIL A	CARRIL B			
1	15.74	17.16	16.47	15.10	15.79
2	19.31	16	13.42	16.20	14.81
3	15.22	15.44	17.03	16.79	16.91
4	21.72	21.8	11.93	11.89	11.91
5	22.42	21.88	11.56	11.85	11.70
6	19	22.68	13.64	11.43	12.54
7	17.35	18.02	14.94	14.38	14.66
8	22.59	24.04	11.47	10.78	11.13
9	23.58	25.8	10.99	10.05	10.52
10	21.44	21.96	12.09	11.80	11.95
11	21.14	21.48	12.26	12.07	12.16
12	15.57	19.6	16.65	13.22	14.94
13	16.45	18.16	15.76	14.27	15.01
14	17.39	15.22	14.91	17.03	15.97
15	18.98	20.42	13.66	12.69	13.17
16	16.77	18.92	15.46	13.70	14.58
17	17.56	20.42	14.76	12.69	13.73
18	17.29	18.66	14.99	13.89	14.44
19	15.75	18.82	16.46	13.77	15.11
20	17.7	16.84	14.64	15.39	15.02
21	18.38	18.36	14.10	14.12	14.11
22	23.02	20.72	11.26	12.51	11.88
23	16.43	16.42	15.78	15.79	15.78
24	19.94	14.9	13.00	17.40	15.20
25	17.56	19.48	14.76	13.31	14.03
Promedio de tiempo	18.732	19.328	14.080	13.685	13.88
Desv. Estandar	2.571	2.820	1.851	1.98	0.095

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Se muestra las estadísticas de los datos tomados de las velocidades de los vehículos en los carriles A y B.

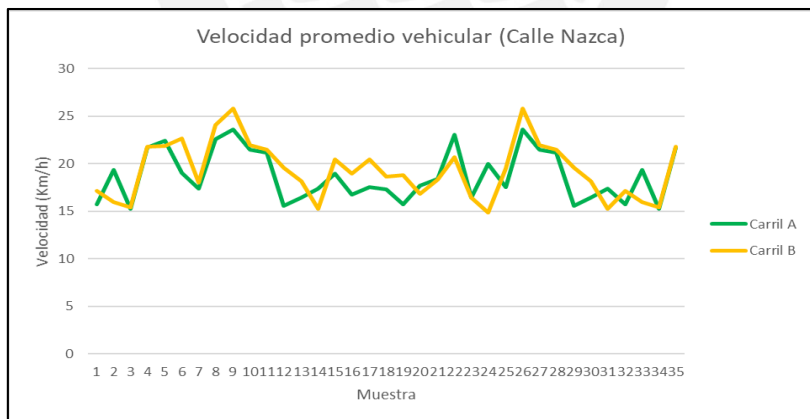


Figura 3.10 Gráfico de la velocidad vehicular promedio (km/h) en la intersección.

Tomado de Fuente Propia.

Por último, las tablas de velocidad para la otra avenida se adjuntan en la sección de Anexos, así como el gráfico estadístico de velocidades de los carriles C y D. Cabe mencionar que las velocidades se hallaron con los datos de distancia recorrida y el tiempo medidos en campo, mediante las filmaciones que se realizaron, con la fórmula de física, reconocida, el cual define que la distancia es igual a velocidad por tiempo.

3.2.7. Velocidades de giro para vehículos.

Si bien es cierto que con la ayuda de la pistola de velocidad se puede obtener las velocidades de giro, en este estudio se usarán datos referenciales basados en el Código de tránsito del Perú. Por ello, se está tomando un valor de 20 km/h para vehículos y 15 km/h para los camiones y buses.

3.2.8. Tiempos de viaje vehicular cola para la Calibración.

Uno de los parámetros esenciales, que se necesitan para el modelamiento de la intersección dentro del software, es el tiempo de viaje tanto para los vehículos como para los peatones. Por ello, en el caso de los vehículos, se midió y definió una longitud de cola de aproximadamente 33 metros en la calle Nazca antes y después del cruce (Figura 3.11). Por último, se debe indicar que se consideró esta longitud, aproximadamente a la mitad de la misma cuadra, debido a que la esta no es muy larga, además es una longitud aceptable para las mediciones que se tienen como objetivo hacer en este estudio.

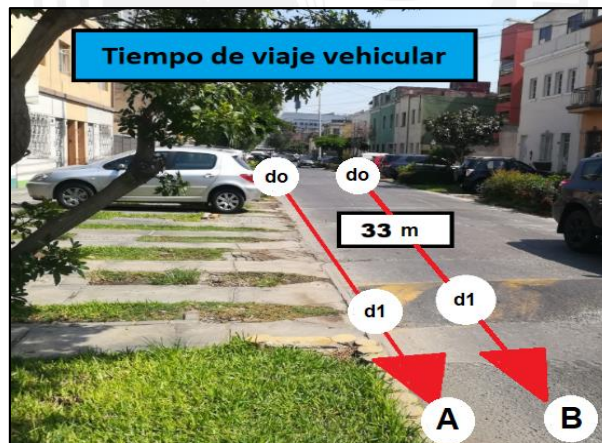


Figura 3.11 Longitud de 33 m considerada para determinar el tiempo de viaje vehicular.

Tomado de Fuente Propia.

En el caso de la otra avenida, es decir, Av. Arnaldo Márquez, se tomó en cuenta una longitud de cola de 34 m antes y después de la intersección que se muestra en la sección de Anexos. Posteriormente, se consideró una muestra de 25 vehículos para la toma de datos de tiempo de viaje y se procedió a recolectar los datos en una tabla de Excel según las mediciones hechas en campo.

Tabla 3.7 Datos de tiempo de viaje de vehículos (s).

N°	TIEMPO DE VIAJE (s)		
	Con una distancia recorrida de 72 m		
	CARRIL A	CARRIL B	TIEMPO PROM (s)
1	15.740	17.160	16.450
2	19.310	16.000	17.655
3	15.220	15.440	15.330
4	21.720	21.800	21.760
5	22.420	21.880	22.150
6	19.000	22.680	20.840
7	17.350	18.020	17.685
8	22.590	24.040	23.315
9	23.580	25.800	24.690
10	21.440	21.960	21.700
11	21.140	21.480	21.310
12	15.570	19.600	17.585
13	16.450	18.160	17.305
14	17.390	15.220	16.305
15	18.980	20.420	19.700
16	16.770	18.920	17.845
17	17.560	20.420	18.990
18	17.290	18.660	17.975
19	15.750	18.820	17.285
20	17.700	16.840	17.270
21	18.380	18.360	18.370
22	23.020	20.720	21.870
23	16.430	16.420	16.425
24	19.940	14.900	17.420
25	17.560	19.480	18.520
26	16.400	18.160	17.305
27	17.490	15.220	16.305
28	18.980	19.420	19.700
29	15.770	18.920	17.845
30	16.450	18.160	17.305
31	17.390	15.220	16.305
32	15.740	17.160	16.450
33	17.310	16.000	17.655
34	15.220	15.440	15.330
35	18.720	18.800	21.760
Promedio de tiempo (s)	18.222	18.734	18.620
Desv. Estandar	2.399	2.692	2.385

Nota. Tomado de Fuente Propia.

3.2.9. Tiempos de viaje peatonal para la Calibración.

Se recolectaron los tiempos de viaje peatonal de una muestra de personas que cruzan de un origen a otro (Tabla 3.8), cabe resaltar que no se tomó en cuenta el tiempo que demoran las personas en cruzar y voltear las dos vías consecutivamente, ya que se dividió el tiempo total de recorrido en tiempos parciales para cada avenida.

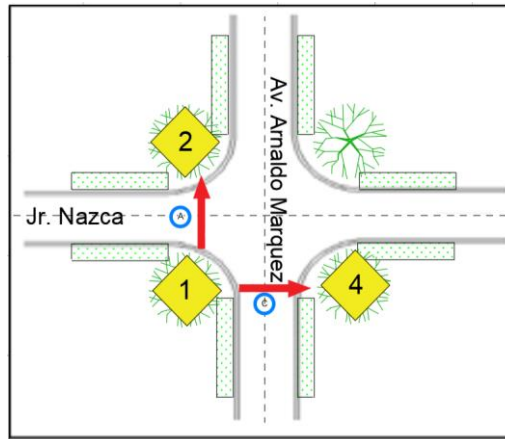


Figura 3.12 Medición del tiempo de viaje peatonal.

Tomado de Fuente Propia.

Tabla 3.8 Tiempo de viaje peatonal para origen 1 (s).

TIEMPO DE VIAJE PEATONAL			
ORIGEN 1	TIEMPO (s)		PROMEDIO
MUESTRA	1-4	1-2	
1	6.59	6.48	6.54
2	6.49	6.35	6.42
3	6.37	5.88	6.13
4	6.55	6.51	6.53
5	6.67	6.47	6.57
6	6.38	7.10	6.74
7	6.35	6.50	6.43
8	6.36	6.24	6.30
9	6.48	6.33	6.41
10	6.32	6.22	6.27
11	6.43	6.34	6.39
12	6.58	6.58	6.58
Promedio de tiempo (s)	6.464	6.417	6.440
Desv. Estandar	0.113	0.285	0.164

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Finalmente, los esquemas y tablas de los orígenes restantes se adjuntan en la sección de Anexos.

3.3. Datos Fundamentales para la validación del modelo

Para obtener los datos fundamentales de validación, se realizó un trabajo de campo en la intersección estudiada. El trabajo se realizó el día martes 20 de noviembre del 2018 de 12:00 a.m. a 13:00 p.m. Luego, se procedió a juntar la información recolectada y pasarla a formato digital. Finalmente, el procedimiento y las consideraciones para la recolección de la data son las mismas que la calibración; por ello, se obviarán ciertas definiciones o se mencionarán, en los capítulos siguientes, las referencias citando capítulos anteriores.

3.3.1. Aforo vehicular para Validación.

Al igual que en la calibración, se agrupó, en la siguiente tabla, el número parcial de los diferentes tipos de vehículos. Asimismo, se dividió en intervalos de 15 minutos durante el mismo lapso de 1 hora para obtener el total de cada tipo de vehículo (Tabla 3.9) y, con ello, poder determinar el flujo vehicular por tipo de vehículo y por rutas vehiculares cada una en porcentajes respectivamente.

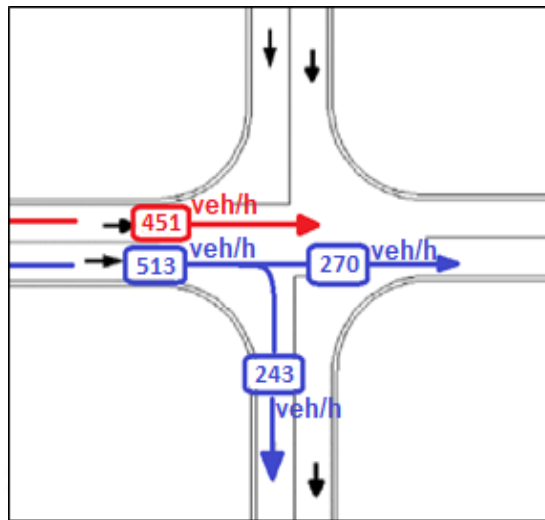


Figura 3.13 Flujograma de validación en la calle Nazca.

Tomado de Fuente Propia.

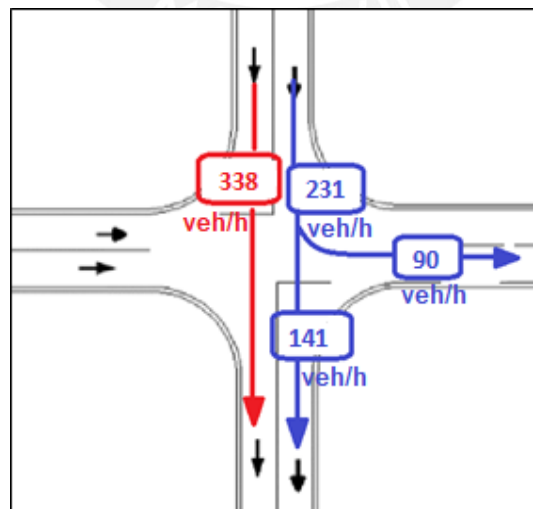


























Figura 3.14 Flujograma de validación en la Av. Arnaldo Márquez.

Tomado de Fuente Propia.

Tabla 3.9 Aforo vehicular para Validación.





TIPOS DE VEHÍCULOS						
PERIODO	SENTIDO	AUTOS, COMBIS Y COASTERS	BUSES	CAMIONES	MOTOS	BICICLETAS
12:00 - 12:15 pm	A 	74	0	4	2	0
	A 	49	0	4	2	0
	B 	112	0	6	4	3
	C 	69	3	1	2	1
	D 	37	0	0	1	0
	D 	16	0	0	0	0
12:15 - 12:30 pm	A 	59	0	3	5	0
	A 	64	0	1	1	0
	B 	90	0	7	5	4
	C 	78	4	0	4	0
	D 	24	4	1	0	0
	D 	15	0	0	2	0
12:30 - 12:45 pm	A 	74	0	1	2	0
	A 	65	0	1	4	0
	B 	100	0	2	0	2
	C 	79	3	2	6	1
	D 	35	0	0	1	0
	D 	31	0	0	1	0
12:45 - 13:00 pm	A 	39	0	0	7	0
	A 	46	0	2	4	0
	B 	96	0	3	2	0
	C 	70	4	1	3	0
	D 	37	0	0	1	0
	D 	25	0	0	0	0

Nota. Tomado de Fuente Propia.

3.3.2. Aforo Peatonal para Validación.

Al igual que el aforo peatonal para calibración, se consideraron 4 puntos de origen en donde los peatones empiezan su recorrido de un origen a otro. Posteriormente, en campo, se recolectó la data durante una hora y se dividió en intervalos de 15 minutos para posteriormente obtener el total de peatones según su dirección o línea de deseo (Tabla 3.10).

Tabla 3.10 Aforo peatonal para validación.

ORIGEN 1		PEATÓN			
		SENTIDO			
PERIODO					
		1-4	1-2-3	1-4-3	1-2
1	12:00 -12:15 pm	19	0	0	10
2	12:15 -12:30 pm	17	0	0	7
3	12:30 -12:45 pm	15	0	0	10
4	12:45 -13:00 pm	9	1	0	6
TOTAL		60	1	0	33

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Para concluir, las tablas de las líneas de deseo restantes se adjuntan en la sección de Anexos.

3.3.3. Velocidad peatonal para validación.

Se muestra una tabla de las velocidades promedio de peatones obtenidas de una muestra de 6 peatones para cada dirección y origen. En la siguiente tabla de velocidad (Tabla 3.5), se toma como muestra de personas para el origen 1 en dirección 1-2 y 1-4. Por último, las tablas de los orígenes restantes están adjuntadas en la sección de Anexos.

Tabla 3.11 Velocidad promedio de peatones (m/s).

ORIGEN 1	DISTANCIA (m)	6		
		VELOCIDAD (m/s)		
MUESTRA		1-2	1-4	PROMEDIO
1	1.165	1.130	1.148	1.148
2	1.130	1.163	1.147	1.147
3	1.165	1.152	1.158	1.158
4	1.175	1.142	1.158	1.158
5	1.128	1.080	1.104	1.104
6	1.167	1.183	1.175	1.175
7	1.134	1.115	1.125	1.125
8	1.132	1.122	1.127	1.127
9	1.168	1.158	1.163	1.163
10	1.155	1.138	1.147	1.147
11	1.163	1.158	1.161	1.161
12	1.128	1.162	1.145	1.145
Promedio de tiempo (s)	1.151	1.142	1.146	1.146
Desv. Estandar	0.019	0.028	0.020	0.020

Nota. Tomado de Fuente Propia.

3.3.4. Velocidad vehicular para validación.

Para determinar la velocidad de los vehículos, se revisaron los valores referenciales de tablas, con fuente verídica, que mencionan que la velocidad promedio de los vehículos varía entre los 14km/h y 16km/h. Sin embargo, para no tener ninguna duda al respecto, se compararon estos datos con las velocidades obtenidas de una muestra de 25 vehículos de los carriles A y B, con el fin de verificar el estudio de la fuente (Tabla 3.6).

Tabla 3.12 *Velocidad promedio de vehículos en la intersección (km/h).*

VELOCIDAD DE VEHICULOS			DISTANCIA RECORRIDA (m)	72	
MUESTRA	TIEMPO(s)		VELOCIDAD A (Km/h)	VELOCIDAD B (Km/h)	VEL. PROM (km/h)
	CARRIL A	CARRIL B			
1	16.4	15.56	15.80	16.66	16.23
2	16.68	17.44	15.54	14.86	15.20
3	16.9	14	15.34	18.51	16.93
4	21.3	22.4	12.17	11.57	11.87
5	20.42	20.2	12.69	12.83	12.76
6	18.86	21.48	13.74	12.07	12.91
7	16.68	17.64	15.54	14.69	15.12
8	21.82	24	11.88	10.80	11.34
9	23.56	23.52	11.00	11.02	11.01
10	19.74	19.08	13.13	13.58	13.36
11	21.22	20.42	12.21	12.69	12.45
12	15.58	20.2	16.64	12.83	14.73
13	16.06	18.4	16.14	14.09	15.11
14	17	16.4	15.25	15.80	15.53
15	18.54	23.08	13.98	11.23	12.61
16	16.52	18.46	15.69	14.04	14.87
17	18.92	15.08	13.70	17.19	15.44
18	15.36	18.16	16.88	14.27	15.57
19	16.4	22	15.80	11.78	13.79
20	17.68	16.84	14.66	15.39	15.03
21	18.42	18.24	14.07	14.21	14.14
22	20.68	20.18	12.53	12.84	12.69
23	14.22	14.08	18.23	18.41	18.32
24	16.9	15	15.34	17.28	16.31
25	16.46	19.82	15.75	13.08	14.41
26	16.90	14.00	15.34	18.51	16.93
27	21.82	24.00	11.88	10.80	11.34
28	23.56	23.52	11.00	11.02	11.01
29	19.74	19.08	13.13	13.58	13.36
30	21.22	20.42	12.21	12.69	12.45
31	15.58	20.20	16.64	12.83	14.73
32	15.36	18.16	16.88	14.27	15.57
33	16.40	22.00	15.80	11.78	13.79
34	17.68	16.84	14.66	15.39	15.03
35	18.42	18.24	14.07	14.21	14.14
Promedio	18.257	19.090	14.438	13.910	14.17
Desv. Estandar	2.461	2.942	1.852	2.249	1.808

Nota. Tomado de Fuente Propia.

3.3.5. Tiempo de viaje vehicular para la Validación.

En esta parte se midió una longitud de cola de aproximadamente de 33 metros en la calle Nazca (Figura 3.11). Posteriormente, se tomó una muestra de 25 vehículos para la toma de datos de tiempo de viaje y se procedió a recolectarlos en una tabla de Excel según las mediciones hechas en campo (Tabla 3.11).

Tabla 3.13 *Tiempo de viaje vehicular para validación (s).*

N°	TIEMPO DE VIAJE (s)		
	Con una distancia recorrida de 72 m		
	CARRIL A	CARRIL B	TIEMPO PROM (s)
1	16.400	15.560	15.980
2	16.680	17.440	17.060
3	16.900	14.000	15.450
4	21.300	22.400	21.850
5	20.420	20.200	20.310
6	18.860	21.480	20.170
7	16.680	17.640	17.160
8	21.820	24.000	22.910
9	23.560	23.520	23.540
10	19.740	19.080	19.410
11	21.220	20.420	20.820
12	15.580	20.200	17.890
13	16.060	18.400	17.230
14	17.000	16.400	16.700
15	18.540	23.080	20.810
16	16.520	18.460	17.490
17	18.920	15.080	17.000
18	15.360	18.160	16.760
19	16.400	22.000	19.200
20	17.680	16.840	17.260
21	18.420	18.240	18.330
22	20.680	20.180	20.430
23	14.220	14.080	14.150
24	16.900	15.000	15.950
25	16.460	19.820	18.140
26	16.900	14.000	15.450
27	20.820	17.000	22.910
28	19.560	19.520	23.540
29	19.740	19.080	19.410
30	17.220	18.420	20.820
31	15.580	19.200	17.890
32	15.360	18.160	16.760
33	16.400	19.820	19.200
34	17.680	16.840	17.260
35	18.420	18.240	18.330
Promedio de tiempo (s)	18.000	18.627	18.314
Desv. Estandar	2.192	2.641	2.430

Nota. Tomado de Fuente Propia.

3.3.6. Tiempo de viaje peatonal para la Validación.

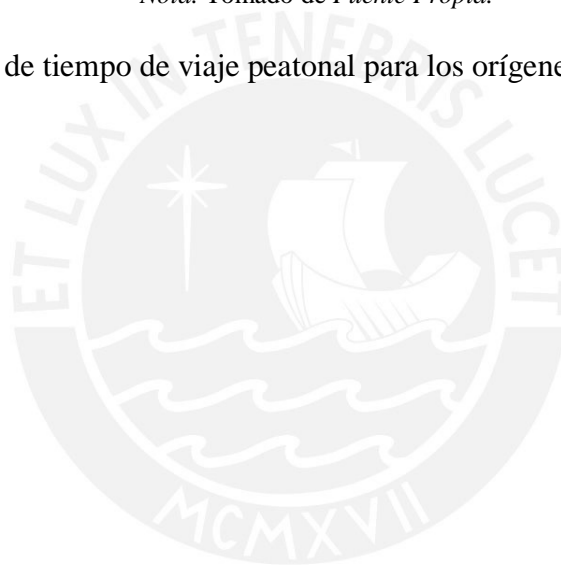
Al igual que en el tiempo de viaje peatonal para calibración, se recolectaron los tiempos de viaje peatonal de una muestra de personas que cruzan de un origen a otro (Tabla 3.12), cabe resaltar que no se tomó en cuenta el tiempo que demoran las personas en cruzar y voltear las dos vías consecutivamente, ya que se dividió el tiempo total de recorrido en tiempos parciales para cada avenida.

Tabla 3.14 *Tiempo de viaje peatonal del origen 1(s).*

TIEMPO DE VIAJE PEATONAL			
ORIGEN 1	TIEMPO (s)		
MUESTRA	1-4	1-2	PROMEDIO
1	6.78	6.99	6.89
2	6.98	6.78	6.88
3	6.91	6.99	6.95
4	6.85	7.05	6.95
5	6.48	6.77	6.63
6	7.10	7.00	7.05
7	6.69	6.80	6.75
8	6.73	6.79	6.76
9	6.95	7.01	6.98
10	6.83	6.93	6.88
11	6.95	6.98	6.97
12	6.97	6.77	6.87
Promedio de tiempo (s)	6.852	6.905	6.879
Desv. Estandar	0.165	0.112	0.118

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Por último, 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 PTV VISIM 8.0 de la intersección analizada, es decir, Calle Nazca y Av. Arnaldo Márquez; para ello, se insertó los datos tomados en campo. Posteriormente, se realizó la verificación de los datos de entrada para ver si son los adecuados mediante probabilidades estadísticas con un 95% de confiabilidad. Finalmente, se observó la animación del diseño en varias dimensiones para poder validarlo y hacer un rediseño del modelo estudiado.

4.1. Desarrollo del modelo vehicular actual en PT VISSIM 8.0.

Para la aplicación correctamente del software, se usaron los datos recolectados del Capítulo 3 y, también, se usó las herramientas del software, los cuales tienen funciones diferentes y específicas que se encuentran detalladas en el manual de uso del PTV VISSIM 8.0, en el cual se explica la utilidad del uso de los datos para cada comando y los análisis de los resultados de cada proceso. Por último, cabe mencionar que el desarrollo del modelo se basó en un trazo manual de las vías mediante comandos que permitan dibujarlas, en base a imágenes sacadas del Google Earth Pro. Es necesario mencionar que los pasos a seguir en el PTV VISSIM 8.0 serán expuestos en su totalidad dentro de los Anexos.

4.1.1. Importación de la ubicación de la intersección y escala de la imagen en el software.

Primero se usó la herramienta Google Earth Pro para la captura de la imagen de la zona asignada para el estudio (Figura 4.1), luego se insertó al PTV VISSIM 8.0, haciendo uso de la opción Background Images (Figura 4.1). Posteriormente, se escaló la imagen para obtener las medidas precisas de la vía haciendo click en la tecla Ctrl y click derecho en la captura. Luego, se escogió la opción Set Scale para poder escalarlo. Por otro lado, se dibujó las vías con la opción Links, que abarca el dibujo de las avenidas con dos carriles. Finalmente, se introdujo la longitud de ancho correspondiente a cada una de las vías en el recuadro que aparece cuando se presiona el comando Links.

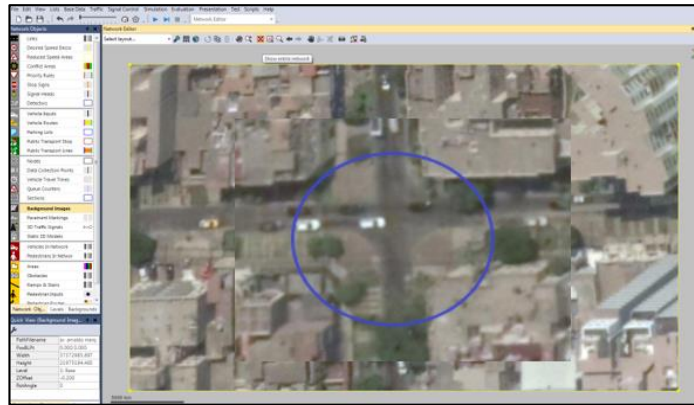


Figura 4.1 Captura del Google Earth introducida en PTV VISSIM 8.

Tomado de Fuente Propia.

4.1.2. Creación de las vías de la intersección con Links, conectores y asignación de rutas estáticas.

En esta parte, se dibujó los carriles encima de la imagen insertada y se introdujo el ancho de la vía dentro de una tabla que aparece al presionar el comando Links. Al realizar un Click derecho sobre el área de trabajo, se procedió a dibujar las vías y sus conexiones (Figura 4.2). Esta creación sirvió para ingresar los volúmenes de los vehículos y los flujos vehiculares en porcentaje.



Figura 4.2 Opción Links para el dibujo de vías y conexiones.

Tomado de Fuente Propia.

4.1.3. Composición vehicular para calibración.

Haciendo uso de los datos obtenidos en el capítulo 3 se creó nuevas tablas en Excel para la obtención de porcentajes, con respecto del total, que sirven como indicadores de flujos vehiculares para cada tipo de automóvil y para cada ruta vehicular, los cuales se introdujeron en el software. Para ello, se hizo la sumatoria total para cada tipo de vehículo

(Tabla 4.1) y se dividió con respecto del total de vehículos del carril para obtener el porcentaje de cada tipo de vehículo por vía (Tabla 4.2); además, se hizo la sumatoria por ruta vehicular (Tabla 4.3) y se dividió con respecto del total de vehículos del carril para obtener el porcentaje de cada ruta vehicular por carril. Finalmente, se sacaron los porcentajes de vehículos que doblan en el carril A (Tabla 4.2) y los porcentajes de vehículos que doblan en el carril D (Anexos). Por último, se sabe que en los videos realizados se muestra que algunos vehículos usan los carriles A y D como vías para girar.

Tabla 4.1 Cantidad total de cada tipo de vehículo del carril A.

CARRIL A						
PERIODO	AUTO-COMBI-COUSTER	BUS	CAMION	MOTO	BICICLETA	
12:00-12:15	104	0	2	10	2	
12:15-12:30	94	0	4	7	0	
12:30-12:45	96	0	1	3	1	
12:45-13:00	107	0	2	10	0	
TOTAL	401	0	9	30	3	443

Nota. Tomado de Fuente Propia.

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

Tabla 4.2 Porcentaje total de vehículos en el carril A.

	DOBLAN	DE FRENTE	TOTAL
A	236	207	443
% VEHÍCULOS	53.27%	46.73%	100.00%

Nota. Tomado de Fuente Propia.

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

Tabla 4.3 *Porcentaje total de las rutas vehiculares en los carriles A y B.*

Vehicle routes	SIMBOLO	RUTA	CANTIDAD	PORCENTAJE
RUTA 1	A	doblan	236	0.2837
RUTA 2	A+B	de frente	588	0.7067
RUTA 3	B	doblan	8	0.0096
TOTAL			832	1

Nota. Tomado de Fuente Propia.

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

4.1.4. Flujo total y porcentaje de los vehículos para cada carril.

Haciendo uso de las tablas de la parte anterior, se pudo obtener la sumatoria total para cada avenida siendo el volumen de la calle Nazca (carril A y B) igual a 832 y de la Av. Arnaldo Márquez (carril C y D) igual a 522. Los datos parciales de A son de 443, de B un total de 389, de C un total de 340, y del carril D un total de 182. En esta parte, se usaron los datos de las tablas mencionadas en el acápite anterior de composición vehicular y se realizó el siguiente análisis y procedimiento:

- La sumatoria de vehículos en A y B es de 832, de los que se obtuvo la cantidad de móviles que giran y los que no realizan ningún giro. Los resultados de los vehículos que giran es igual a 244, el cual se divide respecto del total para obtener el porcentaje de cada uno. El 29.33% del total giran y los que no giran son igual a 70.67%.
- La sumatoria de vehículos en C y D es de 522, de los que se obtuvo la cantidad de móviles que giran y los que no realizan ningún giro. Los resultados de los vehículos que giran es igual a 63 que representa el 12.07% del total y los que no giran representan el 87.93%.

4.1.5. Velocidades de los vehículos y velocidades de giros.

En esta sección, se realizó los cambios de velocidad de los vehículos, dependiendo de su naturaleza y según los datos recogidos en campo. De esta manera, se observó que los automóviles, camiones y buses tienen una velocidad estimada de 20 Km/h y de las

bicicletas, fue de 15 Km/h. Estos datos de velocidad han sido influenciados por factores externos en la intersección debido a la geometría y diseño actual de la misma.

4.1.6. Reglas de prioridad en la red.

Este acápite constituye uno de los puntos más importantes, puesto que se asignó prioridades, ya sea para vehículos como para peatones, con el fin de priorizar a los usuarios que tienen mayor importancia o flujo. Esto con la ayuda de las herramientas del software que se explica a detalle en la sección de Anexos. Por ello, se puede apreciar que en la zona estudiada los vehículos fueron los que tuvieron la mayor prioridad; por esta razón, en el modelo actual se dio prioridad a los diferentes tipos de vehículos más que a otros usuarios. Sin embargo, en el rediseño se priorizó a los peatones, ya que son los usuarios más vulnerables y es correcto priorizarlos en el sistema de tránsito, de tal manera que se puedan evitar accidentes.

4.2. Calibración del modelo vehicular.

El ajuste de los parámetros de la calibración es un proceso que consiste en representar tal cual el lugar de estudio, de modo que los parámetros de Wiedemann se ajusten a esta realidad hasta obtener los valores más próximos posibles, teniendo siempre un margen de error. Y eso se logra con la ayuda de probabilidades y estadísticas. Para más detalle, en el siguiente acápite, que tratará sobre los parámetros del comportamiento del conductor o parámetros de Wiedemann, se explicará con mayor detalle esos puntos. Finalmente, se pasó a verificar si el número de corridas es el adecuado para el modelo de calibración vehicular, haciendo uso de la ecuación de múltiples corridas (Ecuación 2.2).

4.2.1. Determinación de los tiempos de viaje vehicular.

En este acápite, se menciona como se usó la herramienta Vehicle Travel Time para obtener los tiempos de los vehículos, los cuales fueron representados en 15 corridas (PTV VISSIM, 2015) para posteriormente poder compararlos con los resultados de campo. Con ello, cabe destacar, que estos valores se modificaron cambiando los parámetros de Wiedemann que, finalmente, se ajustaron al modelo real. Los resultados de la herramienta Vehicle Travel Time se obtiene a consecuencia de correr el programa y hacer click, luego, en el comando Lists, previamente definido en Simulation Parameters.

4.2.2. Parámetros del comportamiento del conductor de Wiedemann.

Debido a que el lugar es una zona urbana, se usaron los parámetros de Wiedemann, ya que así se estipula para estas zonas (PTV VISSIM, 2015). De esta manera, se calibró el modelo adecuándolo al escenario actual; para ello, se realizó la micro-simulación de 15 corridas con las repeticiones necesarias (hasta que la media de los parámetros del PTV VISSIM se acercaran a lo medido en campo) iterando los parámetros de Wiedemann. A continuación, se muestran los parámetros de Wiedemann que se usaron para obtener valores parecidos a los que se recopilaron en campo. De modo que, los últimos parámetros de Wiedemann (los datos resaltados) son las que se usaron de manera definitiva. Estas son el ax con el valor de 2, bx_add con el valor de 2 y bx_mult con el valor de 3.

4.2.3. 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 que usa el programa de Randomization Test. En primer lugar, se recopilaron los tiempos de viaje de 25 vehículos en campo para cada avenida (Tabla 4.5) y los resultados obtenidos de las 15 corridas del PTV VISSIM 8.0 para las mismas (Tabla 4.6). Para simplificar el estudio, se optó por utilizar los tiempos de viaje de los carriles A y B para este documento; sin embargo, en la sección de anexos se adjuntan los demás carriles de la otra vía.

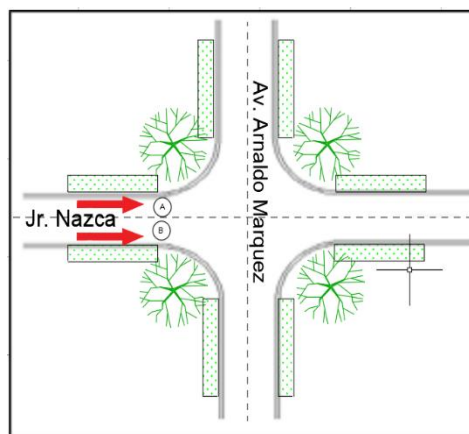


Figura 4.3 Esquema de carriles A y B.

Tomado de Fuente Propia.

Seguidamente, se pasó a verificar si el número de corridas es el adecuado haciendo uso de los datos obtenidos de campo y los de software, como la media y la desviación estándar, para hallar en cada caso el valor de N asumido (15), en caso del PTV VISSIM 8.0 y el N asumido (35) para la calle Nazca, en caso de los datos recogidos de campo hallados con la fórmula de múltiples corridas (Ecuación 2.2).

Tabla 4.4 Resultado de los datos recolectados.

	Media del tiempo de viaje en seg (X)	Desviacion Estandar (S)	n (tamaño de muestra)	t-student	Resultados de "N"
Campo	18.620	2.385	35.000	2.145	30.189
Vissim	19.570	1.470	15.000	2.145	10.382

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Se obtuvo un N menor al número de corridas asumido tanto para los datos de campo como para el asumido en el software, lo cual es aceptable. Finalmente, para los datos correspondientes a la otra avenida, es decir, las tablas de datos recolectados en campo y del PTV VISSIM 8.0, similar a la Tabla 4.4, 4.5 y 4.6, se encuentran dentro de la sección de Anexos.

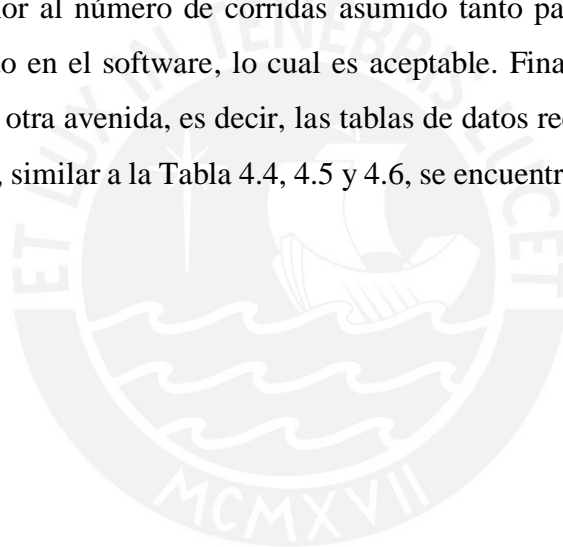


Tabla 4.5 Tiempo de viaje vehicular obtenidas de campo para calibración (s).

N°	TIEMPO DE VIAJE (s)		
	Con una distancia recorrida de 72 m		
	CARRILA	CARRIL B	TIEMPO PROM (s)
1	15.740	17.160	16.450
2	19.310	16.000	17.655
3	15.220	15.440	15.330
4	21.720	21.800	21.760
5	22.420	21.880	22.150
6	19.000	22.680	20.840
7	17.350	18.020	17.685
8	22.590	24.040	23.315
9	23.580	25.800	24.690
10	21.440	21.960	21.700
11	21.140	21.480	21.310
12	15.570	19.600	17.585
13	16.450	18.160	17.305
14	17.390	15.220	16.305
15	18.980	20.420	19.700
16	16.770	18.920	17.845
17	17.560	20.420	18.990
18	17.290	18.660	17.975
19	15.750	18.820	17.285
20	17.700	16.840	17.270
21	18.380	18.360	18.370
22	23.020	20.720	21.870
23	16.430	16.420	16.425
24	19.940	14.900	17.420
25	17.560	19.480	18.520
26	16.400	18.160	17.305
27	17.490	15.220	16.305
28	18.980	19.420	19.700
29	15.770	18.920	17.845
30	16.450	18.160	17.305
31	17.390	15.220	16.305
32	15.740	17.160	16.450
33	17.310	16.000	17.655
34	15.220	15.440	15.330
35	18.720	18.800	21.760
Promedio de tiempo (s)	18.222	18.734	18.620
Desv. Estandar	2.399	2.692	2.385

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Tabla 4.6 Corridas de tiempo de viaje vehicular obtenidas del PTV VISSIM 8.0 para calibración (s).

VEHICLE TRAVEL TIME MEASUREMENT EVALUATION: SIMRUN	TIME INTERVAL (s)	VEHICLE TRAVEL TIME MEASUREMENT	VEHS (ALL)	TRAV TM(ALL) (s)
1	600-4200	1	632	20.24
2	600-4200	1	580	17.5
3	600-4200	1	574	22.2
4	600-4200	1	587	18.51
5	600-4200	1	564	18.9
6	600-4200	1	589	17.96
7	600-4200	1	595	20.21
8	600-4200	1	637	22.74
9	600-4200	1	610	19.85
10	600-4200	1	563	19.57
11	600-4200	1	576	18.27
12	600-4200	1	616	18.19
13	600-4200	1	615	19.7
14	600-4200	1	603	19.59
15	600-4200	1	616	20.07
AVG	600-4200	1	597	19.57
STD DEV	600-4200	1	24	1.47
MIN	600-4200	1	563	17.5
MAX	600-4200	1	637	22.74

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Asimismo, haciendo uso de la prueba de Two Tails, se obtuvo un rango de -1.356 a 1.290 y la diferencia de medias de los tiempos de viaje fue de -0.88 (Figura 4.5), lo cual comprobó que es aceptable, ya que se encuentra en la zona de confianza, también llamada zona de no rechazo en el rango de -1.356 y 1.290, es decir, se cumplió con la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias.

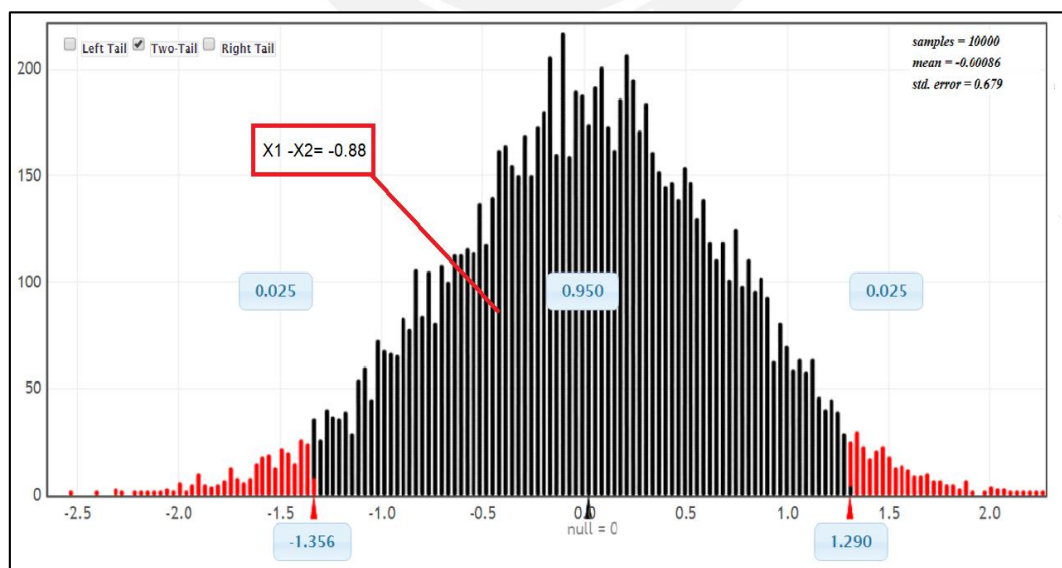


Figura 4.4 Prueba de hipótesis nula de tiempo de viaje vehicular.

Tomado de Fuente Propia.

Finalmente, para los datos correspondientes de la otra avenida, es decir, el tiempo de viaje vehicular, las corridas finales elegidas para el modelo en PTV VISSIM 8.0 y la evaluación estadística en STATKEY, se encuentran dentro de la sección de Anexos.

4.3. Calibración del modelo peatonal.

Al igual que la calibración vehicular que se realizó, se tomó datos de campo de los peatones, los cuales se insertaron en el software PTV VISSIM 8.0 para el desarrollo de un modelo peatonal de calibración y que posteriormente se validaron.

4.3.1. Áreas y cruces peatonales.

En el modelo de PTV VISSIM 8.0, se crearon áreas en donde los peatones descansan para poder cruzar la intersección y, también, se definieron las líneas de deseo según se notaron en campo. Las imágenes del modelo, en donde se pueden visualizar las áreas, están incluidas en la sección de Anexos.

4.3.2. Determinación de los tiempos de viaje peatonal.

En este acápite se explica el uso de la herramienta Pedestrian Travel Time para obtener los tiempos de viaje de los peatones, los cuales fueron simuladas en 15 corridas para posteriormente poder compararlos con los resultados de campo recolectados. El comando Pedestrian Travel Time se define previamente como parámetro en la sección Simulation Parameters para que, posteriormente una vez corrido el programa, se obtenga los resultados en la sección Lists.

4.3.3. Parámetros del comportamiento del peatón.

Los parámetros que intervinieron, para la calibración peatonal, son las variables Tau y Lambda. La primera representa a la aceleración de los peatones y la segunda a la distancia existente entre los peatones, ambos dependen de la densidad peatonal existente. Cabe resaltar que para nuestro modelo se usó un valor de Tau igual a 0.05 y el valor de lambda de 0.17.

4.3.4. Evaluación del número de corridas del modelo para peatones.

Para los datos obtenidos en la calibración para peatones, se usaron los parámetros Tau y Lambda con los valores de 0.05 y 0.17, en base a ello se hizo las corridas. En la tabla

4.7, se puede observar los datos de campo de los tiempos promedios que tarda un peatón en cruzar las avenidas. Además, cabe señalar que se determinó la velocidad de los peatones con los datos de tiempo y distancia recorrido de un peatón, mediante la fórmula de física reconocida, el cual tiene un valor de 6 km/h o 1.66 m/s según lo que se vio en campo.

Tabla 4.7 *Tiempo promedio de viaje peatonal de cada cruce obtenidas en campo (s).*

	RESULTADOS	
	TIEMPO (s)	PROMEDIO (s)
Origen 1-2	6.42	6.44
Origen 1-4	6.46	
Origen 2-1	6.80	6.77
Origen 2-3	6.74	
Origen 3-2	6.71	6.67
Origen 3-4	6.64	
Origen 4-1	6.96	6.95
Origen 4-3	6.94	

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Luego, se introdujo los datos al software y se realizó 15 corridas en el modelo para cada cruce y se agrupó los orígenes. A continuación, se muestra la tabla comparativa (Tabla 4.8).

Tabla 4.8 *Resultados promedios de tiempo de viaje peatonal entre PTV VISSIM y los de campo.*

Orígenes	Tau	Lambda	Promedio de los tiempos Vissim (s)	Promedio de los tiempos Campo (s)
Origen 1-2, 1-4	0.05	0.17	6.51	5.95
Origen 2-1, 2-3			6.82	6.11
Origen 3-2, 3-4			6.69	5.91
Origen 4-1, 4-3			7.05	6.06

Nota. Tomado de Fuente Propia.

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

En esta parte, se utilizó la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias para peatones con un nivel de confianza del 95%, haciendo uso del programa Randomization Test. Por ello, se recopilaron los tiempos de viaje de campo de los 12 peatones (Tabla 4.10) y los resultados obtenidos de las 15 corridas del PTV VISSIM 8.0 (Tabla 4.11). Por otro lado, para simplificar el estudio, se optó por utilizar los tiempos de viaje de un solo cruce (1-4 y 4-1) para la tesis, pero los datos de los demás orígenes están en la sección de Anexos.

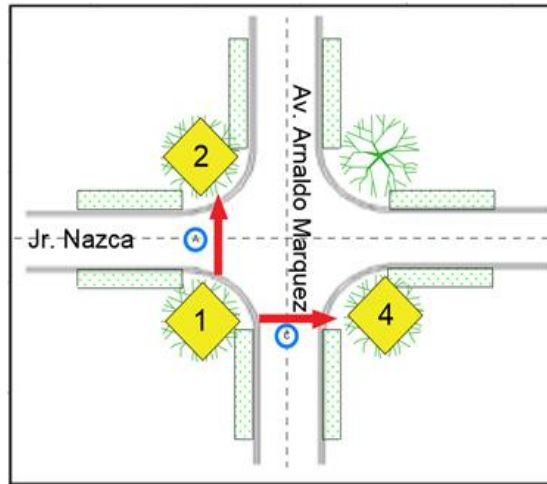


Figura 4.5 Esquema de cruce 1-4 y 4-1.

Tomado de Fuente Propia.

Seguidamente, se pasó a verificar si el número de corridas era el adecuado, haciendo uso de los datos obtenidos de campo y los de software, como la media y la desviación estándar, para hallar en cada caso el valor de N asumido (15), en caso del PTV VISSIM 8.0 y el N asumido (35) para la calle Nazca, en caso de los datos recogidos de campo hallados con la fórmula de múltiples corridas (Ecuación 2.2).

Tabla 4.9 Resultado de los datos recolectados.

	Media del tiempo de viaje en seg (X)	Desviacion Estandar (S)	n (tamaño de muestra)	t-student	Resultados de "N"
Campo	6.440	0.164	12.000	2.145	6.644
Vissim	6.510	0.190	15.000	2.145	1.567

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Se obtuvo un N menor al número de corridas asumido tanto para los datos de campo como para el asumido en el software, lo cual es aceptable.

Finalmente, para los datos correspondientes a los otros orígenes, es decir, las tablas de datos recolectados en campo y del PTV VISSIM 8.0, similar a la Tabla 4.9, 4.10 y 4.11, se encuentran dentro de la sección de Anexos.

Tabla 4.10 Tiempo de viaje peatonal obtenidas del campo para calibración (s).

TIEMPO DE VIAJE PEATONAL			
ORIGEN 1	TIEMPO (s)		
MUESTRA	1-4	1-2	PROMEDIO
1	6.78	6.99	6.89
2	6.98	6.78	6.88
3	6.91	6.99	6.95
4	6.85	7.05	6.95
5	6.48	6.77	6.63
6	7.10	7.00	7.05
7	6.69	6.80	6.75
8	6.73	6.79	6.76
9	6.95	7.01	6.98
10	6.83	6.93	6.88
11	6.95	6.98	6.97
12	6.97	6.77	6.87
Promedio de tiempo (s)	6.852	6.905	6.879
Desv. Estandar	0.165	0.112	0.118

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Tabla 4.11 Corridas de tiempo de viaje peatonal obtenidas del PTV VISSIM 8.0 para calibración (s).

PEDESTRIAN TRAVEL TIME MEASUREMENT EVALUATION: SIMRUN	TIME INTERVAL (s)	PEDESTRIAN TRAVEL TIME MEASUREMENT	TRAV TM (ALL) (s)	PEDS (ALL)
1	600-4200	1	6.44	35
2	600-4200	1	6.18	37
3	600-4200	1	6.43	37
4	600-4200	1	6.44	37
5	600-4200	1	6.39	37
6	600-4200	1	6.4	47
7	600-4200	1	6.56	36
8	600-4200	1	6.6	28
9	600-4200	1	6.39	35
10	600-4200	1	6.49	33
11	600-4200	1	6.47	34
12	600-4200	1	6.8	33
13	600-4200	1	6.63	33
14	600-4200	1	6.39	33
15	600-4200	1	6.96	33
AVG	600-4200	1	6.51	35
STD DEV	600-4200	1	0.19	4
MIN	600-4200	1	6.18	28
MAX	600-4200	1	6.96	47

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Adicionalmente, haciendo uso de la prueba Two Tails, se obtuvo un rango de -0.137 a 0.140 y la diferencia de medias de los tiempos de viaje fue de -0.77 (Figura 4.7), lo cual comprobó que es aceptable, ya que se encuentra en la zona de confianza, también llamada zona de no rechazo en el rango de -0.137 y 0.140, es decir, se cumplió la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias.

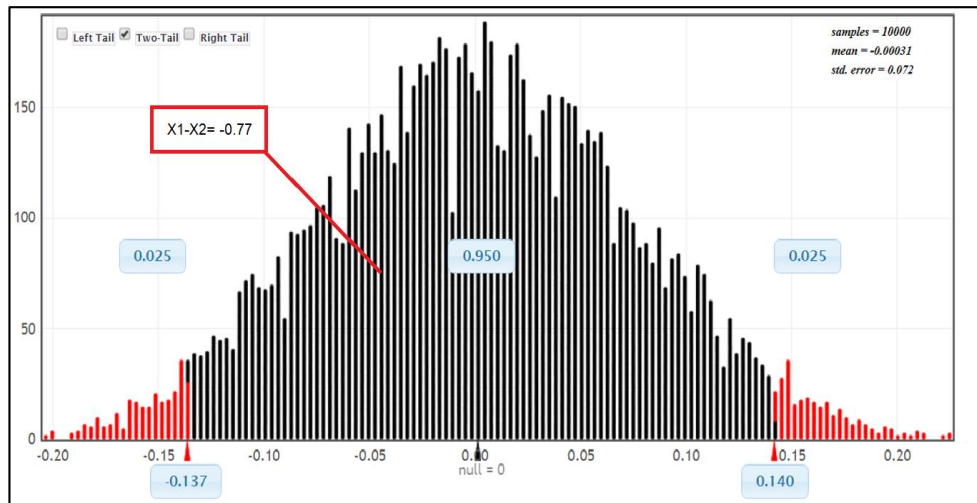


Figura 4.6 Prueba de hipótesis nula del tiempo de viaje peatonal.

Tomado de Fuente Propia.

Finalmente, para los datos correspondientes a los otros orígenes, el tiempo de viaje vehicular, las corridas finales elegidas del modelo en PTV VISSIM 8.0 y la evaluación estadística en STATKEY, se encuentran dentro de la sección de Anexos.

4.4. Validación del modelo.

Para la realización de este procedimiento, se tuvo que insertar nuevos valores obtenidos en campo (Anexos). De este modo, se usó los mismos parámetros de la calibración (Wiedemann, Tau y Lambda) y se simuló 15 veces el modelo de validación. Posteriormente se pasó a verificar si el número de corridas es el adecuado, haciendo uso de la ecuación de múltiples corridas (Ecuación 2.2).

4.4.1. Validación del modelo vehicular.

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 que usa el programa de Randomization Test. En primer lugar, se recopilamos los tiempos de viaje de 25 vehículos en campo para cada avenida (Tabla 4.13) y los resultados obtenidos de las 15 corridas del PTV VISSIM 8.0 para las mismas (Tabla 4.14). Para simplificar el estudio, se optó por utilizar los tiempos de viaje de los carriles A y B para este documento; sin embargo, en la sección de anexos se adjuntan los demás carriles de la otra vía. Seguidamente, se pasó a verificar si el número de corridas es el adecuado, haciendo uso de los datos obtenidos de campo y los de software, como la media y la desviación estándar, para

hallar, en cada caso, el valor de N asumido (15) y el N de campo hallado con la fórmula de múltiples corridas (Ecuación 2.2).

Tabla 4.12 *Resultados de los datos recolectados.*

	Media del tiempo de viaje en seg (X)	Desviacion Estandar (S)	n (tamaño de muestra)	t-student	Resultados de "N"
Campo	18.314	2.430	35.000	2.145	32.395
Vissim	19.010	1.560	15.000	2.145	12.391

Nota. Tomado de *Fuente Propia.*

Se obtuvo un N menor al número de corridas asumido tanto para los datos de campo como para el asumido en el software, lo cual es aceptable.

Finalmente, para los datos correspondientes a la otra avenida, es decir, la tabla de datos recolectados en campo y el PTV VISSIM 8.0, similar a la Tabla 4.12, 4.13 y 4.14, se encuentran dentro de la sección de Anexos.

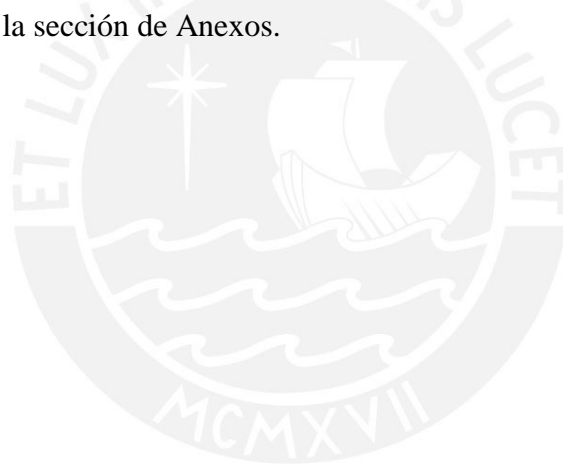


Tabla 4.13 *Tiempo de viaje vehicular obtenidas del campo para validación (s).*

N°	TIEMPO DE VIAJE (s)		
	Con una distancia recorrida de 72 m		
	CARRIL A	CARRIL B	TIEMPO PROM (s)
1	16.400	15.560	15.980
2	16.680	17.440	17.060
3	16.900	14.000	15.450
4	21.300	22.400	21.850
5	20.420	20.200	20.310
6	18.860	21.480	20.170
7	16.680	17.640	17.160
8	21.820	24.000	22.910
9	23.560	23.520	23.540
10	19.740	19.080	19.410
11	21.220	20.420	20.820
12	15.580	20.200	17.890
13	16.060	18.400	17.230
14	17.000	16.400	16.700
15	18.540	23.080	20.810
16	16.520	18.460	17.490
17	18.920	15.080	17.000
18	15.360	18.160	16.760
19	16.400	22.000	19.200
20	17.680	16.840	17.260
21	18.420	18.240	18.330
22	20.680	20.180	20.430
23	14.220	14.080	14.150
24	16.900	15.000	15.950
25	16.460	19.820	18.140
26	16.900	14.000	15.450
27	20.820	17.000	22.910
28	19.560	19.520	23.540
29	19.740	19.080	19.410
30	17.220	18.420	20.820
31	15.580	19.200	17.890
32	15.360	18.160	16.760
33	16.400	19.820	19.200
34	17.680	16.840	17.260
35	18.420	18.240	18.330
Promedio de tiempo (s)	18.000	18.627	18.314
Desv. Estandar	2.192	2.641	2.430

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Tabla 4.14 *Corridas de tiempo de viaje vehicular obtenidas del PTV VISSIM 8.0 para validación (s).*

VEHICLE TRAVEL TIME MEASUREMENT EVALUATION: SIMRUN	TIME INTERVAL (s)	VEHICLE TRAVEL TIME MEASUREMENT	VEHS (ALL)	TRAV TM(ALL) (s)
1	600-4200	1	747	17.58
2	600-4200	1	704	16.99
3	600-4200	1	682	21.07
4	600-4200	1	712	18.9
5	600-4200	1	682	19.08
6	600-4200	1	709	18.56
7	600-4200	1	700	18.59
8	600-4200	1	767	22.33
9	600-4200	1	727	18.55
10	600-4200	1	685	20.37
11	600-4200	1	680	16.88
12	600-4200	1	701	17.03
13	600-4200	1	743	19.39
14	600-4200	1	697	20.12
15	600-4200	1	751	19.68
AVG	600-4200	1	712	19.01
MAX	600-4200	1	767	22.33
MIN	600-4200	1	680	16.88
STD DEV	600-4200	1	28	1.56

Nota. Tomado de Fuente Propia.

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 -1.346 a 1.308 y la diferencia de medias de los tiempos de viaje fue de -0.26 (Figura 4.8), lo cual comprobó que es aceptable, ya que se encuentra en la zona de confianza, también llamada zona de no rechazo en el rango de -1.346 y 1.308, es decir, se cumplió la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias.

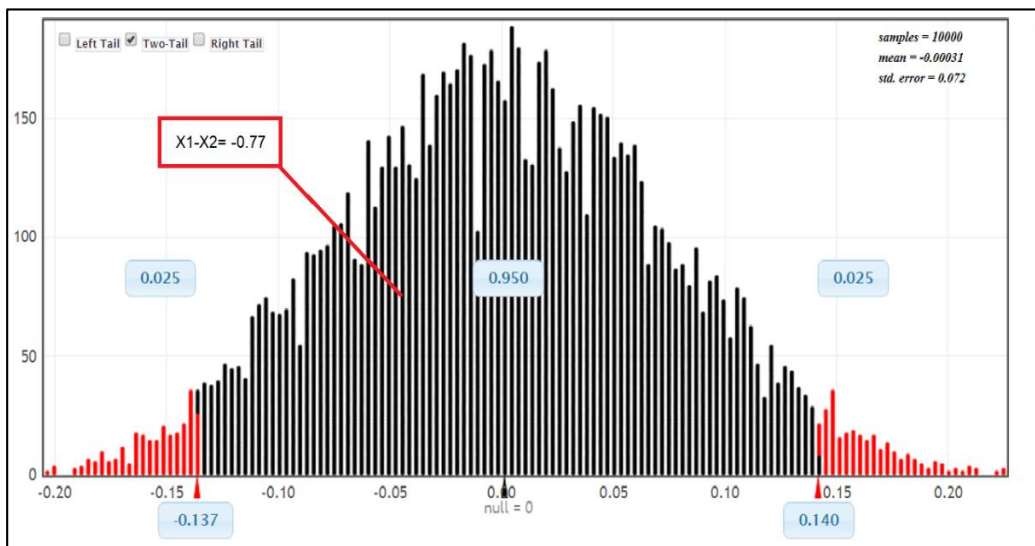


Figura 4.7 Prueba de hipótesis nula para tiempo de viaje vehicular.

Tomado de Fuente Propia.

Finalmente, para los datos correspondientes a la otra avenida, el tiempo de viaje vehicular, las corridas finales elegidas del modelo en PTV VISSIM 8.0 y la evaluación estadística en STATKEY, se encuentran dentro de la sección de Anexos.

4.4.2. Validación para peatones.

En esta parte, se utilizó la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias para peatones con un nivel de confianza del 95%, haciendo uso del programa Randomization Test. Por ello, se recopilamos los tiempos de viaje de campo de los 12 peatones (Tabla 4.16) y los resultados obtenidos de las 15 corridas del PTV VISSIM 8.0 (Tabla 4.17). Por otro lado, para simplificar el estudio, se optó por utilizar los tiempos de viaje de un solo cruce (1-4 y 4-1) para este estudio, pero los datos de los demás orígenes están en la sección de Anexos.

Seguidamente, se pasó a verificar si el número de corridas es el adecuado, haciendo uso de los datos obtenidos de campo y los de software, como la media y la desviación estándar, para hallar el valor de N asumido (15) y el N de campo hallado con la fórmula de múltiples corridas (Ecuación 2.2).

Tabla 4.15 *Resultados de datos recolectados.*

	Media del tiempo de viaje en seg (X)	Desviación Estandar (S)	n (tamaño de muestra)	t-student	Resultados de "N"
Campo	6.879	0.118	12.000	2.145	3.882
Vissim	6.960	0.250	15.000	2.145	2.370

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Se obtuvo un N menor al número de corridas asumido tanto para los datos de campo como para el asumido en el software, lo cual es aceptable.

Finalmente, para los datos correspondientes a los otros orígenes, es decir, la tabla de datos recolectados en campo y el PTV VISSIM 8.0, similar a la Tabla 4.15, 4.16 y 4.17, se encuentran dentro de la sección de Anexos.

Tabla 4.16 *Tiempo de viaje peatonal obtenidas de campo para validación (s).*

TIEMPO DE VIAJE PEATONAL			
ORIGEN 1	TIEMPO (s)		
MUESTRA			PROMEDIO
1	6.78	6.99	6.89
2	6.98	6.78	6.88
3	6.91	6.99	6.95
4	6.85	7.05	6.95
5	6.48	6.77	6.63
6	7.10	7.00	7.05
7	6.69	6.80	6.75
8	6.73	6.79	6.76
9	6.95	7.01	6.98
10	6.83	6.93	6.88
11	6.95	6.98	6.97
12	6.97	6.77	6.87
Promedio de tiempo (s)	6.852	6.905	6.879
Desv. Estandar	0.165	0.112	0.118

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Tabla 4.17 *Corridas de tiempo de viaje peatonal obtenidas del PTV VISSIM 8.0 para validación (s).*

PEDESTRIAN TRAVEL TIME MEASUREMENT EVALUATION: SIMRUN	TIME INTERVAL (s)	PEDESTRIAN TRAVEL TIME MEASUREMENT	TRAV TM (ALL) (s)	PEDS (ALL)
1	600-4200	1	6.64	37
2	600-4200	1	6.62	51
3	600-4200	1	7.15	38
4	600-4200	1	7.04	44
5	600-4200	1	6.61	44
6	600-4200	1	7.05	45
7	600-4200	1	7.21	41
8	600-4200	1	7.49	35
9	600-4200	1	6.93	49
10	600-4200	1	7.07	39
11	600-4200	1	7.04	40
12	600-4200	1	6.68	34
13	600-4200	1	6.77	39
14	600-4200	1	7.01	50
15	600-4200	1	7.05	42
AVG	600-4200	1	6.96	42
STD DEV	600-4200	1	0.25	5
MIN	600-4200	1	6.61	34
MAX	600-4200	1	7.49	51

Nota. Tomado de Fuente Propia.

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 -0.154 a 0.150 y la diferencia de medias de los tiempos de viaje fue de -0.08 (Figura 4.9), lo cual comprobó que es aceptable, ya que se encuentra en la zona de confianza, también llamada zona de no rechazo en el rango de -0.154 y 0.150, es decir, se cumplió la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias.

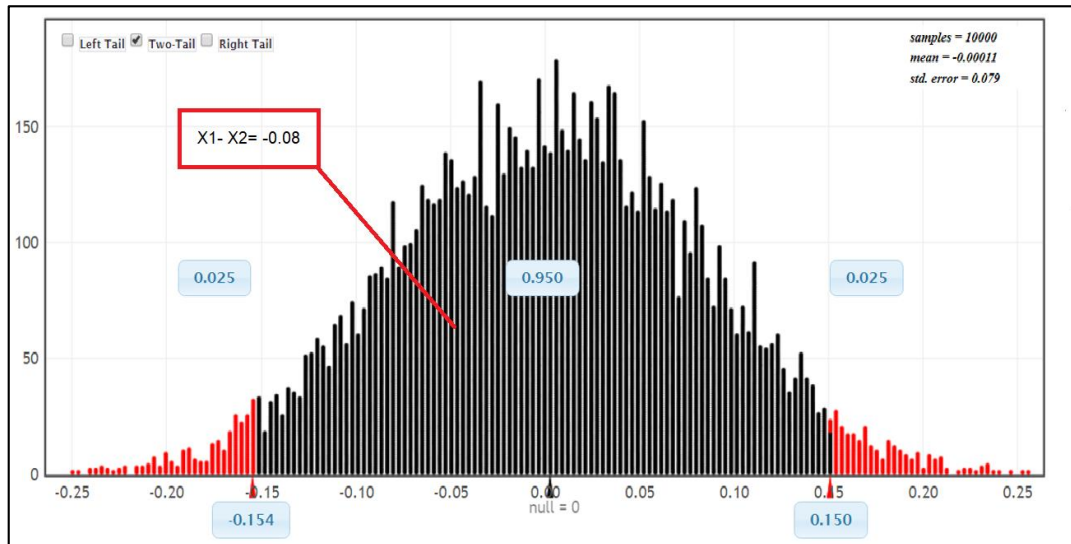
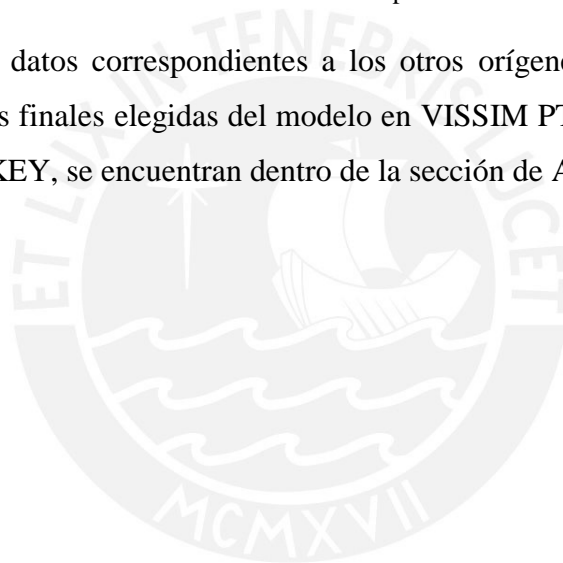


Figura 4.8 Prueba de hipótesis nula para tiempo de viaje peatonal.

Tomado de Fuente Propia.

Finalmente, para los datos correspondientes a los otros orígenes, el tiempo de viaje vehicular, las corridas finales elegidas del modelo en VISSIM PTV 8.0 y la evaluación estadística en STATKEY, se encuentran dentro de la sección de Anexos.



Capítulo 5. Resultados y propuestas de rediseño

5.1. Resultados de la Micro-simulación del escenario actual.

En primer lugar, con el modelo ya calibrado, se observó que los resultados de eficiencia de vehículos y peatones son lo más próximos a lo observado en la realidad. Lo cual nos permitió saber la situación actual de la intersección y los conflictos que esta presenta. Posteriormente, con esta información inicial se pudo plantear nuevas propuestas de diseño en el modelo de rediseño para poder ver mejoras y priorizar a los peatones más que a los vehículos.

- Resumen de resultados de calibración.

Los resultados de rendimiento o eficiencia para vehículos son el tiempo detenido y la velocidad. Asimismo, se puede observar los resultados promedios del software como las demoras que dio un valor de 7.63 seg/veh; los tiempos detenidos con un valor de 0.69 seg; y la velocidad promedio de 20.81 km/h.

Tabla 5.1 Resultados del desempeño vehicular en la vía.

VEHICLE NETWORK PERFORMANCE MEASUREMENT EVALUATION:SIMRUN	TIME INTERVAL (s)	DELAY AVG (ALL) (s)	STOPS AVG (ALL) (s)	SPEED AVG (ALL) (km/h)
1	600-4200	8.35	0.73	20.51
2	600-4200	5.82	0.5	21.98
3	600-4200	9.72	0.85	19.31
4	600-4200	6.33	0.53	21.66
5	600-4200	6.89	0.66	21.17
6	600-4200	5.93	0.57	21.92
7	600-4200	7.86	0.74	20.62
8	600-4200	11.53	1.04	18.69
9	600-4200	7.14	0.63	21.1
10	600-4200	8.16	0.72	20.23
11	600-4200	6.42	0.59	21.52
12	600-4200	7.26	0.65	21.16
13	600-4200	8.04	0.71	20.61
14	600-4200	7.09	0.61	21.1
15	600-4200	7.9	0.84	20.59
AVG	600-4200	7.63	0.69	20.81
STD DEV	600-4200	1.49	0.14	0.91
MIN	600-4200	5.82	0.5	18.69
MAX	600-4200	11.53	1.04	21.98

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Por otro lado, para los peatones se obtuvieron resultados de los parámetros de eficiencia como la velocidad y el tiempo de viaje (Tabla 5.2).

Tabla 5.2 Resultados del desempeño peatonal.

PEDESTRIAN NETWORK PERFORMANCE MEASUREMENT EVALUATION: SIMRUN	TIME INTERVAL (s)	SPEED AVG (ALL) (km/h)	TRAV TM AVG (ALL) (s)
1	600-4200	5.92	6.89
2	600-4200	5.92	6.84
3	600-4200	5.91	6.95
4	600-4200	5.92	6.94
5	600-4200	5.92	6.86
6	600-4200	5.92	6.85
7	600-4200	5.92	6.98
8	600-4200	5.92	7.08
9	600-4200	5.92	6.94
10	600-4200	5.93	6.95
11	600-4200	5.92	6.89
12	600-4200	5.93	7.01
13	600-4200	5.92	7
14	600-4200	5.92	7.01
15	600-4200	5.92	6.91
AVG	600-4200	5.92	6.94
STD DEV	600-4200	0.01	0.07
MIN	600-4200	5.91	6.84
MAX	600-4200	5.93	7.08

Nota. Tomado de Fuente Propia.

En esta tabla se puede observar que el resultado promedio de velocidades es de 5.92 Km/h y el tiempo de viaje es de 6.94 seg.

5.2. Propuestas de mejora.

Antes de proponer las mejoras, se mencionarán algunos problemas y riesgos que se pudieron observar en la intersección cuando se hizo el estudio de campo. En primer lugar, se pudo observar la falta de semaforización en la intersección (Figura 5.1) que afecta a los peatones como a los vehículos en el cruce de las avenidas causando desorden y accidentes. Además, cerca de la intersección, se encuentra un centro educativo, tiendas y departamentos multifamiliares; debido a ello, se propone un rediseño pensando en la correcta interacción entre los peatones como los vehículos.

En segundo lugar, se puede observar, en las siguientes imágenes (Figura 5.1 y Figura 5.2), la falta de señalización de los paraderos; el uso exclusivo de un rompe muelle para la reducción de la velocidad; y, áreas de parqueo anchas e innecesarias en algunos casos, que afectan a los usuarios, lo cual lleva a proponer la reducción de estas áreas de parqueo para dar prioridad al diseño de posibles ciclovías, sin afectar a los peatones ni vehículos,

teniendo en cuenta las normas vigentes. Sin embargo, es una posibilidad implementar la ciclovia, pero no es una medida urgente para solucionar los problemas en la vía.



Figura 5.1 Problemas en la Av. Arnaldo Márquez.

Tomado de Fuente Propia.



Figura 5.2 Problemas en la Calle Nazca.

Tomado de Fuente Propia.

En tercer lugar, se pudo observar que uno de los medios de transporte, que circula en esta intersección, es el servicio público (Figura 5.2), por lo que se ha dado importancia a una posible creación de un paradero de autobús; sin embargo, no es una medida urgente que solucione los problemas actuales de la vía por el pequeño flujo del mismo.

En caso de las propuestas de rediseño, se consideró los resultados obtenidos del diseño actual vehicular y peatonal, los cuales serán comparados con el de rediseño. Estos son, para el caso vehicular, el tiempo detenido y la velocidad. Adicionalmente, para el caso peatonal, se usaron los parámetros de velocidad y el tiempo de viaje para luego ser comparadas con el modelo de rediseño. Finalmente, se analizó los problemas de seguridad vial que se observaron en la intersección. En base a ello, se realizaron las

modificaciones en el modelo de rediseño que se mostrarán a continuación con los que se obtuvieron los nuevos resultados que fueron analizados para saber si los cambios realizados generaron mejoras.

5.2.1. Señalización en la intersección.

La señalización dentro de la intersección es muy pobre, lo cual se está considerando en el rediseño el uso de una adecuada señalización.



Figura 5.3 Rediseño de la intersección en AutoCAD.

Tomado de Fuente Propia.

5.2.2. SemafORIZACIÓN en la intersección.

Se implementó dos semáforos en la Av. Arnaldo Márquez y la calle Nazca. Estos semáforos son semáforos pre-sincronizados con tiempos pre-establecidos con un tiempo de 35 segundos en rojo, 35 segundos en verde y 2 segundos en ámbar.

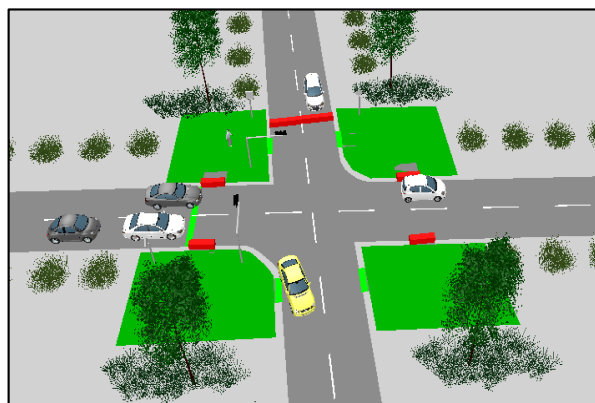


Figura 5.4 Rediseño de la intersección en PTV VISSIM 8.0.

Tomado de Fuente Propia.

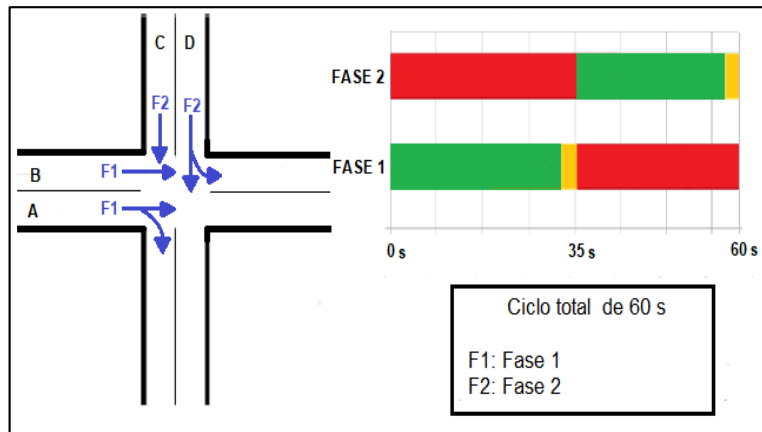


Figura 5.5 Ciclos del semáforo.

Tomado de Fuente Propia.

5.2.3. Anchos adecuados de los carriles.

A diferencia de otras vías o intersecciones más amplias que se encuentran en la ciudad de Lima, las vías de acceso y salida de la intersección en análisis cuentan con un ancho adecuado para los vehículos que transitan en la misma, debido a que es una intersección con avenidas medianas sin un gran volumen vehicular por ahora. En el diseño actual los anchos de los carriles vehiculares de la intersección oscilan entre 3.0 m a 3.3 m en las que transitan autos, combis, custers, buses, camiones medianos y motos, siendo los buses los que presentan mayor ancho llegando a medir 2.5 m y un largo de 8.5 m. Se consideró que estos anchos de las vías son adecuados, por lo que para el rediseño se han conservado.

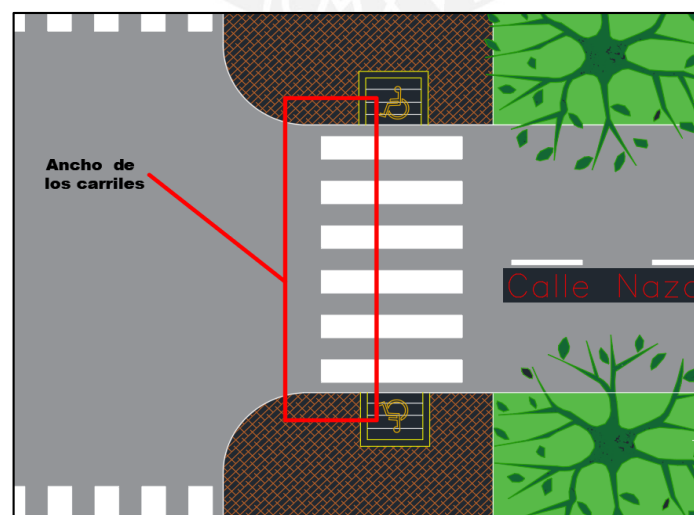


Figura 5.6 Ancho de los carriles.

Tomado de Fuente Propia.

5.2.4. Veredas.

En el caso de las veredas, se puede cambiar el ancho de 2 metros a 1.20 metros, ya que es el mínimo requerido en calles secundarias, pero lo que se desea es que esta vía sea accesible para los usuarios más vulnerables; por ello, se mantuvo ese ancho, no solo para los peatones, sino para personas en silla de ruedas. Esta medida cumple con lo mencionado en el artículo 5 de la Norma GH. 020 (Tabla 2.10) que indica que para viviendas ubicadas en vías locales secundarias se podrá usar valores desde 1.2 a 2 m.

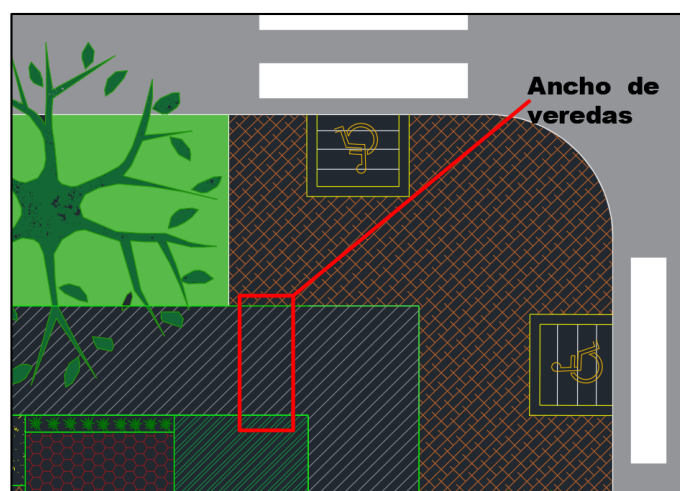


Figura 5.7 Ancho de las veredas.

Tomado de Fuente Propia.

5.2.5. Extensión de los bordes de esquina.

No es necesario hacer esta modificación, ya que se observó que los peatones tienen un recorrido continuo y de menor distancia, debido a una adecuada extensión de borde de esquina. Adicionalmente, estos bordes de esquina permiten tener cruces perpendiculares a las veredas; rampas alineadas a los cruces de forma perpendicular; y, un mayor espacio para el tránsito de los peatones.

Con respecto a los vehículos, estos bordes de esquina tienen aproximadamente un radio de 6 m, los cuales a simple vista producen una aceptable visibilidad para los conductores de los vehículos quienes manejan dentro de los carriles de la calle Nazca y la Av. Arnaldo Márquez. Según NACTO el valor del radio es adecuado, debido a la velocidad de diseño que se observó en la vía al momento de recolectar los datos de campo.

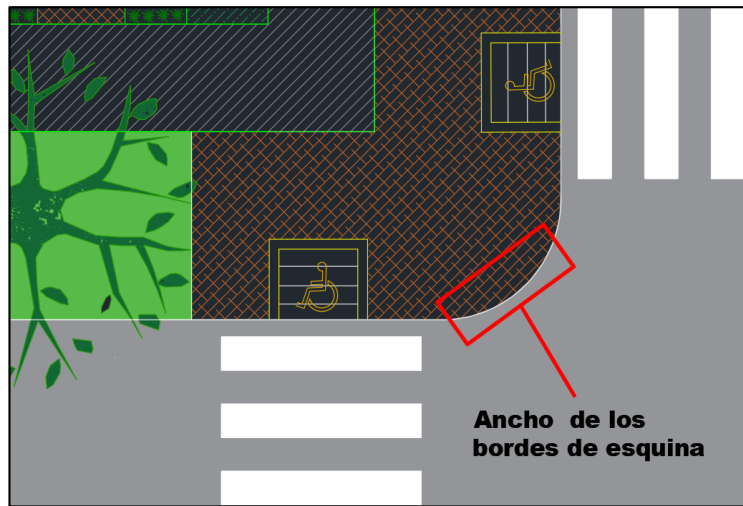


Figura 5.8 Ancho de los bordes de esquina.

Tomado de Fuente Propia.

5.2.6. Uso de crucesos peatonales.

Los crucesos forman parte importante de una ruta peatonal. Según norma el peatón hará uso de estas infraestructuras como son los crucesos siempre y cuando vayan de acuerdo al flujo natural de los mismos (NACTO, 2012). Por ello, antes de ser re-diseñados los crucesos, se deben analizar si los usuarios harán uso de los mismos. Para el rediseño se consideró dos crucesos a nivel, es decir, uno en la Calle Nazca y el otro en la Av. Arnaldo Márquez. Finalmente, las señalizaciones de los crucesos se representaron con líneas blancas, sobre ambas avenidas, que por norma son diseñadas perpendicularmente y con continuidad en dirección a las rampas.

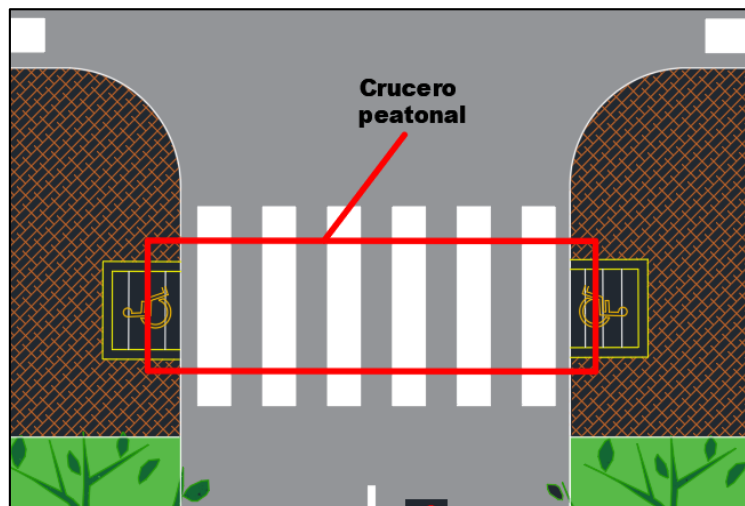


Figura 5.9 Crucesos peatonales.

Tomado de Fuente Propia.

5.2.7. Uso de rampas continuas en cruces.

El diseño actual presenta ocho rampas en la intersección, dos en cada esquina de un total de cuatro esquinas en la intersección. Los cuales hacen que el tránsito de los peatones sea continuo y armonioso, pues no genera caos alguno. Las ocho rampas, que cuentan con 1.8 m de ancho y largo de 1.7 m, son de dimensiones adecuadas según la Norma A 120, ya que son medidas aceptables para las personas que usan silla de ruedas con dimensiones de 0.75 m de ancho y largo de 1.2 m. Adicionalmente, se verificó que las pendientes de las rampas sean las adecuadas para que realmente cumplan su función, para ello se calculó la pendiente que presentan las rampas en el diseño actual y se determinó que las pendientes no requieren de un rediseño, ya que la pendiente medida en campo es de 12% a un desnivel de 0.2m, menor a 0.25 m, que es aceptable según la norma A 120 (Tabla 2.2).

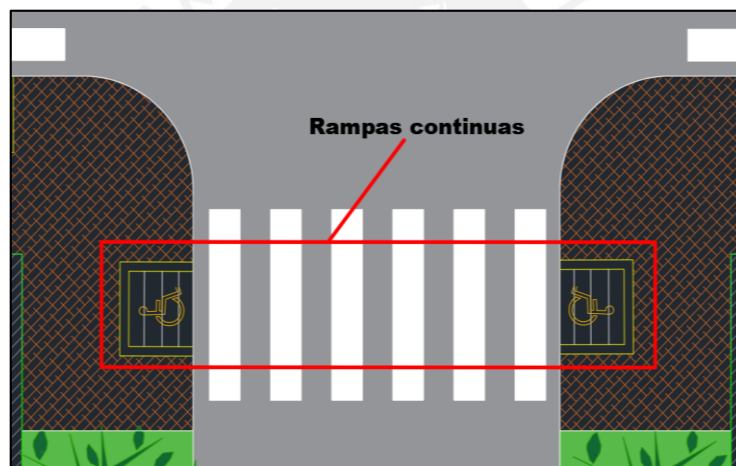


Figura 5.10 Rampas continuas.

Tomado de Fuente Propia.

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

Primero se rediseñó la intersección en un plano de AutoCAD a manera de bosquejo. Luego, este esquema se modeló en el programa PTV VISSIM 8.0 para obtener los parámetros de eficiencia de los peatones y vehículos. Los parámetros utilizados en el rediseño serán los mismos que el de calibración, siendo los parámetros de Wiedemann los siguientes $ax=2$, $bx_add=3$ y $bx_mult=3$ y para los peatones, los siguientes, $\tau=0.4$ y $\lambda=0.176$. Posteriormente, se realizaron 15 corridas para la obtención de los parámetros de eficiencia (Tabla 5.3 y 5.4). En la Tabla 5.3 se puede observar que el

resultado promedio de demoras es 14.83 seg/veh; el promedio de tiempo detenido, es de 0.76 seg; y la velocidad promedio, de 22.28 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 5.4). En esta tabla se puede observar que el resultado promedio de velocidades es 2.11 Km/h y del tiempo de viaje es de 26.78 seg.

Tabla 5.3 Resultados del desempeño vehicular en la vía.

VEHICLE NETWORK PERFORMANCE MEASUREMENT EVALUATION:SIMRUN	TIME INT (s)	DELAY AVG (ALL) (s)	STOPS AVG (ALL) (s)	SPEED AVG (ALL) (km/h)
1	600-4200	13.98	0.7	22.9
2	600-4200	14.2	0.73	22.78
3	600-4200	16.89	0.88	20.68
4	600-4200	14.53	0.75	22.52
5	600-4200	14.69	0.81	22.24
6	600-4200	14.19	0.72	22.77
7	600-4200	16.82	0.81	20.9
8	600-4200	15.52	0.78	21.82
9	600-4200	13.57	0.69	23.12
10	600-4200	13.71	0.68	22.9
11	600-4200	15.31	0.75	21.89
12	600-4200	12.76	0.69	24.02
13	600-4200	15.8	0.82	21.63
14	600-4200	16.09	0.84	21.38
15	600-4200	14.39	0.72	22.63
AVG	600-4200	14.83	0.76	22.28
STD DEV	600-4200	1.21	0.06	0.9
MIN	600-4200	12.76	0.68	20.68
MAX	600-4200	16.89	0.88	24.02

Nota. Tomado de Fuente Propia.

Tabla 5.4 Resultados del desempeño peatonal.

PEDESTRIAN NETWORK PERFORMANCE MEASUREMENT EVALUATION:SIMRUN	TIME INT (s)	SPEED AVG (ALL) (km/h)	TRAV TM AVG (ALL) (s)
1	600-4200	2.15	25.95
2	600-4200	2.05	27.68
3	600-4200	2.16	26.05
4	600-4200	2.06	28.9
5	600-4200	2.06	27.22
6	600-4200	2.15	25.77
7	600-4200	2.16	26.52
8	600-4200	2.17	25.75
9	600-4200	2.12	26.39
10	600-4200	2.1	26.04
11	600-4200	2.08	27.6
12	600-4200	2.1	26.47
13	600-4200	2.19	26.8
14	600-4200	2.1	27.24
15	600-4200	2.06	27.27
AVG	600-4200	2.11	26.78
STD DEV	600-4200	0.05	0.88
MIN	600-4200	2.05	25.75
MAX	600-4200	2.19	28.9

Nota. Tomado de Fuente Propia.

5.4. Comparación de los resultados del modelo actual con el rediseño.

Se realizó una comparación de los parámetros de eficiencia de vehículos y peatones del diseño actual y del rediseño. Por ello, se hizo 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. Análisis y evaluación estadística de las demoras de viaje de los vehículos.

El tiempo detenido promedio de las demoras, en el diseño actual, es de 7.63 seg, mientras que en el rediseño el promedio es de 14.83 seg. Para evaluar la mejora del rediseño, se realizó una evaluación estadística mediante una prueba de hipótesis alternativa de *One Tail*, en la que se estudió si el promedio de demoras de los vehículos en el rediseño de la intersección es mayor al diseño de la misma. En la Figura 5.6, se aprecia que la diferencia de medias es -7.25, encontrándose este valor fuera de la zona de no rechazo, cuyo valor máximo es -2.812.

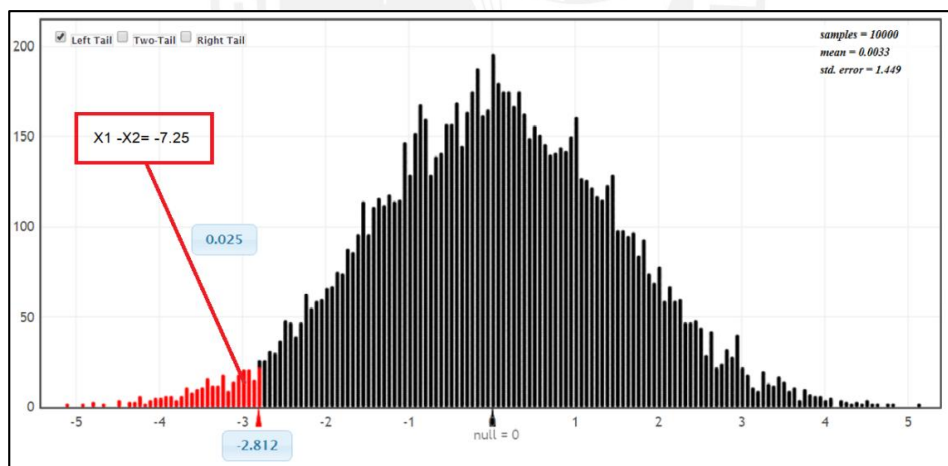


Figura 5.11 Randomization Test de comparación de demora de viaje ($-2.812 < -7.25$).

Tomado de Fuente Propia.

5.4.2. Análisis y evaluación estadística del tiempo detenido de los vehículos.

El tiempo detenido promedio de los vehículos o paradas en el diseño actual es de 0.69 seg., mientras que en el rediseño el promedio es de 0.76 seg. Para evaluar la mejora del rediseño, se realizó una evaluación estadística mediante una prueba de hipótesis alternativa de *One Tail*, en la que se estudió si el promedio del tiempo detenido de los

vehículos en el rediseño de la intersección es mayor al del diseño actual. En la Figura 5.7, se aprecia que la diferencia de medias es -0.07 , encontrándose este valor dentro de la zona de no rechazo, cuyo valor máximo es -0.080 .

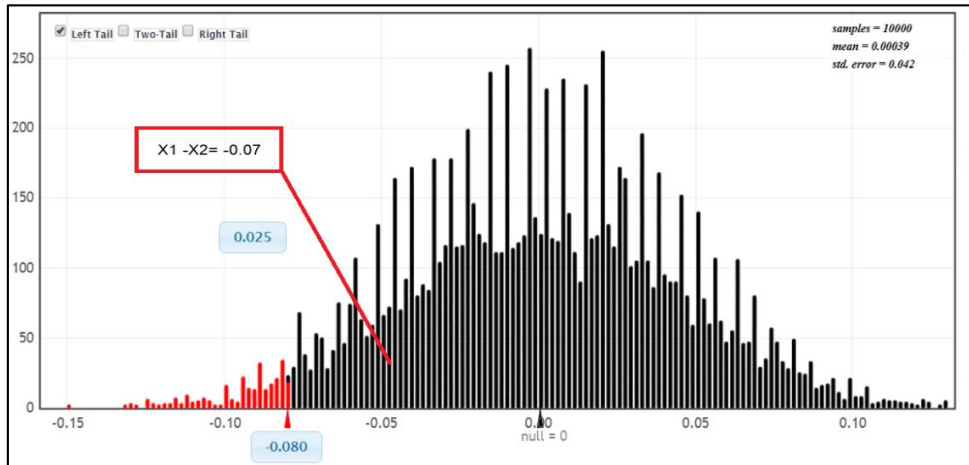


Figura 5.12 Randomization test de comparación de tiempo detenido ($-0.07 < -0.080$).

Tomado de Fuente Propia.

5.4.3. Análisis y evaluación estadística de la velocidad de viaje de los vehículos.

El promedio de la velocidad de los vehículos en el diseño actual es de 20.81 Km/h, mientras que en el rediseño el promedio es de 22.28 km/h. Con los datos del diseño actual y del rediseño, se evaluó si las velocidades del segundo son mayores a los primeros. Sin embargo, debido a que se agregaron semáforos, la velocidad de los vehículos se vio alterada un poco. En la Figura 5.8, se aprecia que la diferencia de medias es -1.45 , encontrándose este valor fuera de la zona de no rechazo, cuyo valor máximo es -0.832 .

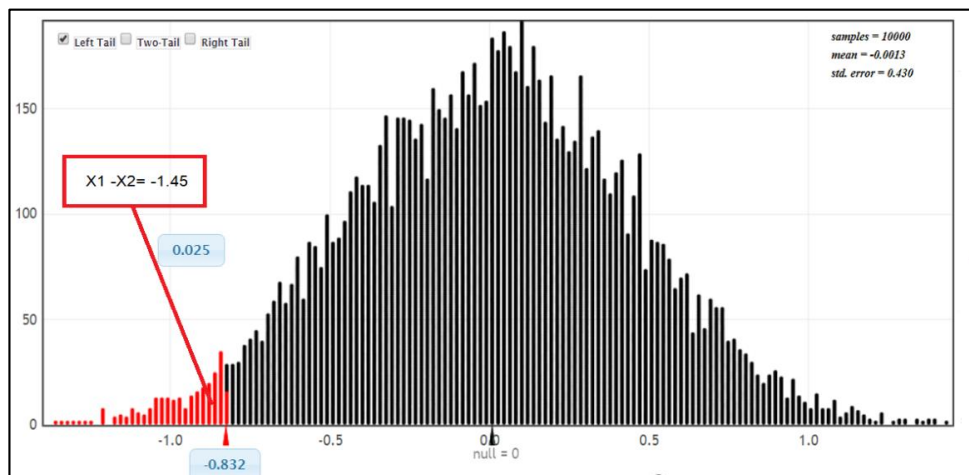


Figura 5.13 Randomization test de comparación de velocidad de los vehículos ($-0.832 < -1.45$).

Tomado de Fuente Propia.

5.4.4. Análisis y evaluación estadística del tiempo de viaje de los vehículos.

Los promedios del tiempo de viaje de los vehículos en el diseño actual son de 19.57 s y 15.22 s para la Calle Nazca y la Av. Arnaldo Márquez, mientras que en el rediseño los promedios son de 18.22 s y 16.73 s para cada uno respectivamente. Con los datos del diseño actual y del rediseño, se evalúa si las velocidades del segundo son mayores a los primeros. Sin embargo, debido a que se agregaron semáforos, la velocidad de los peatones fue alterada un poco por estas modificaciones. Cabe resaltar, que es lo menos deseado, pero si garantizó la seguridad vial de la intersección teniendo prioridad a los usuarios más que a los vehículos. En la Figura 5.9, se aprecia que para la Calle Nazca la diferencia de medias es 0.36, encontrándose este valor dentro de la zona de no rechazo, cuyo valor máximo es 0.888.

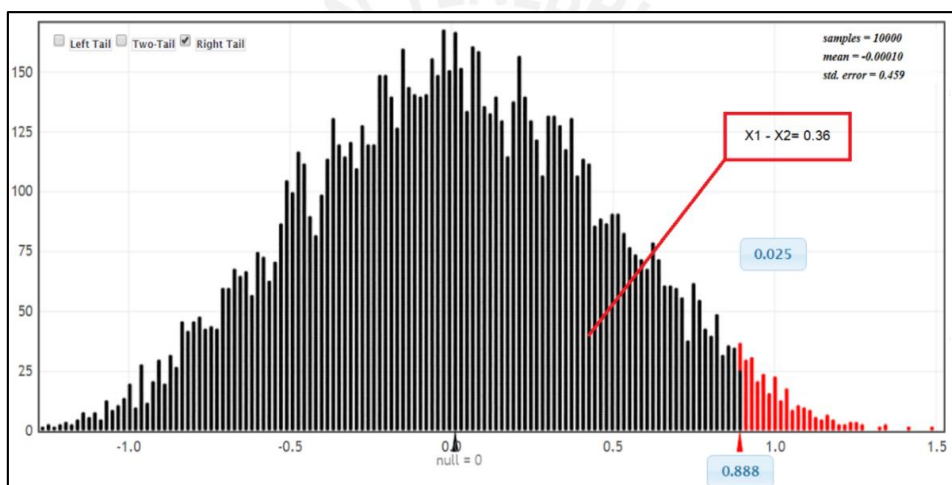


Figura 5.14 Randomization test de comparación del tiempo de viaje de los vehículos ($-0.36 < 0.888$).

Tomado de Fuente Propia.

En la Figura 5.10, se aprecia que para la Av. Arnaldo Márquez la diferencia de medias es -1.61, encontrándose este valor fuera de la zona de no rechazo, cuyo valor máximo es -0.675.

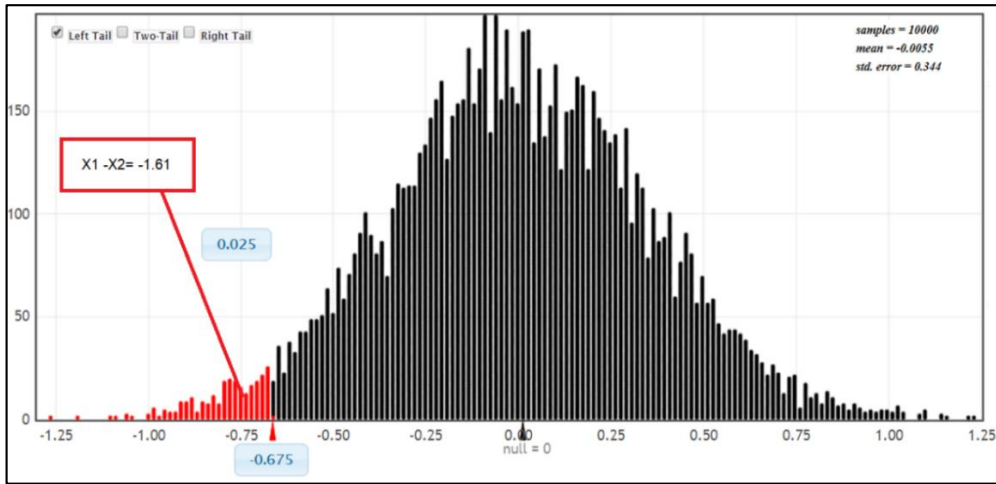


Figura 5.15 Randomization test de comparación del tiempo de viaje de los vehículos ($-0.675 < -1.61$).

Tomado de Fuente Propia.

5.4.5. Análisis y evaluación estadística de la velocidad de los peatones.

El promedio de la velocidad de los peatones en el diseño actual es de 5.92 Km/h, mientras que en el rediseño el promedio es de 2.11 km/h. Con los datos del diseño actual y del rediseño, se evalúa si las velocidades del rediseño son mayores a las del diseño actual. Sin embargo, debido a que se agregaron semáforos, la velocidad de los peatones se vio afectada notoriamente. En la Figura 5.11, se aprecia que la diferencia de medias es 1.61, encontrándose este valor fuera de la zona de no rechazo, cuyo valor máximo es 0.515.

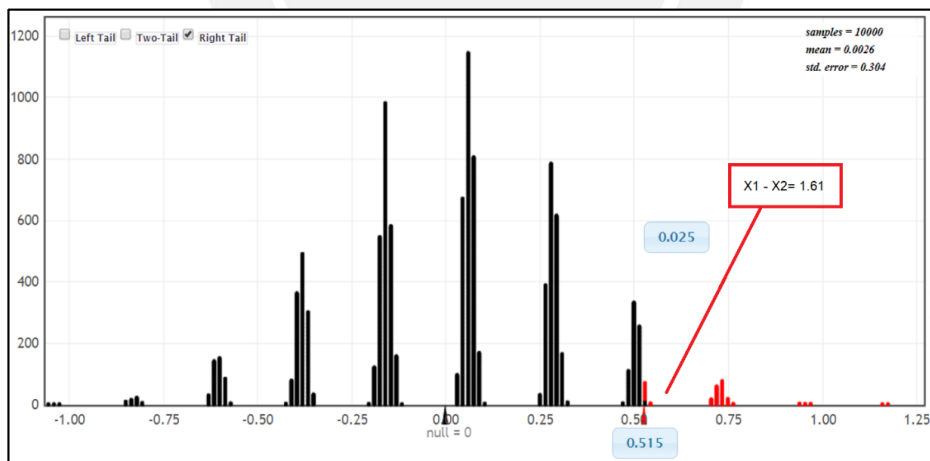


Figura 5.16 Randomization test de comparación de velocidad de los peatones ($0.515 < 1.61$).

Tomado de Fuente Propia.

5.4.6. Análisis y evaluación estadística del tiempo de viaje de los peatones.

El promedio de tiempo de viaje de los peatones en el diseño actual es de 6.94 s, mientras que en el rediseño el promedio es de 10.14 s. Con los datos del diseño actual y del rediseño, se evalúa si los tiempos de viaje del segundo son mayores a los del primero.

En la Figura 5.12, se aprecia que la diferencia de medias es -3.2, encontrándose este valor fuera de la zona de no rechazo, cuyo valor máximo es -1.091.

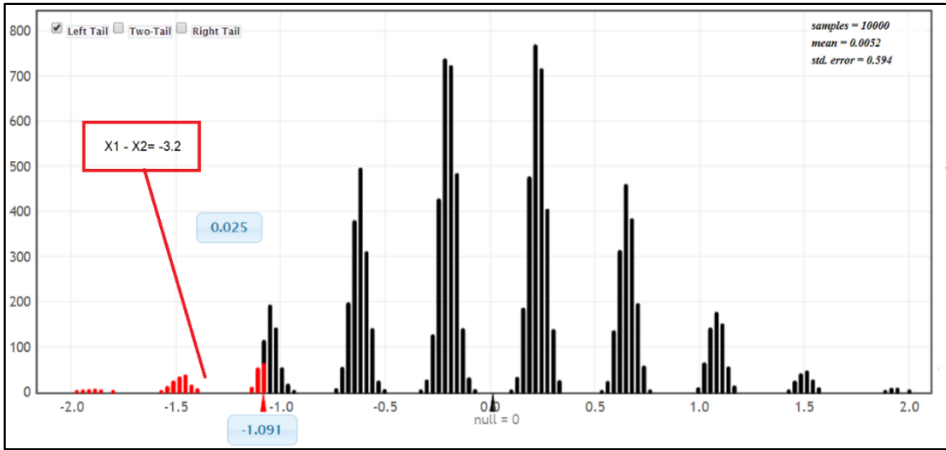


Figura 5.17 Randomization test de comparación de tiempo de los peatones (-1.091<-3.2).

Tomado de Fuente Propia.



Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Primer Objetivo: Analizar las características de desplazamiento de todos los usuarios en la intersección de la Av. Arnaldo Márquez con la Calle Nazca, ubicado en la ciudad de Lima.

La inseguridad vial en la intersección es un aspecto crítico que se trata de solucionar en esta tesis, debido a la priorización de los vehículos mas no a la presencia de la gran cantidad de usuarios vulnerables que circulan en la vía que viven en los edificios de oficinas, residencias, parques recreativos y centros educativos cercanos a la intersección. En primer lugar, cabe recalcar que, durante el análisis del modelo, fue importante conocer la naturaleza de los datos recolectados y tener presente que el modelo desarrollado solo es aplicable para el momento de análisis considerado en el tiempo y para la zona seleccionada, es decir, este estudio solo es aplicable a la intersección de la Av. Arnaldo Márquez y la Calle Nazca con las características que se encontraron en el momento en que se estudiaron los datos alrededor del mes de noviembre.

En segundo lugar, el análisis de la intersección de las Av. Arnaldo Márquez y la calle Nazca se realizó, en base a dos parámetros de eficiencia vehicular, dos parámetros de eficiencia peatonal, la observación de accesibilidad y la seguridad vial de la zona. Durante el análisis vehicular se determinó que la zona más crítica está en donde los vehículos ingresan en dirección a la calle Nazca, en donde se forma una cola de vehículos al momento de cruzar la intersección, es decir, se congestiona, debido a la falta de semaforización alrededor de la 1 pm (hora punta analizada). Además, el software comprobó que es una vía, en el cual se prioriza a los vehículos, ya que, al observar los parámetros obtenidos en el diseño actual, se notó que los vehículos son los más veloces y los que tardan poco tiempo en cruzar la vía, es decir, en el modelo actual de la intersección, se prioriza más a los vehículos.

Para más detalle, comenzaremos con el análisis de los parámetros vehiculares con énfasis en el diseño, se puede comprobar que el promedio del parámetro de demora vehicular en el diseño actual es menor que el de rediseño, debido a que en el diseño actual los

vehículos se demoran menos en cruzar la intersección, porque no hay un sistema de control que ordene el caos y las velocidades excesivas. Además, el tiempo detenido de los vehículos es menor en el diseño que en el rediseño, debido a que la falta de semáforos hace que el tiempo detenido de los vehículos sea bajo. Por otro lado, la velocidad correspondiente al diseño actual es menor al de rediseño, debido a que en el diseño los conductores están más alertas frente a la incertidumbre de que algunos peatones distraídos puedan cruzar la vía, ya que hay que recordar que no hay algún tipo de control del tránsito. Por último, el parámetro de tiempo de viaje, de la Av. Arnaldo Márquez, es menor en el rediseño en comparación con el diseño actual, debido a que en el diseño los conductores no tienen cuidado al momento de cruzar la intersección con una excesiva velocidad, lo que hace que crucen la vía en tiempos menores. En cuanto a la calle Nazca, ocurre lo contrario, ya que en el diseño actual se observó la existencia del rompemueller que de alguna forma mitiga las velocidades de los conductores y el tiempo de viaje se hace mayor frente a la falta de incertidumbre ante la aparición de peatones distraídos. Por otro lado, al realizar el análisis de los parámetros de eficiencia de los peatones en el diseño actual, se encontró que los tiempos de viaje del diseño peatonal son menores al de rediseño, ya que en el diseño actual el momento en que el peatón está a punto de cruzar la vía se enfrenta a la incertidumbre al intentar cruzar y lo hace de manera más veloz, es decir, no está diseñada para los peatones. Finalmente, la velocidad peatonal en el diseño es mayor comparado con el rediseño, debido a que la falta de un controlador del tráfico en la intersección hace que el recorrido del peatón sea más veloz para no sufrir algún tipo de accidentes como atropellos.

- Segundo Objetivo: Plantear propuestas de mejora de la intersección como mayor accesibilidad y seguridad vial teniendo como prioridad a los usuarios más vulnerables.

Para evaluar el cambio en el rediseño final, en donde se tuvo como prioridad la seguridad vial y la accesibilidad, se realizó una comparación de los resultados de los parámetros utilizados en la etapa de rediseño y la situación actual, en el que se hará énfasis en el rediseño. Actualmente, se evidencia el aumento del flujo de vehículos en estas avenidas pequeñas que hace que el tráfico aumente, lo cual genera más inseguridades en el peatón, pues representa un gran obstáculo, ya que impide que los niños y adultos crucen de manera segura; por ende, crece la cantidad de accidentes y muertes de los peatones. Por

ello, para una mayor seguridad vial de los usuarios más vulnerables, se implementó cruceros peatonales (señalización horizontal), semáforos y una adecuada señalización vertical en la intersección en el modelo de rediseño. Adicionalmente, en el caso de los ciclos de semáforo, el tiempo propuesto es de 35 segundos para cada luz de cambio (verde y rojo) y 3 segundos para la luz ámbar, con el fin de poder proporcionar a los peatones el tiempo necesario para cruzar las avenidas dentro de la intersección.

En primer lugar, comenzando con el análisis de los parámetros vehiculares haciendo énfasis en el rediseño en comparación con el diseño, se puede comprobar que el promedio del parámetro de demora vehicular en el rediseño actual es mayor que el de diseño, debido a que en el rediseño los vehículos se demoran más en cruzar la intersección porque hay un sistema de control que ordena el caos. Además, el tiempo detenido de los vehículos es mayor en el rediseño que en el diseño actual, debido al mismo motivo, es decir, a la implementación de los semáforos hace que el tiempo de espera de los automóviles se incremente facilitando el orden en la circulación de todos los usuarios. Por otro lado, la velocidad correspondiente al rediseño es mayor al de diseño, debido a que en el rediseño los vehículos van a cruzar más rápido la vía con mayor certeza, ya que sintonizará con la seguridad vial de los usuarios, debido a la presencia del semáforo. Por último, el parámetro de tiempo de viaje, de la Av. Arnaldo Márquez, es mayor en el rediseño en comparación con el diseño actual, debido a la semaforización, pues el tiempo se incrementará al cruzar la intersección sin ninguna preocupación por parte de los conductores, pues brinda mayor certeza. En cuanto a la calle Nazca, ocurre lo contrario, pero la variación es pequeña. Esto hace que los vehículos recorran la intersección y las avenidas en un periodo de tiempo aceptable y seguro para que los otros usuarios del sistema de transporte también estén cómodos y puedan cruzar la vía. Por otro lado, al realizar el análisis de los parámetros de eficiencia de los peatones en el rediseño, se encontró que los tiempos de viaje del rediseño peatonal son muy mayores al de diseño, ya que en el rediseño el peatón cruza con mayor certeza la intersección de manera adecuada sin apuros, debido a la existencia de semáforos en la vía. Por otro lado, la velocidad peatonal en el rediseño presenta una disminución considerable comparado con el diseño actual, debido a que la implementación de semáforos en la intersección hace que el recorrido del peatón sea más seguro y pausado, lo cual se puede considerar aceptable, ya que se aumentó la seguridad en la intersección para los usuarios.

Bajo estas premisas se determinó que la propuesta planteada genera mejoras de eficiencia y seguridad a favor de los peatones, así como el compromiso con el orden de la circulación de los vehículos, es decir, los cambios realizados en el diseño actual permitieron integrar más a los usuarios vulnerables y aumentar la seguridad vial en el sistema de transporte reduciendo los accidentes, de modo que estas propuestas pueden ser implementadas a corto plazo y están basadas en medidas de bajo costo. Sin embargo, cabe resaltar, que las soluciones propuestas en el presente estudio fueron planteadas de manera integral, sin afectar demasiado a los vehículos e integrando al sistema de transporte de la intersección al resto de usuarios.

6.2. Recomendaciones

Por todos los motivos expuestos anteriormente, se considera que la situación de la intersección es crítica para los peatones y se recomienda el desarrollo de una propuesta de mejora integral en la reconstrucción de la vía tanto en la circulación vehicular, la circulación peatonal, la seguridad de tránsito, la accesibilidad y movilidad sostenible. Adicionalmente, es importante aclarar que se recomienda considerar la posibilidad de una implementación de ciclovías, debido a la existencia de un flujo pequeño de ciclistas; sin embargo, cabe resaltar que no existe conexión con otras redes cercanas de ciclovías, ya que no existen tampoco. Inclusive, se recomienda tener en cuenta que al diseñar las ciclovías a un solo lado de las dos vías, los espacios de parking se verán afectados y no será uniforme en ambos lados, lo cual generaría problemas entre los vecinos. Esta recomendación es si es que se desea añadir nuevos modos de transporte en la intersección.

CAPÍTULO 7. REFERENCIAS

- AASHTO, (2001), *America Association of State Highway Officials. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, Washington, USA.
- Austroroads, (2010), *Guide to road Design*, Sydney, Australia.
- Avilés C., (2017), *Microanálisis de los desplazamientos peatonales y vehiculares en las afueras del hospital del niño*, Lima, Perú.
- Avellaneda P., (2007), *Movilidad, Pobreza y Exclusión Social, Un estudio de caso de la ciudad de Lima*, Lima, Perú.
- BITAKA, (2013), *Plan de Seguridad Vial del País Vasco*, Gobierno Vasco.
- Box P., Oppenlander J., *Manual de Estudio de Ingeniería del tránsito*, México D.F., México.
- Cal y Mayor R., Cárdenas J., (2016), *Ingeniería del tránsito. Fundamentos y aplicaciones*, Bogotá, Colombia.
- Cal y Mayor R., (1972), *Ingeniería del Tránsito*, México D.F., México.
- Cabrera, F., (2015), *Curso de Gestión del Tránsito*, Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Cantú R., Domínguez L., Jalle J., Martínez A., Ramírez J., (1976), *Semáforos y el control dinámico del tránsito*, México D.F., México.
- Correo, (31-08-2018), Hasta 3 horas en el tráfico pierden el 21% de los limeños, Lima, Perú, Recuperado de <https://diariocorreo.pe/peru/el-21-de-limenes-pierde-hasta-tres-horas-diarias-en-transportarse-839071/>.
- Capital, (13-03-2012), Vehículos avanzan en Lima a 14 km/h, Recuperado de <http://www.capital.com.pe/actualidad/vehiculos-avanzan-en-lima-a-14-km-h-en-promedio-noticia-460780>.
- De Moor B., Maerivoet S., (2005), *Transportation Planning and traffic flow models*, Leuven, Bélgica.
- Dextre J., (2003), *Facilidades para peatones*, Lima, Perú, Fondo Editorial de la PUCP.
- Dextre J., Tabasso C., García A., (2008), *Vías Humanas: Un enfoque multidisciplinario y humano de la seguridad vial*, Lima, Perú, Fondo Editorial de la PUCP.

- Dextre, J., (2010), *Seguridad vial: la necesidad de un nuevo marco teórico*, Bellaterra. España, Departamento de Geografía.
- Esquivel, W., (2011), *Elementos de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas*, Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Eidmar E., Hultman J., (2014), *Traffic Network Evaluation using Microsoft Simulation and Analytical Model*, Goteborg, Suecia.
- Fellendorf M., Vortisch P., (2010), *Fundamentals of the traffic Simulation*.
- Fernández, A., (2011), *Elementos de la teoría del tráfico vehicular*, Lima, Fondo editorial PUCP.
- Garber N., Hoel L., (2005), *Ingeniería del tránsito de carreteras*.
- González J., (2011), *Estudio de modelos para tráfico peatonal y su aplicación a pasillos*, México D.F.
- Helbing, D., Molnár, P., (1995), *Social force model for pedestrian dynamics*, Stuttgart, Germany, Institute of Theoretical Physics.
- Herce, M., (2009), *Sobre la movilidad en la ciudad. Propuestas para recuperar un derecho ciudadano*, Barcelona, España, Editorial Reverte.
- Institute of transportation Engineers, (1999), *Traffic Engineering Handbook*, Washigton D.C., U.S.A.
- Johansson F., (2013), *Microscopic Modeling and Simulation of pedestrian Traffic*, Linkoping, Suecia.
- Junta de Andalucía. *Guía de buenas prácticas ambientales en la gestión de la movilidad urbana*. Consejería de Medio Ambiente.
- Lazo C., Araujo A., (2017), *Micro-simulación de vehículos atípicos: el caso de las moto-taxis en villa maría del triunfo*, Lima, Perú.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones, (2014), *Manual de carreteras - Diseño Geométrico (DG- 2014)*, Lima, Perú.
- Ministerio de vivienda, Construcción y Saneamiento, (2019), *Norma A. 120 Accesibilidad para personas con discapacidad y de las personas adultas mayores*, Lima, Perú.
- NACTO (2012), *Urban Street Design Guide*, National Association of City Transportation Officials, New York, USA.
- Nteziyaremye P., (2013), *Understanding Pedestrian Crossing Behavior: A case Study in the Western Cape*, South Africa.

- Pájaro A., Quezada R., (2012), *Modelación del tránsito vehicular en el sector Bomba de Amparo-Sao la plazuela, Cartagena por medio del software PTV VISSIM*, Cartagena, Colombia.
- Peru21, (18-08-2017), Tráfico genera estrés a 92% de limeños, Lima, Perú, Recuperado de <https://peru21.pe/peru/trafico-genera-estres-92-limenos-372014>.
- PTV- Planning Transport Verkehr, (2011), *User Manual*, Karlsruhe, Germany. PTV Group.
- RACC Automóvil Club Fundation, (2008), *Criterios de Movilidad. Las zonas peatonales*, Barcelona, España.
- Radelat G., (1964), *Manual de Ingeniería de Transito*, Chicago, USA.
- Roess R., Piassas E., McShane W., (2011), *Traffic Engineering*, USA.
- Rune E., Truls V., (2006), *El manual de medidas de seguridad vial*, Oslo, Noruega.
- Solminihaç T., (1998), *Gestión de la Infraestructura vial*, Santiago, Chile, Universidad Católica de Chile.
- Starfield T., (2005), *Discussion: Deterministic or Stochastic*.
- Suarez L., (2007), *Análisis y Evaluación Operacional de Intersecciones Urbanas mediante Micro simulación*, Medellín, Colombia.
- Tom, M., (2014), *Transportation Systems Engineering*.
- Tonucci, F., (2004), *La ciudad de los niños. Un nuevo modo de pensar la ciudad. 3ra Edición*, Buenos Aires, Argentina, Editorial Losada S.A.
- Tonucci, (2005), *V Encuentro de la ciudad de los niños. La infancia y la ciudad: Una relación difícil*, Madrid, España.
- Truyols M., Martínez J., Alcubilla F., (2010), *Introducción a la Ingeniería del Transporte*, Madrid, España.
- U. S. Department of transportation, (2002), *Pedestrian facilities users guide providing safety and mobility users guide*, Springfield, U.S.A.
- Valdés A., González R., (2008), *Ingeniería del tráfico*, Madrid, España, Bellisco.
- Woywood M., (2003), *Transporte Urbano. Un modelo a seguir*.
- Yachiyo Engineering CO, (2005), *Plan Maestro de transporte Urbano para el área metropolitana de lima y callao en la república del Perú*, Lima, Perú.
- Yang Q., Koutsopoulos H., Ban Akiva M., (1999), *A simulation laboratory for evaluating dynamic traffic management systems*, USA.

- Zegarra J., Dallorto A., Vásquez E., (1992), *Ingeniería del tránsito*, Capítulo de Ingeniería Civil, Lima, Perú, PUCP.



CAPÍTULO 8. ANEXOS

Los anexos correspondientes a cada capítulo se adjuntan en el documento de Anexos. Cabe mencionar que dentro de Anexos se adhieren imágenes y descripciones que complementan el desarrollo y entendimiento de este estudio.

