

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**REDISEÑO Y MICROANÁLISIS DE LA INTERSECCIÓN DE LOS JIRONES
OQUENDO, TACNA, LOS INCAS Y AV. LA TORRE, PUNO**

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

Sthefany Fiorella Chura Canahua

ASESOR: Félix Israel Cabrera Vega

Lima, diciembre de 2018

RESUMEN

La congestión vehicular en el Perú, no se centra solo en la capital, sino también en las provincias, donde el diseño de infraestructura urbana se realiza teniendo como prioridad la fluidez vehicular. En contraste, en el presente proyecto se propone una solución adecuada para mejorar las condiciones de desplazamiento de todos los usuarios y principalmente de los peatones en la intersección de los jirones Oquendo, Tacna, Los Incas y avenida La Torre, ubicada en la ciudad de Puno.

Actualmente, existen herramientas que permiten un análisis tanto de vehículos como de peatones dentro de un sistema, y no se limitan al comportamiento de la ciudad donde fue desarrollada, sino que permiten replicar la conducta de todos los usuarios de diferentes zonas e incluso incluir vehículos atípicos. Este es el caso del modelo microscópico que es aplicado en el presente proyecto mediante el uso de los programas VISWALK 8.0 y VISSIM 8.0.

La metodología propuesta consiste en la toma de datos para la determinación de parámetros de circulación de un triciclo, vehículo no motorizado, tales como la velocidad y aceleración. Asimismo, la recolección de información estática y registro de un formato de lista de chequeos. Luego, en dos horas y días distintos, se procede con la recolección de datos de entrada para el desarrollo del modelo, tales como flujos, velocidades, tiempos de viaje, entre otros. El primer juego de datos es usado para la construcción y calibración del modelo, y el segundo se utiliza para la validación, donde se verifica que, con diferentes datos de entrada, se obtienen resultados similares a los recolectado en campo con los parámetros hallados en la calibración.

En base a los resultados de los parámetros de eficiencia vehicular (demora, tiempo de detenido, velocidad) y peatonal (tiempo de viaje, velocidad) de la situación actual, y la lista de chequeos; se realizan propuestas para mejorar el desempeño de la intersección. Los parámetros de circulación obtenidos en el rediseño son evaluados estadísticamente para verificar si los planteamientos son adecuados.

Se concluye que las propuestas de rediseño no presentan mejoras considerables en cuanto a la eficiencia vehicular; sin embargo, cumple con el objetivo principal del presente proyecto, que es mejorar las condiciones de desplazamiento de los peatones, ya que hay un aumento en la velocidad peatonal en un 2% y disminución en el tiempo de viaje a su destino de 10%, y, además, ofrece una caminata de calidad que evita el desplazamiento caótico. Además, la propuesta de rediseño reduce las áreas de conflicto que existen actualmente entre los usuarios del sistema.



A mi padre, en la eternidad, por sus enseñanzas, apoyo y amor invaluable hasta su último suspiro.

A mi madre, por su amor y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

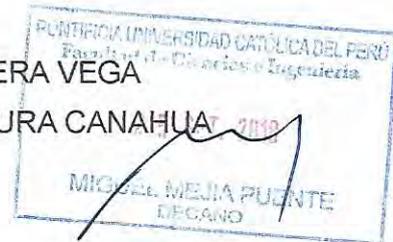
A mi hermano Leonardo, por ser mi guía y asumir el rol de padre.

A mi hermana Yesika, por su constante motivación para alcanzar mis sueños.

A mi asesor Félix Cabrera, por sus enseñanzas y consejos.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Rediseño y microanálisis de la intersección de los jirones Oquendo, Tacna, Los Incas y Av. La Torre, Puno"
Área : Movilidad y Transporte
Asesor : ING. FELIX ISRAEL CABRERA VEGA
Alumno : STHEFANY FIORELLA CHURA CANAHUA
Código : 2011.1534.412
Tema N° : # 85
Fecha : Lima, 21 de setiembre del 2018



INTRODUCCIÓN

Cuando la forma de manejo es agresiva o existen vehículos atípicos -como triciclos en Puno- la forma más adecuada de modelar el tráfico es mediante los modelos de micro simulación. Pero para que estos sean válidos es necesario que se respeten sus fundamentos y se desarrollen obligatoriamente las etapas de calibración y validación. Lo anterior también incluye el uso de pruebas estadísticas, debido a su carácter estocástico. Finalmente, con estos modelos se puede evaluar el impacto de las medidas de mitigación que buscan mejorar los desplazamientos de todos los usuarios.

OBJETIVOS

Objetivo general

Mejorar las condiciones de desplazamiento de todos los usuarios y principalmente de los peatones en la intersección de los jirones Oquendo, Tacna, Los Incas y avenida La Torre, ubicada en la ciudad de Puno.

Objetivos específicos

- Explorar las características dinámicas de los triciclos para modelarlos en el software de micro simulación VISSIM 8.0
- Detectar las deficiencias de la intersección, desde el punto de vista del transporte y de la movilidad.
- Plantear una estrategia para mejorar la interacción multimodal.

Hipótesis

- Los parámetros de aceleración y desaceleración son los más importantes en la modelación de triciclos, en el software de micro simulación VISSIM 8.0
- Las principales deficiencias en la intersección se asocian al diseño geométrico y la gestión del tránsito.

yw

67

- Las medidas de mejora se asocian a un adecuado diseño vial que se base en la gestión de la movilidad y la seguridad vial

PROGRAMA DE TRABAJO

El desarrollo de la tesis considerará los siguientes temas:

- a) Planteamiento del problema y objetivos de la investigación
- b) Revisión de la literatura: modelos de tráfico, micro simulación de tráfico, fundamentos de la micro simulación, modelos de seguimiento vehicular, modelos de cambio de carril, Vissim 8, fundamentos de la micro simulación peatonal, modelos de micro simulación de peatones y Viswalk 8
- c) Metodología de la investigación.
- d) Resultados.
- e) Conclusiones y recomendaciones.

METODOLOGÍA

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

REVISIONES

Primera Revisión:

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

Segunda Revisión

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

Tercera Revisión:

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

NOTA

Extensión máxima: 100 páginas.



TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABLAS.....	IX
LISTA DE ECUACIONES.....	X
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	1
1.1.1. Objetivo general.....	1
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
1.2. HIPÓTESIS.....	2
1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	2
CAPITULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	3
2.1. MODELOS DE TRÁFICO.....	3
2.1.1. Tipos de modelos del tráfico.....	3
2.1.2. Simulación del tráfico.....	7
2.2. MICROSIMULACIÓN DEL TRÁFICO.....	8
2.3. FUNDAMENTOS DE LA MICROSIMULACIÓN VEHICULAR.....	8
2.3.1. Mecanismo de actualización de sistema de transporte.....	8
2.3.2. Representación de la aleatoriedad.....	9
2.3.3. Generación de vehículos.....	9
2.3.4. Interacción vehicular.....	9
2.3.5. Intervalos de confianza.....	10
2.3.6. Tiempo de estabilidad (<i>warm up</i>).....	11
2.3.7. Calibración del modelo.....	11
2.3.8. Validación del modelo.....	12
2.4. MODELOS DE SEGUIMIENTO VEHICULAR.....	12
2.4.1. Modelos “estímulo – respuesta”.....	13
2.4.2. Modelos de distancia segura.....	14
2.4.3. Modelo lineal.....	14
2.4.4. Modelos psico – físicos.....	15
2.4.5. Modelos basados en la lógica difusa.....	17
2.5. MODELOS DE CAMBIO DE CARRIL.....	17
2.6. VISSIM 8.0.....	18
2.6.1. Antecedentes del software.....	18

2.6.2. Consideraciones del software	18
2.6.3. Principios del software	20
2.6.4. Construcción del modelo.....	20
2.6.5. Aplicaciones del modelo	22
2.7. FUNDAMENTOS DE LA MICROSIMULACIÓN PEATONAL	23
2.7.1. Nivel estratégico	24
2.7.2. Nivel táctico	24
2.7.3. Nivel operacional	24
2.8. MODELOS DE MICROSIMULACIÓN DE PEATONES	24
2.8.1. Modelo de elección discreta.....	24
2.8.2. Modelo celular automático.....	25
2.8.3. Modelo de la fuerza social	25
2.9. VISWALK 8.0	26
2.9.1. Antecedentes del software.....	26
2.9.2. Consideraciones del software	27
2.9.3. Aplicaciones del modelo	28
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	29
3.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UN TRICICLO	31
3.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN ESTÁTICA.....	31
3.3. RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO.....	31
3.3.1. Videograbación	32
3.3.2. Geometría del sistema.....	32
3.3.3. Lista de chequeos.....	32
3.4. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO.....	32
3.4.1. Parámetros del vehículo atípico – triciclo	33
3.4.2. Plano de la intersección de estudio.....	35
3.4.3. Datos procesados de las videograbaciones	36
3.4.4. Lista de chequeos.....	45
CAPÍTULO 4: CREACIÓN DE UN VEHÍCULO ATÍPICO – TRICICLO - EN VISSIM	
8.0	46
4.1. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO EN SKETCHUP	46
4.2. CONSTRUCCIÓN DE LA GRÁFICA DE VELOCIDAD DESEADA.....	47
4.3. CONSTRUCCIÓN DE LA GRÁFICA ACELERACIÓN DESEADA VS VELOCIDAD DESEADA	47

4.4. INCLUSIÓN DEL VEHÍCULO EN VISSIM 8.0.....	48
4.4.1. Importación del vehículo a V3DM	49
4.4.2. Creación del vehículo en Vissim	51
4.5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS	54
CAPÍTULO 5: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN	
DEL PROYECTO.....	55
5.1. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	55
5.1.1. Inserción y escala de imagen de fondo	55
5.1.2. Creación de vías y conectores	56
5.1.3. Creación de áreas y salidas peatonales.....	56
5.1.4. Creación de vías peatonales.....	56
5.1.5. Creación de obstáculos.....	57
5.1.6. Creación del entorno.....	57
5.1.8. Definición de velocidades deseadas vehiculares y peatonales	57
5.1.9. Inclusión de parámetros del vehículo atípico mototaxi	58
5.1.10. Ingreso de velocidades de giro y velocidades de cruce.....	58
5.1.11. Composición vehicular	59
5.1.12. Ingreso de aforos vehiculares y peatonales	59
5.1.13. Definición de rutas vehiculares y peatonales	59
5.1.14. Creación de señales de control.....	60
5.1.15. Solución de zonas de conflicto.....	61
5.2. VERIFICACIÓN DEL MODELO.....	63
5.3. CALIBRACIÓN DEL MODELO.....	64
5.3.1. Calibración vehicular.....	65
5.3.2. Calibración peatonal	67
5.4. VALIDACIÓN DEL MODELO	67
5.4.1. Validación vehicular	68
5.4.2. Validación peatonal.....	68
CAPÍTULO 6: ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN DEL PROYECTO	
.....	69
6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DESEMPEÑO ACTUAL DE LA RED	69
6.1.1. Análisis de parámetros vehiculares.....	70
6.1.2. Análisis de parámetros peatonales	71
6.1.7. Análisis del plano actual y lista de chequeos	71

6.2. PROPUESTA DE MEJORA.....	72
6.2.1. Modificación de la geometría de la intersección.....	72
6.2.2. Mantenimiento y modificación de la infraestructura.....	75
6.2.3. Restricción de flujo.....	76
6.2.4. Implementación de señales de control.....	77
6.3. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.....	77
6.3.1. Evaluación de parámetros vehiculares.....	78
6.3.2. Evaluación de parámetros peatonales.....	79
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
7.1. CONCLUSIONES.....	81
7.2. RECOMENDACIONES.....	83
REFERENCIAS.....	84



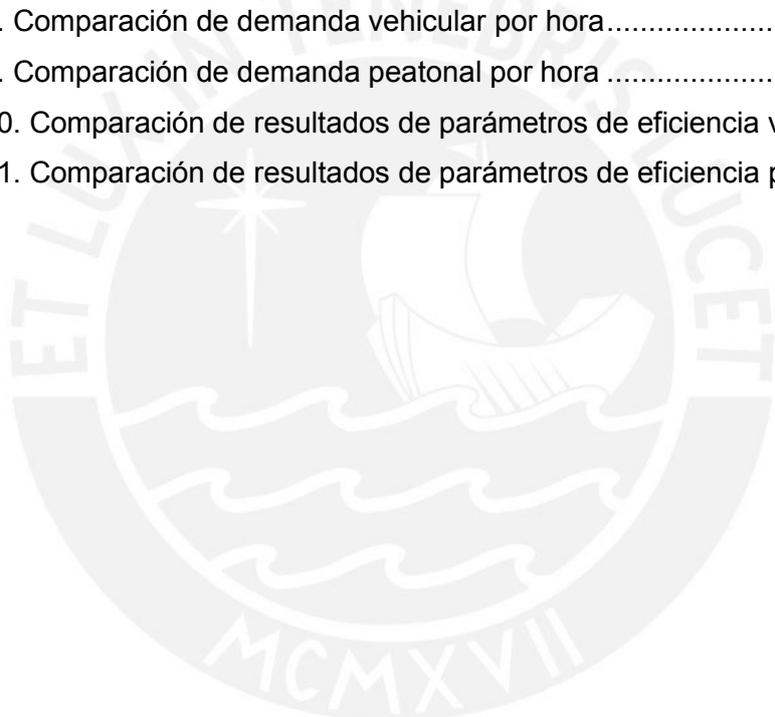
LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de modelos del tráfico	4
Figura 2. Espacio discreto (imagen superior) y espacio continuo (imagen inferior) ...	4
Figura 3. Estados del modelo de Wiedemann.....	16
Figura 4. Alternativas de decisión para el cambio de carril	18
Figura 5. Modelo de seguimiento vehicular Wiedemann 74	19
Figura 6. Modelo de cambio de carril	20
Figura 7. Links y conectores dentro de un modelo de microsimulación.....	21
Figura 8. Modelación con regla de prioridades	22
Figura 9. Modelo de intersección semaforizada	23
Figura 10. Niveles en el comportamiento del peatón	23
Figura 11. Proceso de comportamiento de peatones mediante el modelo de fuerza social	26
Figura 12. Ejemplo del comportamiento de un peatón basado en el modelo de la fuerza social	27
Figura 13. Metodología para la elaboración del modelo microscópico del proyecto	30
Figura 14. Triciclo estacionado y dimensiones en metros	31
Figura 15. Ubicación del punto de filmación y vista satelital de la intersección	32
Figura 16. Ubicación para la toma de datos.....	33
Figura 17. Instrumentos empleados para la toma de datos.....	33
Figura 18. Plano de la intersección de análisis	35
Figura 19. Vehículos del sistema	36
Figura 20. Flujograma vehicular por hora	37
Figura 21. Composición vehicular por vía de ingreso.....	37
Figura 22. Frecuencias acumuladas de velocidades deseadas por tipo de vehículo	38
Figura 23. Giros posibles en la intersección.....	39
Figura 24. Frecuencias acumuladas de velocidades de giro de los vehículos.....	39
Figura 25. Flujo peatonal por hora	40
Figura 26. Frecuencias acumuladas de las velocidades de los peatones	40
Figura 27. Diagrama de fases.....	41
Figura 28. Distancias para el registro de los tiempos de viaje vehicular y peatonal	42
Figura 29. Flujograma vehicular por hora – Validación	43
Figura 30. Composición vehicular por vía de ingreso.....	43
Figura 31. Flujo peatonal por hora – Validación	44

Figura 32. Lista de chequeos - Ítem de entorno y accesos de la lista de chequeos con registro fotográfico	45
Figura 33. Objetos base para la construcción del triciclo	46
Figura 34. Modelo 3D de un triciclo en SketchUp	47
Figura 35. Frecuencias acumuladas de las velocidades de los triciclos	47
Figura 36. Gráfica velocidad deseada versus aceleración deseada.....	48
Figura 37. Importación de vehículo a V3DM	49
Figura 38. Orientación del vehículo en V3DM.....	50
Figura 39. Asignación de atributos al vehículo	51
Figura 40. Importación de vehículo a Vissim.....	52
Figura 41. Distribución de velocidad deseada en Vissim - Triciclo	52
Figura 42. Ingreso de curvas de aceleración a Vissim	53
Figura 43. Creación de tipo de vehículo - triciclo	53
Figura 44. Comparación de curvas de aceleración deseada de bicicletas y triciclos.	54
Figura 45. Creación de vías peatonales.....	56
Figura 46. Parámetros del mototaxi	58
Figura 47. Ingreso de composición vehicular	59
Figura 48. Asignación de rutas peatonales - Origen 1	60
Figura 49. Creación de señales en 3D.....	61
Figura 50. Zonas de conflicto con Conflict Areas	62
Figura 51. Zonas de conflicto con Priority Rules	62
Figura 52. Resultado del desarrollo del modelo	63
Figura 53. Errores identificados durante el desarrollo del modelo.....	63
Figura 54. Tramos definidos para los tiempos de viaje	64
Figura 55. Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje vehicular – Avenida La Torre.....	66
Figura 56. Comparación de la situación actual y la propuesta de rediseño de jr. Los Incas	73
Figura 57. Ancho de cruces peatonales en metros – propuesta	74
Figura 58. Implementación de paraderos – propuesta	75
Figura 59. Diagrama de fases propuesto	77
Figura 60. Prueba de hipótesis alternativa - Demora de viaje vehicular	78
Figura 61. Prueba de hipótesis alternativa - Tiempo promedio de detenido	79
Figura 62. Prueba de hipótesis alternativa - Velocidad vehicular	79
Figura 63. Prueba de hipótesis alternativa - Velocidad de peatones.....	80
Figura 64. Prueba de hipótesis alternativa - Tiempo de viaje de peatones	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de datos de velocidad deseada (km/h) y aceleración deseada (m/s ²) de triciclos	35
Tabla 2. Avenidas que conforman la intersección	36
Tabla 3. Resumen de datos de tiempos de viaje vehicular y peatonal - Calibración.....	42
Tabla 4. Resumen de datos de tiempos de viaje vehicular y peatonal - Validación	44
Tabla 5. Aceleración deseada para cada intervalo de velocidad deseada	48
Tabla 6. Porcentaje de vehículos por ruta – Desarrollo del modelo	59
Tabla 7. Resultados de calibración del tramo de la avenida La Torre	66
Tabla 8. Comparación de demanda vehicular por hora.....	69
Tabla 9. Comparación de demanda peatonal por hora	69
Tabla 10. Comparación de resultados de parámetros de eficiencia vehiculares	78
Tabla 11. Comparación de resultados de parámetros de eficiencia peatonales	78



LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Desviación estándar muestral	10
Ecuación 2. Intervalo de confianza	11
Ecuación 3. Modelo de la General Motors	13
Ecuación 4. Modelo GHR	13
Ecuación 5. Modelo de distancia s++++egura	14
Ecuación 6. Modelo lineal	15



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En el Perú, el problema del transporte urbano se ve reflejado, en parte, en las largas colas de vehículos que se forman en las principales avenidas de las ciudades. Tal es el caso de Puno, una localidad que en los últimos años ha experimentado la congestión vehicular en las principales calles del centro de la ciudad. A diferencia de Lima, en esta ciudad el transporte público no incluye micro-buses sino que se realiza mediante combis (vehículo usado para el transporte de personas y con una capacidad de 15 pasajeros aproximadamente), taxis (automóvil de alquiler con conductor), moto-taxis (motocicleta de tres ruedas y con techo usado de la misma manera que un taxi), y triciclos (vehículo no motorizado de tres ruedas con un asiento en la parte trasera destinado al conductor quien pedalea para que este se mueva y un asiento para dos personas en la parte delantera). Lo anterior, además de generar congestión vehicular, produce también desorden que perjudica y pone en peligro la vida de los peatones y ciclistas.

En Puno se evidencia claramente la falta de inclusión de peatones en el sistema de transporte. Por ejemplo, hay gran cantidad de veredas que no cumplen con un ancho adecuado para que las personas transiten con comodidad, existen postes ubicados en aceras estrechas y no hay rampas aptas para el tránsito de personas con discapacidad motora. En consecuencia, se hace notoria la dificultad para la circulación de peatones.

Los problemas mencionados se pueden apreciar en la intersección de los jirones Oquendo, Tacna, Los Incas y avenida La Torre, ubicada en la zona comercial de la ciudad de Puno. En la presente investigación se planteará propuestas de solución al estado de esta intersección, las cuales van a ser el resultado del uso de diferentes herramientas como el software de microsimulación VISSIM 8.0 y VISWALK 8.0: programas que permiten simular y modelar el comportamiento de vehículos y peatones, respectivamente; asimismo se emplearán las listas de chequeo; y los principios del rediseño vial urbano.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Mejorar las condiciones de desplazamiento de todos los usuarios y principalmente de los peatones en la intersección de los jirones Oquendo, Tacna, Los Incas y avenida La Torre, ubicada en la ciudad de Puno.

1.1.2. Objetivos específicos

El primer objetivo específico de la presente tesis es explorar las características dinámicas de los triciclos para modelarlos en el software de micro simulación VISSIM 8.0. Asimismo, se pretende detectar las deficiencias de la intersección, desde el punto de vista del transporte y de la movilidad. Finalmente, plantear una estrategia para mejorar la interacción multimodal.

1.2. HIPÓTESIS

En primer lugar, los parámetros de aceleración y desaceleración son los más importantes en la modelación de triciclos, en el software de micro simulación VISSIM 8.0. Por otro lado, las principales deficiencias en la intersección se asocian al diseño geométrico y la gestión del tránsito; y, las medidas de mejora se asocian a un adecuado diseño vial que se base en la gestión de la movilidad y la seguridad vial

1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES

El presente proyecto de tesis se limita al análisis de una intersección ubicada en la ciudad de Puno: jirones Oquendo, Tacna, Los Incas y avenida La Torre. Dicha zona de estudio se considera como aislada, es decir, las intersecciones contiguas no tienen gran influencia sobre esta. Asimismo, para realizar esta investigación se emplean los programas de microsimulación VISSIM y VISWALK, ambos en la versión 8.0, por lo que los resultados obtenidos no pueden ser extrapolados a versiones diferentes a la mencionada.

Asimismo, en este proyecto se pretende presentar una solución adecuada para mejorar las condiciones de desplazamiento de todos los usuarios de dicha intersección, en base a los principios del rediseño vial urbano.

CAPITULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. MODELOS DE TRÁFICO

Un modelo es la representación a menor escala de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento (RAE, 2016). Por su parte, un sistema complejo se entiende como un conjunto formado por elementos que tienen interacciones relevantes, las cuales determinan el futuro de los componentes (Cabrera, 2016). Por lo tanto, la construcción de modelos es una actividad que permite a las personas comprender el entorno que los rodea y su funcionamiento, y también supone la aplicación de condiciones y circunstancias conocidas por el modelador. (Montenegro & Lozano, 2013).

En el presente proyecto el sistema está conformado por la geometría de la zona de estudio (intersección de los jirones Oquendo, Tacna, Los Incas y avenida La Torre) y los elementos dinámicos presentes en ella (vehículos, peatones, entre otros).

Ahora bien, el tráfico o tránsito es la circulación de personas, situadas en vehículos o en el espacio público, en el interior de un sistema (Alcalá, 2016). Entonces, la modelación del tráfico permite tener conocimiento sobre la situación actual del sistema, y plantear posibles alternativas para mejorar su desempeño.

Según Elefteriadou (2014), los modelos de tráfico son útiles para varios propósitos, entre los cuales resaltan dos. En primer lugar, dichos modelos pueden ayudar en el diseño y funcionamiento de los sistemas de tráfico, ya que pueden predecir las condiciones operativas de tráfico bajo distintos conjuntos de características de diseño, tráfico y control. En segundo lugar, pueden ayudar en la evaluación de los sistemas existentes y en el desarrollo de alternativas para su mejora.

2.1.1. Tipos de modelos del tráfico

La clasificación más conocida es de acuerdo al nivel de detalle, dentro de esta se tienen los modelos macroscópicos, los modelos mesoscópicos y los modelos microscópicos. Sin embargo, los modelos del tráfico también pueden ser categorizados en base a otros criterios, por ejemplo, según la naturaleza de las variables: modelos continuos y discretos (van Wageningen-Kessels, et al., 2014). Asimismo, en función del contenido de incertidumbre en modelos estocásticos y modelos determinísticos; también, según el horizonte de tiempo, se dividen en modelos estáticos y modelos dinámicos; y, finalmente, los modelos del tráfico pueden ser normativos o descriptivos (Elefteriadou, 2014).



Figura 1. Tipos de modelos del tráfico
 Fuente: Adaptado de Elefteriadou (2014)

• **Modelos discretos y continuos**

Los modelos discretos son usados desde el punto de vista microscópico, es decir, se centran en el comportamiento de vehículos individuales (Tolba, et al., 2005). Estos se caracterizan por considerar la variación instantánea de los parámetros de estudio para cada intervalo de tiempo, por ejemplo, el número de vehículos en una determinada hora del día. Además, estos modelos toman en cuenta el comportamiento de los conductores, es decir, las decisiones que toman frente a alguna situación en particular.

Por su parte, los modelos continuos se basan en que la variación de la demanda y parámetros vehiculares en zonas cercanas es mínima en comparación a las diferencias del sistema entero (Dominguez & Cortínez, 2017). Cabe mencionar que los modelos continuos son empleados, sobre todo, desde el punto de vista macroscópico (Tolba, et al., 2005).

Los modelos del tráfico pueden ser discretos en el tiempo y en el espacio, o solo discretos en el tiempo o pueden incluso ser modelos totalmente continuos (Krajzewicz, et al., 2002). La figura 3 muestra la diferencia entre las simulaciones en un espacio discreto y un espacio continuo.

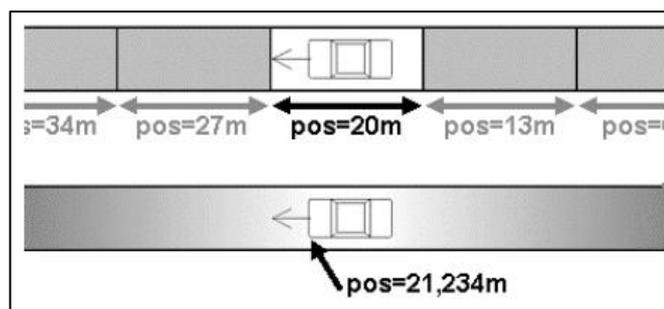


Figura 2. Espacio discreto (imagen superior) y espacio continuo (imagen inferior)
 Fuente: Krajzewicz, et al. (2002)

- **Modelos estocásticos y determinísticos**

En los modelos estocásticos se usan variables aleatorias para determinar los componentes específicos, por ejemplo, los tiempos entre llegadas; o las acciones que se deben tomar, tales como la probabilidad de un cambio de carril (Elefteriadou, 2014). Dicho de otro modo, la asignación de las características del conductor y del vehículo se realiza por distribuciones estadísticas usando números aleatorios (The Institution of Highways & Transportation, 2006).

En contraste, los modelos determinísticos se basan en un estudio analítico, el cual se rige bajo ecuaciones matemáticas que no varían en el tiempo; es decir, no dependen de la incertidumbre; por ello se obtienen los mismos resultados para los mismos datos de entrada dentro del análisis de un proyecto (Cabrera, 2016). Estos modelos se pueden dividir, a la vez, en dos modelos: modelo estadístico y modelo analítico. El primero se refiere a un modelo de regresión desarrollado a partir de datos de campo, mientras que el segundo se trata de un modelo semi-probabilístico (Shaaban & Kim, 2015).

Por lo tanto, las simulaciones desarrolladas en base a modelos estocásticos permiten obtener resultados más cercanos a la realidad con un cierto nivel de incertidumbre según los datos de ingreso. En tanto, los modelos totalmente determinísticos brindan resultados en base a leyes físicas (Wang, et al., 2009).

L. Elefteriadou (2014) señala que existen otras dos clasificaciones para los modelos de tráfico, según el horizonte de tiempo y según su finalidad. En la primera, se divide en modelos estáticos y dinámicos, mientras que en la segunda comprende a los modelos normativos y descriptivos.

- **Modelos estáticos y dinámicos**

Los modelos estáticos son aquellos modelos del tráfico en los que las entradas no se ven afectadas por el paso del tiempo o por las condiciones del flujo. Por su parte, los modelos dinámicos son aquellos que evolucionan en el tiempo como una función de los diversos elementos.

- **Modelos normativos y descriptivos**

Los modelos normativos permiten optimizar un objetivo dado, por ejemplo, para reducir al mínimo el tiempo de viaje a través de una vía arterial. En tanto, los modelos descriptivos pretenden describir cómo se comportará el tráfico en una situación dada, por ejemplo, cómo una instalación operará con un cierre de los carriles.

- **Modelos macroscópicos**

Los modelos macroscópicos replican el movimiento de un grupo de vehículos y no son utilizados para analizar el movimiento individual del vehículo. Este tipo de modelos requieren del uso de variables agregadas, es decir, aquellas que resumen las condiciones y la información de múltiples vehículos (Montenegro & Lozano, 2013). Por ejemplo, la velocidad media de un grupo vehicular, la cual contiene la información sobre la velocidad de todos los vehículos presentes en una sección dada del camino y a partir de la cual se describe la situación del tráfico.

Es así como estos modelos están basados en la relación del flujo, velocidad y densidad del tráfico. El flujo q , también conocido como intensidad o volumen, es típicamente definido por el número promedio de vehículos n que pasa a través de una sección transversal durante una unidad de tiempo T , entonces se trata de una variable local. En tanto, la densidad k , también conocida como concentración, es descrita como el número de vehículos por unidad de distancia; por lo tanto, es una variable instantánea. Por su parte, el promedio de velocidades u puede ser calculada de dos maneras: en una sección transversal o en un instante de tiempo (Hoogendoorn & Knoop, 2012).

- **Modelos Microscópicos**

Los modelos microscópicos permiten un análisis detallado del tráfico, ya que consideran al vehículo como una unidad, de igual manera al peatón. Además, toman en cuenta aspectos de la conducta individual, que incluye la diversidad de la elección de rutas y horas de salida.

También, considera los modelos relacionados al comportamiento del conductor: teoría del vehículo siguiente, cambio de carril y brecha de aceptación (Cabrera & Dextre, 2014). Asimismo, aparte de considerar cada tipo de vehículo, también considera la interacción con otros vehículos en el flujo de tránsito (Valencia & Fernández, 2010).

Entonces, estos modelos pueden representar con gran detalle el comportamiento del tráfico; sin embargo, normalmente pueden requerir de entradas y tiempos de ejecución extensos para su aplicación (Suárez, 2007).

Por lo tanto, la escala de modelación microscópica se ocupa de la interacción directa entre los elementos que componen y caracteriza el sistema analizado. Para ello se aplican modelos matemáticos que contemplan el movimiento y las características operativas específicas de cada una de las unidades de estudio, describiéndolos de

manera individual, mediante modelos dinámicos. Asimismo, se define un tipo de comportamiento para cada elemento (Montenegro & Lozano, 2013).

- **Modelos mesoscópicos**

Los modelos mesoscópicos son un híbrido de los modelos macroscópicos y microscópicos, ya que suelen ser el resultado de la modelación del movimiento de pelotones de vehículos y emplean ecuaciones que indican cómo interactúan estos grupos de vehículos (Elefteriadou, 2014).

En esta escala de modelación, se emplean modelos matemáticos con algoritmos de mayor grado de especificación que la considerada en la simulación macroscópica; sin embargo, no se llega a detallar la interacción de los elementos esenciales del modelo. Principalmente se estudia el comportamiento de flujos y corrientes vehiculares incorporando ecuaciones de interacción entre dichos elementos (Montenegro & Lozano, 2013).

Este nivel de modelación pretende un tratamiento individualizado, pero considera a los vehículos como constituyentes del flujo del tráfico, mas no como vehículos individuales. Es decir, considera paquetes de vehículos que actúan como una sola entidad que experimentan las mismas condiciones de tráfico. Estos paquetes pueden tener una distribución discreta o continua. La primera considera que todos los usuarios se agrupan en un solo punto, por tanto, se encuentran en la misma posición. Por su parte, en el enfoque basado en paquetes continuos, los vehículos se consideran uniformemente distribuidos en él, en el tiempo y espacio (Di Gangi, et al., 2015).

2.1.2. Simulación del tráfico

En el área de transporte urbano, el término simulación es frecuentemente usado para referirse a cualquier modelo que intenta representar o reflejar el comportamiento real del tráfico (Taplin, 1999). Es así que el uso de modelos computacionales de simulación del tráfico se ha convertido particularmente común entre los profesionales e investigadores de transporte, pues estos modelos suelen replicar el movimiento de las unidades de tráfico (automóviles, peatones, entre otros) a lo largo de una red simulada, teniendo en cuenta las interacciones entre el entorno, el vehículo y el conductor (Elefteriadou, 2014).

A medida que los sistemas de transporte se han vuelto más complejos y cada vez más congestionado, los modelos de simulación se han ganado el reconocimiento como una herramienta eficaz para la cuantificación de las operaciones de tráfico. Los

modelos de simulación están diseñados para recrear cualquier combinación de calles e instalaciones de autopista, incluyendo la mayoría de señales de control y otras estrategias operacionales. Por lo tanto, para hacer frente a las tareas de planificación de transporte complejos, los ingenieros de tráfico están utilizando la simulación de tráfico como un medio para evaluar la eficacia de los nuevos diseños viales (Melouk, et al., 2011).

2.2. MICROSIMULACIÓN DEL TRÁFICO

La microsimulación del tráfico es el modelado del movimiento de vehículos individuales, ello con el propósito de evaluar el comportamiento del tráfico de carreteras y sistemas de calles, del tránsito, y de los peatones (FHWA, 2004). Estos modelos de microsimulación tienen una naturaleza aleatoria, por lo que deben ser probados varias veces para encontrar respuestas con un determinado nivel de fiabilidad. Asimismo, con el fin de obtener un modelo con una buena representación de la realidad, este debe ser calibrado y validado (Cabrera & Dextre, 2014).

Por otro lado, los modelos de microsimulación pueden ser considerados, también, como estimaciones complejas de un escenario de tráfico, para los cuales se requiere el uso de software especializados para su montaje, configuración, calibración y validación (Montenegro & Lozano, 2013). En la actualidad existen más de 60 software de microsimulación, aunque no todos son lo suficientemente buenos para representar la realidad del Perú (Cabrera, 2015). Entre estos, tenemos a VISSIM, PARAMICS, SIMTRAFFIC, AIMSUN y VISWALK.

Cabe mencionar que, si bien hace algún tiempo se consideraba la modelación de peatones prácticamente imposible, ahora existen modelos que representan su comportamiento. Para lo cual se basan en teorías como los modelos de elección discreta, celular automático y la teoría de la fuerza social (Cabrera, 2015).

En los últimos años, los modelos de microsimulación han sido ampliamente utilizados para el análisis el funcionamiento del tráfico y elaboración de propuestas de mejora. Ello debido a la seguridad, bajo costo y menor tiempo de análisis en comparación a las pruebas in situ (Park & Schneeberger, 2003).

2.3. FUNDAMENTOS DE LA MICROSIMULACIÓN VEHICULAR

2.3.1. Mecanismo de actualización de sistema de transporte

Los modelos microscópicos describen los cambios en el estado del sistema a través de intervalos discretos en el tiempo. Dentro de estos modelos, se pueden distinguir los de tiempo discreto y los de eventos discretos. En los modelos de tiempo discreto,

el sistema se actualiza a intervalos fijos de tiempo, por ejemplo, cada décima de segundo. Por su parte, en los modelos de evento discreto, los períodos de tiempo entre las actualizaciones del sistema varían en longitud y son activados por eventos, tales como cambios en las señales de tráfico (The Institution of Highways & Transportation, 2006).

2.3.2. Representación de la aleatoriedad

Como ya se mencionó en el acápite 2.1.1., existen dos tipos de modelos según su nivel de aleatoriedad, los determinísticos y los estocásticos. En los modelos deterministas se asume que no hay variación de características entre los conductores, ni entre los vehículos. En contraste, los modelos estocásticos permiten la asignación de características al conductor y al vehículo, de acuerdo a distribuciones estadísticas utilizando valores aleatorios. La secuencia de números aleatorios generados depende del método particular y del valor inicial del número aleatorio (número semilla). El cambio del número semilla produce una secuencia de números aleatorios que, a su vez, produce diferentes valores de características tanto del vehículo como del conductor (FHWA, 2004).

2.3.3. Generación de vehículos

Al comienzo de una microsimulación vehicular, el sistema se encuentra vacío. En principio, los vehículos se generan en los nodos de entrada a la red; se asigna es el volumen de vehículos que ingresan durante un determinado periodo de tiempo, y se asume una distribución de avance entre dichos vehículos (The Institution of Highways & Transportation, 2006). Posteriormente, se asignan las características vehículo-conductor, comúnmente para los vehículos se definen los siguientes atributos: tipo (bus, auto, camión, etc.), longitud, ancho, velocidad máxima, entre otros; y para el conductor: agresividad, tiempo de reacción, velocidad deseada, destino, etc. (Zúñiga, 2010).

2.3.4. Interacción vehicular

Según Cabrera y Dextre (2014), los modelos microscópicos permiten representar las interacciones entre vehículos mediante las teorías del vehículo siguiente o seguimiento vehicular, cambio de carril y aceptación de brechas. Sin embargo, inciden en que el corazón de los modelos microscópicos son los modelos de seguimiento vehicular y cambio de carril, por ello, estos modelos serán desarrollados con mayor detalle en los acápite 2.4 y 2.5, respectivamente.

En tanto, la teoría de aceptación de brechas determina la tendencia de un conductor a aceptar un espacio de una cierta medida (usualmente medida en el tiempo), ya sea para entrar en otro flujo de tráfico o cambiar de carril (The Institution of Highways & Transportation, 2006). Los algoritmos de aceptación de brechas controlan como los vehículos interactúan dentro o a través de los flujos de tránsito (Jones, et al., 2004). A modo de ilustración de esta teoría, se puede suponer un vehículo esperando a girar a una calle principal desde una calle secundaria, o un vehículo esperando en la línea central para hacer un giro izquierdo a través de un tránsito conflictivo (Montenegro & Lozano, 2013).

2.3.5. Intervalos de confianza

Según la Federal Highway Administration (2004), el número mínimo de corridas del modelo para que los resultados a obtener sean los más semejantes a la realidad se determina con el uso de tres tipos de información, éstas son la desviación estándar de la muestra, la longitud del intervalo de confianza y el nivel de confianza deseados.

En primer lugar, la determinación de la desviación estándar de la muestra se realiza utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde:

S : desviación estándar

x : resultado del parámetro en una corrida específica

\bar{x} : media del parámetro en todas las corridas

N : número de corridas

Por su parte, el nivel de confianza se define como la probabilidad de que la media real se encuentra dentro del intervalo de confianza objetivo. El analista debe decidir en qué medida desea saber el intervalo en el cual se encuentra el verdadero valor medio. El enfoque habitual es escoger un nivel de 95% de confianza; sin embargo, este nivel puede ser mayor o menor. Cabe señalar que los niveles más altos de confianza requieren más repeticiones. Entonces, el intervalo de confianza es el rango de valores dentro del cual el verdadero valor medio puede encontrarse.

Es imposible saber de antemano exactamente cuántas corridas del modelo serán necesarias para determinar una media (o cualquier otro valor estadístico) a satisfacción del analista. Sin embargo, se recomienda que después de cuatro

corridas del modelo, el analista estime la cantidad adicional de corridas necesarias para obtener un resultado estadísticamente válido. Así, el número mínimo requerido de corridas del modelo se puede calcular empleando la siguiente ecuación:

$$N_{min} = (t_{(1-\alpha/2),N-1} * \frac{S}{e})^2 \quad (2)$$

Donde:

N_{min} : número mínimo de corridas

$t_{(1-\alpha/2),N-1}$: variable estadística T-Student con N-1 grados de libertad, donde N es igual al número de repeticiones

S: desviación estándar

e: margen de error

Si bien la ecuación previa ayuda a calcular el número mínimo de repeticiones, puede resultar complicado resolverla. Por ende, se recomienda realizar por lo menos quince corridas con diferentes números semilla, teniendo en cuenta que a mayor número de corridas se obtienen mejores resultados (Cabrera, 2016). No obstante, es necesario comprobar que este número de corridas adoptado sea mayor al número mínimo de corridas.

2.3.6. Tiempo de estabilidad (*warm up*)

El tiempo de estabilidad o *warm up* es el periodo necesario para que la cantidad de vehículos dentro del sistema consiga el equilibrio vehicular. Al lograr dicha estabilidad, se puede empezar a recopilar la información necesaria (FHWA, 2004).

Cabrera (2016) recomienda que se considere un periodo de estabilización del sistema de 10 a 15 minutos de simulación.

2.3.7. Calibración del modelo

El proceso de calibración consiste en el ajuste de valores en los parámetros de eficiencia para generar un modelo válido, con el propósito de replicar las condiciones observadas a partir de datos de campo en un determinado sistema (Montenegro & Lozano, 2013). Es así que la confiabilidad de cualquier modelo de microsimulación depende de su capacidad de producir resultados cercanos a la realidad, por ello, la etapa de calibración se considera parte fundamental del proceso de modelación (Araújo, et al., 2004).

Actualmente, existe una amplia gama de parámetros para calibrar y, también, un amplio rango de criterios de aceptación. Por tal motivo se recomienda un procedimiento de calibración con enfoque de arriba hacia abajo, es decir, concentrar el esfuerzo inicial en los parámetros que tienen un gran impacto en el comportamiento del modelo y luego, para finalizar, proceder con los parámetros menos críticos (Dowling, et al., 2004).

Para la calibración se pueden emplear pruebas paramétricas y pruebas no paramétricas, si la muestra es mayor a 30 se podría aplicar la primera; sin embargo, en la mayoría de los casos la muestra consta de menos de 30 valores, por lo que se emplean pruebas no paramétricas. Una opción recomendada es la calibración mediante *randomization test*, que además de basarse en una prueba no paramétrica y emplear múltiples simulaciones, no depende de la forma de las distribuciones de origen y se aplica para cualquier tamaño de muestra (Cabrera, 2016).

En suma, el objetivo de la calibración es mejorar la capacidad del modelo para reproducir el comportamiento del conductor y el rendimiento de determinados parámetros, tales como los tiempos de viajes, las demoras y las longitudes de colas (Zúñiga, 2010).

2.3.8. Validación del modelo

Una vez calibrado el modelo, se procede con la validación de los resultados obtenidos, esta etapa consiste en comprobar que las predicciones del modelo reflejen condiciones cercanas a la realidad observada. Se debe resaltar que los datos de calibración no deben ser los mismos que se empleen para la validación del modelo (Roca, 2009).

Dicho de otro modo, la validación puede ser definida como una comparación de la salida del modelo con la información recolectada en campo, independientemente del proceso de calibración.

2.4. MODELOS DE SEGUIMIENTO VEHICULAR

Los modelos de seguimiento vehicular describen el modo en que un vehículo sigue a los vehículos precedentes y su reacción frente a determinada situación. Existen diversos modelos de seguimiento vehicular, los cuales se clasifican en cinco grupos: modelos “estímulo – respuesta”, modelos de distancia segura, modelo lineal, modelos psico - físicos y modelos basados en la lógica difusa (Brackstone & McDonald, 1999).

2.4.1. Modelos “estímulo – respuesta”

Estos modelos asumen que la aceleración de los conductores del vehículo siguiente depende de su reacción ante tres estímulos, los cuales son su velocidad actual, el espacio y la velocidad relativa respecto del vehículo líder (van Wageningen-Kessels, et al., 2014). Por lo tanto, los modelos “estímulo – respuesta” se basan en la influencia del vehículo líder sobre el vehículo siguiente (Al-Jameel, 2009). Lo anterior puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Respuesta del vehículo siguiente} = \text{Sensibilidad} \times \text{Estímulo} \quad (3)$$

Donde:

Respuesta: representa la aceleración o desaceleración del vehículo siguiente

Sensibilidad: constante o función de la velocidad del vehículo siguiente y del espacio entre él y el vehículo líder

Estímulo: representa la diferencia de velocidades entre el vehículo líder y el vehículo siguiente

El modelo Gazis – Herman – Rothery (GHR) es un ejemplo de los modelos estímulo-respuesta, el más conocido, desarrollado en el laboratorio de investigación de la General Motors (Brackstone & McDonald, 1999), cuya formulación se presenta a continuación:

$$a_n(t) = cv_n^m(t) \frac{\Delta v(t-T)}{\Delta x^l(t-T)} \quad (4)$$

Donde:

$a_n(t)$: aceleración del vehículo n en un tiempo t

$v_n(t)$: velocidad del vehículo n en un tiempo t

T : tiempo de reacción

Δv y Δx : la velocidad y el espacio relativo entre el vehículo n y $n-1$, respectivamente, evaluado un instante antes a $t - T$

m, l, c : parámetros constantes

A pesar de los desarrollos en este tipo de modelos, aún tiene muchas limitaciones, por ejemplo, no hay respuesta para el vehículo siguiente cuando la velocidad relativa entre él y el líder es igual a cero, para cualquier espacio entre estos dos vehículos. Además, así la distancia entre ambos vehículos sea muy grande, el vehículo líder

tiene efecto en el vehículo siguiente, ya que impide a que este alcance su velocidad deseada, lo cual refleja un comportamiento poco realista (Al-Jameel, 2009).

2.4.2. Modelos de distancia segura

Este modelo, formulado inicialmente en 1959 por Kometani y Sasaki, trata de especificar una distancia segura, dentro de la cual una colisión sería inevitable. Es decir, supone que un conductor actúa de tal forma que se puede evitar una colisión incluso si el conductor del vehículo líder se comportara de manera impredecible (van Wageningen-Kessels, et al., 2014). El modelo propuesto originalmente, se basa en una ecuación que describe a la distancia segura como una función de las velocidades de los vehículos líder (n-1) y siguiente (n), y el tiempo de reacción del conductor.

$$\Delta x(t - T) = \alpha v_{n-1}^2(t - T) + \beta_1 v_n^2(t) + \beta v_n(t) + b_0 \quad (5)$$

Donde:

v_n : velocidad del vehículo n

v_{n-1} : velocidad del vehículo n-1

Δx : distancia relativa entre el vehículo n y el vehículo n-1

T : tiempo de reacción del conductor

α, β, β_1 y b_0 : constantes de calibración

Gipps (1981) continuó con el desarrollo de estos modelos con la premisa de que el conductor viaja tan rápido como la seguridad y las limitaciones del vehículo le permiten (van Wageningen-Kessels, et al., 2014). Su modelo es ampliamente utilizado en la microsimulación del tráfico, ello se debe principalmente a que el modelo desarrollado por Gipps considera el comportamiento realista de los vehículos. Además, el modelo puede ser calibrado usando suposiciones básicas sobre el comportamiento del conductor y pueden ser verificadas de manera sencilla mediante observaciones de campo (Panwai & Dia, 2005).

2.4.3. Modelo lineal

Helly (1959), en base al modelo de GHR, propuso un nuevo modelo que incluye, además, términos adicionales para la adaptación de la aceleración de acuerdo a si el vehículo líder desacelera o frena.

Se trata del modelo lineal, el cual relaciona la aceleración del vehículo siguiente a una distancia de seguimiento deseada, la velocidad del mismo vehículo, la distancia relativa y la velocidad relativa entre el vehículo líder (n-1) y el vehículo siguiente(n),

y el tiempo de reacción del conductor (Helly, 1959), tal como se muestra en la ecuación 6.

$$a_n(t) = C_1 \Delta v(t - T) + C_2 \{\Delta x(t - T) - D_n(t)\}, D_n(t) = \alpha + \beta v(t - T) + \gamma a_n(t - T) \quad (6)$$

Donde:

$a_n(t)$: aceleración del vehículo n en el tiempo t

$D_n(t)$: distancia de seguimiento deseada en el tiempo t

v : velocidad del vehículo n

Δx : distancia relativa entre el vehículo n y el vehículo n-1

Δv : velocidad relativa entre el vehículo n y el vehículo n-1

T : tiempo de reacción del conductor

$\alpha, \beta, \gamma, C_1$ y C_2 : constantes de calibración

2.4.4. Modelos psico – físicos

También llamados modelos de punto de acción (AP), estos modelos están basados en la suposición que un conductor realizará una acción cuando un límite, expresado como una función de diferencias de velocidad y distancia, es alcanzada. Considera que los conductores tienen diferentes habilidades de manejo, diferentes habilidades de percepción, diferentes habilidades de estimación, diferentes necesidades de seguridad, diferentes velocidades deseadas, y diferentes preferencias por aceleraciones y desaceleraciones (Cabrera, 2016). Además, según Cabrera y Dextre (2014) son adecuados para representar la realidad peruana.

Existen tres tipos de umbrales. El primer límite es dado por d/dt ($\sim \Delta v / \Delta X^2$), al excederse este límite, los conductores desaceleraran hasta que la velocidad relativa entre los vehículos líder y siguiente sea cero. El segundo límite se basa en el espaciamiento (ΔX), y es particularmente relevante en intervalos cercanos de tiempo o distancia, donde las diferencias de velocidad son siempre propensas a estar por debajo del umbral. Por lo tanto, para cualquier cambio a ser notable, ΔX debe cambiar por una 'distancia apenas perceptible' (JND), en relación a la variación del ángulo visual. El tercer límite se obtiene a partir de una serie de experimentos basados en la percepción. Estos, requieren pasajeros en vehículos de prueba para juzgar si las brechas entre el vehículo en el que se encuentran y el vehículo líder se fueron ampliando o acortando, permitiendo sólo una hora fija para observar el objetivo y llegar a una decisión (Brackstone & McDonald, 1999).

2.4.5. Modelos basados en la lógica difusa

Los modelos basados en la lógica difusa se basan en la teoría del conjunto difuso, que describe cómo una variable se ajusta adecuadamente a la descripción de un término. El modelo divide las entradas seleccionadas en un número de conjuntos difusos, y los operadores lógicos son usados después para producir conjuntos de salida difusos o comportamiento del vehículo siguiente basado en reglas. Por ejemplo, dos entradas principales al proceso de toma de decisiones pueden ser la velocidad relativa y la divergencia de separación (relación de la separación del vehículo a la distancia de seguimiento deseada por el conductor). Una regla difusa típica para el modelo de seguimiento vehicular tendría la siguiente forma: si la divergencia de separación es “muy alejada” y la velocidad relativa es “muy cercana”, entonces la respuesta del conductor es “no actuar”. La principal dificultad en la aplicación de este modelo es la determinación de las funciones de los miembros, la cual es crucial para la operación del modelo (Panwai & Dia, 2005).

2.5. MODELOS DE CAMBIO DE CARRIL

La teoría de cambio de carril describe el comportamiento del tráfico lateral entre carriles adyacentes. Esto puede ser considerado en términos de un número de umbrales de percepción que regulan la consideración del riesgo de aceptar una brecha en un carril vecino. Este proceso de toma de decisiones calcula si se puede obtener una ventaja de velocidad en caso un vehículo fuera a cambiar de carril, mediante el cálculo de un total de estímulos de acuerdo a un rango de factores (McDonald, et al., 1994).

Según Jones (2004), los algoritmos de cambio de carril controlan cómo los vehículos se combinan, mezclan y realizan el cambio de carril dentro de una corriente de tráfico. Asimismo, afirma que los cambios de carril son maniobras complejas que involucran el comportamiento de los conductores, desempeños vehiculares y condiciones dentro de la corriente de tránsito.

El cambio de carril puede ser obligatorio, cuando un carril presenta obstáculos o el vehículo se dispone a realizar un giro; discrecional, en caso se requiera cambiar de carril para rebasar a un vehículo de menor velocidad o mantener la velocidad deseada; y, anticipatoria o de posicionamiento, en previsión de un retraso o bloqueo más adelante (The Institution of Highways & Transportation, 2006).

Cabe resaltar que, una vez que han decidido hacer un cambio de carril, los conductores deben encontrar una brecha grande aceptable en la corriente de tránsito

adyacente y asegurarse de que no hay diferencias en velocidades entre los vehículos que harán la maniobra peligrosa, por ejemplo, un vehículo saliendo en frente de un vehículo cuya velocidad es considerablemente mayor (Jones, et al., 2004).

En la figura 4, se muestran algunas razones por las que un conductor decide cambiar de carril, de acuerdo a la clasificación detallada líneas arriba.



Figura 4. Alternativas de decisión para el cambio de carril
Fuente: Adaptado de Jones et al. (2004) y Mc Donald et al. (1994)

2.6. VISSIM 8.0

PTV Vissim es un software de microsimulación de tráfico multimodal, es decir, comprende el análisis de varios medios de transporte no vehicular y vehicular. Se trata de la única herramienta de simulación microscópica del mundo con la que se pueden proyectar todos los tipos de medios de transporte y simular su interacción (PTV Group, 2016), que, además, permite la obtención tanto de resultados numéricos detallados como animaciones en 3D representando diversos escenarios.

2.6.1. Antecedentes del software

El término VISSIM proviene de la frase alemana “Verkehr In Städten SIMulation” (Casares & Galarraga, 2015), cuyo significado es simulación del tránsito en las ciudades. Este programa fue desarrollado en la Universidad de Karlsruhe – Alemania, a comienzos de los años 70; en el año 1973 se inicia la comercialización y distribución por parte de PTV America Inc y en 1995 se aplica en Norte América por primera vez en Eugene, Oregon (Suárez, 2007). Actualmente, PTV Group cuenta con la versión 8.0 de este software, presentado a finales del año 2015.

2.6.2. Consideraciones del software

Esta herramienta de microsimulación cuenta con varios modelos implementados que el usuario puede adaptar a las circunstancias locales mediante parámetros para poder representar con exactitud la selección de ruta o de carril, un cambio de carril o el modelo de seguimiento. Entre ellos se encuentra el modelo de seguimiento de Wiedemann, desarrollado en el acápite 2.4.4, un modelo de cambio de carriles

basado en reglas y la teoría de la fuerza social para la dinámica de peatones. De esta manera se pueden modelar varios escenarios multimodales de forma realista y valorarlos según su desempeño, considerando al tráfico motorizado, como autos, camiones y autobuses; tráfico sobre rieles, como tranvías y trenes; o tráfico no motorizado, como peatones y bicicletas. Además, el concepto de arcos y conectores permite que los usuarios modelen geometrías de cualquier tipo, por muy complejas que sean (PTV Group, 2016).

Cabe señalar que, en cuanto al modelo de seguimiento vehicular, el software puede utilizar dos implementaciones del modelo de seguimiento de Wiedemann, los cuales, en alusión a los años en que se desarrollaron, son “74” y “99”. El modelo 74 está recomendado para condiciones urbanas, mientras que el modelo 99 está recomendado para manejo en carreteras (Casares & Galarraga, 2015). Los cuatro estados de comportamiento de este modelo se muestran en la figura 5.



Figura 5. Modelo de seguimiento vehicular Wiedemann 74
Fuente: Adaptado de PTV Group (2016)

En cuanto al comportamiento lateral dentro del carril, la elección de la posición lateral dentro de un carril es importante si se permite que ciertos vehículos rebasen dentro del mismo carril o avancen uno al lado del otro, como es en el caso de las bicicletas en algunos tipos de vías (PTV Vissim, 2016).

Por su parte, el modelo de cambio de carril en Vissim distingue dos tipos, según PTV Group (2016), los cuales se detallan en la figura 6.



Figura 6. Modelo de cambio de carril
Fuente: Adaptado de PTV Group (2016)

2.6.3. Principios del software

Según Fellendorf (1994), el sistema de simulación consta de dos principios, los cuales son el modelo de flujo de tráfico, considerado el núcleo del software y el modelo de control de señales.

- **Modelo de flujo del tráfico**

El modelo de flujo de tráfico desarrollado por el programa se trata, además de microscópico, de un modelo discreto y estocástico, basado en el paso del tiempo, con unidades vehículo-conductor como entidades. En adición, se incorpora un modelo psico-físico para el comportamiento vehicular en un movimiento longitudinal, y un algoritmo basado en reglas para los movimientos laterales (Papageorgiou, et al., 2006).

- **Modelo de control de señales**

Vissim es el programa principal que envía segundo a segundo los valores del detector a programa de control de señales. El control de la señal utiliza los valores del detector para decidir los aspectos de las señales actuales. El software recibe los aspectos de las señales y comienza la siguiente iteración de flujo de tráfico (Fellendorf, 1994).

2.6.4. Construcción del modelo

Para la construcción de un modelo en Vissim, se requiere de un mapa a escala, que muestre una red real. Esta imagen es insertada en la ventana de la red de Vissim y se utiliza para definir las vías. Posteriormente, se procede con la codificación de la red, la información de las rutas de los vehículos, la inserción de objetos puntuales, y, finalmente, los objetos espaciales.

- **Codificación de la red**

Las redes viales son generalmente representadas por gráficos con conectores localizados en las intersecciones y links colocados en los tramos viales. Los conectores son necesarios si dos o más links se fusionan, los links se cruzan entre sí, un link se divide en dos o más enlaces, o las características de un segmento de carretera cambian. Cabe mencionar que los conectores se unen por parejas. Por ejemplo, la fusión de uno a tres enlaces requerirá de tres conectores (Fellendorf & Vortisch, 2010).

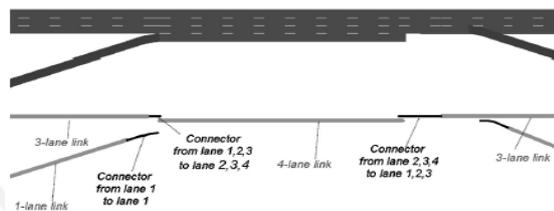


Figura 7. Links y conectores dentro de un modelo de microsimulación
Fuente: Fellendorf & Vortisch (2010)

- **Rutas de los vehículos**

En Vissim, se asignan rutas OD (Origen - Destino) para cada carril. Asimismo, se puede representar la mezcla de tipos de vehículos, a lo que se le denomina *Vehicle Compositions*. A cada uno de estos tipos de vehículos, se les asigna un porcentaje de flujo y una distribución de la velocidad.

Según Fellendorf y Vortisch (2010), hay clases de objetos puntuales y otros con una extensión espacial.

- **Objetos puntuales**

Se tratan de objetos que no pueden tener longitud física y deben estar ubicados en un punto determinado de un carril. La ubicación de cada objeto se refiere a un carril en particular; por lo tanto, los objetos relevantes a la sección transversal completa deben ser copiados para cada carril. Algunos objetos puntuales típicos son la señal de límite de velocidad, la señal de pare y los semáforos.

- **Objetos espaciales**

Los objetos espaciales comienzan a partir de una posición en un carril y se extienden en una determinada longitud. Los objetos espaciales más relevantes que describen la infraestructura son los siguientes: los detectores de vehículos y personas, los lugares de parada para vehículos de transporte público y las zonas de velocidad especificada.

2.6.5. Aplicaciones del modelo

Los modelos desarrollados con el uso del software Vissim tienen muchas aplicaciones, pero principalmente se utilizan para analizar el tráfico de varias alternativas de diseño viales, tanto de configuraciones urbanas como carreteras (Papageorgiou, et al., 2006). Algunos de los casos de aplicación son los siguientes: intersecciones, incluye la modelación de cruces sencillos e intersecciones semaforizadas; sistemas multimodales, es posible simular todos los tipos de medios de transporte y su interacción; y, modelado de emisiones, la información obtenida del modelo desarrollado con Vissim con respecto a las velocidades y aceleraciones de cada vehículo, se exporta a un software adicional para su análisis (PTV Group, 2016).

Las intersecciones, tema que abarca el presente proyecto, que se modelan en Vissim pueden ser semaforizadas o no semaforizadas.

- **Intersecciones no semaforizadas**

Estas intersecciones pueden ser modeladas mediante el uso de reglas de prioridad, esto se aplica a todas las situaciones en las que los diferentes conectores deben reconocerse unos a otros, de manera que los vehículos con el mismo link se observan implícitamente entre sí, incluso si el link tiene varios carriles. Una regla de prioridad consiste en una línea de parada y uno o más marcadores de conflicto que son asociados a ella, dependiendo de las condiciones actuales de los marcadores, la línea de parada permite que los vehículos crucen o no. Las dos condiciones principales a comprobar en el marcador de conflicto son el intervalo mínimo de distancia y el intervalo mínimo de tiempo. Sin embargo, para el tránsito de flujo libre en la vía principal, el intervalo mínimo de tiempo es lo más relevante; y en el caso de movimiento lento o colas en la vía principal, el intervalo mínimo de distancia se convierte en la condición con mayor relevancia (PTV AG, 2011).

En la figura 8 se presenta una intersección no semaforizada, y modelada con reglas de prioridad.

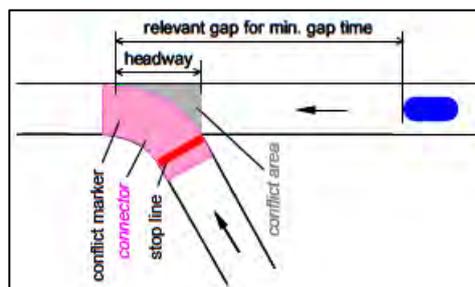


Figura 8. Modelación con regla de prioridades
Fuente: PTV AG (2010)

- **Intersecciones semaforizadas**

Estos tipos de intersección tienen como característica realizar el modelo mediante la inserción de controladores de señales (signal control), para controlar el funcionamiento del tráfico. Estos controles están conformados por un grupo de señales (signal group), los cuales realizan la función del semáforo dentro del modelo mismo, estos elementos emplean diferentes fases de tiempo, los cuales son rojo, verde y ámbar (Alcalá, 2016). En la figura 9 se muestra una intersección controlada por semáforos.

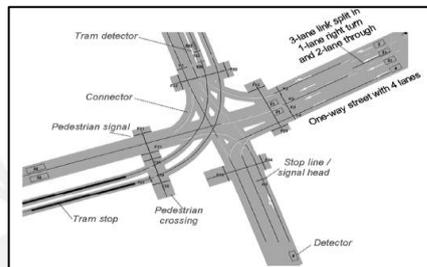


Figura 9. Modelo de intersección semaforizada
Fuente: Fellendorf & Vortisch (2010)

2.7. FUNDAMENTOS DE LA MICROSIMULACIÓN PEATONAL

El comportamiento de los peatones solía ser modelado desde el punto de vista macroscópico como si fueran gases o líquidos en movimiento, donde los parámetros principales eran el flujo, la velocidad y la distancia. Sin embargo, se observaron algunas deficiencias al no considerar que los peatones se mueven buscando la ruta más rápida y realizando maniobras para evitar obstáculos, que no es necesariamente por el paso de peatones (Cabrera & Dextre, 2014).

En los modelos de microsimulación peatonal, cada peatón está representado por separado como un agente individual y sus comportamientos se exploran de manera independiente. El comportamiento del peatón es clasificado en tres diferentes niveles (Hoogendoorn & Bovy, 2004), los cuales son estratégico, táctico y operacional.



Figura 10. Niveles en el comportamiento del peatón
Fuente: Adaptado de Hoogendoorn & Bovy (2004)

2.7.1. Nivel estratégico

En este nivel, el peatón decide las actividades que realizará, su ubicación y además decide ser un peatón (elección del modo). Los peatones no tienen ninguna idea de la red o rutas alternativas en este punto. Además, se considera a este nivel como un proceso de decisión previo al viaje (Sahaleh, et al., 2012).

2.7.2. Nivel táctico

El comportamiento a nivel táctico es influido por factores externos como la presencia de obstáculos o la estimulación del ambiente, y factores internos o personales como la presión del tiempo o las actitudes de los demás peatones. En conjunto con las condiciones esperadas del tráfico (congestión, velocidades medias), las decisiones en este nivel táctico sirven como entrada para el comportamiento en el andar de los peatones. Al mismo tiempo, las demandas de tráfico de peatones y el comportamiento de andar colectivo afectarán las condiciones de tráfico esperado y por lo tanto, el comportamiento en el nivel táctico (Hoogendoorn & Bovy, 2004).

2.7.3. Nivel operacional

El comportamiento de peatones a nivel operativo implica decisiones instantáneas que afectan a las características del andar del peatón como la opción de caminar rápido, o lento, o parar y esperar al cruzar una calle. Las decisiones a este nivel se ven afectadas por las decisiones tomadas en los niveles previos. Por ejemplo, caminar más rápido para ahorrar tiempo, lo que representa una decisión a nivel operativo; y tomar una ruta que implica el cruce de vías que no tienen paso de peatones señalizados, correspondiente a una decisión a nivel táctico; con el fin de llegar a un destino caminando, decisión a nivel estratégico (Ishaque, 2006).

2.8. MODELOS DE MICROSIMULACIÓN DE PEATONES

Según Sahaleh et al. (2012), los principales modelos de microsimulación peatonal son tres, los cuales son los modelos de elección discreta, los modelos de autómatas celulares y los modelos de las fuerzas sociales.

2.8.1. Modelo de elección discreta

Estos modelos asumen que, en un experimento de elección, cada alternativa se puede asociar con una cantidad latente llamada utilidad, de esta manera, el individuo selecciona la alternativa de mayor utilidad. Esta cantidad es una variable aleatoria que depende de los atributos de la alternativa y las características socioeconómicas de la toma de decisiones. Además, un modelo de elección discreta se define por

cuatro elementos: un conjunto de opciones, una lista de atributos que describen las alternativas, una lista de las características socioeconómicas que describen la toma de decisiones y un término aleatorio asociado a la captura de errores observados (Antonini, et al., 2006).

Dicho de otro modo, el modelo de elección discreta pronostica el comportamiento de un individuo frente a una situación de decisión y provisto de un conjunto de alternativas con una utilidad asociada a cada opción. Este modelo predice la opción basada en las características socioeconómicas y demográficas de los individuos, en los atributos de las alternativas en el conjunto de opciones y en un término al azar para cubrir las incógnitas (Ishaque, 2006).

2.8.2. Modelo celular autómatas

El nombre proviene de los términos autómatas, referido al movimiento mecánico de entidades realizado en función a un conjunto de instrucciones; y, celulares, debido a que ocupan células que cuentan con reglas de ocupación de acuerdo a sus vecinos. Así, con el uso de estas reglas, los modelos autómatas celulares intentan considerar también los factores psicológicos de los peatones en lugar de limitarse a aplicar ecuaciones físicas y matemáticas (Sahaleh, et al., 2012).

Los modelos autómatas celulares son discretos en el espacio, tiempo y variable de estado que en el caso de los modelos de tráfico corresponde a la velocidad. El carácter discreto en el tiempo significa que las posiciones de los agentes se actualizan en paralelo (sincronizadamente) en intervalos de tiempo bien definidos. Dichos intervalos corresponden a una escala de tiempo natural, que podría ser, por ejemplo, identificado con un tiempo de reacción. Esto se puede utilizar para la calibración del modelo que es esencial para hacer predicciones cuantitativas. Por su parte, el carácter discreto en el espacio se deriva de las densidades máximas observadas en densas multitudes que proporciona el requisito de espacio mínimo de una persona (Schadschneider, et al., 2009).

2.8.3. Modelo de la fuerza social

Este modelo, desarrollado el 1995 por el Profesor Dirk Helbing, describe el comportamiento de peatones a través de fuerzas sociales, de atracción y repulsión, que resultan de la interacción de los peatones con su entorno y con las demás personas (Cabrera & Dextre, 2014). Además, el modelo de la fuerza social emplea ecuaciones newtonianas para calcular dichas fuerzas, que actúan al mismo tiempo, siendo sus fundamentos básicos los siguientes: los peatones desean alcanzar su

destino de la forma más confortable posible, los peatones mantienen distancias de seguridad a obstáculos o bordes y los peatones pueden experimentar fuerzas de atracción con otros peatones (amigos o familiares) o lugares particulares (vitriñas en centros comerciales). Cabe señalar que no todos los peatones poseen el mismo comportamiento, por lo que se consideran parámetros de fluctuación y variabilidad (Cabrera, 2015).

En la figura 11 se ilustran las fases del proceso que realiza el peatón según el modelo de fuerza social, que inicia con la estimulación, que inducirá a la evaluación de alternativas y, finalmente provocará una reacción.

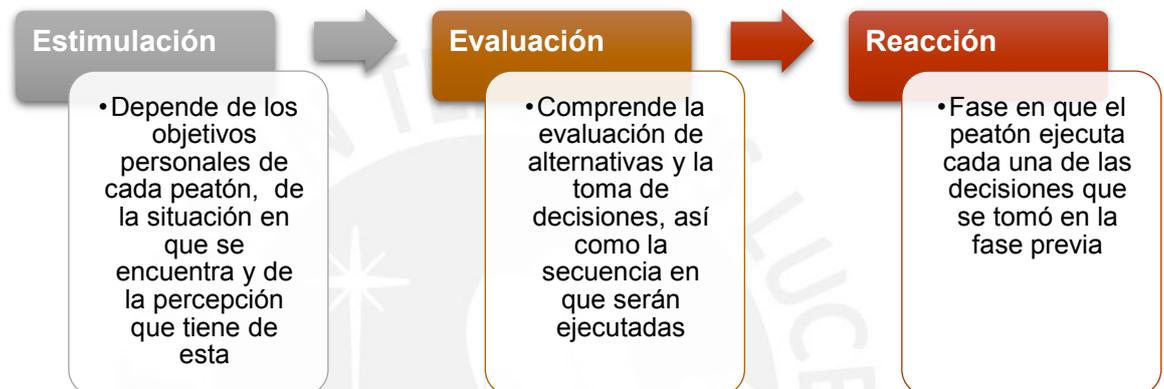


Figura 11. Proceso de comportamiento de peatones mediante el modelo de fuerza social
Fuente: Elaboración propia

2.9. VISWALK 8.0

Viswalk es un software que proporciona una simulación completa de los peatones y se integra perfectamente con Vissim. Es la solución ideal para todos aquellos que tienen en cuenta las necesidades de los peatones en sus proyectos o estudios, tales como: planificadores de transporte, consultores, arquitectos, operadores de grandes edificios y amplios espacios públicos, gestores de eventos o ingenieros especialistas en protección civil (PTV Group, 2016).

2.9.1. Antecedentes del software

Luego de la inclusión de un modelo de comportamiento de peatones realista en Vissim, los cuales eran, en un principio, vehículos pequeños con extrañas formas de conducir, se notó la necesidad de contar con un modelo de comportamiento peatonal para realizar estudios de circulación de peatones o análisis de capacidad de peatones. Alrededor del 2005, la simulación de peatones se convirtió en un tema de interés en el mundo de la simulación del flujo del tráfico, ya que hasta ese momento la simulación de peatones no se utilizaba en conjunto con el tráfico de vehículos. Es así que se comienzan los primeros esfuerzos por incluir a los peatones en el software

Vissim, y en el 2006 se muestran los primeros peatones en dicho software. Pasaron otros dos años de desarrollo para que sea lanzada la simulación de peatones como un módulo en VISSIM 5.10, en el 2008. Con el pasar de los años se mejoraron los aspectos relacionados al modelado de peatones en dicho software en cada nueva versión; sin embargo, la parte peatonal había crecido tanto en Vissim, y había un mercado potencial en la simulación de solo peatones. Es así como PTV Group decide en el año 2011 lanzar al mercado un software de simulación para peatones solamente, bajo el nombre de Viswalk (Lieberman, 2014).

Actualmente, PTV Group cuenta con la versión 8.0 de este software, que fue presentado en el último trimestre del año 2015.

2.9.2. Consideraciones del software

Este modelo se basa en el modelo de la fuerza social desarrollado en el acápite previo y se permite la libre circulación de los peatones dentro de niveles específicos. Además, no es necesario crear una red que especifique la trayectoria de los peatones, ya que ellos son capaces de encontrar el camino a su destino (PTV Group, 2016). Es decir, los peatones se mueven a lo largo y ancho del espacio, giran o se detienen de manera espontánea, pero en cuanto los volúmenes y densidades peatonales rebasan ciertos límites, se movilizan de forma organizada generando dinámicas de masa (PTV Viswalk, 2016).



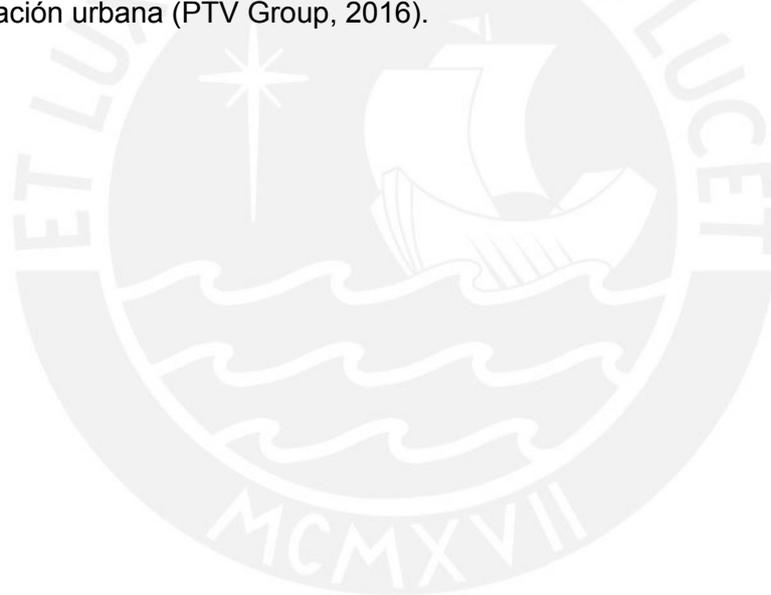
Figura 12. Ejemplo del comportamiento de un peatón basado en el modelo de la fuerza social

Fuente: PTV Group (2016)

2.9.3. Aplicaciones del modelo

El software Viswalk es principalmente adecuado para la planificación urbana, la construcción, la planificación de seguridad peatonal y los planes de evacuación, la planificación de transporte integrada y muchas otras aplicaciones dirigidas a asegurar un equilibrado flujo de peatones. En el caso de análisis de evacuación, el software permite evaluar numerosas medidas estructurales y organizativas para reducir y controlar comportamientos caóticos de personas en situaciones de emergencia (PTV Group, 2016).

En cuanto a la planificación del tránsito, Viswalk permite el modelado del impacto de los flujos peatonales en los vehículos, analizar los impactos de los sistemas de control semafórico en intersecciones complejas, evaluar los tiempos de espera, planificar cruces peatonales o ajustar la infraestructura al tránsito y a los flujos peatonales actuales. Cabe señalar que toma en cuenta las necesidades de los peatones en la planificación urbana (PTV Group, 2016).



CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

La presente tesis tiene como principal objetivo proponer una solución adecuada para mejorar las condiciones de desplazamiento de todos los usuarios de la intersección de los jirones Oquendo, Tacna, Los Incas y avenida La Torre, para lo cual se opta como herramienta principal un modelo de microsimulación. Previo a este modelo se realiza un trabajo de investigación con el fin de determinar los parámetros necesarios para incluir a los triciclos en el modelo, debido a que este tipo de vehículo no se encuentra definido en el software VISSIM 8.0.

Luego de determinar los parámetros de un triciclo, se procede con la construcción del modelo. Para ello, se realiza la búsqueda de información estática necesaria para el sistema de diseño vial seleccionado, tales como la geometría de la intersección y ubicación de paraderos informales. A continuación, se determina la información dinámica con el empleo de dos drones con cámaras filmadoras, lo cual corresponde a la toma de datos de campo. Por ejemplo, aforos vehiculares (conteos de tráfico clasificados por tipo de vehículos), aforos peatonales, tiempo de viaje, tiempos del semáforo, entre otros.

Posteriormente, la información obtenida se clasifica y procesa para integrar la información de entrada en la construcción del modelo con el uso del software VISSIM 8.0 y VISWALK 8.0. El mencionado modelo microscópico está conformado por la intersección de estudio, los tipos de vehículos que circulan a través de ella, los tiempos de semáforo, los aforos peatonales, los aforos vehiculares, y demás elementos que hacen que este modelo sea una réplica del comportamiento real de la zona de estudio.

Como siguiente paso, se calibra el modelo, teniendo como datos de entrada los datos de campo y los resultados obtenidos del software VISSIM 8.0 y VISWALK 8.0. Para ello se considera un nivel de confianza de 95%, y se emplea la prueba no paramétrica de *randomization test*. Se efectúan 10000 permutaciones con las mediciones de tiempos de viaje (en segundos) en campo y utilizando el software VISSIM 8.0.

Después de la calibración, y con los ajustes establecidos en esta etapa, se realiza la validación del modelo. Para este procedimiento se ingresa un nuevo registro de datos de campo, tales como los aforos vehicular y peatonal obtenidos del segundo día de grabación, a la espera de que los resultados a obtener luego de correr el modelo en el programa (tiempos de viaje, longitudes de cola, etc.) sean similares a lo recolectado en campo en ese mismo intervalo de tiempo.

Con el modelo ya construido, calibrado y validado, se evalúa y analiza el funcionamiento del sistema, para luego documentar la información de la situación actual. Asimismo, se presentan propuestas de mejoras y se evalúan los parámetros de eficiencia para este nuevo escenario. Finalmente, se desarrollan las conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados obtenidos.

En resumen, luego de la determinación de los parámetros necesarios para incluir a los triciclos en el software VISSIM 8.0. La secuencia de la metodología a aplicar en el presente proyecto es la recomendada por la FHWA (2004), la cual se presenta en la figura 4.



Figura 13. Metodología para la elaboración del modelo microscópico del proyecto
Fuente: Adaptado de FHWA (2004)

3.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UN TRICICLO

Se comienza con la búsqueda de una ilustración en 3D de un triciclo en la página web 3D Warehouse, biblioteca virtual de modelos en 3D, para luego modificarlo conforme a las medidas del vehículo, con el fin de poder incluirlo en el software de microsimulación. En la figura 14, se puede observar un triciclo estándar estacionado en una vía de la ciudad de Puno y las medidas que posee.

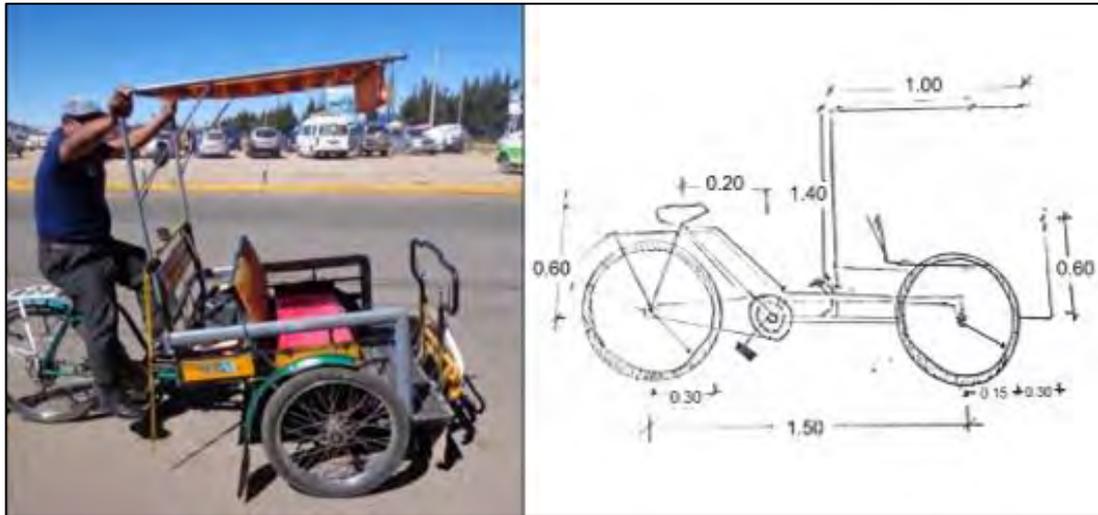


Figura 14. Triciclo estacionado y dimensiones en metros

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizado el modelo 3D se procede a hallar los parámetros de circulación, los cuales son las velocidades y las aceleraciones máximas y deseadas del triciclo. En primer lugar, para hallar la velocidad se registra el tiempo que tarda un triciclo en recorrer una distancia conocida. En segundo lugar, para la determinación de la aceleración se hace uso de un GPS que brinda información de velocidades (inicial y final), distancias recorridas y los tiempos correspondientes.

3.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN ESTÁTICA

Se busca información correspondiente a la zona de estudio: número de carriles, ancho de carriles, geometría y ubicación de paraderos informales. Esta información es obtenida de mapas digitales (dibujos CAD) y fotografías aéreas (Google Maps).

3.3. RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO

La toma de datos de campo se realiza en días de semana laborable, martes 31 de octubre y miércoles 8 de noviembre del 2017, y que no presenten alteración en el comportamiento de los usuarios, por ejemplo, en fiestas patrias, semana santa, aniversario de la ciudad, entre otros.

3.3.1. Videograbación

Se realizan videograbaciones desde un punto estratégico de la zona mediante el uso de dos drones con cámara filmadora, con el fin de completar una hora de grabación por día. El punto de grabación se ubica a una altura que permita observar con claridad el paso de vehículos y peatones en el sistema, tal como se muestra en la figura 16.



Figura 15. Ubicación del punto de filmación y vista satelital de la intersección
Fuente: Adaptado de Google Maps (2018)

3.3.2. Geometría del sistema

Para la construcción del modelo son necesarios los datos físicos de la intersección, por tal motivo se realiza el levantamiento topográfico de la zona. Este procedimiento tiene como fin la determinación de detalles importantes del sistema, por ejemplo, los anchos de carriles de las vías, de las aceras, de las rampas, entre otros elementos que sean de relevancia en el sistema.

3.3.3. Lista de chequeos

Si bien las listas de chequeo o de verificación son elementos de ayuda para realizar las auditorías de seguridad vial o inspección vial de forma ordenada y sistemática (Dextre & Cabrera, 2010), en el presente proyecto se usa como herramienta que ayudará a elaborar una propuesta para mejorar la seguridad de los usuarios vulnerables en el sistema en estudio. Es así como para esta actividad se toma un registro, de acuerdo con lo observado en campo, en base a los ítems a preparar sobre el cumplimiento de especificaciones detalladas en dicha lista.

3.4. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO

En el presente acápite se procesan, en primer lugar, los parámetros del triciclo para la inclusión en el software VISSIM 8.0. Luego de ello se prosigue con el aforo peatonal, aforo vehicular, tiempo de semáforo, y la geometría del sistema, con el fin de tener toda la información requerida por el software de microsimulación.

3.4.1. Parámetros del vehículo atípico – triciclo

En esta sección, se determinan los datos para la construcción de la distribución de velocidad deseada, y aceleraciones máximas y deseadas del vehículo no motorizado en estudio. Cabe señalar que no se toma en cuenta las desaceleraciones máximas y deseadas debido a las bajas velocidades que presentan los triciclos.

Como primer paso para determinar las mencionadas gráficas, se selecciona una ubicación idónea para la toma de datos, es decir, una vía libre de obstáculos que permita el flujo continuo del triciclo. En este caso, se opta por los carriles de la avenida La Torre con orientación norte, tal como se muestra en la figura 16.



Figura 16. Ubicación para la toma de datos
Fuente: Adaptado de Google Maps (2018)

Para la toma de datos se hace uso de un GPS GARMIN eTrex Summit HC y una libreta de notas (figura 17).



Dispositivo que muestra la velocidad media, velocidad instantánea, distancia recorrida y tiempo empleado

Útil para el registro de los valores tomados con el GPS GARMIN eTrex Summit HC

Figura 17. Instrumentos empleados para la toma de datos
Fuente: Elaboración propia

Con los instrumentos necesarios se procede con la toma de datos, la cual consiste en subir al vehículo (triciclo) y registrar en el cuaderno de campo los datos proporcionados por el GPS. Para ello se pide al conductor del triciclo que comience su movimiento desde el reposo (velocidad inicial nula), lo que facilita los cálculos de velocidad y aceleración, y a una distancia no menor a 25 metros se registran la distancia recorrida y el tiempo proporcionados por el GPS. Cabe señalar que en este proyecto se tomaron los registros de una muestra de 48 triciclos con conductores entre los 20 y 40 años, en un día soleado, sin precipitaciones, ni presencia de hielo en las pistas (14°C aproximadamente). Asimismo, los triciclos de la muestra transportan a dos personas de aproximadamente 55 kilogramos cada una, lo que resulta 110 kilogramos en total. En el anexo 1 se muestran los datos registrados de los 48 triciclos.

- **Velocidad deseada**

Para el cálculo de velocidades deseadas se utiliza los datos de distancia recorrida y tiempo; además, se asume una velocidad constante durante el recorrido, por lo que se calcula este valor mediante la división de la distancia recorrida entre el tiempo empleado.

- **Aceleración deseada y máxima**

La determinación de la curva de aceleración deseada se realiza con los datos de velocidad media, velocidad inicial y tiempo, y los valores de aceleración se calculan para cada vehículo. En este cálculo se asume que la velocidad media corresponde al tiempo medio del recorrido, es decir, se calcula la aceleración mediante la división de la diferencia de la velocidad media y la velocidad inicial, entre la mitad del tiempo recorrido; el cálculo se muestra en el anexo 1.

Por otro lado, la aceleración máxima se utiliza para mantener una cierta velocidad en pendientes, es decir, cuando se requiere una aceleración mayor. En el presente proyecto, la curva de aceleración máxima se considera igual a la curva de aceleración deseada, debido a que la intersección en estudio no presenta pendientes pronunciadas.

En la tabla 1 se muestra el resumen de los datos tomados en campo, además se presenta el número mínimo de la muestra según la ecuación 2, que resulta ser menor a la muestra evaluada en campo. Cabe señalar que el error admitido para este proyecto es de 10% del promedio de los datos y la variable $t_{(1-\alpha/2),N-1}$ es 2.014, para un 95% de confianza y Gdl igual a 47.

Tabla 1. Resumen de datos de velocidad deseada (km/h) y aceleración deseada (m/s²) de triciclos

	Velocidad (km/h)	Aceleración (m/s ²)
Promedio	9.97	0.15
Valor máximo	15.00	0.25
Valor mínimo	3.84	0.08
Desviación Estándar	2.12	0.05
Error	0.997	0.015
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$	2.014	2.014
N _{mínimo}	18.40	40.79
N _{muestra}	48	48

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Plano de la intersección de estudio

La intersección de análisis se encuentra en una zona comercial de la ciudad de Puno, donde se ubica un mercado en la misma intersección, así como farmacias y panaderías. El plano de la intersección con detalle geométrico a escala 1/200 se presenta en el anexo 2. A continuación, en la figura 19, se muestra el resultado de un levantamiento topográfico de la zona de estudio; y, en la tabla 2, se muestra las avenidas que la conforman con sus respectivos números de carriles.



Figura 18. Plano de la intersección de análisis
Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Avenidas que conforman la intersección

Avenidas	Nro de carriles	Ancho de carril (m)
Avenida La Torre	4	3.05
Jirón Oquendo	2	3.14
Jirón Los Incas	2	2.40
	2	<2.40
Jirón Tacna	3	2.81

Fuente: *Elaboración propia*

3.4.3. Datos procesados de las videograbaciones

En el presente proyecto, los datos para el desarrollo y calibración del modelo se realizan con datos de entrada obtenidos de la videograbación del día 8 de noviembre del 2017 que comienza a las 11:45 am y termina a las 12:45pm; y para la validación se toman los datos de la videograbación del día 31 de octubre del 2017 que empieza a las 12:45 pm y finaliza a la 1:45 pm.

- **Aforo vehicular – Desarrollo del modelo**

Para obtener el aforo vehicular se comienza con la clasificación de vehículos que transitan por la intersección en estudio. En la figura 19 se muestran los vehículos que son de interés para este sistema.



Figura 19. Vehículos del sistema

Fuente: *Elaboración propia*

Luego de establecer la clasificación vehicular, se procede con la asignación de un número a cada carril por el que ingresan los vehículos a la intersección. En el jirón Tacna se colocan los números de carriles 1,2 y 3; en la avenida La Torre, los números de carriles 4 y 5; y, en el jirón Los Incas, los números de carriles 6 y 7.

Una vez establecidos los códigos de cada carril y los tipos de vehículos a contar, se elaboran tablas para determinar el aforo vehicular por cada ingreso y la cantidad de vehículos por cada ruta. El detalle del procedimiento se presenta en el anexo 3, y, en la figura 21, se muestra el flujograma de la intersección en estudio, el cual corresponde a una hora de circulación y es fundamental para la construcción del modelo.

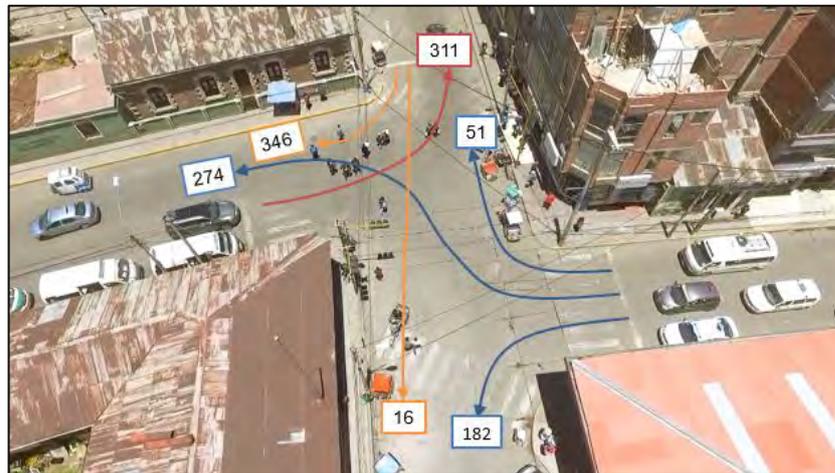


Figura 20. Flujograma vehicular por hora
Fuente: *Elaboración propia*

Cabe mencionar que, durante la toma de datos, se observa que un triciclo realiza un giro a la derecha desde el carril 5 (avenida La Torre) hacia el jirón Oquendo, lo que no es tomado en cuenta para la modelación, ya que representa menos del 0.5% de vehículos que tienen como origen la avenida La Torre.

- **Composición vehicular – Desarrollo del modelo**

Durante el conteo para la determinación del aforo vehicular se observa que se diferencian de acuerdo con la clasificación presentada en la figura 20, para cada una de las tres vías de ingreso al sistema. Es así como se obtiene el porcentaje de vehículos que ingresan por cada vía, lo cual se resume en la siguiente figura.

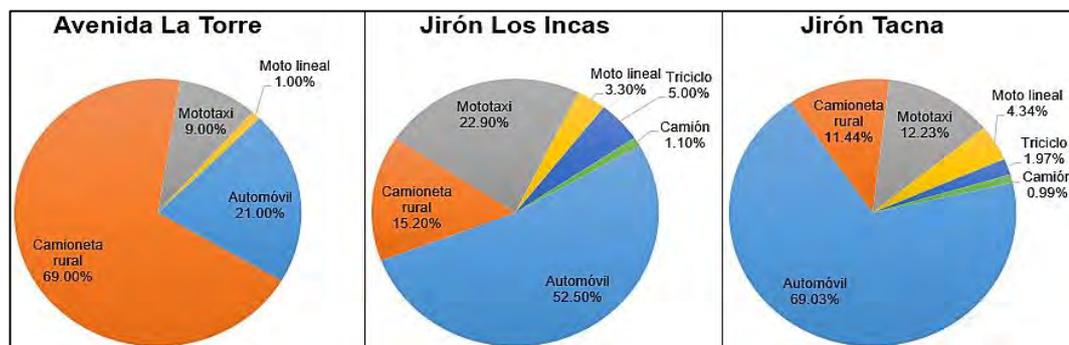


Figura 21. Composición vehicular por vía de ingreso
Fuente: *Elaboración propia*

- **Velocidad de vehículos – Desarrollo del modelo**

Si bien los cinco vehículos motorizados presentes en la zona de estudio están definidos en VISSIM 8.0, es necesario hallar su distribución de velocidades deseadas, debido a que esta varía de acuerdo con la zona de estudio. Esta distribución es hallada para cada tipo de vehículo, es decir, se tendrán cinco gráficos diferentes.

Para hallar las velocidades se delimitan tres tramos, en tres vías del sistema, libre de obstáculos, y luego se toman los tiempos que tardan en pasar por estos tramos, se asume la velocidad constante. Los tramos son de 15 metros en la avenida La Torre, 15 metros en el jirón Los Incas y 17.4 metros en el jirón Tacna.

Con la ayuda de un formato para el registro de tiempos, se calcula la velocidad para cada uno de los vehículos, y se elabora una tabla de frecuencias de las velocidades, por tipo de vehículo. Por ejemplo, para las camionetas rurales, se registran los tiempos de 85 vehículos, se calcula las velocidades y de acuerdo con la muestra se dividen en 7 intervalos de amplitud igual a 2.01 km/h.

Las tablas correspondientes a cada tipo de vehículo se presentan en el anexo 4, y, en la figura 22, se observan las distribuciones acumuladas de velocidades deseadas para las camionetas rurales, automóviles, mototaxis, camiones y motos lineales.

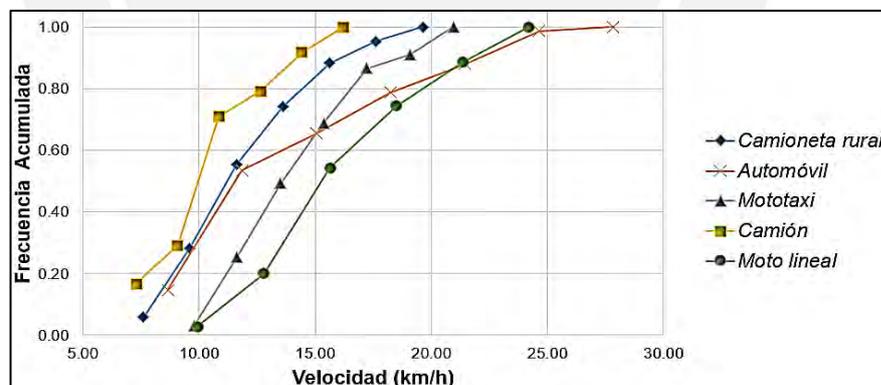


Figura 22. Frecuencias acumuladas de velocidades deseadas por tipo de vehículo
Fuente: Elaboración propia

- **Velocidad de giro – Desarrollo del modelo**

En la determinación de las velocidades de giro se realiza el mismo procedimiento que para hallar la distribución de velocidades deseadas, es decir, se registran los tiempos que tardan los vehículos para recorrer una distancia conocida (longitud de cada giro). Los datos registrados y las tablas de frecuencias correspondientes a cada giro se presentan en el anexo 5.

Son 6 los giros que se presencian en la zona de estudio del presente proyecto; 3 desde el jirón Tacna, 2 desde la avenida La Torre y 1 desde el jirón Los Incas. Sin embargo, el giro de la avenida La Torre hacia el jirón Oquendo no se considera, ya que, como se mencionó en el acápite de aforo vehicular, durante la toma de datos se presencia que solo un triciclo realiza este giro.

A continuación, en la figura 23, se muestran los giros posibles de la intersección de estudio, y en la figura 25, las frecuencias acumuladas de velocidades de los vehículos en dichos giros.



Figura 23. Giros posibles en la intersección
Fuente: *Elaboración propia*

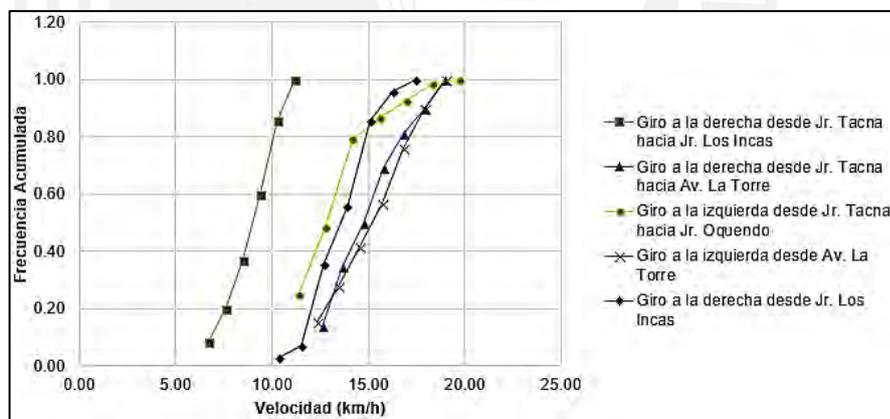


Figura 24. Frecuencias acumuladas de velocidades de giro de los vehículos
Fuente: *Elaboración propia*

- **Aforo peatonal – Desarrollo del modelo**

Para la recolección de datos del aforo peatonal en la intersección, se establecen, en primer lugar, los puntos de partida de cada recorrido que realizan los peatones para cruzar una vía: origen 1, origen 2, origen 3 y origen 4; tal como se muestra en la figura 25. Luego de ello, se identifican las trayectorias que desarrollan, y, finalmente, se recolecta la información en un formato para cada origen, presentado en el anexo 6.

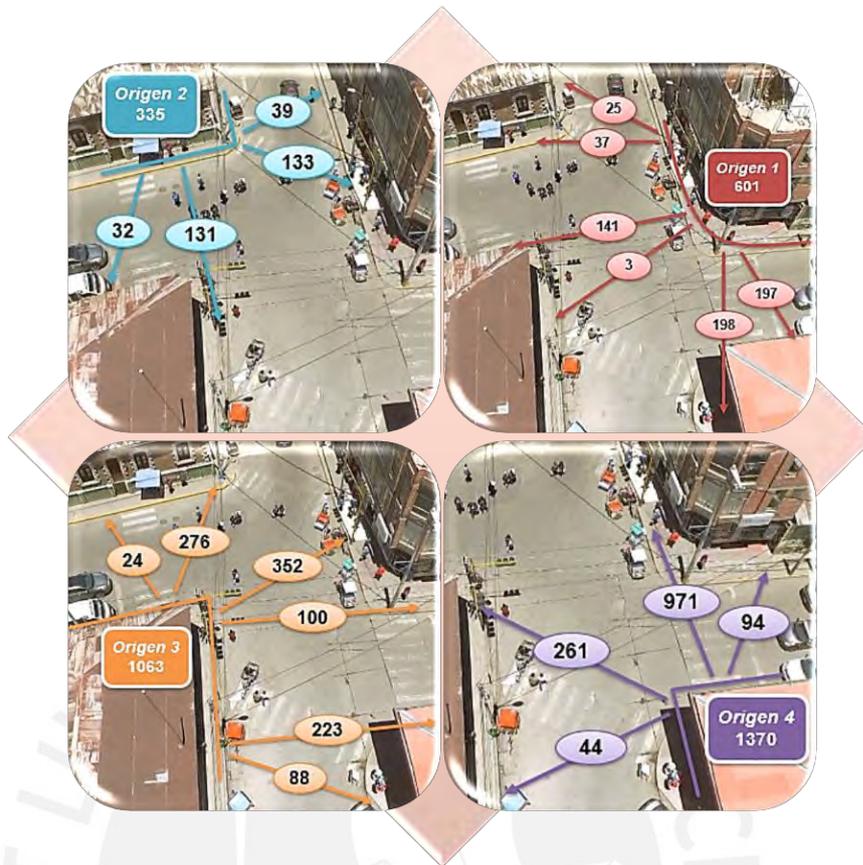


Figura 25. Flujo peatonal por hora
Fuente: *Elaboración propia*

- **Velocidad de los peatones – Desarrollo del modelo**

La velocidad de los peatones es calculada para cada cruce, ya que las distancias son conocidas; la velocidad de un peatón se considera como el resultado de dividir la distancia entre el tiempo que tarda en recorrer dicho tramo. La muestra para este estudio es de 30 personas para cada cruce, estos datos se muestran en el anexo 7, así como las tablas de frecuencias respectivas.

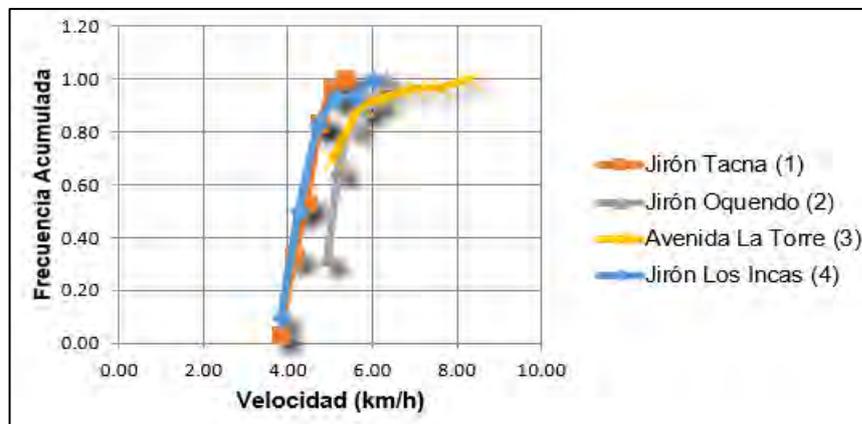


Figura 26. Frecuencias acumuladas de las velocidades de los peatones
Fuente: *Elaboración propia*

- **Tiempo de semáforos – Desarrollo del modelo**

En la intersección de estudio se presentan dos fases del semáforo que controlan todos los movimientos vehiculares realizados en el sistema. Luego de realizar el registro de la duración de tiempo de verde, ámbar y rojo, se obtiene las longitudes de ciclo de cada una de las fases. En la figura 27 se presentan ambas fases de los semáforos vehiculares ubicados en la intersección.

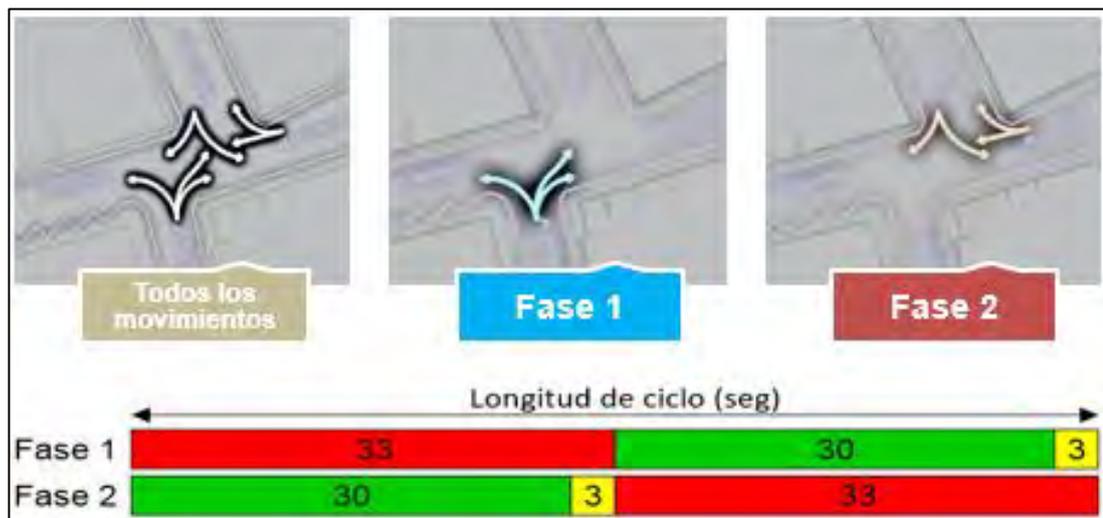


Figura 27. Diagrama de fases
Fuente: *Elaboración propia*

- **Tiempos de viaje vehicular y peatonal – Calibración**

Para el presente proyecto se emplea el tiempo de viaje de una distancia conocida de tres vías. El primer tramo (1) se ubica en la avenida La Torre y tiene 15.0 m de longitud; el segundo (2), se ubica en el jirón Los Incas y tiene 12.8 m de longitud; y, finalmente, el tercer tramo (3) se ubica en el jirón Tacna y posee 13.6 m de longitud. En cada tramo se registran 50 tiempos de viaje, presentados en el anexo 8.

Por otro lado, al igual que para el registro de tiempos de viaje vehicular, se toman 50 tiempos de viaje peatonal para tramos definidos; en este caso, se toman los cruces peatonales de la avenida la Torre y del jirón Tacna, denominados tramo A (11.6 m) y tramo B (6.7m), respectivamente.

En la figura 28 se muestran los dos cruces peatonales seleccionados (tramos A y B) y las distancias de las tres vías (tramos 1,2 y 3).



Figura 28. Distancias para el registro de los tiempos de viaje vehicular y peatonal
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3 se muestra un resumen de estos registros, con el número mínimo de muestras que se debió tomar de acuerdo con la ecuación 2. Cabe recalcar que el error admitido para este proyecto es de 10% del promedio de los datos y la variable $t_{(1-\alpha/2),N-1}$ es 2.012, para un 95% de confianza y Gdl igual a 49.

Tabla 3. Resumen de datos de tiempos de viaje vehicular y peatonal - Calibración

	Tiempo de viaje (seg)				
	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo A	Tramo B
Promedio	4.68	4.19	5.17	11.95	8.05
Valor máximo	6.19	5.38	9.33	19.91	13.50
Valor mínimo	3.29	2.96	4.03	7.89	3.01
Desviación Estándar	0.786	0.604	0.937	2.549	2.251
Error	0.468	0.419	0.517	1.195	0.805
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$	2.012	2.012	2.012	2.012	2.012
N _{mínimo}	11.44	8.40	13.25	18.39	31.63
N _{muestra}	50	50	50	50	50

Fuente: Elaboración propia

- **Aforo vehicular – Validación**

Tal como se mencionó al inicio de este acápite, los datos para el proceso de validación fueron tomados de la videograbación del 31 de octubre del 2017. Este registro se realiza de igual manera que en la determinación del aforo vehicular para el desarrollo del modelo.

Los datos completos de la demanda vehicular se presentan en el anexo 10, de esta forma se obtiene el flujograma vehicular para la validación del modelo, el cual se muestra en la figura 29.

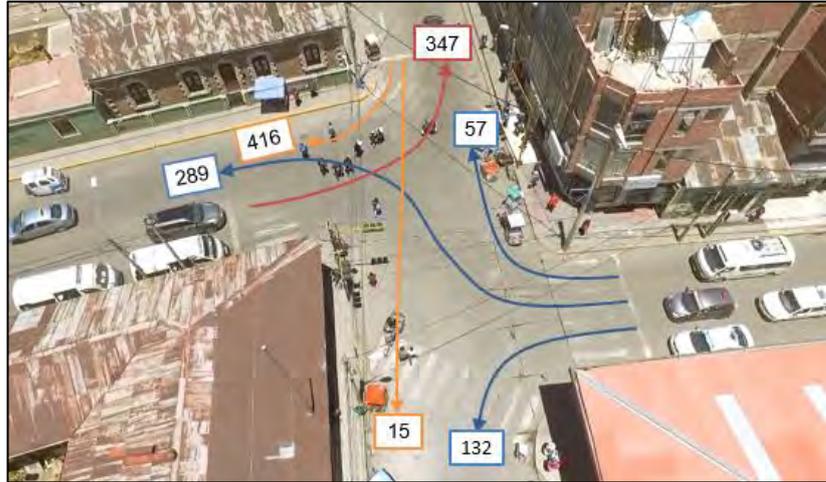


Figura 29. Flujograma vehicular por hora – Validación
Fuente: *Elaboración propia*

- **Composición vehicular – Validación**

De acuerdo con la clasificación presentada en la figura 20, hay un porcentaje de tipo de vehículos para cada una de las tres vías de ingreso al sistema, lo cual se resume, para la validación, en la figura 32.

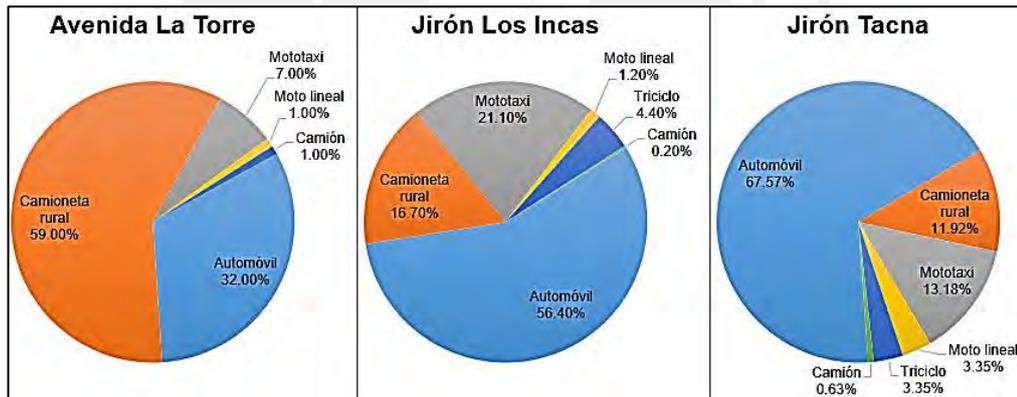


Figura 30. Composición vehicular por vía de ingreso
Fuente: *Elaboración propia*

- **Aforo peatonal – Validación**

El procedimiento para determinar el aforo peatonal para la validación es análogo al flujo peatonal hallado para el desarrollo del modelo. Las tablas correspondientes a este proceso se muestran en el anexo 11.

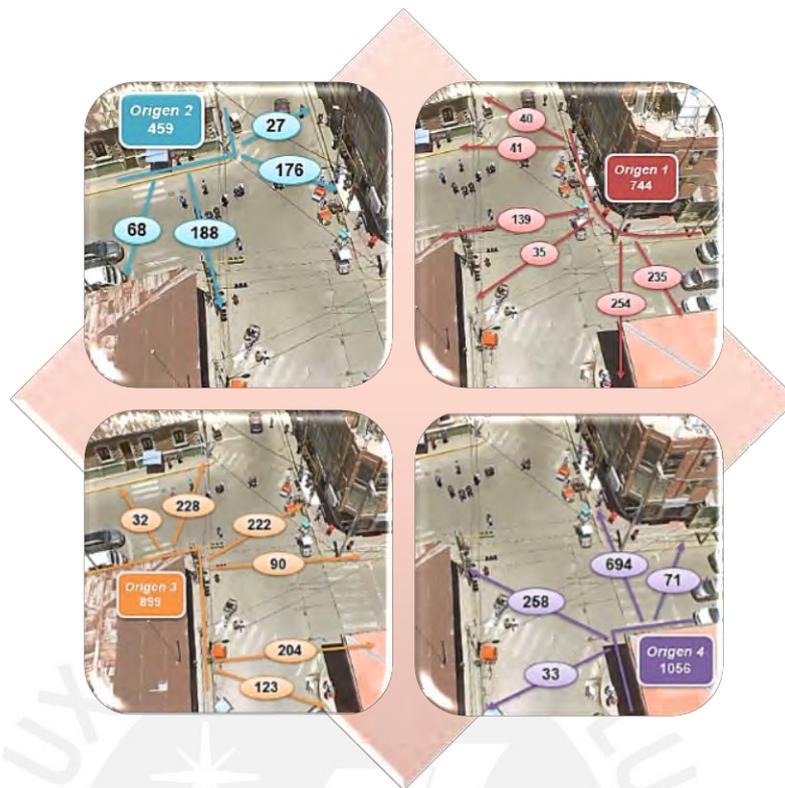


Figura 31. Flujo peatonal por hora – Validación
Fuente: Elaboración propia

- **Tiempos de viaje vehicular y peatonal – Validación**

Para el registro de tiempos de viaje vehicular y peatonal para la validación se emplean los mismos tramos que para la calibración. La muestra es de 50 datos para cada tramo, presentados en el anexo 12 y resumidos en la tabla 4.

Tabla 4. Resumen de datos de tiempos de viaje vehicular y peatonal - Validación

	Tiempo de viaje (seg)				
	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo A	Tramo B
Promedio	5.03	4.08	5.05	11.99	8.21
Valor máximo	10.26	6.53	7.93	19.90	12.01
Valor mínimo	2.14	2.16	2.81	6.93	4.04
Desviación Estándar	1.53	1.10	1.147	2.62	1.66
Error	0.503	0.408	0.505	1.199	0.821
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$	2.012	2.012	2.012	2.012	2.012
N_{mínimo}	37.30	29.32	20.86	19.25	16.52
N_{muestra}	50	50	50	50	50

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se corrobora que el tamaño de la muestra es mayor al mínimo recomendado.

3.4.4. Lista de chequeos

La lista de chequeos elaborada para este proyecto se divide en los siguientes aspectos a evaluar: entorno y accesos; circulación y cruces peatonales; circulación vehicular; estacionamientos; y señalización de tránsito. El resultado de estas especificaciones se detalla en el anexo 14; y, a continuación, en la figura 32, se detalla la lista de chequeos del entorno y accesos.

ITEM		SI	NO	NA	OBSERVACIONES	FOTO
1. ENTORNO Y ACCESOS						
1.1.	¿El entorno en estudio es predominantemente comercial?	X			Se encuentra el mercado central ubicado en la esquina de jirón Tacna con jirón Oquendo y, además, el Centro Comercial Plaza en el jirón Tacna.	1,2 
1.2.	¿Están los accesos vehiculares separados de los peatonales?	X			Las veredas se encuentran a diferente nivel que la calzada.	3 
1.3.	¿El ángulo de entrada a la intersección es el adecuado en todos los accesos?		X		El ángulo de entrada de jirón Los Incas hacia la avenida La Torre es ligeramente menor que 90°.	- 
1.4.	¿Es la salida vehicular suficientemente visible para los vehículos que se aproximan a ella por la vía?		X		Dado que es una intersección desplazada, la visibilidad del jirón Tacna hacia la avenida La Torre no se logra sino hasta estar a punto de entrar al área de conflicto.	4 
1.5.	¿Las entradas y salidas poseen un ancho de carril constante?		X			5 

Figura 32. Lista de chequeos - Ítem de entorno y accesos de la lista de chequeos con registro fotográfico
Fuente: *Elaboración propia*

CAPÍTULO 4: CREACIÓN DE UN VEHÍCULO ATÍPICO – TRICICLO - EN VISSIM 8.0

Los vehículos motorizados presentes en la zona ya se encuentran definidos en Vissim; sin embargo, el triciclo, cuyo porcentaje de participación no es despreciable, no se encuentra predeterminado en el programa. Por tal razón, se procede con la construcción del modelo en 3D, para lo cual se comienza con una búsqueda en la biblioteca virtual de SketchUp, 3D Warehouse. Luego de elaborado el vehículo en 3D e incluido en el programa, se le asignan los parámetros de velocidad deseada y aceleración deseada. En el presente acápite se desarrolla a detalle la inclusión del vehículo atípico en Vissim.

4.1. CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO EN SKETCHUP

En la búsqueda de un vehículo similar al triciclo en 3D Warehouse, no se encontró un vehículo de iguales características físicas a los presentes en la ciudad de Puno; sin embargo, se encontraron dos modelos que son base para la construcción del modelo con el uso del programa SketchUp 2014, estos se muestran en la figura 33. Cabe resaltar que para la inclusión del modelo a Vissim, es necesario que el objeto desarrollado en SketchUp sea en la versión 2014 de este programa.



Figura 33. Objetos base para la construcción del triciclo
Fuente: Adaptado de 3D Warehouse (2018)

Luego, con el empleo de las herramientas básicas del programa SketchUp, se traslada al conductor de la moto lineal hacia el asiento disponible del triciclo; una vez ubicado, se procede con la modificación de la parte superior del triciclo, esto es, la inclusión de asientos de pasajeros, la protección delantera y sombrilla; estos elementos son añadidos conforme a las medidas registradas en la figura 14, en el acápite 3.1.

En la figura 34 se muestra el resultado del modelo en 3D de un triciclo con conductor.

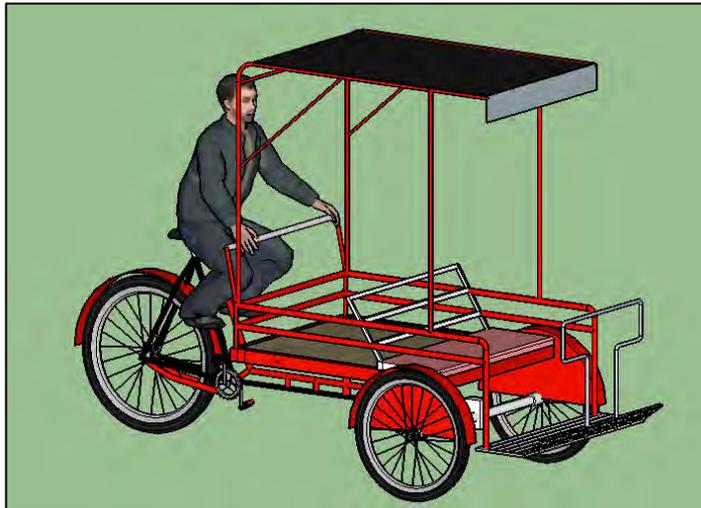


Figura 34. Modelo 3D de un triciclo en SketchUp
Fuente: *Elaboración propia*

4.2. CONSTRUCCIÓN DE LA GRÁFICA DE VELOCIDAD DESEADA

Con los datos obtenidos en campo de velocidad para 48 triciclos, se elabora una tabla de frecuencias dividida en 7 intervalos de clase de amplitud igual a 1.59 km/h, presentada en el anexo 1; y la curva de velocidad versus frecuencia acumulada, mostrada en la figura 35.

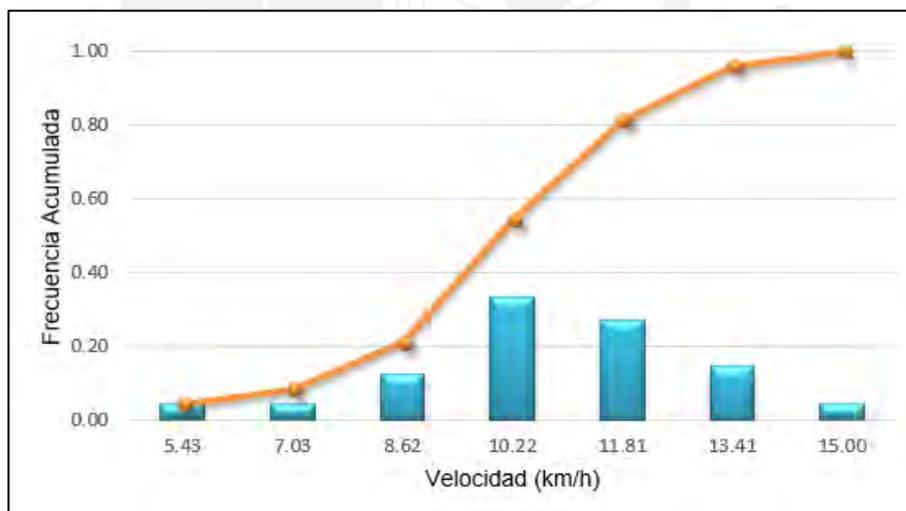


Figura 35. Frecuencias acumuladas de las velocidades de los triciclos
Fuente: *Elaboración propia*

4.3. CONSTRUCCIÓN DE LA GRÁFICA ACELERACIÓN DESEADA VS VELOCIDAD DESEADA

Después de calcular las aceleraciones para cada vehículo, se procede con hallar el promedio de aceleraciones correspondientes a cada intervalo de velocidad definido previamente en la elaboración de la tabla de frecuencias de velocidades.

Finalmente, se grafica la curva con los datos hallados y se determina, con la ayuda de la fórmula estadística “Tendencia” de Excel, los valores de aceleración para una velocidad nula y velocidad para una aceleración nula, ello con la finalidad de completar el gráfico para la inclusión al software Vissim.

Tabla 5. Aceleración deseada para cada intervalo de velocidad deseada

Velocidad deseada (km/h)	Velocidad deseada (km/h)	Aceleración deseada (m/s ²)
0.00	0.00	0.055
0.00	3.84	0.157
3.84	5.43	0.201
5.43	7.03	0.243
7.03	8.62	0.192
8.62	10.22	0.138
10.22	11.81	0.131
11.81	13.41	0.128
13.41	15.00	0.125
15.00	60.00	0.000

Fuente: Elaboración propia

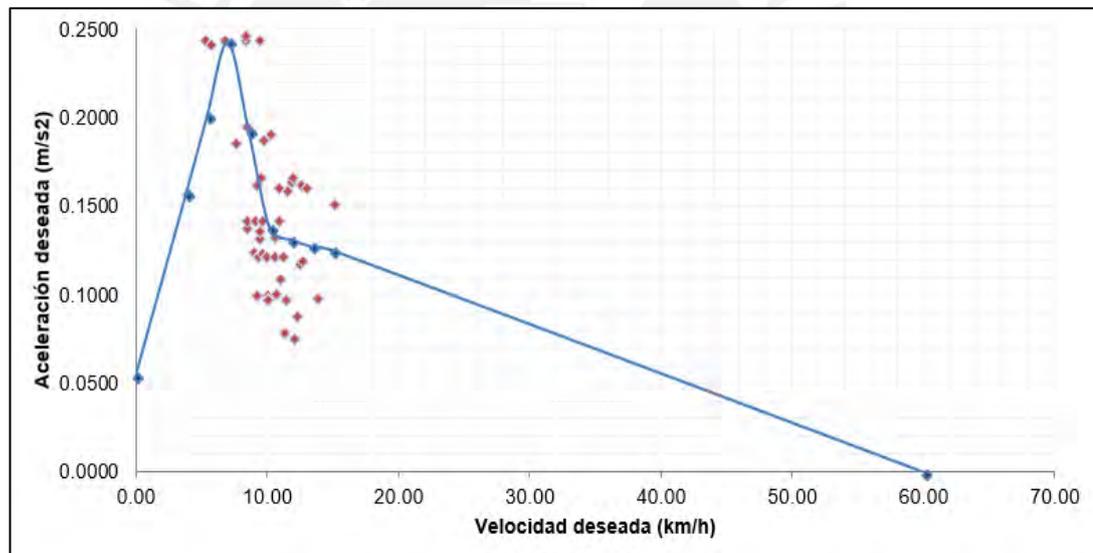


Figura 36. Gráfica velocidad deseada versus aceleración deseada

Fuente: Elaboración propia

4.4. INCLUSIÓN DEL VEHÍCULO EN VISSIM 8.0

El vehículo no motorizado denominado triciclo no se encuentra en la librería de vehículos de Vissim, ya que es atípico; sin embargo, es necesario incluirlo debido a que forma parte de la clasificación vehicular para este proyecto. Para ello se ejecuta un proceso previo en el programa V3DM, un módulo adicional de Vissim.

4.4.1. Importación del vehículo a V3DM

Como primer paso, se crea un nuevo proyecto en el programa V3DM, para ello se ingresa a la opción *New* de la ficha *File*; en consecuencia, se abre el cuadro de diálogo llamado *Create new project*, donde se coloca el nombre del proyecto y el tipo, que en este caso se selecciona vehículo. Luego de ello, dentro de la carpeta *Model State – Standard*, ubicada en la zona izquierda de la ventana, se selecciona con clic derecho *Base model* y se agrega el objeto desde el archivo que se creó en el acápite 4.1 en formato SKP. El modelo creado consta de varios objetos, se seleccionan todos para luego agruparlos.

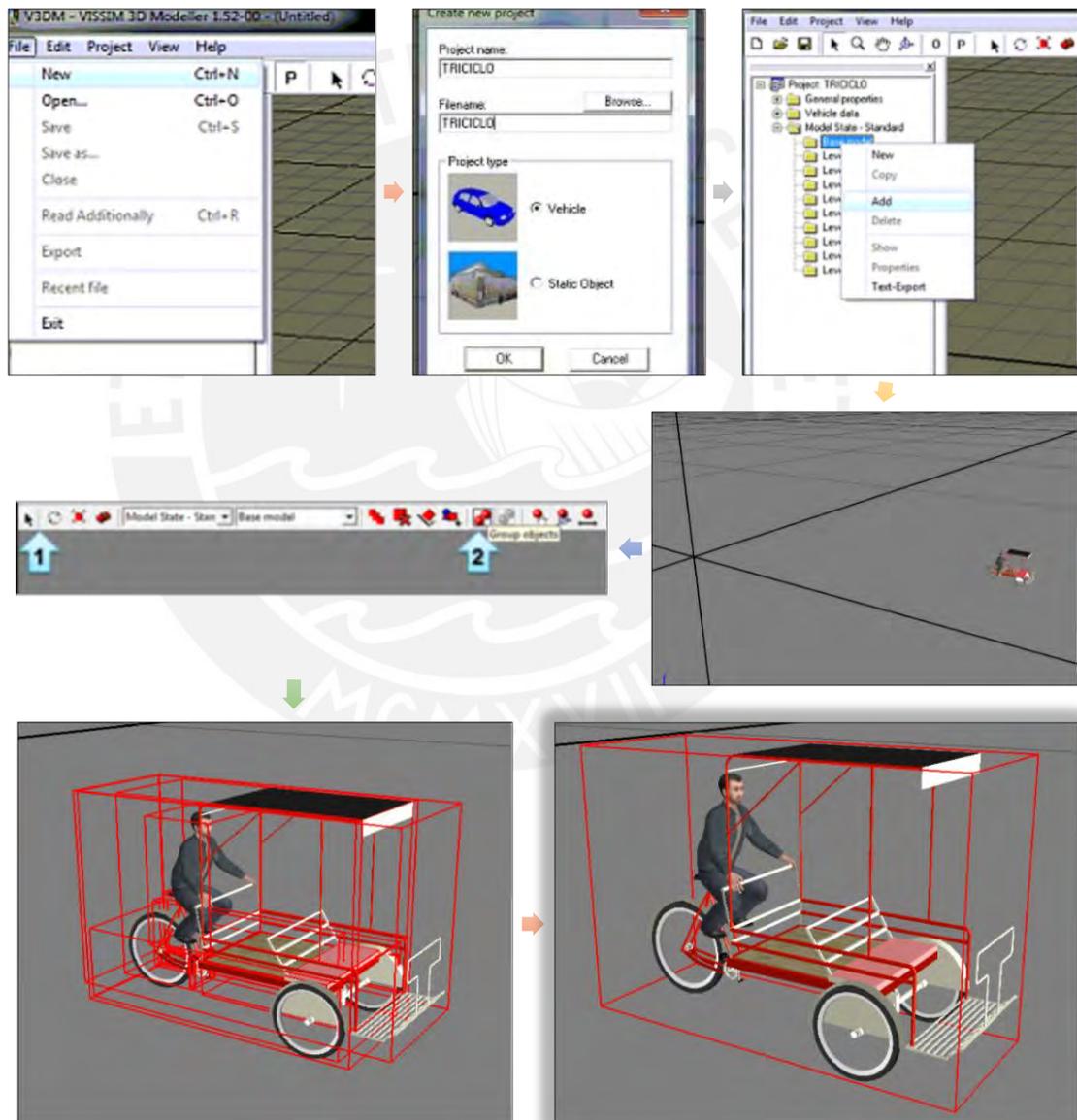


Figura 37. Importación de vehículo a V3DM
Fuente: Elaboración propia

Después de insertado el vehículo a V3DM, se procede a orientarlo para que Vissim lo reconozca correctamente, es decir, reconozca a las partes delantera y posterior del vehículo como tales. Lo primero que se debe cumplir es que el modelo esté alineado sobre el lado positivo del eje x (centrado), pero con sentido al eje negativo del mismo eje, para ello se ubica al objeto en el eje de coordenadas con el uso de la herramienta *Align object*. Luego, en la parte inferior del cuadro ubicado a la izquierda de la ventana, se ingresa a la carpeta con ícono de martillo para editar la ubicación y sentido del vehículo al hacer clic en la función *Transform*. Se muestra el procedimiento en la figura 38.

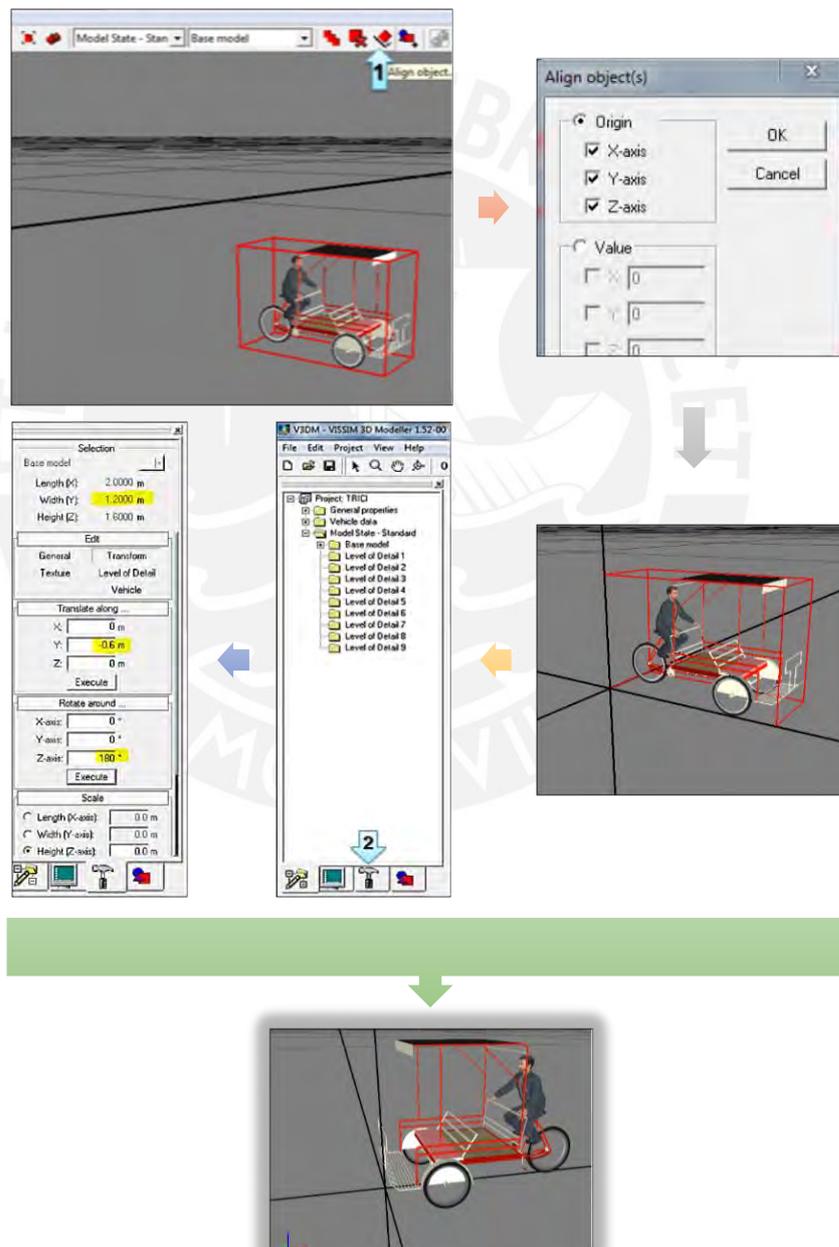


Figura 38. Orientación del vehículo en V3DM
Fuente: Elaboración propia

En seguida, se asignan los atributos correspondientes a los vehículos, para lo cual se ingresa al botón *Vehicle* ubicado en la paleta *Edit*; y, en el cuadro de diálogo de propiedades de vehículos se definen las posiciones de los ejes frontal y posterior. En la figura 39 se presenta este proceso.

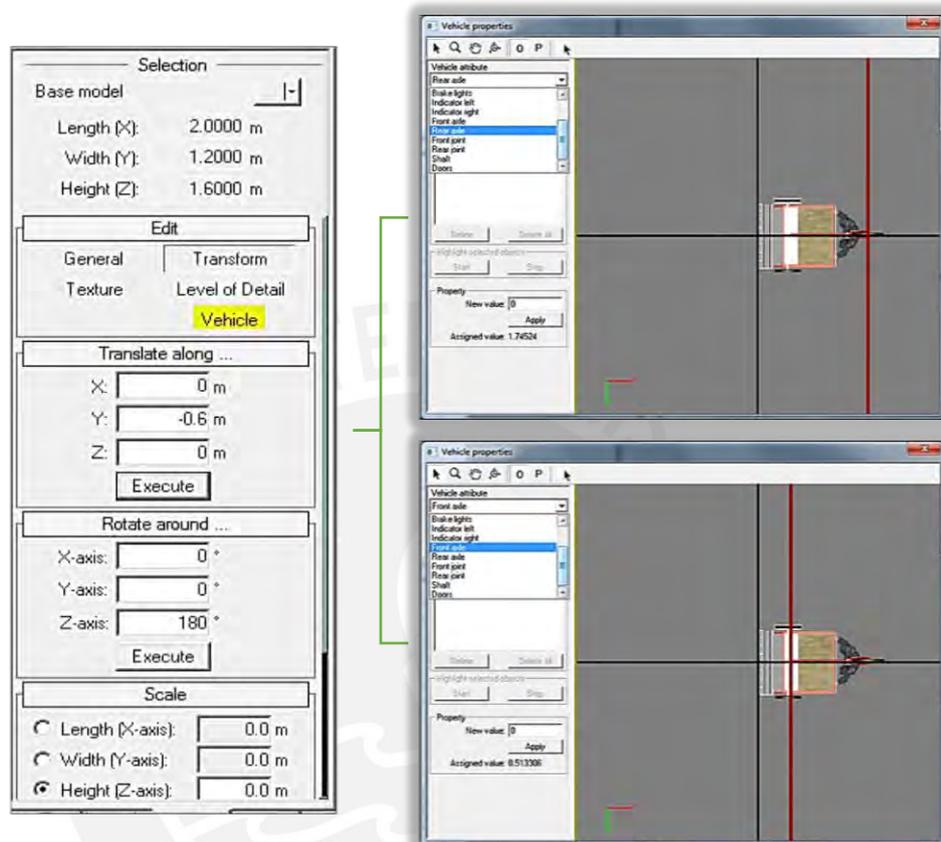


Figura 39. Asignación de atributos al vehículo
Fuente: *Elaboración propia*

Finalmente, se exporta el vehículo en extensión v3d en el botón *Export* de la ficha *File*.

4.4.2. Creación del vehículo en Vissim

Luego de exportar el modelo en 3D con extensión v3d, se procede a importar el vehículo a Vissim. En primer lugar, luego de abierto el programa, se abre la lista de modelos en la opción *2D/3D Models* ubicado en la ficha *Base Data*; en ese cuadro de trabajo, con click derecho se agrega el modelo desarrollado mediante la selección del archivo guardado.

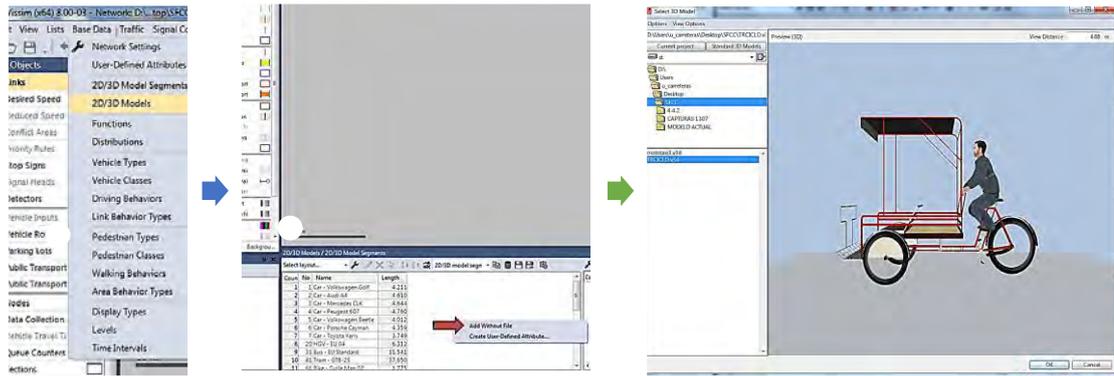


Figura 40. Importación de vehículo a Vissim
Fuente: Elaboración propia

En segundo lugar, se agrega la distribución de velocidad deseada graficada previamente en la figura 35, para lo cual se ingresa a la ficha *Base Data*, y se selecciona *Desired Speed* ubicada en *Distributions*.

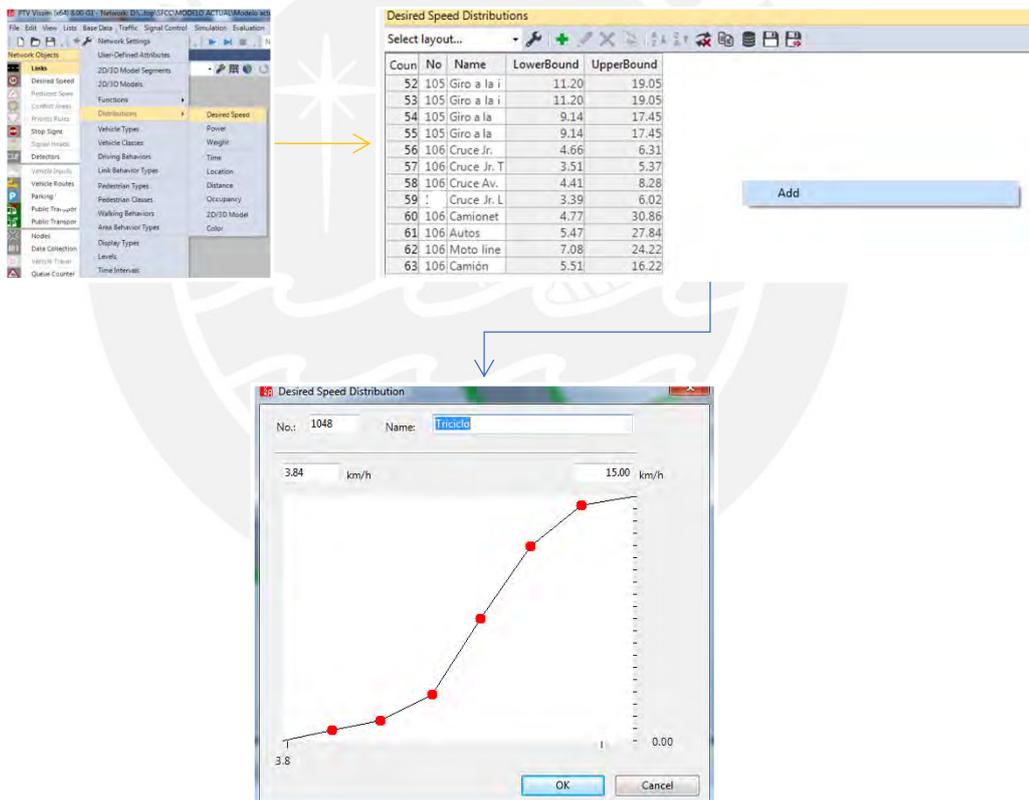


Figura 41. Distribución de velocidad deseada en Vissim - Triciclo
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se agregan las curvas de aceleración deseada y aceleración máxima, que para el presente proyecto es considerada la misma. Este proceso se realiza al ingresar a la opción *Functions* de la ficha *Base Data*; a continuación, se selecciona *Maximum Acceleration* y *Desired Acceleration* para añadir las curvas respectivas.

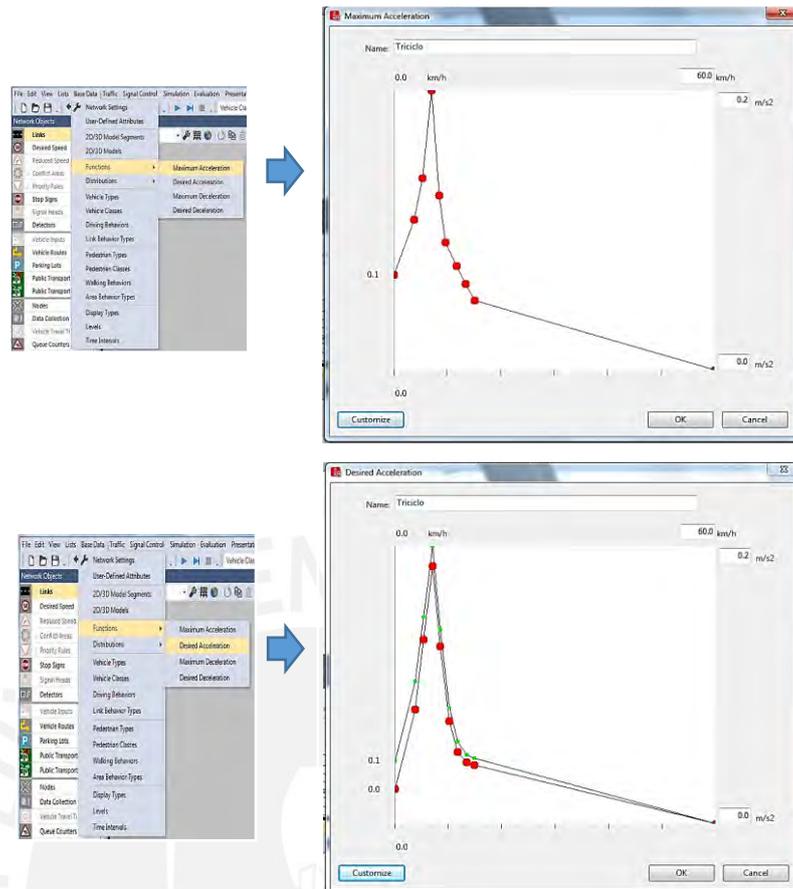


Figura 42. Ingreso de curvas de aceleración a Vissim
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se crea un nuevo tipo de vehículo ingresando a *Vehicle Types* en la ficha *Base Data*, donde se selecciona el modelo que se importó mediante el proceso presentado en la figura 40 en la pestaña *Static* y se seleccionan las funciones de aceleración asignadas según la figura 43 en la pestaña *Functions & Distributions*.

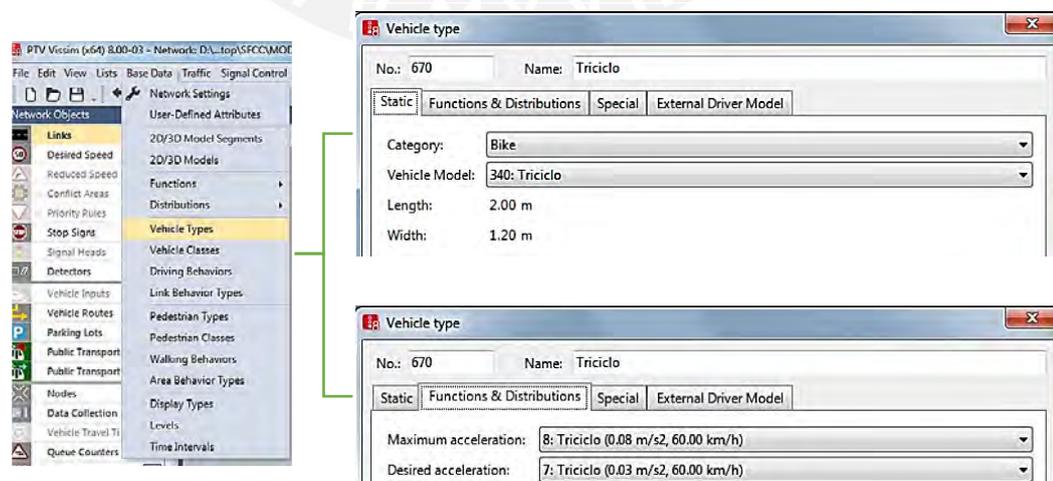


Figura 43. Creación de tipo de vehículo - triciclo
Fuente: Elaboración propia

4.5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

La distribución de velocidad deseada puede variar de acuerdo a la zona de estudio (frecuencias relativas y acumuladas), la aceleración deseada no, ya que este parámetro depende de la velocidad.

En este apartado se comprueba si la curva de aceleración deseada hallada replica el real comportamiento del triciclo. Para ello se realiza una comparación con la curva análoga de una bicicleta, vehículo no motorizado, en zonas de pendiente nula.

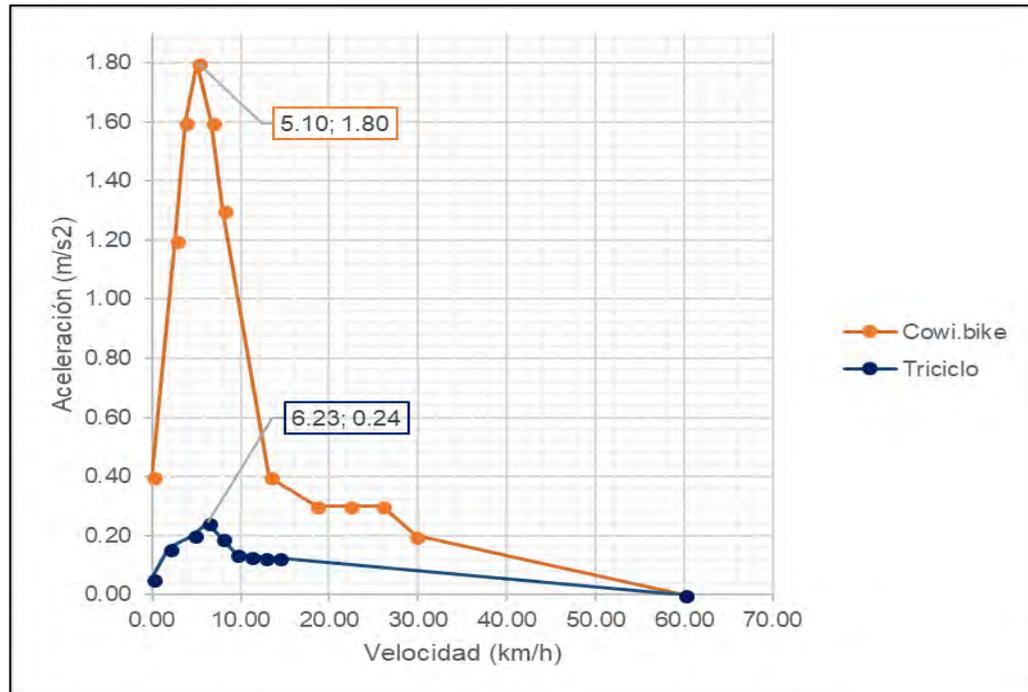


Figura 44. Comparación de curvas de aceleración deseada de bicicletas y triciclos.
Fuente: Adaptado de COWI (2013)

Se observa en la figura 44 que ambas curvas son semejantes (en forma); sin embargo, la aceleración que tiene un ciclista puede llegar a 1.80 m/s^2 , mientras que el conductor de un triciclo apenas llega a 0.24 m/s^2 . La diferencia de aproximadamente 85% es lógica si se considera que la masa del triciclo es mayor al de la bicicleta y, además, transporta 2 personas, lo cual hace que su capacidad de aceleración disminuya. Asimismo, se observa que las velocidades para las cuales alcanzan sus máximas aceleraciones se encuentran en un similar intervalo de entre 4 y 9 km/h.

Por lo tanto, se concluye que la gráfica de aceleración deseada vs velocidad deseada es razonable y puede ser usado en el desarrollo del modelo.

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

En el presente capítulo se desarrolla el segundo y tercer ítem de la metodología para la elaboración del modelo microscópico del proyecto, descritos en la figura 13, que consiste en la construcción, verificación, calibración y validación del modelo; procesos que se realizan con el uso de los programas Vissim y Viswalk.

Para la construcción, la información de entrada comprende al plano de la intersección y a los datos de campo procesados en el acápite 3.4.3 para el desarrollo del modelo. Una vez terminado este proceso, se procede con la verificación, la cual consiste en comprobar que los datos de entrada sean los correctos y que la animación refleje el comportamiento real de los vehículos y peatones presentes en el sistema. Luego, con los datos mostrados en el acápite 3.4.3 para la calibración, se comienza a correr el programa con parámetros de simulación diferentes hasta que se encuentre calibrado, es decir, mediante un análisis estadístico, se compruebe que los datos del programa correspondientes al parámetro de eficiencia en evaluación sean semejantes a los recolectados en campo. Finalmente, se realiza la validación del modelo, fase que consiste en evaluar el modelo ante diferentes datos de entrada, presentados en el acápite 3.4.3 como datos para la validación, con el fin de verificar que, según el parámetro de eficiencia seleccionado, se obtenga un resultado similar al de campo. A continuación, se detalla cada uno de estos procesos.

5.1. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

5.1.1. Inserción y escala de imagen de fondo

Para realizar esta actividad se utiliza el plano obtenido del levantamiento topográfico de la intersección (figura 18), el cual se inserta con un clic derecho sobre la pantalla luego de la selección de la herramienta *Background Images*.

Luego, se escala la imagen mediante la opción *Set Scale* que aparece cuando se presiona la tecla Ctrl y clic derecho sobre la imagen. Dado que los anchos de los carriles son conocidos, se delimita el segmento y en el cuadro de diálogo se coloca la verdadera magnitud de este.

Se recomienda que, una vez escalada la imagen de fondo, se bloquee el movimiento de esta, ello se logra con un clic sobre el candado a la izquierda de la herramienta *Background Images*.

5.1.2. Creación de vías y conectores

Como siguiente paso se representan los carriles vehiculares mediante el uso de *links* y conectores. Para ello, se selecciona la herramienta *Links* y se dibujan las vías que contempla la intersección en estudio, conforme al sentido de viaje, luego se le asigna el número de carriles y el ancho de cada uno de estos de acuerdo con la tabla 2. Se finaliza con conectar las vías creadas mediante el arrastre con clic derecho desde el final del carril de origen hasta el inicio del carril de destino.

5.1.3. Creación de áreas y salidas peatonales

Dentro de la paleta de herramientas de Viswalk se selecciona *Areas/Polugon*, con ella se empieza a dibujar las áreas que no forman parte de los carriles, tales como los estacionamientos en diagonal y veredas.

5.1.4. Creación de vías peatonales

El recorrido de los peatones no solo es dentro de las aceras, sino también cruzan las avenidas para completar su destino. Para ello, se crean vías peatonales que les permita desplazarse entre áreas peatonales no adyacentes con la herramienta *Links* de Vissim; sin embargo, a diferencia de los conectores vehiculares, cuando se abre el cuadro de diálogo *Link*, se activa la opción *Use as pedestrian area* que permitirá el tránsito de las personas en doble sentido por dicha vía.

Es necesario mencionar que para este modelo se establecieron 5 vías peatonales, de acuerdo con lo observado y aforado en el acápite 3.4.3.

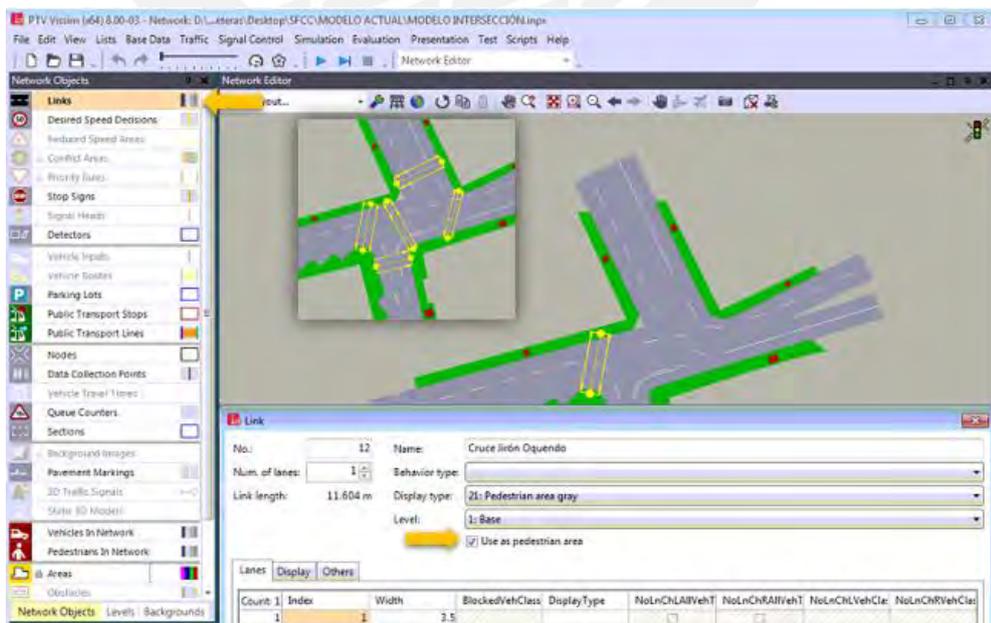


Figura 45. Creación de vías peatonales
Fuente: *Elaboración propia*

5.1.5. Creación de obstáculos

La creación de zonas de obstáculos se realiza para restringir el movimiento de los peatones por áreas donde no hay obstrucción. Los elementos observados en la intersección que impiden el flujo continuo de los peatones son los postes de luz ubicados en el extremo de los cruceros o en zonas angostas de las veredas, vehículos estacionados en diagonal, comercio ambulatorio y cabina de la policía. Asimismo, se coloca como obstáculo a las edificaciones presentes, pero no como obstrucción propiamente dicha, sino para que durante la simulación los peatones restrinjan su movimiento a las aceras.

Para definir las áreas que presentan obstáculos, se usa la herramienta *Obstacle* de Viswalk, y con clic derecho se comienza a trazar estas zonas; una vez dibujadas, se define en el cuadro de diálogo como *Obstacle*.

5.1.6. Creación del entorno

Definidos los obstáculos, se procede a colocar los elementos 3D con el fin de simular el entorno real. Este procedimiento se realiza mediante el empleo de la ficha *Static 3D Models* y con clic derecho sobre las zonas de obstáculos creadas. Si bien hay objetos 3D en la biblioteca de Vissim, no se encuentran todos los necesarios para completar la construcción de la intersección. Por dicha razón, se realiza una búsqueda en 3D Warehouse y en caso no se encuentre los elementos en 3D, se dibujan en SketchUp.

5.1.8. Definición de velocidades deseadas vehiculares y peatonales

En el procesamiento de datos se determina, por un lado, la clasificación vehicular presente en la zona de estudio, de esta manera se definen 6 tipos de vehículos: automóviles, camionetas rurales, mototaxis, motos, triciclos y camiones; y, para cada uno de estos tipos de vehículos se grafica la distribución de velocidad deseada.

Por otro lado, para el caso de peatones, las gráficas de velocidades deseadas para mujeres y varones son consideradas iguales a las distribuciones definidas en Vissim para las personas entre 30 y 50 años.

El proceso de inclusión de estas gráficas es el mismo que se realiza para asignar la respectiva curva al triciclo, explicado en el acápite 4.4.2.

5.1.9. Inclusión de parámetros del vehículo atípico mototaxi

Los mototaxis son vehículos que destacan por su versatilidad en el manejo, su eficiencia en viajes de distancias reducidas y la facilidad con la que se traslada en situaciones de congestión vehicular (Lazo Castro & Araujo Barrientos, 2017).

Este tipo de vehículo motorizado se presenta en un considerable porcentaje en la intersección del presente proyecto, y sus parámetros no están incluidos por defecto en Vissim; sin embargo, sí están definidos en estudios previos. En la figura 46 se muestran las funciones de aceleración deseada, aceleración máxima, desaceleración deseada y desaceleración máxima.

El procedimiento para ingresar estos parámetros es el mismo que se explicó en el acápite 4.4.2., esto es, al seguir la extensión *Base Data/Functions*.

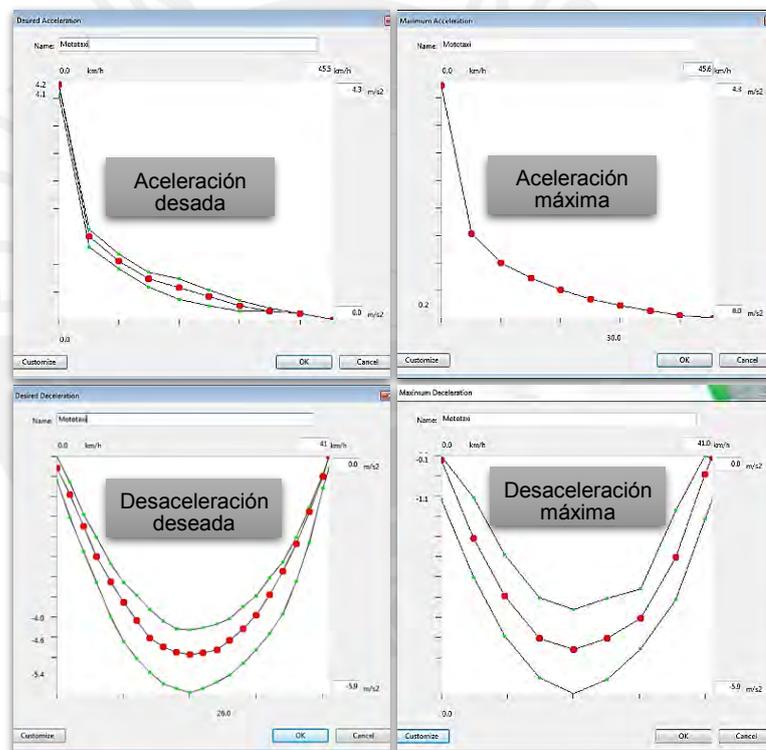


Figura 46. Parámetros del mototaxi
Fuente: Lazo & Araujo (2017)

5.1.10. Ingreso de velocidades de giro y velocidades de cruce

A los giros presentes en la zona y a los cruces peatonales, le corresponden diferentes distribuciones de velocidades. La asignación de estas curvas comienza con la selección de la herramienta *Reduced Speed Areas*, luego se demarca la zona de giro o zona de cruce con clic derecho y aparece un cuadro de diálogo donde se le asigna a cada clase de vehículo o peatón la distribución de velocidad respectiva.

5.1.11. Composición vehicular

El porcentaje de vehículos según cada ingreso al sistema ha sido determinado en el procesamiento de los datos de campo. Esta información se ingresa mediante la opción *Vehicle Compositions* ubicado en la ficha *Traffic*. Se le asigna un nombre a cada entrada y se adicionan los tipos de vehículos presentes con su respectivo porcentaje y velocidad.

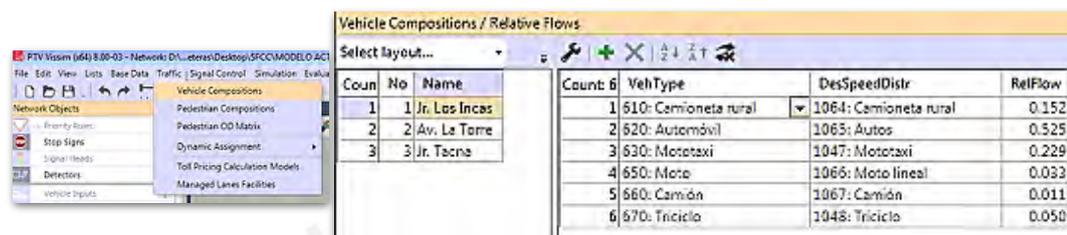


Figura 47. Ingreso de composición vehicular

Fuente: *Elaboración propia*

5.1.12. Ingreso de aforos vehiculares y peatonales

El volumen de entrada vehicular y peatonal se ingresa con el uso de las herramientas *Vehicle Inputs* y *Pedestrian Inputs*, respectivamente. Luego de la selección de la herramienta, con clic derecho se selecciona el inicio de los recorridos o áreas de salida.

5.1.13. Definición de rutas vehiculares y peatonales

Luego de ingresar los aforos vehiculares y peatonales, se distribuye el flujo entre las posibles rutas que pueden recorrer. Para los recorridos vehiculares, según el flujograma presentado en la figura 20, se determina el porcentaje de vehículos que se reparte a cada destino desde un determinado origen. El resultado se observa en la tabla 6.

Tabla 6. Porcentaje de vehículos por ruta – Desarrollo del modelo

Origen	Destino	Participación
Avenida La Torre	Jirón Los Incas	100.0%
	Jirón Oquendo	4.4%
Jirón Los Incas	Avenida La Torre	95.6%
	Jirón Oquendo	4.4%
Jirón Tacna	Jirón Los Incas	10.1%
	Avenida La Torre	54.0%
	Jirón Oquendo	35.9%

Fuente: *Elaboración propia*

En Vissim, las rutas se designan con el uso de la herramienta *Vehicle Routes*, donde se selecciona la opción *Static*, y con clic derecho se comienza a trazar las rutas que tienen como origen los jirones Los Incas y Tacna, y la avenida La Torre.

Por otro lado, para los trayectos peatonales, se hace uso de la figura 26, que presenta el flujo peatonal en la intersección con la participación por cada ruta.

En Viswalk, las rutas peatonales se insertan con la herramienta *Pedestrian Routes* donde se selecciona la opción *Static*, y con clic derecho se comienza a trazar las rutas. Cabe señalar que las áreas pequeñas sombreadas de color rojo, en la figura 48, representan zonas de destino, las cuales son necesarias crear para establecer los trayectos peatonales.

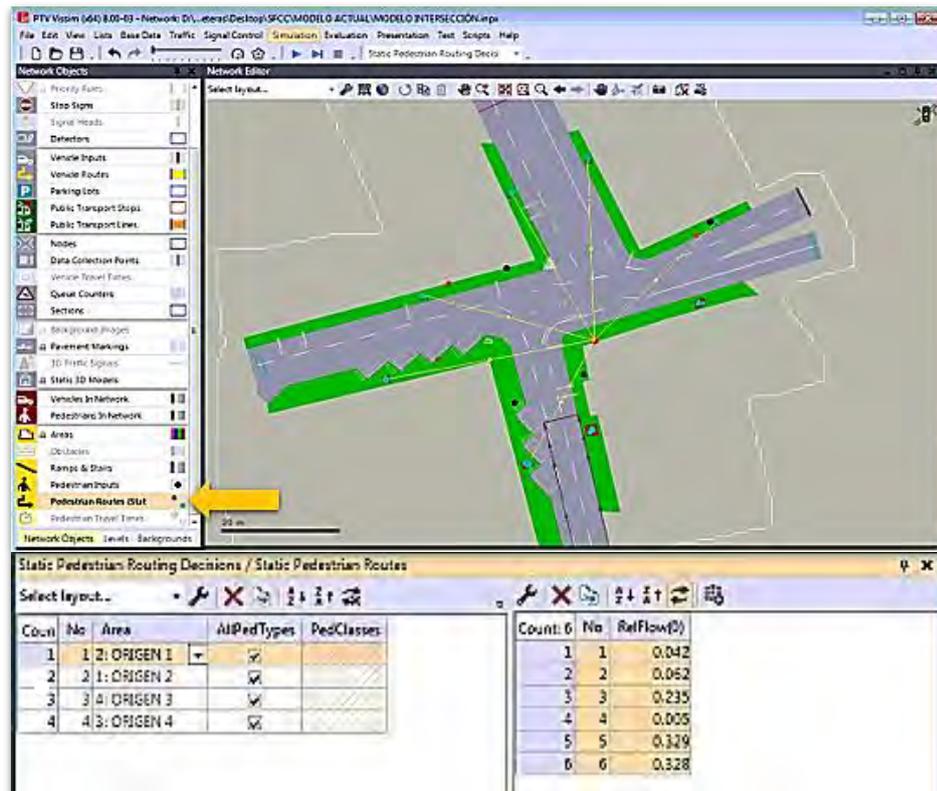


Figura 48. Asignación de rutas peatonales - Origen 1
Fuente: Elaboración propia

5.1.14. Creación de señales de control

La zona de estudio se trata de una intersección desplazada semaforizada, esta presenta dos fases (acápites 3.4.3). Para ingresar el tiempo de ciclo de cada fase y su correspondiente distribución, se selecciona la opción *Signal Controllers*, de la ficha *Signal Control*. Luego, en la ventana que se abre, con clic derecho se escoge la opción *Add*. Inmediatamente aparece un cuadro de diálogo, en él se presiona el botón *Edit Signal Control*; nuevamente se abre otra pestaña, en ella se crean las dos fases denominadas *Signal group 1* y *Signal group 2* correspondientes a las fases 1 y 2.

Una vez creadas las fases, se activa la herramienta *Signal Heads* para colocar las posiciones donde los vehículos deberán parar cuando se encuentre el semáforo en rojo, estas se ubican con clic derecho sobre el carril a la distancia deseada.

Cabe señalar que, si bien la intersección no presenta semáforos peatonales, en los cruces peatonales de avenida La Torre, jirón los Incas y jirón Tacna se colocan semáforos invisibles que corresponden a la fase contraria a la de la vía. Es decir, cuando los vehículos están en el tiempo rojo, los peatones están en tiempo verde.

Para visualizar los semáforos físicos en la intersección se hace uso de la herramienta *3D Traffic Signals*; luego, con clic derecho se ubica la posición de los postes y, finalmente, dentro del cuadro de diálogo se construye la señal.

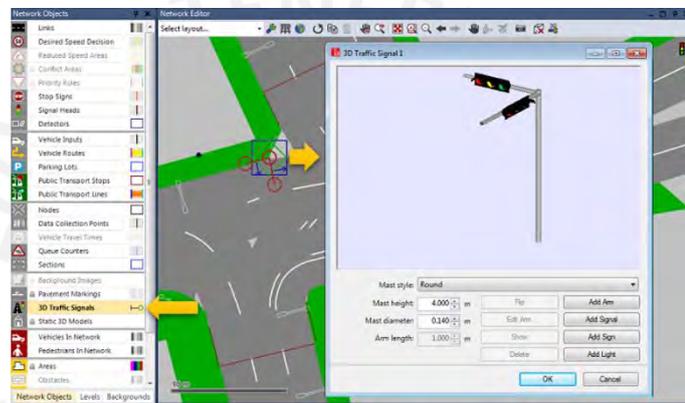


Figura 49. Creación de señales en 3D
Fuente: *Elaboración propia*

5.1.15. Solución de zonas de conflicto

Como último paso para la construcción del modelo se procede a establecer reglas de prioridades entre vehículos y entre vehículos y peatones en las zonas de conflicto. Por ejemplo, en el instante que el semáforo cambie de rojo a verde y los peatones se encuentren aun en medio de la pista, los vehículos deben esperar que las personas crucen completamente el carril, para continuar su movimiento. En el presente proyecto se usan dos herramientas para salvar estas zonas, *Priority Rules* y *Conflict Areas*, ello de acuerdo con lo observado en la etapa de recolección de datos de campo.

La herramienta *Conflict Areas* se usa cuando se tiene una idea clara de que, en una zona de conflicto, los usuarios de una vía usualmente suelen esperar a que los usuarios de la otra vía en conflicto pasen para continuar con su recorrido. Al activar esta herramienta se sombrean automáticamente con amarillo todas las zonas en conflicto presentes en el núcleo de la intersección; y, para definir qué vía restringirá

el desplazamiento mientras haya usuarios presentes en el área de conflicto, se selecciona la zona a modificar y se presiona clic derecho hasta que se pinte de verde la vía que tendrá preferencia sobre la otra que se sombree de rojo.

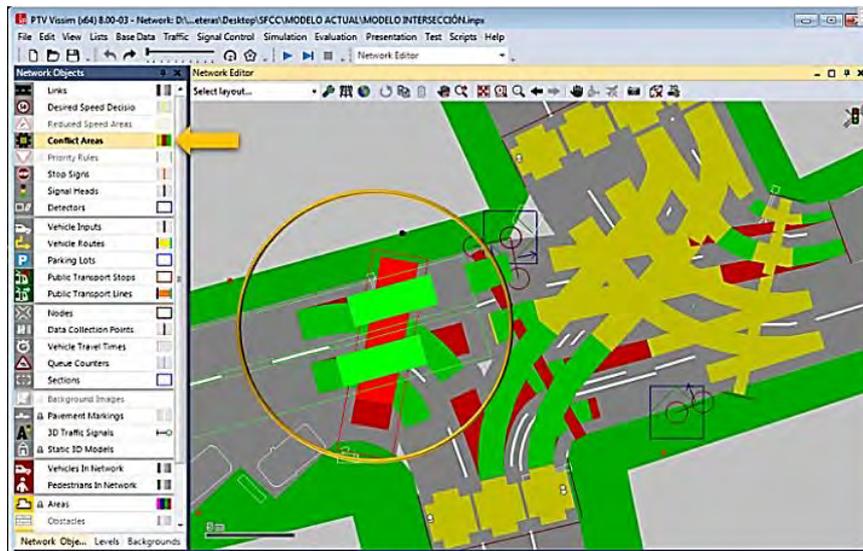


Figura 50. Zonas de conflicto con *Conflict Areas*
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, cuando la preferencia de pase no es notoria, y en lugar de ello se observa que estas prioridades de paso dependen de la distancia a la cual los usuarios estén alejados de la zona de conflicto (Figura 8), se hace uso de la herramienta *Priority Rules*. Las zonas que quedaron sombreadas de color amarillo en la figura 50 serán reguladas mediante la aplicación de esta herramienta. Para ello se aplica el primer clic derecho para que los usuarios de la vía seleccionada paren y el segundo clic derecho para marcar la zona que deben de pasar los otros usuarios para que los que están esperando continúen su movimiento.

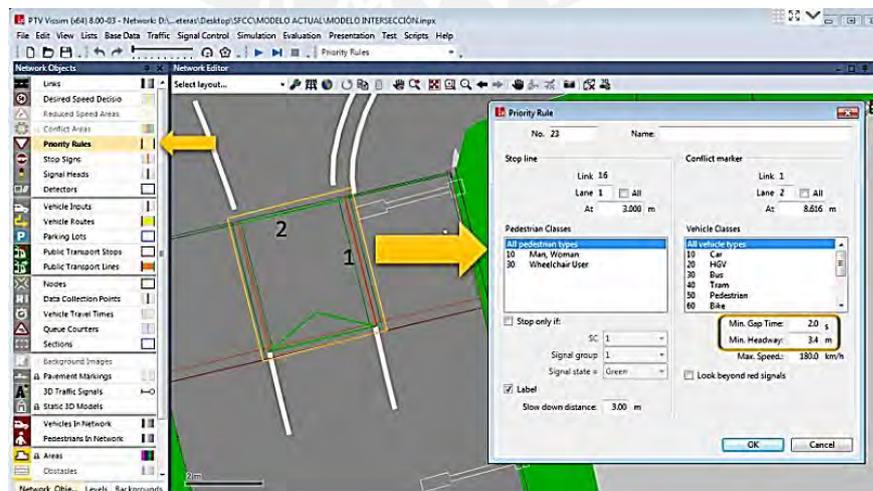


Figura 51. Zonas de conflicto con *Priority Rules*
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el resultado de la construcción del modelo con la circulación de los usuarios.



Figura 52. Resultado del desarrollo del modelo
Fuente: *Elaboración propia*

5.2. VERIFICACIÓN DEL MODELO

El presente procedimiento consiste en constatar, primero, si los datos de entrada son los correctos, es decir, si se encuentran de acuerdo con los registros de campo; en segundo lugar, correr el modelo para corroborar que el comportamiento vehicular y peatonal es similar a las videograbaciones de la zona.

En este proyecto se identificaron dos problemas en el desarrollo del modelo. Primero, luego de completar una corrida, se presentó el mensaje de error que indicaba que no se había completado el volumen ingresado. Entonces, se procedió a verificar los datos de entrada, y el error se identificó en la composición vehicular, donde se digitó mal el porcentaje de participación del triciclo. El segundo problema se reconoció durante el proceso de solución de zonas de conflicto, luego de correr el modelo se observó que en una zona se cruzaban los vehículos, es decir, faltó una regla de prioridad. Finalmente, luego de solucionar el programa, se volvió a correr el programa para corroborarlo.

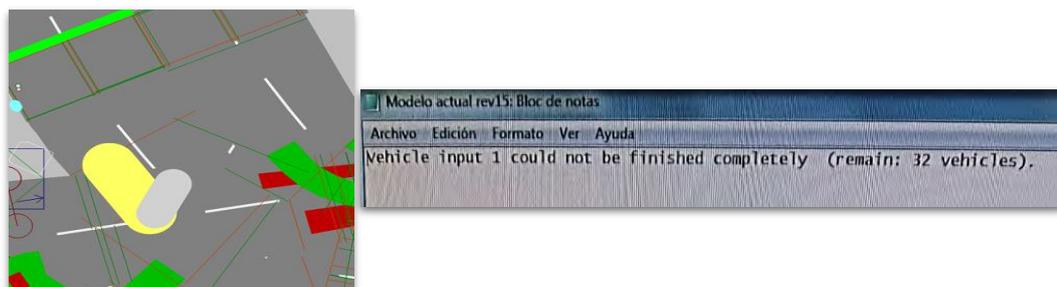


Figura 53. Errores identificados durante el desarrollo del modelo
Fuente: *Elaboración propia*

5.3. CALIBRACIÓN DEL MODELO

Una vez construido el modelo, se continúa con la calibración, proceso que consiste en la modificación de los parámetros de Wiedemann para conseguir que los resultados obtenidos con el software sean parecidos a los datos obtenidos en campo, ello con un nivel de confianza de 95% y un margen de error aceptado de 10% de la media.

En el presente proyecto se establece al tiempo de viaje, de peatones y vehículos, como parámetro de eficiencia a evaluar. Por un lado, para la calibración vehicular se seleccionan los tramos de evaluación con la herramienta *Vehicle Travel Times* y se le asigna la distancia para la cual se tomaron tiempos de viaje en el trabajo de campo. Por otro lado, en la calibración peatonal se dibujan dos áreas de ancho mínimo dentro de los cruces de evaluación que disten lo mismo que lo registrado en campo. En la figura 54 se muestra el proceso para establecer los tramos a evaluar y una nomenclatura de ellos.



Figura 54. Tramos definidos para los tiempos de viaje
Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los parámetros de eficiencia adoptados para el presente proyecto, tiempos de viaje vehicular y peatonal, se consideran luego de un tiempo de estabilización (*warm up*) de 600 segundos; y, para cada simulación el tiempo total es de 3600 segundos. Estas especificaciones se incorporan mediante la opción *Configuration* de la ficha *Evaluation*, donde se activa la data a coleccionar.

Antes de correr el modelo, se establecen los parámetros de simulación vehicular, es decir, el número semilla inicial, el número de corridas, el incremento del número semilla y la velocidad de simulación. Estos valores se colocan en el cuadro de diálogo *Simulation parameters* que se abre al seguir la dirección *Simulation/Parameters*.

En la intersección de estudio, el número de semilla escogido es 32, el número de corridas es 20, el incremento es 1 y la velocidad de simulación es la máxima. La primera corrida del modelo se realiza con los parámetros establecidos por defecto en el programa, para el comportamiento del conductor y del peatón. Se puede acceder a estos parámetros mediante la selección de las opciones *Driving Behaviors* y *Pedestrian Behaviors* de la ficha *Base Data*.

En cuanto al comportamiento del conductor, se varían los parámetros de seguimiento vehicular de Wiedemann 74, los cuales son la distancia media de parada (a_x), que inicialmente es 2.0; y los valores usados para el cálculo de la distancia de seguridad deseada $b_{x_{add}}$ y $b_{x_{mult}}$, que inicialmente son 2.0 y 3.0, respectivamente.

Por otro lado, para el comportamiento peatonal se modifican los parámetros que tienen mayor influencia en su conducta, tau (tiempo de reacción) y lambda (factor de anisotropía), cuyos valores iniciales son 0.4 y 0.176, respectivamente. Tau es un parámetro relacionado con la aceleración o reacción de los peatones, a menor valor de este, mayor es la aceleración, por lo tanto, la densidad peatonal también aumenta. Lambda, en cambio, está relacionado con la influencia del resto de peatones sobre otro peatón en función de su velocidad relativa, a mayor valor de lambda, mayor es el flujo.

Para obtener los resultados de los parámetros de eficiencia adoptados, se ingresa a la opción *Results* de la ficha *Lists*, donde se seleccionan *Vehicle Travel Time Results* y *Pedestrian Travel Time Results*.

5.3.1. Calibración vehicular

El parámetro de eficiencia, como ya se mencionó, es el tiempo de viaje en distancias conocidas; el número de corridas de la microsimulación es 20. En cada corrida se colocan parámetros de Wiedemann distintos, para el caso de la primera corrida se utiliza los valores por defecto del programa; sin embargo, el valor principal, a_x , no refleja la realidad del comportamiento de los conductores en el Perú. Luego de un total de 22 evaluaciones, se obtuvo la calibración del modelo para valores de a_x , $b_{x_{add}}$ y $b_{x_{mult}}$ igual a 0.45, 1.20 y 3.25.

Con los datos de tiempos de viaje obtenidos, detallados en el anexo 15, se comprueba si el número de corridas realizadas (20) cumple con ser mayor al número de corridas mínimo según la ecuación 2. Esta evaluación se realiza para cada tramo con una comparación con lo obtenido en campo, los resultados se pueden observar en el anexo 16.

Cada tabla contiene la media; la desviación estándar; el valor máximo; el valor mínimo; la desviación estándar; el margen de error aceptado, 10% para este proyecto; la variable *t-student* igual a 2.093 para un grado de libertad igual a 19 (Vissim) y 2.012 para un grado de libertad de 49 (campo); el número mínimo de corridas; el tamaño de la muestra; y, finalmente, la diferencia de medias entre lo obtenido en campo y Vissim.

En paralelo, se realiza la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias con un nivel de confianza de 95% mediante el uso de la evaluación por permutaciones (10000) denominada *randomization test*, prueba no paramétrica, con la herramienta virtual *Statkey*. Cabe señalar que esta evaluación no depende de la forma de las distribuciones de origen y es aplicable para cualquier tamaño de muestra (Cabrera, 2016). Por lo tanto, lo que se debe comprobar es que la diferencia de medias se encuentre dentro de la zona de aceptación, lo cual se cumple en los tres tramos de calibración.

Tabla 7. Resultados de calibración del tramo de la avenida La Torre

	Tiempo de viaje - Tramo 1 (seg)	
	Campo	Vissim
Promedio	4.68	4.88
Valor máximo	6.19	5.09
Valor mínimo	3.29	4.66
Desviación Estándar	0.786	0.117
Error	0.46	0.488
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$	2.012	2.093
N _{mínimo}	11.44	0.25
N _{muestra}	50	20
Diferencia de medias	-0.204	

Fuente: Elaboración propia

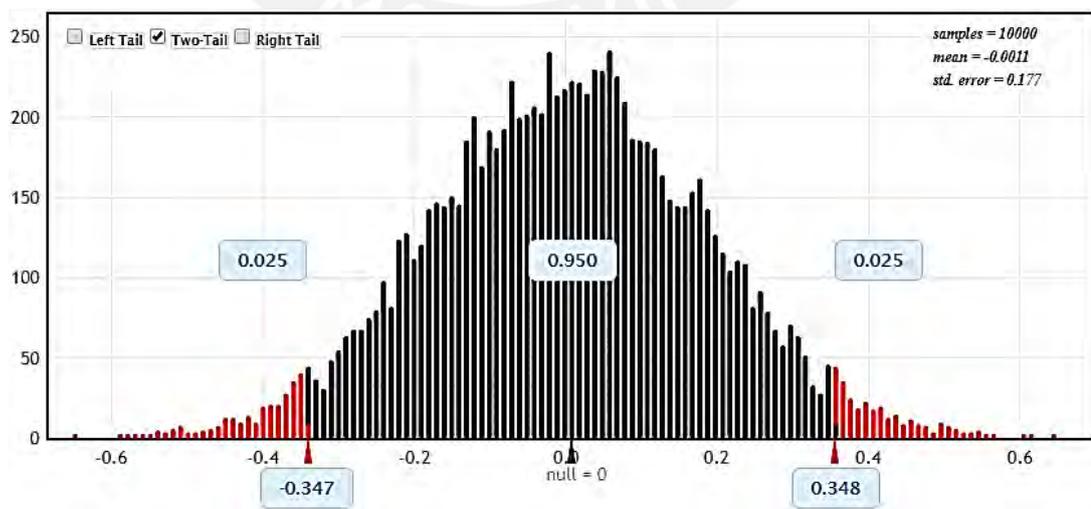


Figura 55. Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje vehicular – Avenida La Torre

Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Calibración peatonal

Al igual que en la calibración vehicular, el parámetro de eficiencia utilizado es el tiempo de viaje; y para su evaluación se realizan 20 corridas. Sin embargo, los parámetros a variar en este caso son el tiempo de reacción (τ) y el factor de anisotropía (λ). La primera corrida se realiza con los valores de los parámetros de comportamiento peatonal que el programa presenta por defecto.

La presente iteración se realiza de manera simultánea a la calibración vehicular, por lo que también se realizaron 22 evaluaciones hasta obtener los valores τ y λ para los cuales el modelo peatonal se encuentra calibrado, los cuales son 0.1 y 0.65 respectivamente.

La cantidad de datos de tiempos de viaje obtenidos, detallados en el anexo 17, es 40 para cada uno de los dos tramos evaluados, a diferencia de la calibración vehicular; dado que se toman los tiempos de viaje de ambos sentidos del movimiento. Entonces, si bien las tablas resúmenes presentadas en el anexo 18 resultan del cálculo análogo al de la calibración vehicular, la variable *t-student* es un valor distinto ya que la muestra cambia. Por lo tanto, se obtiene que para un grado de libertad igual a 39 (Vissim), el valor de *t-student* es 2.023.

También, se realiza la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias con un nivel de confianza de 95% como se hizo en el proceso de calibración vehicular con la herramienta virtual *Statkey*, que se encarga de reordenar los tiempos de viaje tomados en campo y los que se obtienen de las corridas para mostrar como resultado una gráfica con las diferencias de medias de cada combinación (10000 permutaciones). Finalmente, se comprueba que la diferencia de medias de los dos grupos de datos (campo y Vissim) para ambos tramos de evaluación se encuentra dentro de la zona de no rechazo, y se verifica que el modelo peatonal está calibrado para los parámetros ya mencionados.

5.4. VALIDACIÓN DEL MODELO

Luego de calibrado el modelo, se debe evaluar el comportamiento tanto vehicular como peatonal para una nueva data de entrada, la cual está detallada en el acápite 3.4.3. Una vez ingresados los datos, se asignan los mismos parámetros de comportamiento del conductor y comportamiento del peatón que se hallaron en el proceso de calibración. Se ejecutan 20 corridas nuevamente; los tiempos de viaje vehicular y peatonal obtenidos en cada corrida se presentan en los anexos 19 y 21, respectivamente.

Con la data de salida se evalúa si el número de corridas fue el adecuado; y, finalmente, se verifica mediante un análisis estadístico si el modelo posee un comportamiento semejante a la realidad.

5.4.1. Validación vehicular

El parámetro de eficiencia, al igual que en la calibración, es el tiempo de viaje en los tramos definidos como 1,2 y 3. El resumen de los 20 datos obtenidos para cada tramo se muestran en el anexo 20; asimismo, para cada tramo se realiza la prueba de hipótesis nula con la data de campo y la data de salida de Vissim.

En las pruebas realizadas para los tres tramos definidos, se comprueba que la diferencia de medias cae dentro del rango de aceptación, por lo que se puede afirmar que el modelo vehicular se encuentra validado. Además, se demuestra que la cantidad de corridas es mayor al mínimo requerido.

5.4.2. Validación peatonal

De manera análoga al proceso de calibración, se utiliza *Statkey* para probar que la diferencia de medias entre lo tomado en campo y los datos de salida de Vissim se encuentra dentro de la zona de no rechazo. Esta evaluación se realiza para los valores de tau y lambda determinados en el proceso de calibración.

En el anexo 22 se muestra el resumen de los tiempos de viaje obtenidos para la validación, del procesamiento de los datos de campo y de los datos proporcionados por Vissim. Se comprueba en ambos que el número de corridas es el adecuado y además que la diferencia de medias se ubica dentro de la zona de aceptación.

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo se realiza la evaluación y análisis de los resultados obtenidos para describir el funcionamiento actual del tráfico en la presente intersección, con información del comportamiento vehicular y peatonal obtenida tras la simulación. Luego, en conjunto con la información recolectada en la lista de chequeos, se plantean propuestas de solución a los problemas identificados en la zona; las cuales son evaluadas, finalmente, de acuerdo con parámetros vehiculares y peatonales.

Para que los datos de rendimiento vehicular y peatonal en la red sean registrados durante las 20 corridas, se activan las opciones *Vehicle Network Performance* y *Pedestrian Network Performance* en la ventana de *Evaluation Configuration*. Luego, para que se muestre esta data de salida, se dirige a la opción *Results* de la ficha *Lists* y se seleccionan *Network Performance (Vehicles) Results* y *Network Performance (Pedestrians) Results*. Estos resultados se encuentran en los anexos 23, resultados del comportamiento vehicular; y 24, resultados del comportamiento peatonal.

6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DESEMPEÑO ACTUAL DE LA RED

Debido a que se realiza la recolección de datos en dos días diferentes, primero se debe seleccionar el modelo para el cual se evaluará el desempeño de la red. Para ello se realiza una comparación entre las demandas vehiculares y peatonales, por hora, de la zona de estudio. En las tablas siguientes se puede evidenciar la diferencia de cantidades utilizadas para la calibración y validación.

Tabla 8. Comparación de demanda vehicular por hora

Entrada de vehículos	Desarrollo del modelo	Validación
Av. La Torre	311	347
Jr. Los Incas	362	431
Jr. Tacna	507	478
TOTAL	1180	1256

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Comparación de demanda peatonal por hora

Entrada de peatones	Desarrollo del modelo	Validación
Origen 1	601	744
Origen 2	335	459
Origen 3	1063	899
Origen 4	1370	1056
TOTAL	3369	3158

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8, se observa que la demanda vehicular para la validación es mayor en un 6.4% al flujo total en el desarrollo del modelo; y, de la tabla 9, se calcula que el aforo total de peatones en la validación es menor en 6.3% a la demanda peatonal recolectada en el desarrollo del modelo. Por lo tanto, debido a que la diferencia entre los datos de entrada es mínima y no hay una absoluta superioridad, se puede tomar cualquiera de los dos datos de entrada para su evaluación. En el presente proyecto se opta por tomar como datos de entrada los del desarrollo del modelo, evaluados en un intervalo de 600 segundos a 3600 segundos por cada corrida.

Respecto al análisis de la eficiencia vehicular en la red, los parámetros evaluados en esta sección son las demoras en los viajes (promedio), el tiempo medio que los vehículos permanecen detenidos y la velocidad promedio que estos presentan. Por otro lado, la eficiencia peatonal es evaluada en base a su densidad promedio, velocidad promedio y tiempo de viaje promedio. Además, se analiza los datos obtenidos de la lista de chequeos.

6.1.1. Análisis de parámetros vehiculares

Los valores de las demoras obtenidas varían entre 15.59 y 20.49 seg/veh, siendo el promedio de este parámetro 18.33 seg/veh, es decir, el tiempo medio que le toma a un vehículo trasladarse en la red es 18.33 segundos más que si el flujo estaría libre. Entonces, la demora se debe a que el vehículo reduce su velocidad deseada ante la interacción con otro vehículo; aunque también, puede ser causada por la geometría de la intersección.

Dado que el tamaño de la muestra de esta evaluación es 20, se dividen estos resultados en intervalos de amplitud igual a 0.98 seg/veh, de lo cual se obtiene que el 30% de los vehículos demora entre 17.55 y 18.53 seg/veh.

Por otro lado, el promedio de tiempo detenido de los vehículos presentes en la zona es de 11.8 segundos, y los valores varían entre 10.14 y 13.12 segundos. Dividiendo los resultados en 5 intervalos, se obtiene que el 70% de vehículos espera a ponerse en marcha luego de detenerse entre 11.33 y 13.12 segundos.

Finalmente, las velocidades promedio varían entre 6.44 y 7.23 km/h, siendo 6.74 km/h el promedio, por vehículo. Este valor no es muy adecuado ya que evidencia que los vehículos viajan a una velocidad baja y menor en 50% al valor deseado de todos los tipos de vehículos, que es 13.15 km/h. Sin embargo, es entendible pues se trata de una zona comercial con un elevado flujo de personas.

6.1.2. Análisis de parámetros peatonales

La densidad promedio peatonal se define como la cantidad de peatones por unidad de área, entonces, un nivel bajo de este valor indicaría un flujo libre; sin embargo, hay que tener en cuenta que este valor depende también del área peatonal considerado en el modelo.

En la intersección de estudio, el promedio de este parámetro es 0.06, lo cual señala que el área peatonal es el adecuado. No obstante, este valor es cuestionable, ya que durante la toma de datos de campo y durante la visualización de las corridas del modelo, se presencia que en los extremos de los cruces peatonales hay aglomeración de personas en determinados intervalos de tiempo, sobre todo en el cruce peatonal ubicado en el jirón Tacna.

En cuanto a la velocidad promedio de los peatones, esta varía entre 3.13 y 3.23 km/h; siendo la media 3.19 km/h. Los valores obtenidos se ubican dentro de la curva de velocidad deseada de las mujeres (entre 2.56 y 4.28 km/h); sin embargo, para el caso de los varones, estos valores son bajos, ya que su velocidad deseada varía entre 3.49 y 5.83 km/h.

Finalmente, el tiempo de viaje peatonal promedio es de 54.44 segundos y varía entre 53.56 y 55.82 segundos. Además, luego de realizar gráfico de frecuencias, se observa que el 75% de peatones posee un tiempo de viaje entre 54.01 y 54.92 segundos.

6.1.7. Análisis del plano actual y lista de chequeos

Las deficiencias en el diseño de la intersección se evidencian en el plano actual de la zona, donde se comprueba que los radios de las esquinas no están dentro del rango recomendado (entre 3 y 4.5 metros), a excepción de la esquina del mercado central que posee un radio de 3.5 metros. Sin embargo, en ella existe una rampa con una pendiente de 13%, siendo la pendiente más baja de las tres que existen en la zona (las homólogas son de 18% y 31%), también ubicadas en las esquinas, lo cual no cumple con lo recomendado (pendiente máxima de 8%).

Asimismo, se observa que el ancho de las veredas no es el adecuado en las ubicadas en la avenida La Torre, ya que son de 2.29 y 1.85 metros, inferiores al valor mínimo para zonas comerciales (2.4 metros). En contraste, el ancho de los carriles es el adecuado, a excepción de los carriles del jirón Los Incas, considerando que el ancho máximo del 99.15% de vehículos presentes en la zona es de 2 metros, el resto de los vehículos son camiones.

También, del plano se conoce la ubicación exacta de los postes de luz, de los semáforos y cabina de la policía; de ello se deduce que el ancho útil de las aceras se ve afectado por la presencia de postes y, además, obstruyen zonas que deberían favorecer el flujo continuo, como los extremos de los cruceos peatonales.

Por otro lado, luego de revisar los resultados de los ítems de la lista de chequeos, se infiere que el diseño de la intersección presenta deficiencias a simple inspección además de un comportamiento caótico de los usuarios (peatones y vehículos), que se debe a varios factores detectados y registrados en el anexo 14. Por ejemplo, el deterioro y la falta de señalización; tiempos de ciclo del semáforo insuficientes; cruceos imperceptibles; exceso de áreas de conflicto; estacionamientos que invaden carriles, que incluso no son utilizados activamente; obstáculos en las vías, cabina de la policía, y en las aceras, comercio ambulante; deterioro de las superficies, tanto de veredas como de pavimentos; entre otros.

6.2. PROPUESTA DE MEJORA

Luego de realizado el análisis, es necesario proponer una solución para mejorar las condiciones de desplazamiento de todos los usuarios y principalmente de los peatones en la intersección de estudio, para así cumplir con el objetivo principal del presente proyecto. El plano con las propuestas de mejora se encuentra en el anexo 25, y son detalladas en el presente acápite.

6.2.1. Modificación de la geometría de la intersección

La intersección desplazada en estudio presenta un número de áreas de conflicto alto, lo que acarrea una baja eficiencia en la intersección.

Por un lado, los peatones realizan mayores tiempos de viaje a su destino, no solo debido a la falta de señalización, sino también a la presencia de obstáculos en su recorrido. Además, por la alta demanda, se ven obligados a caminar por la calzada en lugar de las aceras, que solo a excepción de la vereda del Mercado Central, cuentan con un ancho efectivo recomendado.

Por otro lado, los vehículos recorren una mayor distancia desde que entran hasta que salen del sistema frente a otro tipo de intersecciones, y el campo visual que los conductores tienen es estrecho.

Entonces, para mitigar los problemas expuestos se plantean las soluciones que se presentan a continuación.

- **Reducción de número y ancho de carriles; eliminación de estacionamientos; ampliación de veredas; y, eliminación y reubicación de obstáculos**

Los anchos de carriles actuales oscilan entre 2 y 3.15 metros, y, las veredas llegan a tener como ancho efectivo mínimo 1.3 metros. Estos valores no se encuentran dentro de lo sugerido de la guía NACTO (*Urban Street Design Guide*).

Considerando que el vehículo de mayor ancho presente en la zona (camión) no supera los 2.4 metros y además representa el 0.85% del total de demanda vehicular, se contempla que los anchos de los carriles sean de 2.72 (jirón Los Incas con dirección sur), 2.8 (jirones Tacna, Oquendo y Los Incas con dirección norte) y 3 metros (avenida La Torre). Cabe señalar que se propone que en lugar de 2 carriles en la entrada de jirón Los Incas (de 3.77 m de ancho total), sea un solo carril (de 2.8 m), de manera que se uniformice el ancho de toda esta vía, a diferencia de la situación actual.

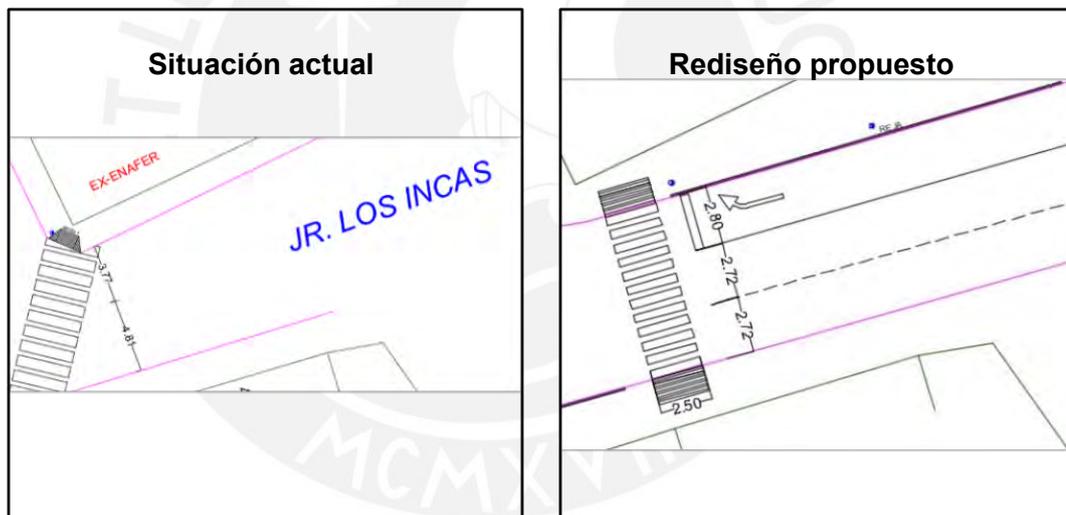


Figura 56. Comparación de la situación actual y la propuesta de rediseño de jr. Los Incas
Fuente: *Elaboración propia*

Por otro lado, se considera la eliminación de los estacionamientos en diagonal ubicados en los jirones Tacna y Oquendo, ya que se detectó que estos no son usados activamente, y reducen el espacio de veredas y carriles.

En lugar de los estacionamientos se plantea colocar un entorno que invite a las personas a transitar por la zona de manera agradable y sea utilizado como un lugar de encuentro, teniendo en cuenta que esta zona se ubica en los alrededores del Mercado Central; además, el no contar con estacionamiento producirá que menos automóviles particulares pasen por esa zona en busca de espacio libre.

Cabe resaltar que, en el rediseño, el ancho efectivo de la vereda es 2.55 metros como mínimo y 3.5 metros como máximo, valores que se encuentran dentro de lo recomendado por la guía NACTO para una zona comercial (entre 2.4 y 3.6 metros). En tanto, para la zona de menor flujo, también se amplía el ancho efectivo para el peatón, llegando a ser como mínimo 1.75 metros, en la vereda adyacente al carril con dirección norte de la avenida La Torre.

Sin embargo, no se pueden alcanzar los anchos efectivos antes mencionados si no se reubican los postes de luz que, actualmente, se ubican al extremo de un cruce peatonal, por ese motivo se plantea su reubicación a 70 cm del borde de la acera y en posiciones que no sean críticas. Asimismo, se propone la eliminación de la cabina de la policía, ya que además de reducir el ancho de veredas, interfiere con la visibilidad adecuada que deben de tener los conductores.

- **Adecuación de bordes de esquina y reubicación de cruceos peatonales**

Los bordes de esquina, como se mencionó en el acápite 6.1.7., no son los adecuados, por lo que se establecen estos radios entre 3 y 4.5, valores recomendados por la guía NACTO.

Por otro lado, se reubican los cruceos peatonales y se establece el ancho de acuerdo con el flujo de peatones, además, se aumenta uno que obedece a la línea de deseo que se observa durante la toma de datos y el registro en la lista de chequeos. Asimismo, se asegura que los cruces peatonales estén perpendiculares a las veredas y correctamente demarcados. Los anchos adoptados se encuentran dentro de lo recomendado y son de 3.5 metros en el cruce de jirón Tacna, donde hay mayor flujo; 3 metros en los cruces de avenida La Torre y jirón Oquendo; y, 2.5 metros en el cruce de jirón Los Incas y el cruce adicional.

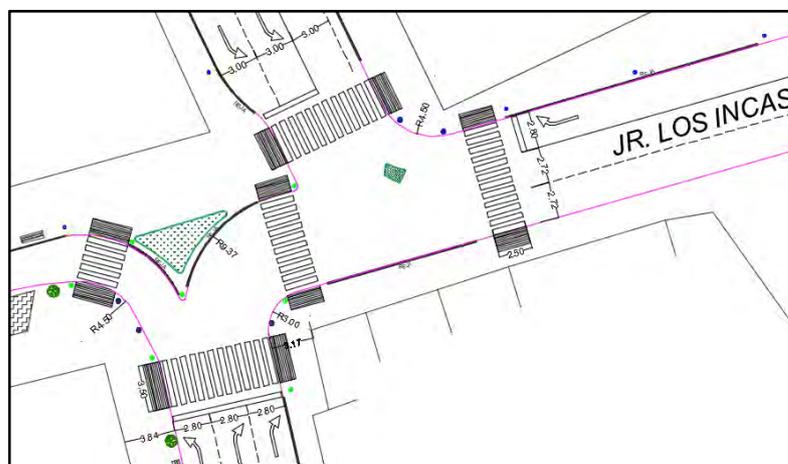


Figura 57. Ancho de cruceos peatonales en metros – propuesta
Fuente: *Elaboración propia*

- **Implementación de dos paraderos**

Mediante la observación de las videograbaciones se registró que un gran número de personas que se dirigen hacia avenida La Torre, lo hace para tomar transporte público; sin embargo, esto lo hacen próximos al núcleo de la intersección, por tal razón se plantea implementar dos paraderos ubicados en esta avenida La Torre (vía más amplia de la intersección en estudio). El primero ubicado en la entrada, a 24 metros del núcleo de la intersección; y el segundo, ubicado en la salida, a 16 metros del núcleo del sistema.

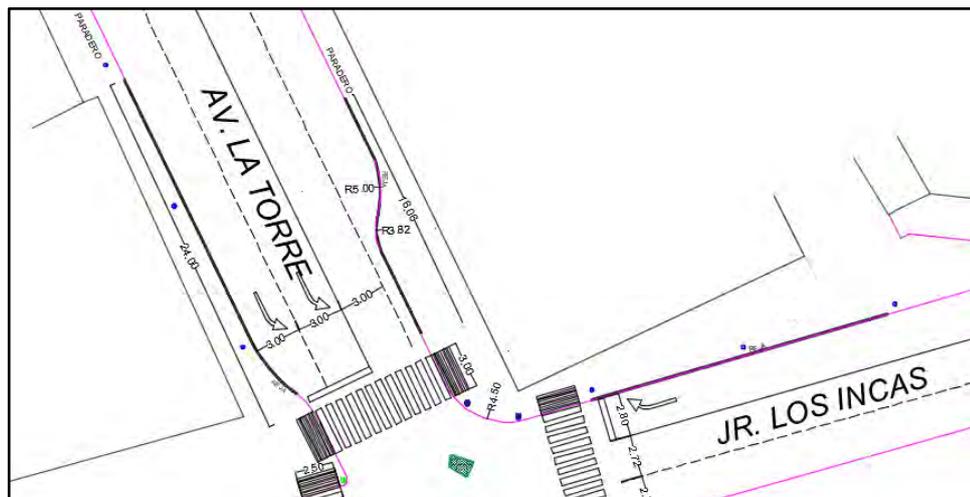


Figura 58. Implementación de paraderos – propuesta
Fuente: Elaboración propia

- **Canalización y protección: colocación de rejillas y bolardos**

Se observó durante las mediciones en campo que los peatones se dirigen a su destino cruzando por los espacios libres entre vehículos con el fin de aminorar su tiempo de viaje, por lo que se propone canalizar el flujo mediante la colocación de rejillas y áreas verdes para que los peatones crucen únicamente por los cruces peatonales, que ya están adecuados a su línea de deseo. Por otro lado, se plantea colocar bolardos en las curvas para evitar que los vehículos invadan las veredas, y un bolardo en el núcleo para que los vehículos no invadan carriles opuestos.

6.2.2. Mantenimiento y modificación de la infraestructura

De los planos y de las listas de chequeo se concluye que las condiciones de la intersección no son las adecuadas en cuanto a su infraestructura, debido a la presencia de daños en las superficies de las aceras y de la calzada; asimismo, las pendientes de las rampas no cumplen con lo recomendado (pendiente máxima de 8%) ni se encuentran ubicadas de forma idónea.

- **Reparación de calzadas y veredas**

Se recomienda realizar un mantenimiento de la calzada, ya que se presentan huecos en esta, lo que implica también que los vehículos se vean afectados en su velocidad deseada. De igual manera las veredas presentan daños que podría producir la caída de algún peatón, por lo que deben de ser reparadas. Además, se plantea que la altura de las veredas sea la misma para toda la intersección, con un valor de 10 centímetros, para que el largo de las rampas sea menor al ancho de las veredas donde se encuentran.

- **Rediseño de rampas**

Se plantea la colocación de 10 rampas de ancho igual al de los cruces peatonales respectivos con una pendiente de 8% cada una, es decir, cada una de ellas tiene una longitud mínima de 1.25 metros, que son menores al ancho de la vereda a la que pertenecen.

6.2.3. Restricción de flujo

En la intersección del presente proyecto se sugiere prohibir el paso de triciclos, en todas las entradas al sistema, debido a que se generan situaciones de conflicto detalladas en la lista de chequeos. Por ejemplo, cuando este vehículo frena y luego intenta seguir su movimiento, se queda varado por un instante de tiempo hasta continuar su movimiento, generando desorden.

Además, su desplazamiento se realiza de manera caótica, siguiendo rutas no permitidas, debido a las marcas en el pavimento poco visibles, y estacionándose muy próximos a las esquinas. Por ejemplo, la ruta que siguen múltiples triciclos es de jirón Los Incas hacia el jirón Oquendo, lo cual está prohibido de acuerdo con lo registrado en la lista de chequeos y genera áreas de conflicto adicionales, tanto con peatones, como con vehículos.

Por otro lado, se restringe el tránsito de vehículos, mediante demarcación de ruta en el pavimento, de jirón los Incas hacia jirón Oquendo, ya que los únicos tipos de vehículos que realizan este desplazamiento son los triciclos, y, además, se observa una señal en el pavimento que indica que solo se puede realizar el giro hacia avenida La Torre. Asimismo, se restringe el flujo del tercer carril de avenida La Torre hacia jirón Oquendo, mediante la demarcación de señales en el pavimento y la geometría adecuada que canalice impida el paso de los otros dos carriles hacia el jirón Oquendo.

6.2.4. Implementación de señales de control

Se propone también colocar 6 semáforos peatonales en las zonas de mayor flujo, es decir, en los extremos de los tres cruces peatonales ubicados en los jirones Tacna y Oquendo, estas señales de control constituyen la tercera fase que controla el movimiento en la intersección y cuenta con la misma longitud de ciclo (66 segundos). Cabe resaltar que los semáforos peatonales propuestos son los semáforos inteligentes, que muestran el tiempo restante para cambiar de color.

Se recomienda que los semáforos existentes sean reubicados, ya que en el lugar donde actualmente se encuentran, obstaculizan el flujo continuo de los peatones.

Entonces, la fase 1 controla el desplazamiento vehicular del jirón Tacna; la fase 2 controla el desplazamiento del jirón Los Incas hacia avenida La torre y viceversa; y, la fase 3, con señal verde y rojo, controla el paso de peatones en los cruces mencionados en el párrafo anterior.



Figura 59. Diagrama de fases propuesto
Fuente: Elaboración propia

No se contempla la colocación de semáforos peatonales en los cruces de avenida La Torre y jirón Los Incas debido al bajo flujo peatonal y; sin embargo, el paso es controlado por los cruceros tipo cebra, que indica que los peatones tienen prioridad de paso.

6.3. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

Las propuestas de mejora planteadas se enfocan en mejorar la circulación principalmente de los peatones; entonces, si los parámetros peatonales analizados de la situación actual presentan mejora, se podrá definir si son adecuadas o no las propuestas de mejora. Cabe mencionar que se realizan 20 corridas, las cuales se efectúan con los parámetros de comportamiento vehicular y peatonal hallados en la etapa de calibración. Los resultados detallados se presentan en los anexos 26 y 27, parámetros vehiculares y peatonales, respectivamente.

A continuación, se presenta el resumen de los resultados de parámetros de eficiencia vehiculares y peatonales obtenidos luego del rediseño.

Tabla 10. Comparación de resultados de parámetros de eficiencia vehiculares

	Diseño actual	Rediseño
Demora (seg/veh)	18.33	19.04
Tiempo detenido (seg)	11.80	11.71
Velocidad (Km/h)	6.74	6.68

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Comparación de resultados de parámetros de eficiencia peatonales

	Diseño actual	Rediseño
Velocidad (Km/h)	3.19	3.26
Tiempo de viaje (seg)	54.44	49.26

Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación de los datos de aparente mejora obtenidos y la comparación con los resultados de la situación se hace uso nuevamente de la herramienta *Statkey* para realizar la prueba no paramétrica de hipótesis alternativa de diferencia de medias.

6.3.1. Evaluación de parámetros vehiculares

En cuanto a la demora promedio en los viajes, se tiene que con la propuesta de rediseño se alcanzan valores que presentan un promedio de 19.04 seg/veh, es decir, los vehículos tardan 0.71 segundos más en completar su recorrido. Al realizar un análisis estadístico de los valores obtenidos se observa que las medias pueden ser consideradas iguales.

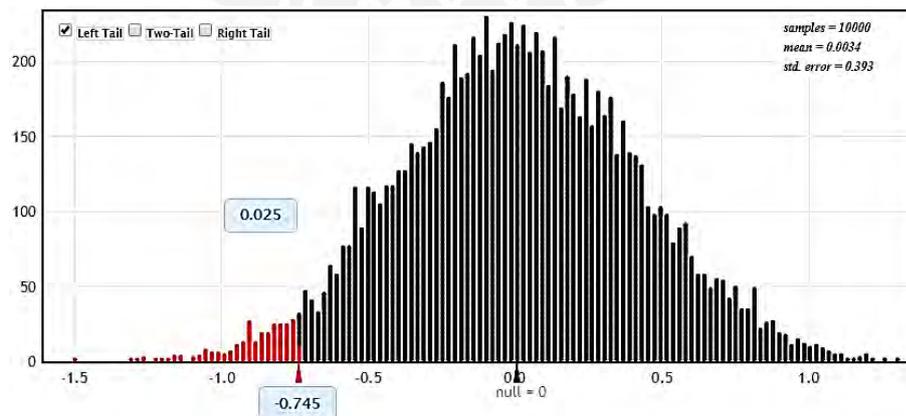


Figura 60. Prueba de hipótesis alternativa - Demora de viaje vehicular

Fuente: Elaboración propia

En contraste, el tiempo promedio de detenido disminuye de 11.80 segundos a 11.71 segundos, es decir 0.09 segundos menos al diseño actual. Este valor se encuentra dentro de la zona que considera las medias iguales.

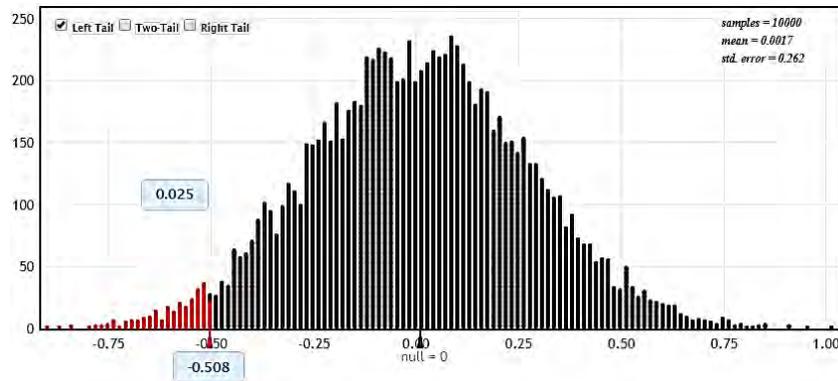


Figura 61. Prueba de hipótesis alternativa - Tiempo promedio de detenido
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la velocidad promedio de viaje disminuye de 6.74 Km/h a 6.68 Km/h, en un 0.9% de su velocidad promedio actual, es decir, la diferencia es casi despreciable y se puede considerar igual al comportamiento actual.

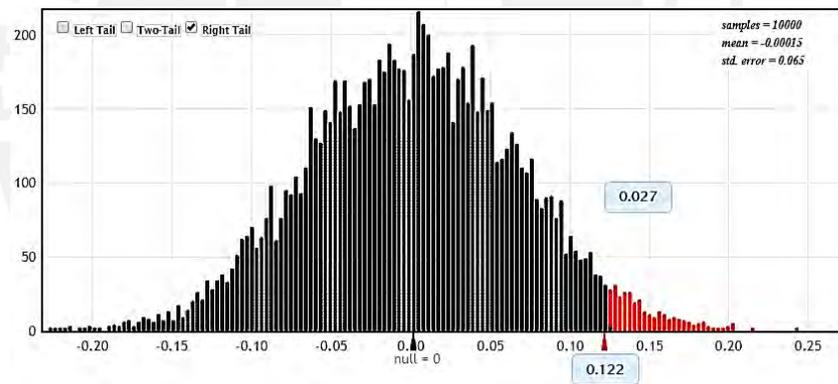


Figura 62. Prueba de hipótesis alternativa - Velocidad vehicular
Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el rediseño de la intersección no presenta mejora en el nivel vehicular; sin embargo, tampoco es suficiente para concluir que el rediseño es deficiente, ya que no se tiene como prioridad a los vehículos, además que los resultados obtenidos no distan significativamente de los parámetros obtenidos para el diseño actual.

6.3.2. Evaluación de parámetros peatonales

El promedio del parámetro de densidad peatonal es 0.05, lo cual señala que el área peatonal es el adecuado. En este caso, el valor no es cuestionable ya que efectivamente durante las corridas se observó que la aglomeración de personas es mínima y casi nula en algunos intervalos de tiempo.

En cuanto a la velocidad promedio de los peatones, la media actual es 3.19 km/h y con el rediseño este valor aumenta a 3.26 Km/h, una diferencia no muy alta de 0.07 Km/h; sin embargo, este valor se puede considerar como una mejora en el sistema es términos estadísticos.

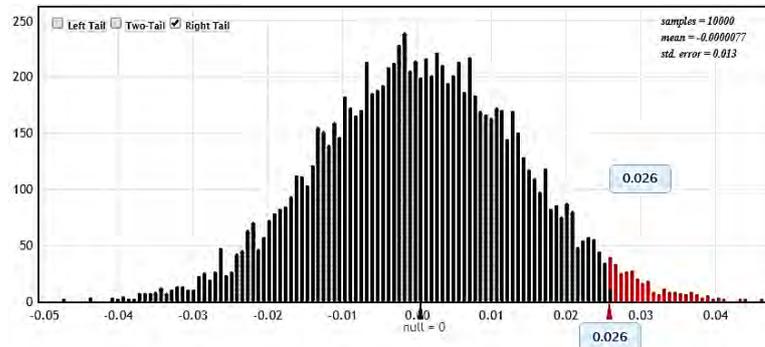


Figura 63. Prueba de hipótesis alternativa - Velocidad de peatones
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el tiempo de viaje peatonal promedio en el rediseño es de 49.26 segundos y varía entre 48.85 y 49.90 segundos. La diferencia de medias con el valor actual es de -5.18 segundos, valor que se encuentra dentro de la zona que representa mejora significativa.

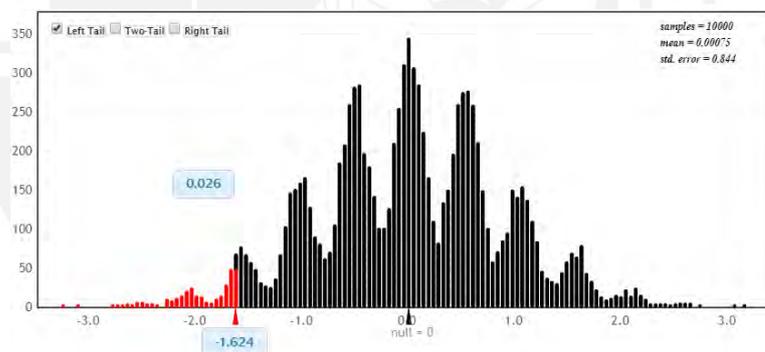


Figura 64. Prueba de hipótesis alternativa - Tiempo de viaje de peatones
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

La inclusión del vehículo atípico llamado triciclo al programa Vissim, resulta ser obligatorio en el presente proyecto, ya que no se encuentra definido previamente y, a pesar de representar solo el 2.5% de vehículos presentes en la zona, generan impacto en el comportamiento vehicular y peatonal de la intersección al interactuar con los demás usuarios. Por ejemplo, la poca capacidad de aceleración que presenta influye cuando se encuentran vehículos detrás y este se encuentra a punto de partir.

La curva de aceleración resulta ser semejante a la de una bicicleta, con una clara disminución del valor de la aceleración debido a la masa adicional que transporta el conductor de un triciclo, del propio vehículo y de las personas que transporta. Por otro lado, la velocidad promedio deseada de este vehículo es de 9.97 km/h que significa un valor bajo para este parámetro, aunque no difiere de manera considerable de la celeridad de los demás tipos de vehículos.

Por otro lado, se determina que la alta demanda vehicular, no se debe principalmente a la presencia de triciclos, sino a la presencia de automóviles, ya que en el caso de los ingresos por jirón Los Incas y jirón Tacna, estos representan el 53% y el 69% del total de vehículos, respectivamente. En contraste, se determinó que los triciclos representan el 5% del total de vehículos que ingresan por el jirón Los Incas, y el 2% del total de vehículos que ingresan por el jirón Tacna.

La calibración con Vissim 8.0 y Viswalk 8.0 es un procedimiento importante, ya que en esta etapa se definen los parámetros de comportamiento del conductor y del peatón en la zona de estudio. Por lo que luego de realizado este proceso se demuestra también que es posible replicar el comportamiento de los conductores de los triciclos, vehículos atípicos, con el modelo de seguimiento Wiedeman 74 con un nivel de confianza de 95%.

En cuanto al modelo vehicular, los resultados de este proceso fueron 0.45, 1.20 y 3.25 para la distancia estática promedio (a_x), parámetros integrados a VISSIM usados para calcular la distancia deseada de seguridad en movimiento (b_xAdd , b_xMult), respectivamente. Por su parte, el comportamiento peatonal resultó calibrado para parámetros de tau (tiempo de reacción) y lambda (factor de anisotropía) iguales a 0.1 y 0.65, respectivamente. Los valores hallados pueden ser usados como punto de partida para proyectos de microsimulación posteriores en la ciudad de Puno.

El rediseño propuesto tiene como prioridad mejorar las condiciones de circulación de los peatones e incluir a personas con discapacidad lo cual se refleja en las modificaciones en la geometría de la zona, canalización y restricción de flujo, implementación de una fase en el ciclo semafórico, colocación de rampas con un 8% de pendiente y reubicación de cruceiros peatonales de acuerdo a las líneas de deseo observadas en campo. También, se considera incluir dos paraderos en la avenida La Torre, ya que se observa que existen paraderos informales.

Adicionalmente, es necesario recalcar que se optó por ya no considerar los estacionamientos del mercado porque el flujo de personas hacia y desde dicha esquina es el 62 % del total de peatones que transitan por el sistema. Asimismo, la tercera fase del ciclo semafórico es para peatones circulando por esta esquina. En lugar de estacionamientos se planteó un lugar de encuentro para personas, con elementos (bancas y vegetación) que evite el cruce de personas por zonas que no sean los cruceiros peatonales.

Asimismo, como parte de las propuestas de mejora, se sugiere la restricción de los triciclos en la zona, lo que no reduce significativamente la demanda, no solo por su poca participación, sino porque presentan un desplazamiento que contribuye al desorden en la zona de estudio.

Por otra parte, se plantea realizar un mantenimiento de pistas y veredas ya que se observó y registró que existen daños muy notorios en ambas superficies. También es necesaria la reubicación de postes, ya que estos obstaculizan el tránsito peatonal y reducen el ancho efectivo de las veredas de la zona.

Si bien los resultados de las propuestas de rediseño no presentan mejoras considerables en cuanto a la eficiencia vehicular, cumple con el objetivo principal del presente proyecto, que es mejorar las condiciones de desplazamiento de los peatones, ya que hay una disminución en el tiempo de viaje a su destino de 10%, y, además, ofrece una caminata de calidad que evita el modo caótico de desplazamiento. Además, la propuesta de rediseño reduce las áreas de conflicto que existen actualmente, entre vehículos, y entre peatones y vehículos.

7.2. RECOMENDACIONES

En cuanto a la metodología propuesta, si bien la toma de datos de entrada para la modelación, calibración y validación es determinante para la realización del presente proyecto; resulta importante también la elaboración y registro de una lista de chequeos, ya que en esta se puede detallar las problemáticas presentes en la zona para plantear propuestas de solución. Por lo tanto, se recomienda el uso de esta herramienta para la etapa de elaboración de propuestas.

Asimismo, antes de ejecutar una propuesta de rediseño, es recomendable también evaluar los parámetros de eficiencia vehicular y peatonal, con los parámetros obtenidos en la calibración; lo cual es posible con el uso de Vissim y Viswalk. Los resultados obtenidos permiten comparar y analizar el desempeño del rediseño propuesto.

Finalmente, se sugiere que en proyectos de rediseño en zonas urbanas se tome como referencia al peatón, en lugar de buscar el beneficio de la circulación de vehículos como tradicionalmente se realiza la infraestructura urbana. Es muy importante también que estos diseños sean aptos para personas con discapacidad, que tenga como objetivo principal mejorar su calidad del desplazamiento; asimismo incluir a los niños y adultos mayores.

REFERENCIAS

- Alcalá, M., 2016. *Microsimulación del tráfico de la intersección de las avenidas Bolívar, Córdova y calle Andalucía empleando el software Vissim 6.0*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Al-Jameel, H., 2009. *Examining and improving the limitations of Gazis–Herman–Rothery car following model*, s.l.: Research Institute: The Built and Human Environment.
- Antonini, G., Bierlaire, M. & Weber, M., 2006. Discrete choice models of pedestrian walking behavior. *Transportation Research Part B: Methodological*, 40(8), pp. 667-687.
- Araújo, D. R. C., Jacondino, G. B., Cybis, H. B. B. & Caten, C. S., 2004. Método de calibração de modelos de micro-simulação de tráfico através de otimização multivariada. *TRANSPORTES*, 12(1), pp. 5-12.
- Brackstone, M. & McDonald, M., 1999. Car-following: a historical review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2(4), pp. 181-196.
- Cabrera, F., 2015. Microsimulación de vehículos y peatones. *Revista Civilízate*, pp. 33-34.
- Cabrera, F., 2016. *Apuntes de clase de gestión del tránsito*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Cabrera, F. & Dextre, J. C., 2014. Using the Social Force Model to Represent the Behavior of Pedestrians at Chaotic Intersections of Developing Countries: The Case of Peru. En: s.l.:Springer International Publishing, pp. 1039-1049.
- Casares, A. & Galarraga, J., 2015. *Calibración del modelo de seguimiento de Vissim en carreteras multicarriles de Uruguay*. Ouro Preto, Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET.
- Chen, X. M., Li, L. & Shi, Q., 2014. *Stochastic Evolutions of Dynamic Traffic Flow: Modeling and Applications*. s.l.:Springer.
- COWI, 2013. *Micro simulation of cyclists in peak hour traffic*. 1.0 ed. Copenhagen: s.n.
- Dextre, J. C. & Cabrera, F., 2010. *Uso de las listas de chequeo y microsimulación para mejorar la seguridad de los usuarios vulnerables en zonas urbanas*. Buenos Aires, II Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial.

- Di Gangi, M., Cantarella, G. E., Di Pace, R. & Memoli, S., 2015. Network traffic control based on a mesoscopic dynamic flow model. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, pp. 3-26.
- Dominguez, P. N. & Cortínez, V. H., 2017. *La utilización de modelos matemáticos para el estudio del tráfico urbano y sus consecuencias ambientales*. s.l.:Universidad Tecnológica Nacional.
- Dowling, R. y otros, 2004. Guidelines for calibration of microsimulation models: framework and applications. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Issue 1876, pp. 1-9.
- Elefteriadou, L., 2014. *An Introduction to Traffic Flow Theory*. New York: Springer Science+Business Media New York 2014.
- Fellendorf, M., 1994. VISSIM: A microscopic simulation tool to evaluate actuated signal control including bus priority. En: *64th Institute of Transportation Engineers Annual Meeting*. s.l.:Springer, pp. 1-9.
- Fellendorf, M. & Vortisch, P., 2010. Microscopic traffic flow simulator VISSIM. En: *Fundamentals of traffic simulation*. s.l.:Springer New York, pp. 63-93.
- FHWA, 2004. *Traffic analysis toolbox Volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software*. Washington: FHWA-HRT-04-040.
- Helly, W., 1959. Simulation of bottlenecks in single lane traffic flow. *Proceedings of the symposium on theory of traffic flow*, pp. 207-238.
- Hoogendoorn, S. & Bovy, P., 2004. Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(2), pp. 169-190.
- Hoogendoorn, S. & Knoop, V., 2012. Traffic flow theory and modelling.. En: *The transport system and transport policy*. s.l.:Edward Elgar Publishing Limited, pp. 125-159.
- Ishaque, M. M., 2006. *Policies for pedestrian access: Multi-modal trade-off analysis using micro-simulation techniques*, London: University of London.
- Jones, S. L. y otros, 2004. *Traffic simulation software comparison study*, s.l.: University Transportation Center for Alabama.

- Krajzewicz, D., Hertkorn, G., Rössel, C. & Wagner, P., 2002. *SUMO (Simulation of Urban MObility)-an open-source traffic simulation*. Sharjah (United Arab Emirates), s.n.
- Lazo Castro, C. O. & Araujo Barrientos, A., 2017. *Micro-simulación de vehículos atípicos: el caso de las moto-taxis en Villa María del Triunfo*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Lieberman, E. B., 2014. Brief History of Traffic Simulation. En: *Traffic and Transportation Simulation*. Washington, D.C.: Transportation Research Board, pp. 17-29.
- McDonald, M., Brackstome, M. & Jeffery, D., 1994. ata requirements and sources for the calibration of microscopic motorway simulation models. En: *Vehicle Navigation & Information Systems Conference Proceedings*. s.l.:IEEE, pp. 233-238.
- Melouk, S. H., Keskin, B. B., Armbruster, C. & Anderson, M., 2011. A simulation optimization-based decision support tool for mitigating traffic congestion. *Journal of the Operational Research Society*, pp. 1971-1982.
- Menneni, S., Roca, V., Sun, C. & Vortisch, P., 2009. Calibración de parámetros de comportamiento con algoritmos evolutivos en la simulación microscópica de flujos de tránsito. *Revista Andinatraffic*, Issue 5, pp. 21-27.
- Montenegro, J. C. & Lozano, A. d. R., 2013. *Simulación microscópica del tránsito*. Río de Janeiro, Brazil, s.n.
- Panwai, S. & Dia, H., 2005. Comparative evaluation of microscopic car-following behavior. *Intelligent Transportation Systems*, 6(3), pp. 314-325.
- Papageorgiou, G. y otros, 2006. A microscopic traffic simulation model for transportation planning in cyprus. *International Conference on Intelligent Systems And Computing: Theory And Applications*.
- Park, B. & Schneeberger, J., 2003. Microscopic Simulation Model Calibration and validation: case study of VISSIM simulation model for a coordinated actuated Signal system. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Issue 1856, pp. 185-192.
- PTV AG, 2011. *VISSIM 5.30-05 user manual*. Karlsruhe: s.n.

PTV Group, 2016. *¿Cómo llegan las personas a su destino?*. [En línea]

Available at: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/>

[Último acceso: 20 Junio 2016].

PTV Group, 2016. *Casos de aplicación de PTV Vissim*. [En línea]

Available at: <http://vision-traffic.ptvgroup.com>

[Último acceso: 16 Junio 2016].

PTV Group, 2016. *PTV Vissim - modules*. [En línea]

Available at: <http://vision-traffic.ptvgroup.com>

[Último acceso: 19 Junio 2016].

PTV Group, 2016. *PTV Viswalk*. [En línea]

Available at: <http://vision-traffic.ptvgroup.com>

[Último acceso: 19 Junio 2016].

PTV Group, 2016. *Sistemas multimodales: PTV Group*. [En línea]

Available at: <http://vision-traffic.ptvgroup.com>

[Último acceso: 17 Junio 2016].

PTV Vissim, 2016. *Simulando el comportamiento de conducción*. [En línea]

Available at: <http://vision-traffic.ptvgroup.com>

[Último acceso: 15 Junio 2016].

PTV Viswalk, 2016. *Simulación de peatones: Dinámicas de modelación*. [En línea]

Available at: <http://vision-traffic.ptvgroup.com>

[Último acceso: 19 Junio 2016].

RAE, 2016. *Real Academia Española*. [En línea]

Available at: <http://www.rae.es/>

Roca, V., 2009. Análisis operacional de glorietas mediante simulación microscópica. *Revista Andinatraffic*, Issue 5, pp. 28-31.

Sahaleh, A. S. y otros, 2012. Scenario analysis of pedestrian flow in public spaces. En: *12th Swiss Transport Research Conference*. Lausanne: Transport and Mobility Laboratory - TRANSP-OR.

Schadschneider, A. y otros, 2009. Fundamentals of pedestrian and evacuation dynamics. En: *Multi-Agent Systems for Traffic and Transportation Engineering*. s.l.:IGI Global, pp. 124-154.

Shaaban, K. & Kim, I., 2015. *Comparison of SimTraffic and VISSIM Microscopic Traffic Simulation Tools in Modeling Roundabouts*. s.l., Procedia Computer Science, pp. 43-50.

Suárez, L., 2007. *Análisis y evaluación operacional de intersecciones urbanas mediante microsimulación*, Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Taplin, J., 1999. *Simulation models of traffic flow*. New Zealand, s.n.

The Institution of Highways & Transportation, 2006. *Traffic micro-simulation modelling*, London: The Institution of Highways & Transportation.

Tolba, C., Lefebvre, D., Thomas, P. & El Moudni, A., 2005. Continuous and timed Petri nets for the macroscopic and microscopic traffic flow modelling. En: *Simulation Modelling Practice and Theory*. s.l.:s.n., pp. 407-436.

Transportation Research Board, 2000. *Highway Capacity Manual*. Washington DC: National Research Council.

Valencia, A. & Fernández, R., 2010. *Comparación entre un modelo macroscópico de corredores de transporte público y un microsimulador de tráfico*. Lisboa, s.n.

van Wageningen-Kessels, F. v., van Lint, H., Vuik, K. & Hoogendoorn, S., 2014. Genealogy of traffic flow models. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 2 Abril, 4(4), pp. 445-473.

Wang, H., Li, J., Chen, Q. Y. & Ni, D., 2009. *Speed-density relationship: From deterministic to stochastic*. Washington, DC, Transportation Research Board.

Wang, Y. & Prevedouros, P. D., 1996. *Synopsis of Traffic Simulation Models*, Honolulu: s.n.

Zúñiga, V. I., 2010. *Uso de herramientas de microsimulación para la definición de estrategias de control de tránsito para la ciudad de Santiago*, Santiago de Chile: Universidad de Chile.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**REDISEÑO Y MICROANÁLISIS DE LA INTERSECCIÓN DE
LOS JIRONES OQUENDO, TACNA, LOS INCAS Y AV. LA
TORRE, PUNO**

ANEXOS

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

Sthefany Fiorella Chura Canahua

ASESOR: Félix Israel Cabrera Vega

Lima, diciembre de 2018

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	III
LISTA DE TABLAS.....	IV
ANEXO 1: DATOS REGISTRADOS DE LOS TRICICLOS	1
ANEXO 2: PLANO ACTUAL	3
ANEXO 3: FLUJO VEHICULAR POR CARRIL – DESARROLLO DEL MODELO	4
ANEXO 4: VELOCIDAD DE VEHÍCULOS	12
4.1. CAMIONETA RURAL	12
4.2. AUTOMÓVIL	13
4.3. MOTOTAXI.....	14
4.4. MOTO LINEAL.....	15
4.5. CAMIÓN	15
ANEXO 5: VELOCIDAD DE GIRO.....	17
5.1. DESDE JR. TACNA HACIA JR. LOS INCAS	17
5.2. DESDE JR. TACNA HACIA AV. LA TORRE.....	18
5.3. DESDE JR. TACNA HACIA JR. OQUENDO.....	19
5.4. DESDE AV. LA TORRE HACIA JR. LOS INCAS.....	20
5.5. DESDE JR. LOS INCAS HACIA AV. LA TORRE.....	21
ANEXO 6: AFORO PEATONAL.....	22
6.1. ORIGEN 1	22
6.2. ORIGEN 2.....	22
6.3. ORIGEN 3.....	23
6.4. ORIGEN 4.....	23
ANEXO 7: VELOCIDAD DE PEATONES	24
7.1. CRUCE PEATONAL EN JIRÓN TACNA	24
7.2. CRUCE PEATONAL EN JIRÓN OQUENDO	24
7.3. CRUCE PEATONAL EN AVENIDA LA TORRE	25
7.4. CRUCE PEATONAL EN JIRÓN LOS INCAS.....	26
ANEXO 8: TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR – CALIBRACIÓN	27
ANEXO 9: TIEMPOS DE VIAJE PEATONAL – CALIBRACIÓN.....	28
ANEXO 10: FLUJO VEHICULAR POR CARRIL – VALIDACIÓN.....	29

ANEXO 11: AFORO PEATONAL - VALIDACIÓN	37
6.1. ORIGEN 1	37
6.2. ORIGEN 2	37
6.3. ORIGEN 3	38
6.4. ORIGEN 4	38
ANEXO 12: TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR – VALIDACIÓN	39
ANEXO 13: TIEMPOS DE VIAJE PEATONAL – VALIDACIÓN	40
ANEXO 14: LISTA DE CHEQUEOS	41
14.1. LISTA DE CHEQUEOS	41
14.2. REGISTRO FOTOGRÁFICO CORRESPONDIENTE A LA LISTA DE CHEQUEOS	45
ANEXO 15: TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR CALIBRACIÓN (VISSIM)	49
ANEXO 16: CALIBRACIÓN VEHICULAR	50
ANEXO 17: TIEMPOS DE VIAJE PEATONAL CALIBRACIÓN (VISSIM)	52
ANEXO 18: CALIBRACIÓN PEATONAL	53
ANEXO 19: TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR VALIDACIÓN (VISSIM).....	55
ANEXO 20: VALIDACIÓN VEHICULAR	56
ANEXO 21: TIEMPOS DE VIAJE PEATONAL VALIDACIÓN (VISSIM).....	58
ANEXO 22: VALIDACIÓN PEATONAL.....	59
ANEXO 23: RESULTADOS DE COMPORTAMIENTO VEHICULAR ACTUAL	61
ANEXO 24: RESULTADOS DE COMPORTAMIENTO PEATONAL ACTUAL	62
ANEXO 25: PROPUESTA DE MEJORA.....	63
ANEXO 26: RESULTADO DEL COMPORTAMIENTO VEHICULAR DEL REDISEÑO.....	64
ANEXO 27: RESULTADOS DE COMPORTAMIENTO PEATONAL DEL REDISEÑO	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Número asignado a los carriles que ingresan a la intersección	4
Figura 2. Mercado Central	45
Figura 3. Centro Comercial Plaza	45
Figura 4. Veredas a diferente nivel	45
Figura 5. Estrecha visibilidad	45
Figura 6. Ancho de carril variable en el jr. Los Incas	45
Figura 7. Peatones transitando por la calzada	45
Figura 8. Rampa de pendiente pronunciada con obstáculo	45
Figura 9. Postes en veredas	45
Figura 10. Comercio en la vereda	46
Figura 11. Línea de deseo	46
Figura 12. Cruces peatonales desgastados	46
Figura 13. Daños en la vereda	46
Figura 14. Peatones cruzando entre vehículos	46
Figura 15. Conflicto entre peatones y vehículos	46
Figura 16. Obstrucción en el extremo de los cruces peatonales	46
Figura 17. Bancas de concreto al costado de cada estacionamiento	46
Figura 18. Deterioro en la superficie de rodadura	47
Figura 19. Conflicto entre vehículos	47
Figura 20. Camiones de bajo rango	47
Figura 21. Giros inadecuados	47
Figura 22. Vehículos detenidos en el núcleo de la intersección	47
Figura 23. Paradero informal	47
Figura 24. Triciclos estacionados	47
Figura 25. Estacionamientos en diagonal	47
Figura 26. Demarcación desgastada de estacionamientos	48
Figura 27. Poste de semáforo en vereda	48
Figura 28. Señal horizontal desgastada	48
Figura 29. Desplazamientos caóticos en la intersección	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Velocidades y aceleraciones de triciclos	1
Tabla 2. Tabla de frecuencias de velocidades deseadas de triciclos	2
Tabla 3. Flujo vehicular carril 1 con dirección a Jr. Oquendo - Desarrollo	4
Tabla 4. Flujo vehicular carril 1 con dirección a Av. La Torre - Desarrollo	5
Tabla 5. Flujo vehicular carril 1 con dirección a Jr. Los Incas - Desarrollo	5
Tabla 6. Flujo vehicular carril 2 con dirección a Jr. Oquendo - Desarrollo	6
Tabla 7. Flujo vehicular carril 2 con dirección a Av. La Torre - Desarrollo	6
Tabla 8. Flujo vehicular carril 2 con dirección a Jr. Los Incas - Desarrollo	7
Tabla 9. Flujo vehicular carril 3 con dirección a Jr. Oquendo - Desarrollo	7
Tabla 10. Flujo vehicular carril 3 con dirección a Av. La Torre - Desarrollo	8
Tabla 11. Flujo vehicular carril 3 con dirección a Jr. Los Incas - Desarrollo	8
Tabla 12. Flujo vehicular carril 4 con dirección a Jr. Los Incas - Desarrollo	9
Tabla 13. Flujo vehicular carril 5 con dirección a Jr. Los Incas - Desarrollo	9
Tabla 14. Flujo vehicular carril 6 con dirección a Av. La Torre - Desarrollo	10
Tabla 15. Flujo vehicular carril 6 con dirección a Jr. Oquendo - Desarrollo	10
Tabla 16. Flujo vehicular carril 7 con dirección a Av. La Torre - Desarrollo	11
Tabla 17. Flujo vehicular carril 7 con dirección a Jr. Oquendo - Desarrollo	11
Tabla 18. Velocidades de camionetas rurales.....	12
Tabla 19. Tabla de frecuencias de velocidades deseadas de la camioneta rural	12
Tabla 20. Velocidades de automóviles.....	13
Tabla 21. Tabla de frecuencias de velocidades deseadas del automóvil	13
Tabla 22. Velocidades de mototaxis	14
Tabla 23. Tabla de frecuencias de velocidades deseadas del mototaxi	14
Tabla 24. Velocidades de motos lineales.....	15
Tabla 25. Tabla de frecuencias de velocidades deseadas de la moto lineal	15
Tabla 26. Velocidades de camiones	15
Tabla 27. Tabla de frecuencias de velocidades deseadas del camión	16
Tabla 28. Velocidades de giro a la derecha desde jr. Tacna hacia jr. Los Incas	17
Tabla 29. Tabla de frecuencias de velocidades de giro a la derecha desde jr. Tacna hacia jr. Los Incas	17
Tabla 30. Velocidades de giro a la derecha desde jr. Tacna hacia av. La Torre	18
Tabla 31. Tabla de frecuencias de velocidades de giro a la derecha desde jr. Tacna hacia av. La Torre	18
Tabla 32. Velocidades de giro a la izquierda desde jr. Tacna hacia jr. Oquendo	19

Tabla 33. Tabla de frecuencias de velocidades de giro a la izquierda desde jr. Tacna hacia jr. Oquendo.....	19
Tabla 34. Velocidades de giro a la derecha desde jr. Tacna hacia av. La Torre	20
Tabla 35. Tabla de frecuencias de velocidades de giro a la derecha desde jr. Tacna hacia av. La Torre	20
Tabla 36. Velocidades de giro a la izquierda desde jr. Los Incas hacia av. La Torre	21
Tabla 37. Tabla de frecuencias de velocidades de giro a la derecha desde jr. Jirón Los Incas hacia av. La Torre.....	21
Tabla 38. Aforo peatonal - Origen 1.....	22
Tabla 39. Aforo peatonal - Origen 2.....	22
Tabla 40. Aforo peatonal - Origen 3.....	23
Tabla 41. Aforo peatonal - Origen 4.....	23
Tabla 42. Velocidades de peatones en el cruce peatonal de jirón Tacna.....	24
Tabla 43. Tabla de frecuencias de velocidades de peatones – Cruce jirón Tacna	24
Tabla 44. Velocidades de peatones en el cruce peatonal de jirón Oquendo	24
Tabla 45. Tabla de frecuencias de velocidades de peatones – Cruce jirón Oquendo.....	25
Tabla 46. Velocidades de peatones en el cruce peatonal de avenida La Torre.....	25
Tabla 47. Tabla de frecuencias de velocidades de peatones – Cruce avenida La Torre.....	25
Tabla 48. Velocidades de peatones en el cruce peatonal de jirón Los Incas.....	26
Tabla 49. Tabla de frecuencias de velocidades de peatones – Cruce jirón Los Incas.....	26
Tabla 50. Tiempos de viaje vehicular - calibración.....	27
Tabla 51. Tiempos de viaje peatonal - calibración	28
Tabla 52. Flujo vehicular carril 1 con dirección a Jr. Oquendo - Validación.....	29
Tabla 53. Flujo vehicular carril 1 con dirección a Av. La Torre - Validación.....	29
Tabla 54. Flujo vehicular carril 1 con dirección a Jr. Los Incas - Validación	30
Tabla 55. Flujo vehicular carril 2 con dirección a Jr. Oquendo - Validación.....	30
Tabla 56. Flujo vehicular carril 2 con dirección a Av. La Torre - Validación.....	31
Tabla 57. Flujo vehicular carril 2 con dirección a Jr. Los Incas - Validación	31
Tabla 58. Flujo vehicular carril 3 con dirección a Jr. Oquendo - Validación.....	32
Tabla 59. Flujo vehicular carril 3 con dirección a Av. La Torre - Validación.....	32
Tabla 60. Flujo vehicular carril 3 con dirección a Jr. Los Incas - Validación	33
Tabla 61. Flujo vehicular carril 4 con dirección a Jr. Los Incas - Validación	33
Tabla 62. Flujo vehicular carril 5 con dirección a Jr. Los Incas - Validación	34

Tabla 63. Flujo vehicular carril 6 con dirección a Av. La Torre - Validación.....	34
Tabla 64. Flujo vehicular carril 6 con dirección a Jr. Oquendo - Validación.....	35
Tabla 65. Flujo vehicular carril 7 con dirección a Av. La Torre - Validación.....	35
Tabla 66. Flujo vehicular carril 7 con dirección a Jr. Oquendo - Validación.....	36
Tabla 67. Aforo peatonal validación - Origen 1	37
Tabla 68. Aforo peatonal validación - Origen 2	37
Tabla 69. Aforo peatonal validación - Origen 3	38
Tabla 70. Aforo peatonal validación- Origen 4	38
Tabla 71. Tiempos de viaje vehicular - validación	39
Tabla 72. Tiempos de viaje peatonal - validación.....	40
Tabla 73. Lista de cheques	41
Tabla 74. Tiempos de viaje vehicular calibración - Vissim	49
Tabla 75. Tiempos de viaje peatonal calibración - Vissim	52
Tabla 76. Tiempos de viaje vehicular validación - Vissim.....	55
Tabla 77. Tiempos de viaje peatonal validación - Vissim	58
Tabla 78. Resultados de eficiencia vehicular actual	61
Tabla 79. Resultados de eficiencia peatonal actual	62
Tabla 80. Resultados de eficiencia vehicular del rediseño	64
Tabla 81. Resultados de eficiencia peatonal del rediseño.....	65

ANEXO 1: DATOS REGISTRADOS DE LOS TRICICLOS

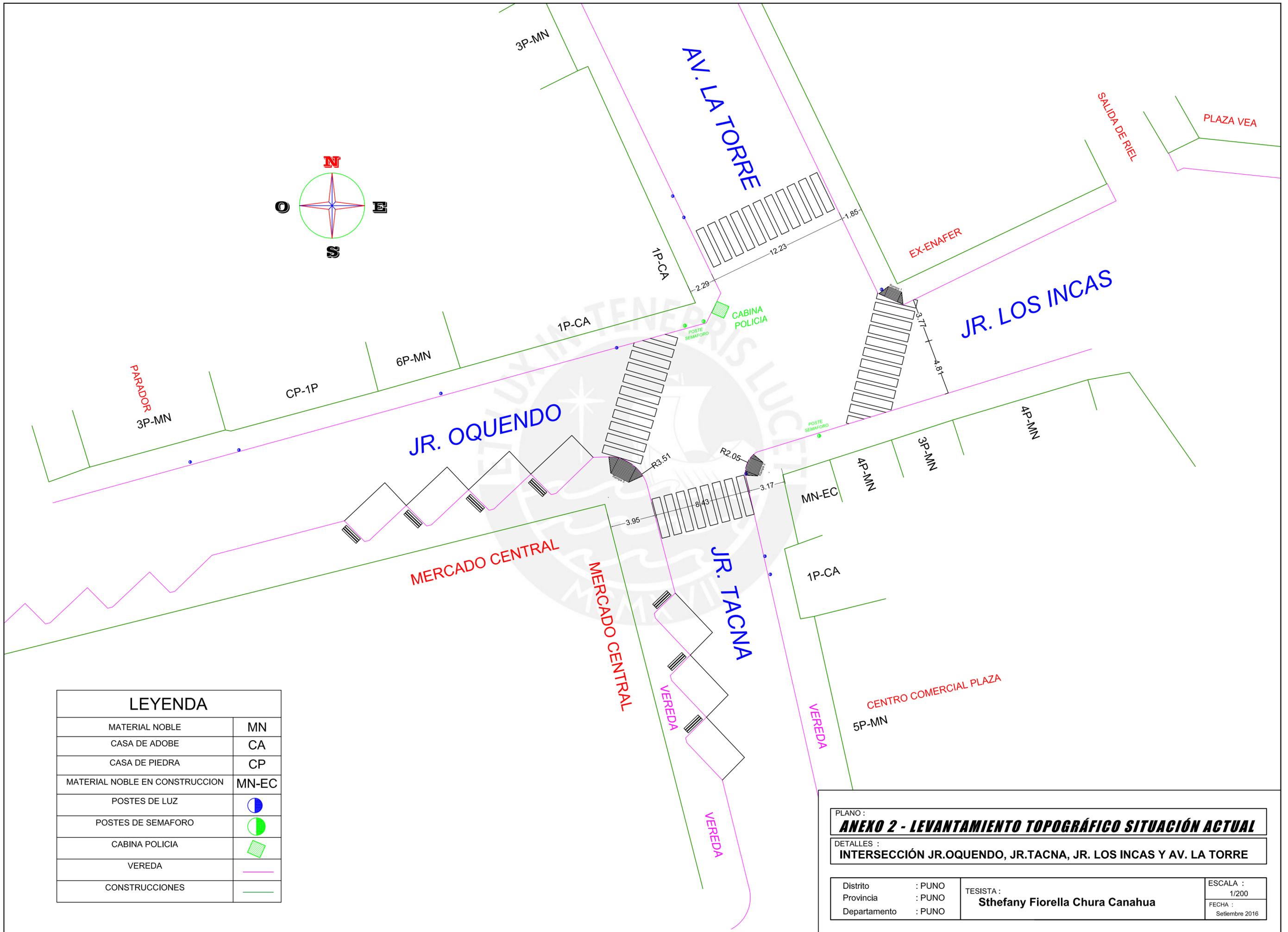
Tabla 1. Velocidades y aceleraciones de triciclos

Triciclo Nro	Vinicial (km/h)	Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad (km/h)	Aceleración (m/s ²)
1	0	169	50	12.17	0.09
2	0	132	45	10.56	0.10
3	0	125	30	15.00	0.15
4	0	102	35	10.49	0.13
5	0	52	25	7.49	0.19
6	0	138	40	12.42	0.12
7	0	32	30	3.84	0.16
8	0	140	40	12.60	0.12
9	0	95	30	11.40	0.16
10	0	91	35	9.36	0.14
11	0	71	25	10.22	0.19
12	0	81	35	8.33	0.14
13	0	31	20	5.58	0.24
14	0	108	30	12.96	0.16
15	0	90	30	10.80	0.16
16	0	124	40	11.16	0.12
17	0	124	40	11.16	0.12
18	0	29	20	5.22	0.24
19	0	104	30	12.48	0.16
20	0	102	40	9.18	0.12
21	0	52	20	9.36	0.24
22	0	70	26	9.69	0.19
23	0	193	62	11.21	0.08
24	0	37	20	6.66	0.24
25	0	76	30	9.12	0.16
26	0	96	37	9.34	0.13
27	0	139	50	10.01	0.10
28	0	110	40	9.90	0.12
29	0	117	40	10.53	0.12
30	0	58	25	8.35	0.20
31	0	46	20	8.28	0.24
32	0	157	50	11.30	0.10
33	0	106	40	9.54	0.12
34	0	98	30	11.76	0.16
35	0	136	45	10.88	0.11
36	0	216	65	11.96	0.08
37	0	46	20	8.28	0.25
38	0	192	50	13.82	0.10
39	0	88	35	9.05	0.14
40	0	105	35	10.80	0.14
41	0	127	50	9.14	0.10
42	0	99	30	11.88	0.17
43	0	93	35	9.57	0.14
44	0	81	35	8.33	0.14
45	0	127	50	9.14	0.10
46	0	138	50	9.94	0.10
47	0	79	30	9.48	0.17
48	0	99	40	8.91	0.13

Tabla 2. Tabla de frecuencias de velocidades deseadas de triciclos

Parámetros:		Grupo	Lím. Inf.	Lím Sup.	MC	fi	Fi	hi	Hi
n	48	1	3.84	5.43	4.64	2	2	0.04	0.04
Min	3.84	2	5.43	7.03	6.23	2	4	0.04	0.08
Max	15.00	3	7.03	8.62	7.83	6	10	0.13	0.21
Rango	11.16	4	8.62	10.22	9.42	16	26	0.33	0.54
K (# de grupos)	7	5	10.22	11.81	11.01	13	39	0.27	0.81
W (Amplitud)	1.59	6	11.81	13.41	12.61	7	46	0.15	0.96
		7	13.41	15.00	14.20	2	48	0.04	1.00
TOTAL						48	1.00		





LEYENDA	
MATERIAL NOBLE	MN
CASA DE ADOBE	CA
CASA DE PIEDRA	CP
MATERIAL NOBLE EN CONSTRUCCION	MN-EC
POSTES DE LUZ	☉
POSTES DE SEMAFORO	🚦
CABINA POLICIA	🚔
VEREDA	—
CONSTRUCCIONES	—

PLANO :
ANEXO 2 - LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO SITUACIÓN ACTUAL
 DETALLES :
INTERSECCIÓN JR.OQUENDO, JR.TACNA, JR. LOS INCAS Y AV. LA TORRE

Distrito : PUNO	TESISTA : Sthefany Fiorella Chura Canahua	ESCALA : 1/200
Provincia : PUNO		FECHA : Setiembre 2016
Departamento : PUNO		

ANEXO 3: FLUJO VEHICULAR POR CARRIL – DESARROLLO DEL MODELO



Figura 1. Número asignado a los carriles que ingresan a la intersección
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Flujo vehicular carril 1 con dirección a Jr. Oquendo - Desarrollo

Periodo	Hacia Jr. Oquendo (Carril Derecho)						Hacia Jr. Oquendo (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
11:45 am - 12:00 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00 pm - 12:15 pm	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:15 pm - 12:30 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:30 pm - 12:45 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBTOTAL	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	2						0					

Tabla 4. Flujo vehicular carril 1 con dirección a Av. La Torre - Desarrollo

Periodo	Hacia Av. La Torre (Carril Derecho)						Hacia Av. La Torre (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
11:45 am - 12:00 pm	1	5	0	0	0	1	7	1	1	0	0	0
12:00 pm - 12:15 pm	0	3	1	0	0	0	18	11	1	0	0	0
12:15 pm - 12:30 pm	6	3	3	0	0	0	19	10	6	2	0	0
12:30 pm - 12:45 pm	0	7	1	1	0	0	23	7	4	2	0	0
SUBTOTAL	7	18	5	1	0	1	67	29	12	4	0	0
TOTAL	32						112					

Tabla 5. Flujo vehicular carril 1 con dirección a Jr. Los Incas - Desarrollo

Periodo	Hacia Jr. Los Incas (Carril Derecho)						Hacia Jr. Los Incas (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
11:45 am - 12:00 pm	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0
12:00 pm - 12:15 pm	0	0	2	0	0	0	2	0	1	0	0	0
12:15 pm - 12:30 pm	1	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0
12:30 pm - 12:45 pm	0	0	2	0	0	0	5	0	1	0	0	0
SUBTOTAL	1	0	4	0	0	0	15	1	4	0	0	0
TOTAL	5						20					

Tabla 6. Flujo vehicular carril 2 con dirección a Jr. Oquendo - Desarrollo

Periodo	Hacia Jr. Oquendo (Carril Derecho)						Hacia Jr. Oquendo (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
11:45 am - 12:00 pm	0	0	1	1	0	1	2	0	1	0	0	0
12:00 pm - 12:15 pm	2	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	1
12:15 pm - 12:30 pm	0	0	0	0	0	0	6	0	0	1	0	0
12:30 pm - 12:45 pm	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0
SUBTOTAL	2	0	1	2	0	1	26	0	1	1	0	1
TOTAL	6						29					

Tabla 7. Flujo vehicular carril 2 con dirección a Av. La Torre - Desarrollo

Periodo	Hacia Av. La Torre (Carril Derecho)						Hacia Av. La Torre (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
11:45 am - 12:00 pm	2	2	0	3	0	0	18	3	3	1	0	0
12:00 pm - 12:15 pm	0	0	0	0	0	0	20	1	1	0	0	0
12:15 pm - 12:30 pm	0	0	0	0	0	0	18	1	1	1	0	0
12:30 pm - 12:45 pm	1	1	2	0	0	0	25	1	3	2	0	0
SUBTOTAL	3	3	2	3	0	0	81	6	8	4	0	0
TOTAL	11						99					

Tabla 8. Flujo vehicular carril 2 con dirección a Jr. Los Incas - Desarrollo

Periodo	Hacia Jr. Los Incas (Carril Derecho)						Hacia Jr. Los Incas (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
11:45 am - 12:00 pm	0	0	1	0	0	0	4	1	0	0	0	0
12:00 pm - 12:15 pm	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
12:15 pm - 12:30 pm	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	1	0
12:30 pm - 12:45 pm	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0
SUBTOTAL	0	0	1	0	1	0	9	1	4	0	1	0
TOTAL	2						15					

Tabla 9. Flujo vehicular carril 3 con dirección a Jr. Oquendo - Desarrollo

Periodo	Hacia Jr. Oquendo (Carril Derecho)						Hacia Jr. Oquendo (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
11:45 am - 12:00 pm	4	0	0	0	0	2	23	0	3	2	0	0
12:00 pm - 12:15 pm	0	0	0	0	0	0	34	0	2	1	1	0
12:15 pm - 12:30 pm	9	0	2	0	0	0	22	0	4	1	0	0
12:30 pm - 12:45 pm	6	0	5	0	0	0	20	0	3	1	0	0
SUBTOTAL	19	0	7	0	0	2	99	0	12	5	1	0
TOTAL	28						117					

Tabla 10. Flujo vehicular carril 3 con dirección a Av. La Torre - Desarrollo

Periodo	Hacia Av. La Torre (Carril Derecho)						Hacia Av. La Torre (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
11:45 am - 12:00 pm	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0
12:00 pm - 12:15 pm	0	0	0	0	0	0	5	0	0	2	0	0
12:15 pm - 12:30 pm	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
12:30 pm - 12:45 pm	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SUBTOTAL	1	0	0	0	1	0	15	0	1	2	0	0
TOTAL	2						18					

Tabla 11. Flujo vehicular carril 3 con dirección a Jr. Los Incas - Desarrollo

Periodo	Hacia Jr. Los Incas (Carril Derecho)						Hacia Jr. Los Incas (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
11:45 am - 12:00 pm	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0
12:00 pm - 12:15 pm	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
12:15 pm - 12:30 pm	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
12:30 pm - 12:45 pm	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SUBTOTAL	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	3	0
TOTAL	3						6					

Tabla 12. Flujo vehicular carril 4 con dirección a Jr. Los Incas - Desarrollo

Periodo	Hacia Jr. Los Incas (Carril Derecho)						Hacia Jr. Los Incas (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
11:45 am - 12:00 pm	0	2	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0
12:00 pm - 12:15 pm	0	7	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0
12:15 pm - 12:30 pm	0	10	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0
12:30 pm - 12:45 pm	0	2	0	0	0	0	1	26	0	0	0	0
SUBTOTAL	0	21	0	0	0	0	1	67	0	0	0	0
TOTAL	21						68					

Tabla 13. Flujo vehicular carril 5 con dirección a Jr. Los Incas - Desarrollo

Periodo	Hacia Jr. Los Incas (Carril Derecho)						Hacia Jr. Los Incas (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
11:45 am - 12:00 pm	0	0	0	0	0	0	13	39	5	1	0	0
12:00 pm - 12:15 pm	0	1	0	0	0	0	14	28	3	1	0	1
12:15 pm - 12:30 pm	5	3	0	0	0	0	14	23	6	0	0	0
12:30 pm - 12:45 pm	0	5	0	0	0	0	19	28	13	0	0	0
SUBTOTAL	5	9	0	0	0	0	60	118	27	2	0	1
TOTAL	14						208					

Tabla 14. Flujo vehicular carril 6 con dirección a Av. La Torre - Desarrollo

Periodo	Hacia Av. La Torre (Carril Derecho)						Hacia Av. La Torre (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
11:45 am - 12:00 pm	4	6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
12:00 pm - 12:15 pm	4	5	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0
12:15 pm - 12:30 pm	7	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:30 pm - 12:45 pm	9	9	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBTOTAL	24	28	26	5	2	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	85						0					

Tabla 15. Flujo vehicular carril 6 con dirección a Jr. Oquendo - Desarrollo

Periodo	Hacia Jr. Oquendo (Carril Derecho)						Hacia Jr. Oquendo (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
11:45 am - 12:00 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00 pm - 12:15 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:15 pm - 12:30 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:30 pm - 12:45 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBTOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0						0					

Tabla 16. Flujo vehicular carril 7 con dirección a Av. La Torre - Desarrollo

Periodo	Hacia Av. La Torre (Carril Derecho)						Hacia Av. La Torre (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
11:45 am - 12:00 pm	0	0	0	0	0	0	40	7	12	1	0	0
12:00 pm - 12:15 pm	0	0	0	0	0	0	48	11	13	0	0	2
12:15 pm - 12:30 pm	0	0	0	0	0	0	32	5	8	3	0	1
12:30 pm - 12:45 pm	0	0	0	0	0	0	46	4	24	3	0	1
SUBTOTAL	0	0	0	0	0	0	166	27	57	7	0	4
TOTAL	0						261					

Tabla 17. Flujo vehicular carril 7 con dirección a Jr. Oquendo - Desarrollo

Periodo	Hacia Jr. Oquendo (Carril Derecho)						Hacia Jr. Oquendo (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
11:45 am - 12:00 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
12:00 pm - 12:15 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
12:15 pm - 12:30 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
12:30 pm - 12:45 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
SUBTOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0
TOTAL	0						16					

ANEXO 4: VELOCIDAD DE VEHÍCULOS

4.1. Camioneta rural

Tabla 18. Velocidades de camionetas rurales

N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	
1	4.24	15	12.74	30	4.7	15	11.49	59	4.28	15	12.62	
2	5.09	15	10.61	31	4.05	15	13.33	60	9.66	15	5.59	
3	4.94	15	10.93	32	4.57	15	11.82	61	3.74	15	14.44	
4	4.81	15	11.23	33	3.26	15	16.56	62	3.73	15	16.79	
5	3.41	15	15.84	34	3.43	15	15.74	63	8.86	15	7.07	
6	5.09	15	10.61	35	4.13	15	13.08	64	4.02	15	15.58	
7	8.92	15	6.05	36	6.79	15	7.95	65	4.8	15	13.05	
8	4.48	15	12.05	37	5.87	15	9.20	66	4.06	15	15.43	
9	5.52	15	9.78	38	6.36	15	8.49	67	5.9	15	10.62	
10	6.01	15	8.99	39	5.7	15	9.47	68	4.39	15	14.27	
11	5.63	15	9.59	40	7.81	15	6.91	69	3.19	15	19.64	
12	6.49	15	8.32	41	3.93	15	13.74	70	6.96	15	9.00	
13	4.12	15	13.11	42	3.58	15	15.08	71	4.44	15	14.11	
14	3.74	15	14.44	43	2.98	15	18.12	72	5.89	15	10.63	
15	5.1	15	10.59	44	4.25	15	12.71	73	6.1	15	10.27	
16	5.65	15	9.56	45	4.72	15	11.44	74	6.77	15	9.25	
17	5.87	15	9.20	46	5.36	15	10.07	75	6.98	15	8.97	
18	4.45	15	12.13	47	3.52	15	15.34	76	6.01	15	10.42	
19	6.52	15	8.28	48	5.36	15	10.07	77	5.8	15	10.80	
20	5.27	15	10.25	49	4.91	15	11.00	78	4.43	15	14.14	
21	3.01	15	17.94	50	5.54	15	9.75	79	8.1	15	7.73	
22	5.64	15	9.57	51	6.02	15	8.97	80	3.99	15	15.70	
23	4.33	15	12.47	52	7.17	15	7.53	81	4.02	15	15.58	
24	3.51	15	15.38	53	5.82	15	9.28	82	5.66	15	11.07	
25	4.02	15	13.43	54	4.62	15	11.69	83	5.9	15	10.62	
26	2.8	15	19.29	55	4.01	15	13.47	84	6.7	15	9.35	
27	4.11	15	13.14	56	4.74	15	11.39	85	4.95	15	12.65	
28	3.28	15	16.46	57	5.15	15	10.49				μ	11.79
29	5.67	15	9.52	58	4.73	15	11.42				σ	3.03

Tabla 19. Tabla de frecuencias de velocidades deseadas de la camioneta rural

Parámetros:		Grupo	Lím. Inf.	Lím Sup.	MC	fi	Fi	hi	Hi
n	85	1	5.59	7.60	6.59	5	5	0.06	0.06
Min	5.59	2	7.60	9.60	8.60	19	24	0.22	0.28
Max	19.64	3	9.60	11.61	10.61	23	47	0.27	0.55
Rango	14.05	4	11.61	13.62	12.61	16	63	0.19	0.74
K (# de grupos)	7	5	13.62	15.62	14.62	12	75	0.14	0.88
W (Amplitud)	2.01	6	15.62	17.63	16.63	6	81	0.07	0.95
		7	17.63	19.64	18.63	4	85	0.05	1.00
					TOTAL	85	1.00		

4.2. Automóvil

Tabla 20. Velocidades de automóviles

N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)
1	3.41	15	15.84	27	7.19	15	7.51	53	7.41	17.4	8.45
2	2.61	15	20.69	28	5.19	15	10.40	54	2.84	17.4	22.06
3	2.66	15	20.30	29	3.76	15	14.36	55	6.74	17.4	9.29
4	2.34	15	23.08	30	4.8	15	11.25	56	4.88	17.4	12.84
5	2.56	15	21.09	31	4.55	15	11.87	57	2.69	17.4	23.29
6	3.1	15	17.42	32	5.13	15	10.53	58	7.67	17.4	8.17
7	1.94	15	27.84	33	5.26	15	10.27	59	4.94	17.4	12.68
8	2.26	15	23.89	34	5.1	15	10.59	60	2.67	17.4	23.46
9	3.18	15	16.98	35	5.19	15	10.40	61	6.57	17.4	9.53
10	2.53	15	21.34	36	3.49	15	15.47	62	7.26	17.4	8.63
11	4.86	15	11.11	37	5.63	15	9.59	63	11.5	17.4	5.47
12	2.98	15	18.12	38	5.39	15	10.02	64	6.52	17.4	9.61
13	2.33	15	23.18	39	5.11	15	10.57	65	8.15	17.4	7.69
14	2.94	15	18.37	40	6.2	15	8.71	66	4.74	17.4	13.22
15	2.43	15	22.22	41	5.62	15	9.61	67	7.14	17.4	8.77
16	2.38	15	22.69	42	3.91	15	13.81	68	5.91	17.4	10.60
17	2.95	15	18.31	43	4.57	15	11.82	69	6.38	17.4	9.82
18	3.03	15	17.82	44	5.92	15	9.12	70	4.91	17.4	12.76
19	3.41	15	15.84	45	7.8	15	6.92	71	4.84	17.4	12.94
20	3.05	15	17.70	46	3.73	15	14.48	72	5.76	17.4	10.88
21	3.3	15	16.36	47	3.38	15	15.98	73	7.11	17.4	8.81
22	4.77	15	11.32	48	5.27	15	10.25	74	3.34	17.4	18.75
23	6.32	15	8.54	49	5.99	15	9.02	75	6.99	17.4	8.96
24	5.21	15	10.36	50	5.46	15	9.89			μ	13.48
25	8.58	15	6.29	51	6.8	15	7.94			σ	5.33
26	6.5	15	8.31	52	6.79	17.4	9.23				

Tabla 21. Tabla de frecuencias de velocidades deseadas del automóvil

Parámetros:		Grupo	Lím. Inf.	Lím Sup.	MC	fi	Fi	hi	Hi
n	75	1	5.47	8.66	7.06	11	11	0.15	0.15
Min	5.47	2	8.66	11.86	10.26	29	40	0.39	0.53
Max	27.84	3	11.86	15.05	13.45	9	49	0.12	0.65
Rango	22.37	4	15.05	18.25	16.65	10	59	0.13	0.79
K (# de grupos)	7	5	18.25	21.44	19.85	7	66	0.09	0.88
W (Amplitud)	3.20	6	21.44	24.64	23.04	8	74	0.11	0.99
		7	24.64	27.84	26.24	1	75	0.01	1.00
TOTAL						75	1.00		

4.3. Mototaxi

Tabla 22. Velocidades de mototaxis

N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)
1	2.58	15	20.93	24	4.31	15	12.53	47	6.82	15	7.92
2	3.5	15	15.43	25	5.44	15	9.93	48	4.93	15	10.95
3	4.02	15	13.43	26	4.02	15	13.43	49	5.04	15	10.71
4	3.18	15	16.98	27	3.84	15	14.06	50	4.58	17.4	13.68
5	4.27	15	12.65	28	3.45	15	15.65	51	4.95	17.4	12.65
6	3.34	15	16.17	29	3.34	15	16.17	52	4.79	17.4	13.08
7	3.82	15	14.14	30	3.37	15	16.02	53	3.23	17.4	19.39
8	3.28	15	16.46	31	3.46	15	15.61	54	3.68	17.4	17.02
9	5	15	10.80	32	3.69	15	14.63	55	3.3	17.4	18.98
10	3.62	15	14.92	33	4.85	15	11.13	56	3.63	17.4	17.26
11	3.71	15	14.56	34	4.75	15	11.37	57	4.91	17.4	12.76
12	3.35	15	16.12	35	3.69	15	14.63	58	6.06	17.4	10.34
13	2.78	15	19.42	36	4.52	15	11.95	59	5.4	17.4	11.60
14	4.78	15	11.30	37	5.14	15	10.51	60	5.67	17.4	11.05
15	3.87	15	13.95	38	4.3	15	12.56	61	3.25	17.4	19.27
16	3.51	15	15.38	39	6.17	15	8.75	62	4.1	17.4	15.28
17	3.5	15	15.43	40	4.3	15	12.56	63	4.15	17.4	15.09
18	4.31	15	12.53	41	3.79	15	14.25	64	5.01	17.4	12.50
19	4.66	15	11.59	42	4.36	15	12.39	65	3.5	17.4	17.90
20	4.56	15	11.84	43	5.41	15	9.98	66	3.02	17.4	20.74
21	4.22	15	12.80	44	5.04	15	10.71	67	2.99	17.4	20.95
22	3.59	15	15.04	45	5.34	15	10.11			μ	13.98
23	3.85	15	14.03	46	4.14	15	13.04			σ	2.99

Tabla 23. Tabla de frecuencias de velocidades deseadas del mototaxi

Parámetros:		Grupo	Lím. Inf.	Lím Sup.	MC	fi	Fi	hi	Hi
n	67	1	7.92	9.78	8.85	2	2	0.03	0.03
Min	7.92	2	9.78	11.64	10.71	15	17	0.22	0.25
Max	20.95	3	11.64	13.50	12.57	16	33	0.24	0.49
Rango	13.03	4	13.50	15.36	14.43	13	46	0.19	0.69
K (# de grupos)	7	5	15.36	17.23	16.30	12	58	0.18	0.87
W (Amplitud)	1.86	6	17.23	19.09	18.16	3	61	0.04	0.91
		7	19.09	20.95	20.02	6	67	0.09	1.00
TOTAL						67	1.00		

4.4. Moto lineal

Tabla 24. Velocidades de motos lineales

N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)
1	2.56	15	21.09	14	3.5	15	15.43	27	2.53	15	21.34
2	3.86	15	13.99	15	3.46	15	15.61	28	5.29	15	10.21
3	3.3	15	16.36	16	3.48	15	15.52	29	2.78	15	19.42
4	3.57	15	15.13	17	3.58	15	15.08	30	2.98	15	18.12
5	2.88	15	18.75	18	3.39	15	15.93	31	4.13	17.4	15.17
6	2.34	15	23.08	19	2.47	15	21.86	32	4.46	17.4	14.04
7	7.63	15	7.08	20	3.7	15	14.59	33	5.2	17.4	12.05
8	2.47	15	21.86	21	3.1	15	17.42	34	4.47	17.4	14.01
9	4.23	15	12.77	22	2.97	15	18.18	35	5.55	17.4	11.29
10	3.04	15	17.76	23	3.31	15	16.31			μ	16.20
11	2.23	15	24.22	24	4.37	15	12.36			σ	3.86
12	3.9	15	13.85	25	4.48	15	12.05				
13	2.65	15	20.38	26	3.71	15	14.56				

Tabla 25. Tabla de frecuencias de velocidades deseadas de la moto lineal

Parámetros:		Grupo	Lím. Inf.	Lím Sup.	MC	fi	Fi	hi	Hi
n	35	1	7.08	9.93	8.51	1	1	0.03	0.03
Min	7.08	2	9.93	12.79	11.36	6	7	0.17	0.20
Max	24.22	3	12.79	15.65	14.22	12	19	0.34	0.54
Rango	17.14	4	15.65	18.50	17.07	7	26	0.20	0.74
K (# de grupos)	6	5	18.50	21.36	19.93	5	31	0.14	0.89
W (Amplitud)	2.86	6	21.36	24.22	22.79	4	35	0.11	1.00
TOTAL						35		1.00	

4.5. Camión

Tabla 26. Velocidades de camiones

N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)
1	5.15	15	10.49	10	3.33	15	16.22	19	7.14	17.4	8.77
2	3.69	15	14.63	11	6.4	15	8.44	20	6.89	17.4	9.09
3	4.69	15	11.51	12	5.88	15	9.18	21	6.5	17.4	9.64
4	4.18	15	12.92	13	7.6	15	7.11	22	6.7	17.4	9.35
5	5.2	15	10.38	14	9.8	15	5.51	23	7.01	17.4	8.94
6	3.75	15	14.40	15	9.02	15	5.99	24	6.8	17.4	9.21
7	4.5	15	12.00	16	7.8	15	6.92			μ	10.27
8	5.02	15	10.76	17	3.9	15	13.85			σ	2.73
9	4.99	15	10.82	18	6.1	17.4	10.27				

Tabla 27. Tabla de frecuencias de velocidades deseadas del camión

Parámetros:		Grupo	Lím. Inf.	Lím Sup.	MC	fi	Fi	hi	Hi
n	24	1	5.51	7.29	6.40	4	4	0.17	0.17
Min	5.51	2	7.29	9.08	8.19	3	7	0.13	0.29
Max	16.22	3	9.08	10.86	9.97	10	17	0.42	0.71
Rango	10.71	4	10.86	12.65	11.76	2	19	0.08	0.79
K (# de grupos)	6	5	12.65	14.43	13.54	3	22	0.13	0.92
W (Amplitud)	1.78	6	14.43	16.22	15.32	2	24	0.08	1.00
TOTAL						24	1.00		



ANEXO 5: VELOCIDAD DE GIRO

5.1. Desde jr. Tacna hacia jr. Los Incas

Tabla 28. Velocidades de giro a la derecha desde jr. Tacna hacia jr. Los Incas

N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)
1	5.94	14.2	8.61	14	5.18	14.2	9.87	27	6.51	14.2	7.85
2	5.02	14.2	10.18	15	6.04	14.2	8.46	28	5.66	14.2	9.03
3	5.99	14.2	8.53	16	5.05	14.2	10.12	29	5.57	14.2	9.18
4	6.73	14.2	7.60	17	7.5	14.2	6.82	30	6.7	14.2	7.63
5	7.01	14.2	7.29	18	5.78	14.2	8.84	31	4.71	14.2	10.85
6	5.45	14.2	9.38	19	5.59	14.2	9.14	32	4.66	14.2	10.97
7	5.19	14.2	9.85	20	7.04	14.2	7.26	33	4.59	14.2	11.14
8	4.89	14.2	10.45	21	6.54	14.2	7.82	34	8.82	14.2	5.80
9	5.26	14.2	9.72	22	5.79	14.2	8.83	35	8.17	14.2	6.26
10	5.78	14.2	8.84	23	6.83	14.2	7.48			μ	8.83
11	4.67	14.2	10.95	24	5.28	14.2	9.68			σ	1.43
12	6.56	14.2	7.79	25	7.81	14.2	6.55				
13	5.03	14.2	10.16	26	5.12	14.2	9.98				

Tabla 29. Tabla de frecuencias de velocidades de giro a la derecha desde jr. Tacna hacia jr. Los Incas

Parámetros:		Grupo	Lím. Inf.	Lím Sup.	MC	fi	Fi	hi	Hi
n	35	1	5.80	6.69	6.24	3	3	0.09	0.09
Min	5.80	2	6.69	7.58	7.13	4	7	0.11	0.20
Max	11.14	3	7.58	8.47	8.02	6	13	0.17	0.37
Rango	5.34	4	8.47	9.36	8.91	8	21	0.23	0.60
K (# de grupos)	6	5	9.36	10.25	9.80	9	30	0.26	0.86
W (Amplitud)	0.89	6	10.25	11.14	10.69	5	35	0.14	1.00
TOTAL						35		1.00	

5.2. Desde jr. Tacna hacia av. La Torre

Tabla 30. Velocidades de giro a la derecha desde jr. Tacna hacia av. La Torre

N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)
1	9.31	30.4	11.76	21	7.9	30.4	13.85	41	6.12	30.4	17.88
2	7.21	30.4	15.18	22	6.53	30.4	16.76	42	7.11	30.4	15.39
3	8.04	30.4	13.61	23	6.34	30.4	17.26	43	8.81	30.4	12.42
4	8.85	30.4	12.37	24	6.08	30.4	18.00	44	8.23	30.4	13.30
5	6.65	30.4	16.46	25	8.95	30.4	12.23	45	8.34	30.4	13.12
6	8.61	30.4	12.71	26	8.47	30.4	12.92	46	8.56	30.4	12.79
7	8.94	30.4	12.24	27	8.64	30.4	12.67	47	7.58	30.4	14.44
8	9.48	30.4	11.54	28	6.08	30.4	18.00	48	7.44	30.4	14.71
9	7.25	30.4	15.10	29	5.77	30.4	18.97	49	7.3	30.4	14.99
10	5.94	30.4	18.42	30	6.77	30.4	16.17	50	7.13	30.4	15.35
11	7.19	30.4	15.22	31	8.63	30.4	12.68	51	8.34	30.4	13.12
12	7.98	30.4	13.71	32	7.82	30.4	13.99	52	7.46	30.4	14.67
13	6.86	30.4	15.95	33	6.5	30.4	16.84	53	8.75	30.4	12.51
14	6.41	30.4	17.1	34	7.11	30.4	15.39	54	7.84	30.4	13.96
15	5.83	30.4	18.8	35	6.71	30.4	16.31	55	7.88	30.4	13.89
16	5.96	30.4	18.4	36	6.32	30.4	17.32	56	6.12	30.4	17.88
17	8.41	30.4	13	37	8.45	30.4	12.95	57	8.15	30.4	13.43
18	7.31	30.4	15	38	7.96	30.4	13.75	58	6.93	30.4	15.79
19	6.99	30.4	15.7	39	7.13	30.4	15.35				μ 14.84
20	7.14	30.4	15.3	40	8.91	30.4	12.28				σ 2.04

Tabla 31. Tabla de frecuencias de velocidades de giro a la derecha desde jr. Tacna hacia av. La Torre

Parámetros:		Grupo	Lím. Inf.	Lím Sup.	MC	fi	Fi	hi	Hi
n	58	1	11.54	12.60	12.07	8	8	0.14	0.14
Min	11.54	2	12.60	13.67	13.13	12	20	0.21	0.34
Max	18.97	3	13.67	14.73	14.20	9	29	0.16	0.50
Rango	7.42	4	14.73	15.79	15.26	11	40	0.19	0.69
K (# de grupos)	7	5	15.79	16.85	16.32	7	47	0.12	0.81
W (Amplitud)	1.06	6	16.85	17.91	17.38	5	52	0.09	0.90
		7	17.91	18.97	18.44	6	58	0.10	1.00
TOTAL						58	1.00		

5.3. Desde jr. Tacna hacia jr. Oquendo

Tabla 32. Velocidades de giro a la izquierda desde jr. Tacna hacia jr. Oquendo

N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)
1	3.95	15.5	14.13	25	3.99	15.5	13.98	49	4.33	15.5	12.89
2	3.75	15.5	14.88	26	4.01	15.5	13.92	50	4.86	15.5	11.48
3	3.3	15.5	16.91	27	4.49	15.5	12.43	51	4.8	15.5	11.63
4	4.33	15.5	12.89	28	4.82	15.5	11.58	52	3.38	15.5	16.51
5	5.53	15.5	10.09	29	3.1	15.5	18.00	53	5.19	15.5	10.75
6	4.13	15.5	13.51	30	5.5	15.5	10.15	54	5.37	15.5	10.39
7	3.98	15.5	14.02	31	3.19	15.5	17.49	55	5.33	15.5	10.47
8	5.36	15.5	10.41	32	3.57	15.5	15.63	56	4.16	15.5	13.41
9	3.99	15.5	13.98	33	3.71	15.5	15.04	57	4.22	15.5	13.22
10	4.51	15.5	12.37	34	4.3	15.5	12.98	58	3.91	15.5	14.27
11	4.85	15.5	11.51	35	4.9	15.5	11.39	59	4.88	15.5	11.43
12	5.41	15.5	10.31	36	5.43	15.5	10.28	60	3.82	15.5	14.61
13	3.83	15.5	14.57	37	3.42	15.5	16.32	61	4.01	15.5	13.92
14	4.48	15.5	12.46	38	4.2	15.5	13.29	62	4.3	15.5	12.98
15	2.83	15.5	19.72	39	4.61	15.5	12.10	63	4.6	15.5	12.13
16	5.26	15.5	10.61	40	5.33	15.5	10.47	64	4.83	15.5	11.55
17	4.26	15.5	13.10	41	3.17	15.5	17.60	65	5.3	15.5	10.53
18	4.31	15.5	12.95	42	4.23	15.5	13.19	66	4.26	15.5	13.10
19	4.09	15.5	13.64	43	5.21	15.5	10.71	67	4.01	15.5	13.92
20	3.27	15.5	17.06	44	4.99	15.5	11.18	68	4.47	15.5	12.48
21	4.49	15.5	12.43	45	5	15.5	11.16			μ	12.99
22	4.4	15.5	12.68	46	4.56	15.5	12.24			σ	2.18
23	5.58	15.5	10.00	47	4.87	15.5	11.46				
24	4.05	15.5	13.8	48	5.05	15.5	11				

Tabla 33. Tabla de frecuencias de velocidades de giro a la izquierda desde jr. Tacna hacia jr. Oquendo

Parámetros:		Grupo	Lím. Inf.	Lím Sup.	MC	fi	Fi	hi	Hi
n	68	1	10.00	11.39	10.69	17	17	0.25	0.25
Min	10.00	2	11.39	12.78	12.08	16	33	0.24	0.49
Max	19.72	3	12.78	14.16	13.47	21	54	0.31	0.79
Rango	9.72	4	14.16	15.55	14.86	5	59	0.07	0.87
K (# de grupos)	7	5	15.55	16.94	16.25	4	63	0.06	0.93
W (Amplitud)	1.39	6	16.94	18.33	17.64	4	67	0.06	0.99
		7	18.33	19.72	19.02	1	68	0.01	1.00
TOTAL						68	1.00		

5.4. Desde av. La Torre hacia jr. Los Incas

Tabla 34. Velocidades de giro a la derecha desde jr. Tacna hacia av. La Torre

N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)
1	7.68	30.8	14.44	21	6.15	30.8	18.03	41	6.18	30.8	17.94
2	6.64	30.8	16.70	22	7.35	30.8	15.09	42	7.28	30.8	15.23
3	7.14	30.8	15.53	23	7.96	30.8	13.93	43	7.7	30.8	14.40
4	8.63	30.8	12.85	24	9.1	30.8	12.18	44	8.08	30.8	13.72
5	8.18	30.8	13.56	25	7.98	30.8	13.89	45	6.98	30.8	15.89
6	7.32	30.8	15.15	26	7.54	30.8	14.71	46	7.32	30.8	15.15
7	6.89	30.8	16.09	27	7.92	30.8	14.00	47	6.7	30.8	16.55
8	6.59	30.8	16.83	28	6.69	30.8	16.57	48	6.61	30.8	16.77
9	5.82	30.8	19.05	29	6.45	30.8	17.19	49	9.06	30.8	12.24
10	6.41	30.8	17.30	30	8.54	30.8	12.98	50	6.15	30.8	18.03
11	6.38	30.8	17.38	31	8.82	30.8	12.57	51	7.41	30.8	14.96
12	7.08	30.8	15.66	32	5.83	30.8	19.02	52	6.63	30.8	16.72
13	8.53	30.8	13.00	33	6.99	30.8	15.86	53	6.39	30.8	17.35
14	8.46	30.8	13.1	34	6.9	30.8	16.07	54	6.3	30.8	17.6
15	6.89	30.8	16.1	35	9.17	30.8	12.09	55	9.9	30.8	11.2
16	9.19	30.8	12.1	36	9.01	30.8	12.31	56	6.27	30.8	17.68
17	7.8	30.8	14.2	37	9.31	30.8	11.91	57	6.61	30.8	16.77
18	6.05	30.8	18.3	38	9.4	30.8	11.8	58	6.36	30.8	17.43
19	7.55	30.8	14.7	39	8.46	30.8	13.11				μ 15.10
20	9.34	30.8	11.9	40	8.67	30.8	12.79				σ 2.14

Tabla 35. Tabla de frecuencias de velocidades de giro a la derecha desde jr. Tacna hacia av. La Torre

Parámetros:		Grupo	Lím. Inf.	Lím Sup.	MC	fi	Fi	hi	Hi
n	58	1	11.20	12.32	11.76	9	9	0.16	0.16
Min	11.20	2	12.32	13.44	12.88	7	16	0.12	0.28
Max	19.05	3	13.44	14.56	14.00	8	24	0.14	0.41
Rango	7.85	4	14.56	15.69	15.13	9	33	0.16	0.57
K (# de grupos)	7	5	15.69	16.81	16.25	11	44	0.19	0.76
W (Amplitud)	1.12	6	16.81	17.93	17.37	8	52	0.14	0.90
		7	17.93	19.05	18.49	6	58	0.10	1.00
TOTAL						58	1.00		

5.5. Desde jr. Los Incas hacia av. La Torre

Tabla 36. Velocidades de giro a la izquierda desde jr. Los Incas hacia av. La Torre

N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)
1	3.87	17.4	16.19	25	5.26	17.4	11.91	49	4.25	17.4	14.74
2	4.07	17.4	15.39	26	4.99	17.4	12.55	50	5.15	17.4	12.16
3	4.85	17.4	12.92	27	4.7	17.4	13.33	51	4.97	17.4	12.60
4	4.64	17.4	13.50	28	4.59	17.4	13.65	52	3.75	17.4	16.70
5	4.53	17.4	13.83	29	4.96	17.4	12.63	53	4.81	17.4	13.02
6	4.47	17.4	14.01	30	4.55	17.4	13.77	54	4.41	17.4	14.20
7	4.23	17.4	14.81	31	4.26	17.4	14.70	55	3.88	17.4	16.14
8	5.16	17.4	12.14	32	4.03	17.4	15.54	56	3.59	17.4	17.45
9	5.51	17.4	11.37	33	3.96	17.4	15.82	57	5.02	17.4	12.48
10	5.41	17.4	11.58	34	6.57	17.4	9.53	58	5.06	17.4	12.38
11	4.43	17.4	14.14	35	4.57	17.4	13.71	59	4.27	17.4	14.67
12	5.73	17.4	10.93	36	6.85	17.4	9.14	60	4.39	17.4	14.27
13	4.25	17.4	14.74	37	5.36	17.4	11.69	61	4.39	17.4	14.27
14	4.3	17.4	14.57	38	4.81	17.4	13.02	62	5	17.4	12.53
15	4.06	17.4	15.43	39	4.46	17.4	14.04	63	4.38	17.4	14.30
16	4.9	17.4	12.78	40	5.2	17.4	12.05	64	5.05	17.4	12.40
17	5.18	17.4	12.09	41	4.26	17.4	14.70	65	4.78	17.4	13.10
18	4.96	17.4	12.63	42	3.76	17.4	16.66	66	5.16	17.4	12.14
19	5.06	17.4	12.38	43	4.48	17.4	13.98	67	4.19	17.4	14.95
20	4.4	17.4	14.24	44	4.26	17.4	14.70	68	4.79	17.4	13.08
21	4.48	17.4	13.98	45	4.55	17.4	13.77	69	4.38	17.4	14.3
22	5.76	17.4	10.88	46	5.07	17.4	12.36	70	5.08	17.4	12.33
23	4.67	17.4	13.41	47	4.18	17.4	14.99				μ 13.54
24	4.1	17.4	15.3	48	5.2	17.4	12				σ 1.61

Tabla 37. Tabla de frecuencias de velocidades de giro a la derecha desde jr. Jirón Los Incas hacia av. La Torre

Parámetros:		Grupo	Lím. Inf.	Lím Sup.	MC	fi	Fi	hi	Hi
n	70	1	9.14	10.33	9.74	2	2	0.03	0.03
Min	9.14	2	10.33	11.52	10.92	3	5	0.04	0.07
Max	17.45	3	11.52	12.70	12.11	20	25	0.29	0.36
Rango	8.30	4	12.70	13.89	13.30	14	39	0.20	0.56
K (# de grupos)	7	5	13.89	15.08	14.48	21	60	0.30	0.86
W (Amplitud)	1.19	6	15.08	16.26	15.67	7	67	0.10	0.96
		7	16.26	17.45	16.86	3	70	0.04	1.00
TOTAL						70	1.00		

ANEXO 6: AFORO PEATONAL

6.1. Origen 1

Tabla 38. Aforo peatonal - Origen 1

Periodo	Número de personas					
11:45 am 12:00 pm	2	10	21	1	30	53
12:00 pm 12:15 pm	1	10	18	0	37	31
12:15 pm 12:30 pm	10	8	40	2	57	53
12:30 pm 12:45 pm	12	9	62	0	74	60
SUBTOT	25	37	141	3	198	197
TOTAL	601					

6.2. Origen 2

Tabla 39. Aforo peatonal - Origen 2

Periodo	Número de personas			
11:45 am - 12:00 pm	30	4	6	29
12:00 pm - 12:15 pm	24	18	5	29
12:15 pm - 12:30 pm	37	3	3	36
12:30 pm - 12:45 pm	42	14	18	37
SUBTOT	133	39	32	131
TOTAL	335			

6.3. Origen 3

Tabla 40. Aforo peatonal - Origen 3

Periodo	Número de personas					
						
11:45 am - 12:00 pm	62	4	18	46	12	59
12:00 pm - 12:15 pm	48	8	33	46	30	42
12:15 pm - 12:30 pm	71	9	27	116	13	63
12:30 pm - 12:45 pm	95	3	22	144	33	59
SUBTOT	276	24	100	352	88	223
TOTAL	1063					

6.4. Origen 4

Tabla 41. Aforo peatonal - Origen 4

Periodo	Número de personas			
				
11:45 am - 12:00 pm	21	154	46	10
12:00 pm - 12:15 pm	18	137	55	7
12:15 pm - 12:30 pm	24	262	70	14
12:30 pm - 12:45 pm	31	418	90	13
SUBTOT	94	971	261	44
TOTAL	1370			

ANEXO 7: VELOCIDAD DE PEATONES

7.1. Cruce peatonal en jirón Tacna

Tabla 42. Velocidades de peatones en el cruce peatonal de jirón Tacna

N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)
1	5.05	6.7	4.78	12	6.03	6.7	4.00	23	5.43	6.7	4.44
2	6.03	6.7	4.00	13	5.11	6.7	4.72	24	6.87	6.7	3.51
3	6.14	6.7	3.93	14	5.62	6.7	4.29	25	5.37	6.7	4.49
4	5.55	6.7	4.35	15	5.23	6.7	4.61	26	5.73	6.7	4.21
5	6.13	6.7	3.93	16	5.13	6.7	4.70	27	5.23	6.7	4.61
6	4.89	6.7	4.93	17	5.68	6.7	4.25	28	4.49	6.7	5.37
7	5.15	6.7	4.68	18	6.07	6.7	3.97	29	6.18	6.7	3.90
8	5.53	6.7	4.36	19	5.51	6.7	4.38	30	5.13	6.7	4.70
9	6.2	6.7	3.89	20	5.91	6.7	4.08			μ	4.38
10	4.85	6.7	4.97	21	5.06	6.7	4.77			σ	0.41
11	5.27	6.7	4.58	22	6.07	6.7	3.97				

Tabla 43. Tabla de frecuencias de velocidades de peatones – Cruce jirón Tacna

Parámetros:		Grupo	Lím. Inf.	Lím Sup.	MC	fi	Fi	hi	Hi
n	30	1	3.51	3.82	3.67	1	1	0.03	0.03
Min	3.51	2	3.82	4.13	3.98	9	10	0.30	0.33
Max	5.37	3	4.13	4.44	4.29	6	16	0.20	0.53
Rango	1.86	4	4.44	4.75	4.60	9	25	0.30	0.83
K (# de grupos)	6	5	4.75	5.06	4.91	4	29	0.13	0.97
W (Amplitud)	0.31	6	5.06	5.37	5.22	1	30	0.03	1.00
TOTAL						30	1.00		

7.2. Cruce peatonal en jirón Oquendo

Tabla 44. Velocidades de peatones en el cruce peatonal de jirón Oquendo

N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)
1	8.5	11.4	4.83	12	7.07	11.4	5.80	23	7.42	11.4	5.53
2	8.35	11.4	4.91	13	7.9	11.4	5.19	24	8.41	11.4	4.88
3	8.41	11.4	4.88	14	7.16	11.4	5.73	25	7.63	11.4	5.38
4	8.8	11.4	4.66	15	7.93	11.4	5.18	26	7.97	11.4	5.15
5	7.92	11.4	5.18	16	8.21	11.4	5.00	27	8.53	11.4	4.81
6	8.15	11.4	5.04	17	8.46	11.4	4.85	28	7.76	11.4	5.29
7	8.01	11.4	5.12	18	8.15	11.4	5.04	29	8.21	11.4	5.00
8	7.63	11.4	5.38	19	7.61	11.4	5.39	30	7.63	11.4	5.38
9	8.79	11.4	4.67	20	6.53	11.4	6.28			μ	5.18
10	8.54	11.4	4.81	21	8.29	11.4	4.95			σ	0.42
11	8.36	11.4	4.91	22	6.5	11.4	6.31				

Tabla 45. Tabla de frecuencias de velocidades de peatones – Cruce jirón Oquendo

Parámetros:		Grupo	Lím. Inf.	Lím Sup.	MC	fi	Fi	hi	Hi
n	30	1	4.66	4.94	4.80	10	10	0.33	0.33
Min	4.66	2	4.94	5.21	5.08	10	20	0.33	0.67
Max	6.31	3	5.21	5.49	5.35	5	25	0.17	0.83
Rango	1.65	4	5.49	5.76	5.63	2	27	0.07	0.90
K (# de grupos)	6	5	5.76	6.04	5.90	1	28	0.03	0.93
W (Amplitud)	0.28	6	6.04	6.31	6.18	2	30	0.07	1.00
TOTAL						30		1.00	

7.3. Cruce peatonal en avenida La Torre

Tabla 46. Velocidades de peatones en el cruce peatonal de avenida La Torre

N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)
1	8.4	11.6	4.97	12	8.91	11.6	4.69	23	8.46	11.6	4.94
2	8.63	11.6	4.84	13	8.97	11.6	4.66	24	9.47	11.6	4.41
3	8.42	11.6	4.96	14	8.78	11.6	4.76	25	7.37	11.6	5.67
4	7.37	11.6	5.67	15	9.2	11.6	4.54	26	8.99	11.6	4.65
5	7.86	11.6	5.31	16	8.63	11.6	4.84	27	7.77	11.6	5.37
6	8.45	11.6	4.94	17	8.42	11.6	4.96	28	8.61	11.6	4.85
7	8.96	11.6	4.66	18	8.33	11.6	5.01	29	5.04	11.6	8.28
8	6.75	11.6	6.19	19	9.38	11.6	4.45	30	6.53	11.6	6.40
9	9.43	11.6	4.43	20	8.54	11.6	4.89			μ	5.11
10	8.56	11.6	4.88	21	8.23	11.6	5.07			σ	0.76
11	7.92	11.6	5.27	22	8.57	11.6	4.87				

Tabla 47. Tabla de frecuencias de velocidades de peatones – Cruce avenida La Torre

Parámetros:		Grupo	Lím. Inf.	Lím Sup.	MC	fi	Fi	hi	Hi
n	30	1	4.41	5.05	4.73	21	21	0.70	0.70
Min	4.41	2	5.05	5.70	5.38	6	27	0.20	0.90
Max	8.28	3	5.70	6.34	6.02	1	28	0.03	0.93
Rango	3.87	4	6.34	6.99	6.67	1	29	0.03	0.97
K (# de grupos)	6	5	6.99	7.63	7.31	0	29	0.00	0.97
W (Amplitud)	0.65	6	7.63	8.28	7.96	1	30	0.03	1.00
TOTAL						30		1.00	

7.4. Cruce peatonal en jirón Los Incas

Tabla 48. Velocidades de peatones en el cruce peatonal de jirón Los Incas

N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)	N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)
1	8.61	10.3	4.31	12	8.5	10.3	4.36	23	9.52	10.3	3.89
2	8.7	10.3	4.26	13	7.81	10.3	4.75	24	9.88	10.3	3.75
3	8.33	10.3	4.45	14	9.46	10.3	3.92	25	8.99	10.3	4.12
4	8.47	10.3	4.38	15	8.43	10.3	4.40	26	8.16	10.3	4.54
5	8.73	10.3	4.25	16	8.67	10.3	4.28	27	9.74	10.3	3.81
6	8.86	10.3	4.19	17	10.9	10.3	3.39	28	8.08	10.3	4.59
7	9.15	10.3	4.05	18	8.97	10.3	4.13	29	8.89	10.3	4.17
8	8.68	10.3	4.27	19	6.44	10.3	5.76	30	8.78	10.3	4.22
9	6.16	10.3	6.02	20	8.93	10.3	4.15				μ 4.36
10	7.83	10.3	4.74	21	7.91	10.3	4.69				σ 0.52
11	7.76	10.3	4.78	22	8.94	10.3	4.15				

Tabla 49. Tabla de frecuencias de velocidades de peatones – Cruce jirón Los Incas

Parámetros:		Grupo	Lím. Inf.	Lím Sup.	MC	fi	Fi	hi	Hi
n	30	1	3.39	3.83	3.61	3	3	0.10	0.10
Min	3.39	2	3.83	4.27	4.05	12	15	0.40	0.50
Max	6.02	3	4.27	4.70	4.49	10	25	0.33	0.83
Rango	2.63	4	4.70	5.14	4.92	3	28	0.10	0.93
K (# de grupos)	6	5	5.14	5.58	5.36	0	28	0.00	0.93
W (Amplitud)	0.44	6	5.58	6.02	5.80	2	30	0.07	1.00
TOTAL						30		1.00	

ANEXO 8: TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR – CALIBRACIÓN

Tabla 50. Tiempos de viaje vehicular - calibración

Tiempo (s)					
Tramo 1 (Av. La Torre)		Tramo 2 (Jr. Los Incas)		Tramo 3 (Jr. Tacna)	
4.54	4.82	3.2	3.75	7.02	5.01
4.43	4.33	4.1	4.22	5.89	5.77
4.31	3.82	3.9	4.56	5.66	4.9
4.34	3.89	4.76	4.48	9.33	4.3
3.57	4.24	3.87	4.14	5.13	4.63
4.46	3.37	4.91	4.75	4.63	4.52
3.29	3.56	4.07	4.04	4.34	4.64
4.71	3.86	4.7	3.55	5.12	4.82
5.59	3.91	4.57	4.35	5.2	4.99
4.06	3.57	4.39	4.2	4.15	5.97
4.44	4.85	3.35	4.4	4.71	4.79
5.06	4.87	4.48	4.14	4.95	4.96
4.96	6.1	3.42	3.25	4.32	6.11
5.88	5.11	4.46	3.29	4.41	4.23
5.1	4.1	4.23	3.82	6.18	5.2
5.63	4.47	4.32	3.47	4.38	5.6
4.02	5.06	3.5	4.96	4.61	4.32
3.8	3.81	3.5	3.73	5.27	5.55
6.19	5.84	4.63	3.79	6.51	5.95
5.59	4.01	2.96	4	4.03	6.7
5.68	4.98	4.75	5.25	4.48	4.52
6.1	5.74	3.51	3.76	4.64	4.42
5.23	4.28	4.97	5.38	4.62	5.01
4.55	4.94	4.94	5.37	5.98	5.33
5.61	5.21	4.36	4.94	4.78	6.16
μ	4.68	μ	4.19	μ	5.17
σ	0.79	σ	0.60	σ	0.94

ANEXO 9: TIEMPOS DE VIAJE PEATONAL – CALIBRACIÓN

Tabla 51. Tiempos de viaje peatonal - calibración

Tiempo (s)			
Tramo A (Av. La Torre)		Tramo B (Jr. Tacna)	
10.6	10.99	6.89	10.35
14.2	9.8	7.21	12.25
9.55	9.91	6.39	9.59
7.89	10.06	10.5	3.01
10.65	15.69	7.7	6.99
14.74	11.2	8.19	7.89
11.46	16.2	7.95	10.1
13.12	10.43	7.79	4.5
13.02	11.28	9.65	8.95
19.91	13.14	3.19	10.86
13.79	11.14	6.25	8.5
15.41	13.74	5.85	8.74
10.97	11.99	8.62	7.92
11.15	12.16	8.38	10.04
10.2	9.98	5.66	9.93
13.63	12.85	7.66	10.01
18.52	10.89	7.8	9.88
8.33	10.9	4.73	4.23
10.38	8.76	6.1	12.2
14.54	13.95	4.25	13.5
8.23	15.09	8.19	9.1
12.9	10.1	7.79	9.5
13.5	11.02	7.83	7.94
9.47	8.85	7.25	8.01
10.45	10.99	6.28	10.51
μ	11.95	μ	8.05
σ	2.55	σ	2.25

ANEXO 10: FLUJO VEHICULAR POR CARRIL – VALIDACIÓN

Tabla 52. Flujo vehicular carril 1 con dirección a Jr. Oquendo - Validación

Periodo	Hacia Jr. Oquendo (Carril Derecho)						Hacia Jr. Oquendo (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
12:45 pm - 1:00 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00 pm - 1:15 pm	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:15 pm - 1:30 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:30 pm - 1:45 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBTOTAL	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	3						0					

Tabla 53. Flujo vehicular carril 1 con dirección a Av. La Torre - Validación

Periodo	Hacia Av. La Torre (Carril Derecho)						Hacia Av. La Torre (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
12:45 pm - 1:00 pm	1	5	0	0	0	0	6	10	2	0	0	0
1:00 pm - 1:15 pm	0	3	1	0	0	0	18	9	1	1	0	0
1:15 pm - 1:30 pm	6	3	2	0	0	0	15	6	5	5	0	0
1:30 pm - 1:45 pm	0	5	1	1	0	0	26	8	3	1	0	0
SUBTOTAL	7	16	4	1	0	0	65	33	11	7	0	0
TOTAL	28						116					

Tabla 54. Flujo vehicular carril 1 con dirección a Jr. Los Incas - Validación

Periodo	Hacia Jr. Los Incas (Carril Derecho)						Hacia Jr. Los Incas (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
12:45 pm - 1:00 pm	0	0	0	0	3	0	4	0	0	0	0	0
1:00 pm - 1:15 pm	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0
1:15 pm - 1:30 pm	3	0	0	1	0	0	3	0	2	0	0	0
1:30 pm - 1:45 pm	2	1	1	0	1	0	5	0	1	0	0	0
SUBTOTAL	5	1	1	1	4	0	14	0	4	0	0	0
TOTAL	12						18					

Tabla 55. Flujo vehicular carril 2 con dirección a Jr. Oquendo - Validación

Periodo	Hacia Jr. Oquendo (Carril Derecho)						Hacia Jr. Oquendo (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
12:45 pm - 1:00 pm	0	0	1	1	0	0	3	0	1	0	0	0
1:00 pm - 1:15 pm	2	0	0	0	0	0	6	0	0	1	0	0
1:15 pm - 1:30 pm	0	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	0
1:30 pm - 1:45 pm	0	0	2	0	0	0	5	0	0	0	1	0
SUBTOTAL	2	0	3	1	0	0	19	0	1	2	1	0
TOTAL	6						23					

Tabla 56. Flujo vehicular carril 2 con dirección a Av. La Torre - Validación

Periodo	Hacia Av. La Torre (Carril Derecho)						Hacia Av. La Torre (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
12:45 pm - 1:00 pm	2	0	1	0	0	0	16	2	3	0	0	0
1:00 pm - 1:15 pm	2	1	3	0	0	0	19	2	4	0	0	0
1:15 pm - 1:30 pm	1	0	0	0	0	1	15	0	0	1	0	1
1:30 pm - 1:45 pm	13	0	5	0	0	0	30	0	5	2	0	0
SUBTOTAL	18	1	9	0	0	1	80	4	12	3	0	1
TOTAL	29						100					

Tabla 57. Flujo vehicular carril 2 con dirección a Jr. Los Incas - Validación

Periodo	Hacia Jr. Los Incas (Carril Derecho)						Hacia Jr. Los Incas (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
12:45 pm - 1:00 pm	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0
1:00 pm - 1:15 pm	0	0	0	0	0	0	4	0	2	0	2	0
1:15 pm - 1:30 pm	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
1:30 pm - 1:45 pm	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0
SUBTOTAL	0	0	1	0	1	0	9	0	5	0	3	0
TOTAL	2						17					

Tabla 58. Flujo vehicular carril 3 con dirección a Jr. Oquendo - Validación

Periodo	Hacia Jr. Oquendo (Carril Derecho)						Hacia Jr. Oquendo (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
12:45 pm - 1:00 pm	3	0	0	0	0	0	8	0	3	0	0	0
1:00 pm - 1:15 pm	0	0	0	0	0	0	8	1	3	0	0	1
1:15 pm - 1:30 pm	10	0	2	0	0	0	24	0	3	1	0	0
1:30 pm - 1:45 pm	8	0	0	0	0	0	22	1	1	0	1	0
SUBTOTAL	21	0	2	0	0	0	62	2	10	1	1	1
TOTAL	23						77					

Tabla 59. Flujo vehicular carril 3 con dirección a Av. La Torre - Validación

Periodo	Hacia Av. La Torre (Carril Derecho)						Hacia Av. La Torre (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
12:45 pm - 1:00 pm	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0
1:00 pm - 1:15 pm	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
1:15 pm - 1:30 pm	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1:30 pm - 1:45 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBTOTAL	1	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0
TOTAL	1						15					

Tabla 60. Flujo vehicular carril 3 con dirección a Jr. Los Incas - Validación

Periodo	Hacia Av. La Torre (Carril Derecho)						Hacia Av. La Torre (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
12:45 pm - 1:00 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
1:00 pm - 1:15 pm	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
1:15 pm - 1:30 pm	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
1:30 pm - 1:45 pm	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SUBTOTAL	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	3	0
TOTAL	3						5					

Tabla 61. Flujo vehicular carril 4 con dirección a Jr. Los Incas - Validación

Periodo	Hacia Jr. Los Incas (Carril Derecho)						Hacia Jr. Los Incas (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
12:45 pm - 1:00 pm	15	0	4	0	0	0	0	14	0	0	0	0
1:00 pm - 1:15 pm	7	3	2	0	0	0	0	11	0	0	0	0
1:15 pm - 1:30 pm	6	15	0	1	0	1	0	13	0	0	0	0
1:30 pm - 1:45 pm	19	0	0	1	1	0	1	24	0	0	0	0
SUBTOTAL	47	18	6	2	1	1	1	62	0	0	0	0
TOTAL	75						63					

Tabla 62. Flujo vehicular carril 5 con dirección a Jr. Los Incas - Validación

Periodo	Hacia Jr. Los Incas (Carril Derecho)						Hacia Jr. Los Incas (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
12:45 pm - 1:00 pm	0	0	0	0	0	0	12	39	5	1	0	0
1:00 pm - 1:15 pm	0	4	0	0	0	0	14	28	3	1	0	1
1:15 pm - 1:30 pm	5	2	0	0	0	0	12	23	6	0	0	0
1:30 pm - 1:45 pm	0	0	0	0	0	0	19	28	6	0	0	0
SUBTOTAL	5	6	0	0	0	0	57	118	20	2	0	1
TOTAL	11						198					

Tabla 63. Flujo vehicular carril 6 con dirección a Av. La Torre - Validación

Periodo	Hacia Av. La Torre (Carril Derecho)						Hacia Av. La Torre (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
12:45 pm - 1:00 pm	10	10	10	0	2	0	0	0	0	0	0	0
1:00 pm - 1:15 pm	12	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:15 pm - 1:30 pm	12	13	14	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1:30 pm - 1:45 pm	13	16	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SUBTOTAL	47	45	34	0	4	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	130						0					

Tabla 64. Flujo vehicular carril 6 con dirección a Jr. Oquendo - Validación

Periodo	Hacia Av. La Torre (Carril Derecho)						Hacia Av. La Torre (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
12:45 pm - 1:00 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00 pm - 1:15 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:15 pm - 1:30 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:30 pm - 1:45 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBTOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0						0					

Tabla 65. Flujo vehicular carril 7 con dirección a Av. La Torre - Validación

Periodo	Hacia Av. La Torre (Carril Derecho)						Hacia Av. La Torre (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
12:45 pm - 1:00 pm	0	0	0	0	0	0	49	7	12	0	0	0
1:00 pm - 1:15 pm	0	0	0	0	0	0	57	11	13	0	0	0
1:15 pm - 1:30 pm	0	0	0	0	0	0	38	5	8	3	0	0
1:30 pm - 1:45 pm	0	0	0	0	0	0	52	4	24	2	0	1
SUBTOTAL	0	0	0	0	0	0	196	27	57	5	0	1
TOTAL	0						286					

Tabla 66. Flujo vehicular carril 7 con dirección a Jr. Oquendo - Validación

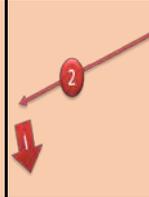
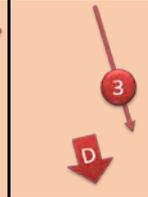
Periodo	Hacia Jr. Oquendo (Carril Derecho)						Hacia Jr. Oquendo (Carril Izquierdo)					
	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión	Auto	Camioneta rural	Mototaxi	Moto	Triciclo	Camión
12:45 pm - 1:00 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
1:00 pm - 1:15 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
1:15 pm - 1:30 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
1:30 pm - 1:45 pm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
SUBTOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
TOTAL	0						15					



ANEXO 11: AFORO PEATONAL - VALIDACIÓN

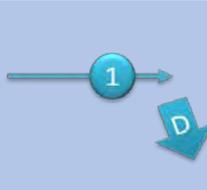
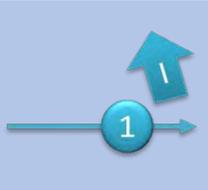
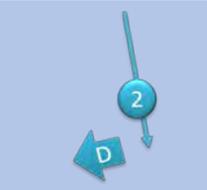
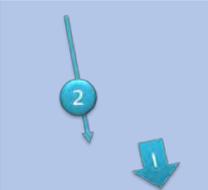
6.1. Origen 1

Tabla 67. Aforo peatonal validación - Origen 1

Periodo	Número de personas					
						
12:45 pm - 1:00 pm	7	10	57	14	50	63
1:00 pm - 1:15 pm	12	17	29	8	59	67
1:15 pm - 1:30 pm	7	7	29	9	63	38
1:30 pm - 1:45 pm	14	7	24	4	82	67
SUBTOT	40	41	139	35	254	235
TOTAL	744					

6.2. Origen 2

Tabla 68. Aforo peatonal validación - Origen 2

Periodo	Número de personas			
				
12:45 pm - 1:00 pm	30	10	13	40
1:00 pm - 1:15 pm	43	5	9	51
1:15 pm - 1:30 pm	44	9	15	56
1:30 pm - 1:45 pm	59	3	31	41
SUBTOT	176	27	68	188
TOTAL	459			

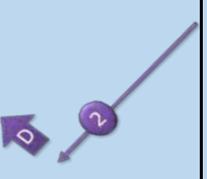
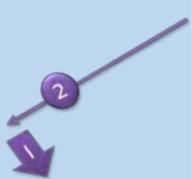
6.3. Origen 3

Tabla 69. Aforo peatonal validación - Origen 3

Periodo	Número de personas					
						
12:45 pm - 1:00 pm	43	6	33	82	38	50
1:00 pm - 1:15 pm	59	9	13	37	22	35
1:15 pm - 1:30 pm	65	8	19	54	35	66
1:30 pm - 1:45 pm	61	9	25	49	28	53
SUBTOT	228	32	90	222	123	204
TOTAL	899					

6.4. Origen 4

Tabla 70. Aforo peatonal validación- Origen 4

Periodo	Número de personas			
				
12:45 pm - 1:00 pm	20	180	63	7
1:00 pm - 1:15 pm	11	145	66	12
1:15 pm - 1:30 pm	18	191	68	2
1:30 pm - 1:45 pm	22	178	61	12
SUBTOT	71	694	258	33
TOTAL	1056			

ANEXO 12: TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR – VALIDACIÓN

Tabla 71. Tiempos de viaje vehicular - validación

Tiempo (s)					
Tramo 1 (Av. La Torre)		Tramo 2 (Jr. Los Incas)		Tramo 3 (Jr. Tacna)	
7.49	4.02	4.9	2.66	6.97	7.93
8.14	4.14	2.88	3.23	3.79	6.06
5.06	4.6	3.74	4.91	5.28	2.98
3.08	4.61	2.9	6.11	5.05	3.41
4.57	4.48	3.52	6.53	4.31	4.8
6.06	5.99	4.1	4.14	3.79	5.07
3.78	5.37	5.79	5.78	5.83	5.68
5.94	6.45	3.83	4.28	5.3	4.89
5.34	4.86	3.03	4.51	4.19	4.15
10.26	5.58	3.63	4.15	4.79	5.02
5.6	4.73	4.25	4.22	4.4	4.75
9.61	2.14	2.16	4.03	2.81	4.8
4.78	4.6	2.87	3.56	6.26	6.61
4.27	5.39	4.19	5.15	6.67	5.01
3.7	4.46	4.15	6.03	3.93	4.2
2.63	6.21	2.81	4.5	5.91	4.81
6.26	3.22	2.62	2.81	3.34	3.89
4.78	4.85	3.45	5.02	5.5	6.88
4.94	3.97	3.22	5	6.8	4.65
5.28	5.08	2.92	2.99	4	4.62
6.13	4.56	3.18	3.16	6.59	4.74
4.45	3.5	5.33	5.9	5.89	3.99
5.13	5.8	4.03	5.12	7.42	5.1
3.87	3.04	4.11	6.03	5.39	4.66
3.69	5.09	3.83	2.88	4.37	5.32
μ	5.03	μ	4.08	μ	5.05
σ	1.53	σ	1.10	σ	1.15

ANEXO 13: TIEMPOS DE VIAJE PEATONAL – VALIDACIÓN

Tabla 72. Tiempos de viaje peatonal - validación

Tiempo (s)			
Tramo A (Av. La Torre)		Tramo B (Jr. Tacna)	
10.31	8.72	7.69	6.07
10.59	8.24	8.53	9.23
15.83	10.86	7.93	9.48
14.98	6.93	6.29	8.99
10.85	11.01	7.24	9.46
10.96	8.58	9.62	5.99
11.01	10.75	6.92	9.2
10.66	19.9	7.01	8.42
11.23	9.4	6.54	9.33
9.66	17.8	7.28	9.68
11.52	11.95	8.58	8.95
9.53	8.8	7.52	10.56
9.79	9.96	7.1	9.59
9.17	10.95	11.51	7.09
15.45	13.56	8.35	6.52
14.98	12.68	6.84	7.8
15.46	11.53	6.24	9.97
13.99	13.5	7.46	8.46
14.01	15.41	12.01	11.56
13.17	8.95	4.04	10.35
11.33	12.69	6.9	8.95
11.54	14.57	6.15	9.42
15.51	12.9	6.78	9.01
11.05	11.68	6.09	7.95
12.54	13.1	7.52	10.31
μ	11.99	μ	8.21
σ	2.62	σ	1.66

ANEXO 14: LISTA DE CHEQUEOS

14.1. Lista de chequeos

Tabla 73. Lista de chequeos

	ITEM	SI	NO	NA	OBSERVACIONES	FIGURA
1. ENTORNO Y ACCESOS						
1.1.	¿El entorno en estudio es predominantemente comercial?	X			Se encuentra el mercado central ubicado en la esquina de jirón Tacna con jirón Oquendo y, además, el Centro Comercial Plaza en el jirón Tacna.	1,2
1.2.	¿Están los accesos vehiculares separados de los peatonales?	X			Las veredas se encuentran a diferente nivel que la calzada.	3
1.3.	¿El ángulo de entrada a la intersección es el adecuado en todos los accesos?		X		El ángulo de entrada de jirón Los Incas hacia la avenida La Torre es ligeramente menor que 90°.	-
1.4.	¿Es la salida vehicular suficientemente visible para los vehículos que se aproximan a ella por la vía?		X		Dado que es una intersección desplazada, la visibilidad del jirón Tacna hacia la avenida La Torre no se logra sino hasta estar apunto de entrar al area de conflicto.	4
1.5.	¿Las entradas y salidas poseen un ancho de carril constante?		X			5
2. CIRCULACIÓN Y CRUCES PEATONALES						
2.1.	¿Es el ancho de las aceras adecuado para la demanda peatonal?		X		Se presencia a peatones caminar por los carriles de vehículos.	6
2.2.	Si existen rampas en la zona, ¿son adecuadas para la circulación de usuarios vulnerales?		X		Las tres rampas ubicadas en la intersección se ubican en las esquinas de las aceras y tienen pronunciada. Además, se ubica un poste en medio de esta.	7
2.3.	¿Las aceras se encuentran libres de obstáculos (árboles, postes, letreros, mobiliario vial o urbano) para no obligar a los peatones a transitar por la calzada?		X		Se encuentran postes de luz y de señalización vertical ubicados en las aceras que reducen el área efectiva de la vereda.	8
2.4.	Si se trata de una zona predominantemente comercial, ¿existen vendedores ambulantes en las aceras?	X				9

	ITEM	SI	NO	NA	OBSERVACIONES	FIGURA
2. CIRCULACIÓN Y CRUCES PEATONALES						
2.5.	¿Existe un circuito claro para el desplazamiento de los peatones?		X		En los cruces de jirón Los Incas y jirón Oquendo no hay una ruta clara, los peatones cruzan de acuerdo a su destino.	10
2.6.	Si existen, ¿las islas y las medianas tienen un ancho adecuado para los probables usuarios?, caso contrario, ¿hay espacio suficiente para que se provean?			X		-
2.7.	¿La ubicación de las líneas de cebra corresponde a las líneas de deseo de los peatones?		X		En los cruces de jirón Los Incas y jirón Oquendo algunos peatones cruzan de acuerdo a su destino, haciendo caso omiso a las líneas peatonales.	10
2.8.	¿Los cruceros peatonales son lo suficientemente anchos para el flujo presente?	X				-
2.9.	¿Los cruceros peatonales se encuentran en buen estado?		X		Existe notable desgaste en los cruceros peatonales, casi ni se notan.	11
2.10.	¿La superficie de las veredas se encuentran en buen estado?		X		En casi todas las aceras hay notorios daños sobre la superficie.	12
2.11.	Si los vehículos están detenidos, ¿cruzan los peatones entre los vehículos?	X				13
2.12.	¿Se estacionan vehículos en las aceras?		X			-
2.13.	¿Existe conflicto entre peatones y vehículos en el sistema?	X			Sobretudo en el jirón Oquendo.	14
2.14.	¿Se encuentran los cruceros peatonales a nivel de la calzada?		X			-
2.15.	¿El cruce peatonal se encuentra libre de obstrucciones?		X			15
2.16.	¿Existen áreas de espera y encuentro?	X			Existen bancas de concreto al costado de cada estacionamiento en diagonal; sin embargo, están deterioradas.	16
2.17.	¿Los vehículos que giran ponen en riesgo a los peatones?	X				14
2.18.	¿Están los movimientos peatonales canalizados?		X			13

	ITEM	SI	NO	NA	OBSERVACIONES	FIGURA
3. CIRCULACIÓN VEHICULAR						
3.1.	¿La configuración de la intersección es clara de manera que los conductores puedan maniobrar en ella de manera segura?		X		No se encuentra señalización en la zona, ni vertical, ni horizontal.	-
3.2.	¿La superficie de rodadura presenta deterioro (huecos, surcos, etc.)?	X			Se observa deterioro grave; existen fisuras visibles, e incluso huecos.	17
3.3.	¿Se presencian conflictos entre los tipos de vehículos?	X			Se presencia una clara preferencia de los vehículos motorizados sobre el triciclo.	18
3.4.	¿Los anchos y número de carriles son adecuados para el volumen y composición vehicular?	X				-
3.5.	¿Existe transporte público?	X				-
3.6.	¿Existen vehículos de transporte de carga?	X				19
3.7.	¿Circulan ciclistas en la zona?		X			-
3.8.	¿Los radios de giro son lo adecuados?		X		En la ruta de jirón Los Incas hacia avenida La Torre los vehículos tienen dificultad para girar.	20
3.9.	¿La velocidad de los vehículos es uniforme a lo largo de su recorrido?		X		Se observa que realiza paradas cuando ingresan al núcleo de la intersección.	21
3.10.	¿Hay presencia de paraderos informales?	X			En avenida La Torre, jirón Tacna y jirón Los Incas (con dirección al sur).	22
3.11.	Si se trata de una zona predominantemente comercial, ¿existen vendedores ambulantes en la calzada?	X				9
3.12.	¿Hay obstáculos en los carriles?	X			Existe una cabina de la policía en la esquina de avenida La Torre, y en ocasiones los conductores del triciclo se estacionan por largo tiempo en la esquina del mercado.	22,23
4. ESTACIONAMIENTOS						
4.1.	¿Existen estacionamientos?	X			En los alrededores del Mercado Central.	24
4.2.	Si el ítem 4.1. es afirmativo, ¿se trata de un estacionamiento perpendicular?		X			-

	ITEM	SI	NO	NA	OBSERVACIONES	FIGURA
4. ESTACIONAMIENTOS						
4.3.	Si el ítem 4.1. es afirmativo, ¿se trata de un estacionamiento paralelo?		X			-
4.4.	Si el ítem 4.1. es afirmativo, ¿se trata de un estacionamiento diagonal?	X				24
4.5.	¿Están correctamente demarcados?		X		La demarcación está desgastada casi en su totalidad.	25
4.6.	¿Invaden carriles de las vías presentes?	X				24
5. SEÑALIZACIÓN DE TRÁNSITO						
5.1.	¿Hay semáforos para peatones?		X			-
5.2.	¿Los semáforos presentes son visibles por todos los usuarios desde cualquier ángulo en todos lo accesos?	X				-
5.3.	¿Se tiene una fase peatonal protegida en el cruce en todos los accesos?		X			-
5.4.	¿El tiempo de verde es adecuado para los volúmenes de tránsito presentes?		X			-
5.5.	¿Están correctamente ubicados los semáforos?		X		El poste donde se encuentra ubicada la señal de control reduce el ancho útil de la vereda.	26
5.6.	¿La demarcación requerida se encuentra en buen estado?		X		Se encuentra muy desgastada, y debido a ello se hace caso omiso a lo que indican, por ejemplo en el ingreso por jirón Lon Incas solo se permite el giro a la derecha.	27
5.7.	En general, ¿la señalización es eficiente?		X		Esto se demuestra con el comportamiento caótico en la intersección.	28

14.2. Registro fotográfico correspondiente a la lista de chequeos



Figura 2. Mercado Central
Fuente: Google maps



Figura 6. Ancho de carril variable en el jr. Los Incas
Fuente: Elaboración propia



Figura 3. Centro Comercial Plaza
Fuente: Google maps



Figura 7. Peatones transitando por la calzada
Fuente: Elaboración propia



Figura 4. Veredas a diferente nivel
Fuente: Google maps



Figura 8. Rampa de pendiente pronunciada con obstáculo
Fuente: Google maps



Figura 5. Estrecha visibilidad
Fuente: Google maps



Figura 9. Postes en veredas
Fuente: Elaboración propia



Figura 10. Comercio en la vereda
Fuente: *Elaboración propia*



Figura 14. Peatones cruzando entre vehículos
Fuente: *Elaboración propia*



Figura 11. Línea de desecho
Fuente: *Elaboración propia*



Figura 15. Conflicto entre peatones y vehículos
Fuente: *Elaboración propia*



Figura 12. Cruces peatonales desgastados
Fuente: *Elaboración propia*



Figura 16. Obstrucción en el extremo de los cruces peatonales
Fuente: *Elaboración propia*



Figura 13. Daños en la vereda
Fuente: *Elaboración propia*



Figura 17. Bancas de concreto al costado de cada estacionamiento
Fuente: *Elaboración propia*



Figura 18. Deterioro en la superficie de rodadura
Fuente: *Elaboración propia*



Figura 19. Conflicto entre vehículos
Fuente: *Elaboración propia*



Figura 20. Camiones de bajo rango
Fuente: *Elaboración propia*



Figura 21. Giros inadecuados
Fuente: *Elaboración propia*



Figura 22. Vehículos detenidos en el núcleo de la intersección
Fuente: *Elaboración propia*



Figura 23. Paradero informal
Fuente: *Google maps*



Figura 24. Triciclos estacionados
Fuente: *Elaboración propia*



Figura 25. Estacionamientos en diagonal
Fuente: *Google maps*



Figura 26. Demarcación desgastada de estacionamientos
Fuente: Elaboración propia



Figura 27. Poste de semáforo en vereda
Fuente: Google maps



Figura 28. Señal horizontal desgastada
Fuente: Elaboración propia



Figura 29. Desplazamientos caóticos en la intersección
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 15: TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR CALIBRACIÓN (VISSIM)

Tabla 74. Tiempos de viaje vehicular calibración - Vissim

Número de corrida	Intervalo de tiempo (seg)	Tiempos de viaje (seg)		
		Tramo 1 (Av. La Torre)	Tramo 2 (Jr. Los Incas)	Tramo 3 (Jr. Tacna)
1	600-3600	4.78	4.03	4.74
2	600-3600	4.99	3.86	4.8
3	600-3600	4.73	3.94	5.03
4	600-3600	4.94	3.87	5.44
5	600-3600	4.85	3.95	5.07
6	600-3600	5.01	3.9	5.08
7	600-3600	4.9	4.16	4.69
8	600-3600	5.06	3.91	5.83
9	600-3600	4.75	3.96	4.67
10	600-3600	4.66	3.92	4.6
11	600-3600	5.02	4.02	5.34
12	600-3600	4.93	3.91	5.38
13	600-3600	4.85	3.81	5.97
14	600-3600	4.83	4.02	5.41
15	600-3600	4.84	3.85	5.16
16	600-3600	4.74	3.92	4.92
17	600-3600	4.83	4.05	4.86
18	600-3600	4.91	4.02	5.04
19	600-3600	5.09	3.93	5.21
20	600-3600	4.93	3.99	5.07
	μ	4.88	3.95	5.12
	σ	0.12	0.08	0.37
	Mínimo	4.66	3.81	4.6
	Máximo	5.09	4.16	5.97

ANEXO 16: CALIBRACIÓN VEHICULAR

Tabla 75. Resultados de calibración del tramo de la avenida La Torre

	Tiempo de viaje - Tramo 1 (seg)	
	Campo	Vissim
Promedio	4.68	4.88
Valor máximo	6.19	5.09
Valor mínimo	3.29	4.66
Desviación Estándar	0.786	0.117
Error	0.46	0.488
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$	2.012	2.093
N _{mínimo}	11.44	0.25
N _{muestra}	50	20
Diferencia de medias	-0.204	

Fuente: Elaboración propia

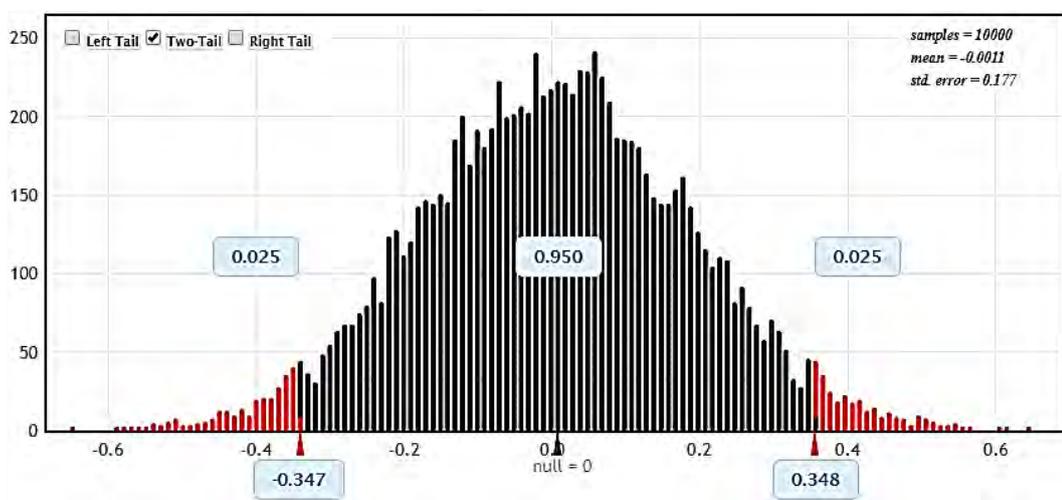


Figura 30. Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje vehicular – Avenida La Torre

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76. Resultados de calibración del tramo del jirón Los Incas

	Tiempo de viaje - Tramo 2 (seg)	
	Campo	Vissim
Promedio	4.19	3.95
Valor máximo	5.38	4.16
Valor mínimo	2.96	3.81
Desviación Estándar	0.604	0.082
Error	0.419	0.395
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$	2.012	2.093
N _{mínimo}	8.40	0.19
N _{muestra}	50	20
Diferencia de medias	0.238	

Fuente: Elaboración propia

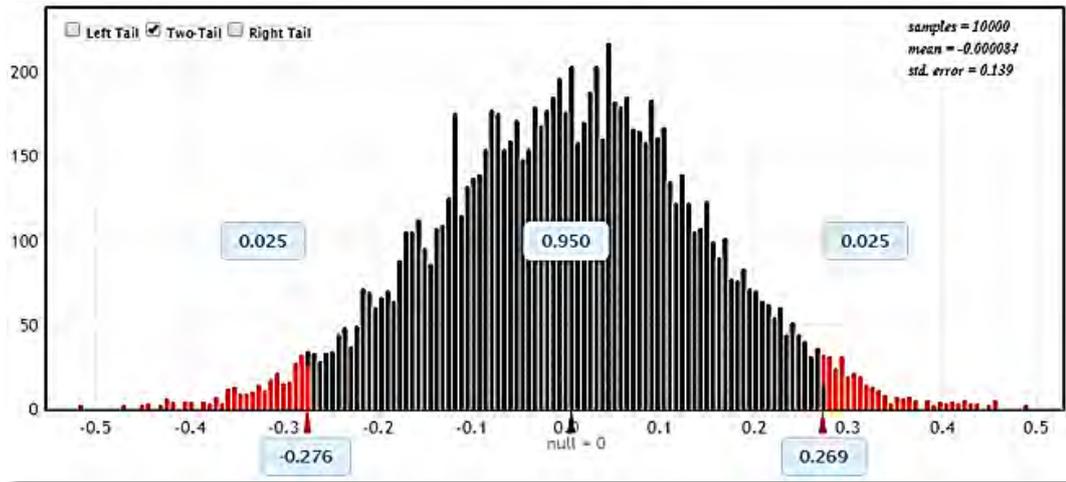


Figura 31. Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje vehicular – Jirón Los Incas
Fuente: Elaboración propia

Tabla 77. Resultados de calibración del tramo del jirón Tacna

	Tiempo de viaje - Tramo 3 (seg)	
	Campo	Vissim
Promedio	5.17	5.12
Valor máximo	9.33	5.97
Valor mínimo	4.03	4.60
Desviación Estándar	0.937	0.368
Error	0.517	0.512
$t_{(1-\alpha/2), N-1}$	2.012	2.093
N _{mínimo}	13.25	2.27
N _{muestra}	50	20
Diferencia de medias	0.059	

Fuente: Elaboración propia

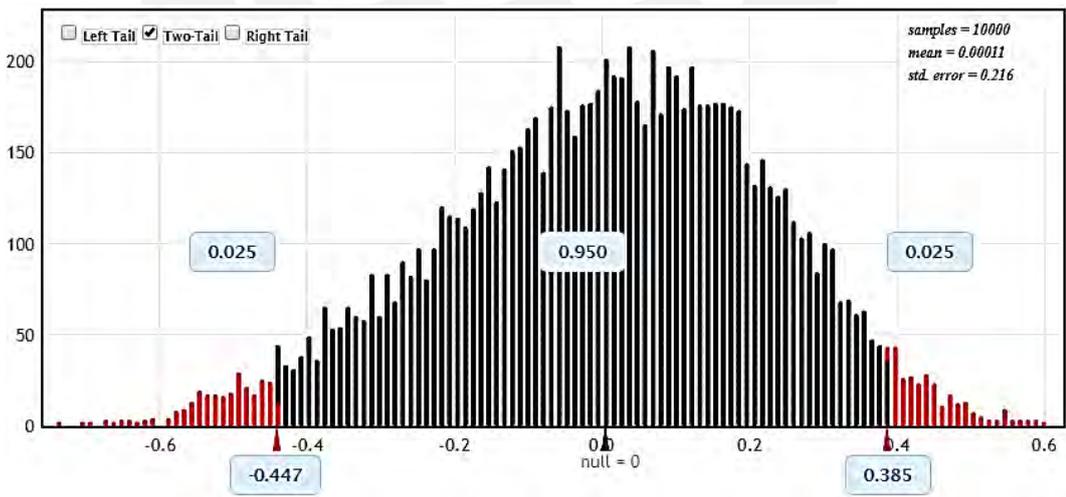


Figura 32. Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje vehicular – Jirón Tacna
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 17: TIEMPOS DE VIAJE PEATONAL CALIBRACIÓN (VISSIM)

Tabla 78. Tiempos de viaje peatonal calibración - Vissim

Número de corrida	Intervalo de tiempo (seg)	Tiempos de viaje (seg)	
		Tramo A (Av. La Torre)	Tramo B (Jr. Tacna)
1	600-3600	13.43	8.81
2	600-3600	11.6	7.67
3	600-3600	13.4	8.2
4	600-3600	11.53	7.81
5	600-3600	12.77	8.81
6	600-3600	11.98	7.98
7	600-3600	13.09	8.26
8	600-3600	11.26	7.8
9	600-3600	12.41	8.31
10	600-3600	11.42	7.9
11	600-3600	13.29	9.56
12	600-3600	11.82	7.8
13	600-3600	13.09	8.49
14	600-3600	11.4	7.84
15	600-3600	12.78	8.77
16	600-3600	11.44	7.87
17	600-3600	13.42	8.25
18	600-3600	11.87	7.81
19	600-3600	13.33	8.29
20	600-3600	11.54	7.98
21	600-3600	13.19	8.82
22	600-3600	11.88	8.15
23	600-3600	12.82	8.37
24	600-3600	11.71	7.64
25	600-3600	12.81	8.38
26	600-3600	11.51	7.87
27	600-3600	12.81	8.67
28	600-3600	11.83	7.99
29	600-3600	12.85	8.62
30	600-3600	11.31	8.27
31	600-3600	12.4	9.37
32	600-3600	11.91	8.46
33	600-3600	12.66	8.23
34	600-3600	11.44	7.84
35	600-3600	12.32	8.68
36	600-3600	11.8	7.88
37	600-3600	13.18	8.76
38	600-3600	11.3	7.86
39	600-3600	13.28	10.14
40	600-3600	11.71	8.44
	μ	12.29	8.32
	σ	0.75	0.54
	Mínimo	11.26	7.64
	Máximo	13.43	10.14

ANEXO 18: CALIBRACIÓN PEATONAL

Tabla 79. Resultados de calibración del cruce peatonal de avenida La Torre

	Tiempo de viaje - Tramo A (seg)	
	Campo	Vissim
Promedio	11.95	12.29
Valor máximo	19.91	13.43
Valor mínimo	7.89	11.26
Desviación Estándar	2.549	0.745
Error	1.195	1.229
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$	2.012	2.023
N _{mínimo}	18.39	1.51
N _{muestra}	50	40
Diferencia de medias	-0.335	

Fuente: Elaboración propia

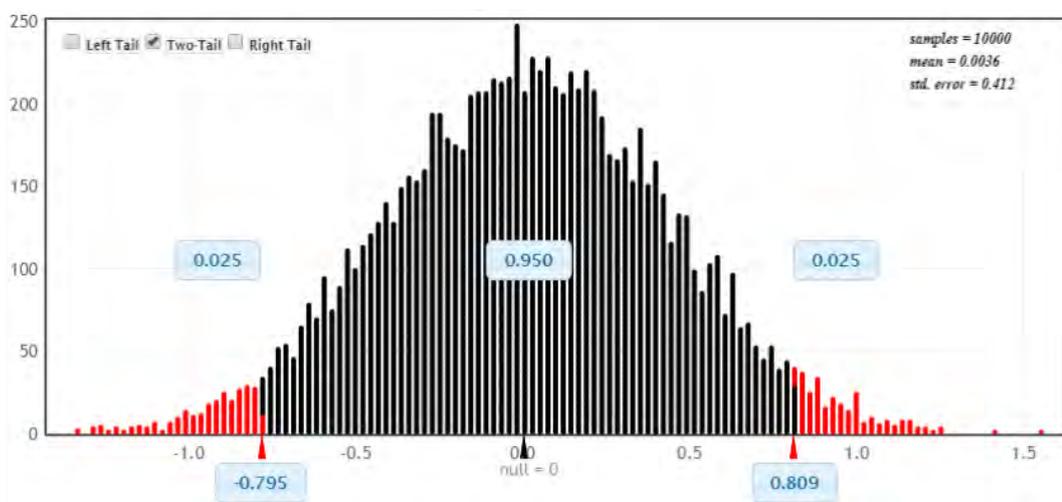


Figura 33. Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje peatonal – Avenida La Torre

Fuente: Elaboración propia

Tabla 80. Resultados de calibración del cruce peatonal del jirón Tacna

	Tiempo de viaje - Tramo B (seg)	
	Campo	Vissim
Promedio	8.05	8.32
Valor máximo	13.50	10.14
Valor mínimo	3.01	7.64
Desviación Estándar	2.251	0.538
Error	0.805	0.832
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$	2.012	2.023
N _{mínimo}	31.63	1.71
N _{muestra}	50	40
Diferencia de medias	-0.264	

Fuente: Elaboración propia

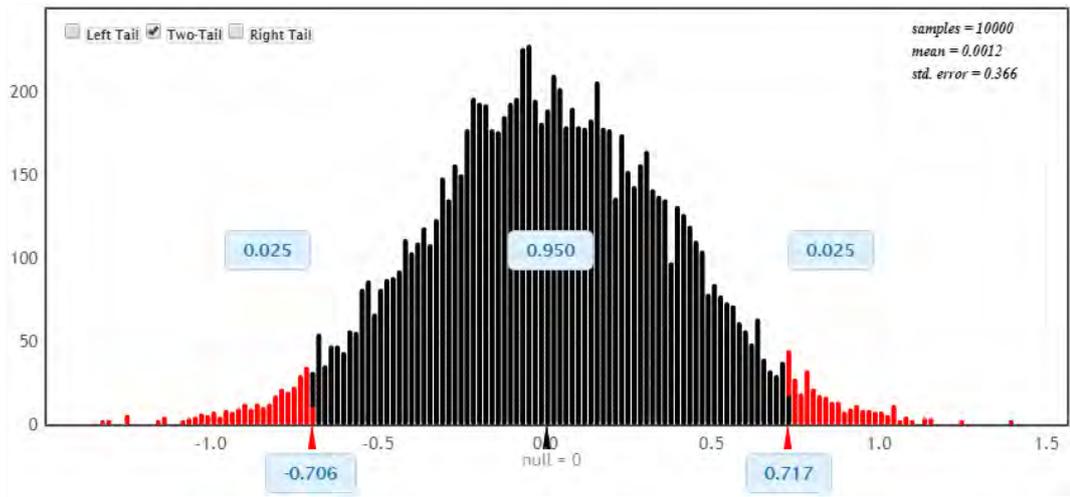
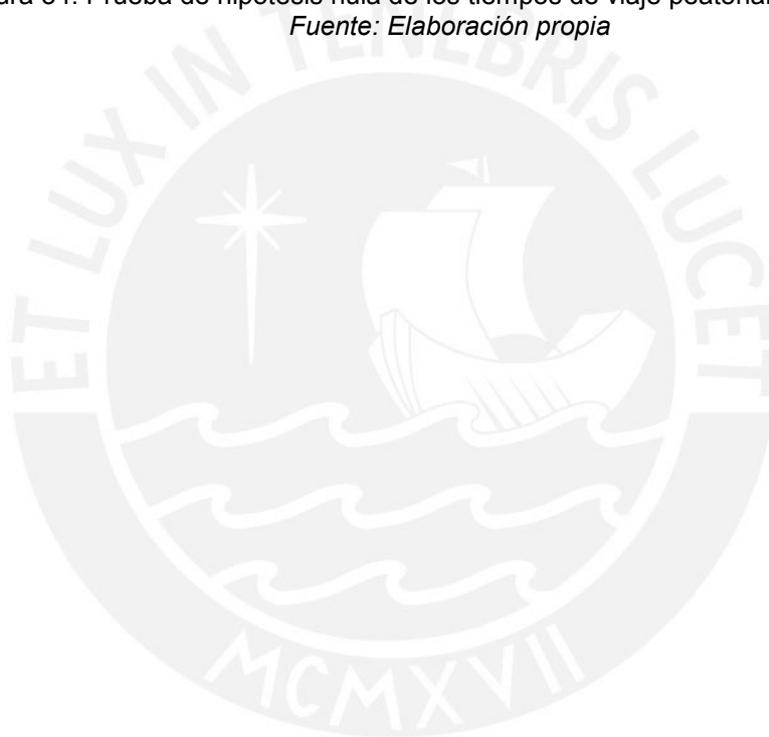


Figura 34. Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje peatonal – Jirón Tacna
 Fuente: *Elaboración propia*



ANEXO 19: TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR VALIDACIÓN (VISSIM)

Tabla 81. Tiempos de viaje vehicular validación - Vissim

Número de corrida	Intervalo de tiempo (seg)	Tiempos de viaje (seg)		
		Tramo 1 (Av. La Torre)	Tramo 2 (Jr. Los Incas)	Tramo 3 (Jr. Tacna)
1	600-3600	4.85	4.05	4.74
2	600-3600	5.07	3.91	4.74
3	600-3600	4.86	4.04	4.48
4	600-3600	4.92	3.93	6.01
5	600-3600	5.07	3.97	5.43
6	600-3600	4.99	3.96	5.31
7	600-3600	4.93	4.24	4.49
8	600-3600	5	4.09	5.2
9	600-3600	4.88	4.13	5.12
10	600-3600	4.91	4.02	4.63
11	600-3600	5.09	4.13	4.76
12	600-3600	4.9	4.01	4.82
13	600-3600	4.88	3.92	5.19
14	600-3600	4.96	4.08	4.81
15	600-3600	4.93	4.02	5.08
16	600-3600	5.03	3.97	5.02
17	600-3600	5.06	4.04	4.64
18	600-3600	5.06	4.23	5.14
19	600-3600	5.14	4.08	5.5
20	600-3600	4.93	4.02	6.34
	μ	4.97	4.04	5.07
	σ	0.09	0.09	0.48
	Mínimo	4.85	3.91	4.48
	Máximo	5.14	4.24	6.34

ANEXO 20: VALIDACIÓN VEHICULAR

Tabla 82. Resultados de validación del tramo de la avenida La Torre

	Tiempo de viaje - Tramo 1 (seg)	
	Campo	Vissim
Promedio	5.03	4.97
Valor máximo	10.26	5.14
Valor mínimo	2.14	4.85
Desviación Estándar	1.528	0.087
Error	0.503	0.497
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$	2.012	2.093
N _{mínimo}	37.30	0.13
N _{muestra}	50	20
Diferencia de medias	0.059	

Fuente: Elaboración propia

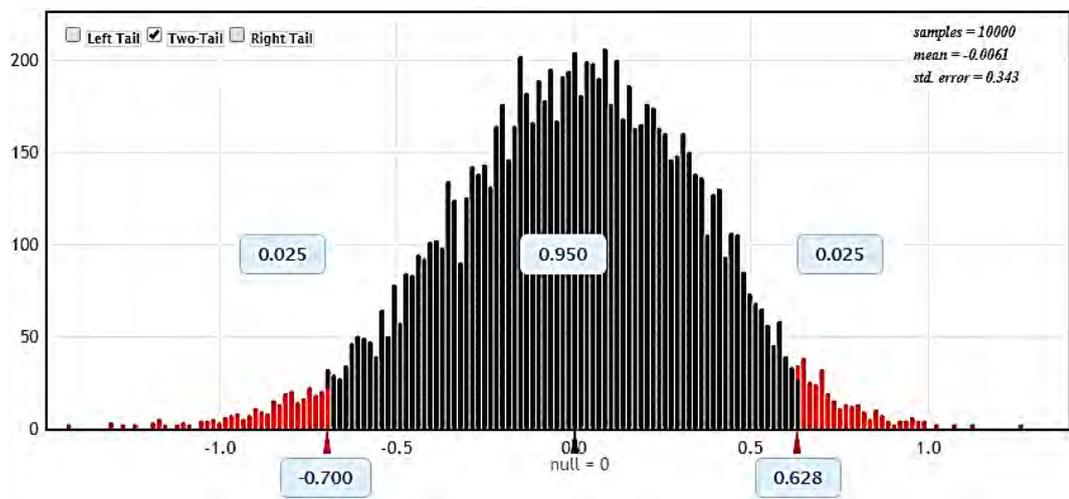


Figura 35. Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje vehicular – Avenida La Torre (validación)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 83. Resultados de validación del tramo del jirón Los Incas

	Tiempo de viaje - Tramo 2 (seg)	
	Campo	Vissim
Promedio	4.08	4.04
Valor máximo	6.53	4.24
Valor mínimo	2.16	3.91
Desviación Estándar	1.099	0.092
Error	0.408	0.404
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$	2.012	2.093
N _{mínimo}	29.32	0.23
N _{muestra}	50	20
Diferencia de medias	0.041	

Fuente: Elaboración propia

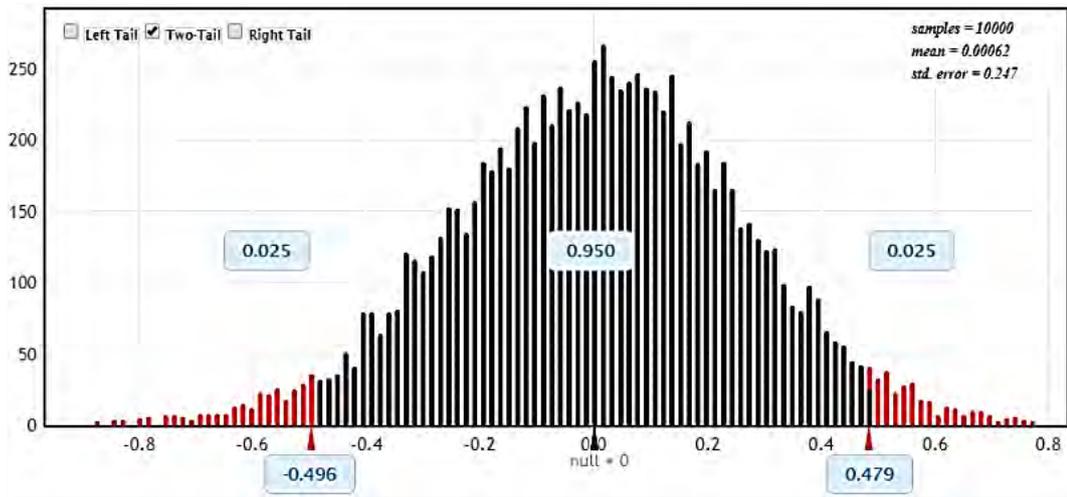


Figura 36. Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje vehicular – Jirón Los Incas (validación)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84. Resultados de validación del tramo del jirón Tacna

	Tiempo de viaje - Tramo 3 (seg)	
	Campo	Vissim
Promedio	5.05	5.07
Valor máximo	7.93	6.34
Valor mínimo	2.81	4.48
Desviación Estándar	1.147	0.482
Error	0.505	0.507
$t_{(1-\alpha/2), N-1}$	2.012	2.093
N _{mínimo}	20.86	3.96
N _{muestra}	50	20
Diferencia de medias	-0.021	

Fuente: Elaboración propia

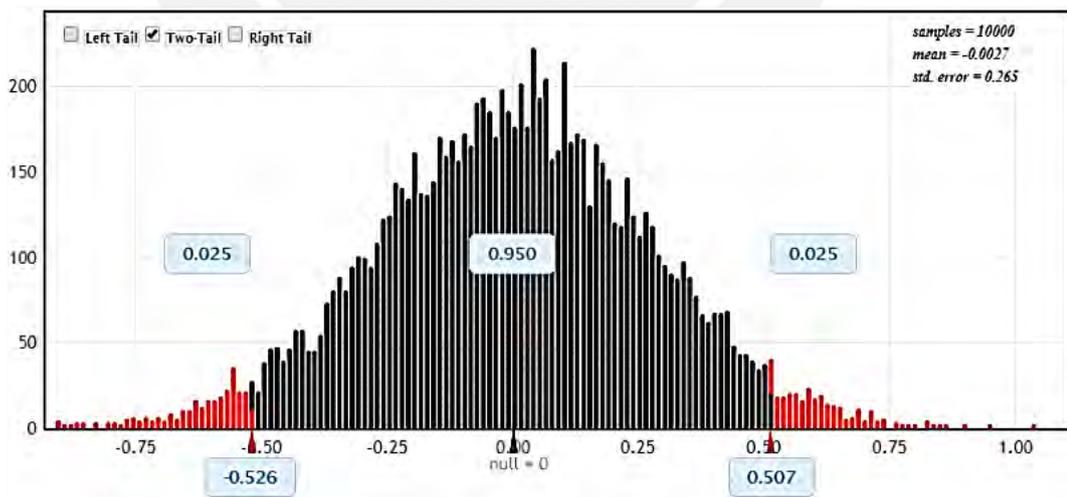


Figura 37. Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje vehicular – Jirón Tacna (validación)

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 21: TIEMPOS DE VIAJE PEATONAL VALIDACIÓN (VISSIM)

Tabla 85. Tiempos de viaje peatonal validación - Vissim

Número de corrida	Intervalo de tiempo (seg)	Tiempos de viaje (seg)	
		Tramo A (Av. La Torre)	Tramo B (Jr. Tacna)
1	600-3600	13.66	8.83
2	600-3600	11.49	8.99
3	600-3600	13.63	9.63
4	600-3600	12.89	8.25
5	600-3600	12.73	8.36
6	600-3600	11.68	8.02
7	600-3600	13.21	8.5
8	600-3600	11.5	7.82
9	600-3600	12.88	8.37
10	600-3600	12.92	8.02
11	600-3600	14	9.33
12	600-3600	12.08	9.19
13	600-3600	13.36	8.97
14	600-3600	13.55	8.73
15	600-3600	12.67	8.83
16	600-3600	13.17	8.04
17	600-3600	12.94	9.76
18	600-3600	11.37	8.31
19	600-3600	13.41	9.5
20	600-3600	11.58	7.99
21	600-3600	13.04	8.42
22	600-3600	11.73	7.84
23	600-3600	13.13	8.12
24	600-3600	11.73	7.72
25	600-3600	13.16	8.31
26	600-3600	12.06	8.03
27	600-3600	12.89	8.96
28	600-3600	12.23	7.74
29	600-3600	13.52	9.33
30	600-3600	11.67	8.45
31	600-3600	12.78	9.2
32	600-3600	12.64	8.12
33	600-3600	13.64	9.71
34	600-3600	13.69	9.12
35	600-3600	13.04	9.86
36	600-3600	11.89	9.19
37	600-3600	13.21	9.03
38	600-3600	13.34	8.07
39	600-3600	13.07	9
40	600-3600	11.69	8.23
	μ	12.72	8.65
	σ	0.76	0.62
	Mínimo	11.37	7.72
	Máximo	14	9.86

ANEXO 22: VALIDACIÓN PEATONAL

Tabla 86. Resultados de validación del cruce peatonal de avenida La Torre

	Tiempo de viaje - Tramo A (seg)	
	Campo	Vissim
Promedio	11.99	12.72
Valor máximo	19.90	14.00
Valor mínimo	6.93	11.37
Desviación Estándar	2.615	0.758
Error	1.199	1.272
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$	2.012	2.023
N _{mínimo}	19.25	1.45
N _{muestra}	50	40
Diferencia de medias	-0.731	

Fuente: Elaboración propia

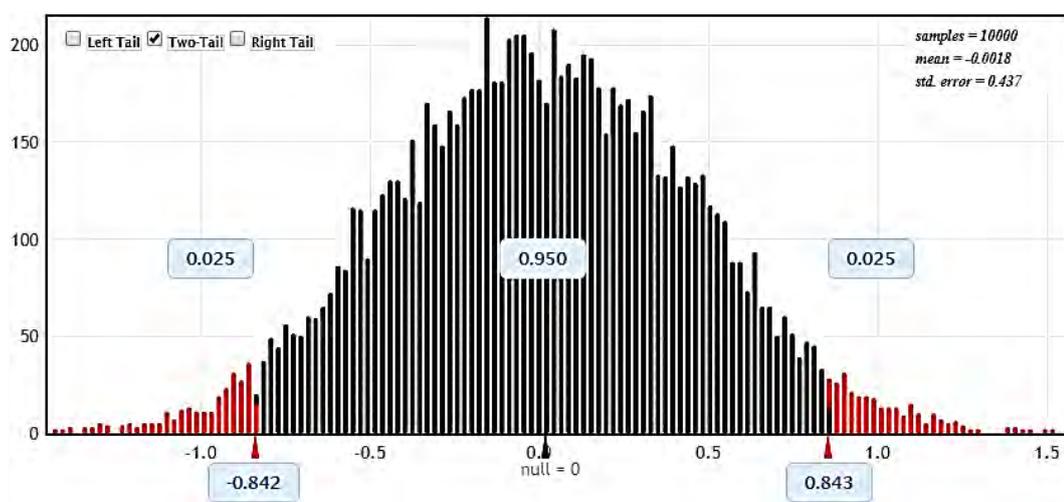


Figura 38. Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje peatonal – Avenida La Torre (validación)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 87. Resultados de validación del cruce peatonal del jirón Tacna

	Tiempo de viaje - Tramo B (seg)	
	Campo	Vissim
Promedio	8.21	8.65
Valor máximo	12.01	9.86
Valor mínimo	4.04	7.72
Desviación Estándar	1.659	0.619
Error	0.821	0.865
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$	2.012	2.023
N _{mínimo}	16.52	2.10
N _{muestra}	50	40
Diferencia de medias	-0.438	

Fuente: Elaboración propia

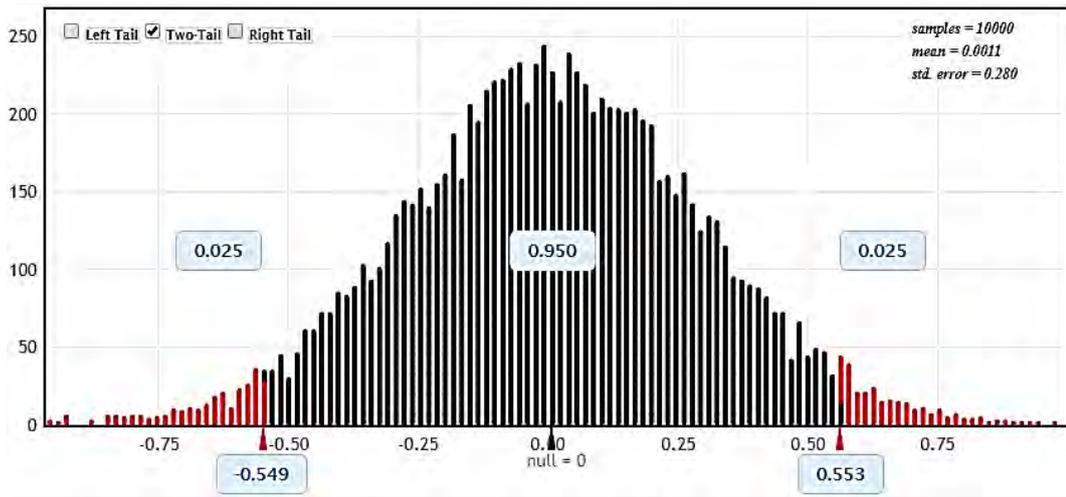


Figura 39. Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje peatonal – Jirón Tacna (validación)

Fuente: Elaboración propia



**ANEXO 23: RESULTADOS DE COMPORTAMIENTO VEHICULAR
ACTUAL**

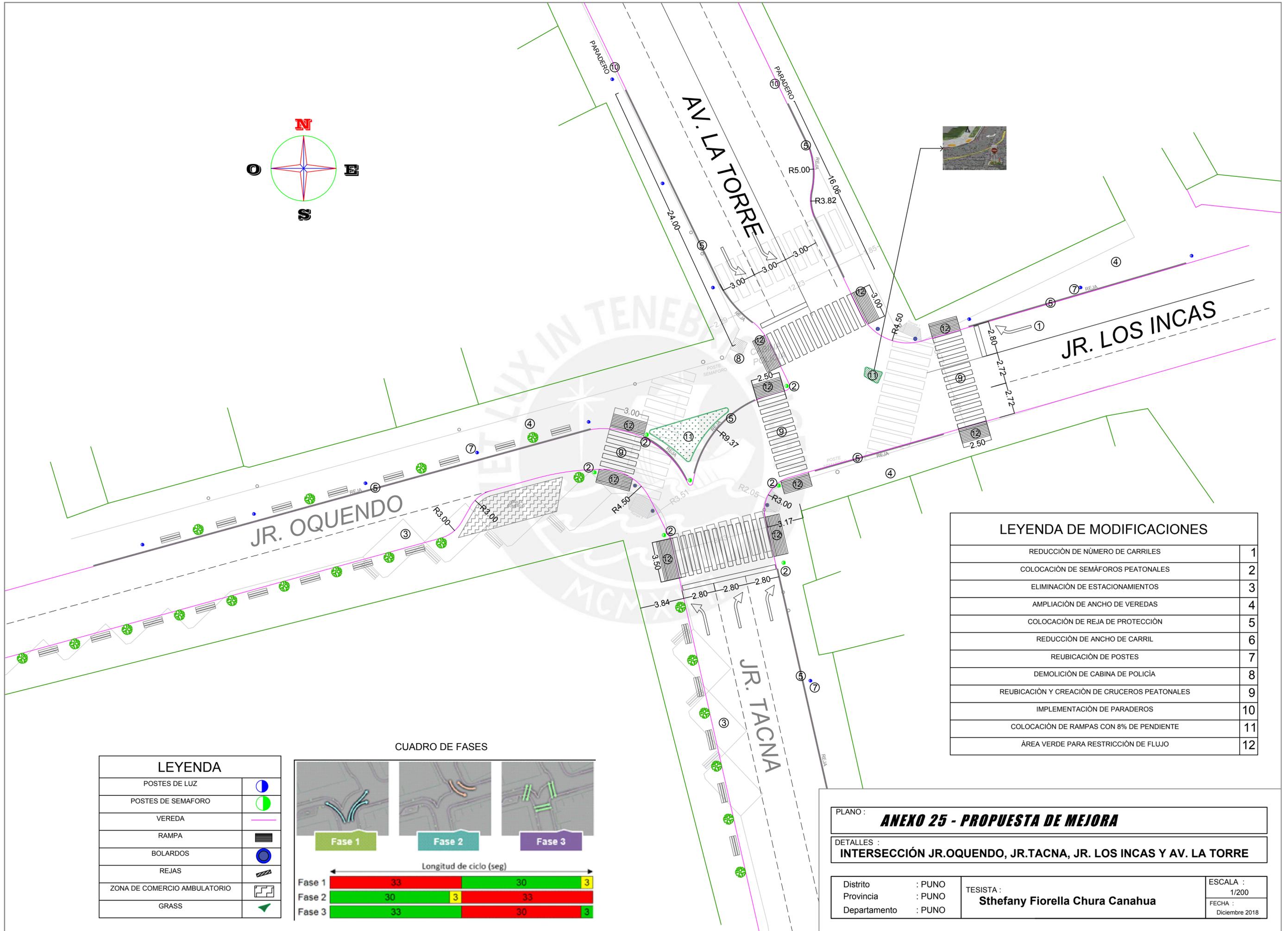
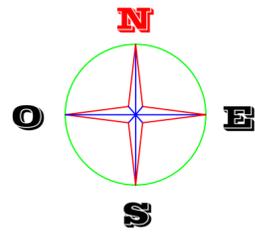
Tabla 88. Resultados de eficiencia vehicular actual

Número de corrida	Intervalo de tiempo (seg)	Demora (seg/veh)	Tiempo detenido (seg)	Velocidad promedio (Km/h)
1	600-3600	17.24	10.91	6.92
2	600-3600	17.16	10.94	6.9
3	600-3600	18.27	11.64	6.79
4	600-3600	17.46	11.17	6.86
5	600-3600	19.98	13.01	6.52
6	600-3600	18.58	11.88	6.7
7	600-3600	19.37	12.54	6.59
8	600-3600	19.59	12.6	6.52
9	600-3600	15.59	10.14	7.23
10	600-3600	16.35	10.71	7.13
11	600-3600	19.68	12.81	6.48
12	600-3600	18.09	11.86	6.79
13	600-3600	17.42	10.99	6.93
14	600-3600	19.5	12.42	6.59
15	600-3600	18.38	11.9	6.69
16	600-3600	18.38	11.82	6.7
17	600-3600	18.38	12.02	6.74
18	600-3600	18.64	11.96	6.62
19	600-3600	18.08	11.6	6.71
20	600-3600	20.49	13.12	6.44
Promedio		18.33	11.80	6.74
Valor máximo		20.49	13.12	7.23
Valor mínimo		15.59	10.14	6.44
Desviación Estándar		1.238	0.811	0.209
Error		1.833	1.180	0.674
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$		2.012	2.012	2.012
$N_{\text{mínimo}}$		1.84	1.91	0.39
N_{muestra}		20	20	20
¿# corridas adecuado?		SÍ	SÍ	SÍ

**ANEXO 24: RESULTADOS DE COMPORTAMIENTO PEATONAL
ACTUAL**

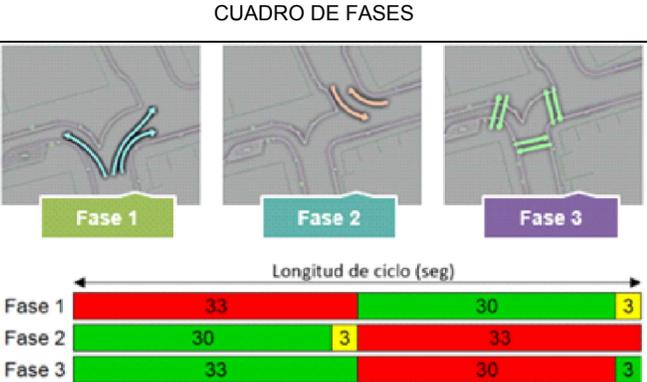
Tabla 89. Resultados de eficiencia peatonal actual

Número de corrida	Intervalo de tiempo (seg)	Densidad peatonal	Velocidad promedio (Km/h)	Tiempo de viaje (seg)
1	600-3600	0.06	3.18	54.61
2	600-3600	0.06	3.19	54.52
3	600-3600	0.06	3.19	54.2
4	600-3600	0.06	3.23	53.56
5	600-3600	0.06	3.2	54.22
6	600-3600	0.06	3.16	54.66
7	600-3600	0.06	3.2	54.15
8	600-3600	0.06	3.17	55.05
9	600-3600	0.06	3.19	54.39
10	600-3600	0.06	3.22	53.96
11	600-3600	0.06	3.21	54.12
12	600-3600	0.06	3.21	54.06
13	600-3600	0.06	3.19	54.53
14	600-3600	0.06	3.19	54.81
15	600-3600	0.06	3.18	53.9
16	600-3600	0.06	3.16	54.25
17	600-3600	0.06	3.2	54.53
18	600-3600	0.06	3.18	54.66
19	600-3600	0.06	3.15	54.78
20	600-3600	0.06	3.13	55.82
Promedio			3.19	54.44
Valor máximo			3.23	55.82
Valor mínimo			3.13	53.56
Desviación Estándar			0.024	0.484
Error			0.319	5.444
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$			2.012	2.012
$N_{\text{mínimo}}$			0.02	0.03
N_{muestra}			20	20
¿# corridas adecuado?			Sí	Sí



LEYENDA DE MODIFICACIONES	
REDUCCIÓN DE NÚMERO DE CARRILES	1
COLOCACIÓN DE SEMÁFOROS PEATONALES	2
ELIMINACIÓN DE ESTACIONAMIENTOS	3
AMPLIACIÓN DE ANCHO DE VEREDAS	4
COLOCACIÓN DE REJA DE PROTECCIÓN	5
REDUCCIÓN DE ANCHO DE CARRIL	6
REUBICACIÓN DE POSTES	7
DEMOLICIÓN DE CABINA DE POLICÍA	8
REUBICACIÓN Y CREACIÓN DE CRUCEROS PEATONALES	9
IMPLEMENTACIÓN DE PARADEROS	10
COLOCACIÓN DE RAMPAS CON 8% DE PENDIENTE	11
ÁREA VERDE PARA RESTRICCIÓN DE FLUJO	12

LEYENDA	
POSTES DE LUZ	
POSTES DE SEMAFORO	
VEREDA	
RAMPA	
BOLARDOS	
REJAS	
ZONA DE COMERCIO AMBULATORIO	
GRASS	



PLANO : **ANEXO 25 - PROPUESTA DE MEJORA**

DETALLES : **INTERSECCIÓN JR.OQUENDO, JR.TACNA, JR. LOS INCAS Y AV. LA TORRE**

Distrito : PUNO	TESISTA :	ESCALA : 1/200
Provincia : PUNO	Sthefany Fiorella Chura Canahua	FECHA : Diciembre 2018
Departamento : PUNO		

ANEXO 26: RESULTADO DEL COMPORTAMIENTO VEHICULAR DEL REDISEÑO

Tabla 90. Resultados de eficiencia vehicular del rediseño

Número de corrida	Intervalo de tiempo (seg)	Demora (seg/veh)	Tiempo detenido (seg)	Velocidad promedio (Km/h)
1	600-3600	18.96	10.41	6.67
2	600-3600	18.85	12.44	6.62
3	600-3600	18.44	11.96	6.80
4	600-3600	17.10	10.77	6.93
5	600-3600	20.36	11.20	6.46
6	600-3600	17.25	11.91	6.85
7	600-3600	20.80	11.18	6.85
8	600-3600	19.74	11.96	6.51
9	600-3600	18.26	12.05	6.81
10	600-3600	19.13	11.71	6.68
11	600-3600	20.45	10.66	6.37
12	600-3600	18.75	12.03	6.69
13	600-3600	19.97	13.28	6.58
14	600-3600	16.91	11.88	7.01
15	600-3600	18.20	11.92	6.76
16	600-3600	19.60	12.98	6.51
17	600-3600	19.25	12.59	7.00
18	600-3600	17.87	11.05	6.59
19	600-3600	20.99	10.05	6.27
20	600-3600	19.90	12.06	6.54
Promedio		19.04	11.71	6.68
Valor máximo		20.99	13.28	7.01
Valor mínimo		16.91	10.05	6.27
Desviación Estándar		1.209	0.839	0.203
Error		1.904	1.171	0.668
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$		2.012	2.012	2.012
N_{mínimo}		1.63	2.08	0.37
N_{muestra}		20	20	20
¿# corridas adecuado?		SÍ	SÍ	SÍ

ANEXO 27: RESULTADOS DE COMPORTAMIENTO PEATONAL DEL REDISEÑO

Tabla 91. Resultados de eficiencia peatonal del rediseño

Número de corrida	Intervalo de tiempo (seg)	Densidad peatonal	Velocidad promedio (Km/h)	Tiempo de viaje (seg)
1	600-3600	0.05	3.27	49.39
2	600-3600	0.05	3.24	49.90
3	600-3600	0.05	3.26	49.11
4	600-3600	0.05	3.28	48.85
5	600-3600	0.05	3.25	49.12
6	600-3600	0.05	3.26	48.88
7	600-3600	0.05	3.28	48.91
8	600-3600	0.05	3.24	49.47
9	600-3600	0.05	3.27	49.42
10	600-3600	0.05	3.28	49.08
11	600-3600	0.05	3.29	48.95
12	600-3600	0.05	3.27	49.00
13	600-3600	0.05	3.27	49.48
14	600-3600	0.05	3.24	49.67
15	600-3600	0.05	3.25	48.99
16	600-3600	0.05	3.26	49.15
17	600-3600	0.05	3.23	49.81
18	600-3600	0.05	3.25	49.37
19	600-3600	0.05	3.25	49.37
20	600-3600	0.05	3.24	49.34
Promedio			3.26	49.26
Valor máximo			3.29	49.90
Valor mínimo			3.23	48.85
Desviación Estándar			0.016	0.309
Error			0.326	4.926
$t_{(1-\alpha/2),N-1}$			2.012	2.012
N_{mínimo}			0.01	0.02
N_{muestra}			20	20
¿# corridas adecuado?			SÍ	SÍ