

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**OPTIMIZACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR Y MEJORA DEL SERVICIO  
PEATONAL EN LA INTERSECCIÓN VIAL DE JIRÓN VILCABAMBA Y JIRÓN  
MACHUPICCHU EN LA CIUDAD DE QUILLABAMBA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil

Autora:

*Stephani Milena Acuña Supo*

Asesor:

*Félix Israel Cabrera Vega*


Lima, abril, 2023

## Informe de Similitud

Yo, Felix Cabrera Vega docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada “OPTIMIZACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR Y MEJORA DEL SERVICIO PEATONAL EN LA INTERSECCIÓN VIAL DE JIRÓN VILCABAMBA Y JIRÓN MACHUPICCHU EN LA CIUDAD DE QUILLABAMBA” de la autora Stephani Milena Acuña Supo, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 11 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 13/04/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 13 de abril 2023

Apellidos y nombres del asesor <u>Cabrera Vega Felix Israel</u>	
DNI: 22309049	Firma 
ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-1917-9840">https://orcid.org/0000-0003-1917-9840</a>	

## RESUMEN

La atención sobre problemas de transporte y movilidad, se centra la mayoría de veces en ciudades metropolitanas; sin embargo, Cusco presenta deficiencia en la infraestructura de sus calles, y esto se repite en sus provincias como es el caso de Quillabamba, donde el principal medio de transporte es el mototaxi. Esta es una ciudad que en los últimos años creció turística y económicamente; sin embargo, los diseños geométricos de sus intersecciones no abastecieron las demandas que dichos cambios originaron. Por ello, en la presente tesis se busca optimizar el tránsito peatonal y vehicular de la intersección entre Jr. Vilcabamba y Jr. Machupicchu.

Esta tesis se desarrolla en distintas fases, donde el trabajo es progresivo, ya que se recolecta previamente la información necesaria de la zona de estudio, para luego importarla en el software Vissim 2022 en el cual se hace una microsimulación de la intersección. A partir de ello, se observa las deficiencias y luego se plantea una propuesta de mejora que den resultados cuantitativos y estadísticos óptimos, además de incluir conceptos de seguridad vial tomando en cuenta la jerarquización de movilidad. Finalmente, la propuesta se presenta con toda la documentación requerida.

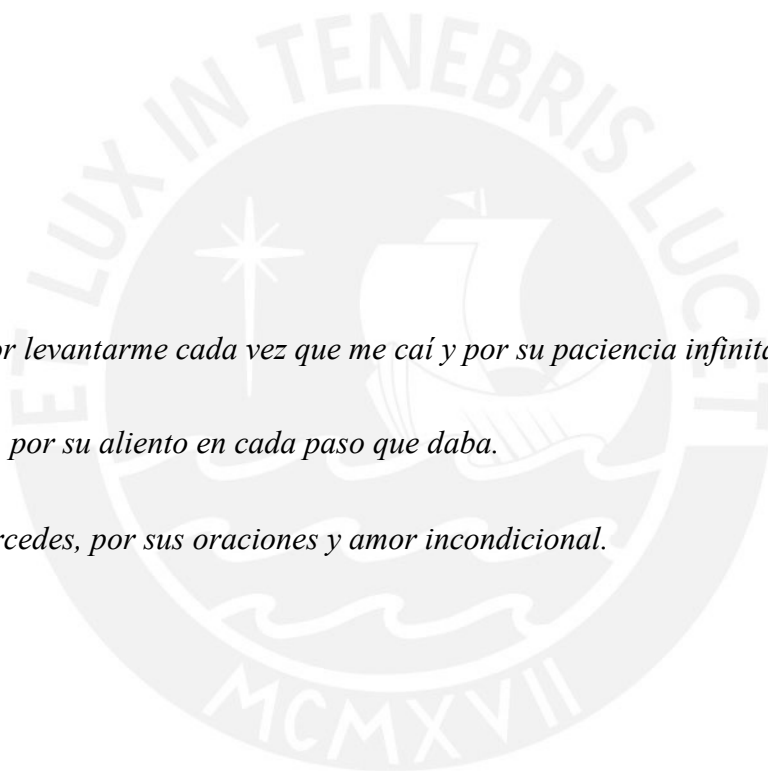
Con la propuesta planteada, se observaron mejoras en los desempeños tanto peatonales como vehiculares. Por un lado, con la eliminación de un carril, reducción del ancho de carriles, implementación de islas esquinera, rediseño de semaforización y señalizaciones, se logró un 11.03% de disminución en tiempos de viaje vehiculares y 35.9% en los peatonales. Asimismo, se observó que los cambios geométricos no perjudicaron la circulación vehicular, ya que es más de un 50% el volumen de participación en la intersección de mototaxis, los cuales, por sus dimensiones, no son afectados por la reducción de las vías. Se concluye finalmente que los cambios para favorecer las condiciones de movilidad peatonal con los conceptos de seguridad vial y sostenibilidad, puede mejorar el desempeño de una intersección sin limitar las condiciones vehiculares.

*Dedicatoria*

*A mis padres, por levantarme cada vez que me caí y por su paciencia infinita.*

*A mis hermanos, por su aliento en cada paso que daba.*

*A mi abuela Mercedes, por sus oraciones y amor incondicional.*



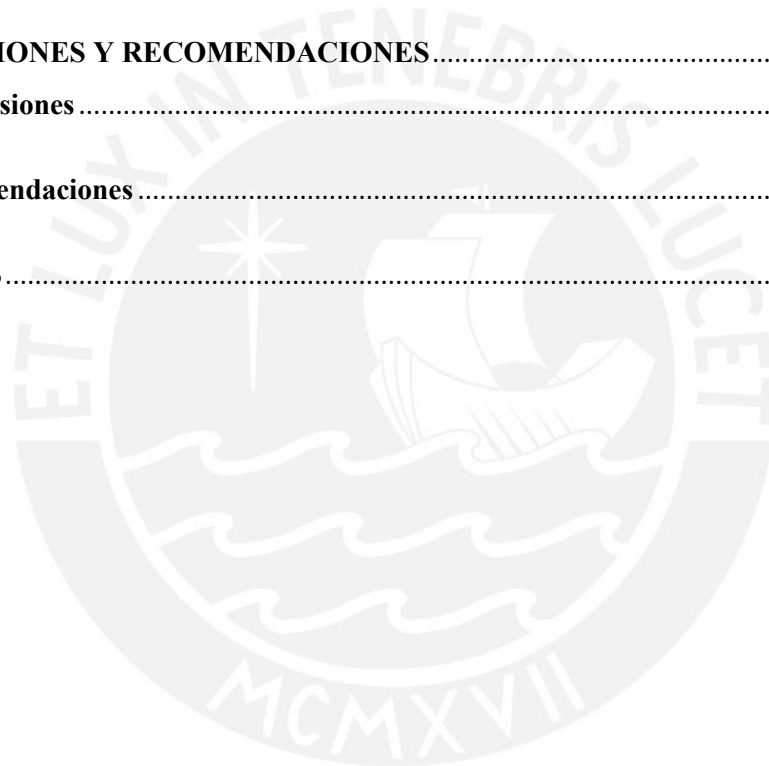
# INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. Justificación y Problemática</b> .....	1
<b>1.2. Objetivos</b> .....	1
<b>1.2.1. Objetivo general.</b> .....	1
<b>1.2.2. Objetivos específicos.</b> .....	2
<b>1.3. Alcance y Limitaciones</b> .....	2
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
<b>2.1. Antecedentes</b> .....	3
<b>2.1.1. Características generales de Quillabamba–Cusco.</b> .....	3
<b>2.1.2. Situación actual los medios de transporte en Quillabamba.</b> .....	3
<b>2.2. Movilidad Sostenible</b> .....	4
<b>2.2.1. Definición.</b> .....	4
<b>2.2.2. Aplicación en planificación urbana.</b> .....	5
<b>2.2.3. Movilidad sostenible en ciudades pequeñas.</b> .....	7
<b>2.3. Seguridad Vial</b> .....	9
<b>2.3.1. Auditoria de Seguridad Vial.</b> .....	10
<b>2.3.2. Tránsito y seguridad peatonal.</b> .....	11
<b>2.4. Diseño Geométrico Vial Urbano</b> .....	11
<b>2.4.1. Clasificación de vías.</b> .....	14
<b>2.4.2. Diseño de reductores de velocidad.</b> .....	16
<b>2.4.3. Diseño de cruces peatonales y rampas.</b> .....	18

2.4.4.	<b>Diseño de semáforos.....</b>	21
2.5.	<b>Modelos de Simulación.....</b>	22
2.5.1.	<b>Según su naturaleza.....</b>	23
2.5.2.	<b>Según su aleatoriedad.....</b>	23
2.5.3.	<b>Según su nivel de detalle.....</b>	24
2.6.	<b>Microsimulación.....</b>	24
2.6.1.	<b>Nivel de aleatoriedad en el flujo del tráfico y número de semilla.....</b>	25
2.6.2.	<b>Número de corridas.....</b>	26
2.6.3.	<b>Periodo de estabilización (Warm Up).....</b>	26
2.6.4.	<b>Calibración y validación de microsimulación.....</b>	26
2.7.	<b>Vissim.....</b>	27
2.8.	<b>Mototaxis.....</b>	28
3.	<b>METODOLOGÍA.....</b>	30
3.1.	<b>Consideraciones Generales.....</b>	30
3.1.1.	<b>Consideraciones según los usuarios.....</b>	31
3.1.2.	<b>Consideraciones según el tráfico.....</b>	32
3.1.3.	<b>Consideraciones según los elementos físicos o geométricos.....</b>	33
3.2.	<b>Recolección de Datos.....</b>	33
3.2.1.	<b>Vehículos en zona de estudios.....</b>	34
3.2.2.	<b>Aforos.....</b>	37
3.2.3.	<b>Geometría de la intersección.....</b>	41
3.2.4.	<b>Tiempos de semáforos.....</b>	42

3.2.5.	<b>Lista de chequeos.</b>	43
3.3.	<b>Microsimulación con Vissim 22</b>	44
3.4.	<b>Análisis y propuesta</b>	45
4.	<b>APLICACIÓN Y EJECUCIÓN</b>	46
4.1.	<b>Desarrollo del Modelo</b>	46
4.1.1.	<b>Parámetros del mototaxi.</b>	47
4.1.2.	<b>Flujo vehicular.</b>	49
4.1.3.	<b>Flujo peatonal.</b>	49
4.1.4.	<b>Dispositivos de control.</b>	50
4.2.	<b>Verificación</b>	52
4.3.	<b>Calibración</b>	52
4.3.1.	<b>Resultados de calibración vehicular</b>	53
4.3.2.	<b>Resultados de calibración peatonal</b>	56
4.4.	<b>Validación</b>	60
5.	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTA DE REDISEÑO</b>	63
5.1.	<b>Análisis de resultados en situación actual</b>	63
5.1.1.	<b>Análisis de la geometría y diseño actual.</b>	63
5.1.2.	<b>Análisis del desempeño vehicular.</b>	64
5.1.3.	<b>Análisis del desempeño peatonal.</b>	66
5.2.	<b>Propuesta de rediseño para optimización</b>	69
5.2.1.	<b>Modificación del diseño geométrico de la intersección.</b>	69
5.2.2.	<b>Mantenimiento de intersección.</b>	74
5.2.3.	<b>Reubicación de paradero interprovincial</b>	75

5.2.4.	Señalizaciones adicionales.....	76
5.2.5.	Modificación de dispositivos de control.....	78
5.2.6.	Resultados de la microsimulación.....	79
6.	COMPARACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y LA PROPUESTA.....	83
6.1.	Discusión y evaluación vehicular.....	83
6.2.	Discusión y evaluación peatonal.....	84
6.3.	Discusión y evaluación de la geometría.....	86
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
7.1.	Conclusiones.....	88
7.2.	Recomendaciones.....	89
REFERENCIAS.....		91



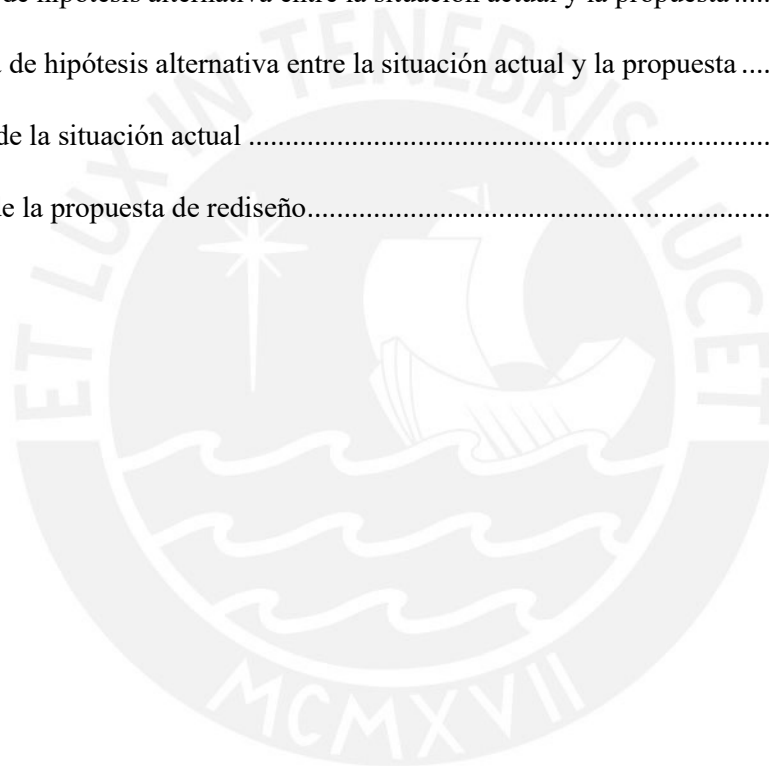


## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Circulo vicioso del declive urbano .....	5
Figura 2. Resultados a largo plazo de propuestas de planificación urbana en países europeos .....	6
Figura 3. Jerarquización de la movilidad .....	7
Figura 4. Criterio de las bases para cumplir con el “Pacto de Movilidad sostenible de Huesca” .....	9
Figura 5. Consideraciones a tomar en intersecciones sin sistemas de regulación .....	13
Figura 6. Tipos de reductores de acuerdo a las velocidades permitidas .....	16
Figura 7. Tipos de resalto .....	17
Figura 8. Paso de cebra con accesibilidad de silla de ruedas y bicicletas, además de piso podáctil .....	19
Figura 9. Tipos de baldosas podáctiles .....	19
Figura 10. Vistas de la elevación de una calzada para el cruce peatonal .....	20
Figura 11. Ejemplo de fases y ciclos de un semáforo. (Diagrama de fases K5XC15) .....	22
Figura 12. Arquitectura PTV Vissim .....	28
Figura 13. Visualización en 3D del modelado de mototaxi en Vissim .....	29
Figura 14. Metodología del proyecto .....	31
Figura 15. Líneas de deseo de los peatones desde el origen A .....	32
Figura 16. Movimientos permitidos del carril 1 .....	33
Figura 17. Mototaxi .....	35
Figura 18. Automóvil .....	35
Figura 19. Motocarga .....	36
Figura 20. Camión .....	36
Figura 21. Combi .....	36
Figura 22. Motocicleta .....	37
Figura 23. Ubicación de la intersección .....	41
Figura 24. Plano de la geometría de la intersección .....	42
Figura 25. Plano de la intersección con los posibles movimientos .....	43

Figura 26. Fases de semáforos para cada posible movimiento .....	43
Figura 27. Imagen importada en Vissim de la intersección .....	46
Figura 28. Velocidad típica que registra un mototaxi .....	47
Figura 29. Aceleración máxima estándar de mototaxis .....	48
Figura 30. Desaceleración típica que registra un mototaxi .....	48
Figura 31. Porcentaje del volumen total por tipo de vehículo por hora del carril 1 .....	49
Figura 32. Participación de líneas de deseo desde el origen A .....	50
Figura 33. Fases programadas de los semáforos vehiculares .....	50
Figura 34. Fases programadas de los semáforos peatonales .....	51
Figura 35. Modelo en Vissim 22 de la intersección actual .....	51
Figura 36. Sección para tiempos de viaje vehicular .....	53
Figura 37. Prueba de hipótesis nula en Statkey en el análisis vehicular .....	56
Figura 38. Sección para tiempos de viaje peatonal .....	57
Figura 39. Prueba de hipótesis nula en Statkey en el análisis peatonal .....	60
Figura 40. Prueba de hipótesis nula de validación en Statkey en el análisis vehicular .....	61
Figura 41. Prueba de hipótesis nula de validación en Statkey en el análisis vehicular .....	62
Figura 42. Gráfica de frecuencia acumulada de velocidades deseadas .....	66
Figura 43. Gráfica de frecuencia acumuladas de la situación actual .....	66
Figura 44. Vista en planta de islas esquineras de descanso peatonal .....	70
Figura 45. Dimensiones de carriles y veredas .....	71
Figura 46. Mapa de ubicación de intersección Jr. La Convención y Jr. Machupicchu .....	71
Figura 47. Propuesta de paso peatonal con resalto trapezoidal .....	72
Figura 48. Propuesta de paso peatonal en el Mercado Maracaná .....	72
Figura 49. Propuesta de rampas, inclusión de baldosas podáctiles para invidentes y bolardos .....	73
Figura 50. Veredas con árboles y bancos .....	75
Figura 51. Nueva ubicación del paradero .....	75

Figura 52. Propuesta de señalización horizontal en calzada .....	76
Figura 53. Señalizaciones verticales a implementar .....	77
Figura 54. Señal R-30 .....	77
Figura 55. Propuesta de fases de semáforos .....	78
Figura 56. Fases de los semáforos en Vissim de la propuesta .....	79
Figura 57. Modelo en planta de la propuesta en Vissim 22 .....	80
Figura 58. Modelo en 3D de la propuesta en Vissim 2022 .....	80
Figura 59. Prueba de hipótesis alternativa entre la situación actual y la propuesta .....	84
Figura 60. Prueba de hipótesis alternativa entre la situación actual y la propuesta .....	85
Figura 61. Plano de la situación actual .....	87
Figura 62. Plano de la propuesta de rediseño .....	87



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de vías .....	15
<b>Tabla 2.</b> Dimensiones recomendadas para un resalto tipo circular .....	18
<b>Tabla 3.</b> Dimensiones recomendadas para un resalto tipo trapezoidal.....	18
<b>Tabla 4.</b> Características físicas y mecánicas de los mototaxis .....	28
<b>Tabla 5.</b> Formato del carril 1 .....	38
<b>Tabla 6.</b> Aforo del carril 1 .....	39
<b>Tabla 7.</b> Formato para el Origen A .....	40
<b>Tabla 8.</b> Aforo peatonal a partir del origen A .....	40
<b>Tabla 9.</b> Lista de chequeo .....	44
<b>Tabla 10.</b> Resultados de tiempos de viaje de campo de vehículos.....	54
<b>Tabla 11.</b> Resultados de corridas vehiculares desde Vissim 22.....	55
<b>Tabla 12.</b> Cálculo de número de corridas vehiculares .....	56
<b>Tabla 13.</b> Resultado de tiempos de viaje peatonal en campo.....	58
<b>Tabla 14.</b> Resultados de corridas peatonales desde Vissim 22 .....	59
<b>Tabla 15.</b> Cálculo de número de corridas peatonales.....	60
<b>Tabla 16.</b> Análisis de volúmenes de vehículos de entrada en todas las vías por hora .....	64
<b>Tabla 17.</b> Análisis de tiempos de viajes vehiculares.....	65
<b>Tabla 18.</b> Análisis de volúmenes de entrada peatonales en todos los orígenes.....	67
<b>Tabla 19.</b> Análisis de tiempos de viajes peatonales .....	67
<b>Tabla 20.</b> Variación de tiempos peatonales en campo. ....	68
<b>Tabla 21.</b> Resultados de los tiempos de viaje vehicular extraídas de Vissim 22 de la propuesta .....	81
<b>Tabla 22.</b> Resultados de velocidades vehiculares de la propuesta .....	81
<b>Tabla 23.</b> Resultados de los tiempos de viaje peatonal extraídas de Vissim 22 de la propuesta .....	82
<b>Tabla 24.</b> Resultados de velocidades peatonales de la propuesta .....	82

**Tabla 25.** Variación de tiempo y velocidad entre la situación actual y la propuesta planteada ..... 83

**Tabla 26.** Variación de tiempo y velocidad entre la situación actual y la propuesta planteada ..... 84

**Tabla 27.** Variación entre los tiempos de viaje máximo y mínimo de la propuesta y situación actual 85



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Justificación y Problemática

El incremento económico del Perú se debe en un alto porcentaje al gran movimiento financiero en la capital (Lima); sin embargo, excluyendo a Lima, entre las ciudades con mayor porcentaje de aportación al Producto Bruto Interno (PBI) del país se encuentra Cusco con 4 % en el 2020 (BCRP, 2022). Por otro lado, según el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, a Cusco fue destinado más de 23 000 millones de soles desde el 2012 hasta el 2022, convirtiéndose en la región con mayor movimiento económico por actividades mineras y energéticas (Ingemmet, 2022).

La ciudad de Quillabamba se encuentra dentro del departamento del Cusco, y debido a sus atractivos, tanto turísticos como gastronómicos y el característico clima que posee, esta ciudad tuvo incrementos de demanda poblacional y turística, los cuales no fueron previstos en el diseño geométrico y urbano de sus principales intersecciones. En consecuencia, la seguridad peatonal se ve afectada por el desorden urbano y el tráfico que actualmente presenta. Es necesario señalar que el principal medio de transporte corresponde a vehículos menores como moto-taxis. Por todo ello, el proyecto se enfoca en el rediseño geométrico y de semaforización de una de las principales intersecciones a partir de la definición de movilidad sostenible y gestión del tránsito con ayuda de herramientas de modelado como el programa Vissim 2022, con la finalidad de mejorar el servicio y calidad de circulación de los ciudadanos y, así mismo, evitar el incremento de tráfico y desorden urbano como se ha estado viendo estos últimos años.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general.

Optimizar el tránsito peatonal y vehicular, principalmente de vehículos menores como mototaxis, en la intersección en estudio

### **1.2.2. Objetivos específicos.**

- Analizar el funcionamiento actual de la intersección vial en estudio a partir de las características de desplazamiento vehicular y peatonal en periodos de mayor demanda
- Estudiar el impacto de un alto porcentaje de vehículos menores, como los mototaxis, los cuales representan el principal medio de transporte en Quillabamba
- Analizar si la propuesta que se desea plantear a partir del análisis y el rediseño geométrico de este proyecto da resultados favorables y condiciones óptimas de circulación peatonal en la intersección en estudio

### **1.3. Alcance y Limitaciones**

El alcance de este proyecto busca detectar las deficiencias sobre el diseño de movilidad actual en la intersección, desde la misma intersección hasta el colegio Rosario y el Mercado Maracaná los cuales son aledaños al mismo punto de estudio, y proponer soluciones ante dicho problema, ya que esto perjudica el flujo peatonal de estudiantes y comerciantes que tienen como ruta permanente dicha intersección.

Por otro lado, para el tipo de vehículo que más abunda, como se mencionó con anterioridad, el programa de simulación Vissim 2022 no presenta un modelo predeterminado; por ello, se usará el de un proyecto anterior; es decir, la manera de modelación de este no está verificada en la presente tesis.

Como limitaciones tenemos que la solución de este proyecto no puede ser aplicada como estándar en todas las intersecciones debido a la unicidad de cada uno de estos; es decir, cualquier otra intersección no posee características ni situaciones totalmente iguales a la estudiada en esta tesis.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Características generales de Quillabamba–Cusco.**

Quillabamba se encuentra en el distrito de Santa Ana y es la capital de la provincia de La Convención, esta se encuentra en la ceja de selva del departamento de Cusco. El distrito de Santa Ana cuenta con una extensión territorial de 359.40  $km^2$  y con una población de 27 999 habitantes (INEI, 2018); por ello, es considerada una ciudad pequeña según la clasificación de ciudades a partir de la cantidad poblacional ya que es menos a 50 000 habitantes (CGLU, 2016).

Según la clasificación de zonas de desarrollo urbano – rural, Quillabamba se encuentra en el área urbana principal (PBOT, 2005); por otro lado, a pesar de que su principal ingreso durante mucho tiempo fue el agropecuario, principalmente la producción de café, el turismo estuvo aumentando estos últimos años y, en consecuencia, las inversiones en ese sector.

#### **2.1.2. Situación actual los medios de transporte en Quillabamba.**

Al tratarse de una zona que se encuentra en la ceja de selva, los medios de transporte más comunes son los que pertenecen a la categoría L5, como mototaxis y motocicletas (MTC, 2019). Sin embargo, el número de registros y permisos de mototaxis, a lo largo de los años, no son compatibles con los que transitan a diario. Son alrededor de dos mil mototaxis que no cuentan con los documentos necesarios para circular y brindar servicio (Radio Quillabamba, 2019). A partir de ello, la municipalidad, a través de una ordenanza, pidió como requisito la participación de cursos de educación vial y seguridad ciudadana para los tipos de vehículos que pertenecen a dicha categoría (Municipalidad provincial de La Convención, 2019).



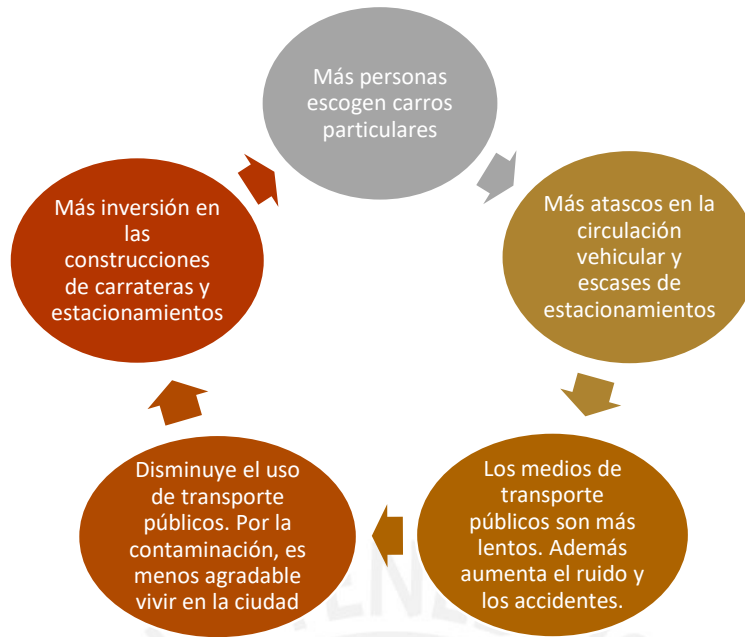
## **2.2. Movilidad Sostenible**

### **2.2.1. Definición.**

A lo largo de estos últimos años se incorporó al tema de movilidad la sostenibilidad haciéndolo aplicable al diseño urbano; es decir, en el concepto de movilidad sostenible se busca la funcionalidad de la ciudad relacionando los desplazamientos de los ciudadanos y las consecuencias ambientales (Dextre y Avellaneda, 2014). Asimismo, Piérola (2011) define como Movilidad Sostenible, no solo a las personas como prioridad, sino también a las formas de uso del suelo urbano.

Al abordar el tema de movilidad sostenible Montezuma menciona que se busca llegar al concepto de ciudad sostenible, sabiendo que todos tienen derecho a moverse y que el transporte, sin importar cuál sea, es un medio mas no un fin (Azàn, et al., 2011). Es así que, al tratarse de la ceja de selva de Cusco, el análisis que deseamos realizar no es el mismo que en una ciudad metropolitana debido a sus características poblacionales, geográficas e históricas. Sin embargo; para llegar a cumplir con conceptos de movilidad sostenible se requiere enfocar no solo en medidas tecnológicas si no en la constante educación de la conducta de los ciudadanos (Fulton, 2004).

Como plantean Dextre y Avellaneda (2014), existe un declive urbano en la sociedad y la planificación urbana: la obtención de un automóvil. Además, como menciona Pollmann, la relación entre medio ambiente, transporte y movilidad son definiciones que deben estar relacionadas como parte del concepto de movilidad sostenible, principalmente en países en desarrollo como el Perú, ya que la mayoría de peruanos tiene como aspiración la obtención de un automóvil, esto limita la aplicación de este concepto (Azàn, et al., 2011). A continuación, se muestra una representación gráfica de dicha situación.



*Figura 1. Círculo vicioso del declive urbano*

Fuente: Adaptado (Dextre & Avellanada, 2014)

### **2.2.2. Aplicación en planificación urbana.**

En cuanto a la planificación urbana, en un desesperado intento de desarrollo o modernidad, en muchas ciudades se excluye a los peatones alejándolos de sus necesidades con falta de veredas, andenes y demás infraestructuras que los ponen en peligro (Azàn, et al., 2011). Este tipo de decisiones son producto de una mala planificación urbana provocando una de las consecuencias más comunes: la congestión. Según el arquitecto Montezuma una ciudad con buena planificación tendrá una buena estructuración territorial y ordenamiento urbano (Azàn, et al., 2011).

Desde los años 80's los países europeos, como Francia, Reino Unido e Italia, plantearon proyectos de planes de movilidad urbana que inicialmente no dieron los resultados esperados ya que hubo problemas organizacionales, de financiamiento y jurídicos; sin embargo, los resultados se dieron a largo plazo (Vega, 2017). A continuación, se presentan los resultados y las medidas tomadas a lo largo del tiempo en estos países.

Francia	Reino Unido	Italia
<ul style="list-style-type: none"> <li>•<b>1983-2001:</b> Durante este tiempo se dieron los primeros planes urbanos piloto donde se pudo insertar a todas las personas en el diseño de espacios urbanos; sin embargo, se presentaron problemas en la adaptación dentro de los ayuntamientos.</li> <li>•<b>2006-2016:</b> Durante estos años se aprobó que en los planes de movilidad urbana se incluya una Evaluación de Impacto Ambiental. Además, es importante resaltar, que la inclusión de las personas con discapacidad se hizo más formal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•<b>1997-2001:</b> Se produjo un cambio en las políticas de transporte. Adicionalmente, se propuso una planificación integral y ambiental del transporte.</li> <li>•<b>2001-2019:</b> Se comienzan a realizar planes de transporte local (LTP) con características favorables para distintas ciudades. Actualmente se vienen creando nuevas estrategias para LTP, mejorando la planificación urbana.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•<b>1996:</b> En este año el Ministerio de Obras Públicas hizo una normativa que incluyen planes urbanos de tráfico, además de actuar con planes de movilidad sostenible en áreas contaminantes. Adicionalmente, para realizar estos proyectos, se exigió incluir estudios en planes de tráfico y urbanos.</li> <li>•<b>2000:</b> En este año el estado invierte en mayor medida en estos proyectos.</li> </ul>

Figura 2. Resultados a largo plazo de propuestas de planificación urbana en países europeos

Fuente: Adaptado (Vega, 2017)

Las características comunes de las ciudades que lograron implementar una correcta planificación urbana para mejorar la calidad de vida de los usuarios, son las siguientes: la visión que tiene una persona o entidad para poder tener iniciativa en la mejora de su ciudad, tener como definición de ciudad un lugar participativo y multidisciplinario sin importar el cambio de autoridades y además el colocar como elemento más importante en un diseño urbano a los ciudadanos, jerarquizando en primer lugar a los peatones, ciclistas, transporte público y finalmente los automóviles (Dextre, 2014).

La siguiente figura representa la jerarquización de los involucrados en una planificación urbana.

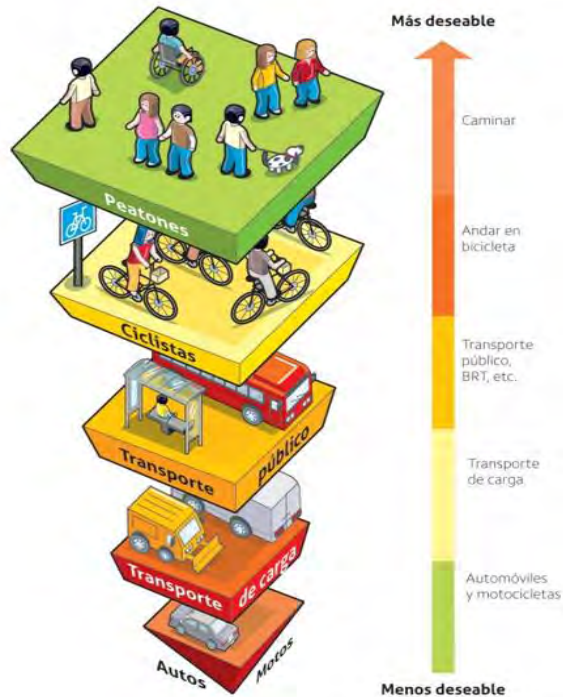


Figura 3. Jerarquización de la movilidad

Fuente: (ITDP, 2013)

### 2.2.3. Movilidad sostenible en ciudades pequeñas.

Para definir la movilidad sostenible en ciudades pequeñas, se define qué factores y características son relevantes para clasificar a una ciudad como pequeña. Algunos de estos factores son el impacto económico que generan, las funciones que se desempeñan en la innovación e información, áreas de influencia con respecto a otras ciudades y el tamaño demográfico (CGLU, 2016).

Sin embargo, el factor más relevante y el que está presente en distintos países, es el tamaño demográfico. Para cada espacio geográfico, de acuerdo a su organización, se definen distintos rangos del número de habitantes para la clasificación de ciudades (Vega y Vilela, 2019). Por ejemplo, en Estados Unidos las ciudades intermedias se sitúan en el rango de 200 000 y 500 000 habitantes, en el caso de los países de Europa entre 20 000 y 500 000 habitantes (Naciones Unidas, 2002).

En el caso del Perú, La institución que define que tipo de ciudades existen en todo el país y las características que cumplen para pertenecer a dicha clasificación es el Instituto Nacional de Estadística e Información, INEI. Una ciudad es considerada como intermedia mayor es si su tamaño demográfico esta entre 100 000 a 499 999 habitantes, una ciudad intermedia menor si oscila entre 50 000 y 99 999 habitantes y ciudad pequeña si es menor a 50 000 habitantes (INEI, 2011).

En estos últimos años debido a las intensas relaciones urbano-rurales que se vinieron incrementando, los problemas de movilidad en ciudades pequeñas no distan en gran magnitud de las ciudades metropolitanas (Martínez y Plaza, 2015). Sin embargo, por un lado, ya que Quillabamba es considerada una ciudad pequeña, el proponer la implementación de medios de transporte públicos como una solución a la optimización de movilidad, no es viable (IDAE,2006).

Por otro lado, de acuerdo a Jéssica Tantaleán quien es ex -gerente de Transporte No Motorizado de la Municipalidad Metropolitana de Lima, en ciudades pequeñas e intermedias, y en general en ciudades del Perú, el diseño urbano tuvo como prioridad a los vehículos motorizados ya que asimilaron este medio de transporte como un símbolo de desarrollo (Azàn, et al., 2011); por ello, la presión vehicular en estas ciudades afecta al dominio del suelo en donde se priorizan los automóviles y, en consecuencia, la infraestructura para satisfacer la circulación del mismo generando limitaciones en la movilización de los ciudadanos ya que se crean fragmentaciones espaciales (Martínez y Plaza, 2015). Sin embargo, en algunas ciudades pequeñas de primer mundo este concepto ha sido eliminado. Por ejemplo, la ciudad de Huesca es una ciudad pequeña que se encuentra en España con menos de 100 000 habitantes, esta es considerada como la ciudad más sostenible de España a pesar de tener un presupuesto modesto, (Ayuntamiento de Huesca, 2022). Huesca actualmente planteo una resolución llamada “Pacto

de Movilidad sostenible de Huesca” el cual propone acciones en distintos campos y temas que priorizan a los peatones y el ambiente (Ayuntamiento de Huesca, 2022).

A continuación, se presenta las principales consideraciones de estas bases para el “Pacto de Movilidad sostenible de Huesca”.



Figura 4. Criterio de las bases para cumplir con el “Pacto de Movilidad sostenible de Huesca”

Fuente: Adaptado de *Ayuntamiento de Huesca*

Como otro ejemplo se tiene a la ciudad de Alcázar de San Juan, la cual ha sido considerada como una ciudad innovadora en España, esto debido a que no tiene núcleos urbanos marcados donde haya centralizaciones en ciertos puntos de la ciudad, lo cual hace que las relaciones de movilidad sean eficientes y no haya ruptura demográfica entre lo urbano y rural, además del dinamismo socioeconómico (Martínez y Plaza, 2015).

Por todo lo mencionado, y las dificultades que se presentan en las ciudades pequeñas, la planificación urbana, la planificación de movilidad e inversión en la infraestructura se asemejan ligeramente a las de ciudades metropolitanas; por ello, es necesario tener una gestión proactiva del tráfico externo e interno de la ciudad considerando a los peatones y al medio ambiente.

### 2.3. Seguridad Vial

Como seguridad vial se define a un proceso integral donde se busca encontrar maneras, estrategias y procedimientos para proteger a los peatones o ciudadanos del sistema de tránsito (MTC, et al., 2008). Aunque la seguridad vial tiene como una de sus principales finalidades la

prevención de accidentes de tránsito, su definición no se limita al conocimiento de las normas de tránsito, si no a un conjunto de medidas que se deben tomar entorno a la movilidad y seguridad de los ciudadanos (Chacón y Sáenz, 2016).

La seguridad vial alrededor del mundo varía de acuerdo a la situación socioeconómica que cada país o ciudad tiene, por ejemplo, Etiopía y la India presentan tasas de mortalidad por accidentes de tránsito más altas de las que se notifican (OMS, 2013). Esto quiere decir que se debe aplicar sistemas para mejorar el manejo de esta información, porque de esta manera se tiene un conocimiento real y confiable de la situación actual en las distintas ciudades (Welle et al., 2016).

### **2.3.1. Auditoría de Seguridad Vial.**

Una Auditoría de Seguridad Vial (ASV) es un procedimiento o examen formal que se realiza a un proyecto nuevo, ya sea carretera o de tráfico. Este procedimiento está a cargo de un grupo independiente de especialistas calificados en el área de prevención de accidentes e ingeniería de seguridad vial que informa y analiza sobre las fases y el desempeño de seguridad del proyecto, esto con la finalidad de que este proyecto sea seguro para todos los usuarios. (AUSTROADS, 2002)

La auditoría se diferencia de la inspección de seguridad vial en la forma de evaluación. En el caso de una auditoría no solo se evalúa la infraestructura si no también el diseño geométrico de esta (Welle et al., 2016). Los beneficios de la auditoría de seguridad vial es que este procedimiento genera un alto nivel de seguridad en el entorno vial a partir de las mejoras en el diseño y gestión, además de reducir los accidentes y la cantidad de víctimas. (AUSTROADS, 2002).

### **2.3.2. Tránsito y seguridad peatonal.**

Para entender que implica la seguridad peatonal comenzaremos por tener una definición sobre quienes se encuentran dentro del concepto de peatón. Una persona al realizar, como parte de su rutina, un recorrido caminando o con ciertos accesorios para desplazarse que no sean automovilísticos se considera peatón (OMS, 2013), o de manera más simple y concisa “*Persona que va a pie por una vía pública*” (RAE, 2019). El tránsito peatonal se hace más amigable cuando se usa el concepto de “calles completas”, esto quiere decir que el diseño de estas brinda seguridad y asegura la prioridad a los peatones y ciclistas, en ese orden, para su movilización; sin embargo, esto no significa que se excluirá el flujo del tráfico vehicular (Welle et al., 2016).

### **2.4. Diseño Geométrico Vial Urbano**

Para realizar un diseño urbano se debe considerar que tipo de vía es la que está siendo estudiada; sin embargo, a pesar de que cada proyecto urbano es único debido a que cada una de ellas depende de distintos factores como la demanda, la planificación urbana, el tipo de uso del suelo y demás características, los diseños dependen de factores reguladores. Entre estos factores se tienen las políticas generales que incluye planes de ordenamiento y transporte urbano, factores de legislación con respecto al uso de suelo y las afectaciones de los servicios básicos y de otras propiedades, factores con respecto a la seguridad ciudadana y factores ambientales, geográficos y funcionales que se refiere a los usuarios (Valenzuela, 2013).

Con respecto a las intersecciones, estas son zonas donde coinciden dos o más avenidas o calles, además donde generalmente se tiene una mayor capacidad de tránsito (Jiménez, 2011). Las intersecciones de más de cuatro ramales, a consecuencia de su propio diseño geométrico, presentan puntos altos de conflicto de circulación (Jiménez, 2011). Sin embargo, la presente tesis analizará y optimizará solo una intersección de cuatro ramales. Por ello, se detallará únicamente el análisis de los dos tipos de intersecciones correspondientes a cuatro ramales.



- **Intersección sin sistemas de regulación**

Este tipo de intersecciones se caracteriza por no tener volúmenes de tráfico considerables y admite la libre circulación de vehículos ya que no cuenta con ningún dispositivo de control; estas intersecciones tienen como ventaja el fácil diseño y, en consecuencia, la fácil construcción de estas (Pinos, 2016). Una intersección sin regulación puede presentarse en dos tipos, las cuales son en T y las intersecciones de cuatro ramales o también conocidas como intersección en cruz (Pinos, 2016).

Las intersecciones de este tipo manejan otras formas de control básicas como son las señalizaciones de alto, ceda el paso y entre otros (Roess et al., 2004). Sin embargo, estas solo pueden ser consideradas en intersecciones secundarias, o en ciudades rurales donde no se perjudique el tránsito de los usuarios (Pinos, 2016).

Por otro lado, dentro de este tipo de intersecciones encontramos a las intersecciones sin prioridad, estas no presentan señalizaciones, estas se dan normalmente en intersecciones descentralizadas, es decir, exteriores a las zonas urbanas o alejadas a áreas con un alto flujo vehicular; en este caso existe una mayor responsabilidad por parte de los conductores ya que deben tomar en cuenta la proximidad de la intersección para antelar ciertas maniobras o ceder el paso, además de encontrar la manera de ingresar o cruzar dicha intersección y el giro como última fase de la intersección (Fraile, 2018). La figura siguiente muestra la manera correcta y las acciones que se deben tomar al ingresar a una intersección sin ningún tipo de dispositivo de control ni señalización.

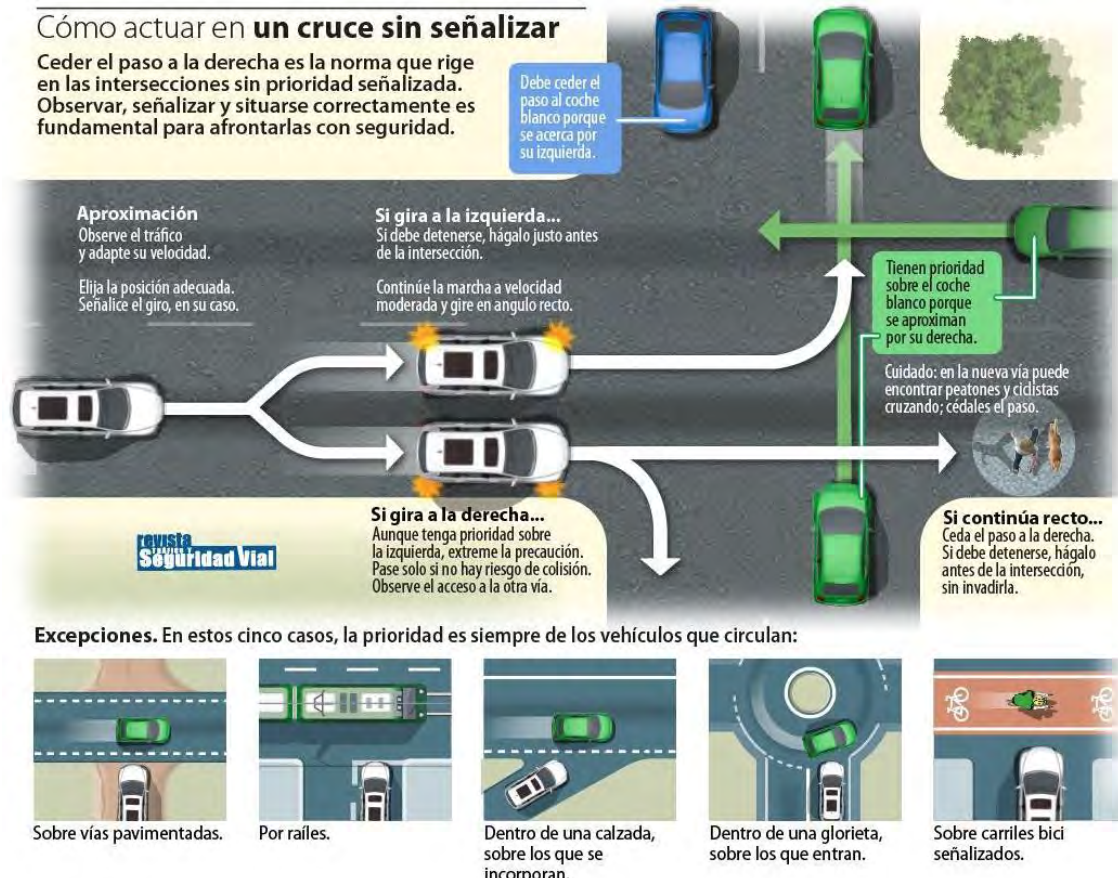


Figura 5. Consideraciones a tomar en intersecciones sin sistemas de regulación

Fuente: (Fraile, 2018)

- **Intersección semaforizada**

Estas intersecciones están reguladas mediante dispositivos de control, como son los semáforos, debido a la demanda vehicular que presenta o por la ubicación en la que se encuentra, como un lugar centralizado de la ciudad; estos dispositivos serán incluidos en el diseño y modelo de microsimulación. Por ello, la manera en la que se realiza el ingreso de los datos de estos dispositivos en el proceso de simulación, es a través de grupos de señales “*signal head*” (Fellendorf y Vortisch, 2010).

Este tipo de intersecciones presentan muchas actividades en un solo espacio; por ello, se busca que a los peatones no les demande tiempo excesivo al transitar o cruzar las calle, a través de la implementación de semáforos y señalizaciones, de esta manera la seguridad y prioridad de los peatones se maximiza (Welle al et., 2016). En una intersección semaforizada los

movimientos son separados en el tiempo de tal manera que se reduzcan los puntos de conflicto previamente mencionados (Cabrera, 2019). Por otro lado, según Chávez en el Manual de Diseño geométrico de vías urbanas (2005), el procedimiento y secuencias de pasos para realizar el diseño vial urbano es el siguiente.

El primer paso es determinar qué tipo de vía es; es decir, definir los parámetros de la función que se desempeñara en dicho lugar. En segundo lugar, realizar un análisis y estudio de topografía, urbanismo, tráfico actual, reconocimiento y estudio de la infraestructura de servicios públicos y limitaciones en el lugar. Luego, definir las velocidades de diseño de todos los vehículos que circulan frecuentemente en el lugar de estudio. Y finalmente la inversión que se requiere, el reconocimiento de los reglamentos y criterios de diseño según los manuales que estipulan los valores admisibles; tanto máximos como mínimos, para el diseño de esta (ICG, 2005).

#### **2.4.1. Clasificación de vías.**

La clasificación de vías se basa en distintos factores de movilidad: Velocidad de diseño, características de flujo, control de acceso y relación con otras vías, número de carriles, servicio a propiedades adyacentes, servicio de transporte público y estacionamiento de carga y descarga de mercadería (MDGVU, 2005). La intersección estudiada en la presente tesis, según la *Tabla 1*, pertenece a vías locales ya que la velocidad permitida en dicho punto no supera los 40 km/hora por la congestión de ambulantes y densidades peatonales, además de estar permitida la carga y descarga de mercadería, y concuerda con ser vías unidireccionales y bidireccionales.

**Tabla 1. Clasificación de vías**

Atributos y restricciones	VÍAS EXPRESAS	VÍAS ARTERIALES	VÍAS COLECTORAS	VÍAS LOCALES
<b>Velocidad de diseño</b>	<b>Entre 80 y 100Km/h</b> Se regirá por lo establecido en los artículos 160 y 180 del Reglamento Nacional de Transito vigente.	<b>Entre 50 y 80 km/h</b> De acuerdo a los artículos 160 y 168 del RNT.	<b>Entre 40 y 60 km/h</b> De acuerdo a los artículos 160 y 168 del RNT.	<b>Entre 30 y 40 km/h</b> De acuerdo a los artículos 160 y 168 del RNT.
<b>Características del flujo</b>	<b>Flujo continuo.</b> Presencia de vehículos livianos y pesados cuando es permitido no se permite bicicletas ni peatones.	<b>Minimizar interrupciones del tráfico</b> Los semáforos deben sincronizarse para minimizar interferencias. Se permite todo tipo de vehículos, mayormente livianos. Las bicicletas están permitidas en ciclovías.	<b>Se permite todo tipo de vehículos</b> Flujo interrumpido por intersecciones a nivel. En áreas comerciales e industriales, mayormente camiones Las bicicletas están permitidas en ciclo vías	Esta permite el uso de vehículos livianos y bicicletas y el flujo peatonal es libre.
<b>Control de accesos y relación con otras vías</b>	Se conectan con otras vías expresas o arteriales en puntos distantes y mediante enlaces	<b>Los cruces peatonales y vehiculares en pasos a desnivel, intersecciones o cruces sanforizados.</b> Estos se conectan a vías expresas u otras vías arteriales y colectoras. Las intersecciones a nivel con otras vías arterias y/o colectoras deben ser necesariamente semaforizadas y consideradas carriles adicionales para volteo.	<b>Incluyen intersecciones semaforizadas, y solo señalizadas en los cruces con otras vías colectoras.</b> Recibe soluciones especiales para los cruces donde existan volúmenes de vehículos y/o peatones de grandes magnitudes	Se conectan entre ellas y con las vías colectoras.
<b>Número de carriles</b>	<b>Bidireccionales:</b> 3 o más carriles/sentido	<b>Unidireccionales:</b> 2 o 3 carriles <b>Bidireccional:</b> 2 o 3 carriles/sentido	<b>Unidireccionales:</b> 2 o 3 carriles <b>Bidireccional:</b> 1 o 2 carriles/sentido	<b>Unidireccionales:</b> 2 carriles <b>Bidireccional:</b> 1 carriles/sentido
<b>Servicio a propiedades adyacentes</b>	Vías auxiliares laterales.	Deberán contar con vías de servicios laterales.	Prestan servicio a las viviendas adyacentes.	Presenta servicio a las viviendas adyacentes, deben llevar su propio transito generado.
<b>Servicio de transporte publico</b>	Permitida en buses, preferentemente en "carriles exclusivos" con paraderos diseñados al exterior de la vía.	El transporte público debe desarrollarse por buses. "en carriles exclusivos" o carriles con solo buses diseñado al exterior de la vía o en bahía	Se da en carriles mixtos cuando es autorizado, debiendo establecerse paraderos especiales y/o carriles adicionales para volteo.	No permitido
<b>Estacionamiento, carga y descarga de mercadería</b>	No permitido, salvo en emergencias.	No permitido, salvo en emergencias o en vías de servicio laterales, de acuerdo a los artículos 203 y 225 del RNT.	El estacionamiento de vehículos se realiza en estas vías, especialmente destinadas para este objetivo.	Estacionamiento permitido de acuerdo a los artículos 203 y 225 del RNT.

Fuente: Adaptado de (ICG, 2005)

#### 2.4.2. Diseño de reductores de velocidad.

La implementación de reductores, llamados comúnmente rompemuelleres, se colocan usualmente en vías locales y residenciales; estos son recomendables colocarlos a la mitad de una cuadra y no en la misma intersección, además, sirven para controlar el tránsito (Welle et al., 2016). Existen distintos tipos de reductores, los cuales se muestran en la siguiente figura.

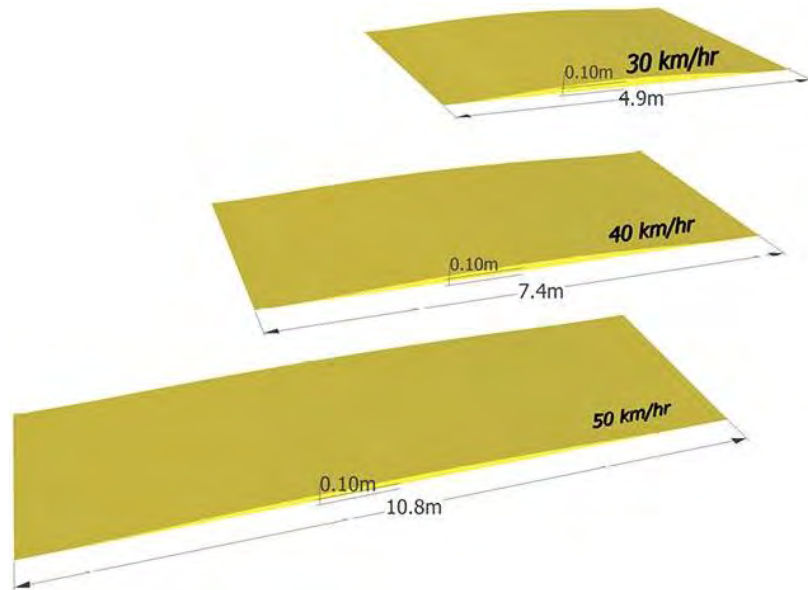


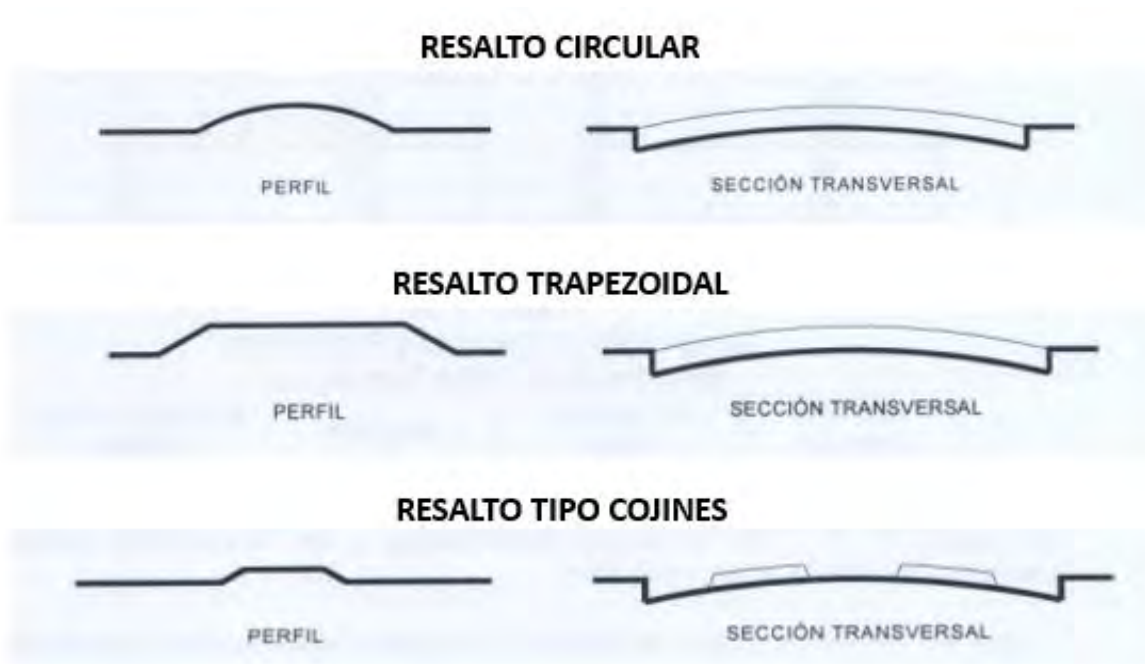
Figura 6. Tipos de reductores de acuerdo a las velocidades permitidas

Fuente: (Welle et al.,2016)

Por otro lado, el MTC menciona ciertos criterios para la implementación de los reductores de velocidad tipo resalto, como es el usar estos elementos cuando en la vía se tenga una velocidad de operación menor o igual a 50 km/h, estos elementos viales deben ser diferenciados por un color distinto al de la vía, además la colocación o retiro de estos deben ser únicamente con la autorización o revisión de una auditoria de Seguridad Vial (2007). Existen tipos de resaltos de acuerdo a las condiciones en las que se encuentra la vía como se muestra a continuación.

- El tipo circular se coloca en una dirección o en ambas direcciones de la vía
- El tipo trapezoidal siempre va en todo el ancho de vía, y muchas veces sirve también como cruceo peatonal.

- El tipo cojines, es una intercalación de trapezoidales pequeños y sirve para velocidades entre 50 y 60 km/h
- El tipo virtual, el cual no tiene ningún levantamiento, pero presenta una marca en el pavimento para inducir al conductor que frene, este tipo de resaltos es cuando existe consecutivamente una serie de reductores en la vía, como en vías expresas, tramos rurales a urbanos y demás de este tipo.



*Figura 7. Tipos de resalto*

Fuente: Adaptado de (MTC, 2007)

Además, si se desea escoger o proponer un tipo de resalto para la construcción de un reductor de velocidad, se debe tomar en cuenta que depende de la velocidad esperada, a partir de ello se escogen las medidas; para ello se tienen distintas recomendaciones de dimensionamiento (MTC, 2007). A continuación, se muestran tablas con las recomendaciones del Ministerio de transporte y Comunicaciones para cada tipo de resalto y velocidad deseada.

**Tabla 2.** Dimensiones recomendadas para un resalto tipo circular

Velocidad esperada (km/h)	Radio (m)	Longitud de cuerda (m)	Velocidad durante el paso (km/h)
25	15	3.5	10
30	20	4.0	15
35	31	5.0	20
40	53	6.5	25
45	80	8.0	30
50	113	9.5	35

Fuente: (MTC, 2007)

**Tabla 3.** Dimensiones recomendadas para un resalto tipo trapezoidal

Velocidad esperada (km/h)	Longitud de rampa (m)	Pendiente (%)	Velocidad durante el paso (km/h)
25	0.8	12.5	5
30	1	10.0	10
35	1.3	7.5	15
40	1.7	6.0	20
45	2	5.0	25
50	2.5	4.0	30

Fuente: (MTC, 2007)

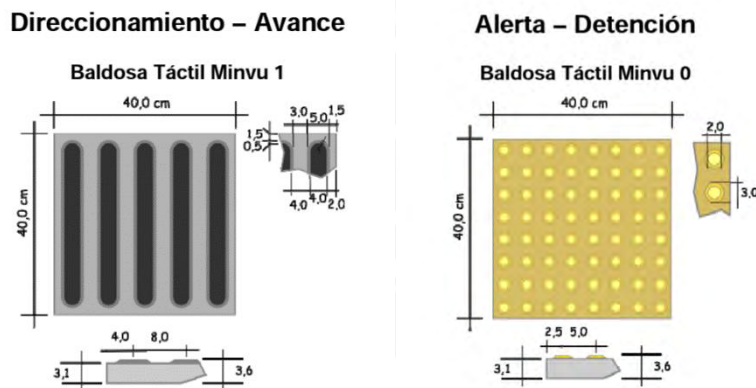
### 2.4.3. Diseño de cruces peatonales y rampas.

Para el diseño de los cruces peatonales se toma en cuenta las distintas características de los peatones; por ejemplo, ancianos, niños, peatones con movilidad restringida, peatones con impedimentos sensoriales. Por ello; los cruces semaforizados van acompañados de un paso de cebra que satisfaga a los usuarios; es decir, que la infraestructura cuenta con accesibilidad para sillas de ruedas (Jerez y Torres). En la *Figura 8* se observa la aplicación de inclusión en un diseño vial común.



*Figura 8.* Paso de cebra con accesibilidad de silla de ruedas y bicicletas, además de piso podáctil  
Fuente: (Diario Ferrol, 2016)

Por otro lado, la consideración de suelo podáctil y sus criterios de utilización son importantes para garantizar que la vía sea accesible a todos los usuarios; por ello, existen dos tipos de baldosas las cuales transmiten distintos significados y el uso de ambas optimizan el desplazamiento de la persona invidente (MINVU).

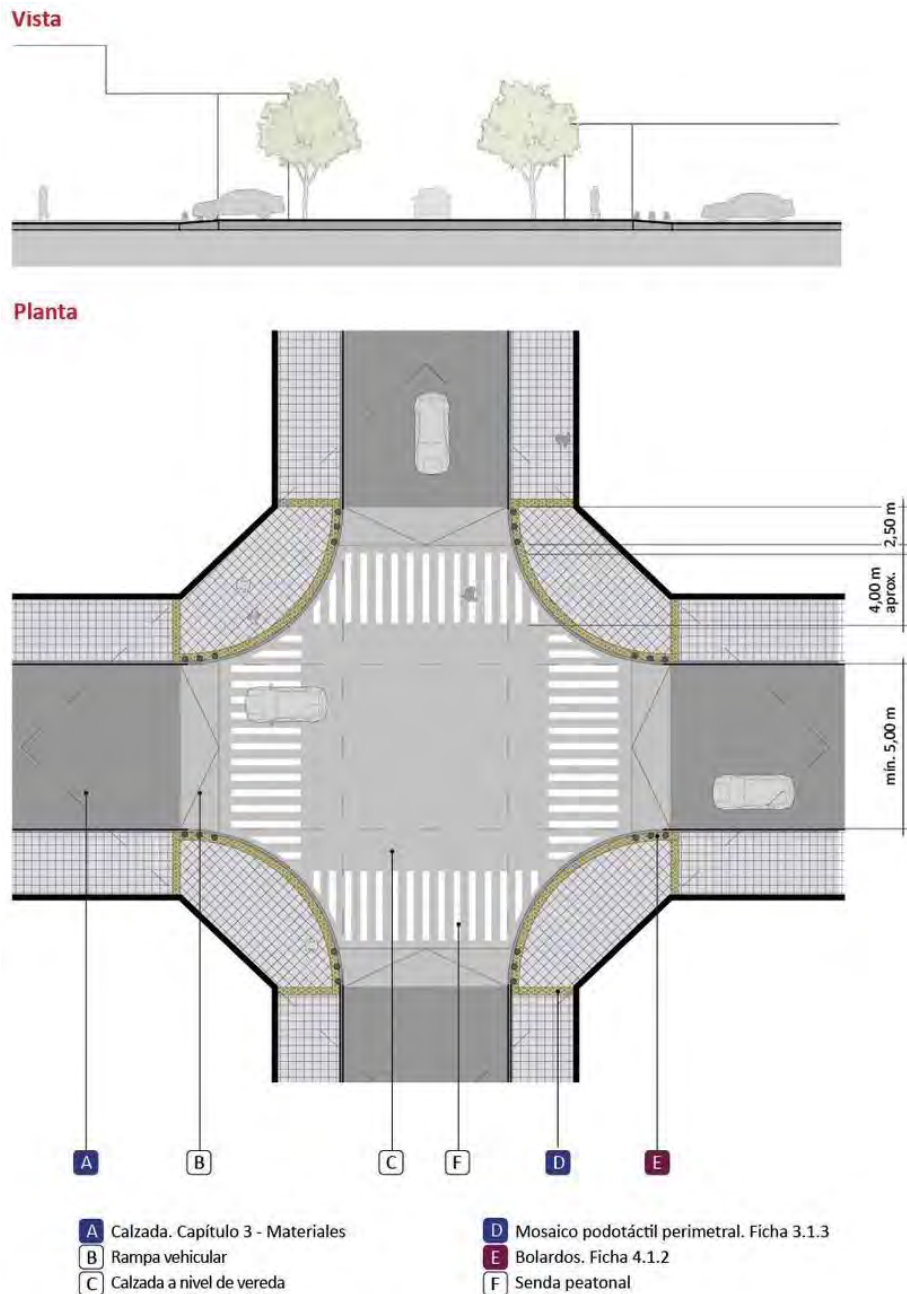


*Figura 9.* Tipos de baldosas podáctiles  
Fuente: MINVU

Finalmente, para el diseño de intersecciones con problemas de altas velocidades por parte de los conductores, se puede optar por elevaciones de calzada en la zona donde los peatones cruzan separándolos físicamente de los vehículos, estas elevaciones deben estar señalizadas o tener un color distinto al de la calzada donde se detengan los vehículos; este tipo de medida es recomendable para intersecciones donde las señalizaciones son estáticas (Welle et al., 2016).



Con esta medida, colocándolas a la mitad de la cuadra, según el Institute of Transportation Engineers (2018), las velocidades de los vehículos se reducen en un 10%; sin embargo, también son útiles para resaltar la prioridad del peatón. A continuación, se muestra gráficamente en la *Figura 9* como es la elevación de la calzada en un cruce peatonal.



Las medidas son indicativas y deberán adaptarse a cada proyecto en particular.

*Figura 10.* Vistas de la elevación de una calzada para el cruce peatonal

Fuente: (Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2019)

#### 2.4.4. Diseño de semáforos.

Los semáforos son dispositivos que a través del cambio de sus luces controlan el flujo vehicular y peatonal. La funcionalidad de los semáforos se basa, principalmente, en alternar los movimientos para evitar o disminuir los conflictos direccionales en una intersección (Cabrera, 2019). Existen distintos tipos de semáforos, como los vehiculares, los cuales son los clásicos que constan de los colores ámbar, rojo y verde, los semáforos peatonales que aumentan la seguridad de las personas ya que tienen indicadores de tiempo para el cruce de estas, semáforos de ciclistas para regular el tránsito de los transportes alternativos, y finalmente dispositivos para peatones invidentes que funcionan de manera coordinada con los semáforos tradicionales detectando vibraciones. (Vial-sing, 2019).

- **Capacidad de intersecciones semaforizadas**

Las fases son movimientos separados que cuentan con diagramas de tiempo donde se registra el intervalo de tiempo de luz verde, ámbar y roja en una misma fase; de la suma de estas fases se obtiene el ciclo del semáforo (Cabrera, 2019).

$$\text{Ciclo} = A + V + R \quad (1)$$

$$\text{Capacidad} = \frac{S \times V_e}{\text{Ciclo}} \quad (2)$$

**Donde:**

*S*: saturación

*Ve*: tiempo del verde efectivo

*A*: tiempo del ámbar

*V*: tiempo del verde

*R*: tiempo del rojo

Todos los elementos de las fórmulas pueden ser obtenidos de campo, a excepción de la saturación, este en cambio puede ser, además de campo, con aproximaciones empíricas, a

partir de la influencia de factores de corrección que depende de características geométricas; es decir, si los anchos de carriles son mayores a 3.60 m, pendientes en 0 % y no transitan vehículos pesado, entonces estos factores se consideran irrelevantes (Cabrera, 2019). Los valores del  $S_0$  (saturación inicial) en condiciones óptimas, se considera 1900 pc/h/carril. A partir del valor de la capacidad se puede analizar los tiempos de semáforos, ya que con ese resultado se deduce que los ciclos de un semáforo son más eficientes cuando son cortos (Cabrera, 2019).

La siguiente Figura muestra como las fases tienen distintos tiempos parciales de colores, pero mismos ciclos de semáforos con intervalos de tiempo donde todos los vehículos se detienen. (Cabrera, 2019).

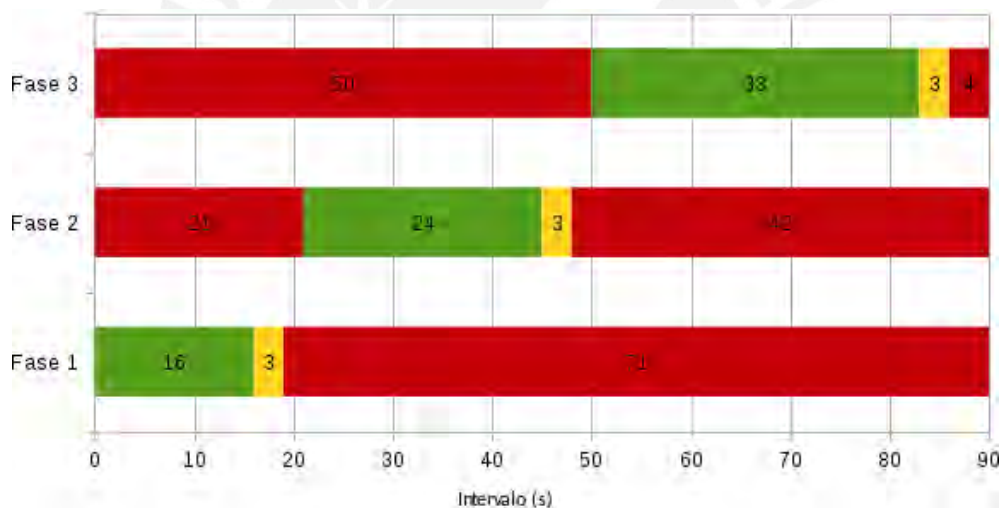


Figura 11. Ejemplo de fases y ciclos de un semáforo. (Diagrama de fases K5XC15)

Fuente: (Doble Vía, 2015)

## 2.5. Modelos de Simulación

Los modelos de simulación son un conjunto de componentes con condiciones y circunstancias asignadas por el modelador, esto permite tener conocimiento sobre el tráfico, lo que esto a su vez implica la circulación vehicular, peatonal y de ciclistas, para poder observar las posibles causas que provocan que una zona en estudio sea deficiente, en caso lo sea, y dar alternativas de cambio o rediseño para un mejor desempeño del mismo (Chura, 2018).

Por otro lado, los modelos de simulación para el tráfico, tiene dos funcionalidades importantes el primero es el diseño; es decir, poder realizar un diseño prediciendo el flujo vehicular y peatonal del sitio, y el segundo es el rediseño o análisis de funcionamiento de una infraestructura ya previamente diseñada y construida (Elefteriadou, 2014).

### **2.5.1. Según su naturaleza.**

Estos modelos que se describirán a continuación son diferentes en concepto, pero complementarios para su aplicación, incluso se tiene un modelo combinado llamado Modelo de Simulación Combinada Discreta-continua.

#### ***2.5.1.1. modelos continuos.***

Debido a que se trata de un modelo continuo las ecuaciones de simulación son diferentes ya que las relaciones de tasa de cambio están a lo largo del tiempo. Es decir, las variables que se tienen cambian continuamente sin interrupción (Gallardo, 2011).

#### ***2.5.1.2. modelos discretos.***

En cambio, en los modelos discretos las variables cambian en distintos instantes de tiempo; es decir que los instantes de tiempos no son continuos ni en intervalos, si no contables (Gallardo, 2011).

### **2.5.2. Según su aleatoriedad.**

#### ***2.5.2.1. modelos estocásticos.***

Este modelo se basa en probabilidades, que toma variables por medio de funciones probabilísticas. Al usarlo en el modelo de simulación de tráfico, estos datos dependen de estadísticas y por ende del número de datos que se ingresen, a partir de ello, esto tiende a variar (FHWA, 2004).

#### ***2.5.2.2. modelos determinísticos.***

Este modelo se caracteriza por ser de tipo matemático, ya que los resultados son congruentes con los datos que se le dan al modelo; es decir, no hay más de un resultado para un modelo,

además de contemplar la incertidumbre (Barrera, 2016). Esto es aplicado en práctica asumiendo que no se hace distinción entre los involucrados en el simulado; es decir, no hay diferenciación entre los vehículos y los conductores de estos. (FHWA, 2004).

### **2.5.3. Según su nivel de detalle**

#### ***2.5.3.1.modelos microscópicos.***

Al tratarse de un modelo microscópico su estudio se enfoca en los elementos más básicos de un modelo como son los participantes (Cabrera, 2019). Estos modelos analizan el comportamiento individual de cada vehículo para luego obtener el comportamiento del tránsito con las dinámicas vehiculares en determinada zona de estudio (Álvarez, 2017). La geometría y la reacción o agresividad de los conductores es considerada en este modelo (Avilés, 2017).

#### ***2.5.3.2.modelos macroscópicos.***

Estos modelos no entran a gran detalle en su modelamiento ya que se analiza en bloques, ya sea de vehículos o de peatones, y por ese mismo motivo el análisis es corto; resulta funcional para cuando se desea hacer un análisis superficial o con la necesidad de obtener resultados rápidos (Elefteriadou, 2014).

#### ***2.5.3.3.modelos mesoscópicos.***

Según Papageorgiou (2003) este modelo es la combinación de los anteriores (macroscópico y microscópico) por que como resultado final se analiza en conjunto. Aunque este modelo tiene más información de los elementos básicos y haciendo un modelo más simplificado, esto permite realizar una calibración con solo la velocidad en el carril de todo el vehículo, densidad vehicular en tráfico y el tiempo de reacción (Salazar, 2018).

## **2.6.Microsimulación**

Los modelos de microsimulación son usados, en su mayoría, por especialistas e investigadores para observar y analizar el comportamiento de los sistemas de transporte a partir de la conducta individual. Pero adicionalmente, un modelo de microsimulación está

conformado por más submodelos; en consecuencia, en estos modelos se pretende reproducir el mecanismo hecho por un solo conductor o peatón a partir de una sola decisión (Hollander y Liu, 2008).

La posibilidad de ver el flujo de tráfico a nivel “celular”, para luego cada uno de estos elementos, como los vehículos, puedan interactuar entre sí como un solo sistema, es la finalidad de la microsimulación, y adicionalmente esto permite ver las características, comportamientos y reacciones de cada elemento (Salvador y Robusté, 2000). Sin embargo, debido a la complejidad de que este escenario involucra, resulta necesario el uso de programas o algún software que permita la validación de estos modelos (Montenegro y Lozano, 2013).

#### **2.6.1. Nivel de aleatoriedad en el flujo del tráfico y número de semilla.**

Para cada caso de número de semilla (valores aleatorios) se le da un valor de velocidad de flujo libre y otro valor de desaceleración en Vissim (FHWA, 2004). Al cambiar los valores atribuidos se observa variaciones en la cola y las velocidades de cruce. El nivel de aleatoriedad o el incremento del valor de número de semilla no es un patrón de incremento en el resto de resultados

### 2.6.2. Número de corridas.

Mientras mayor sea el número de corridas, se obtendrá mayor precisión en el modelo, ya que este modelo tiene características estadísticas. A continuación, se detallará las fórmulas para la obtención de la varianza y el número de corrientes con la finalidad de comprobar el número de corridas.

$$S^2 = \frac{\sum(X-M)^2}{N-1} \quad (3)$$

$$N \geq (t_{0.5a} \times \frac{S}{e})^2 \quad (4)$$

*Donde:*

**S:** desviación estándar

**e:** Margen de error

**t<sub>0.5a</sub>:** valor de la tabla de distribución t student

**X:** resultado del parámetro en una corrida específica

**M:** media del parámetro en todas las corridas

**N:** número de corridas

### 2.6.3. Periodo de estabilización (Warm Up).

Para que en el modelo llegue a un punto de estabilización se considera un periodo de tiempo con la finalidad de que el modelo pase de un estado vacío a uno con presencia de vehículos. A este periodo mencionado se le llama Warm up (FHWA, 2004). Al iniciar la simulación las condiciones de la vía no son las regulares ya que se inicia el desplazamiento de vehículos y peatones los cuales se van dando paulatinamente y los resultados obtenidos desde el segundo cero no pueden ser comparados con resultados después de estabilizar el modelo; en cambio, a partir de los 10 o 30 minutos es suficientes para obtener resultados confiables (PTV Group, 2019).

### 2.6.4. Calibración y validación de microsimulación.

El proceso de calibración se basa en hacer ajustes en el modelo hasta que coincida con los datos observados (Hollander & Liu, 2008). Esto se logra a partir de la asignación de parámetros al modelo; por ello, se opta por una manera propuesta por Dowling y demás colaboradores

(2004), la cual consiste comenzar con parámetros que generan más impacto en la simulación y, finalmente, seguir con los menos críticos. Los parámetros que se usan son los del Modelo 74 de Wiedemann, en el caso de lugares urbanos, considera solo 3 parámetros que se regulan según se convenga, los cuales son los siguientes: distancia entre vehículos, factor aditivo de seguridad deseada y el factor multiplicativo de seguridad de deseada (PTV Group, 2016).

En el proceso de calibración el objetivo es llevar al modelo a un punto donde su capacidad de producción de los comportamientos peatonales y vehiculares sean los más cercanos a la realidad (Zuñiga, 2010). Por último, la validación del modelo se da después de haberlo calibrado, esto se obtiene a partir de los resultados obtenidos, se procede a comparar los datos de salida con lo que previamente se obtuvo en otra toma de datos en campo (Chura, 2018).

## **2.7.Vissim**

El software Vissim tiene significado en alemán *simulación del tránsito en ciudades* (Casares y Galarraga, 2015). Este programa es una herramienta de simulación microscópica que permite representar el tráfico de manera multimodal, esto quiere decir que incluye a todos los participantes en la circulación de la ciudad o zona en estudio (PTV Group, 2016). Adicionalmente, PTV Vissim te permite obtener modelados tridimensionales además de evaluar y planificar infraestructuras viales (PTV Group, 2019).

Por otro lado, se usa la última versión que presento el grupo PTV entre sus últimas actualizaciones (Vissim 22) para la presente tesis. En el caso de la calibración los parámetros de Wiedemann, son reconocidos como  $ax$  para la distancia entre vehículos,  $bxadd$  y  $bxmult$  como los factores de seguridad antes mencionados (PTV Group, 2016). Además, los fundamentos y el funcionamiento se basan en el comportamiento de un solo carril según el siguiente esquema extraído de una tesis de bachillerato de Meza, F (2018).



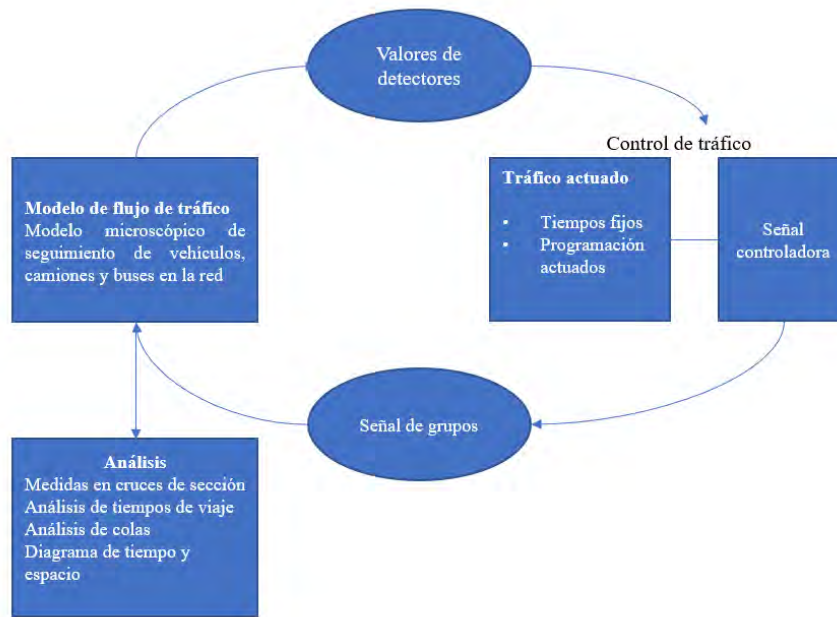


Figura 12. Arquitectura PTV Vissim

Fuente: (Meza, 2018)

## 2.8. Mototaxis

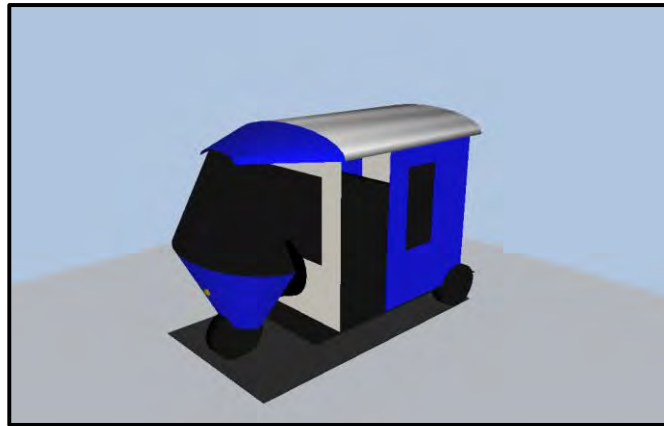
Para el modelamiento se necesita insertar un vehículo especial como referencia de los mototaxis. Las características físicas y mecánicas de este se presentan a continuación en una tabla resumen.

Tabla 4. Características físicas y mecánicas de los mototaxis

Características	Descripción
Fórmula rodante	3x2
Dimensiones	Distancia longitudinal es 2.625 m Ancho es 1.3 m Alto es 1.710 m
Velocidad	65 km/h
Clase de vehículo	Vehículo Menor
Carrocería	Trimoto de Pasajeros

Fuente: AUTODISA (2012)

Sin embargo, el modelamiento de este vehículo fue realizado en una tesis anterior, los autores son Lazo y Araujo (2017); por ello, se hace uso de sus parámetros hallados a partir de sus prácticas de campo y modelamiento. La figura siguiente es la correspondiente al modelo de los mototaxis en 3D que está incluida en la simulación.



*Figura 13.* Visualización en 3D del modelado de mototaxi en Vissim

Fuente: (Lazo y Araujo, 2017)



### 3. METODOLOGÍA

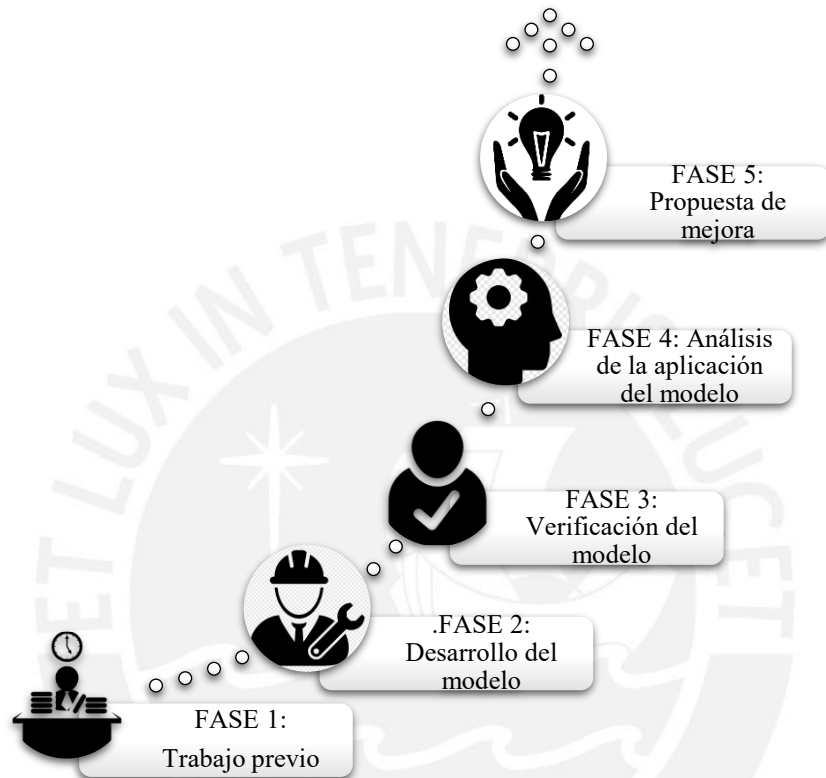
El proyecto se encuentra en la ciudad de Quillabamba dentro del departamento de Cusco. Esta ciudad es clasificada como pequeña según lo visto en el capítulo anterior; por ello, detectar la deficiencia de transporte y movilidad es menos complicado que en ciudades metropolitanas. La intersección donde se desarrolla esta tesis es concurrida tanto por peatones, entre ellos ambulantes y estudiantes, y vehículos, principalmente mototaxis. Esta intersección vial se encuentra entre Jirón Vilcabamba y Jirón Machupicchu. Para realizar el análisis, se recurre a un procedimiento que consiste en la definición y limitación de la zona de estudio, luego definir qué software se usará, en este caso se usará Vissim 22, y qué datos se necesitan extraer de campo para el modelamiento, para que a partir de ello se observen los errores de este y se plantee una propuesta de mejora.

#### 3.1. Consideraciones Generales

La metodología que se aplica ha sido extraída del Departamento de transporte de Estados Unidos del área de *Federal Highway Administration* (FHWA, 2019). A continuación, se describe cada parte de la metodología mencionada.

- **Trabajo previo:** Se realiza el desarrollo de la descripción del proyecto, objetivo, alcance, limitaciones y consideraciones a tomar, para luego continuar con la recolección de datos que serán parámetros que se ingresarán al modelo.
- **Desarrollo del modelo:** Se hace uso del software Vissim 22 para el modelamiento con los datos recolectados y luego se procede a la verificación de este.
- **Calibración y validación del modelo:** Se realiza la calibración de los parámetros ingresados con los datos recolectados para luego validarlos a partir de la comparación de modelos elaborados en distintos días con parámetros similares.
- **Análisis de la aplicación del modelo:** Se evalúa los resultados obtenidos de la situación actual y analiza las mejoras que se puedan implementar.

- **Propuesta de mejora:** Se realiza la documentación de la información y las posibles soluciones como propuestas de mejora, además de las conclusiones y recomendaciones a partir de la comparación de los resultados del proyecto. A continuación, se muestra de manera gráfica el proceso metodológico a aplicar.



*Figura 14. Metodología del proyecto*

Fuente: Adaptado de FHWA (2019)

### 3.1.1. Consideraciones según los usuarios

Las consideraciones que se deben tomar en cuenta para el desarrollo del proyecto son las características de los usuarios; es decir, de los peatones, conductores y ambulantes que circulan frecuentemente en dicha intersección.

En el caso de los peatones se debe tomar en cuenta su recorrido rutinario, sus horarios y observar si suelen optar algún medio de transporte no motorizado para movilizarse. Para el caso de los conductores, tomar en cuenta sus hábitos de conducción, las decisiones que suelen tomar

al momento de conducir y su tiempo de reacción ante una situación inesperada; es decir, que tipo de conductores circulan.

Al aludir a los peatones se tienen distintos tipos de posibles movimientos y direcciones desde el origen que se analice, como se muestra a continuación.



Figura 15. Líneas de deseo de los peatones desde el origen A

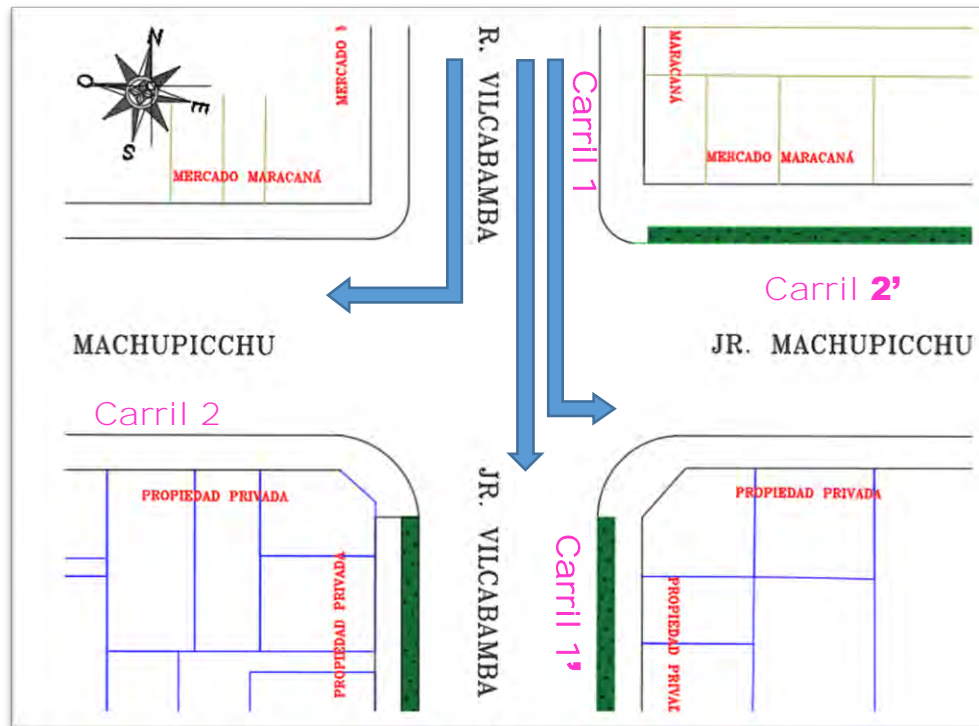
Fuente propia

### 3.1.2. Consideraciones según el tráfico

La intersección cuenta con un diseño establecido, esto nos permite conocer y considerar las capacidades reales de las avenidas interceptadas. En el proyecto las cuatro vías no son en doble sentido, haciendo que el flujo vehicular tenga otro tipo de comportamiento. La calle que se encuentra horizontal al plano es Jirón Vilcabamba y la calle en dirección vertical es el Jirón Machupicchu.

Según el tráfico se toma en consideración los giros y las variedades de movimientos según los destinos. Por otro lado, se considera las velocidades de los vehículos y también el estado de estos; además de tomar en cuenta el movimiento peatonal y de ciclistas si los hubiera. Para el

carril 1, como se observa en la *Figura 15*, tiene 3 posibles movimientos, sin embargo, el carril 2, 2' y 1' solo tiene dos posibles movimientos. El resto de carriles se encuentra en los anexos.



*Figura 16.* Movimientos permitidos del carril 1

Fuente propia

### 3.1.3. Consideraciones según los elementos físicos o geométricos

Son importantes las inspecciones en obra, tanto del lugar en estudio y su entorno a partir del análisis de la infraestructura peatonal y del transporte actual; es decir, las distancias de visibilidad, ángulos de intersección, iluminación, los dispositivos de control del tráfico como los semáforos y los factores ambientales. Por otro lado, es importante el análisis del área en zonas congestionadas, a partir de la influencia del colegio Rosario que se encuentra cercano a la intersección en análisis y el Mercado Maracaná.

## 3.2. Recolección de Datos

La recolección de datos se basa como primer paso en la toma de videos aéreos de la intersección en tiempos distintos: el 20 de noviembre del 2019 (7: 45 pm – 8:45 pm) y el 10 de noviembre del 2020 (12:00 mm – 1:00pm). Para esto se decidió hacer la grabación con una

cámara semiprofesional estacionaria con un trípode en el último piso de un edificio alto en la esquina de la intersección. Para la recolección de datos se realizarán las siguientes actividades.

- Toma del tiempo de circulación de mototaxis, motos y el resto de vehículos; es decir el aforo vehicular de cada uno de estos.
- Aforo de peatones, comerciantes y de las herramientas de trabajo que influyen en la circulación del tránsito.
- Análisis de los semáforos a partir de la toma de tiempos de este. Esto se realiza tanto en los semáforos peatonales y los vehiculares. Además, análisis de las señalizaciones existentes.
- El dimensionamiento geométrico, considerando bermas, veredas y radios del diseño existentes, se realiza una presentación en AutoCAD de los datos obtenidos.
- Lista de chequeos, en esta sección se busca analizar y tener conocimientos de los eventos extraordinarios o características que se observa en la intersección para considerarlos en la propuesta de rediseño.
  - Víctimas:** Víctimas mortales, usuarios vulnerables y accidentes laborales
  - Factores de riesgo:** Velocidad excesiva, elementos de seguridad pasiva, alcohol, drogas y psicofármacos
  - Localización:** Demarcaciones e intersecciones
  - Periodo temporal:** Día de la semana y mes del año
- Para el modelo se debe colocar los datos en campo del flujo vehicular y peatonal a partir de aforos tomados *in situ*.

### 3.2.1. Vehículos en zona de estudios.

Para hacer uso de los formatos donde se hará el conteo de vehículos, los cuales se describirán posteriormente, se tiene conocimiento de los tipos de vehículos que transitan en dicha

intersección, clasificándolos, nombrándolos y describiendo sus usos principales de cada tipo como se muestra a continuación.

- *Mototaxi*: Este vehículo principalmente es usado para dar servicio de transporte público a los ciudadanos. Es el más usado.



*Figura 17. Mototaxi*

Fuente propia

- *Automóvil o camioneta*: A diferencia de ciudades metropolitanas, este vehículo tiene solo uso personal en la ciudad de Quillabamba.



*Figura 18. Automóvil*

Fuente propia



- *Camión y motocarga:* Este tipo de vehículos son utilizados por los comerciantes para el transporte de mercadería.



*Figura 19. Motocarga*  
Fuente propia



*Figura 20. Camión*  
Fuente propia

- *Combis:* Estos vehículos son para servicio público como viajes interprovinciales.



*Figura 21. Combi*  
Fuente propia

- **Motocicleta:** Este vehículo es solo uso personal o para realizar pedidos a domicilio de algún restaurante o negocio que brinda el servicio de delivery.



*Figura 22. Motocicleta*  
Fuente propia
















### **3.2.2. Aforos.**

Con ayuda de contadores se obtiene los aforos tanto peatonales como vehiculares para la calibración. Los contadores son formatos diseñados para tener la información ordenada y funcional de la extracción de la videograbación. Además, esta videograbación toma en cuenta las consideraciones necesarias; es decir, los tiempos y horarios en los cuales se tomaron los videos con una vista panorámica de la intersección. La primera toma de videograbación fue el día 20 de noviembre del 2019 (7: 45 pm – 8:45 pm).

#### ***3.2.2.1. aforo vehicular.***

Para obtener el aforo vehicular se elaboraron formatos que sirven para la organización en la toma de datos, se optó por separarlos por carriles para un mejor ordenamiento a la hora de ingresar los parámetros al modelo; además, se incluye el tipo de maniobra que pueden realizar. A continuación, como ejemplo se presenta el formato para el carril 1.
















**Tabla 5. Formato del carril 1**

CARRIL	TIPO DE VEHICULO	POSIBLES MOVIMIENTOS	HORARIOS				TOTAL	
			19:45	20:00	20:15	20:30		
1	Mototaxis	1-1'						
		1-2						
		1-2'						
	Automóvil Y camioneta	1-1'						
		1-2						
		1-2'						
	Camión y motocarga	1-1'						
		1-2						
		1-2'						
	Combi	1-1'						
		1-2						
		1-2'						
	Motocicleta	1-1'						
		1-2						
		1-2'						

Fuente propia

Al realizar el conteo de los distintos tipos de vehículos en cada carril, se obtiene el aforo de participación para la clasificación de acuerdo al flujograma. A continuación, en la *tabla 6* se muestra el aforo del primer carril de acuerdo a la evaluación de la videograbación que corresponde al primer día. El resto de aforos de cada carril se encuentra en los anexos.

**Tabla 6. Aforo del carril 1**

CARRIL	TIPO DE VEHICULO	POSIBLES MOVIMIENTOS	HORARIOS				TOTAL	
			19:45	20:00	20:15	20:30		
1	Mototaxis	1-1'		121	108	117	118	464
		1-2		31	32	40	32	135
		1-2'		54	42	47	29	172
	Automóvil Y camioneta	1-1'		8	8	6	4	26
		1-2		0	0	0	1	1
		1-2'		3	4	4	2	13
	Camión y motocarga	1-1'		0	0	1	0	1
		1-2		1	0	1	0	2
		1-2'		1	0	2	1	4
	Combi	1-1'		6	3	3	1	13
		1-2		0	0	0	1	1
		1-2'		0	0	1	2	3
	Motocicleta	1-1'		41	36	25	29	131
		1-2		4	7	7	6	24
		1-2'		8	9	11	5	33
TOTAL			278	249	265	231	1023	




Fuente propia

### 3.2.2.2. aforo peatonal.

Para obtener el aforo peatonal se elaboraron formatos que tendrán origen en 4 puntos señalados como se mostró en la *Figura 14*. Esas direcciones señaladas son líneas de deseo que pueden optar los peatones para su movilización, esta información será extraída cada 15 minutos

según la condición previamente señalada. La *Tabla 7* muestra el formato a utilizar para la organización de dicha información de acuerdo a cada origen, el resto de formatos son presentados en los anexos.

**Tabla 7. Formato para el Origen A**

ORIGEN	POSIBLES MOVIMIENTOS	HORARIOS				TOTAL
		19:45	20:00	20:15	20:30	
Origen A						
						
						
						

Fuente propia

Al realizar el conteo de los peatones en cada flujograma asignado, se obtiene el porcentaje de participación para la clasificación de acuerdo a este. A continuación, en la *tabla 8* se muestra el aforo del *origen A* de acuerdo a la evaluación que se realizó correspondiente al primer día, el resto de aforos peatonales se presenta en los anexos.

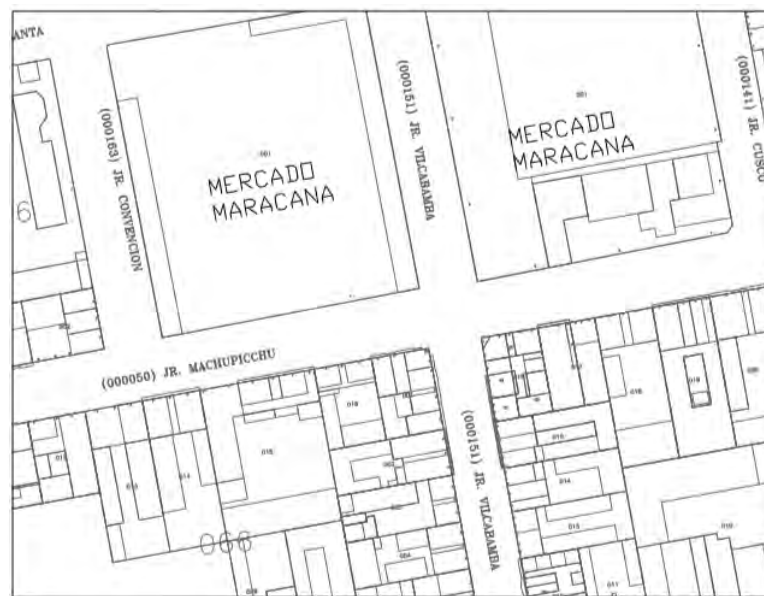
**Tabla 8. Aforo peatonal a partir del origen A**

ORIGEN	POSIBLES MOVIMIENTOS	HORARIOS				TOTAL
		19:45	20:00	20:15	20:30	
Origen A		68	58	45	39	210
		8	7	3	3	21
		68	40	32	49	189
		6	4	0	3	13

Fuente propia

### 3.2.3. Geometría de la intersección

La intersección de análisis tiene un entorno de alto tráfico, tanto peatonal como vehicular, ya que, como se observa en la *Figura 22*, se encuentra uno de los mercados más circulados en la ciudad de Quillabamba. A demás en el Jirón La Convención el mercado colinda con el colegio estatal Rosario. A continuación, se muestra la ubicación y el plano a detalle de la intersección para tener un conocimiento visual respecto al panorama.



*Figura 23.* Ubicación de la intersección

Fuente: Plano de catastro de Quillabamba

El plano fue realizado con medidas tomadas en campo; por ello, las medidas reales no son homogéneas con respecto a los carriles. Los anchos de las vías cuentan con distintas medidas, pero con un promedio de 11 m de ancho como se observa en el plano. Esta intersección cuenta con sardineles, veredas, rampas y semáforos, además de tener sentidos viales diferentes. A continuación, se muestra el plano a detalle de la geometría de la intersección analizada, este también estará en los anexos.

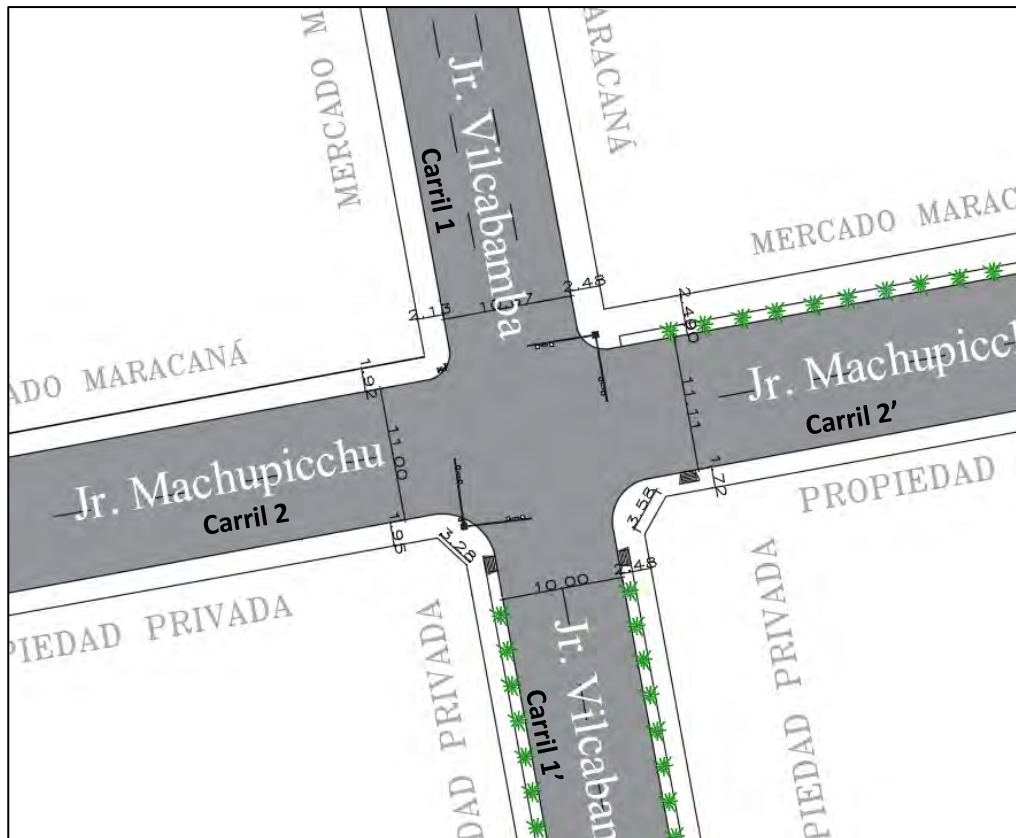


Figura 24. Plano de la geometría de la intersección

Fuente propia

Como se muestra en la figura los carriles no están definidos; sin embargo, el uso de estas vías tiende a cierta cantidad de carriles según lo observado en campo.

### 3.2.4. Tiempos de semáforos.

En la intersección existen semáforos para las cuatro vías, tanto vehiculares como peatonales; sin embargo, los semáforos peatonales se encuentran solamente para los que van del origen A al origen D, del origen C al origen D y viceversa. Los tiempos de los semáforos se obtuvieron de las videograbaciones con ayuda de un cronómetro; a partir de ello, se realiza la suma total del tiempo en verde, ámbar y rojo obteniéndose un ciclo de 60 segundos en los 4 semáforos. A continuación, en la *Figura 27* se muestra donde se ubican estos semáforos y en la *Figura 29* las fases de estos.

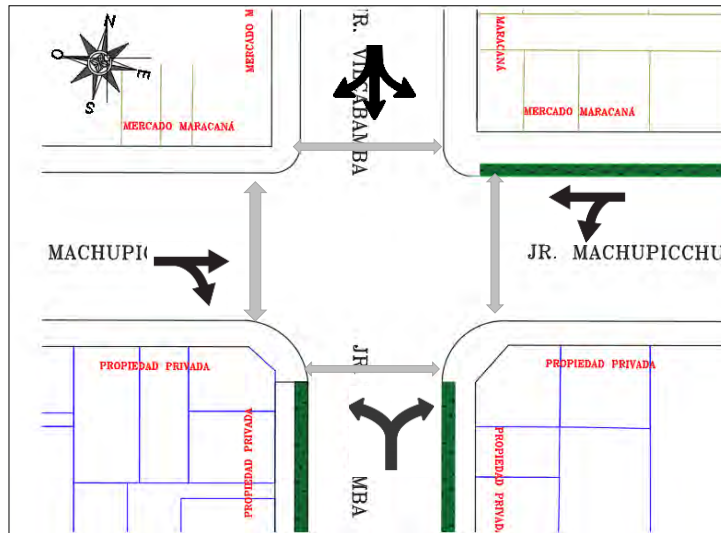


Figura 25. Plano de la intersección con los posibles movimientos

Fuente propia

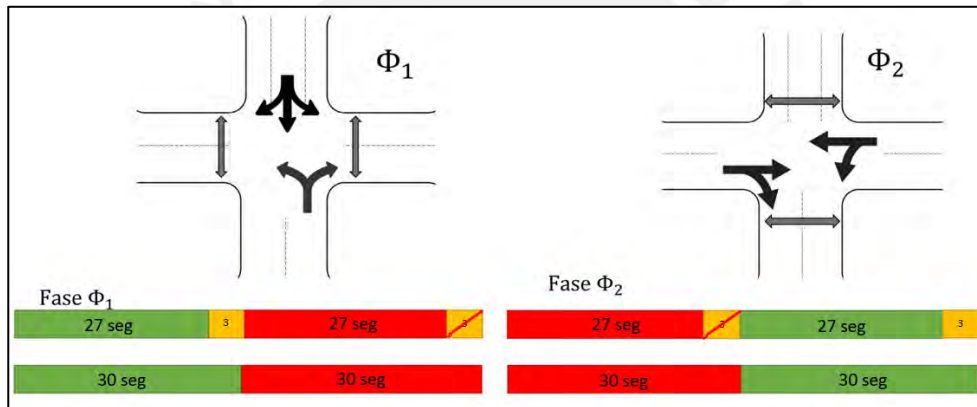


Figura 26. Fases de semáforos para cada posible movimiento

Fuente Propia

### 3.2.5. Lista de chequeos.

La lista de chequeo se elabora para la evaluación de manera cualitativa y real las condiciones de accesibilidad y las condiciones en las que se encuentra el entorno de la intersección en la actualidad. En esta lista se prepara distintas interrogantes y afirmaciones para la recopilación de información que se tomará en cuenta para la propuesta de rediseño. Por ejemplo, se toma en cuenta el tránsito, las señalizaciones (de haberlas), cruces peatonales, circulación vehicular y peatonal, condiciones de las estructuras viales e incidentes ocurridos. A continuación, se muestra una tabla de los chequeos observados *in situ*. Las recolecciones de imágenes y el resto



de chequeos donde se observa a detalle cada una de estas observaciones están adjuntadas en los anexos.

**Tabla 9. Lista de chequeo**

CHEQUEO	CONFIRMACIÓN DE CHEQUEO	DETALLES
El ancho de carriles es constante	NO	Las longitudes de calzada varían de 10.50 m a 11 m
Los carriles están separados correctamente	NO	No presentan líneas de eje central
Existen elementos viales donde puedan separar a la circulación de los peatones con los vehiculares en todas las direcciones	SI	Existen veredas que están a desnivel de la calzada
Es comercial	SI	Existencia del Mercado Maracaná y El colegio Rosario a una cuadra de la zona de estudio
Existe invasión de comerciantes en las vías	SI	Especialmente en las colindantes del mercado existen comerciantes en carretillas y triciclos que invaden el área que corresponde al flujo vehicular y peatonales
El diseño fue pensado y es adecuado para personas con deficiencia visual	NO	las estructuras colocadas son básicas y hay presencia de sardineles que no están correctamente delimitados
Existen rampas en buenas condiciones para personas discapacitadas	NO	Las rapas estas desgastadas y con pendientes no reguladas por norma
El estado actual de la calzada es bueno	NO	Presenta huecos y baches por el desgaste de la posta

Fuente propia

### 3.3. Microsimulación con Vissim 22

- Como primer paso se empieza por modelar el contexto en el que se ubica la intersección en estudio, a partir de un plano realizado en AutoCAD o el plano catastral del lugar, en el caso de este proyecto se usara una imagen de Google Earth que se escala de acuerdo a las medidas tomadas en campo. A esto se le llama *background*.
- Luego se realiza la asignación de links; es decir, asignar vías y carriles en las calles de acuerdo al *background*, todo esto con ayuda de una herramienta llamada *conectores*.
- Se crean áreas peatonales; es decir, donde actualmente los peatones tienen permitido

circular, esto se realiza con la creación de capas. Esto incluye los cruces peatonales ya que se trata de una intersección semaforizada.

- Se fijan las prioridades de cruce tanto vehiculares, así como peatonales según se muestre en la videograbación.
- Luego se comienzan a definir los vehículos y peatones, además de las rutas. Cabe resaltar, que se usarán datos de una investigación previa de Lazo y Araujo sobre las características de los mototaxis.
- Se asigna señales de control con sus respectivas características de fases y posiciones que representan a los semáforos vehiculares y peatonales.
- Después de cada configuración se realizan corridas para poder validar el modelo.
- En la calibración se ajustan los parámetros individuales con la finalidad de representar las verdaderas condiciones de la intersección en el modelo. El porcentaje de error se acepta de un 10% y la confiabilidad de 95 %.
- Finalmente, la validación del modelo se realiza para verificar el rendimiento de este a partir de los datos de campo que hasta el momento no fueron utilizados.

### **3.4. Análisis y propuesta**

Con el modelo ya realizado se analiza el escenario y de qué manera perjudica el diseño geométrico, semafórico y de señalizaciones al libre flujo vehicular y peatonal actualmente. Luego se buscan propuestas de mejora que cumplan con los conceptos de sostenibilidad y prioridad peatonal sin alterar el correcto flujo vehicular; para esto se vuelve a utilizar el programa de modelamiento hasta obtener un rendimiento adecuado, con ayuda de una serie de resultados estadísticos. Finalmente, después de obtener los resultados proyectados de esta tesis, se procede a la documentación que facilite la futura aplicación en la intersección, desde planos geométricos y reubicación, las fases de los dispositivos de control el desarrollo del modelo y todo lo que implique ello; es decir, la verificación, calibración y validación de la propuesta.

## 4. APLICACIÓN Y EJECUCIÓN

En este capítulo se hace el uso de los datos recolectados, los parámetros y características geométricas de la intersección en la situación actual para realizar el desarrollo del modelo, estos son los datos de entrada que se procesan en el programa de modelamiento escogido. En esta tesis se hace uso del programa de Vissim 22. Así mismo, en este capítulo se realiza la calibración y validación.

### 4.1. Desarrollo del Modelo

Para el desarrollo del modelo se sigue una secuencia de pasos donde se delimita la zona de estudio a partir de la creación del entorno, esto con la indispensable creación del *background*; es decir, primero se importa la imagen de la intersección, para luego ingresar los dispositivos de control, áreas de conflicto, vehículos y peatones participantes de acuerdo a su conducta tanto de los choferes y los peatones.



Figura 27. Imagen importada en Vissim de la intersección  
Recuperado el 15 de octubre del 2020 de Google Earth Pro

Luego se definen las rutas y la composición de estas. De acuerdo a la situación en la que se encuentra la intersección, no se incluyen reductores de velocidad en el modelo ni señalizaciones; sin embargo, se coloca un *signal stop* ya que la línea de combis interprovinciales hace paradas en plena vía; a pesar de que este no es paradero.

Finalmente, en las áreas de conflicto, se programan de acuerdo a la situación real; es decir, en el caso de esta intersección se observa que la prioridad es de vehículos, además se asignan las áreas de conflicto de acuerdo al comportamiento real de los choferes de los vehículos como se puede ver en la videograbación.

#### 4.1.1. Parámetros del mototaxi.

Estos parámetros tanto de velocidad como aceleración fueron extraídos de la tesis de Lazo y Araujo, como se citó previamente. Se define la velocidad y aceleración para este vehículo, ajustándolo a lo experimentado según la tesis mencionada. Además, en este caso, se varia *Average standstill distance* del modelo de Wiedeman a 0.20 m para probar con la calibración, dato también extraído de dicha tesis que ajusta la real separación que se da entre 2 mototaxis. A continuación, se observan los datos que se incluyen en el modelo para terminar de definir el mototaxi.

- Velocidad deseada del mototaxi registrada en el software a partir de pruebas en campo en una anterior tesis se muestra en la *Figura 31*.

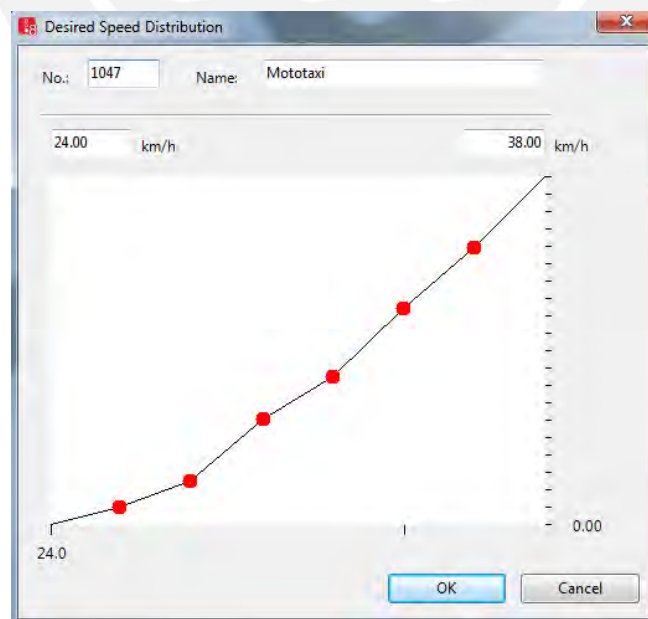


Figura 28. Velocidad típica que registra un mototaxi

Fuente: (Lazo y Araujo, 2017)

- Aceleración máxima del mototaxi. Esta última aceleración máxima fue ajustada a la curva, ya que la original registrada en campo no es regular.

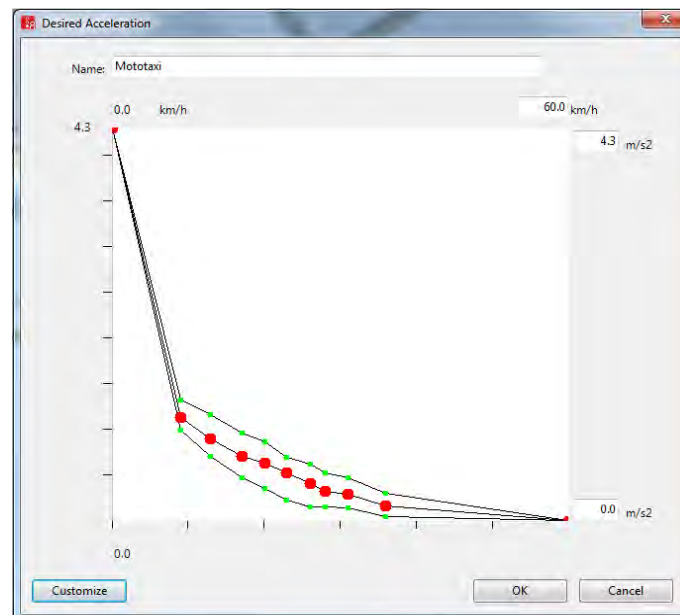


Figura 29. Aceleración máxima estándar de mototaxis

Fuente: (Lazo y Araujo, 2017)

- Desaceleración del mototaxi

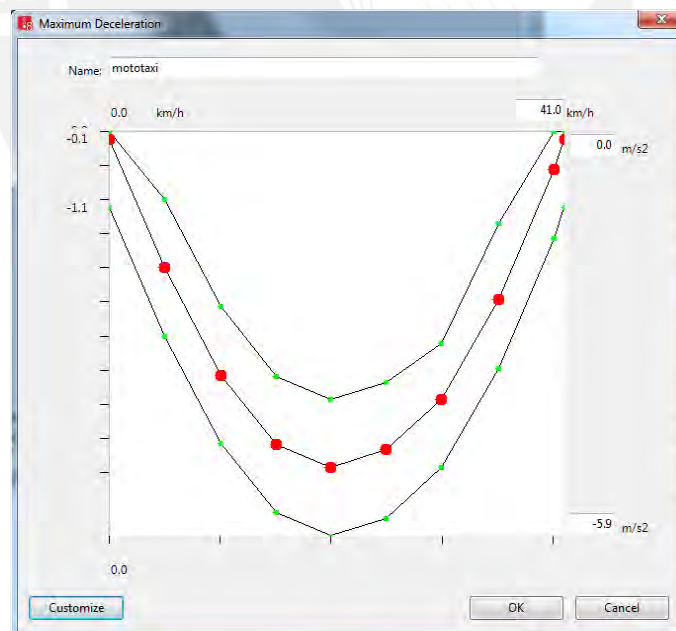


Figura 30. Desaceleración típica que registra un mototaxi

Fuente: (Lazo y Araujo, 2017)

#### 4.1.2. Flujo vehicular.

Con respecto al flujo vehicular, con la obtención de los formatos llenados a partir de la videograbación por carril y la clasificación de vehículos se obtienen los porcentajes de participación e ingreso de los distintos tipos de vehículos, esta información fue el resultado de la acumulación de tomas cada 15 minutos. A continuación, se muestra el porcentaje de participación de vehículos de salida del carril 1 que corresponde al Jr. Machupicchu. El resto de porcentajes se encontrará en los anexos.

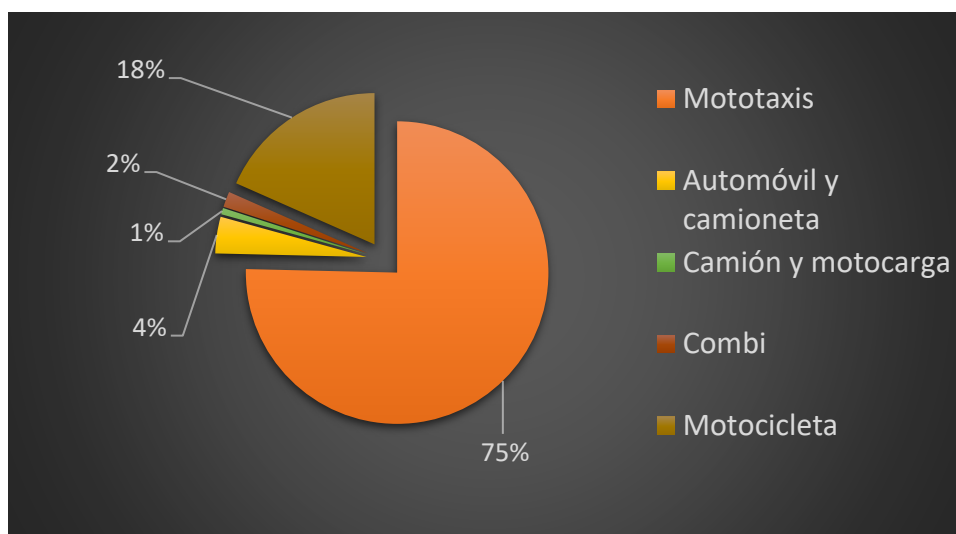


Figura 31. Porcentaje del volumen total por tipo de vehículo por hora del carril 1  
Fuente propia

#### 4.1.3. Flujo peatonal.

En el flujo peatonal; por otro lado, se definen por orígenes según se muestra en la *Figura 14*, el resultado de esta información por hora fue el resultado de la acumulación de datos cada 15 minutos según la videograbación. En la siguiente figura se presenta el porcentaje de las preferencias de los peatones para escoger las líneas de deseo o flujogramas del origen A. El resto de figuras estarán en los anexos.



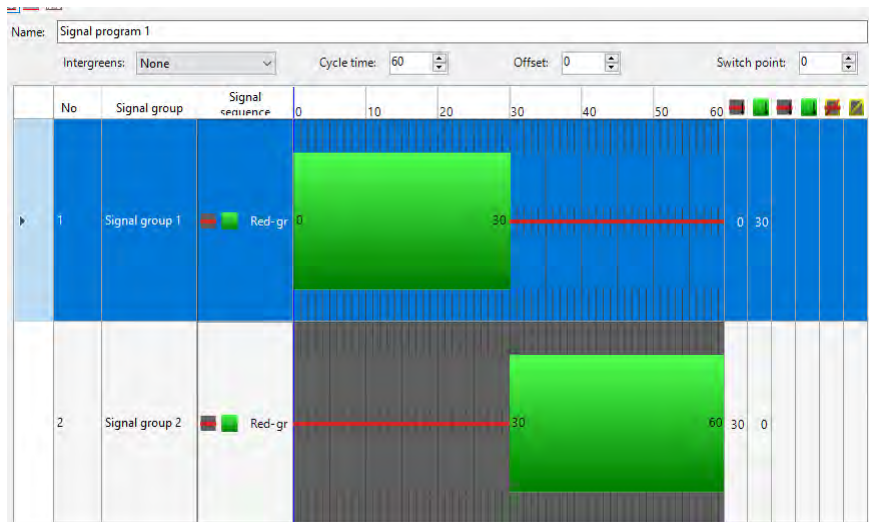


Figura 34. Fases programadas de los semáforos peatonales

Fuente propia

Finalmente, el desarrollo se muestra en la siguiente figura, donde se observa la inclusión de entorno vehicular y peatonal además de los flujos y volúmenes definidos de los vehículos y peatones.



Figura 35. Modelo en Vissim 22 de la intersección actual

Fuente propia



## **4.2.Verificación**

En este paso se verifica que no existan problemas de superposición de vehículos, tampoco superposición de vehículos con peatones porque esto significaría el atropello de estos últimos, por ejemplo, durante este proceso se detectó la superposición de vehículos y peatones en el cruce de del Jirón Vilcabamba, del origen C a B, como se asignó en las líneas de deseo previamente, este problema se debió a que no se definió las áreas de conflicto en dicho cruce.

Por otro lado, se debe verificar que los volúmenes de cada carril y las longitudes de cola sean consecuentes con lo observado en la situación actual, en este caso, obtenidos de la videograbación. Adicionalmente, verificar el comportamiento de los involucrados; es decir, peatones como choferes. Estas incongruencias deben ser ajustadas antes de las corridas; sin embargo, también pueden ser observadas en el momento que se empieza con estas, pero para empezar con las corridas, en el programa se definen los parámetros de simulación. Los parámetros a considerar son el tiempo de simulación, incluyendo el *Warm Up*, la semilla, la velocidad de visualización la cual fue 10 m/s, esto con el fin de observar el comportamiento del modelo, resolución y ver en qué porcentaje los peatones y vehículos respetan los dispositivos de control; en el caso de esta tesis, durante la videograbación se observa un peatón y una camioneta que cruzan la intersección durante el tiempo en que las señales de control no lo permiten. A pesar de ser un comportamiento que se debe considerar en los parámetros, estos no se consideran ya que no es una acción frecuente. Por ello, el porcentaje de este se considera 0%.

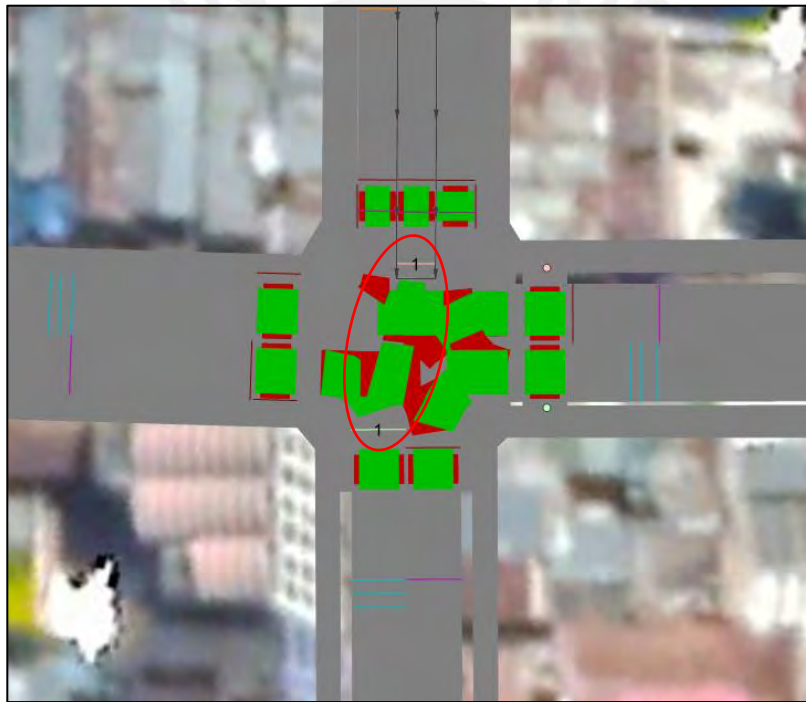
## **4.3.Calibración**

En este proceso se ajusta principalmente los parámetros de Wiedemann 74 en los vehículos, el objetivo es ajustarlos lo más posible a la situación real. Debido a que es un proyecto de ingeniería se busca como mínimo un nivel de confiabilidad del 95% y se acepta un error del 10% de acuerdo a la prueba de hipótesis nula. Se inicia la calibración con los valores por

defecto, que son  $a_x$  igual a 2.0,  $b_{xadd}$  igual a 2.0 y  $b_{xmult}$  igual a 3.0 respectivamente, luego estos se van modificando. Por otro lado, en el caso peatonal, se analiza el tiempo de reacción de los peatones o aceleración y así mismo la densidad de estos; en este caso se inicia con los parámetros por defecto  $\tau$  igual a 0.4 y  $L$  igual a 0.176.

#### 4.3.1. Resultados de calibración vehicular

En la presente tesis la calibración vehicular se realizó con una distancia asignada de 17.03 metros que se encuentra en el cruce de la intersección del *carril 1* al *carril 1'* que corresponde al Jr. Vilcabamba. En la *Figura 39* se muestra la sección de calibración.



*Figura 36.* Sección para tiempos de viaje vehicular

Fuente propia

A partir de correr el modelo se tiene los tiempos de viaje vehiculares, con ello y con los tiempos de viaje vehiculares tomados en campo se determina el número de corridas necesarias y los resultados del programa de estadística a partir de la hipótesis nula que demuestra la confiabilidad del 95% como se muestran en las siguientes tablas.

**Tabla 10.** Resultados de tiempos de viaje de campo de vehículos

Nº	TIEMPO DE VIAJE (seg)
1	4.11
2	3.55
3	3.27
4	4.85
5	3.76
6	4.55
7	4.78
8	4.9
9	5.1
10	4.66
11	4.37
12	4.31
13	4.38
14	4.79
15	5
16	4.66
17	2.52
18	5
19	3.71
20	4.3
21	4.36
22	3.98
23	4.03
24	4.5
25	3.98
Valor medio	4.297
DESV ESTA	0.608

Fuente propia

**Tabla 11.** Resultados de corridas vehiculares desde Vissim 22

Nº DE CORRIDA	INTERVALO DE TIEMPO	Nº DE VEH	TIEMPO DE VIAJE (seg)	DISTANCIA (m)
1	600-4200	389	4.307	17.03
2	600-4200	393	4.330	17.03
3	600-4200	391	4.258	17.03
4	600-4200	375	4.482	17.03
5	600-4200	388	4.319	17.03
6	600-4200	366	4.432	17.03
7	600-4200	384	4.205	17.03
8	600-4200	360	4.208	17.03
9	600-4200	371	4.409	17.03
10	600-4200	353	4.342	17.03
11	600-4200	406	4.219	17.03
12	600-4200	366	4.220	17.03
13	600-4200	401	4.458	17.03
14	600-4200	401	4.109	17.03
15	600-4200	354	4.492	17.03
16	600-4200	377	4.172	17.03
17	600-4200	407	4.483	17.03
18	600-4200	354	4.142	17.03
19	600-4200	379	4.348	17.03
20	600-4200	378	3.888	17.03
21	600-4200	361	4.131	17.03
22	600-4200	327	4.261	17.03
23	600-4200	419	3.984	17.03
24	600-4200	384	4.479	17.03
25	600-4200	398	4.327	17.03
Average	600-4200	379	4.280	17.03
Standard deviation	600-4200	21	0.157	0.00
Minimum	600-4200	327	3.888	17.03
Maximum	600-4200	419	4.492	17.03

Fuente propia

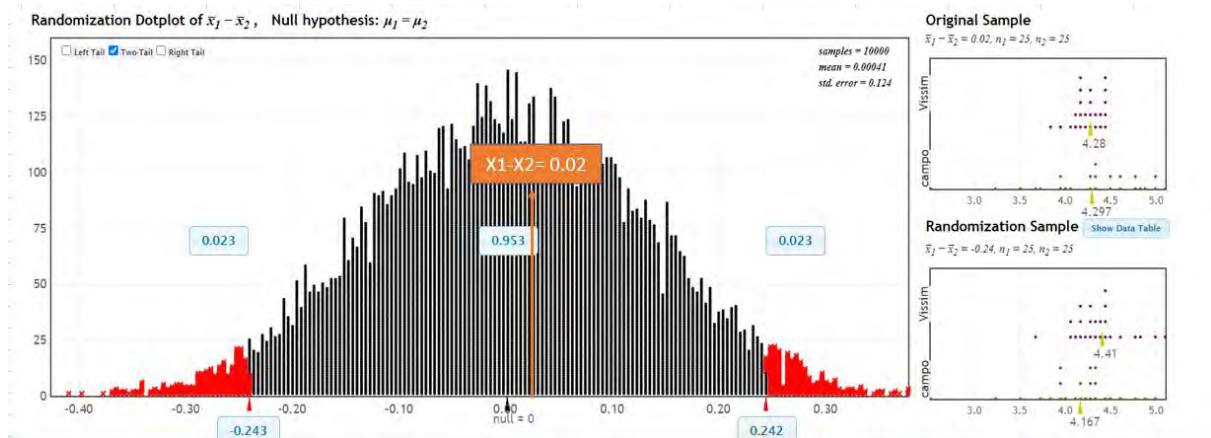


Figura 37. Prueba de hipótesis nula en Statkey en el análisis vehicular

Fuente propia

Tabla 12. Cálculo de número de corridas vehiculares

CAMPO		VISSIM	
PARÁMETROS		PARÁMETROS	
n	25	n	25
n-1	24	n-1	24
alpha	0.025	ERROR	0.0584
MEDIA	4.2968	MEDIA	4.280
DESV STAN	0.608	DESV STAN	0.157
t	2.0639	t	2.0639
ERROR	0.0584	NRO DE CORRIDAS	2

Fuente propia

Como se muestra en los resultados estadísticas para los vehículos, el mínimo número de corridas es 2; sin embargo, se opta por una muestra de 25 corridas en el software de Vissim 22 para tener un mejor resultado al igual que la toma de datos de campo.

### 4.3.2. Resultados de calibración peatonal

Por otro lado, en el caso de la calibración peatonal se realizó una recolección de datos con un número de muestra de 30 datos, esto debido a que los datos correspondientes al desplazamiento de peatones al cruzar la calle eran más dispersos. Se calibro con respecto a los orígenes A y B, siendo A el punto de partida y B el final de vereda a vereda.



Figura 38. Sección para tiempos de viaje peatonal

Fuente propia

Se tomó la referencia marcada en la *Figura 41* para la calibración en el software con 25 corridas, luego de acuerdo al tiempo de viaje se fue ajustando los parámetros hasta que se ajuste al promedio de tiempo de viaje en campo, además de corroborar con el programa de análisis estadístico Statkey que cumpla con estar dentro del 95% de confiabilidad a partir de la hipótesis nula. Por otro lado, si bien es cierto se encontró otros valores para los parámetros de Tau Lamda que cumplen con la hipótesis nula, se optó por la más cercana a cero; es decir, la opción más segura para que esta pueda cumplir con los datos de validación. A continuación, se muestran los resultados de la calibración peatonal.

**Tabla 13.** Resultado de tiempos de viaje peatonal en campo.

CAMPO	
N <sup>a</sup>	TIEMPO (seg)
1	14.5
2	12.4
3	9.65
4	16.97
5	18.54
6	12.96
7	14.55
8	9.88
9	11.65
10	10.59
11	15.38
12	14.93
13	14.61
14	13.32
15	12.55
16	14.2
17	10.57
18	19.2
19	9.93
20	12.19
21	20.4
22	16.01
23	16.35
24	9.33
25	11.52
26	15.5
27	17.2
28	14.45
29	13.88
30	14.2
<b>PROMEDIO</b>	<b>13.91</b>
<b>DESV.STAT</b>	<b>2.889</b>

Fuente propia

**Tabla 14.** *Resultados de corridas peatonales desde Vissim 22*

Nº DE CORRIDA	INTERVALO DE TIEMPO	TIEMPO DE VIAJE (seg)	Nº DE PEATONES
1	600-4200	14.147	228.000
2	600-4200	14.038	223.000
3	600-4200	13.294	199.000
4	600-4200	14.407	213.000
5	600-4200	14.300	222.000
6	600-4200	13.011	213.000
7	600-4200	13.761	222.000
8	600-4200	14.585	203.000
9	600-4200	14.296	227.000
10	600-4200	15.237	238.000
11	600-4200	14.375	244.000
12	600-4200	13.915	241.000
13	600-4200	13.153	219.000
14	600-4200	14.425	223.000
15	600-4200	14.484	254.000
16	600-4200	14.965	226.000
17	600-4200	14.673	240.000
18	600-4200	13.959	210.000
19	600-4200	13.886	219.000
20	600-4200	14.003	204.000
21	600-4200	14.058	214.000
22	600-4200	14.210	194.000
23	600-4200	15.274	231.000
24	600-4200	16.060	222.000
25	600-4200	14.146	204.000
Average	600-4200	14.27	221.000
Standard deviation	600-4200	0.665	15.000
Minimum	600-4200	13.011	194.000
Maximum	600-4200	16.060	254.000

Fuente propia



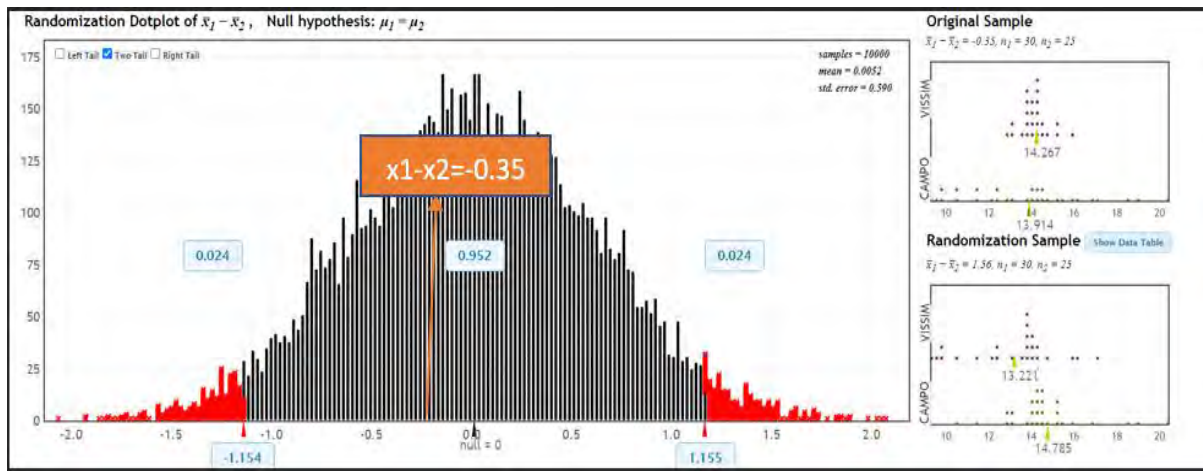


Figura 39. Prueba de hipótesis nula en Statkey en el análisis peatonal

Fuente propia

Tabla 15. Cálculo de número de corridas peatonales

CAMPO		VISSIM	
PARÁMETROS		PARÁMETROS	
n	30	n	25
n-1	29	n-1	24
alpha	0.025	ERROR	0.078
MEDIA	13.914	MEDIA	14.267
DESV STAN	2.889	DESV STAN	0.665
t	2.0452	t	2.0639
ERROR	0.078	NRO DE CORRIDAS	2

Fuente propia

#### 4.4. Validación

Para la validación del modelo se debe tener una videograbación en otro horario con las mismas características que la primera toma, pero en otra fecha, de esta manera se valida el modelo luego de calibrado al igual que el anterior, se debe evaluar el comportamiento tanto vehicular como peatonal para la nueva data de entrada. Al obtener esto, se comparan resultados del comportamiento y desempeño con el modelo anterior, verificando que los tiempos de viaje sean similares. En este caso, se hizo la toma de una videograbación el 10 de noviembre del 2020, donde se realizará la validación vehicular y peatonal.

#### 4.4.1. Validación vehicular

En la validación vehicular al ingresar los mismos parámetros que el modelo anterior se obtuvo un resultado cercano al del modelo original, los tiempos de viaje no variaron de forma notable y su porcentaje de confiabilidad según la hipótesis nula se encontraba dentro del 95%, los resultados de tiempo y volúmenes peatonales y vehicular de la validación se adjuntaron en los anexos; sin embargo, a continuación se presenta los resultados que verifiquen la validación del modelo además de la prueba de hipótesis nula en Statkey para el análisis vehicular. A continuación, se muestra la prueba estadística para la validación vehicular.

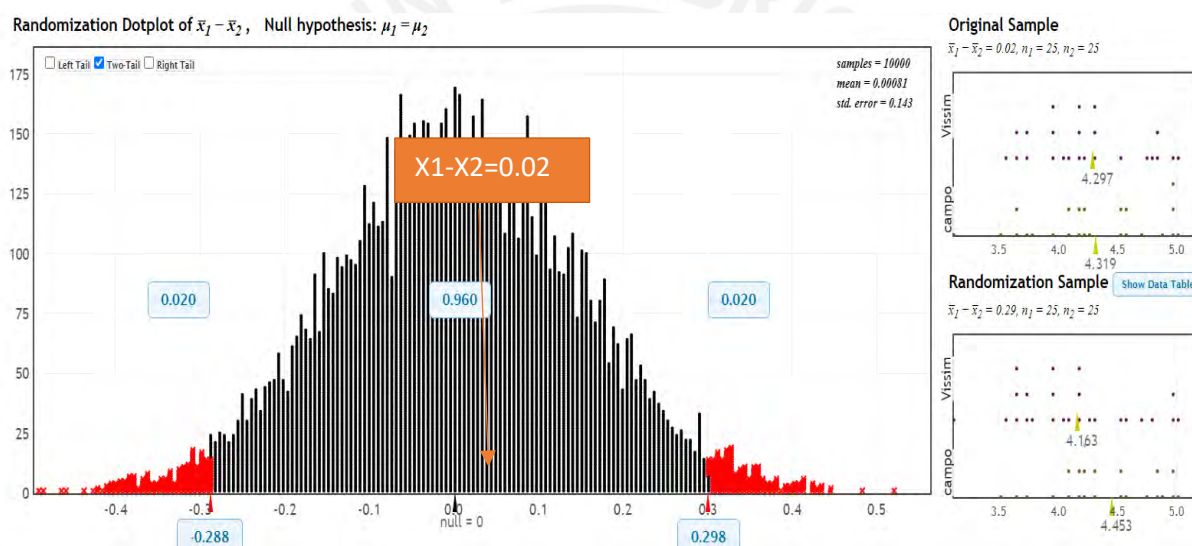


Figura 40. Prueba de hipótesis nula de validación en Statkey en el análisis vehicular

Fuente propia

#### 4.4.2. Validación peatonal

En el caso de la validación peatonal, al igual que en el caso anterior, se colocaron los volúmenes del video nuevo en los cuatro orígenes definidos previamente como Origen A, Origen B, Origen C y Origen D, este detalle se encuentra en los anexos además de su porcentaje de participación en cada origen, con sus respectivas líneas de deseo. Respetando los parámetros del modelo inicial, se obtiene resultados favorables para hacer la validación peatonal ya que

cumple con la hipótesis nula en Statkey como en el caso vehicular. A continuación, se muestra la prueba estadística mencionada para la validación peatonal.

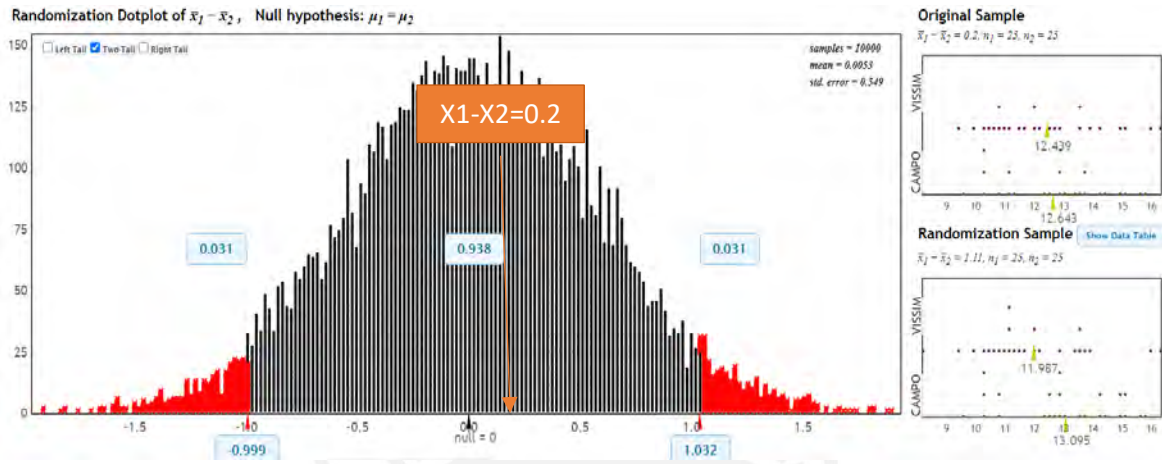


Figura 41. Prueba de hipótesis nula de validación en Statkey en el análisis vehicular

Fuente propia

## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTA DE REDISEÑO**

En este capítulo se analizó el desempeño de la intersección estudiada a partir de los resultados obtenidos como tiempos de espera y demandas peatonales y vehiculares, además de los detalles cualitativos que se observaron y registraron en la lista de chequeos sobre la intersección y su entorno. Por otro lado, se discute de qué manera estos factores influyen en el objetivo de funcionamiento de la intersección, para que, a partir de ello, se proponga un rediseño con el objetivo de que se pueda satisfacer las necesidades y deficiencias observadas en la intersección con condiciones actuales.

### **5.1. Análisis de resultados en situación actual**

#### **5.1.1. Análisis de la geometría y diseño actual.**

En el diseño geométrico se observa que tiene una deficiencia en el mantenimiento de las vías, veredas, además, las señalizaciones son carentes a pesar de la existencia de un establecimiento estatal de gran magnitud como el Mercado Maracaná y el Colegio Rosario. La existencia de estos establecimientos provoca una alta demanda peatonal de estudiantes, comerciantes y compradores. Adicionalmente, la configuración de semáforos es peligrosa debido a que existe un ámbar de 3 segundos entre el rojo y verde lo que pone en peligro a los peatones, sin mencionar que dos de sus cruces no cuentan con semáforo peatonal.

Por otro lado, se observa que los vehículos estacionados invaden los carriles ya que el diseño geométrico no cuenta con estacionamientos o no existe una delimitación de la zona para los comerciantes y compradores del mercado, Adicionalmente, la línea de combi interprovincial tampoco cuenta con un espacio diseñado especialmente para recoger a los pasajeros, como un paradero. Adicionalmente, no se observa un equilibrio en los carriles de la intersección; es decir, los carriles que entran y salen de una vía o calle no está equilibrado con los de la otra calle como ocurre en el Jr. Vilcabamba, ya que en el carril 1 tiene 3 carriles mientras que en el carril 1' solo tiene 2 carriles.

Finalmente, con respecto a los desplazamientos peatonales son muy largos con respecto a la configuración de los semáforos para una calzada con carriles con anchos mayores a 3 metros y además la prioridad que no se le da a los peatones perjudica las líneas de deseo de estos; con respecto al volumen dominante de vehículos que el mototaxi, el ancho de carril no es el adecuado excediendo las necesidades de este.

### 5.1.2. Análisis del desempeño vehicular.

Con respecto al desempeño vehicular, se analizan los resultados estadísticos y los volúmenes vehiculares de cada carril que se obtuvo a partir de la toma de datos de campo en los dos días. A continuación, se observa el volumen de demanda de la intersección correspondientes a la calibración, el cual fue obtenido de la primera toma, y la validación.

**Tabla 16.** Análisis de volúmenes de vehículos de entrada en todas las vías por hora

Vías de entrada	Veh/hora		% de Variación
	Calibración	Validación	
Jr Vilcabamba - Carril 1	1023	960	6.2%
Jr. Vilcabama - Carril 1'	671	625	6.9%
Jr Machupicchu - Carril 2	280	237	15.4%
Jr Machupicchu - Carril 2'	180	167	7.2%
<b>TOTAL</b>	<b>2154</b>	<b>1989</b>	<b>7.7%</b>

Fuente propia

La variación de volumen entre la calibración y validación, como se muestra en la *Tabla 17*, no es considerable ya que el volumen de validación es solo el 7.7% menor al de calibración; por ello, se considera que el modelo es correcto y los volúmenes que se manejan actualmente en están en el rango de 1989 y 2154 vehículos aproximadamente. Sin embargo, para la calibración se escoge la situación más desfavorable; por ello, se escogió el día con mayor demanda.

**Tabla 17. Análisis de tiempos de viajes vehiculares**

	TIEMPO DE VIAJE (seg)		% Variación
	Calibración	Validación	
Valor medio	4.296	4.319	<b>0.53%</b>
Desv. Est.	0.608	0.545	<b>10.36%</b>

Fuente propia

Con respecto al tiempo de viaje promedio entre ambos grupos de datos, se observa que la variación de tiempo de viaje es en menos del 1%; es decir, el tiempo que le toma a los vehículos cruzar la calle a largo del día es, estadísticamente, el mismo; en cambio, debido a que la desviación estándar de calibración es mayor en un 10.36% al valor de la validación, se observa que los vehículos en la hora con mayor demanda tienen más variación en su desplazamiento. Finalmente, para analizar y comparar se optó utilizar el primer modelo que corresponde al de la calibración. Entonces, al analizar la velocidad con la que desplazan los vehículos, que es un promedio de 14.617 km/h se observa que este es mucho menor que la velocidad de diseño que es entre 30 km/h y 40 km/h para vías locales, según la clasificación de vías; sin embargo, según la última actualización del MTC el límite de velocidad es de 30 km/h entonces se tiene un déficit de 51.28% en el desempeño vehicular.

#### ***5.1.2.1. Influencia del mototaxi en la intersección.***

Cómo se menciona en la tesis de Lazo y Araujo, los mototaxis no tienen un comportamiento predecible o armonioso al moverse, lo que provoca que estos puedan invadir carriles o moverse abruptamente. Por ello, debido a la diferencia notable de volumen de entrada de los mototaxis con respecto a los otros vehículos en los accesos, como se observan en los anexos, el análisis del comportamiento de los choferes que manipulan estos vehículos influencia en el flujo regular de este. La cantidad de vehículos que transitan, sus tiempos de viajes y tiempos de espera de otros vehículos se ven influenciadas de una manera desfavorable por este mismo motivo. Por

otro lado, las velocidades deseadas no fueron alcanzadas ya que, según la referencia de Lazo y Araujo en su determinación de velocidades deseadas de campo, las gráficas de velocidades versus frecuencia relativa acumuladas con la extraída de campo de la intersección no son iguales, y esta última presenta velocidades menores como se muestra a continuación.

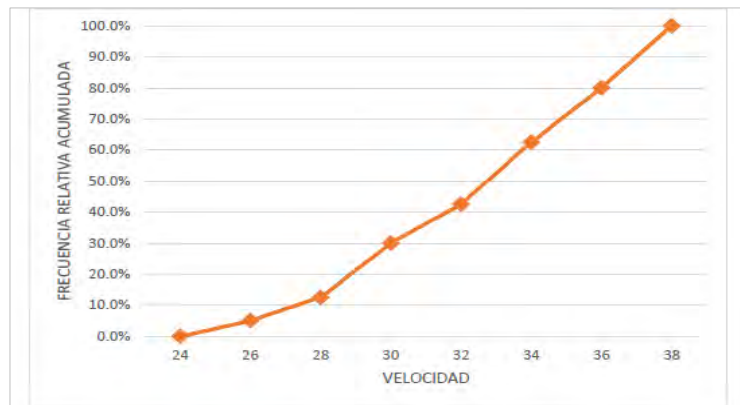


Figura 42. Gráfica de frecuencia acumula de velocidades deseadas.

Fuente: (Lazo y Araujo, 2017)

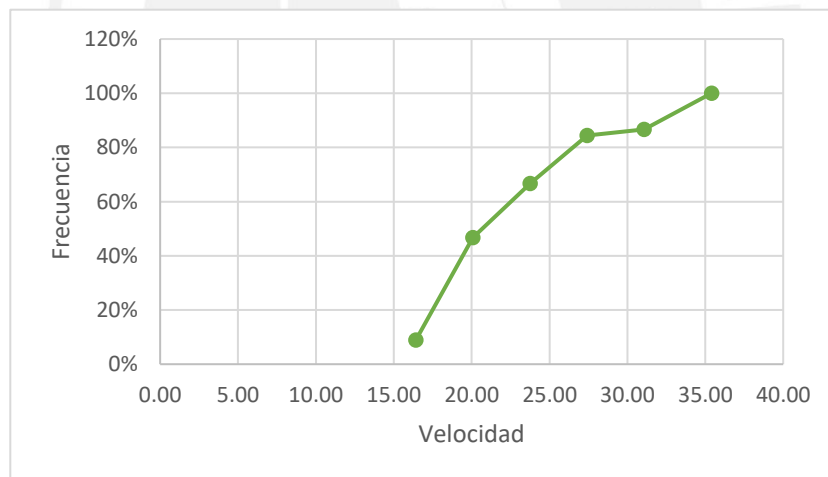


Figura 43. Gráfica de frecuencia acumuladas de la situación actual

Fuente propia

### 5.1.3. Análisis del desempeño peatonal.

En el caso del análisis de desempeño peatonal, al igual que en vehicular, se analizan los resultados estadísticos y los volúmenes peatonales de cada origen asignado a partir de la toma de datos de campo de ambos días. A continuación, se observa el volumen de demanda de la

intersección tanto para el modelo inicial que corresponde a la primera toma para la calibración y el volumen para la validación.

**Tabla 18.** *Análisis de volúmenes de entrada peatonales en todos los orígenes*

Vías de entrada	Peatón/ hora		% de Variación
	Calibración	Validación	
ORIGEN A	433	491	-13.39%
ORIGEN B	369	383	-3.79%
ORIGEN C	375	338	9.87%
ORIGEN D	408	402	1.47%
TOTAL	1585	1614	-1.83%

Fuente propia

La variación de volumen de la calibración y validación, como se muestra en la *Tabla 19*, no es considerable ya que el volumen de validación es solo el 1.83% mayor al de calibración y el rango de volúmenes por hora, en la intersección, varía entre 1585 y 1614 peatones aproximadamente.

**Tabla 19.** *Análisis de tiempos de viajes peatonales*

	TIEMPO DE VIAJE		% Variación
	Calibración	Validación	
Valor medio	13.91	12.64	9.13%
Desv. Est.	2.889	2.002	30.70%

Fuente propia

Con respecto al tiempo de viaje promedio entre ambos grupos de volúmenes, se observa que la variación tanto de tiempo de viaje como de la desviación estándar varían con distintos porcentajes, donde la toma de datos y comportamiento de la calibración con respecto al desplazamiento de peatones es más crítica que el día de la validación. Por ello, para el análisis y comparación de datos de optó por utilizar el primer modelo que corresponde al de la calibración. Además, se observa que la desviación estándar peatonal comparada con la vehicular es mayor, esto se debe a que los peatones se desplazan de manera más dispereja.



Según los resultados de volumen y el tiempo de 3600 segundos de análisis en la intersección, se obtiene que los peatones ingresan a la intersección con los siguientes tiempos, del origen A es cada 8.31seg/ peatón, del origen B es cada 9.75 seg/peatón, origen C es 9.6 seg/ peatón y origen D 8.82 seg/peatón, donde se tiene en toda la intersección una demora de 2 seg/ peatón, esto finalmente se refleja en el tiempo de viaje que realizan los peatones para desplazarse según sus distintas líneas de deseo. Por otro lado, según el tiempo de viaje del peatón promedio es 13.91 segundos al cruzar la calzada que cuenta con un ancho de 11.11 metros según la medición en campo dando un 2.999 km/h de velocidad. Al comparar este valor con la velocidad deseada del peatón de 5 km/h se tiene un déficit de 40.02%. La lista de chequeos muestra que las posibilidades que tiene el peatón de desplazarse de un lugar a otro no son las más óptimas, porque se observa que él peatón es el que tiene que ceder en paso a los vehículos, no tiene un flujo constante debido a que se queda muchas veces al medio de la vía si poder terminar de cruzar, esto se puede apreciar en la gran variación de tiempo de viaje entre peatones al pasar por un mismo cruce como se aprecia en la videograbación.

**Tabla 20.** *Variación de tiempos peatonales en campo.*

PROMEDIO (seg)	13.91
DESV.STAT	2.889
Mínimo (seg)	8.21
Máximo (seg)	15.87
Variación entre el máximo y mínimo (%)	93.3%

Fuente propia

Como se observa los tiempos de viaje varían desde 8,21 segundos hasta 15.87 segundos, es decir el peatón que demoró 15.87 segundos fue a una velocidad promedio de 2.5 km/h que está por debajo de la velocidad deseada (5 km/h), aunque realmente este tiempo se debió a circunstancias provocadas por el diseño geométrico. Por otro lado, se observa una variación de

93.3% con respecto al valor mínimo que representa el menor tiempo que hizo un peatón al cruzar la calle al analizar la intersección durante una hora.

## **5.2. Propuesta de rediseño para optimización**

Para el rediseño de la intersección se propone cambiar tanto los detalles geométricos como la configuración de los dispositivos de control, además de incluir señalizaciones estáticas como se detallará en los siguientes capítulos. Por otro lado, esta propuesta busca que estas soluciones tengan un rango de alcance hasta el colegio Rosario, ya que su área de influencia es hasta la parte trasera del mercado Maracaná.

### **5.2.1. Modificación del diseño geométrico de la intersección.**

Las modificaciones en la geometría de la intersección no se realizan en función de los vehículos, si no se plantea soluciones sostenibles respetando la jerarquización de movilidad donde se propone colocar a los peatones como prioridad. Se observa, de acuerdo a la lista de chequeos, que en la primera planta de los edificios del Jr. Vilcabamba y el Jr. Machupicchu existen establecimientos públicos, esto ayuda a que se pueda limitar las vías y los desplazamientos de los automóviles, esto se da ya que la demanda peatonal y el flujo de compra y venta de comerciantes como consumidores es mayor al de una vía sin establecimientos. A partir de ello, se plantean las siguientes implementación y modificaciones en la intersección.

#### ***5.2.1.1.modificación de carriles y veredas en cada vía.***

Primero se plantea modificar el número de carriles en el Jr. Vilcabamba que atraviesa el mercado Maracaná en dirección al carril 1', reduciéndolo a dos carriles, pero manteniendo la misma dirección y conservando las mismas líneas de flujo vehiculares. Además, se propone implementar islas de refugio peatonales en ambas esquinas correspondientes al Origen A y B, tanto en Jr. Vilcabamba y Jr. Machupicchu, y, esto permite tener estacionamientos en la vía de tal manera que los vehículos no invadan la circulación regular de los vehículos.

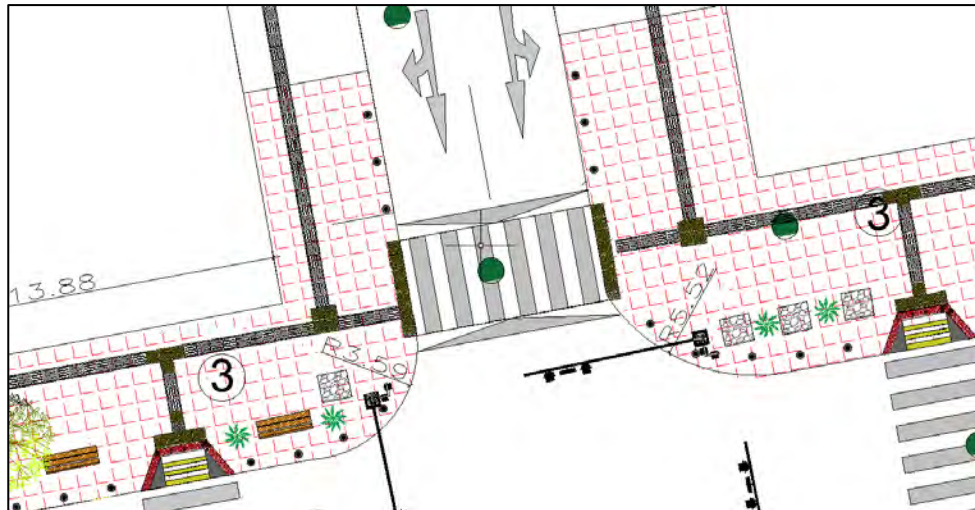


Figura 44. Vista en planta de islas esquineras de descanso peatonal

Fuente propia

En el caso de la calzada, en las cuatro vías de la intersección se propone reducir el ancho al mínimo que corresponde para dos carriles, además se sabe que estas dimensiones son más que suficientes al tratarse de una demanda tan alta de mototaxis, considerando que el ancho de un mototaxi, según sus especificaciones técnicas, es de 1.30 metros, siendo suficientes solo 2 m de ancho de carril, sin embargo, se toma en cuenta los vehículos particulares, que a pesar de no haber una demanda considerable, esta propuesta debe satisfacer el 100% de las necesidades de la intersección. Es así que se tendrá carriles con un ancho de 3 m.

Finalmente, con respecto a las geométricas de las veredas, se propone ampliar la mayoría de veredas con un mínimo de 3 metros, para enfatizar la prioridad del peatón y limitar con mayor énfasis el desplazamiento vehicular; además, debido a la disminución de la calzada los pasos peatonales serán más cortos. Estas medidas se obtuvieron de la Norma GH 0.20 del capítulo del diseño de vías.

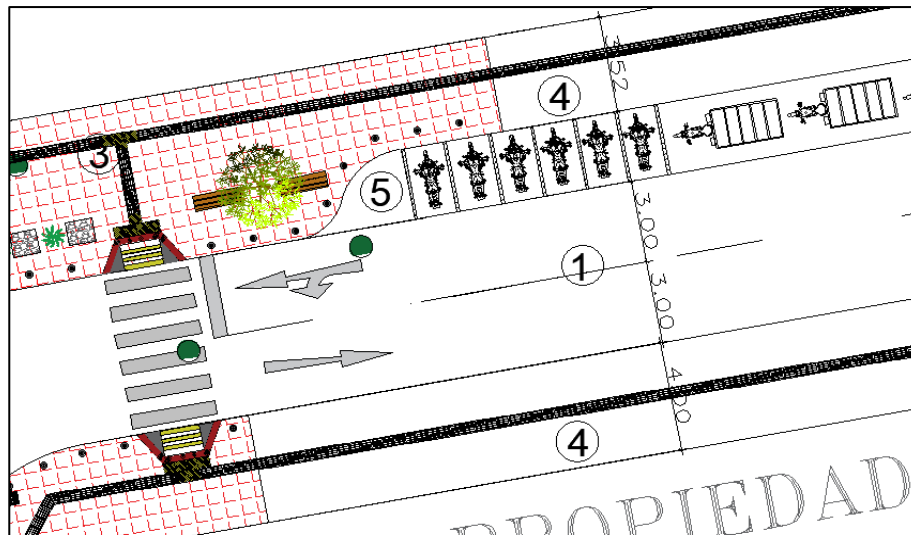


Figura 45. Dimensiones de carriles y veredas  
Fuente propia

### 5.2.1.2. implementación de reductores de velocidad

La cuadra que se encuentra en la entrada del carril 2 en el Jr. Machupicchu es considerada una cuadra larga ya que tiene una longitud mayor a 100 metros. Por ello, se propone implementar reductores de velocidad, ya que bajo las condiciones que se encuentran actualmente incita a que los conductores aborden la intersección con mayor velocidad. Además, de encontrarse en una zona escolar ya que Jr. Machupicchu intercepta con el Jr. La convención donde está el colegio Rosario, detrás del Mercado Maracaná.



Figura 46. Mapa de ubicación de intersección Jr. La Convención y Jr. Machupicchu  
Fuente propia

Según los tipos de reductores de velocidad se opta por un reductor trapezoidal como elevación de senda vehicular para que este también pueda ser considerado como un cruce peatonal en dirección al colegio Rosario, no se considera los reductores de tipo cojines como una buena opción, ya que la demanda vehicular es mas de mototaxis y motos lineales, por ende, estos reductores no contralarían de manera eficiente estas condiciones, como por ejemplo el control de velocidades deseadas, en este caso no debe ser más de 30 km/h.

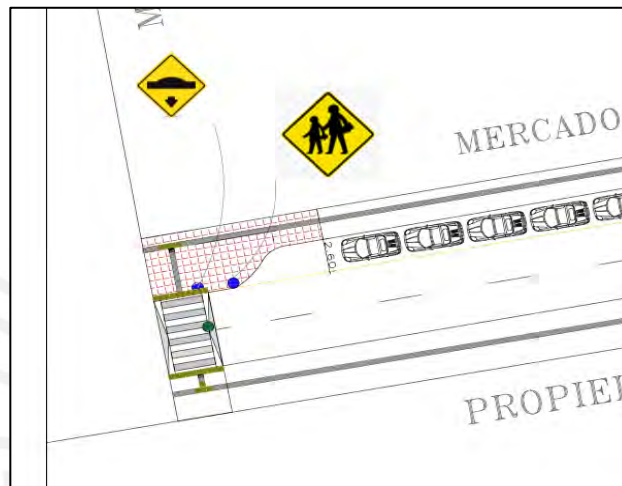


Figura 47. Propuesta de paso peatonal con resalto trapezoidal.

Fuente propia

Así mismo, se propone el alza de la senda vehicular que va del origen A al B, esto debido a que es una zona con alta demanda peatonal por ser el punto principal del Mercado Maracaná. A continuación, se muestra dicho cambio.

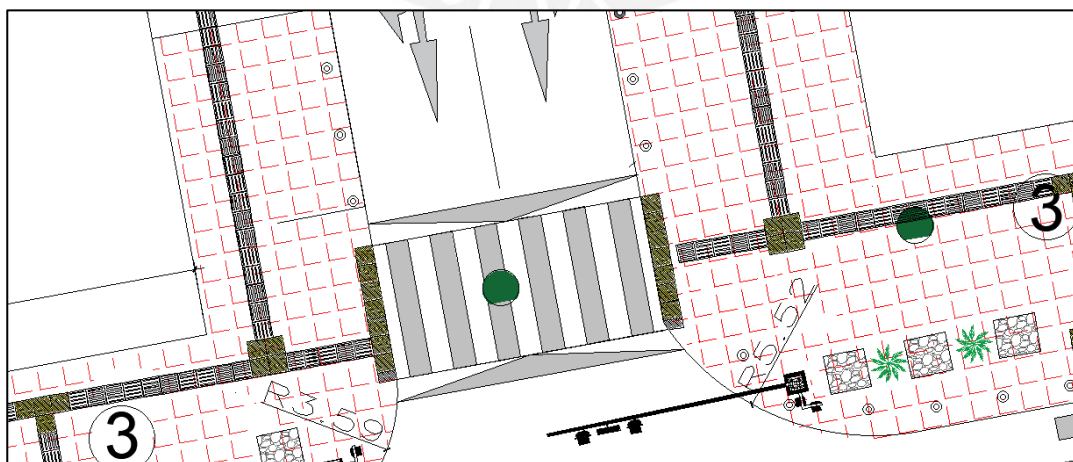


Figura 48. Propuesta de paso peatonal en el Mercado Maracaná

Fuente Propia

### 5.2.1.3.rampas, pasos peatonales y bolardos.

Los pasos peatonales de tipo cebra se propone implementar en todos los cruces donde no se propone la elevación de calzada los cuales deben ser pasos directos que siga la línea de deseo peatonal y para que se complementes tanto con las islas en las esquinas.

Sin embargo, estos pasos peatonales deben cumplir los conceptos de sostenibilidad, aplicando la inclusión de todo tipo de peatones y proporcionar áreas y rutas marcadas seguras. Por ello, todas deben ser conectadas mediante rampas a las veredas la cuales deben tener una pendiente máxima de 12%. En el caso de las rampas que se encuentran actualmente en la intersección están mal ubicadas y con problemas de dimensionamiento, tanto en el ancho y la pendiente, por ello se propone unas rampas con las medidas adecuadas. Adicionalmente se propone colocar en todo el recorrido peatonal baldosas podáctiles para que las personas invidentes puedan desplazarse con seguridad e independientemente.

Finalmente se colocan bolardos en todas las esquinas de la intersección para mayor seguridad de los peatones como se muestra en la siguiente figura.

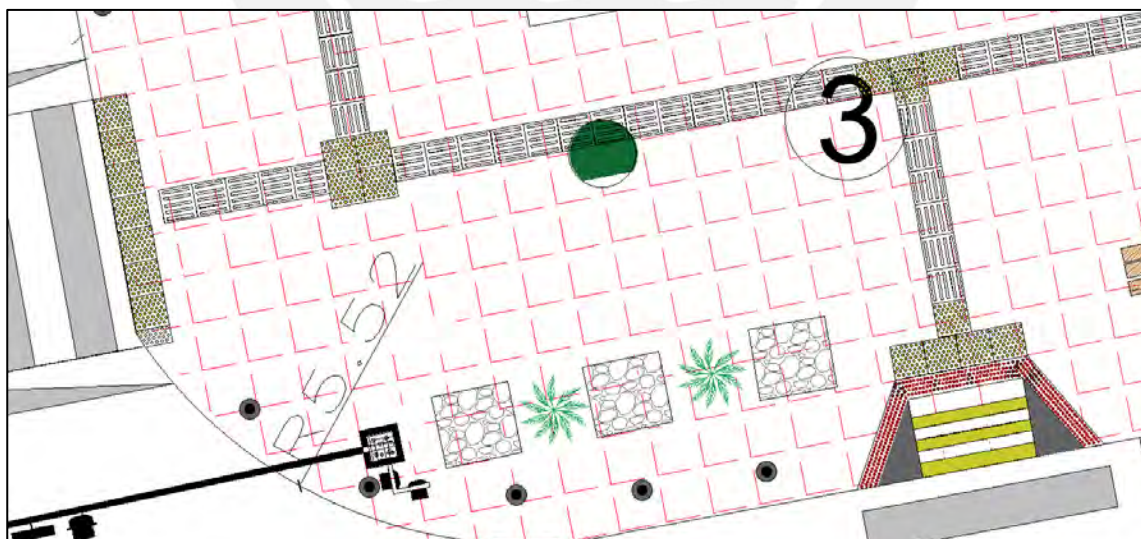
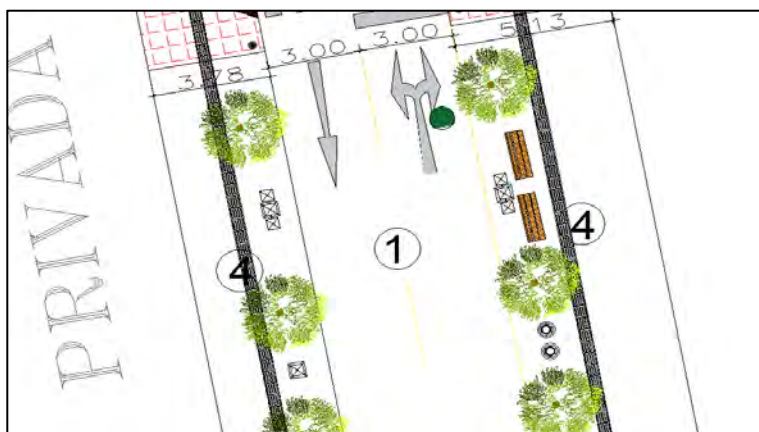


Figura 49. Propuesta de rampas, inclusión de baldosas podáctiles para invidentes y bolardos  
Fuente propia

### 5.2.2. Mantenimiento de intersección.

De los planos de las listas de chequeos 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, las pendientes de las rampas no cumplen con lo recomendado ni se encuentran ubicadas de forma idónea.

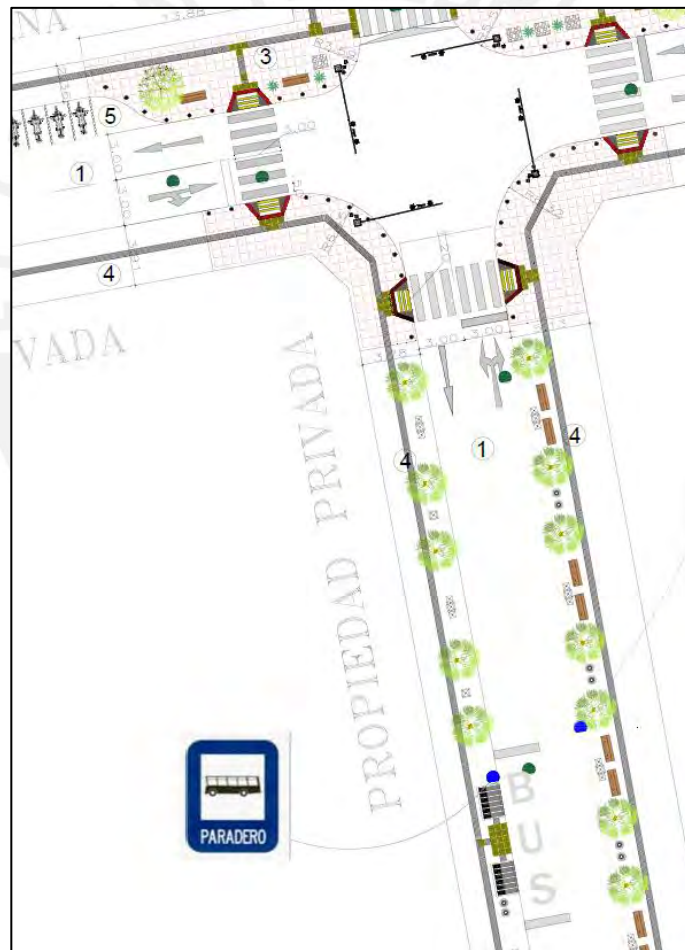
- Por ello, se propone rediseñar las rampas con las siguientes condiciones de pendiente y longitud además de pintar las rampas para diferenciarlas en las veredas, también se propone colocar pisos tipo baldoses podó-táctiles para aportar en la inclusión social, ya que este tipo de baldoses tiene unas protuberancias conocidas como domos para las personas videntes.
- Se propone el repintado de los bordes de las veredas, mantenimiento en las veredas que están desgastadas donde se acumula agua, además de limpiar la zona de jardines, retirar las rocas que se encuentran en dicha zona como se muestra en la lista de chequeo.
- Se propone colocar mobiliario urbano para incitar a los peatones pasar más tiempo en zonas públicas, entre este mobiliario se propone colocar bancos en las islas esquineras y a lo largo de las veredas con mayor ancho, también árboles y faroles.
- Con respecto a la preservación del espacio público, para mantenerlo limpio se propone dos tipos de contenedores para residuos orgánicos e inorgánicos.



*Figura 50. Veredas con árboles y bancos*  
Fuente propia

### 5.2.3. Reubicación de paradero interprovincial

La única línea de servicio público es el de un micro interprovincial el cual tiene como lugar de recojo en medio de la cuadra del Mercado Maracaná que corresponde a la salida del Carril 1 en el Jr. Vilcabamba. Se propone cambiar la ubicación de recojo de pasajeros una cuadra después que corresponde al carril 1, que también se ubica en el Jr. Vilcabamba; 1'. Esto con el objetivo de aligerar el tráfico en la salida que cruza el Mercado Maracaná.



*Figura 51. Nueva ubicación del paradero*  
Fuente propia



#### 5.2.4. Señalizaciones adicionales.

Los cambios geométricos e implementaciones que se proponen en la presente tesis deben ir acompañados de las señalizaciones requeridas tanto para los peatones como para los conductores. En este caso se propone implementar los dos tipos de señalizaciones: horizontales y verticales.

##### 5.2.4.1. señalizaciones horizontales

Se propone definir las líneas entrecortadas en la calzada, ya que como se observa en la lista de chequeos no existe ninguna señalización horizontal, estas líneas serán para la salida del Jr. Vilcabamba que corresponde al carril 1, el resto de salidas se opta por líneas amarillas punteadas ya que son de distintos sentidos. Por otro lado, se propone flechas direccionales a una distancia pertinente antes del cruce, con el fin de restringir los movimientos permisibles para un vehículo.



Figura 52. Propuesta de señalización horizontal en calzada

Fuente propia

#### 5.2.4.2. señalizaciones verticales

Se propone colocar señales verticales reglamentarias, preventivas, de advertencia e informativas, debido a que la intersección carece de estas. Entre la señalizaciones reglamentarias, se proponen colocar en el cruce de la zona escolar, otra de restricción que limite la velocidad máxima de circulación vehicular a 30 km/h (R-30) según el decreto del 2021 (Decreto Supremo 025-2021-MTC) que entró en vigencia el 2022, por ser una intersección comercial y concurrida debido al resultado del análisis que se realizó en el estudio de entorno a partir de la lista de chequeos y los volúmenes extraídos de los datos de campo, otra para enfatizar la presencia de ciclovías, y finalmente una señalización de prohibición de paradero donde antes la línea de transporte público se detenía para recoger pasajeros. Por otro lado, las señalizaciones preventivas que se propone colocar son las de presencia de un reductor de velocidad con resalto en el cruce que se asignó cerca al colegio Rosario, además de una señalización de circulación de escolares y de pasos de cebra en las intersecciones. Finalmente se propone colocar una señalización informativa donde se propone trasladar el paradero.



Figura 53. Señalizaciones verticales a implementar

Fuente: (MTC, 2018)



Figura 54. Señal R-30

Fuente: (Decreto Supremo 025-2021-MTC, 2021)

### 5.2.5. Modificación de dispositivos de control.

Para proponer los ciclos de semáforos en cada cruce, tanto peatonales como vehiculares se realizaron múltiples pruebas en la modelación además de tomar referencia de casos similares de intersecciones semaforizadas con el fin de poder adaptarlos a la intersección en estudio. En este caso, se detectó que en la situación actual un tiempo de 3 segundo entre la luz roja y verde, esto poner en peligro a todos, tanto a los peatones como los conductores de los vehículos, además, el semáforo no satisface el volumen en ciertos cruces, mientras que en otros casos los tiempos en verde son muy largos e innecesarios. Por ejemplo, en el carril 1' donde los carriles van en la misma dirección y de acuerdo a la demanda vehicular, el volumen es notoriamente superior al de las salidas; y en el caso de las vías que están en el Jr. Machupicchu, la demanda es inferior. Por ello; se plantea 2 tipos de fases para los distintos cruces.

Por otro lado, en los semáforos peatonales se buscó que satisfagan la demanda del volumen observado en campo. Además, la configuración de todos los dispositivos de control, tanto vehiculares como peatonales, se priorizo el flujo y seguridad vial del peatón, verificando que el ciclo de cada semáforo brinde el tiempo suficiente para que los peatones crucen las intersecciones y finalmente se proponen que sean semáforos sonoros. A continuación, se presentan las fases de los semáforos en la intersección con un ciclo de 70 segundos.

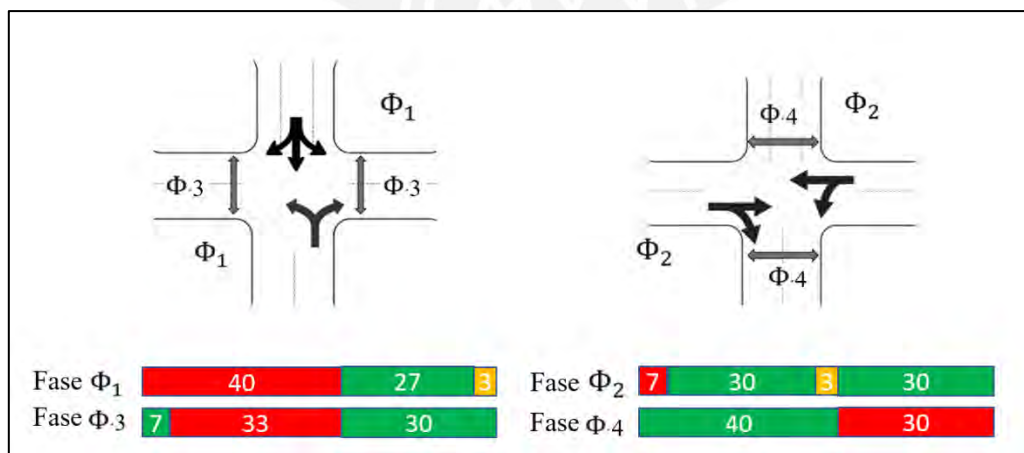


Figura 55. Propuesta de fases de semáforos

Fuente propia

### 5.2.6. Resultados de la microsimulación.

En la microsimulación se realizaron los cambios propuestos como los anchos de carriles y veredas, número de carriles, islas esquineras peatonales, resaltos en el cruce para el colegio Rosario, cambio de posición del paradero para la línea de combis y el rediseño de las fases de los dispositivos de control vehiculares y peatonales. Por lo tanto, para la obtención de resultados, se utilizaron los mismos parámetros de Wiedemann (ax, bxAdd y cxMult) para vehículos y los parámetros de Tau y Lambda para peatones que se hallaron en la calibración. A continuación, se muestra los ciclos de los dispositivos de control considerados además del modelo.

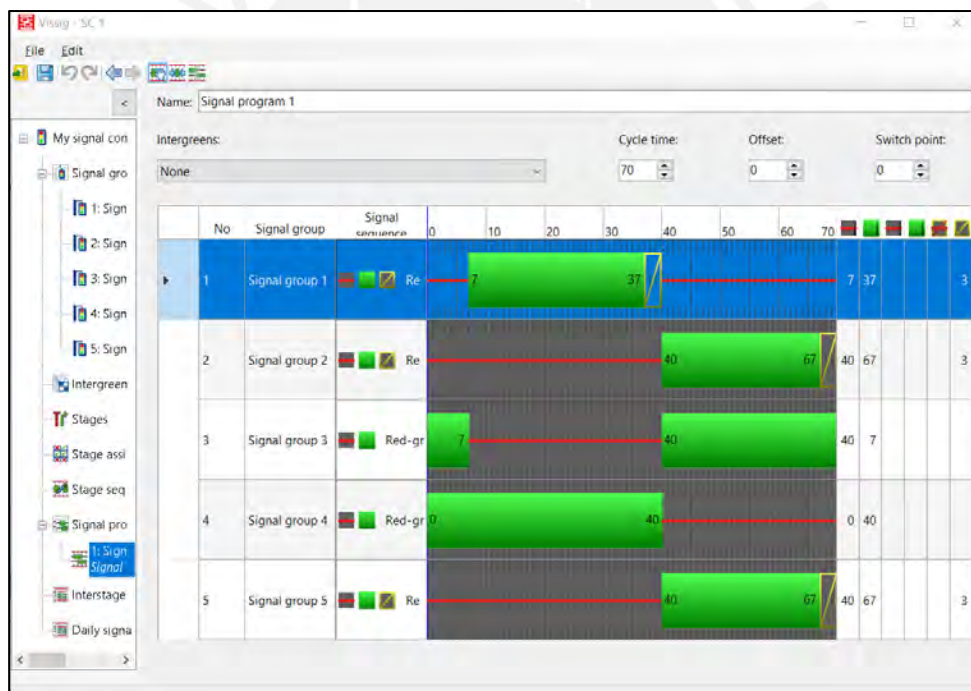


Figura 56. Fases de los semáforos en Vissim de la propuesta

Fuente propia

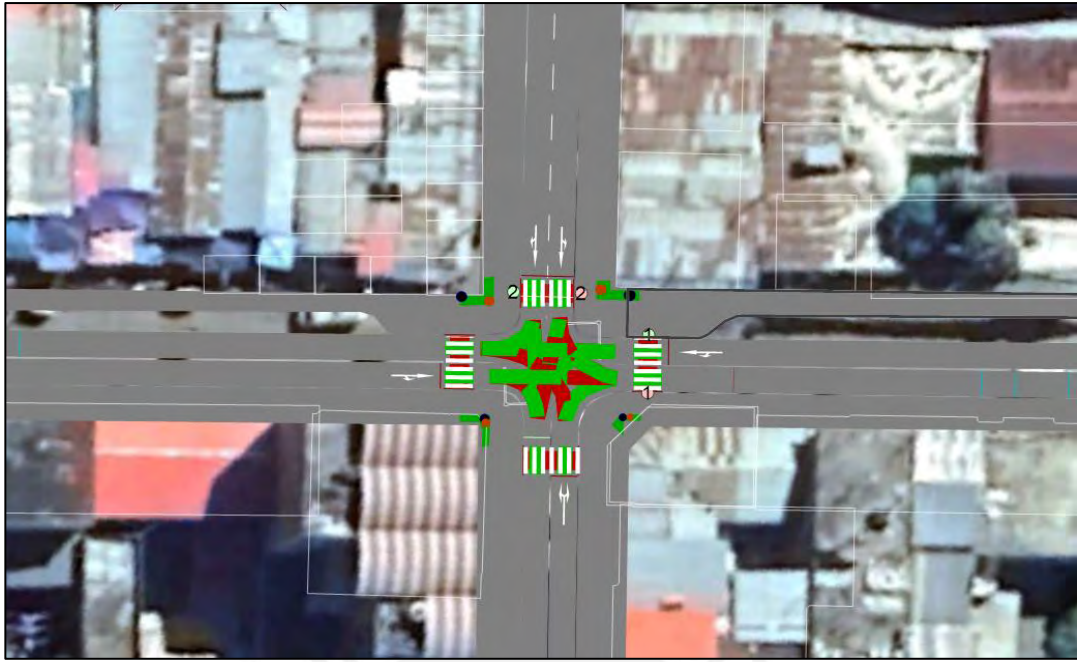


Figura 57. Modelo en planta de la propuesta en Vissim 22  
Fuente propia

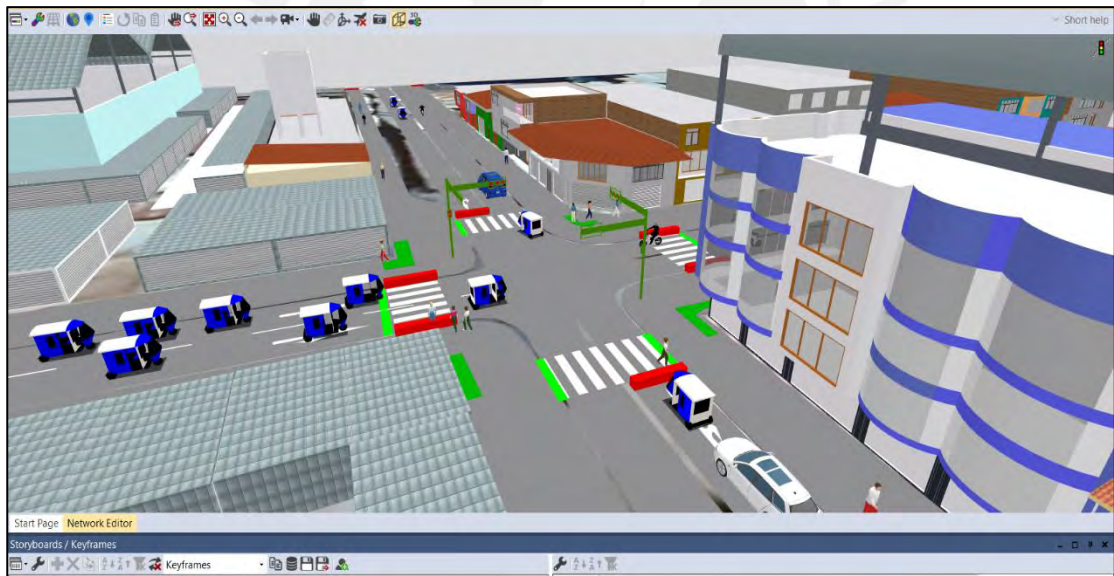


Figura 58. Modelo en 3D de la propuesta en Vissim 2022  
Fuente propia

Los tiempos de viajes vehiculares y peatonales se tomaron con la misma distancia de recorrido que en el modelo de la situación actual, esto para poder comparar no solo *tiempos de viaje si no velocidades*. En el caso vehicular la distancia a considerar es de 17.03 metros y en el peatonal que se da en el cruce del Origen A al Origen B de 11.11 metros. A continuación, se muestran los resultados de dichas corridas.

**Tabla 21.** Resultados de los tiempos de viaje vehicular extraídas de Vissim 22 de la propuesta

VEHÍCULOS			
CORRIDAS	INTERVALO DE TIEMPO (seg)	TIEMPO DE VIAJE (seg)	DISTANCIA
1	600-4200	3.876	17.03
2	600-4200	4.176	17.03
3	600-4200	3.907	17.03
4	600-4200	3.671	17.03
5	600-4200	3.943	17.03
6	600-4200	3.712	17.03
7	600-4200	3.769	17.03
8	600-4200	4.054	17.03
9	600-4200	3.662	17.03
10	600-4200	3.994	17.03
11	600-4200	4.024	17.03
12	600-4200	3.693	17.03
13	600-4200	3.806	17.03
14	600-4200	3.929	17.03
15	600-4200	3.790	17.03
16	600-4200	4.062	17.03
17	600-4200	4.008	17.03
18	600-4200	3.592	17.03
19	600-4200	3.365	17.03
20	600-4200	3.539	17.03
21	600-4200	3.676	17.03
22	600-4200	3.693	17.03
23	600-4200	3.928	17.03
24	600-4200	3.823	17.03
25	600-4200	3.895	17.03
Average	600-4200	3.823	17.03
Standard deviation	600-4200	0.189	0.00
Minimum	600-4200	3.365	17.03
Maximum	600-4200	4.176	17.03

Fuente propia

**Tabla 22.** Resultados de velocidades vehiculares de la propuesta

VELOC PROM	16.073 km/h
DESV ST	0.812
MÍNIMO	14.682 km/h
MÁXIMO	18.217 km/h

Fuente propia

**Tabla 23.** Resultados de los tiempos de viaje peatonal extraídas de Vissim 22 de la propuesta

PEATONES		
CORRIDAS	INTERVALO DE TIEMPO (seg)	TIEMPO DE VIAJE (seg)
1	600-4200	9.034
2	600-4200	8.823
3	600-4200	9.110
4	600-4200	8.738
5	600-4200	8.658
6	600-4200	8.707
7	600-4200	9.164
8	600-4200	9.050
9	600-4200	8.895
10	600-4200	8.916
11	600-4200	8.857
12	600-4200	8.980
13	600-4200	8.901
14	600-4200	8.609
15	600-4200	8.988
16	600-4200	8.779
17	600-4200	9.008
18	600-4200	8.985
19	600-4200	8.804
20	600-4200	8.857
21	600-4200	8.982
22	600-4200	9.348
23	600-4200	8.870
24	600-4200	8.998
25	600-4200	8.869
Average	600-4200	8.917
Standard deviation	600-4200	0.163
Minimum	600-4200	8.609
Maximum	600-4200	9.348

Fuente propia

**Tabla 24.** Resultados de velocidades peatonales de la propuesta

VELOC PROM	4.487 km/h
DESV ST	0.082
MÍNIMO	4.279 km/h
MÁXIMO	4.646 km/h

Fuente propia

## 6. COMPARACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y LA PROPUESTA

### 6.1. Discusión y evaluación vehicular

De acuerdo a los resultados obtenidos, se evalúa el desempeño vehicular en ambas circunstancias. Por ello, se analiza los tiempos de viaje, que estos a su vez representan las velocidades a las que transitan los vehículos. Como se observa en la siguiente tabla los resultados de los tiempos de viaje disminuyeron, pero la velocidad promedio sigue sin llegar a 30km/h; a pesar de que esta hay aumentado.

**Tabla 25.** Variación de tiempo y velocidad entre la situación actual y la propuesta planteada

	MEDIA		% Variación
	Actual	Propuesta	
Tiempo de viaje	4.297	3.823	-11.031%
Velocidad	14.617	16.073	9.961%

Fuente propia

Los tiempos de viaje disminuyeron con respecto a la situación actual y la velocidad aumento; sin embargo, no es suficiente para afirmar que existe una mejora considerable; por ello, se procederá a comparar los valores según la estadística inferencial. Por otro lado, se observar que más del 50% de vehículos son mototaxis y que, según sus especificaciones técnicas, la máxima velocidad a la que pueden llegar es de 65 km/h; por ello, la velocidad regular de un mototaxi es mucho menor que de un automóvil; además, las motocicletas son vehículos que forman aproximadamente el 25% del volumen de recurrencia en la intersección, estos vehículos son regulados por los semáforos colocados y la demanda de mototaxis. Sin embargo; según Rosen y Sander los riesgos de accidentes mortales se redujeron en zonas donde se limitaron las velocidades a 30 km/h (2009).

Con los cambios realizados a continuación se aplica la teoría de la hipótesis alternativa en los tiempos de viaje para ver si estos tienen influencia o no en la intersección. En este caso,



como se observa a continuación, la variación de medias no cumple con el 95% de confiabilidad; entonces las medias de las dos muestras de datos, propuesta y actual, no son consideradas iguales; es decir, si se observa que mejora el desempeño vehicular en la intersección la propuesta.

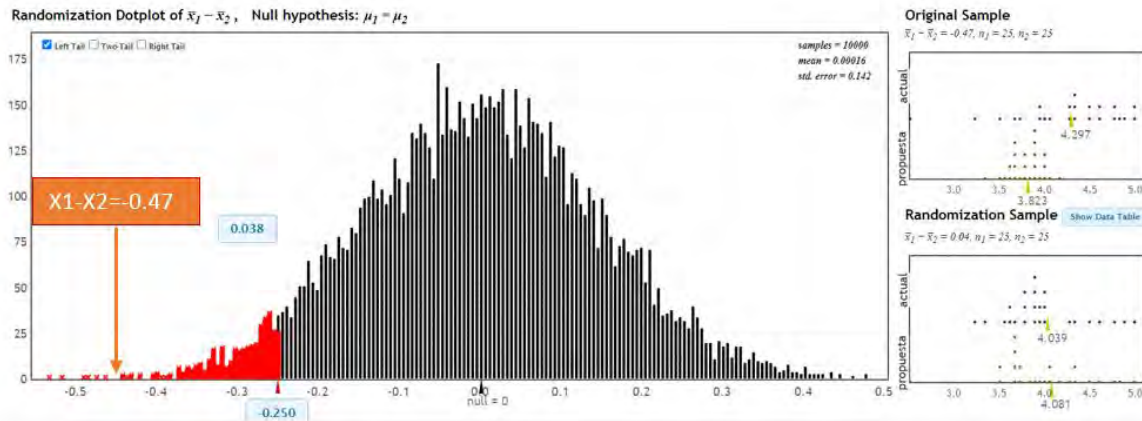


Figura 59. Prueba de hipótesis alternativa entre la situación actual y la propuesta

Fuente propia

## 6.2. Discusión y evaluación peatonal

Comparando los resultados obtenidos con respecto al desempeño peatonal, se observa una variación tanto en la velocidad como en el tiempo de viaje. Además, los tiempos y velocidades son aceptables ya que cumplen con la velocidad deseada de un peatón. A continuación, en la siguiente tabla se muestra los resultados.

Tabla 26. Variación de tiempo y velocidad entre la situación actual y la propuesta planteada

	MEDIA		% Variación
	Actual	Propuesta	
Tiempo de viaje (seg)	13.91	8.917	-35.9%
Velocidad (km/h)	2.999	4.487	49.62%

Fuente propia

Por otro lado, se observa que la dispersión de datos; es decir, la variación de los tiempos de viaje entre los peatones no es considerable si se compara con el primer análisis correspondiente

al modelo actual, esto quiere decir que todos los peatones viajan a una velocidad similar ya que no existen obstáculos que interrumpan su flujo continuo. A continuación, se muestra la comparación entre los porcentajes de variación entre los tiempos de viaje máximos y mínimos, de la propuesta y en la situación actual.

**Tabla 27.** Variación entre los tiempos de viaje máximo y mínimo de la propuesta y situación actual

			% Variación
VISSIM 22 -PROPUESTA	MÍNIMO (seg)	8.609	-8.58%
	MÁXIMO (seg)	9.348	
CAMPO-SITUACIÓN ACTUAL	MÍNIMO (seg)	9.33	-118.65%
	MÁXIMO (seg)	20.4	

Fuente propia

Finalmente, se hace la comparación de los tiempos de viaje de ambas situaciones con la teoría de hipótesis nula, como se hizo para la validación y calibración. En este caso se pretende comparar las medias de ambos resultados para observar si existió un gran cambio entre estas. Como se observa a continuación la diferencia de medias no se encuentra en el rango 95% de confiabilidad; es decir, los cambios son considerables con respecto a la situación actual lo que demuestra que la propuesta genera mejoras considerables.

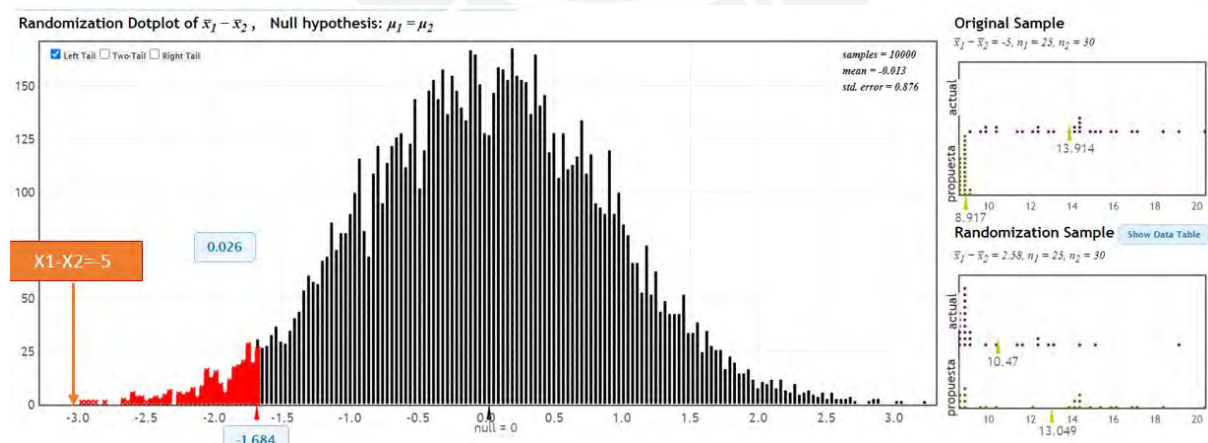


Figura 60. Prueba de hipótesis alternativa entre la situación actual y la propuesta

Fuente propia

### 6.3. Discusión y evaluación de la geometría

Se evalúa que la propuesta de aprovechar las áreas sin utilizar de la vía para un mejor confort en el tránsito peatonal, como la eliminación de un carril y el ensanche de las veredas, busca optimizar la seguridad vial de los peatones y que estos presencien un tránsito calmado a pesar de ser una zona comercial y altamente transitada. Por otro lado, las señalizaciones estratégicamente colocadas, tanto horizontal como verticalmente, generan que los ciudadanos se informen de las circunstancias en las que se encuentra la vía y la infraestructura que se tiene. El mantenimiento propuesto, optimiza el flujo de movilización no solo peatonal si no del confort de los conductores y además de disminuir accidentes.

Las dimensiones actuales de los carriles, como se muestra en *Figura 61*, tienen gran holgura con respecto al ancho necesario para el tipo de vehículo que concurre en la intersección, ya que el ancho de un mototaxi es de 1.30 m; además, en el diseño actual, debido a las calzadas sin definir, con carriles de un ancho ostentoso, el desorden vehicular es considerable ya que los vehículos tratan de adelantar unos a otros. Por otro lado, los cambios propuestos, a partir del análisis de las deficiencias de la situación actual, regulan a que no haya invasión de comerciantes fuera del mercado, ni invasión de vehículos en las aceras, ya que se implementó una zona de estacionamiento en la vía que cruza al mercado, de tal manera que el flujo no se detenga y se amplió las veredas y coloco islas esquineras en la zona más concurrida, además, de implementar mobiliario urbano.

Los cambios en la geometría influyen en el desempeño vehicular y peatonal, con dichas acciones se priorizó la jerarquización de movilidad implementando áreas seguras y compactas para los peatones a diferencia de cómo se encuentran actualmente. A continuación, se muestra el plano de la propuesta planteada para la intersección junto con el plano en situación actual, donde se observa claramente las diferencias geométricas.

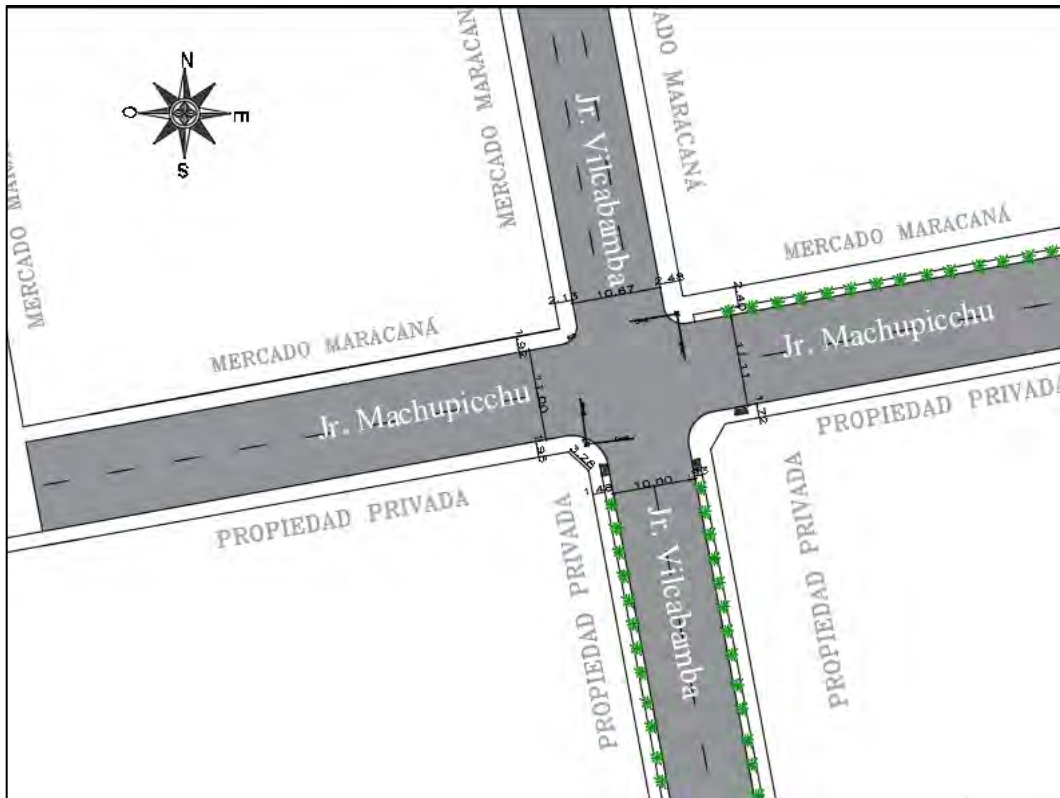


Figura 61. Plano de la situación actual  
Fuente propia

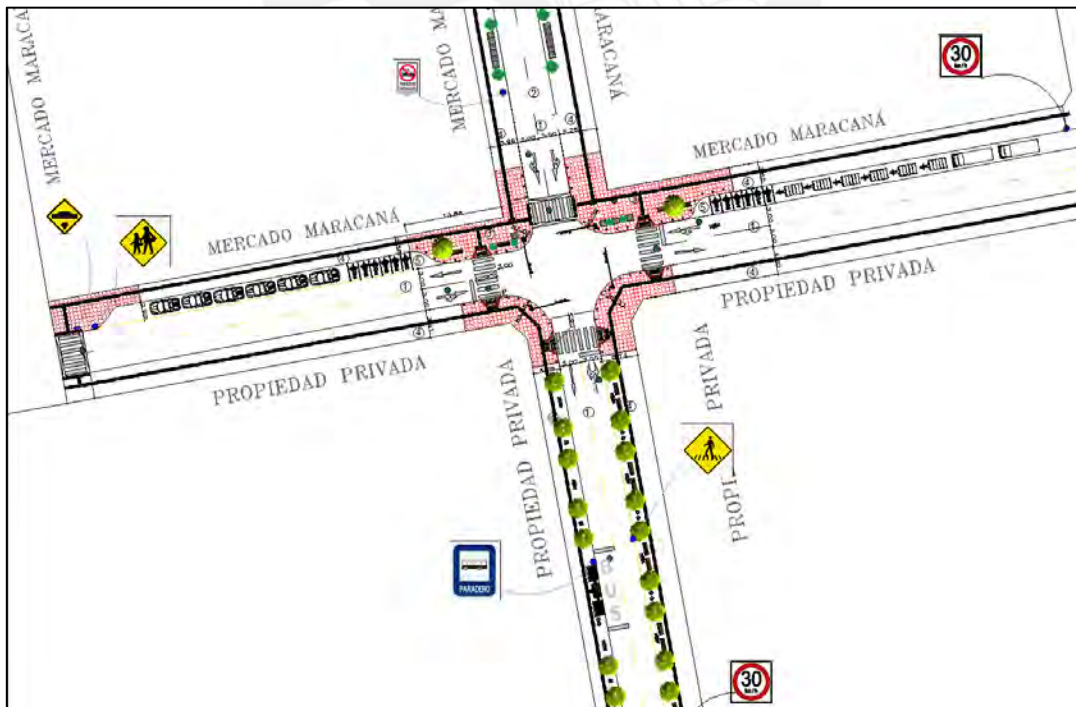


Figura 62. Plano de la propuesta de rediseño  
Fuente propia

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo, según todos los análisis y prácticas de conceptos de seguridad vial, sostenibilidad y desempeño de una intersección, se concluye, de acuerdo a los objetivos planteados previamente, si la influencia de un volumen de gran porcentaje de mototaxis que presenta la intersección afecta el desempeño vehicular. Por otro lado, se concluye si la propuesta planteada en la tesis, satisface las demandas de la zona de estudio y si mejora la situación actual. Finalmente, de acuerdo a la experiencia obtenida en la presente tesis a través de los resultados cuantitativos, cualitativos y estadísticos, se recomienda medidas u observaciones para diversos casos parecidos al planteado en esta tesis.

### 7.1. Conclusiones

Las conclusiones que se tienen como respuesta al primer objetivo, con respecto al análisis de la situación actual en tiempos de mayores demandas, son que los espacios designados a peatones no satisfacen la necesidad de los comerciantes, consumidores y escolares, ya que la prioridad en el diseño geométrico fueron los vehículos. Estas falencias se observan en la lista de chequeos, en el dimensionamiento de la calzada con respecto a las veredas y en la falta de conectividad directa para el flujo peatonal. Asimismo, no se presencia un tránsito calmado ni ordenado y el desempeño del flujo vehicular no es adecuado ya que los tiempos de viaje no son los esperados. Con respecto a los cruces de la intersección, se observan áreas de conflicto o puntos negros, principalmente cuando se desplazan en el Jr. Vilcabamba desde carril 1 al carril 1'.

Por otro lado, de acuerdo al segundo objetivo planteado, la demanda de los mototaxis en la intersección afecta el desempeño vehicular, pues el porcentaje de participación de este vehículo con respecto a los otros es más del 50%. Esto se ve reflejado en las velocidades obtenidas a partir de las videograbaciones y la simulación; es decir, los otros vehículos no pueden alcanzar

su velocidad deseada por haber una densidad de mototaxis alta, provocando que tanto mototaxis como camionetas, automóviles y demás, lleguen a circular con la misma velocidad.

En cuanto al tercer objetivo, la propuesta de rediseño cumple con tener una geometría con condiciones favorables para los peatones, ya que los resultados obtenidos, estadísticamente y con tiempos de viaje, disminuyeron en 35.9%, se ha demostrado que el flujo peatonal mejora, además, de haberse aplicado la jerarquización de movilización en términos de sostenibilidad y seguridad vial priorizando a los peatones. También, se observa que las condiciones de movilización son inclusivas en la geometría planteada, ya que se puede ver que los comerciantes, compradores y escolares tienen viajes directos a sus destinos y cuentan con espacios seguros. Sin embargo, estos cambios también beneficiaron al tránsito vehicular, ya que el tiempo de viaje disminuyó en 11.31% y, por otro lado, según la hipótesis nula alternativa, se puede considerar que esta propuesta mejoraría su desempeño vehicular.

Finalmente, se concluye que, con dichos cambios basados en un sólido diseño vial e inclusivo, cualquier tipo de peatón puede desplazarse de manera segura, convirtiéndose en un sistema apropiado, pero que debe ir acompañado de una auditoría detectando los “puntos negros”. Por otro lado, con la propuesta planteada, la intersección no solo mejora en términos de funcionalidad y aspecto estético, sino, además, ayuda a mantener una velocidad vehicular menor a 30 km/h en zona urbana.

## **7.2. Recomendaciones**

Las deficiencias o posibles problemas que pueda tener una intersección de este tipo se deben al diseño de toda la ciudad, se recomiendan diseños más compactos con cuadras más cortas donde haya establecimientos comerciales o de alta densidad de peatones, ya que las cuadras cortas presentan una menor tasa de accidentes y mortalidad en peatones. En consecuencia, se

recomienda que el diseño urbano busque reducir el uso de vehículos en este tipo de sectores urbanos.

Quillabamba es una ciudad pequeña en desarrollo, que tiene planes de ampliación urbana a futuro; por ello, de existir vías rápidas, se recomienda separar por completo dichas vías de los peatones y ciclistas. Para mejorar una intersección o entorno se recomienda la aplicación del concepto de hacer uso del suelo de manera mixta, incluyendo árboles, zonas de descanso para peatones, pasos peatonales con resaltos y señalizaciones, ya que con esto se busca la reducción de velocidad en vehículos. Esto también puede ser aplicado en lugares turísticos y pequeños con características similares a las de Quillabamba.

Por otro lado, como se observó en esta tesis, se recomienda que las dimensiones mínimas de un carril dependan de la zona donde se encuentra y del medio de transporte principal en la vía para evitar usos de suelo poco eficientes e innecesarios. Además, se recomienda que en cada diseño geométrico que se pretenda ejecutar se debe conocer la densidad peatonal, la diversidad de acuerdo al tipo de suelo, si es mixto o no, el diseño objetivo, las distancias y destinos de los peatones, para poder cumplir con los requerimientos de seguridad vial y jerarquización de movilidad.

## REFERENCIAS

- Álvarez, J.W. (2017). *Microsimulación intermodal en la ciudad de cusco empleando los softwares Vissim 8 y Viswalk 8*. Lima, Perú: Repositorio PUCP.
- Araujo, A. y Lazo C. (2017). *Micro-simulación de vehículos atípicos: el caso de las mototaxis en villa maría del triunfo*. Lima, Perú: Repositorio PUCP.
- Association of Australian and New Zealand Road transport and traffic authorities (2002). *Road Safety Audit*. Sydne. Australia: Second Edition.
- UTODISA (2012). Mototaxi Autodisa Bajaj. Recuperado de <http://autodisa.pe/torito/?p=12>
- Avilés, C. (2017). *Microanálisis de los desplazamientos peatonales y vehiculares en las afueras del hospital del niño*. Lima, Perú: Repositorio PUCP.
- Ayuntamiento de Huesca (2022). *Población*. Recuperado de <https://www.huesca.es/la-ciudad/datos-de-ciudad/poblacion-2022>
- Ayuntamiento de Huesca (s.f). *Pacto por la Movilidad*. Recuperado de <https://www.huesca.es/la-ciudad/trafico-y-movilidad/estrategia/pacto-por-la-movilidad>
- Azàn, S., Bech, L., Buis, J., Canales, C., Diaz, J., Lorenzini, J., Malo, M., Menhdiratta, S., Mirgalet, L., Montezuma, R., Muller, S., Pollmann, M., Rosell, A., Sánchez, J., Sandoval, E. y Sim, D., Piérola, Armando. (2011). *Del transporte a la movilidad sostenible: 16 aportes de expertos internacionales para hacer de Lima una ciudad para todos*. Lima, Perú: Fundación transitemos.
- Banco Central de Reserva del Perú (2022). *Caracterización del departamento de Cusco. I. Características socioeconómicas*. Cusco, Perú. Departamentos de Estudios Económicos de la sucursal Cusco.



- Barrera, D. (2016). *Modelos Determinísticos y Probabilísticos*. Caracas, Venezuela: Universidad José María Vargas.
- Cabrera, F. (2019). *Ingeniería del tráfico*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú
- Casares, A. y Galarraga, J. (2015). *Calibración del modelo de seguimiento de Vissim en carreteras multicarriles de Uruguay*. ANPET
- Chacón, M. y Sáenz, L. (2016). *Importancia de la auditoria de seguridad vial – (ASV) en concesiones viales de Colombia*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia
- Chávez, V. (2005). *Manual de diseño geométrico de vías urbanas*. Lima, Perú: Instituto de la construcción y gerencia
- Chura, S. F. (2018). *Rediseño y microanálisis de la intersección de los Jirones Oquendo, Tacna, Los Incas y Av. La Torre, Puno*. Lima, Perú: Repositorio PUCP.
- Ciudades y Gobiernos Locales Unidos. (2016). *Planificación y gestión del desarrollo urbano sostenible de las Ciudades Intermedias*. Lérida, España: Universitat de Lleida.
- Decreto Supremo 025-2021-MTC (17 de julio de 2021). Normas Legales, N° 16122. Diario Oficial El Peruano.
- Dextre, J.C. y Avellaneda, P. (2014). *Movilidad en zonas urbanas*. Lima, Perú. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Dextre, J. C. (2014). *Ciudad, transporte y calidad de vida*. Lima, Perú: Palestra
- Diario Ferrol. (2016). *El plan de accesibilidad para pasos de peatones comienza una segunda fase*. Recuperado de <https://www.diariodeferrrol.com/articulo/ferrol/plan-accesibilidad-pasos-peatones-comienza-segunda-fase/20160808222709162477.html>
- Doble Vía. (2015). *Tránsito y transporte 2015A: SemafORIZACIÓN*. Recuperado de <https://doblevia.wordpress.com/2015/03/30/transito-y-transporte-2015a-semaforizacion-correccion-de-lo-visto-en-clase/>

- Dowling, R. Alexander Skabardonis, John Halkias, Gene McHale y Grant Zammit. (2004). Guidelines for calibration of microsimulation models framework and applications. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*.
- Elefteriadou, L. (2014). *An Introduction to Traffic Flow Theory*. New York, USA: University of Florida
- Federal Highway Administration. (2004). *Traffic Analysis Toolbox Volumen III*. Whashington, Estados Unidos.
- Federal Highway Administration. (2019). *Traffic Analysis Toolbox Volumen III: Guidelines for applying traffic microsimulation Modeling software*. Whashington, Estados Unidos.
- Fellendorf, M. y Vortisch, P. (2010). *Microscopic traffic flow simulator Vissim*. Alemania: International Series in Operation Research and Management Science.
- Fulton, L. (2004). *Reducing Oil Consumption in Transport: Combining Three Approaches*. París, Francia.
- Fraile, C. N. (2018). Intersecciones sin prioridad. *Dirección General de Tráfico. Seguridad Vial*. Recuperado de <https://revista.dgt.es/es/educacion-formacion/conducir-mejor/2018/0703Intersecciones-sin-prioridad.shtml>
- Gallardo, J. (2011). Modelos de simulación. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/59825248/Modelos-de-simulacion>
- Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (2019). *Elevación de bocacalle*. Recuperado de <https://buenosaires.gob.ar/desarrollourbano/manualdedisenourbano/paisaje-urbano-morfologia/accesibilidad-peatonal/elevacion-de-bocacalle>
- Hollander, Y. y Liu, R. (2008). *The principles of calibrating traffic microsimulation models*

*transportation.*

- Ingemmet. (2022) *A nivel nacional, Cusco recibió más de S/ 26 969 millones por actividades minero-energéticas.* Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/ingemmet/noticias/687387-a-nivel-nacional-cusco-recibio-mas-de-s-26-969-millones-por-actividades-minero-energeticas>.
- Institute of Transportation Engineers. (2018). *Traffic Calming Measures.* Recuperado de <https://www.ite.org/pub/?id=2c3e7d2b%2D0d3a%2D93b9%2Daf9d%2D99dce352e79d>
- Instituto de la Construcción y Gerencia. (2005). Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas. *Clasificación de las Vías Urbanas. Parámetros de diseño vinculados a la clasificación de vías urbanas.* Lima, Perú.
- Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (2013). *Jerarquía de la movilidad urbana.* Recuperado de <http://mexico.itdp.org/multimedia/infografias/jerarquia-de-la-movilidad-urbana-piramide/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018). *Crecimiento y distribución de la población total, 2017.* Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Información (2011). *Perú: migración interna reciente y el sistema de ciudades 2002-2007.* Lima: INEI- UNFPA.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2006): *Guía práctica para la elaboración e implantación de Planes de Movilidad Sostenible.* Madrid, España.
- Jerez, S. y Torres, L. *Manual de diseño de infraestructura peatonal urbana.* Recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos-pdf4/manual-diseno-infraestructura-peatonal-urbana/manual-diseno-infraestructura-peatonal-urbana.pdf>
- Jiménez, A. L. (2011). Tema 9: Gestión técnica tráfico. *Intersecciones. Concepto, funcionamiento y clasificación.*

- Martínez, H. y Plaza, J. (2015). *El reto de la movilidad urbana en ciudades pequeñas, del vehículo privado a otras soluciones*. Castilla, España: Universidad de Castilla – La Mancha.
- Meza, F (2018). *Microsimulación intermodal en la intersección de la Av. General Vivanco con la calle Manuel Ugarteche con el software Vissim 8*. Lima, Perú: Repositorio PUCP
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2018). *Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2019). *Clasificación de las licencias de conducir*. Recuperado de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/terrestre/licencias/info\\_general\\_clasificacion\\_licencias.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/terrestre/licencias/info_general_clasificacion_licencias.html)
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2012). *Plan estratégico nacional de ciclovías*. Guayaquil, Ecuador: Gobierno del Ecuador.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. *Accesibilidad Garantizada en el Espacio Público*. Gobierno de Chile.
- Montenegro, J. C., & Lozano, A. (Julio de 2013). Simulación Microscópica del Tránsito. *13th World Conference on Transport Research Society*. Río de Janeiro, Brasil.
- Municipalidad Provincial de La Convención. (2019). *Ordenanza Municipal N° 003-2019-MPLC*. La Convención, Perú.
- MTC (2007). *Reductores de velocidad tipo resalto*. Lima, Perú: MTC
- MTC, MINEDU, MINSA, MININTER, MTPE, SUNAT, INDECOPI, Un Representante Gobierno Regional, Municipalidad de Lima y Director General de Transporte Terrestre. (2008). *Guía de educación en seguridad vial para profesores y tutores*. Lima, Perú. Biblioteca Nacional del Perú.

- Naciones Unidas (2002). *Medio ambiente y desarrollo. Las nuevas gestiones urbanas: gestión para la ciudad sostenible*. Santiago de Chile, Chile.
- Organización Mundial de la Salud. (2013). *Seguridad peatonal. Manual de seguridad vial para instancias decisorias y profesionales*. Ginebra, Suiza.
- Papageorgiou, M. (2003). *Review of road traffic control strategies*. IEE
- Plan Base de Ordenamiento Territorial Provincia de La Convención (2005). *Propuesta de ordenamiento territorial y programa de desarrollo sostenible de la provincia de La Convención*. Cusco, Perú: Municipalidad de La convención
- Pinos, V. (2016). *Diseño de intersecciones en vías urbanas*. Cuenca, Ecuador: Universidad del Azuay
- PTV Group, (2016). *Casos de aplicación de PTV Vissim*. Recuperado de <http://vision-traffic.ptvgroup.com>
- PTV Group (2019). *PTV Vissim*. Recuperado de <http://vision-traffic.ptvgroup.com/es/productos/ptv-vissim/>
- Radio Quillabamba. (2019). *Quillabamba: capacitarán a mototaxistas en normas de tránsito y seguridad*. Recuperado de <http://www.radioquillabamba.com/web/?p=12820>
- RAE. (2019). *Real Academia Española*. Recuperado de <https://dle.rae.es/?id=SFfCBfij>
- Roess, R., Prassas, E. y McShane, W. R. (2004). *Traffic engineering. Fourth edition*.
- Salazar, C. J. (2018). *Análisis por microsimulación de la intersección entre la av. Brasil y el Jr. General Borgoño empleando Vissim 8*. Lima, Perú: Repositorio PUCP.
- Salvador, I. y Robusté, L. (2000). *Principios para la micro-simulación del tráfico*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Valenzuela, E. (2013). *Diseño Vial Urbano*. Recuperado de [https://docs.google.com/file/d/0BxLPNTrCi\\_7uc0JEbXJLWUhBLVU/edit](https://docs.google.com/file/d/0BxLPNTrCi_7uc0JEbXJLWUhBLVU/edit)

- Vega, P. (2017). *Los Planes de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS)*. Madrid, España: Ecologista en Acción
- Vega, P y Vilela, M (6 de noviembre de 2019). El rol de intermediación de las ciudades pequeñas: una lectura de la movilización cotidiana en Otuzco y Chepén, en la región La Libertad, al norte del Perú. *Revista Investigaciones Geográficas*. Recuperado de <https://investigacionesgeograficas.uchile.cl/index.php/IG/article/view/54428/58844>
- Vial-sing. (2019). *Semaforización y control*. Recuperado de <https://vialsign.com/semaforizacion-y-control/dispositivos-para-peatones-invidentes/>
- Welle, B., Liu, Q., Adriaola-Steil, C., King, R., Sarmiento, C. y Obelheiro, M. (2016). *Ciudades más seguras mediante el diseño*. Recuperado de <http://publications.wri.org/citiessafer/es/>
- Zúñiga, V. I., (2010). *Uso de herramientas de microsimulación para la definición de estrategias de control de tránsito para la ciudad de Santiago*. Santiago, Chile: Universidad de Chile.