



**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Modelación matemática por micro simulación mediante software para  
optimización del flujo vehicular entre las avenidas Guillermo Billinghurst y  
San Juan

**TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

**AUTORES**

Cahuana Cueva, Alexis Jesus  
ORCID: 0000-0001-5931-9436

Paredes Leon, Cristhian  
ORCID: 0000-0002-7478-9871

**ASESOR**

Estrada Mendoza, Miguel Luis  
ORCID: 0000-0002-8646-3852

**Lima, Perú**

**2022**

## **Metadatos Complementarios**

### **Datos de los autores**

Cahuana Cueva, Alexis Jesus

DNI: 47867115

Paredes Leon, Cristhian

DNI: 47342062

### **Datos de asesor**

Estrada Mendoza, Miguel Luis

DNI: 10493289

### **Datos del jurado**

JURADO 1

Fano Miranda, Gonzalo Ramcés

DNI: 09178719

ORCID: 0000-0002-4401-8654

JURADO 2

Sueldo Mesones, Jaime Pío

DNI: 43703437

ORCID: 0000-0003-3760-8370

JURADO 3

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0002-6949-1317

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

# MODELACIÓN MATEMÁTICA POR MICRO SIMULACIÓN MEDIANTE SOFTWARE PARA OPTIMIZACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR ENTRE LAS AVENIDAS GUILLERMO BILLINGHURST Y SAN JUAN

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>21</b> %	<b>21</b> %	<b>1</b> %	<b>9</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<a href="http://repository.upb.edu.co">repository.upb.edu.co</a> Fuente de Internet	<b>5</b> %
<b>2</b>	<a href="http://tesis.pucp.edu.pe">tesis.pucp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<b>5</b> %
<b>3</b>	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<b>3</b> %
<b>4</b>	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<b>2</b> %
<b>5</b>	<a href="http://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<b>2</b> %
<b>6</b>	<a href="http://dspace.ucuenca.edu.ec">dspace.ucuenca.edu.ec</a> Fuente de Internet	<b>2</b> %
<b>7</b>	<a href="http://intranet.minas.medellin.unal.edu.co">intranet.minas.medellin.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>8</b>	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<b>&lt;1</b> %

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicada a mi familia, seres queridos, docentes y amigos, ya que ellos han llegado a influir en mi para alcanzar este objetivo, con mucho afecto, para ustedes.

(Cahuana Cueva, Alexis Jesus)

Dedico esta tesis a mi familia por a verme apoyado y darme fortaleza para alcanzar mis objetivos. Asimismo, quiero dedicar esta investigación a mis amigos y colegas que me han acompañado en este arduo trayecto.

(Paredes Leon, Cristhian)

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro mayor agradecimiento y consideración a nuestra alma mater, que nos moldeó académicamente y nos formó como seres humanos preparados para una cultura de paz.

Agradecemos y reconocemos la labor de cada uno de los docentes por todo lo que hemos aprendido en el tiempo que pasamos en las aulas a lo largo de estos años.

## INDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	iii
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACION DEL PROBLEMA</b> .....	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Formulación del problema.....	1
1.2.1. Problema general .....	1
1.2.2. Problemas específicos.....	1
1.3. Objetivo general y específico.....	1
1.3.1. Objetivo General.....	1
1.3.2. Objetivos Específicos .....	1
1.4. Delimitaciones del estudio .....	2
1.4.1. Geográfica.....	2
1.4.2. Temporal.....	2
1.4.3. Muestral .....	2
1.4.4. Tematica.....	2
1.5. Importancia de la investigación .....	2
1.6. Justificación de la investigación .....	3
1.7. Limitación de la investigación .....	3
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	4
2.1. Marco histórico .....	4
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema.....	4
2.2.1. Investigaciones nacionales.....	4
2.2.2. Investigaciones internacionales .....	7
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio .....	10
2.3.1. La planificación en el transporte.....	10
2.3.2. Capacidad vial.....	10
2.3.3. Volumen de tráfico .....	11
2.3.4. Intersecciones.....	13
2.3.5. Regulación en intersección .....	15
2.3.6. Alternativas de regulación. ....	15
2.3.7. Ventajas y desventajas de la semaforización .....	19
2.4. Modelo de micro simulación del tránsito con VISSIM.....	20

2.4.1.	Historia y aplicaciones de VISSIM .....	21
2.4.2.	Aplicación .....	21
2.4.3.	Generalidades del Modelo .....	22
2.4.4.	Elementos de entrada del modelo .....	22
2.4.5.	Tipos de vehículos .....	24
2.4.6.	Clases de vehículos. ....	24
2.4.7.	Comportamiento de conducción. ....	24
2.4.8.	Cambio de carril.....	25
2.4.9.	Control por semaforización. ....	25
2.5.	Definición de términos básico.....	27
2.5.1.	Vissim .....	27
2.5.2.	Viswalk .....	27
2.5.3.	Congestión vehicular o tráfico vehicular .....	28
2.5.4.	Velocidad .....	28
2.5.5.	Volumen.....	28
<b>CAPÍTULO III: HIPÓTESIS.....</b>		<b>29</b>
3.1.	Hipótesis .....	29
3.1.1.	Hipótesis General.....	29
3.1.2.	Hipótesis Específicas .....	29
3.2.	Variables .....	29
3.2.1.	Variable independiente: .....	29
3.2.2.	Variable dependiente: .....	30
<b>CAPITULO IV: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION .....</b>		<b>31</b>
4.1.	Tipo y método de la investigación.....	31
4.2.	Población del estudio .....	31
4.3.	Diseño muestral .....	31
4.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	31
4.4.1.	Técnica.....	31
4.4.2.	Instrumentos.....	31
4.5.	Procedimiento para la recolección de datos .....	32
4.5.1.	Geometría del lugar de estudio. ....	32
4.5.2.	Aforo vehicular y peatonal. ....	33
4.5.3.	Señales de control: semáforos.....	36
4.6.	Técnicas y procesamientos y análisis de datos. ....	36

4.6.1.	Background .....	37
4.6.2.	Diseño de los links y conectores .....	38
4.6.3.	Rampas.....	40
4.6.4.	Tipos de vehículos y composición vehicular y peatonal. ....	40
<b>CAPÍTULO V: PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>		<b>44</b>
5.1.	Diagnóstico y situación actual .....	44
5.1.1.	Antecedentes .....	44
5.2.	Ingreso de datos al software VISSIM 9.0.....	45
5.2.1.	Importación de datos al software .....	46
5.2.2.	Links y conectores .....	48
5.2.3.	Asignación de rutas.....	48
5.2.4.	Ingreso de aforo vehicular y peatonal.....	49
5.2.5.	Conflictos de áreas.....	50
5.2.6.	Semáforos .....	51
5.2.7.	Nodos .....	52
5.2.8.	Simulación del modelo .....	53
5.2.9.	Comprobación de errores.....	53
5.2.10.	Calibración del modelo.....	53
5.2.11.	Validación del modelo .....	57
5.3.	Propuesta de rediseño geométrico .....	58
5.3.1.	Ancho de carriles .....	58
5.3.2.	Rediseño de rampas .....	58
5.3.3.	Implementación de un paradero.....	58
5.3.4.	Restricción de flujos. ....	59
5.4.	Análisis de resultados.....	59
5.4.1.	Comparación de tiempos de viaje.....	60
5.4.2.	Comparación de las paradas .....	60
5.4.3.	Comparación de demoras de viaje. ....	61
5.4.4.	Comparación de longitud de cola. ....	63
5.5.	Evaluación estadística de la propuesta de mejora .....	63
5.5.1.	Comparación de longitud de cola .....	63
5.5.2.	Análisis y evaluación estadística de paradas .....	64
5.5.3.	Análisis y evaluación estadística de demora de viaje.....	65
5.5.4.	Análisis y evaluación estadística de la longitud de cola. ....	66

<b>CONCLUSIONES</b> .....	68
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	70
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	71
<b>ANEXO</b> .....	73

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Definición de niveles de servicio .....	11
Tabla N° 2 Registro de aforo vehicular .....	34
Tabla N° 3 Registro de flujo peatonal en la intersección .....	34
Tabla N° 4 Tabla de ciclo semafórico .....	36
Tabla N° 5 Composición vehicular en software VISSIM de av. San Juan sentido sur.....	41
.....	41
Tabla N° 6 Composición vehicular en software VISSIM de av. San Juan sentido norte....	41
.....	41
Tabla N° 7 Composición vehicular en el software VISSIM 9.0 de la avenida Guillermo Billinghamurst con avenida San Juan.....	42
Tabla N° 8 Composición peatonal en el software VISSIM 9.0 de la composición peatonal .....	42
Tabla N° 9 Tabla de volúmenes vehiculares para ingreso a VISSIM .....	49
Tabla N° 10 Parametros utilizados - Wiedemann 74.....	54
Tabla N° 11 Resultados del sexto parámetro.....	55
Tabla N° 12 Comparación de los datos de campo y simulación en VISSIM 9.0 .....	56
Tabla N° 13 Resultados de validación.....	57
Tabla N° 14 Comparación de tiempos de viaje del modelo calibrado y validado (seg.).....	57
Tabla N° 15 Comparativa Tiempo de viajes vs. cantidad de simulación entre propuesta de mejora y estado actual.....	60
Tabla N° 16 Comparativa Tiempo de paradas vs. cantidad de simulación entre propuesta de mejora y estado actual.....	61
Tabla N° 17 Comparativas de demoras de viaje vs. cantidad de simulación entre propuesta de mejora y estado actual.....	62
Tabla N° 18 Comparativa de longitud de cola entre estado actual y con las mejoras propuestas .....	63

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Análisis de puntos de conflicto .....	14
Figura 2: Puntos de conflicto en una intersección con geometría tipo cruz .....	15
Figura 3: Rotonda .....	17
Figura 4: Micro simulación de una intersección en el software VISSIM 9.0.....	21
Figura 5: Ejemplo de regla de prioridades.....	26
Figura 6: Intersección semaforizada .....	27
Figura 7: Geometría de la intersección de estudio.....	32
Figura 8: Flujo vehicular de entrada (verde) y salida (amarillo) a la intersección de estudio .....	33
Figura 9: Background para el modelado en el VISSIM.....	37
Figura 10. Conectores y links .....	38
Figura 11: Conectores y links en el VISSIM.....	39
Figura 12: Disposición de las rampas a modelar en el VISSIM.....	40
Figura 13: Mapa de ubicación de la intersección de estudio, ubicada en el distrito de San Juan de Miraflores. ....	44
Figura 14: Mapa de ubicación de la intersección de estudio, ubicada en el distrito de San Juan de Miraflores. ....	45
Figura 15: Sentidos de desplazamiento vehicular.....	45
Figura 16: Importación de imagen al VISSIM .....	46
Figura 17: Escalado de la imagen importada (Background).....	47
Figura 18: Geometría escalada del lugar de investigación .....	47
Figura 19: Elaboración de las vías de la intersección.....	48
Figura 20: Zona de conflicto de flujos en la actualidad.....	50
Figura 21: Escenario actual de la zona de estudio. ....	51
Figura 22: Ciclo semafórico en VISSIM 9.0 .....	51
Figura 23: Nodo de la intersección diseñada en VISSIM 9.0.....	52
Figura 24: Nodo de intersección diseñada en VISSIM 9.0.....	54
Figura 25: Calibración de datos con la prueba de aleatorización Statkey .....	56
Figura 26: Identificación de restricciones al flujo vehicular .....	59
Figura 27: Calibración de datos con la prueba de aleatorización Statkey - Tiempo de viaje .....	64

Figura 28: Calibración de datos con la prueba de aleatorización Statkey - Tiempo promedio de parada.....	65
Figura 29: Calibración de datos con la prueba de aleatorización Statkey - Tiempo promedio demoras de viaje .....	66
Figura 30: Calibración de datos con la prueba de aleatorización Statkey - Promedio longitud de colas .....	67

## RESUMEN

La presente investigación lleva por nombre Modelación matemática por micro simulación utilizando el software Vissim para analizar y dar propuestas de mejora del flujo vehicular en la intersección entre las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan del distrito de San Juan de Miraflores. El objetivo general del proyecto es analizar el tráfico vehicular y peatonal mediante una modelación matemática utilizando el software Vissim entre las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan para proponer mejoras y dar recomendaciones en dicha intersección, donde los peatones al igual que los vehículos, tengan un libre y fácil desplazamiento.

En cuanto a la metodología, esta partió de una guía de pasos sugeridos iniciando por el alcance del proyecto, reconocimiento, inspección, recolección y procesamiento de datos, desarrollo del modelo base, comprobación de errores, calibración del modelo, validación del modelo y el análisis de alternativas y propuestas de mejora. En cuanto a los resultados, se obtuvo un tiempo promedio estimado de 3.04 segundos en un tramo de 20 metros, con un valor de paradas de 2.17 por vehículo, con una longitud de cola que va desde los 38.62 metros hasta 111.86 metros.

Se concluyó que, existe fuerte congestión vehicular y peatonal debido a una mal distribución de elementos y una deficiente gestión, por lo que se vuelve necesario realizar una redistribución de parámetros tales como el ancho de carril, las rampas, entre otros a fin de garantizar el libre y seguro transitar tanto de peatones como de vehículos a lo largo de la intersección.

**Palabras claves:** Intersección, software VISSIM, avenida Guillermo Billinghurst, calle San Juan.

## ABSTRACT

The present investigation is called Mathematical modeling by micro simulation using the Vissim software to analyze and give proposals to improve the vehicular flow at the intersection between Guillermo Billinghurst and San Juan avenues in the district of San Juan de Miraflores. The general objective of the project is to analyze vehicular and pedestrian traffic through mathematical modeling using Vissim software between Guillermo Billinghurst and San Juan avenues to propose improvements and give recommendations at said intersection, where pedestrians, as well as vehicles, have a free and easy movement.

Regarding the methodology, it started from a guide of suggested steps starting with the scope of the project, recognition, inspection, data collection and processing, development of the base model, error checking, model calibration, model validation and analysis. of alternatives and proposals for improvement. Regarding the results, an estimated average time of 3.04 seconds was obtained in a 20-meter section, with a value of 2.17 stops per vehicle, with a queue length ranging from 38.62 meters to 111.86 meters.

It was concluded that there is strong vehicular and pedestrian congestion due to a poor distribution of elements and poor management, for which it becomes necessary to redistribute parameters such as lane width, ramps, among others, in order to guarantee the free and safe movement of both pedestrians and vehicles throughout the intersection.

**Keywords:** intersection, VISSIM software, Guillermo Billinghurst avenue, San Juan avenue.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad las ciudades se encuentran en distintas etapas de crecimiento por lo que afrontan diferentes desafíos acordes a su geografía y a sus diferentes labores económicas esenciales. Sin embargo, una complejidad común es la carencia de un apropiado sistema de transporte público que proporcione un libre desplazamiento de personas y bienes, que a su vez afecta al medio ambiente. La demanda ciudadana ha estado orientada a beneficiar al auto privado y no a desarrollar medidas que se centralicen en la movilidad sostenible como ente de avance para proporcionar diferentes maneras de movilizarse donde se prioricen, en primera instancia, al transporte público como también al peatón y al ciclista.

Debido a las gestiones tomadas, estas han compuesto el desarrollo de ciudades con una baja calidad de transporte, con un índice de accidentalidad alto, molestia, infraestructura con un diseño mal planteado, equipamiento inadecuado y un pésimo servicio de los flujos viales y peatonales, que también es debido a la falta de una cultura vial en ambos usuarios. Estas condiciones aumentan en la ciudad de Lima, donde la centralización poblacional de actividades económicas es mucho mayor al resto de ciudades del país.

En base a lo señalado y dada la necesidad en nuestra capital de optimizar la circulación vehicular y peatonal en las intersecciones entre vías muy concurridas que presenten un bajo nivel de servicio o flujo interrumpido, se procederán a realizar modelos de micro simulación que representen las condiciones reales y así poder mitigar los problemas existentes. El estudio se realizará en una intersección de la avenida San Juan y la avenida Guillermo Billinghurst en el distrito de San Juan de Miraflores que suele estar congestionada en hora punta.

Para ello se realizará el aforo vehicular en el momento del día en el cual exista mayor congestión vehicular, se medirán los intervalos de tiempo de cada semáforo (verde, ámbar, rojo) y el ciclo completo de este; además de tomar los datos de la geometría de la intersección para de esta manera y, mediante el uso de la micro simulación en VISSIM, constituir de la manera más fiable el entorno existentes en la intersección y, de esta manera, identificar la correcta o incorrecta circulación dentro de la zona de estudio. Finalmente, el trabajo desplegará diferentes propuestas de mejora que garanticen el desplazamiento seguro entre los usuarios vulnerables y los vehículos.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACION DEL PROBLEMA**

## 1.1. Descripción del problema

La expansión demográfica de nuestra ciudad sin la adecuada previsión del ordenamiento del transporte urbano hace más notoria la carencia de un apropiado sistema de transporte público que proporcione un libre desplazamiento de personas y una adecuada circulación del transporte público.

## 1.2. Formulación del problema

### 1.2.1. Problema general

¿En qué medida la modelación matemática por micro simulación permitirá representar la optimización del flujo vehicular entre las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan?

### 1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son los datos necesarios para la estimación de los parámetros del modelo de micro simulación?
- b) ¿Cómo el procesamiento de los datos y su validación, mediante el uso de un software adecuado, permitirá realizar el modelamiento de micro simulación vehicular?
- c) ¿Cuáles son las propuestas y recomendaciones para optimizar el flujo vehicular y mejorar la transitabilidad peatonal en la intersección?

## 1.3. Objetivo general y específico

### 1.3.1. Objetivo General

Realizar la modelación matemática por micro simulación del flujo vehicular para elaborar propuestas de optimización entre las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan

### 1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Identificar los datos necesarios para la estimación de los parámetros del modelo de micro simulación.
- b) Procesar y validar los datos, mediante el uso de un software adecuado, para realizar el modelamiento de micro simulación vehicular.
- c) Generar propuestas y recomendaciones para la optimización del flujo vehicular y mejorar la transitabilidad peatonal en la intersección de las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan.

#### 1.4. Delimitaciones del estudio

##### 1.4.1. Geográfica

La zona de estudio se ubica en la intersección de los cruces de las avenidas Guillermo Billinghurst y Av. San Juan, en el distrito de San Juan de Miraflores.

##### 1.4.2. Temporal

La toma y levantamiento de datos, se efectuó entre los meses de junio y julio en intervalos de una hora para determinar cuáles son las horas de mayor flujo vehicular y poder representar la alta de transitabilidad de peatones y vehículos.

##### 1.4.3. Muestral

Se analizaron los datos de los siguientes medios de transporte motores: buses, coasters, combis, camiones, autos, motocicletas y moto taxis; también de vehículos no motorizados como scooters y bicicletas; además de considerar a los peatones que transitaron por nuestra intersección.

##### 1.4.4. Temática

Corresponde al campo de especialidad geomática en el cual se realizó el estudio del flujo vehicular y peatonal, para analizar y proponer alternativas de mejora para dicho lugar de estudio, en el cual presentan embotellamientos constantes perjudicando la fluidez.

#### 1.5. Importancia de la investigación

Esta investigación de estudio por modelación y micro simulación del cruce de las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan, es una representación real de los desplazamientos vehiculares y comportamiento peatonales que se dan en esta intersección de estudio, para lo cual se han estudiado propuestas que mejoraran y optimizaran el flujo de los desplazamientos de vehículos y peatones.

#### 1.6. Justificación de la investigación

La zona de estudio al ser altamente concurrida por tener cerca los algunos establecimientos concurridos como mercados, instituciones educativas, instituciones gubernamentales y bancos. Es por esto, que allí es donde se congestionan una gran cantidad de vehículos al tratar de transitar y a su vez, a causa de esto se generan esperas prolongadas que hace que los transeúntes se atrevan a cruzar la calzada con vehículos parados o aún en movimiento, poniéndolos en un riesgo constante de accidente.

#### 1.7. Limitación de la investigación

La presente tesis se limita a estudiar la transitabilidad de los vehículos y peatones que se desplazan por la intersección de las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan, ya que la congestión vehicular presente en esta zona influye a lo largo de la avenida San Juan y por ende en parte de este distrito.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco histórico

Lima y el crecimiento acelerado del parque automotor a causa de su expansión y densificación poco planificada, han traído consigo problemas como la congestión vehicular y demoras por la excesiva circulación de vehículos sin un correcto ordenamiento vial.

Tenemos que en el informe realizado por la Municipalidad de Lima en “Encuesta Lima Cómo Vamos” sobre la calidad de vida (2016), se consultó a los ciudadanos el transporte público y manifestaron que 19% tarda menos de 15 minutos en llegar a su destino, 56.9% entre 15 minutos y una hora, 24% más de 1 hora solo de ida y 3% más de dos horas por trayecto.

Esto ha hecho que se genere en los pasajeros una mala percepción por el transporte público, debido a los largos tiempos de viaje lo cual, según estadísticas presentadas por la Universidad del Pacífico, a 55% de ciudadanos les genera estrés y a 37% consideran que no tienen una adecuada calidad de vida a causa de esto. (Perú 21, 2017).

La presencia constante de este problema en muchas otras ciudades del mundo ha generado una necesidad por encontrar modelos que puedan describir el comportamiento de los agentes que transitan las vías públicas como vehículos, ciclistas y peatones.

Por esta razón la utilización del Vissim y Viswalk, ambas son herramientas de simulación microscópica y multimodal siendo la primera enfocada en el tráfico motorizado y la segunda en el no motorizado como el comportamiento peatonal y de las bicicletas, siendo ambas desarrolladas por PTV (Planung Transport Verkehr) en Karlsruhe, Alemania. (PTV, 2016).

### 2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

#### 2.2.1. Investigaciones nacionales

- a) Salazar Solano, C. J. (2018). Análisis por micro simulación de la intersección entre la Av. Brasil y el Jr. General Borgoño empleando VISSIM 8

La congestión vehicular es un problema considerable en Lima en los últimos años, esto se debe al crecimiento demográfico continuo, el centralismo financiero, la escasa planificación urbanística y el crecimiento sostenido del parque automotor. La realización del presente proyecto se centra en una intersección ubicada en el distrito de Jesús María, y para ello, al tratarse del análisis de los desplazamientos de todos los modos de transporte, se utilizará un modelo microscópico. Se empleará el software VISSIM y VISWALK 8.0, con la finalidad de crear un modelo de micro simulación el cual pueda representar eficientemente la realidad, y así obtener indicadores de mejora en la intersección como la reducción en el tiempo de viaje peatonal y vehicular, longitudes de cola vehiculares, etc. El presente proyecto de ingeniería consta de una serie de pasos descritos a continuación: alcance del proyecto, donde se define el propósito y se identifica la zona a desarrollarse. En esta etapa se consigue una descripción clara de las necesidades del proyecto que se deberán considerar en la recolección y procesamiento de datos. A continuación, se obtendrán los datos de entrada tales como la geometría de la intersección, las demandas existentes, las señales de control y los datos de calibración y validación como los tiempos de viaje peatonales y vehiculares, longitudes de cola, etc. A partir de la obtención de estos datos se prosigue al desarrollo del modelo base para que posteriormente se verifique la existencia de errores. Luego se sigue con la calibración, donde los parámetros individuales del modelo de simulación son ajustados de manera que este pueda ser preciso y represente las condiciones de tráfico en la zona del proyecto para luego ser validado a partir de los datos de campo que no se utilizaron en el proceso, de esta manera se procederá al análisis de alternativas y soluciones a través de tres medidas de efectividad como la

velocidad, la demora y las longitudes de cola. En el proyecto se plantearon dos alternativas de mejora, la primera consiste en un rediseño geométrico, mientras que la segunda se basa en un cambio del ciclo semafórico. Al aplicar ambas alternativas en conjunto se logró un incremento en la velocidad vehicular promedio de 30%, mientras que la demora promedio desciende de 29.4 a 17.8 segundos, es decir, una reducción del 65%. Además, se acortó la mayor longitud de cola vehicular que presentaba la intersección en la av. República Dominicana de 28 a 15 metros. Finalmente, en base a los resultados obtenidos se puede concluir que aplicando un adecuado análisis de los resultados obtenidos a través del software Vissim 8.0, es posible rediseñar la intersección e incrementar los parámetros de eficiencia para el beneficio de todos los usuarios que la recorren diariamente.

- b) Álvarez Vargas, J. W. (2017). Micro-simulación intermodal en la ciudad del Cusco empleando los softwares Vissim 8 y Viswalk 8.

El proyecto de ingeniería a desarrollar consta del estudio de una intersección ubicada en la ciudad de Cusco entre los distritos de Wanchaq y Cusco Cercado con el fin de evaluar las condiciones de los usuarios dentro de la misma. La evaluación se realizará mediante un modelo microscópico de tráfico (intersección), para luego presentar propuestas de mejoras a la situación inicial. El análisis se realizará a través de los softwares computacionales Vissim y Viswalk 8.0. Estos programas son capaces de simular el tráfico vehicular y peatonal de una zona de interés específico basándose en los datos recolectados en campo (flujo vehicular, flujo peatonal, ciclos de semáforos, geometría, etc.). Para llevar a cabo este modelamiento, se procede a recrear la intersección virtualmente en los programas mencionados con todos los datos obtenidos en campo. Para conseguir la mayor similitud posible a la realidad, el modelo debe ser calibrado una vez terminado el procesamiento de datos. Esta calibración consta de ajustes numéricos entre la realidad y el modelo. En el caso de este estudio, se tomará en cuenta como

parámetros de evaluación las longitudes de cola, la demora promedio y la velocidad promedio. Posteriormente, se procede a la validación del modelo, para lo cual se cambian los datos iniciales por nuevos datos de campo. Una vez terminado el modelo se procede a evaluar los parámetros de eficiencia y se propondrán alternativas según los resultados obtenidos. Estas pueden ser variaciones en términos de ciclos del semáforo hasta un rediseño vial si así ameritara el caso. En este proyecto, se plantearon tres propuestas con la finalidad de mejorar la situación actual del tráfico peatonal y vehicular. De ellas se escogió la de mayor factibilidad en cuanto a la posibilidad de evaluación que se podía desarrollar. Esta alternativa se conformó de la propuesta de modificación de la geometría de la zona de estudio y de la optimización de los ciclos y fases de los semáforos que actúan en la intersección trabajada. Las modificaciones planteadas generaron cambios positivos en cuanto a la situación inicial estudiada; ya que se redujeron parámetros de eficiencia importantes como la longitud de cola (se redujeron 16 metros) de vehículos en la avenida de mayor afluencia (Av. San Martín). Además, en cuanto a los usuarios de a pie se les brindó mayores facilidades para movilizarse a través de las avenidas de la intersección analizada. Esto debido a que, se propusieron mejoras para la circulación de usuarios con discapacidad. Asimismo, se brindó mayor tiempo para la circulación peatonal (24 segundos adicionales) en el cruce de la Avenida Tullumayo que es la de mayor circulación peatonal.

#### 2.2.2. Investigaciones internacionales

- a) Renzo Arias, M. G. (2015). Determinación de los parámetros de tránsito del corredor de la autopista desde cañaveral hasta el puente de Provenza utilizando el programa Vissim.

El trabajo de grado desarrollado, se realizó utilizando un software especializado en tránsito llamado VISSIM. Con el uso de esta potente herramienta, se simuló la situación actual del corredor vial

en estudio y, luego, se modelaron dos alternativas de solución propuestas sobre la base de la metodología de segregación por modos, con el objeto de mejorar las características actuales en que se encuentra operando ésta importante vía del Área Metropolitana. VISSIM, es una poderosa herramienta desarrollada en Alemania que, posibilita efectuar el ejercicio de la micro simulación de los diferentes fenómenos que se presentan en los sistemas viales.

En este proyecto, por su naturaleza, se combinan básicamente dos técnicas para afrontar la situación de congestionamiento que se desea mejorar. La primera, es la que proporciona la ingeniería de tránsito; a través de este medio, se realizaron diferentes estudios con la finalidad de obtener información valiosa acerca de los diferentes parámetros de tránsito de forma que permita tener un conocimiento concreto de las características más importantes que se presentan en la vía. Además, esta información se empleó para comparar los datos obtenidos en campo con los que arroja el software como información de salida y, de esta forma, valorar que tanta semejanza existe entre las condiciones reales del sistema y el modelo propuesto. La segunda técnica, es la simulación del sistema vial a través del software VISSIM. Con esta herramienta, se puede analizar en forma detallada los diferentes eventos que ocurren en el corredor y, de este modo, buscar alternativas que contribuyan a mejorar los diferentes parámetros de tránsito.

Sobre la base de la información de salida que genera el software después de la ejecución de la simulación, dentro de la que se encuentran los siguientes parámetros: capacidad, nivel de servicio, tiempos de viaje, velocidad, se selecciona cuál de las alternativas de solución es más eficaz para mejorar la movilidad vehicular en el corredor vial.

- b) Susana López, C. M. y José Mesa, M. P. (2015). Determinación de los parámetros de tránsito del corredor de la autopista desde la puerta del sol hasta Quebrada seca utilizando el programa Vissim.

El presente trabajo de grado utilizó una herramienta dinámica y computacional para llevar a la simulación vehicular con la que se modelaron escenarios de un corredor de gran afluencia vehicular en la ciudad de Bucaramanga como lo es la carrera quince(15),sector principal del proyecto Metro línea y la diagonal quince (15),una de las arterias principales del tránsito mixto en la ciudad, buscando alternativas de solución al problema de congestión y de accidentalidad que se presenta debido a las debilidades de organización y planeación en el incremento vehicular que año tras año se ve reflejado en los problemas de desplazamientos de sur a norte y viceversa.

VISSIM es una herramienta creada en Alemania con la intención de permitir una micro simulación, de los diferentes volúmenes de tránsito que poseen los caminos tanto peatonales como viales. Este proyecto se enfoca en la interrelación existente con la herramienta y el tramo evaluado, solo en el caso vehicular, en los que por medio de estudios e indagaciones se logró hacer uso de la herramienta en su funcionamiento técnico y en su calibración para de esta forma obtener similitudes con la vida real y entonces obtener las ventajas y desventajas de los parámetros de mayor relevancia en el modelo en el caso de implementar las medidas propuestas.

Basados en información secundaria se pudo realizar algunos análisis para llegar a la recolección de información primaria obteniendo los parámetros de tránsito, de gran valor para el desarrollo del proyecto. Fue inevitable efectuar seis (6) estudios en campo, acogiendo metodologías para la recolección de información en campo con las limitaciones que se pueden presentar por la falta de recursos técnicos y económicos que puedan brindar una mayor confiabilidad de los resultados, pero procurando ejecutar de la forma correcta la calibración del software y el montaje del corredor, con el fin de obtener los resultados más confiables.

Al realizar la proyección vehicular del corredor se busca plantear tres (3) posibles soluciones por modos a las necesidades observadas a lo largo del tramo con la ayuda del software, con estas soluciones se extractan las conclusiones y recomendaciones para las instituciones académicas o de gobierno interesadas en los resultados del proyecto.

### 2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

#### 2.3.1. La planificación en el transporte

Estudios tomados en Latinoamérica, evidencian la importancia de la realización de una adecuada planificación integral en los sistemas de transporte dentro de cada país. Es por eso que la planificación es una parte importante en el proceso de desarrollo y organización, pues no es posible entender y descubrir los atolladeros, diseñar y proponer propuestas de mejoramiento para lidiar adecuadamente la congestión vehicular (Allen, 2011).

Diseñar una forma de manejo en transporte público, es sumamente importante y pieza fundamental para gestionar un sistema de transporte integrado con buena calidad y sobre todo confiable para los transeúntes y peatones, además de esta que sea sustentable en los diferentes ámbitos como económicos social cultural de manera que pueda darnos un mejor ambiente gestionando nuevas infraestructuras viales.

Una adecuada planificación de tránsito vehicular asegura una buena reorganización y asignación de acciones de los vehículos en circulación sobre una red vial existente. Con un estándar de su uso, siguiendo el comportamiento de los transeúntes y peatones, considerando un ambiente de seguridad y social. (Coeymans y Ortúzar, 1976).

#### 2.3.2. Capacidad vial

Se define capacidad vial a una sección de carretera por donde pasa un máximo número de vehículos con la probabilidad de pasar por dicha sección durante un determinado periodo de tiempo. (Bañón y Beviá, 2000,

p. 22).

A raíz de la geometría de una sección de carretera, se puede definir su capacidad de diferentes tramos en una red vial, a la cual se le deriva su volumen de transitabilidad por una sección e carretera en un periodo determinado. Y definiendo así una unidad de capacidad vial en vehículos/hora (Celis, 2006).

La capacidad vial se condiciona: en primer lugar, las condiciones de infraestructura vial que es representada a través de sus secciones geométricas, visibilidad. En segundo lugar, como la distribución del tráfico en tiempo y espacio, haciendo su clasificación de cada tipo de vehículo. Y finalmente tenemos al control de su capacidad vial apoyados de semáforos y señales restrictivas (Bañón y Beviá, 2000).

La capacidad de servicio de una vía, refleja su desempeño de flujo en términos de velocidad, tiempo que el usuario pasa en las vías, demoras, maniobrabilidad de los vehículos, como así otras más. Los niveles de flujo libre (A), hasta uno de congestión densa (F) están dadas por la HCM (“Highway Capacity Manual”). A continuación, se muestra la tabla que muestra los niveles de estado del servicio.

Tabla N° 1  
Definición de niveles de servicio

<b>Nivel de Servicio</b>	<b>Condiciones Generales de operación</b>
A	Flujo libre
B	Flujo razonablemente libre
C	Flujo estable
D	Flujo cercano al inestable
E	Flujo inestable
F	Flujo Forzado o colapsado

Fuente: (HCM, 2000)

### 2.3.3. Volumen de tráfico

Es el total de vehículos motorizados que transitan por un mismo tramo de

carril contemplando un determinado tiempo (Cal y Mayor, 2007). La unidad en la que se mide este volumen de tráfico son: el año, el mes, el día; la hora. La hora pico es a la actualidad una de las unidades más frecuentes para calcular el volumen de tráfico, esta hora pico es un valor aproximado a un año completo, dando como resultado como el promedio diario de tráfico anual.

a) Calles urbanas

Son consideradas por su alta cantidad de puntos de accesos que se encuentra en una calle. Al tener alto volumen vehicular cuenta con la más alta densidad de señalización horizontal y vertical.

La velocidad límite fluctúa entre 40 a 55km/h. las calles más céntricas y concurridas se encuentran interrumpidas por tránsito peatonal, atolladeros por un mal estacionamiento de taxis, autobuses y pequeños camiones.

b) Características de flujo.

El HCM 2000 –Manual de capacidad de carreteras–, indica tres factores principales que contribuyen en la velocidad de los vehículos en vías urbanas, las cuales son:

- El ambiente de la calle: Incluye las características geométricas de la vía y tipo de actividad en la carretera.  
Por el ambiente, refleja el número y anchura de los carriles, tipo de medio, puntos de acceso, existencia de estacionamientos, actividad peatonal, límite de velocidad.
- La interacción entre los vehículos: Está determinada por la densidad del tráfico, la cantidad de vehículos, buses y autos. Esto afecta el flujo de los vehículos en intersecciones y entre señales.
- Control de tráfico: Incluidas las señales y signos, obliga a una parte de todos los vehículos a reducir la velocidad o detenerse. Los retrasos y cambios de velocidad provocados por los dispositivos de control de tráfico reducen las velocidades continuas de los vehículos.

Sin embargo, estos controles son necesarios para establecer el derecho de paso o preferencias (HCM, 2000).

#### 2.3.4. Intersecciones

La inter-correlación de las calles en una red vial da origen a las intersecciones o cruces por lo cual genera comodidad a los usuarios y optimiza la eficiencia de desplazamiento de toda unidad vehicular en una red vial (AASHTO, 2001).

La intersección es un cruce de diferentes desplazamientos vehiculares en un mismo nivel de servicio (AASHTO, 2001), las interacciones viales pueden ser desde lo menos complejo hasta el más complejo conlleva a elegir al conductor una buena elección de vía, de no ser así, se produciría accidentes de diferentes índoles.

Los especialistas proponen un mejoramiento de las intersecciones viales para solucionar problemas de tránsito sobre todo en zonas urbanas, ya que en su mayoría siempre se ven sobresaturadas de vehículos en las interacciones o cruces que afectan considerablemente los tiempos a su destino, tanto en conductores, así como también en los peatones, en ocasiones hasta produciendo contaminación emitida por las unidades vehiculares y así generando problemas sociales como el acrecentó de estrés. En ves es notorio cada día como aumentan los sistemas de control de intersecciones viales en el ámbito vial (Hernández et al., 2015).

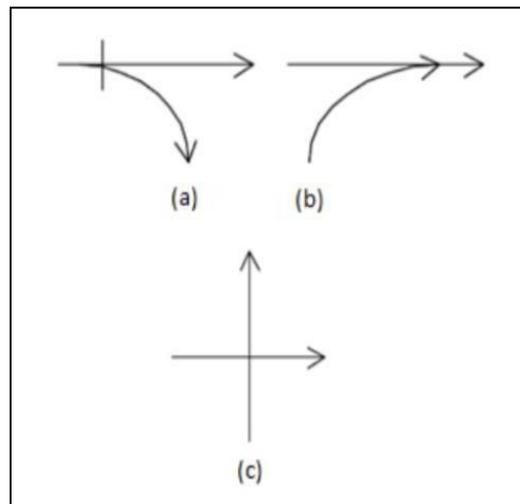
##### a) Puntos de conflicto.

Para obtener un mejoramiento en el diseño de intersecciones se deben mitigar los puntos de conflicto en el desplazamiento de vehículos y con los vehículos entrantes y saliente tener un mejor control en su velocidad. Siempre debe ser constante la visibilidad a lo largo de los caminos para permitir a los conductores que se acercan de forma simultánea poder verse anticipadamente (Uribe, 2009).

Según el Manual de capacidad para las carreteras, HCM (Transportación Research Board, 2000), la capacidad de una intersección aumenta con la optimización de tránsito, esta

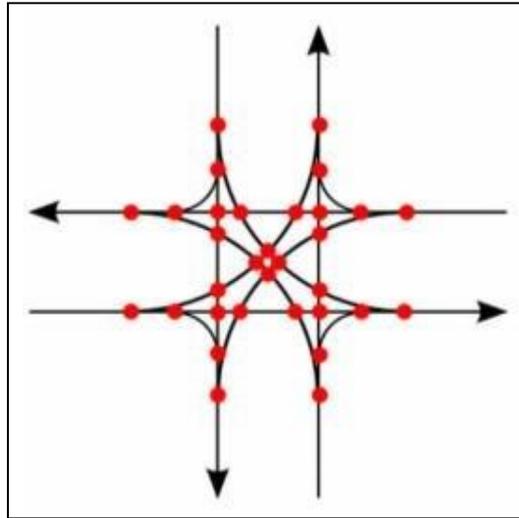
optimización puede lograrse mediante un control sistematizado coordinado del tránsito y sus diferentes fases de los semáforos (Miramontes, Vidaña y Rodríguez, 2015).

Considerando un mismo nivel de flujo, los puntos de conflicto son vistos a causa del cruce de direcciones y su vez es donde ocurren la mayoría de los accidentes. Los puntos de conflicto a analizar son tres, en donde se presenta la figura 1. En el primer escenario (figura 1a) se visualiza la separación de un camino en común en otros con distintas direcciones al original. En el segundo escenario (figura 1b) se observa como dos o más trayectorias ocupan de forma temporal una vía común. En un tercer escenario (figura 1c) dos trayectorias ocupan de forma temporal el mismo espacio tiempo y lugar.



*Figura 1: Análisis de puntos de conflicto*  
Fuente: Miramontes et al., 2015

En la figura 1, se representa los diferentes puntos de conflicto que existe en una intersección con una misma geometría a la de una red vial urbana.



*Figura 2: Puntos de conflicto en una intersección con geometría tipo cruz*  
Fuente: (Álvarez, 2014)

### 2.3.5. Regulación en intersección

El diseño de una intersección da solución a los conflictos de flujo de una posible manera segura que a su vez tiene que proporcionar suficiente capacidad para contrarrestar demoras y costos de operación. Debido a que los conflictos no se pueden minimizar por completo se incorpora el concepto de regulación. Es decir, definir mediante reglas la manera en la que los conflictos se separan en espacio o tiempo. Un claro ejemplo de la separación de conflictos en el tiempo es el de un semáforo (Fernández, 2008).

### 2.3.6. Alternativas de regulación.

Las mejores alternativas de regulación se presentan en el tramo de la intersección, se debe evaluar cuando y como es necesario evaluar cada una de estas alternativas, podemos mencionar cuatro formas básicas de alternativas de regulación:

En primer lugar, la regulación implícita que considera entre calles de menos categoría con baja circulación buena visibilidad con un entorno residencial.

En segundo lugar, se considera vías primarias y secundarias.

En tercer lugar, se tiene una regulación por rotonda en donde se da por flujos intermedios en ambos cruces de una vía y finalmente tenemos a los semáforos que tienen como objetivo finalizar los atolladeros entre usuarios de una intersección (Fernández, 2008).

De las mencionadas alternativas de regulación, la forma básica dependerá especialmente de la jerarquía de las vías que cruzan y de acuerdo a su composición de flujo baja, medio o alto así también dependiendo de la zona urbana donde se encuentre.

a) Señales de prioridad

Considerando ya sea una vía primaria o secundaria se debe considerar una regulación con señal ya que esta no dependería de un semáforo, y esto básicamente se sienta cuando la sumatoria de flujo supera a los 100 vehículos por día o si el tránsito diario anual es excedida a los 500 vehículos por día y para intersecciones rurales de 50 a 300 vehículos por día (IHT, 1997).

- Pare:

Detención obligada para la vía secundaria, independiente del tráfico por la vía.

- Ceda el paso:

Detención condicionada para la vía secundaria a la existencia de tráfico por la vía prioritaria.

Las prioridades de las señales a utilizar dependen exclusivamente de la visibilidad que se tenga entre las vías. Si la visibilidad es suficiente se le cederá el paso como señal y de no ser así se instalará una señal de pare.

b) Ronda.

Se denomina ronda a una forma especial de una intersección o nudo que se caracteriza principalmente por tener una isleta central (Darder, 2005).

Este tipo de intersección como lo es la rotonda, esta normada para que cada acceso de esta, tenga una señal de prioridad de ceda el paso y estos accesos estén empalmados en un anillo circular dentro de este modelo de intersección, donde los vehículos se transporten hasta su rama de salida (Fernández, 2008).

Es usual la rotonda cuando nos encontramos con cruce mayor a tres vías, alta proporción de virajes a lado izquierdo con más del treinta por ciento o más y considerando el espacio suficiente para su diseño (Fernández, 2008).

Las grandes ventajas de este diseño de las rotondas es la disminución de los giros a la izquierda como se muestra en la siguiente imagen, es decir reduce los puntos de atolladeros en las intersecciones por otra parte la rotonda reduce la velocidad condicionando la velocidad a la unidad vehicular evitando accidentes en la rotonda.



Figura 3: Rotonda  
Fuente: Torres, 2017

### c) Semáforo

Los mecanismos de control de tránsito utilizados son los semáforos, que tienen como propósito regularizar y controlar el flujo vehicular motorizado y no motorizado mediante la emisión de luces (rojo,

amarillo y verde) que detienen o permiten el paso (Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC], 2016).

El objetivo de utilizar como regulador un semáforo es el de mitigar los conflictos entre los usuarios de una intersección mediante una dispersión transitorio de esos y de acuerdo a sus solicitudes o flujos relativos. Es decir, se busca la manera de alternar el paso a los distintos movimientos entre vehículos y peatones para que crucen la intersección con un mínimo de inconvenientes, como demoras y riesgos (Fernández, 2008).

El volumen existente en un cruce de calles es el factor fundamental para el empleo del semáforo, otros factores son el número de peatones y los antecedentes respecto a los accidentes.

Para poder decidir si conviene utilizar un semáforo en un cruce se debe efectuar un análisis donde se tome medidas de flujos tanto vehiculares como peatonales, programando el dispositivo donde se obtenga los índices de rendimiento en las intersecciones con el uso de semáforos (Fernández, 2008). Sin embargo, existen requisitos de colocación de un semáforo según el Manual de Diseño de semáforos (Manual on Traffic Signal Desing) de los cuales es necesario cumplir al menos con uno (Kell y Fullerton, 1991).

Los factores que deben considerarse son:

- Volumen vehicular mínimo:

Es aplicable cuando la condición principal es el volumen vehicular que se encuentra en una intersección o cruce en la cual se considera la instalación de un semáforo.

- Interrupciones de tránsito continuo:

Se aplica cuando el tránsito vehicular es alto en las intersecciones de las vías secundarias y a su vez cruzan con un retraso excesivo.

- Volumen mínimo de peatones:

Se considera una cantidad de peatones que cruzan por la vía

principal con promedio de peatones y esta supera cien personas por cada cuatro horas.

- Cruce escolar:

Uno de los requerimientos a tener en cuenta es en establecimientos estudiantiles considerando tiempos o intervalos considerables de entrada y salida de los escolares.

- Historial de accidentes:

Esta condición se presenta de acuerdo a la norma cuando se presenta cinco a más accidentes en un intervalo de tiempo de un año, con daños también a las propiedades aledaños a las intersecciones o cruce.

- Red de caminos:

Cuando se requiere de una concentración y distribución del flujo de tráfico en las redes de tránsito por parte de los semáforos.

- Demora de hora pico:

Semáforo para evitar demoras indebidas en calles secundarias que son generadas por un flujo libre en calles principales.

### 2.3.7. Ventajas y desventajas de la semaforización

Se considera el semáforo como uno de los dispositivos con mayor uso en el control de tráfico, para esto se debe considerar una adecuada y correcta instalación de manera que se pueda ser de gran utilidad y aprovechar sus ventajas de control (Guamán, 2018).

La regulación y circulación son las ventajas que dan una mejora de fluidez vehicular en las diferentes vías a controlar mitiga la magnitud de los choques vehiculares, se puede mejorar la circulación continua obteniendo así una correcta sincronización entre vehículos y peatones.

En algunos lapsos de tiempo se puede generar retrasos innecesarios cuando los volúmenes de vehículos son mínimos y en otros casos dan paso a accidentes por una mala maniobra por motivos de mal funcionamiento.

a) Principios de señalización.

Es importante el manejo de diversos dispositivos de control de tránsito para obtener las interacciones de las redes viales considerando estas que seas más eficiente y seguro, se determina también que al manejar un mismo lenguaje común nos permite que se pueda desenvolverse de forma adecuada en la red vial.

A pesar que en muchos lugares este lenguaje no es común, se hace el esfuerzo para tratar de unificar ya que de esta manera se hace llegar esta información a los usuarios del sistema vial, para poder derivar a pequeños tiempos (Cárdenas y Mayor, 2007)

Es importante establecer la necesidad y características de cada dispositivo de control complementario de diseño para una correcta señalización (Nacto, 2013).

Los ciclos señalizados son mitigados para avivar volúmenes vehiculares, se da debido a que, los ciclos cortos de las señales minimizan la dilación de las redes viales reduciendo el tiempo de aguardo en diferentes direcciones y generando encuentro entre diversos vehículos, de aquí también darle la importancia a peatones y ciclistas empleando señales como prioridad y así poder tener una mejor sincronización.

Para mantener una correcta sincronización los tiempos de espera y las señales deben coincidir en su diseño y programación para poder mantener una plena seguridad desalentadora al exceso de velocidad en las calles de una sola vía o en caso de ser vías de un flujo vehicular variable mediante lapsos de tiempo con mayor o menor concurrencia vehicular, estos umbrales de variabilidad vehicular son tomados no solo para agilizar la transitabilidad de todos, si no, que también para evitar inconvenientes y garantizar un paso óptimo y fluido a los peatones y usuarios.

#### 2.4. Modelo de micro simulación del tránsito con VISSIM

#### 2.4.1. Historia y aplicaciones de VISSIM

El modelo *VISSIM* fue desarrollado por PTV (*Planung Transport Verkehr*) en *Karlsruhe*, Alemania. El nombre del programa es un acrónimo y se deriva del alemán "*Verkehr InStädten -Simulation*". Traducido al español como simulador del tráfico urbano. El software *VISSIM* fue desarrollado por la Universidad de Karlsruhe en Alemania a principios de la década de 1970. En 1973, PTV América Inc., comenzó a comercializar y distribuir. En 1995, se lanzó en utilizando por primera vez en Eugene, Oregón, USA (Suarez, 2007). Actualmente, liderando el mercado mundial.



*Figura 4: Micro simulación de una intersección en el software VISSIM 9.0*  
Fuente: PTV Group, 2016

#### 2.4.2. Aplicación

*VISSIM* se ha convertido en una herramienta con múltiples funciones de análisis, evaluación y planificación urbana, ya que está dirigido a equipos técnicos con la responsabilidad de controlar las señales de tráfico, operación de tráfico y lo que conlleve a evaluar necesidad del impacto de tecnologías de señales. Este software nos facilita resultados numéricos especificados, simulaciones 3D donde se nos representa un modelo tráfico en una red vial (PTV, 2016).

Como herramienta *VISSIM* nos permite también evaluar y analizar estrategias de gestión vial, en donde obtenemos un sistema operativo durante la etapa de construcción, también con la opción de planificar y optimizar la función de tráfico ya sea urbano o rural en una red vial

considerando tiempo fijo y tipos de señales (PTV, 2016).

#### 2.4.3. Generalidades del Modelo

VISSIM no es solo un software de simulaciones del tráfico, sino que también el método de intersección señalizada logra advertir a los conductores a una distancia de 100 metros de la línea de parada (Suarez, 2007).

Es necesario asignar algunas características a los vehículos de cada conductor para poder realizar la simulación en el software, estas se dividen en tres categorías:

a) Especificaciones técnicas de los vehículos:

Longitud, velocidad máxima, potencia de aceleración, posición actual en la red, velocidad actual y aceleración.

b) Comportamiento de la unidad vehículo - conductor:

Umbral de sensibilidad del conductor (capacidad estimada, positividad), memoria del conductor, aceleración basada en la velocidad actual y la velocidad requerida.

c) Interdependencia de la unidad vehículo - conductor:

Lista de lecturas de seguimiento del vehículo sobre sí mismo y carriles adyacentes; asimismo, es la relación de enlaces de las corrientes de flujo a las intersecciones próximas.

#### 2.4.4. Elementos de entrada del modelo

Para poder hacer dichas simulaciones es necesario agregar las características que son importante en una red vial como son: la aceleración la desaceleración en otros a los que llamaremos parámetros de conducción. (PTV, 2015)

a) Funciones de aceleración y deceleración

VISSIM no solo usa valores únicos de aceleración y desaceleración, sino que también usan distribuciones estocásticas con función de

simular la velocidad en tiempo real. Esto permite las variaciones del comportamiento de los conductores.

b) Distribuciones

Los parámetros de diseño que maneja VISSIM se hallan representados por distribuciones estocásticas, esto permite que se puedan representar de una manera más realista en los diferentes escenarios (PTV, 2015).

- Distribución por velocidad:

Se define como la velocidad que el conductor desea en dichos tramos, y estos datos se requieren con la finalidad que el programa refleje la realidad en la programación y simulación.

- Distribución peso y potencia:

La distribución peso y potencia considerada para los vehículos de carga pesada, por lo que es necesario conocer sus características del vehículo, teniendo en cuenta su peso, que se puede considerar como uno de sus parámetros que influyen de manera considerable en vías donde de máximo flujo vehicular y por los que no son tan relevantes por su incidencia, ya que representan un 3% con respecto a los vehículos que si mantienen un número mayor de incidencia.

- Distribución de color:

La distribución de color se considera para tener una correcta representación visual de las gráficas. pero que no se considera relevante como variable significativa en los resultados de la simulación vehicular.

- Distribución de modelos de vehículos:

Nos permite ver en la simulación la variedad de vehículos que se interceptan en una red vial como investigación, algunas considerables son: distancia de ejes, longitud, entre otras características adicionales también se considera el tipo de vehículo en cada una de sus clases.

- Distribución por tiempo de demora:

En VISSIM también se pueden hacer simulaciones de parqueo, señales de pare, conteo de peajes, tal es así que la distribución por tiempo y demora se le atribuye dos diferentes distribuciones como son: la distribución normal definida por la media y distribución estándar y esta última por la distribución empírica que se encuentra definida por la asignación de velocidades considerando las mínimas y máximas.

- Distribución de modelo, kilometraje y temperatura:

Es imprescindible mencionar las emisiones que emanan los diferentes tipos de vehículos, a pesar que nuestro modelo no será adoptado.

#### 2.4.5. Tipos de vehículos

VISSIM evalúa características técnicas con comportamiento físicas similares. Bus, Coaster, Combi, Camión, Auto, Motocicleta, Bicicleta, moto taxis sin excluir a los peatones dentro de las cuales se hace su evaluación.

#### 2.4.6. Clases de vehículos.

Cada clase de vehículo agrupa distintos tipos de vehículos que agrupas un numero de características similares por lo que un vehículo puede formar parte de otra clase. Para nuestra investigación se tomará como clases a bus, coaster, combi, camión, auto, motocicleta, bicicleta, moto taxi, se menciona a estas unidades de motorizados y no motorizados porque a la actualidad no solo es encuentran en nuestro foco de estudio, sino que también se ve en la mayoría de los distritos de nuestra ciudad, Lima.

#### 2.4.7. Comportamiento de conducción.

Este es uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta ya que se basa más en la conducta del conductor en la realidad, los diversos comportamientos de los conductores se ven reflejados en los diferentes factores viables como: distancias de seguridad, brechas, distancia, tiempos de reacción y capacidad, puesto que de estas particularidades físicas de los vehículos se encuentre conduciendo en el preciso momento (PTV, 2015).

En el software VISSIM, se hace una simulación del comportamiento del conductor en cuatro fases, como son: el seguimiento del vehículo, cambio de carril, movimiento lateral y control por semaforización, cada una de estas fases mencionadas se compone de diferentes parámetros en donde hace efecto de forma directa a las iteraciones para lograr óptimos resultados semejantes a la realidad, por eso también podríamos decir que el mismo comportamiento es para las demás intersecciones en la zona de estudio.

#### 2.4.8. Cambio de carril.

##### a) Cambio de carril necesarios

Es aquí donde el conductor establece su máxima desaceleración aceptable y distancia segura de parada de emergencia con la finalidad de que este cambio para que el conductor continúe por un conector y pueda seguir su ruta. Por lo natural se tiene este modelo cuando se tiene dos carriles en ambos sentidos y solo se tiene una sola salida (PTV, 2015).

##### b) Cambio de carril libre

En este modelo se asegura que el que el vehículo adelantado no resulte afectado por la maniobra del vehículo que lo sobrepasa, por tal razón este tipo de cambio se concentra en representar como el adelantamiento a vehículo con un movimiento lento, considerando que la velocidad deseada sea mayor a la del vehículo de adelante. (PTV, 2015).

#### 2.4.9. Control por semaforización.

Los controles y reguladores por semáforos dan aplicación según lo observado en el lugar según lo recomendado por un diseñador y planificador de tránsito. Trabajan por defecto en las paradas cuando se encuentran cerca, considerando las señales básicas del semáforo en VISSIM como color verde: para seguir su trayectoria, rojo: para detenerse entre 0.5 a 1.50 minutos y amarillo: dar un lapso de tiempo mientras se da los ciclos entre semáforos, teniendo en cuenta las señales detrás de línea

(PTV, 2015).

a) Control del tránsito

Se puede dar de forma no semaforizada y señalizada.

- Intersecciones no semaforizadas.

Cuando una intersección no está semaforizada se da como prioridad a la gestión de tránsito, en cuanto al programa VISSIM, el modelo se guía de lo siguiente.

Al momento de realizar el modelado par la simulación, se designa para cada tipo de vía, ya seas principales o vías secundarias o auxiliares. (ver figura 5).

Para poder tener un flujo continuo en el tránsito de vehículos que están hacia la derecha. Como es el caso de las rotondas u óvalos, en este caso los vehículos que desearan entrar en circulación deben de apegarse a la línea de pare con la finalidad que entren al carril principal y puedan hacer una circulación continua.

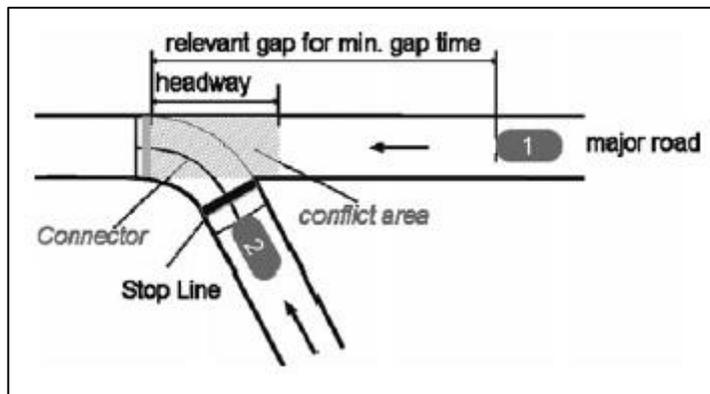


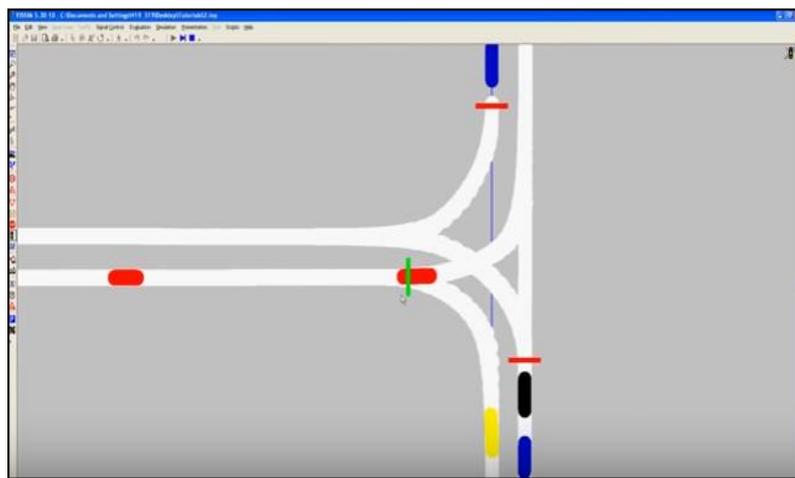
Figura 5: Ejemplo de regla de prioridades

Fuente: Fellendorf, 2010

- Intersecciones señalizadas.

Cuando se habla de intersecciones señalizadas entra como implementación los semáforos cual fuese el modelo que se presente, ya que estos se encargaran del control de flujo del tránsito vehicular, teniendo ya designados los semáforos y debidamente ubicados, se les debe programar para que estos

puedan controlar el tipo de vías y los lapsos de tiempo que se le es permitido en cada una de sus diferentes fases como son: verde, amarillo, rojo. y para simular las características en el modelado, será de gran ayuda el comando (signal head), por el cual nos permitirá simular el modelado en sus diferentes fases ya mencionadas. Teniendo nuestros volúmenes de vehículos controlados por los semáforos, se podrá dar inicio con las nuevas alternativas para poder optimizar estos flujos vehiculares.



*Figura 6: Intersección semaforizada*  
Fuente: adaptado (DewwWerd, 2016)

## 2.5. Definición de términos básico

### 2.5.1. Vissim

Herramientas de simulación microscópica y multimodal del tráfico urbano y transporte público, el cual permite estudiar las interacciones entre los usuarios: autos, vehículos de carga o cualquier medio de transporte público terrestre, y estudiar sus interacciones con la vía pública.

### 2.5.2. Viswalk

Herramientas de simulación microscópica y multimodal del comportamiento del transporte no motorizado, ciclistas y peatones. Siendo adecuada para planificación urbana, recorrido peatonal, además de muchas otras aplicaciones destinadas a mejorar el flujo peatonal.

2.5.3. Congestión vehicular o tráfico vehicular

Hace referencia a una cantidad elevada de vehículos motores que transitan por una vía, los cuales se desplazan de forma lenta e irregular

2.5.4. Velocidad

Distancia que recorre un agente sobre un intervalo de tiempo transcurrido.

2.5.5. Volumen

Es la cantidad de elementos que se desplazan en un tramo en un tiempo definido.

## CAPÍTULO III: HIPÓTESIS

### 3.1. Hipótesis

#### 3.1.1. Hipótesis General

La modelación matemática por micro simulación del flujo vehicular permitirá elaborar las propuestas de optimización entre las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan.

#### 3.1.2. Hipótesis Específicas

- a) La identificación de los datos necesarios, permitirá la estimación de los parámetros para el modelo de micro simulación del flujo vehicular.
- b) El procesamiento y validación de datos, mediante el uso de un software adecuado, permitirá realizar el modelamiento de micro simulación del flujo vehicular.
- c) Mediante el análisis de los datos se podrá generar propuestas y recomendaciones para la optimización del flujo vehicular y mejorar la transitabilidad peatonal en la intersección de las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan.

### 3.2. Variables

#### 3.2.1. Variable independiente:

Modelación matemática por micro simulación:

Es la actividad que consiste en representar, manipular y comunicar objetos del mundo real con contenidos matemáticos y que permitan la simulación de procesos complejos, generando hipótesis para realizar experimentos o métodos de validación. La modelación matemática se presenta como estrategia didáctica que permite simular e interpretar diferentes problemas y situaciones de la vida real o académica, poniendo en evidencia diferentes condiciones de aplicación. (Molina M., 2017)

3.2.2. Variable dependiente:

Flujo vehicular:

Es el número de vehículos que transitan por una sección determinada de la vía por una unidad de tiempo. Gibson (2001)

## **CAPITULO IV: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

### 4.1. Tipo y método de la investigación

El tipo de esta investigación es descriptiva y explicativa, porque se desglosa las características del comportamiento vehicular analizando los principales factores que hacen que este flujo no sea constante en la intersección de las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan en el distrito de San Juan de Miraflores y se proponen mejoras para optimizar el flujo vehicular y la transitabilidad peatonal.

### 4.2. Población del estudio

Todos los vehículos y peatones que transitan por la intersección de las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan en el distrito de San Juan de Miraflores.

### 4.3. Diseño muestral

La intersección de las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan en el distrito de San Juan de Miraflores.

### 4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 4.4.1. Técnica

Reconocimiento, inspección y descripción de la zona de estudio, para pasar a la recolección de datos de la geometría del lugar de forma manual con wincha y softwares de medición precisa, para luego hacer tomas aéreas del flujo vehicular y peatonal con un RPA (drone).

#### 4.4.2. Instrumentos

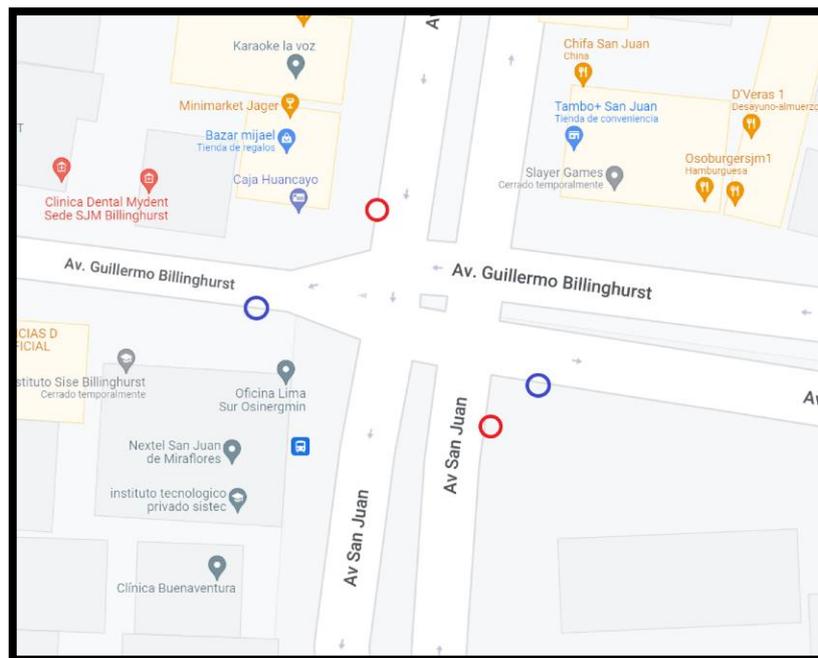
- a) RPA (Drone)
- b) Cinta métrica
- c) Vissim 8
- d) Viswalk
- e) Google Earth
- f) AutoCAD
- g) Civil3D

#### 4.5. Procedimiento para la recolección de datos

En esta etapa de recolección de datos para obtener un modelo de micro simulación eficiente, se necesitó una considerable cantidad de datos de entrada tales como la geometría de la intersección, las demandas existentes, los controles de tráfico y los datos de calibración y validación (FHWA, 2008).

##### 4.5.1. Geometría del lugar de estudio.

Para la contención de la geometría del lugar, se tomaron las medidas necesarias de algunos carriles y así se logró escalar una imagen aérea obtenida de Google Street View con el modelo creado. También se tomaron las medidas de las rampas existentes, ancho de ciclo vía, el ancho de la vereda, etcétera, para un posterior rediseño de la intersección.



*Figura 7: Geometría de la intersección de estudio*

Fuente: Elaboración propia

En la figura 7, relacionado con la geometría de la intersección, las avenidas de estudio, en el cruce de las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan existe un paradero con sentido norte y otro con sentido sur (círculos rojos); asimismo, hay dos paraderos de moto taxis en la av. Guillermo

Billinghurst con sentido oeste y este (círculos azules); lo que en la actualidad genera que los autos o buses pasen por estos paraderos de manera inadecuada; sobre todo, poniendo en riesgo la vida de los peatones.

#### 4.5.2. Aforo vehicular y peatonal.

La siguiente figura hace referencia al área de estudio de las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan; además, de las entradas de los flujos que se evidencian en color verde y la salida de flujos que se muestran de color amarillo. La entrada de flujo número 2 va con salida sentido sur, la entrada número 1, va de la San Juan con sentido norte.



Figura 8: Flujo vehicular de entrada (verde) y salida (amarillo) a la intersección de estudio  
Fuente: Elaboración propia

La figura 8, relacionado con el flujo de entrada y salida vehicular se puede apreciar las avenidas principales como avenida Guillermo Billinghurst y San Juan, que refleja el número de salidas y número de entradas; además, por cada vía existe dos carriles de 3.5 metros en excepción de la avenida Guillermo Billinghurst que solo cuenta con una vía de un carril de 3.5 metros para cada sentido (oeste con referencia a la Av. San Juan).

Tabla N° 2  
Registro de aforo vehicular

REGISTRO DEL AFORO VEHICULAR														N° PROMEDIO DE VEHICULOS POR CADA 20 MIN	PROMEDIO DE VEHICULOS /HORA	
HORA DE INICIO:	6:30 AM			HORA FINAL:			7:30 AM			FECHA:						
ENTRADA 1 - AV. SAN JUAN CON SENTIDO NORTE														DÍAS 3	DÍAS 4	DÍAS 5
INTERVALO DE TIEMPOS EN MINUTOS	TIPO DE VEHICULOS 1			TIPO DE VEHICULOS 2			TIPO DE VEHICULOS 3			TIPO DE VEHICULOS 4			TIPO DE VEHICULOS 5			
	Antes particulares	Monocicletas	Buses o Coasters	Antes particulares	Monocicletas	Buses o Coasters	Antes particulares	Monocicletas	Buses o Coasters	Antes particulares	Monocicletas	Buses o Coasters	Antes particulares	Monocicletas	Buses o Coasters	
0 - 20	420	125	324	325	89	356	356	125	325	298	114	348	314	98	319	3936
20-40	326	89	425	289	115	275	405	88	312	246	190	336	333	129	333	3782
40-60	316	96	384	465	70	564	367	154	366	402	123	349	421	124	345	4530
1 HORA	1062	310	1133	1079	274	1195	1128	328	1003	948	342	1033	1068	361	997	12248
TOTAL DE VEHICULOS /HORA	2505			2548			2459			2320			2416			2450
ENTRADA 2 - AV. SAN JUAN CON SENTIDO SUR														DÍAS 3	DÍAS 4	DÍAS 5
INTERVALO DE TIEMPOS EN MINUTOS	TIPO DE VEHICULOS 1			TIPO DE VEHICULOS 2			TIPO DE VEHICULOS 3			TIPO DE VEHICULOS 4			TIPO DE VEHICULOS 5			
0 - 20	347	114	361	347	98	288	354	152	334	342	111	428	328	98	339	3961
20-40	126	124	334	398	211	245	409	138	312	264	112	322	317	112	336	3770
40-60	248	138	355	423	154	312	378	154	322	410	218	439	322	134	325	4300
1 HORA	721	376	1050	1068	463	845	1139	414	968	1016	441	1189	967	364	1020	12031
TOTAL DE VEHICULOS /HORA	2147			2376			2521			2646			2341			2406
ENTRADA 3 - AV. GUILLERMO BILLINGHURST CON SENTIDO OESTE														DÍAS 3	DÍAS 4	DÍAS 5
INTERVALO DE TIEMPOS EN MINUTOS	TIPO DE VEHICULOS 1			TIPO DE VEHICULOS 2			TIPO DE VEHICULOS 3			TIPO DE VEHICULOS 4			TIPO DE VEHICULOS 5			
0 - 20	111	45	0	83	113	1	45	84	2	96	43	0	105	33	0	0
20-40	84	41	1	46	127	5	74	75	0	80	33	0	118	53	0	0
40-60	104	23	0	41	71	7	43	47	1	118	45	0	141	83	0	0
1 HORA	299	109	1	170	311	13	162	206	3	294	120	0	363	168	0	0
TOTAL DE VEHICULOS /HORA	409			494			371			414			532			444
ENTRADA 4 - AV. GUILLERMO BILLINGHURST CON SENTIDO OESTE														DÍAS 3	DÍAS 4	DÍAS 5
INTERVALO DE TIEMPOS EN MINUTOS	TIPO DE VEHICULOS 1			TIPO DE VEHICULOS 2			TIPO DE VEHICULOS 3			TIPO DE VEHICULOS 4			TIPO DE VEHICULOS 5			
0 - 20	321	132	22	248	351	4	148	245	16	287	128	9	314	99	22	2346
20-40	224	123	17	133	378	19	231	237	22	239	99	15	354	158	10	2289
40-60	312	68	24	155	231	21	131	137	12	355	134	2	422	248	15	2257
1 HORA	857	323	63	536	960	44	509	619	50	881	361	26	1090	505	47	6872
TOTAL DE VEHICULOS /HORA	1273			1820			1169			1268			1642			1374

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 2, relacionada con el registro del aforo vehicular, se observan los datos Recuperados del flujo vehicular en la intersección del objeto de estudio encontrando que el mayor promedio de vehículos/horas se encontró en la entrada 1 reflejada en la avenida San Juan con sentido sur con un total de 2450 en promedio medido en 5 días tomando como hora inicial las 6:30 a.m. finalizando la medición a las 7:30 a.m.

Tabla N° 3  
Registro de flujo peatonal en la intersección

FLUJO PEATONAL EN LA INTERSECCIÓN								
HORA DE INICIO:	6.30 AM				HORA FINAL:	7.30 AM		
Día 1								
Intervalo de Tiempos (min)	Intervalo del Flujo peatonal							
	1 -2	2 -1	3 -4	4 -3	5 -6	6 -5	7 -8	8 -7
0 - 20	345	235	244	235	321	186	212	345
20 - 40	234	236	356	328	214	212	345	334
40 - 60	345	334	235	222	359	325	312	355
Total de Peatones / hora	924	805	835	785	894	723	869	1034
Día 2								

Intervalo de Tiempos (min)	Intervalo del Flujo peatonal							
	1 -2	2 -1	3 -4	4 -3	5 -6	6 -5	7 -8	8 -7
0 -20	447	361	411	447	454	345	338	323
20 - 40	389	324	324	345	236	432	328	236
40 - 60	388	324	388	324	289	249	413	443
<b>Total de Peatones / hora</b>	<b>1224</b>	<b>1009</b>	<b>1123</b>	<b>1116</b>	<b>979</b>	<b>1026</b>	<b>1079</b>	<b>1002</b>
<b>Día 3</b>								
Intervalo de Tiempos (min)	Intervalo del Flujo peatonal							
	1 -2	2 -1	3 -4	4 -3	5 -6	6 -5	7 -8	8 -7
0 -20	303	461	375	354	354	438	332	336
20 - 40	484	389	394	436	332	328	336	346
40 - 60	340	397	424	389	349	312	442	445
<b>Total de Peatones / hora</b>	<b>1127</b>	<b>1247</b>	<b>1193</b>	<b>1179</b>	<b>1035</b>	<b>1078</b>	<b>1110</b>	<b>1127</b>
<b>Día 4</b>								
Intervalo de Tiempos (min)	Intervalo del Flujo peatonal							
	1 -2	2 -1	3 -4	4 -3	5 -6	6 -5	7 -8	8 -7
0 -20	310	461	375	454	345	338	323	426
20 - 40	489	389	394	336	332	328	336	399
40 - 60	337	397	424	389	449	313	443	354
<b>Total de Peatones / hora</b>	<b>1136</b>	<b>1247</b>	<b>1193</b>	<b>1179</b>	<b>1126</b>	<b>979</b>	<b>1102</b>	<b>1179</b>
<b>Día 5</b>								
Intervalo de Tiempos (min)	Intervalo del Flujo peatonal							
	1 -2	2 -1	3 -4	4 -3	5 -6	6 -5	7 -8	8 -7
0 -20	398	342	394	436	332	328	436	398
20 - 40	499	489	424	389	349	312	343	454
40 - 60	323	361	375	354	454	438	322	326
<b>Total de Peatones / hora</b>	<b>1220</b>	<b>1192</b>	<b>1193</b>	<b>1179</b>	<b>1135</b>	<b>1078</b>	<b>1101</b>	<b>1178</b>
<b>Promedio del flujo peatonal/ hora</b>	<b>1126</b>	<b>1100</b>	<b>1107</b>	<b>1088</b>	<b>1034</b>	<b>977</b>	<b>1052</b>	<b>1104</b>

Fuente: Elaboración Propia

La tabla N° 2 y la tabla N° 3, relacionada con el flujo peatonal y el intervalo de tiempos, se encuentra evaluada en base a las composiciones de los links peatonales configurado en el software VISSIM como 1-2, 2-1, 3-4, 4-3, 5-6, 6-5, 7-8 y 8-7, que tuvo como finalidad describir y evaluar la cantidad de personas, hombres en bicicleta, mujeres, mujeres en bicicleta y vendedores que transitaban por las avenidas Guillermo

Billinghamurst y San Juan, tomando como hora inicial las 6.30 a.m. finalizando la medición a las 7.30 a.m.

Asimismo, el número de peatones se evaluó por hora; por lo expuesto, en el primer día se evidenció que en el link peatonal con mayor capacidad fue el link 8-7 donde se observó que transitaron 1034 personas, el segundo día se evidenció un volumen máximo de 1224 personas en el link 1-2, el tercer día se observó un máximo volumen de 1247 personas en el link 2-1, el cuarto día se evidenció un volumen máximo de 1247 personas en el link 2-1; por último, en el link 1-2 se observó transitar un volumen peatonal de 1220 personas.

#### 4.5.3. Señales de control: semáforos

Tabla N° 4  
Tabla de ciclo semafórico

Tiempo de ciclo semafórico: 90 segundos				
Unidad de Medida: segundos (seg)				
<b>1</b>	0 - 41	41 - 44	44 - 90	
<b>2</b>	0 - 45		45 - 86	86-89
<b>3</b>	0 - 45		45 - 79	79 - 90

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4, se describe los intervalos de tiempos presentes en de los 3 semáforos encontrados en la intersección, incluyendo el semáforo peatonal, este procedimiento fue realizado con un cronómetro permitiendo determinar la duración del tiempo de la luz roja, ámbar y verde en cada semáforo. Así se determinó el ciclo que cumplen los semáforos en la intercepción a estudiar, comprendida en 90 segundos pudiendo ser estos datos ingresados en el modelo construido en VISSIM 9.0.

#### 4.6. Técnicas y procesamientos y análisis de datos.

El objetivo del desarrollo de un modelo de simulación es que se verificable, reproducible y exacto, en esta etapa del proyecto se requiere de un tiempo considerable; ya que, dependió mucho del software a utilizar, por lo que en este proyecto se hará uso de VISSIM 9.0. para obtener el modelo real en dicha intersección. La creación del modelo se genera con la construcción de varias capas, donde la primera capa desarrolla la geometría de la intersección, a través de conectores y nodos. En esta etapa se consideran los datos geométricos, como el ancho de vías, los radios de esquina y el número de carriles que presenta la intersección como lo mencionado con anterioridad.

Luego se agregan los datos de demanda vehicular, donde se configuran los volúmenes de flujo para cada carril, se identifica el flujo por tipo y clase de vehículo para las diferentes rutas que se tomaron datos en campo; también, se agrega los flujos peatonales de dicha zona, así como las líneas de deseo de estos en la intersección. Por último, se añade los datos respecto a las señales de tránsito que se captan en la zona, los tiempos de los semáforos y la posición de las líneas de pare que se presentan en la intersección. A continuación, se detalla los pasos que se desarrolló para la obtención de la micro simulación desarrollado en el VISSIM 9.0.

#### 4.6.1. Background

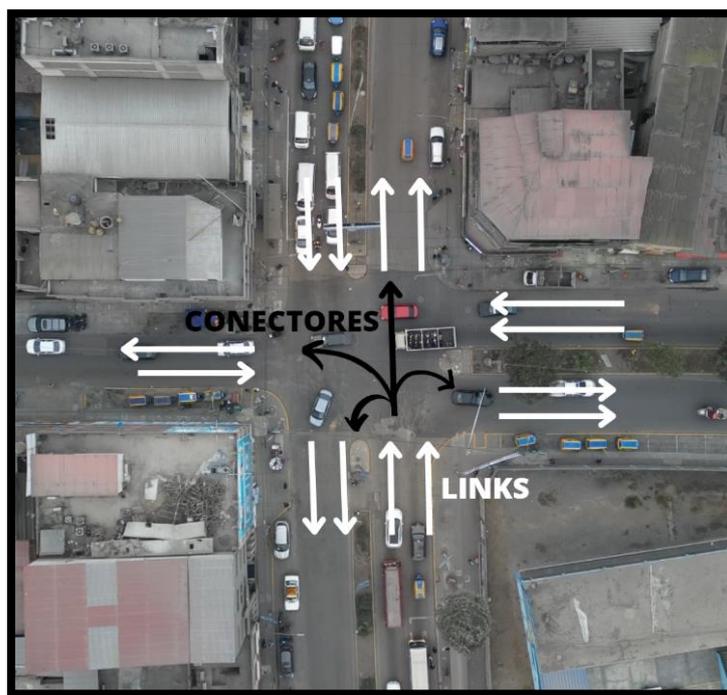


*Figura 9: Background para el modelado en el VISSIM*

Fuente: Elaboración propia

En la figura 9, se muestra una vista aérea obtenida de un vuelo realizado con un RPA (Remotely Piloted Aircraft), sirviendo como base para realizar el modelado de la intersección a estudiar en el software VISSIM. El background o fondo es utilizado como guía para el diseño de los links, conectores, áreas y señales peatonales; además, las dos vías principales tienen 2 carriles cuyo ancho mide es 3.5 metros por carril; es decir, las vías de las avenidas Guillermo Billinghurst (sentido este con referencia a la intersección) y San Juan en ambas direcciones tienen una medida de 3.5 metros por carril; a excepción del sentido oeste con referencia a la intersección de la avenida Guillermo Billinghurst que tiene un carril por cada sentido de 3.5 metros.

#### 4.6.2. Diseño de los links y conectores



*Figura 10. Conectores y links*  
Fuente: Elaboración propia

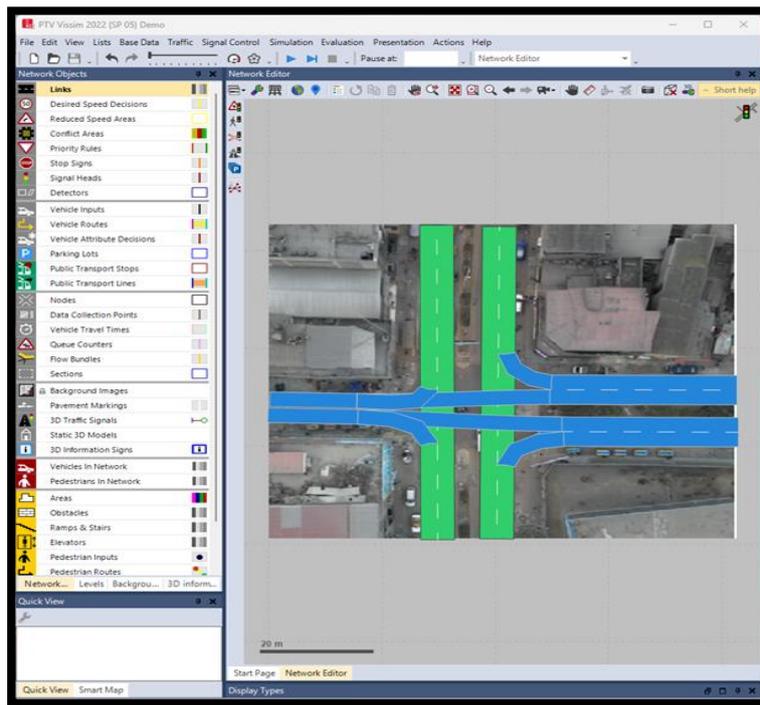
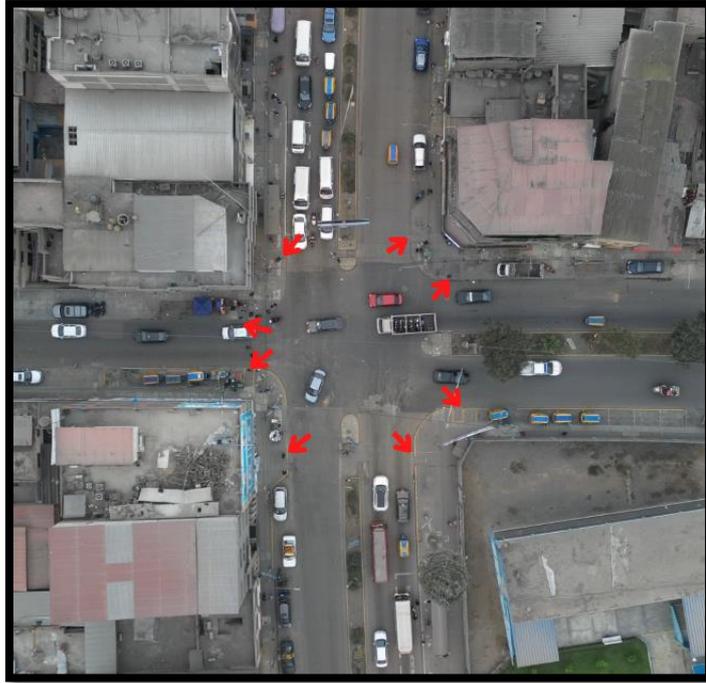


Figura 11: Conectores y links en el VISSIM  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 10 y figura 11, se observan los conectores y link en el VISSIM 9.0 de la intersección de las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan evidenciando las conexiones existentes entre ellas, siendo de suma importancia porque los mismos identifican el desplazamiento de vehículos; así mismo, se logra de manera adicional mostrar la cantidad de vías, así como el ancho de las mismas.

#### 4.6.3. Rampas



*Figura 12: Disposición de las rampas a modelar en el VISSIM*  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 12, se indica el diseño de las rampas a utilizar, para evitar algún tipo de confusión se procedió a enumerarlas siendo un total de 8, distribuidas en cada punto estratégico señalado para el tránsito de los peatones en la intersección. Estas rampas se encuentran ubicadas en las veredas y tiene una altura de 16 cm y que son apropiadas para salvaguardar la vida de las personas que transitan por las avenidas mencionadas; asimismo, están diseñadas en particular para las personas con habilidades especiales como se muestra en la figura.

#### 4.6.4. Tipos de vehículos y composición vehicular y peatonal.

Tabla N° 5  
Composición vehicular en software VISSIM de av. San Juan sentido sur

<b>Ruta:</b>	<b>Salida de San Juan sentido sur</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Velocidad/hora (km/h)</b>	<b>Composición (%)</b>
Vehículo de mercancía pesada	40	5
Bus	25	40
Moto	60	10
Auto	50	25
Taxi	50	20
		100

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5, se evidencia los parámetros que integran la composición vehicular en el modelado dentro del software *VISSIM* salida de avenida San Juan sentido sur, la mayor representatividad fue de buses con el 40% al mostrar una velocidad de 25 Km/h, el 25% fue de autos particulares con una velocidad de 50 Km/h, el 20% fue de taxis que circulan a una velocidad de 50 Km/h, el 10% fue de motos al registrar una velocidad de 60 Km/h; mientras que, el 5% restante fue de vehículo de mercancía pesada con una velocidad de 40 Km/h.

Tabla N° 6  
Composición vehicular en software VISSIM de av. San Juan sentido norte

<b>Ruta:</b>	<b>avenida San Juan sentido norte</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Velocidad/hora (km/h)</b>	<b>Composición (%)</b>
Vehículo de mercancía pesada	40	20
Bus	25	40
Moto	60	20
Auto	50	30
Taxi	50	20
		100

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 6, se evidencia los parámetros que integran la composición vehicular en el modelado dentro del software *VISSIM* salida de avenida San Juan sentido norte, en la cual la mayor representatividad fue de buses con un 40% con una velocidad de 25 Km/h, el 30% de los autos particulares con una velocidad de 50 Km/h, el 20% fue de taxis que circulan la zona con una velocidad de 50 Km/h, el 20% fue de parte de

motos con una velocidad de 60 Km/h; mientras que, el 20% restante fue de vehículo de mercancía pesada con una velocidad de 40 Km/h.

Tabla N° 7  
Composición vehicular en el software VISSIM 9.0 de la avenida Guillermo Billinghurst con avenida San Juan

<b>Ruta: avenida Billinghurst con avenida San Juan</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Velocidad/hora (km/h)</b>	<b>Composición (%)</b>
Vehículo de mercancía pesada	40	20
Moto	60	20
Auto	50	30
Taxi	50	30
		100

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 7, se evidencia los parámetros que integran la composición vehicular en el modelado dentro del software *VISSIM* salida de avenida Billinghurst con avenida San Juan en la cual la mayor representatividad es de taxis que transitan por la zona con una velocidad de 50 Km/h, el 30% es de autos particulares mostrando una velocidad de 50 Km/h, el 20% es de parte de motos registrando una velocidad de 60 Km/h; mientras que, el 20% restante es de parte de vehículo de mercancía pesada con una velocidad de 40 Km/h.

Tabla N° 8  
Composición peatonal en el software VISSIM 9.0 de la composición peatonal

<b>Composición Peatonal</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Velocidad/hora (km/h)</b>	<b>Composición (%)</b>
100: Carrito de venta	5	1
510: Man	5	49
520: Woman	5	48
610: Bike Man	12	1
620: Bike Woman	12	1
		100

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8, se muestra la composición peatonal presente en la intersección objeto de estudio en la cual un 49% está compuesto por

hombres que transitan por las vías señaladas anteriormente (ver figura 12) con una velocidad de 5 Km/h, un 48% está compuesto por mujeres con una velocidad de 5 Km/h, un 1% está compuesto por carritos de ventas con una velocidad de 5 Km/h, un 1% está compuesto por ciclistas masculinos con una velocidad de 12 Km/h; mientras que, el restante 1% está compuesto por ciclistas mujeres con una velocidad de 12 Km/h.

## CAPÍTULO V: PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

### 5.1. Diagnóstico y situación actual

#### 5.1.1. Antecedentes

La intersección de estudio es el cruce de las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan, y estas se encuentran en el distrito de San Juan de Miraflores.

Donde su alto volumen de transitabilidad vehicular y peatonal hacen que este cruce de avenidas se vea afectado por una congestión vehicular constante donde el principal problema no es solo las demoras por largas colas, sino también la imprudencia o poca paciencia de los peatones al tratar de cruzar y llegar a generar, en algunos casos, accidentes de tránsito.



Figura 13: Mapa de ubicación de la intersección de estudio, ubicada en el distrito de San Juan de Miraflores.

Fuente: Google Maps



Figura 14: Mapa de ubicación de la intersección de estudio, ubicada en el distrito de San Juan de Miraflores.  
Fuente: Elaboración propia.

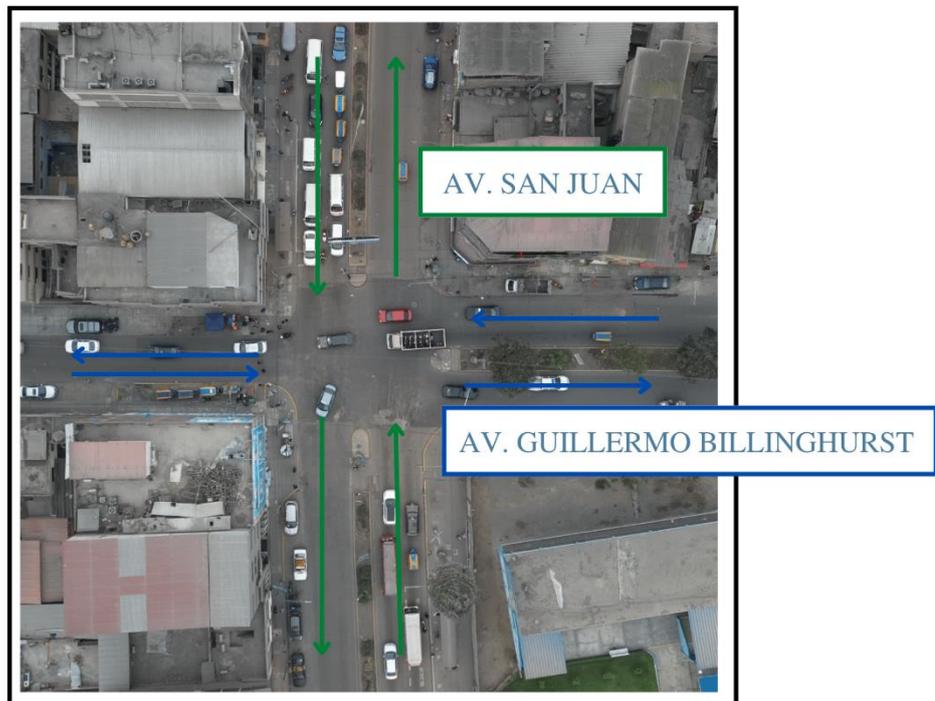


Figura 15: Sentidos de desplazamiento vehicular.  
Fuente: Elaboración propia

## 5.2. Ingreso de datos al software VISSIM 9.0

Se realizó el descargo de los datos en el software VISSIM 9.0 los cuales fueron recopilados en campo a partir de las 6.30 a.m. en las avenidas del cruce Guillermo Billinghurst y San Juan; así mismo, el volumen peatonal y vehicular estuvieron medidos por hora.

Para la construcción del modelo, se realizaron una serie de pasos como, la creación de links, asignación de rutas, entradas de vehículos, entrada peatonal, los semáforos, conflicto de áreas, nodos e intersección.

A continuación, se presenta los pasos que se consideraron para el desarrollo del modelo.

### 5.2.1. Importación de datos al software

Se inicia importando una imagen que nos servirá como base para la creación de la geometría de la zona de estudio. En este proyecto se utilizó como imagen de referencia lo obtenido mediante fotos y videos reales de la zona. Antes de insertar la imagen en el software, se creó una carpeta de manera exclusiva para el proyecto, donde se cargó la imagen en formato PNG. Luego de la importación de la imagen se procede a escalarlo a partir de las dimensiones tomadas en campo del ancho de vía.

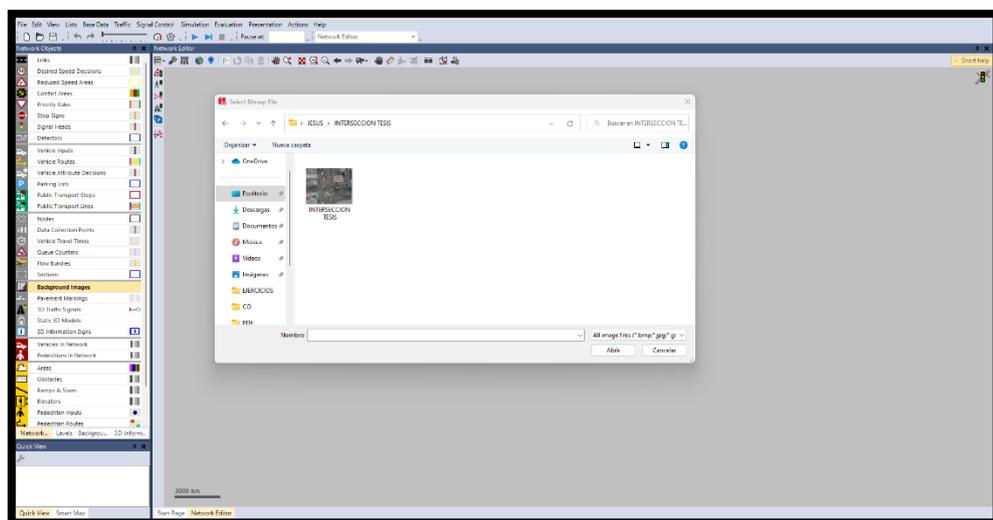


Figura 16: Importación de imagen al VISSIM  
Fuente: Elaboración propia

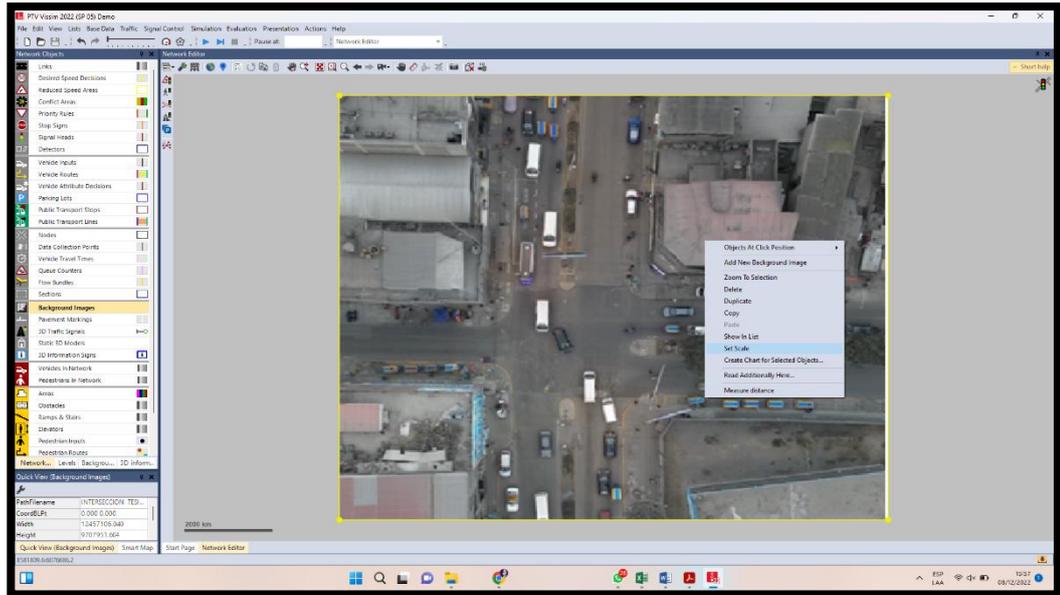


Figura 17: Escalado de la imagen importada (Background)  
Fuente: Elaboración propia

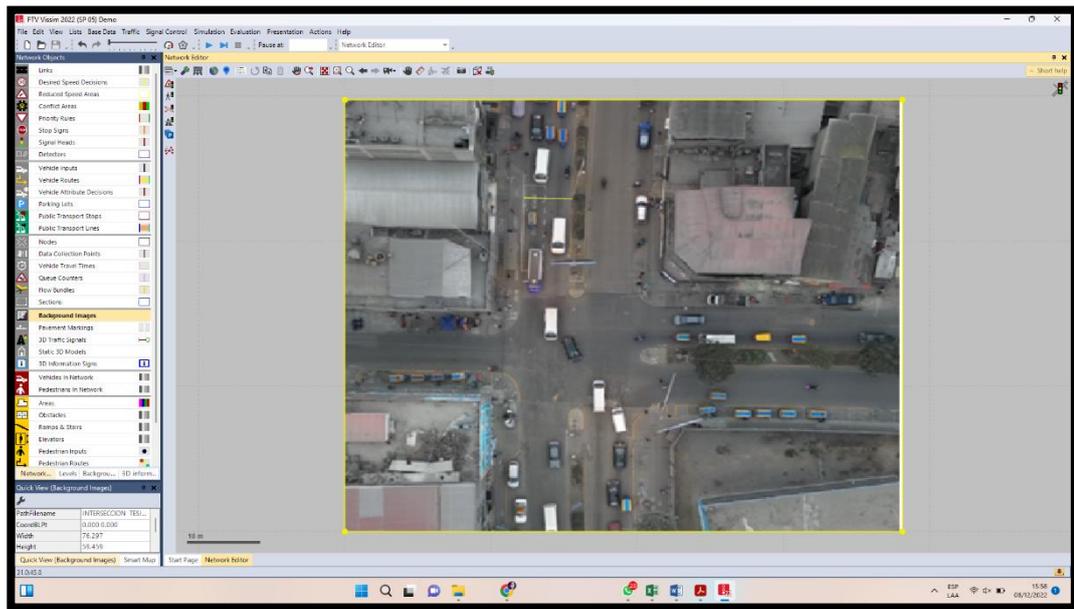


Figura 18: Geometría escalada del lugar de investigación  
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2. Links y conectores

Con el apoyo de la imagen de fondo se continua con la creación de la geometría del cruce entre las avenidas San Juan y Guillermo Billingurts. En esta sección se utilizó la opción de LINKS ya sea para la creación de los carriles como para los conectores. Para el buen desarrollo de la geometría se necesita saber los anchos de vías, número de carriles por vía y la dirección de flujo vehicular. La siguiente imagen muestra las vías y los conectores construidos.

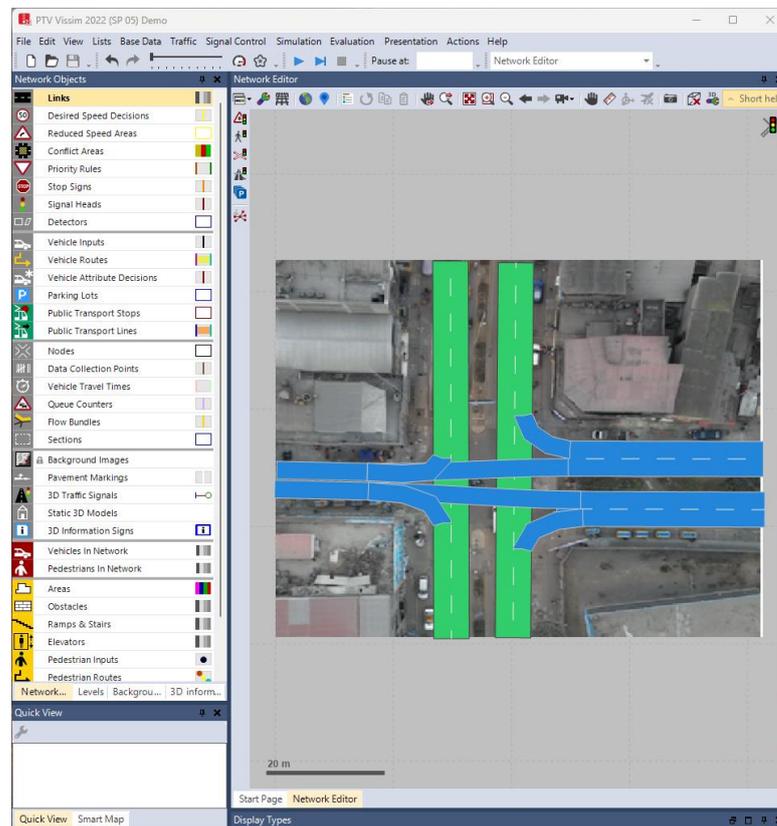


Figura 19: Elaboración de las vías de la intersección

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3. Asignación de rutas

Se señalan las rutas de desvío que realizan los vehículos en VISSIM 9.0, donde se ingresó el porcentaje de paso vehicular por cada ruta.

#### 5.2.4. Ingreso de aforo vehicular y peatonal

Tabla N° 9

Tabla de volúmenes vehiculares para ingreso a VISSIM

<b>Vehicle Inputs / Vehicle Volumes By Time Interval</b>				
<b>N°</b>	<b>Name</b>	<b>Link</b>	<b>Volumen/hora</b>	<b>VehComp</b>
1	Salida Billinghamurst	3	1374	3
2	Salida con dirección a Av. San Juan	1	2406	1
3	Salida con dirección a Av. Los heroes	2	2450	2
4	Peatonal 1- 2	8	1126	4
5	Peatonal 2-1	13	1100	4
8	Peatonal 5-6	11	1034	4
9	Peatonal 6-5	12	977	4
10	Peatonal 8-7	10	1104	4
11	Peatonal 3-4	7	1088	4
12	Peatonal 4-3	6	1107	4
13	Peatonal 7-8	9	1052	4

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9, se observan el ingreso y volumen de los vehículos y peatones de la intersección medidos por hora, en donde el mayor volumen registrado en lo que respecta a las salidas se presenta en aquella con dirección a avenida Los héroes, registrando un volumen de 2450 siendo empleados 2 links; mientras que en lo referente a las vías peatonales el cruce peatonal 1-2 registra un volumen de 1126 empleando para este un total de 8 links.

## 5.2.5. Conflictos de áreas

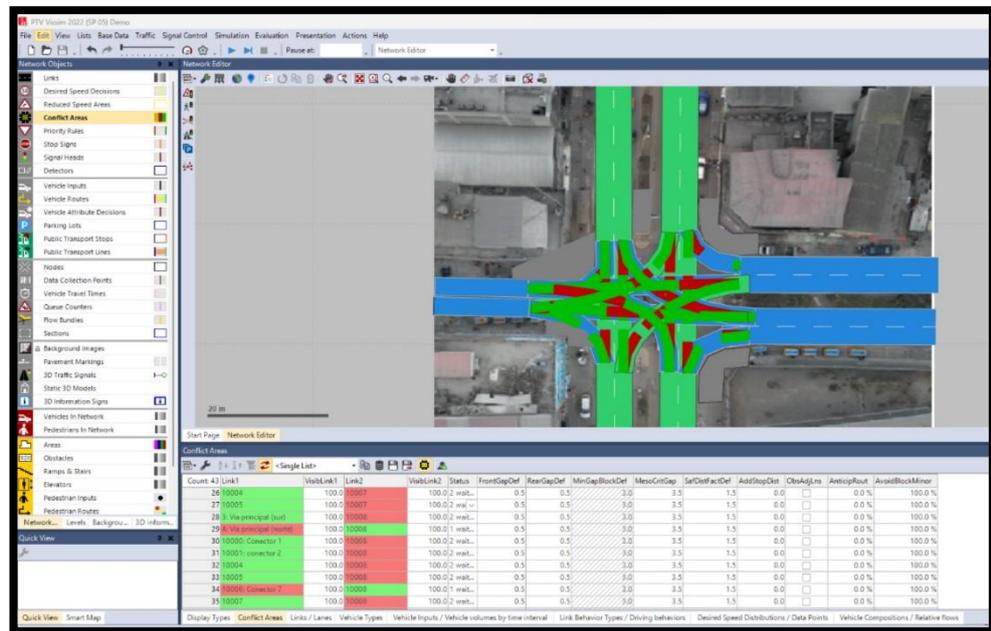


Figura 20: Zona de conflicto de flujos en la actualidad

Fuente: Elaboración propia.

La figura 20, indica la zona de conflicto en 2D que se desarrolla en la actualidad en el punto de estudio, donde las bandas de color verde indican la prioridad que tiene sobre lo otro; por ejemplo, en la figura se puede visualizar que las avenidas principales como las avenidas San Juan y Guillermo Billinghurst tienen la prioridad sobre el otro, esta prioridad es considerada de acuerdo a la velocidad que los automóviles se trasladan. Asimismo, se desarrolla en las líneas peatonales, los peatones tienen más prioridad de trasladarse que los automóviles, por ello, la franja verde se encuentra sobre el rojo.

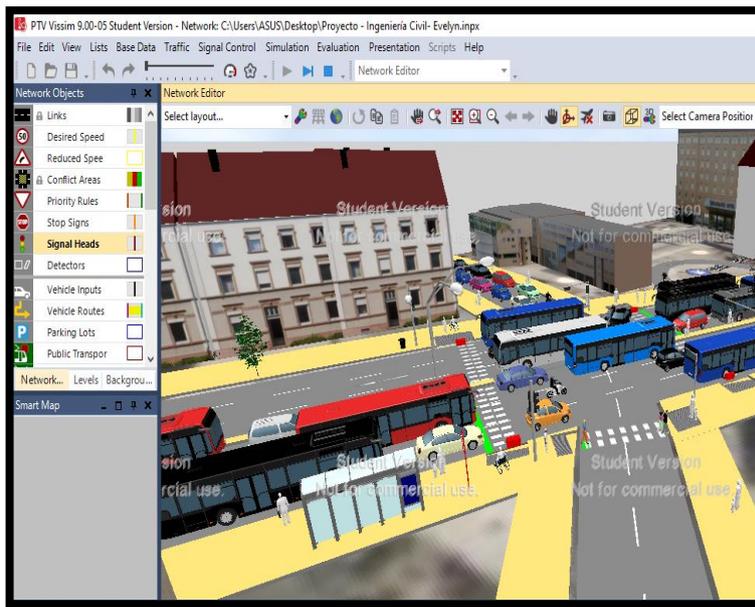


Figura 21: Escenario actual de la zona de estudio.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 21, se observa el escenario de la zona de conflicto en 3D, donde las áreas representan una zona de conflicto para la vialidad de los vehículos que transitan por la zona, al tomar como referencia la primera imagen se resaltan con franjas verdes y rojas aquellos puntos donde ocurren cruces de dos vías además del debido rayado peatonal.

### 5.2.6. Semáforos

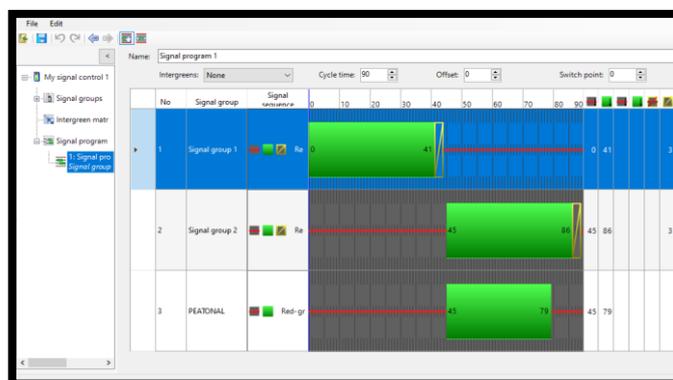


Figura 22: Ciclo semafórico en VISSIM 9.0  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3, se observa el ciclo del semáforo planteado en VISSIM 9.0 donde se respetó el orden encontrado en la realidad, así como los intervalos de tiempo; además, existen 3 señales de semaforización compuestas por los colores representativos, rojo, verde y ámbar. En el primer “Signal group” se determinó 41 segundos en verde, 3 segundos en ámbar y lo que resta hasta cumplir los 90 segundos en rojo. Para el segundo “Signal group” se estableció 45 segundos en rojo, 41 segundos en verde y 3 segundos en ámbar hasta completar el ciclo; para el tercer “Signal group” se estableció 45 segundos en rojo, 34 segundos en verde y lo que resta por completar los 90 segundos en color rojo

### 5.2.7. Nodos

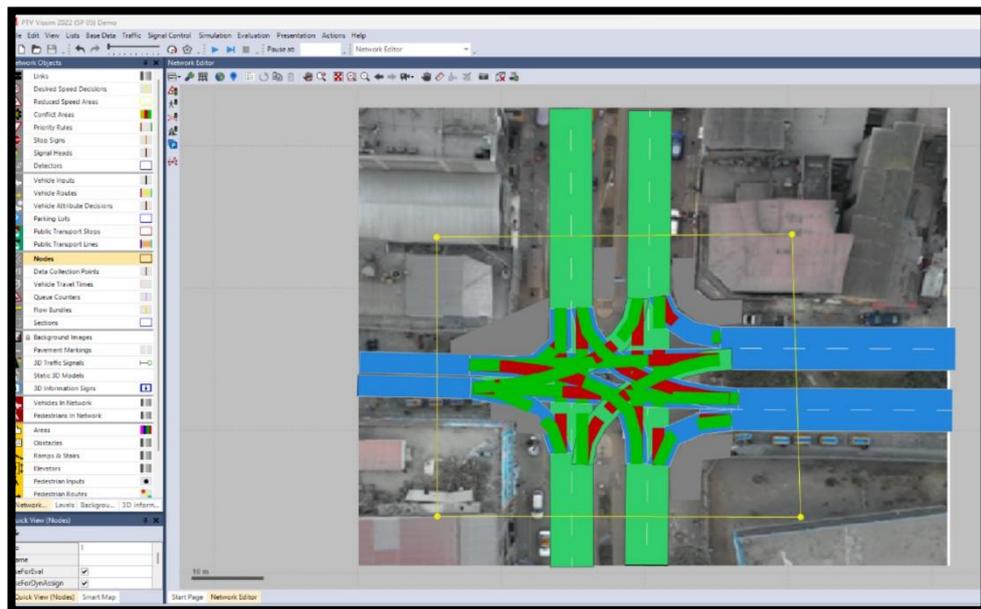


Figura 23: Nodo de la intersección diseñada en VISSIM 9.0  
FIGURA 4. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4, se observa el nodo en la intersección objeto de estudio desde una perspectiva aérea para un mejor entendimiento de la situación vial entre las avenidas San Juan y Guillermo Billinghurst. Este tipo de vista,

fue de gran ayuda para entender la congestión vehicular y peatonal, para luego determinar o discutir las propuestas o alternativas de solución.

#### 5.2.8. Simulación del modelo

Después del diseño de la problemática en el VISSIM 9.0 se da inicio a la micro simulación del proyecto para el análisis y verificación del desplazamiento de los peatones, tráfico de automóviles (autos, buses y motos) con el fin de reflejar la congestión vehicular y peatonal que se genera entre el cruce de las avenidas San Juan y Guillermo Billinghurst. La micro - simulación es una herramienta de suma importancia; puesto que, permite analizar la situación; además, de determinar las propuestas enfocadas a la congestión vehicular.

#### 5.2.9. Comprobación de errores

Luego del diseño del modelo realizado, se comprueba los errores, cuyo fin consiste en presentación de los pasos, que inicia con la verificación de la conexión a la red, las áreas de conflicto, las entradas y rutas de los vehículos, rampas y las señales de tráfico, después, se corre la simulación con el propósito de evidenciar y analizar la problemática con extremo detalle para determinar la intersección donde se genera la congestión vehicular o peatonal, el siguiente paso consiste en la revisión de mensajería de error que muestra VISSIM 9.0; en otras palabras, este paso es un seguimiento estricto de los parámetros iniciales del modelo; sin embargo, este paso no se debe de confundir con la calibración.

#### 5.2.10. Calibración del modelo

El proceso de calibración tiene como propósito realizar una comparación y asemejar los datos a la realidad observada en campo con los datos arrojados por el software VISSIM 9.0. Este paso se realizó a través de la selección y corrección de los parámetros de Wiedemann 74. Asimismo, para las intersecciones que presentan congestión se recomienda aplicar como mínimo 10 corridas (FHWA, 2008); por lo expuesto, para la presente calibración se consideró 15 corridas; puesto que, a mayor cantidad de corrida se obtiene mayor número de resultados.

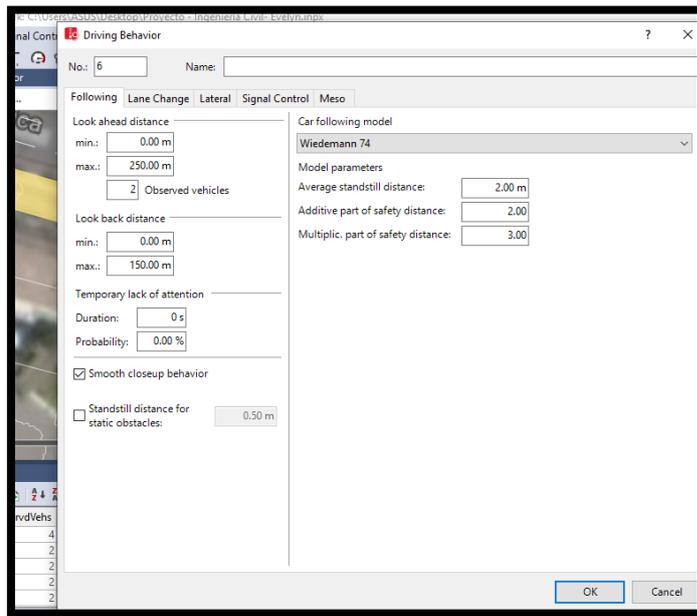


Figura 24: Nodo de intersección diseñada en VISSIM 9.0  
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 10  
Parámetros utilizados - Wiedemann 74

N° Prueba	Parámetros de Wiedemann 74		
	W74 <sub>ax</sub>	W74 <sub>bx add</sub>	W74 <sub>bxmult</sub>
1	2.00	2.00	3.00
2	2.00	2.00	4.00
3	1.00	2.00	1.50
4	2.00	4.00	4.00
5	1.00	4.00	4.00
6	1.50	2.00	3.00

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 10, relacionada con los parámetros ax, denominada como la distancia de promedio deseada entre los vehículos, bx add, pieza adicional de la distancia deseada y bxmult, denominada como la parte multiplicativa de la distancia deseada en intervalos de 20 metros, desarrollando 6 intentos a fin de comparar obteniendo siendo estos los valores en los cuales el modelo fue calibrado.

Tabla N° 11  
Resultados del sexto parámetro

<b>Fuente</b>	<b>Tiempo de Viaje (seg)</b>
Simulación	1.78
Simulación	2.20
Simulación	1.88
Simulación	5.36
Simulación	3.32
Simulación	4.18
Simulación	3.05
Simulación	2.78
Simulación	5.21
Simulación	1.66
Simulación	3.18
Simulación	2.57
Simulación	1.10
Simulación	4.31
Simulación	3.08
<b>Max</b>	<b>5.36</b>
<b>Min</b>	<b>1.10</b>
<b>Media</b>	<b>3.04</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>1.27</b>

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11, se verificó en cada uno de los intentos realizados que la diferencia de promedios en los datos del modelado en el software VISSIM 9.0 se ubican dentro de la zona de no rechazo demostrando esto que el modelado se encuentra calibrado como se puede observar en la figura 25 que se observa a continuación.

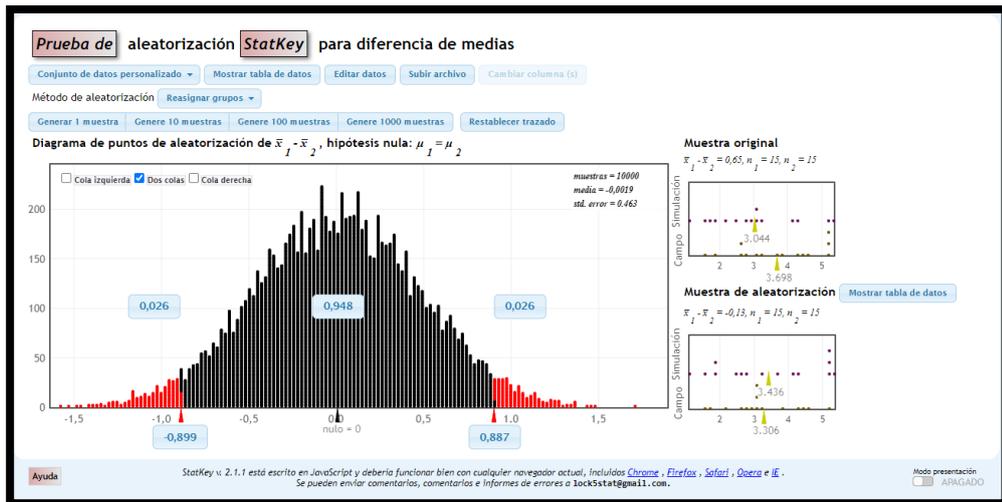


Figura 25: Calibración de datos con la prueba de aleatorización Statkey  
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12  
Comparación de los datos de campo y simulación en VISSIM 9.0

Número de prueba	Parámetros de Wiedemann			Simulación - VISSIM				Campo	
	ax	bdd	bmut	Min	Max	Media	DesvEst	Media	DesvEst
1	2.00	2.00	3.00	0.26	3.96	1.73	1.16	3.70	1.20
2	2.00	2.00	4.00	0.17	3.87	1.66	1.17	3.70	1.20
3	1.00	2.00	1.50	0.08	3.68	1.49	1.15	3.70	1.20
4	2.00	4.00	4.00	0.29	3.8	1.59	1.08	3.70	1.20
5	1.00	4.00	4.00	0.88	4.39	2.09	1.11	3.70	1.20
6	1.50	2.00	3.00	1.10	5.36	3.04	1.27	3.70	1.20

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12, se muestran los resultados obtenidos en la comparación de datos de campo y la simulación en VISSIM 9.0, en la cual se observa que la calibración con mayor apego a la realidad fue la sexta, que mostro la menor de las diferencias de medias en cotejo a las demás. Por lo cual, los parámetros de Wiedemann del sexto intento son los que se utilizaron en función al cálculo de otros resultados requeridos como velocidades promedio, longitudes de cola, entre otros.

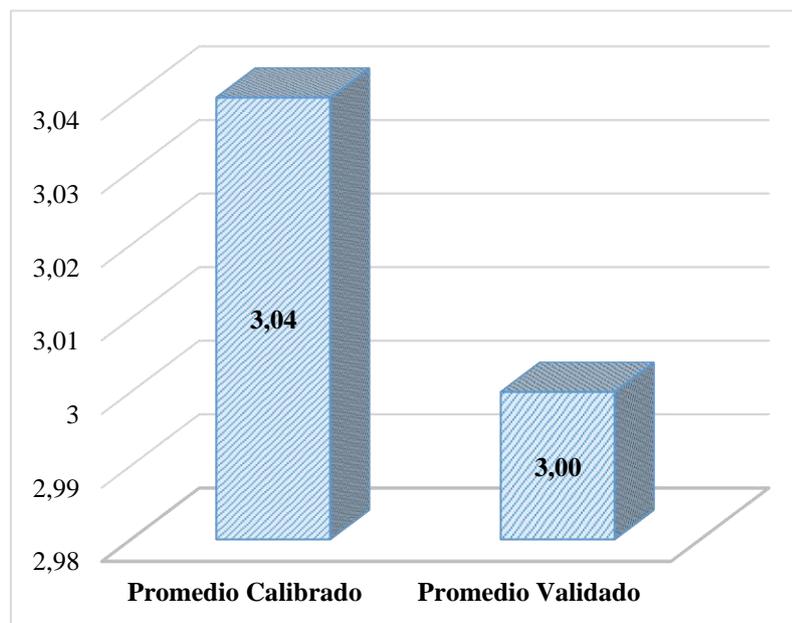
### 5.2.11. Validación del modelo

Tabla N° 13  
Resultados de validación

Fuente	Tiempo de Viaje (seg)
Simulación	1.75
Simulación	2.24
Simulación	1.80
Simulación	5.32
Simulación	3.25
Simulación	4.08
Simulación	3.02
Simulación	2.74
Simulación	5.15
Simulación	1.55
Simulación	3.15
Simulación	2.55
Simulación	1.06
Simulación	4.25
Simulación	3.05
Max	<b>5.32</b>
Min	<b>1.06</b>
Media	<b>3.00</b>
Desviación estándar	<b>1.27</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 14  
Comparación de tiempos de viaje del modelo calibrado y validado (seg.).



Fuente: Elaboración propia

En las tablas 13 y 14, se observan los tiempos de viaje tanto validado como calibrado en un tramo de 20 metros obteniendo que el tiempo promedio fue de 3 segundos siendo un valor muy cercano al valor calibrado con lo cual se puede decir que el modelo es válido.

### 5.3. Propuesta de rediseño geométrico

#### 5.3.1. Ancho de carriles

A partir de la problemática descrita, se identificó que los anchos de los carriles de la avenida Guillermo Billinghurst son de dos por sentido, estrechándose a uno al pasar por la avenida San Juan, lo cual perjudica el desplazamiento de los automóviles. El ancho del carril es de 3.5 m; es decir, el ancho de la avenida por tener dos carriles en cada sentido, separados por una berma central, de 7 m. Por lo expuesto, se necesita ampliar la avenida Guillermo Billinghurst para evitar las paradas y tiempos muertos que se genera en las horas punta y sobre todo a partir de las 6.30 a.m. Cabe resaltar que por las situaciones antes expuestas los automóviles mantienen su parada por aproximadamente 10 min.

#### 5.3.2. Rediseño de rampas

En las imágenes mostradas referentes a la situación actual de la intersección de las avenidas Guillermo Billinghurst con San Juan se evidenció que las rampas que allí existen no cumplen con un diseño óptimo y en algunos casos eran inexistentes. En función de poder garantizar para aquellos usuarios más vulnerables el poder desplazarse con normalidad y seguridad por la zona se plantea rediseñar las rampas existentes cumpliendo con un ancho mínimo de 1 metro y una pendiente máxima del 8%.

#### 5.3.3. Implementación de un paradero.

A través, de la observación directa y los resultados obtenidos en campo, se evidenció que los niños que circulan en las mañanas para asistir a su centro de estudio, están expuestos al peligro; puesto que, los automóviles

circulan en velocidades extremas sin respetar el horario de circulación estudiantil. Por lo expuesto se desarrolla la propuesta de implementar un paradero cercano al centro de estudio para circular de manera segura y no cruzar de manera imprudente cuando los automóviles están circulando.

#### 5.3.4. Restricción de flujos.

En la intersección de las avenidas se recomienda la reubicación del paradero de moto taxis; puesto que, cuando estos circulan, interrumpen el traslado peatonal y sobre todo obstaculizan el desplazamiento vehicular, generan desorden y conflictos al cruzar las avenidas. Por otro lado, se recomienda retirar el quiosco que se encuentra ubicado en las veredas; interrumpiendo de esta forma circulación peatonal.



Figura 26: Identificación de restricciones al flujo vehicular  
Fuente: Elaboración propia

#### 5.4. Análisis de resultados

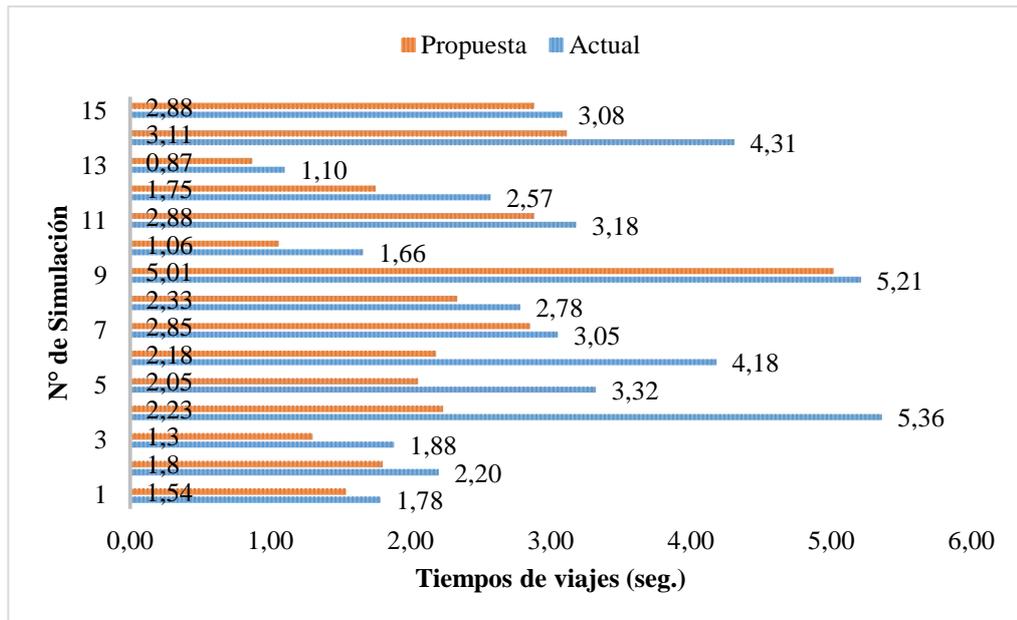
En este apartado se realizó y analizó la comparación de los resultados del proyecto logrados por el rediseño, que proponen cambios en la intersección. Por lo expuesto, se analizó las medidas de efectividad como el tiempo de viaje, las paradas, la demora del viaje y las longitudes de cola. De igual manera, se realizó el análisis

estadístico, donde se desarrolló la prueba de la hipótesis alterna mediante el programa Randomization test.

#### 5.4.1. Comparación de tiempos de viaje

Tabla N° 15

Comparativa Tiempo de viajes vs. cantidad de simulación entre propuesta de mejora y estado actual.



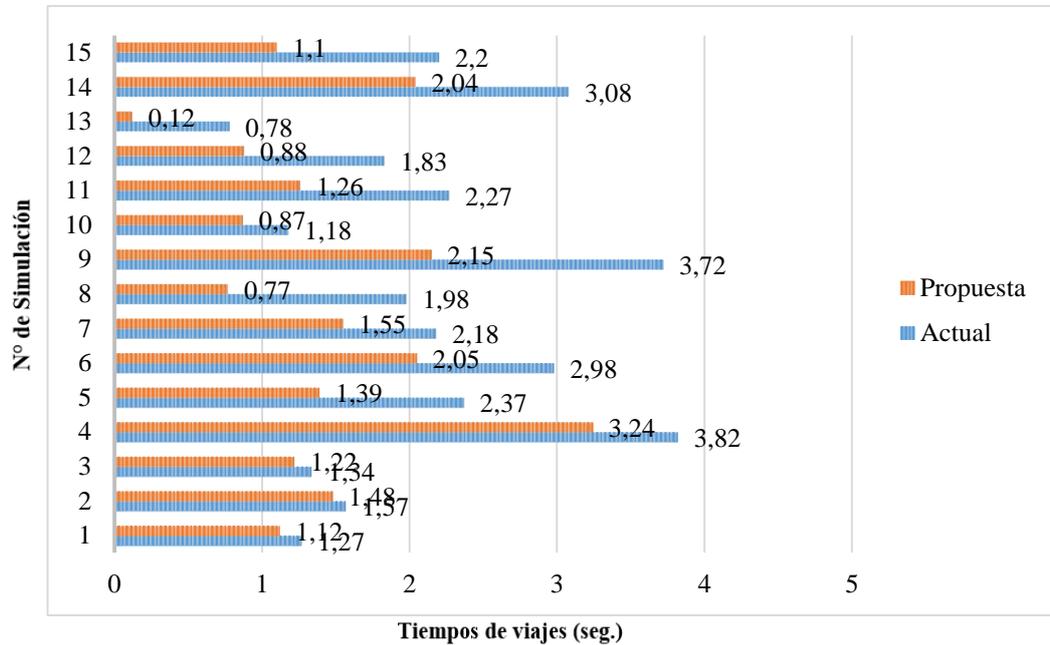
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15, relacionada los tiempos de viaje se evidencia la comparación de los resultados durante las 15 simulaciones donde en la situación actual la simulación número cuatro obtuvo el mayor resultado de 5.36 segundos y en la simulación número trece se obtuvo el menor resultado de 1.10 segundos. Sin embargo, con la propuesta realizada se pretende reducir los tiempos de viaje donde se logró la demora mínima de 1.10 segundos y máxima de 5.01 segundos. 3.87 segundos. Por ende, tomando en cuenta los resultados máximos de la situación actual y de la propuesta se pretende reducir los tiempos de viaje en 0.35.

#### 5.4.2. Comparación de las paradas

Tabla N° 16

Comparativa Tiempo de paradas vs. cantidad de simulación entre propuesta de mejora y estado actual.



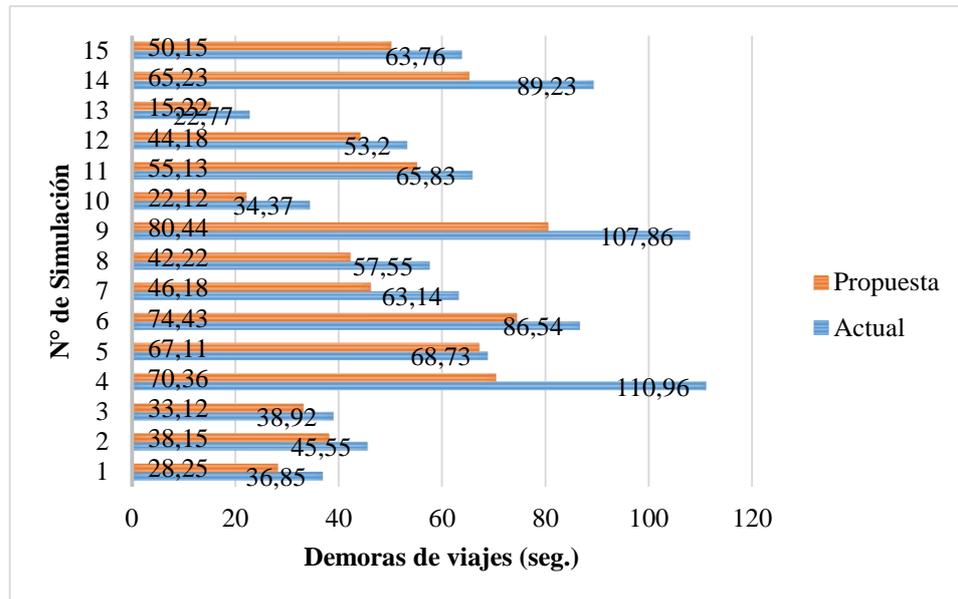
Fuente: Elaboración propia

En la figura 16, relacionada con las paradas se evidencia la comparación de los resultados durante las 15 simulaciones donde en la situación actual la simulación número cuatro obtuvo el mayor resultado de 3.82 y en la simulación número trece se obtuvo el menor resultado de 0.78. Sin embargo, con la propuesta realizada se pretende reducir las paradas donde se logró una parada mínima de 0.12 y máxima de 3.24. Por ende, tomando en cuenta los resultados máximos de la situación actual y de la propuesta se pretende reducir las paradas en 0.58.

#### 5.4.3. Comparación de demoras de viaje.

Tabla N° 17

Comparativas de demoras de viaje vs. cantidad de simulación entre propuesta de mejora y estado actual.

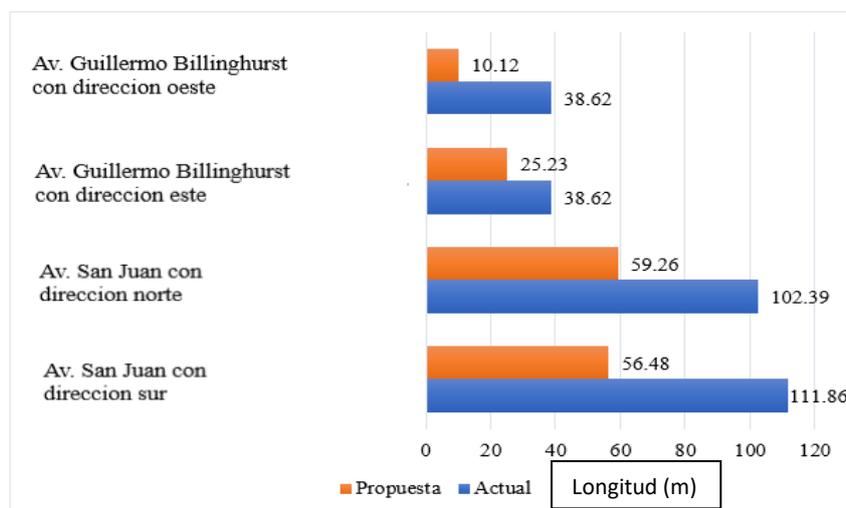


Fuente: Elaboración propia

En la figura 17, relacionada con las demoras de viaje se evidencia la comparación de los resultados durante las 15 simulaciones donde en la situación actual la simulación número cuatro obtuvo el mayor resultado de 110.96 segundos y en la simulación número trece se obtuvo el menor resultado de 22.77 segundos. Sin embargo, con la propuesta realizada se pretende reducir las demoras de viaje donde la demora mínima fue 15.22 y máxima de 80.44. Por ende, tomando en cuenta los resultados máximos de la situación actual y de la propuesta se pretende reducir las demoras de viaje en 30.72.

#### 5.4.4. Comparación de longitud de cola.

Tabla N° 18  
Comparativa de longitud de cola entre estado actual y con las mejoras propuestas



Fuente: Elaboración propia

Después, de realizar la simulación del modelo propuesto se logró como resultado que la longitud de las colas medidas en metros, en el cruce de las avenidas San Juan y Guillermo Billinghurst, con la propuesta se dedujo que reduciría en 35.1%.

#### 5.5. Evaluación estadística de la propuesta de mejora

En este apartado se realizó y analizó la comparación de los resultados del proyecto logrados por el rediseño, que proponen cambios en la intersección. Por lo expuesto, se analizó las medidas de efectividad como el tiempo de viaje, las paradas, la demora del viaje y las longitudes de cola. De igual manera, se realizó el análisis estadístico, donde se desarrolló la prueba de la hipótesis alterna mediante el programa Randomization test.

##### 5.5.1. Comparación de longitud de cola

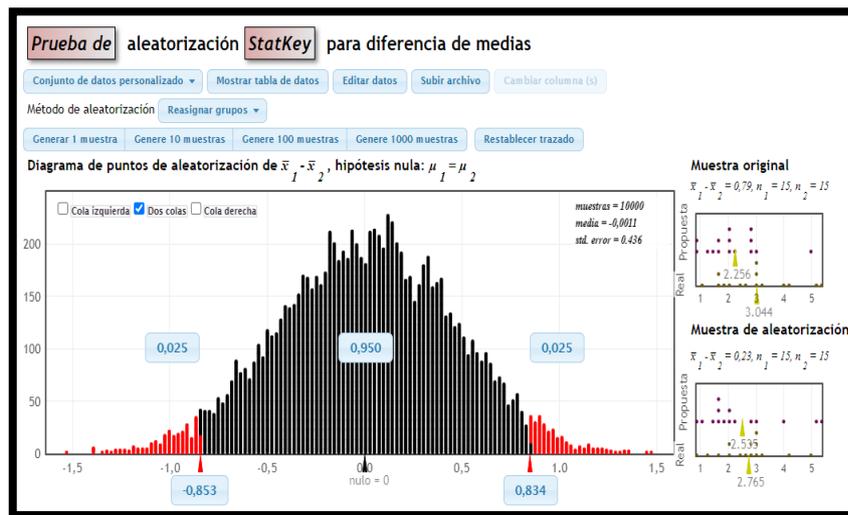


Figura 27: Calibración de datos con la prueba de aleatorización Statkey - Tiempo de viaje  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 27; se observan los datos referentes al promedio del tiempo de viaje donde en la actualidad es 3.04 segundos; mientras que, en el rediseño con la propuesta fue 2.26 segundos. Así mismo, se evaluó si los resultados del segundo son mayores a los primeros resultados. Sin embargo, debido al rediseño de los anchos de los carriles, las velocidades de los vehículos redujeron los conflictos. Además, en la figura se puede evidenciar la diferencia de las medias, cuyo resultado es 0.79 resultado que se encuentra dentro de la zona de no rechazo, donde el resultado máximo fue 0.834.

### 5.5.2. Análisis y evaluación estadística de paradas

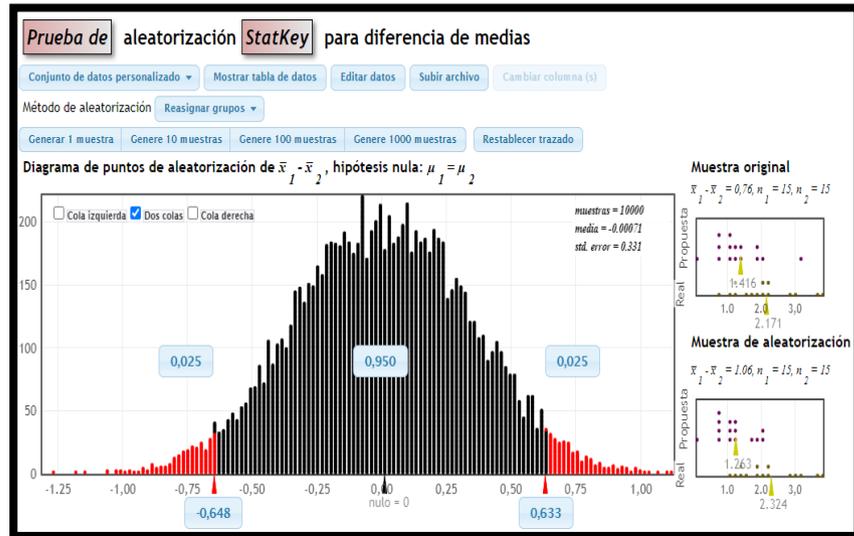


Figura 28: Calibración de datos con la prueba de aleatorización Statkey - Tiempo promedio de parada  
 Fuente: Elaboración propia

En la figura 28; se observan los datos referentes al promedio de las paradas donde en la actualidad es 2.17; mientras que, en el rediseño con la propuesta fue 1.42, donde se evaluó los resultados de ambas situaciones. Sin embargo, debido a la restricción de los flujos se priorizó la circulación de los automóviles y se prohibió la circulación de los triciclos. Además, en la figura se puede evidenciar la diferencia de las medias, cuyo resultado es 0.76 resultado que se encuentra fuera de la zona de no rechazo, donde el resultado máximo fue 0.633.

### 5.5.3. Análisis y evaluación estadística de demora de viaje

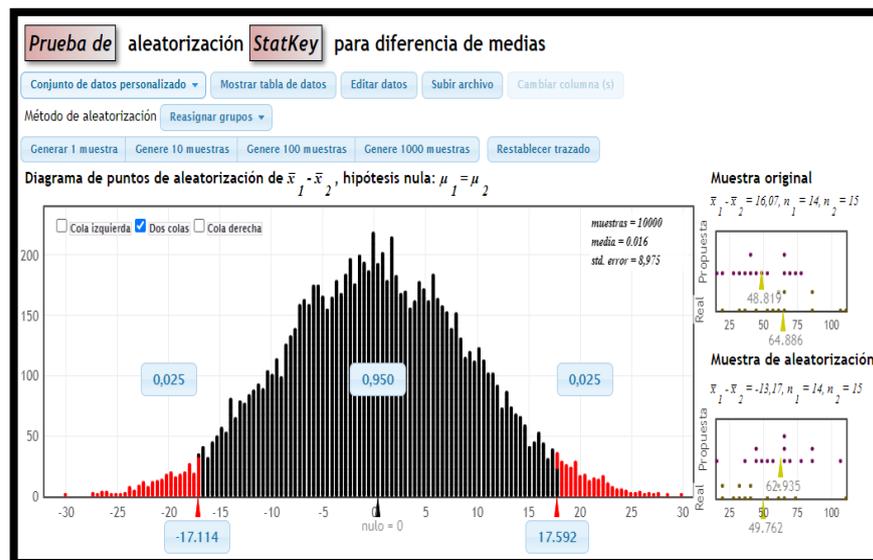


Figura 29: Calibración de datos con la prueba de aleatorización Statkey - Tiempo promedio demoras de viaje  
 Fuente: Elaboración propia

En la figura 29; se observan los datos referentes al promedio de las demoras de viaje donde en la actualidad es 63.02; mientras que, en el rediseño con la propuesta fue 48.62, donde se evaluó los resultados de ambas situaciones. Sin embargo, debido a la implementación de un paradero cercano al colegio las demoras de viaje se vieron alterada. Además, en la figura se puede evidenciar la diferencia de las medias, cuyo resultado es 16.07 resultado que se encuentra dentro de la zona de no rechazo, donde el resultado máximo fue 17.592.

#### 5.5.4. Análisis y evaluación estadística de la longitud de cola.

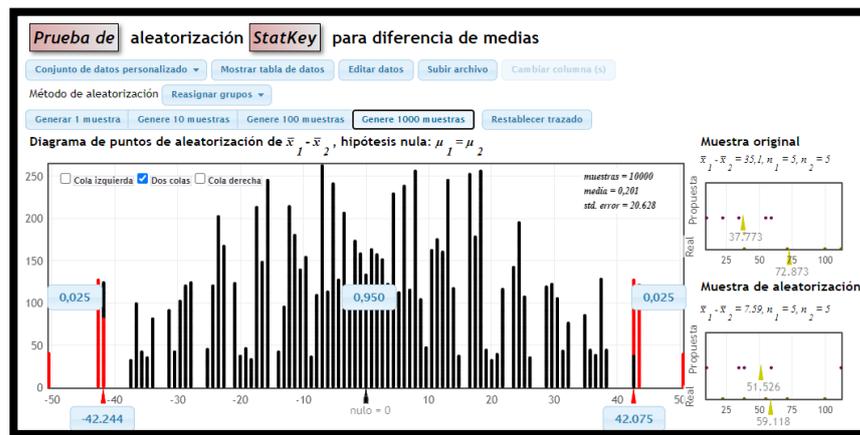


Figura 30: Calibración de datos con la prueba de aleatorización Statkey - Promedio longitud de colas  
 Fuente: Elaboración propia

En la figura 30, relacionadas con el promedio de longitud de las colas en las avenidas estudiadas, se observa que en la actualidad la longitud de cola de la avenida San Juan con dirección sur es 111.86 metros; así mismo, la longitud de cola de la avenida San Juan con dirección norte es 102.39 metros; luego, la longitud de cola de la avenida Guillermo Billinghurst con dirección oeste es 38.62 metros; por último, la longitud de la avenida Guillermo Billinghurst con dirección este es 38.62 metros.

Sin embargo, con la propuesta se considera reducir en 30 metros de colas; por ejemplo, en las avenidas Guillermo Billinghurst con dirección oeste se reduce en 28.5, en la avenida Guillermo Billinghurst con dirección este se reduce en 13.39 metros, en la San Juan con dirección norte en 43.13 metros y de la avenida San Juan con dirección sur se reduce en 55.38 metros. Obteniendo como diferencia entre ambas medidas un valor de 35.1 metros mediante el software Statkey, cuyo valor máximo fue 42.075.

## CONCLUSIONES

1. El objetivo general del proyecto es realizar el modelado matemático por micro simulación para analizar el tráfico vehicular y peatonal en las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan para proponer mejoras en dicha intersección, donde los vehículos y peatones tengan un libre y fácil desplazamiento. Se concluyó que existe fuerte congestión vehicular y peatonal debido a una mal distribución de elementos de gestión del tránsito, por lo que es necesario realizar una redistribución de parámetros, tales como el ancho de carril, las rampas y entre otros, a fin de garantizar el libre y seguro transitar tanto de peatones como de vehículos a lo largo de la intersección.
2. En cuanto al primer objetivo específico, el cual fue identificar los componentes necesarios que nos ayuden a poder identificar los factores que generan la congestión vehicular en la intersección, se llegó a la conclusión que el tiempo de viaje, las paradas, los paraderos informales de moto taxis y una transición de dos a un carril a la salida de la av. Guillermo Billinghurst. Estos son los componentes que generan las congestiones en la intersección en las avenidas Guillermo Billinghurst y San Juan.
3. En cuanto al segundo objetivo específico, el cual planteo analizar, procesar y validar las condiciones de circulación de la intersección mediante el modelo de micro simulación empleando VISSIM 9.0. Se verifico que los componentes anteriormente mencionados son los que generan la congestión vehicular en la intersección de estudio.
4. En cuanto al tercer objetivo específico, el cual fue plantear alternativas de mejora para un adecuado diseño vial, se concluyó que:
  - a) Es necesario realizar una ampliación en el ancho de los carriles; puesto que, como se explicó en los anteriores apartados existe paradas continuas y largas colas, lo cual genera congestión vehicular a lo largo del tramo. El rediseño de estos carriles tiene como propósito cumplir con el requerimiento mínimo para las velocidades encontradas en la intersección. Sumada a esta propuesta, se prolongó la mediana de la San Juan, con el objetivo de mejorar la circulación peatonal.

- b) La segunda propuesta, trata sobre la implementación de un paradero correctamente señalizado para mejorar y prever la seguridad vial de peatones y escolares que asisten a sus centros de labores o estudios. Por lo expuesto, se rediseño el paradero ubicado cerca al cruce de las avenidas de estudio, cuyo resultado se vio reflejado en la reducción de conflictos.
- c) La tercera propuesta, consistió en el rediseño de las rampas; puesto que, se encuentran agrietadas, o en algunos casos no están diseñados de acuerdo a la norma técnica peruana; sobre todo, las personas que más se aquejan de esta situación son las personas discapacitadas que en ocasiones tienen que pedir ayuda de otra persona para poder circular por las mismas. Por lo expuesto, se propuso este rediseño de las rampas ya que se necesita un correcto diseño respetando las normas técnicas peruanas.
- d) Por último, la restricción de flujos es un tema del día a día; es por ello, que se propone pintar la intersección con una isla de canalización para no bloquear el cruce en la intersección, además de demarcar bien las líneas de borde de calzada, las de separación de carriles y los pasos de cebra, esto para tener claro los lineamientos que deben ser respetados por peatones y vehículos.

## RECOMENDACIONES

1. Ya que en la presente tesis se modeló matemáticamente la zona de estudio para ser lo más fiel posible a la realidad, se debió tomar en cuenta también las intersecciones cercanas a esta, ya que alguna alteración del flujo vehicular proveniente de ellas, alteraría directa o indirectamente la toma de datos de la zona de estudio. Como ejemplo se tiene que para agilizar el tráfico entre la Av. Los Héroes y la Av. San Juan se instaló un policía de tránsito lo cual afectó la toma de datos, por lo que es recomendable tener varias tomas de datos en las horas picos para obtener la cuantificación vehicular más fiel posible.
2. Se tuvieron algunas dificultades al momento del ingreso de datos para realizar la modelación de la zona de estudio, ya que, en la Av. Guillermo Billinghurst tras el cruce con la Av. San Juan hay una transición de dos a un carril a la salida. Esto genera un flujo vehicular lento al tratar de cruzar la intersección, por lo que usualmente los vehículos terminan detenidos en medio de la intersección bloqueando el paso a otros accesos, tanto de vehículos como alterando la transitabilidad peatonal.
3. Las propuestas de mejora en la presente investigación no están pensadas para ser aplicadas en mejorar la problemática del transporte público en la ciudad de Lima, sino, se recomienda aplicarlas en puntos de la ciudad donde se presenten una situación similar y características parecidas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Administración Federal de Carreteras. (2008). Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report. Georgetown Pike: McLean.
- Allen, y J. (2011). Planificación del transporte.
- Alvarez, F. (2014, 16 de julio). ¿Como cruzar una ruta y no perder la vida en el interno?
- Bañon , L., y Beviá, J. (2000). Manual de carreteras volumen 1. Recuperado de Elementos del proyecto: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/1787>
- Bull, A. (2003). Congestión de tránsito: el problema y como enfrentarlo. CEPAL. Recuperado de CEPAL.
- Cal, R., y Mayor, R. (2007). Ingeniería de transito fundamentos y aplicaciones. (Alfaomega, Ed.) Recuperado de <https://www.alpha-editorial.com/>
- Cárdenas, G., y Mayor, R. (2007). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones. Alfaomega.
- Castaño, L. (2007). Análisis y evaluación operacional de intersecciones urbanas mediante microsimulación. (Tesis inédita de doctorado). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Darder, V. (2005). Funciones de las rotondas urbanas y requerimientos urbanísticos de organización.
- Gilberto, J., y Morales, O. (2015). Análisis del nivel de servicios y capacidad vehicular de las intersecciones con mayor demanda en la ciudad de Azogues. (Tesis de licenciatura). Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7704/1/UPS-CT004571.pdf>
- Guamán, I. (2018). Análisis y rediseño geométrico de la intersección de la Av. Remigio y Av. Loja. (Tesis de doctorado). Universidad de Cuenca. Cuenca.
- Kell, J., y Fullerton, I. (1991). Manual of traffic signal desing.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2016). Manual de dispositivos de control de tránsito automotor para calles y carreteras. Ebsco. Pecuperado de

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02225a&AN=pucp.387459&lang=es&site=eds-live&scope=site>

Miramontes, E., Vidaña, B., y Rodríguez, A. (2015). Análisis y evaluación de intersecciones urbanas. *Cultura científica y tecnológica*, 12(56), 51-60. Recuperado de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=117276433&lang=es&site=eds-live&scope=site>

Moras, G. (2009). Evaluación de un sistema inteligente de semaforización mediante simulación para la ciudad de Orizaba, Veracruz. *Revista de Ingeniería Industrial*.

Pranevicius, H. (2011). Knowledge based traffic signal control model for signalized intersection transport.

PTV. (2015). VISSIM User Manual. PTV.

Torres, A. (2017). Análisis y comparación de criterios de diseño geométrico en las rotondas modernas.

Transporte Metropolitana. (2015). El transporte urbano de Lima Metropolitana. Recuperado de *Un desafío en defensa de la vida*.

Uribe, S. (2006). Manual de diseño geométrico para vías e intersecciones urbanas. (Tesis de doctorado). Recuperado de: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/22796>

Zegeer, J. (2000). Highway capacity manual. Recuperado de Transportation research board: [https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway\\_capacity\\_manual.pdf](https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway_capacity_manual.pdf)

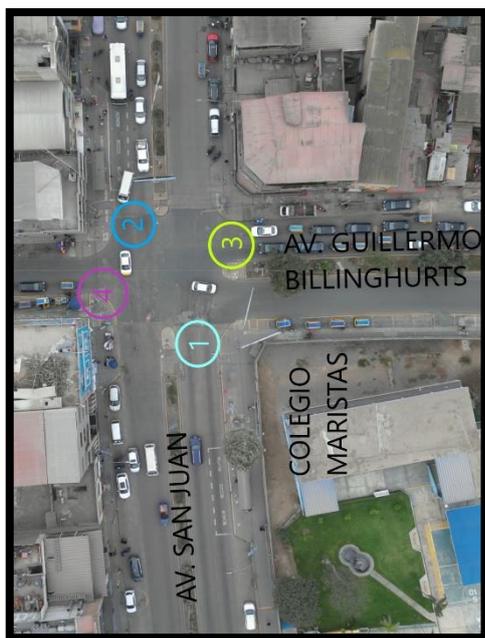
Gustavo Rodríguez G. y Saul Pomares E. H. (2009). "Desarrollo de un Modelo de Simulación Vehicular para la Mejora en la Sincronización de Semáforos"

Minsky, M. (1965). Matter, Mind and Models. Recuperado de <https://groups.csail.mit.edu/medg/people/doyle/gallery/minsky/mmm.html>

Whitham, G. (1955). On Kinematic Waves. II. A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Roads

Papageorgiou, M. (2003). Review of road traffic control strategies

## ANEXO



*Fotografía 1: Intersección de estudio. Av. San Juan cruce con Av. Guillermo Billinghurst*

Fuente: Elaboración Propia.



*Fotografía 2: Estudio y medición de colas generadas en la intersección.*

Fuente: Elaboración Propia.



Fotografía 3: Tiempo de viaje en la intersección.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 19:  
Conteo vehicular - Entrada 1

		Hora	BUS	COASTERS	COMBIS	CAMIONES	AUTO	MOTOCICLETA	BICICLETA	MOTOTAXIS
1	↶	17:22-17:27	1	0	0	2	14	2	0	8
		17:27-17:32	1	1	0	0	5	2	0	5
		17:32-17:37	0	0	0	2	6	1	0	9
		17:37-17:42	1	0	0	2	6	3	0	6
		17:42-17:47	1	0	3	0	13	1	0	7
		17:47-17:52	1	0	0	1	8	2	0	6
		17:52-17:57	0	0	0	0	1	1	0	5
		17:57-18:02	1	0	0	0	9	1	0	5
		18:02-18:07	1	0	2	0	17	2	0	17
		18:07-18:12	2	0	2	0	14	1	0	16
		18:12-18:17	1	0	1	0	11	3	0	10
		18:17-18:22	2	0	1	0	12	3	1	7
	17:22-17:27	0	5	8	1	15	4	0	10	
	17:27-17:32	0	2	11	0	9	4	0	2	
	17:32-17:37	0	6	0	3	3	6	0	6	
	17:37-17:42	0	3	8	0	2	8	1	5	
	17:42-17:47	0	5	7	0	11	4	0	4	
	17:47-17:52	0	6	7	0	12	4	1	2	
	17:52-17:57	0	1	0	0	3	0	0	3	
	17:57-18:02	0	5	6	0	12	5	0	2	
	18:02-18:07	1	5	9	0	13	5	0	6	
	18:07-18:12	0	3	9	2	5	4	1	5	
	18:12-18:17	0	6	13	1	8	1	0	1	
	18:17-18:22	0	7	11	0	16	9	0	5	
	17:22-17:27	0	2	1	0	4	1	0	3	
	17:27-17:32	0	2	2	0	5	2	0	1	
	17:32-17:37	0	1	2	0	3	0	0	0	
	17:37-17:42	0	4	1	0	3	1	0	2	
	17:42-17:47	0	3	1	0	2	1	0	1	
	17:47-17:52	0	2	0	0	0	0	0	0	
	17:52-17:57	0	1	0	0	3	0	0	3	
	17:57-18:02	1	0	2	0	0	0	0	2	
	18:02-18:07	1	2	0	0	0	0	0	0	
	18:07-18:12	0	1	0	0	1	0	0	0	
	18:12-18:17	0	2	2	1	2	0	0	2	
	18:17-18:22	1	1	4	1	4	0	0	3	
<b>TOTAL</b>			16	76	113	16	252	81	4	169

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 20:  
 Conteo vehicular - Entrada 2

		Hora	BUS	COASTERS	COMBIS	CAMIONES	AUTO	MOTOCICLETA	BICICLETA	MOTOTAXIS	
2		17:22-17:27	0	0	0	0	6	2	0	2	
		17:27-17:32	0	0	0	0	5	0	0	2	
		17:32-17:37	0	0	0	0	3	2	0	5	
		17:37-17:42	0	0	0	0	2	0	0	3	
		17:42-17:47	0	0	0	0	5	1	0	8	
		17:47-17:52	0	0	0	0	2	0	0	4	
		17:52-17:57	0	0	0	0	2	1	0	3	
		17:57-18:02	0	0	0	0	2	0	0	3	
		18:02-18:07	0	0	0	0	4	1	0	1	
		18:07-18:12	0	0	0	0	6	1	0	5	
		18:12-18:17	0	0	0	0	0	4	0	3	
		18:17-18:22	0	0	1	0	2	0	0	9	
	17:22-17:27		17:22-17:27	0	7	12	0	19	9	0	12
	17:27-17:32		0	5	14	1	25	1	0	10	
	17:32-17:37		0	5	10	0	23	7	0	11	
	17:37-17:42		0	4	5	0	15	3	0	7	
	17:42-17:47		1	4	9	2	25	4	0	11	
	17:47-17:52		1	4	9	2	19	5	1	6	
	17:52-17:57		1	1	13	3	19	5	0	8	
	17:57-18:02		1	3	14	4	9	10	0	13	
	18:02-18:07		0	4	9	0	33	8	0	12	
	18:07-18:12		0	5	12	0	28	4	1	9	
	18:12-18:17		0	4	8	1	21	4	0	8	
	18:17-18:22		1	8	11	1	29	12	0	11	
	17:22-17:27		17:22-17:27	0	0	0	0	6	1	0	5
	17:27-17:32		0	0	0	0	6	5	0	2	
	17:32-17:37		0	0	0	0	7	1	0	4	
	17:37-17:42		0	0	0	0	6	1	0	4	
	17:42-17:47		0	0	1	0	5	0	0	3	
	17:47-17:52		0	0	0	1	5	2	0	4	
	17:52-17:57		0	0	0	0	4	3	0	6	
	17:57-18:02		0	0	0	0	8	1	0	3	
	18:02-18:07		0	0	0	0	8	2	0	4	
	18:07-18:12		0	0	0	0	3	4	0	5	
	18:12-18:17		0	0	0	1	2	0	0	2	
	18:17-18:22		0	0	0	0	6	0	1	4	
<b>TOTAL</b>			5	54	128	16	370	104	3	212	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 21:  
 Conteo vehicular - Entrada 3

		Hora	BUS	COASTERS	COMBIS	CAMIONES	AUTO	MOTOCICLETA	BICICLETA	MOTOTAXIS	
3		17:22-17:27	0	0	0	0	9	1	0	2	
		17:27-17:32	0	0	0	0	15	6	0	1	
		17:32-17:37	0	0	0	0	5	4	0	2	
		17:37-17:42	0	0	0	1	3	6	0	1	
		17:42-17:47	0	0	0	0	2	6	0	2	
		17:47-17:52	0	0	0	1	7	2	0	5	
		17:52-17:57	0	0	0	0	6	5	0	1	
		17:57-18:02	0	1	0	0	4	7	0	2	
		18:02-18:07	0	1	0	0	9	7	0	5	
		18:07-18:12	0	0	0	0	8	5	0	5	
		18:12-18:17	0	0	0	0	4	1	0	0	
		18:17-18:22	0	0	0	1	4	3	0	3	
	17:22-17:27		17:22-17:27	0	1	1	0	13	4	0	15
	17:27-17:32		0	2	2	1	22	4	0	17	
	17:32-17:37		0	0	0	1	22	6	0	7	
	17:37-17:42		0	0	0	1	15	5	0	13	
	17:42-17:47		0	0	0	0	18	4	0	22	
	17:47-17:52		0	0	1	2	16	1	0	9	
	17:52-17:57		0	0	1	0	21	3	0	13	
	17:57-18:02		0	0	1	0	14	5	0	14	
	18:02-18:07		0	0	0	1	16	10	0	16	
	18:07-18:12		0	0	0	0	17	3	0	13	
	18:12-18:17		0	0	1	0	13	3	0	7	
	18:17-18:22		0	0	0	0	18	6	0	19	
	17:22-17:27		17:22-17:27	0	0	0	0	12	0	0	4
	17:27-17:32		2	0	0	2	15	3	0	12	
	17:32-17:37		1	0	1	1	11	6	0	15	
	17:37-17:42		0	0	1	0	12	0	0	8	
	17:42-17:47		1	0	0	0	21	4	0	14	
	17:47-17:52		1	0	0	0	13	2	0	13	
	17:52-17:57		1	0	0	0	13	2	1	8	
	17:57-18:02		0	0	1	1	14	1	0	15	
	18:02-18:07		0	1	5	0	19	2	1	18	
	18:07-18:12		1	0	0	1	10	3	0	9	
	18:12-18:17		1	0	0	0	9	3	0	9	
	18:17-18:22		0	0	1	1	17	1	0	15	
<b>TOTAL</b>			8	6	16	15	447	134	2	334	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 22: Conteo vehicular - Entrada 4

### Conteo vehicular - Entrada 3

	Hora	BUS	COASTERS	COMBIS	CAMIONES	AUTO	MOTOCICLETA	BICICLETA	MOTOTAXIS
4	17:22-17:27	0	0	0	0	2	1	0	1
	17:27-17:32	0	0	0	0	0	0	0	1
	17:32-17:37	0	0	0	0	2	1	0	1
	17:37-17:42	0	0	0	0	1	0	0	2
	17:42-17:47	0	0	0	0	2	1	0	1
	17:47-17:52	0	0	0	1	0	0	0	1
	17:52-17:57	0	0	0	0	1	0	0	0
	17:57-18:02	0	0	0	0	0	2	0	4
	18:02-18:07	0	0	0	0	1	0	0	1
	18:07-18:12	1	0	0	0	5	2	0	1
	18:12-18:17	0	0	0	0	2	0	0	1
	18:17-18:22	0	0	0	0	3	0	0	1
	17:22-17:27	0	0	0	0	19	3	0	11
	17:27-17:32	0	1	2	1	11	2	0	6
	17:32-17:37	0	0	1	1	11	2	0	8
	17:37-17:42	0	0	3	1	8	0	0	7
	17:42-17:47	0	0	0	1	19	4	0	12
	17:47-17:52	0	1	1	0	9	1	0	9
	17:52-17:57	0	0	0	1	13	2	0	10
	17:57-18:02	0	1	0	2	18	1	0	10
	18:02-18:07	0	0	1	2	16	2	0	9
	18:07-18:12	0	0	2	1	12	9	0	12
	18:12-18:17	0	0	0	3	15	4	0	12
	18:17-18:22	0	0	0	0	12	5	1	11
	17:22-17:27	0	0	0	0	0	0	0	1
	17:27-17:32	0	0	0	0	0	0	0	1
	17:32-17:37	0	0	0	0	1	0	0	0
	17:37-17:42	0	0	0	0	1	0	0	0
	17:42-17:47	0	0	0	0	0	0	0	2
	17:47-17:52	0	0	0	0	0	0	0	0
17:52-17:57	0	0	0	0	1	0	0	0	
17:57-18:02	0	0	0	0	0	0	0	0	
18:02-18:07	0	0	0	0	1	0	0	0	
18:07-18:12	0	0	0	0	1	3	0	0	
18:12-18:17	0	0	0	0	1	0	0	0	
18:17-18:22	0	0	0	0	2	0	0	0	
<b>TOTAL</b>		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>190</b>	<b>45</b>	<b>1</b>	<b>136</b>

Fuente: Elaboración Propia