

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

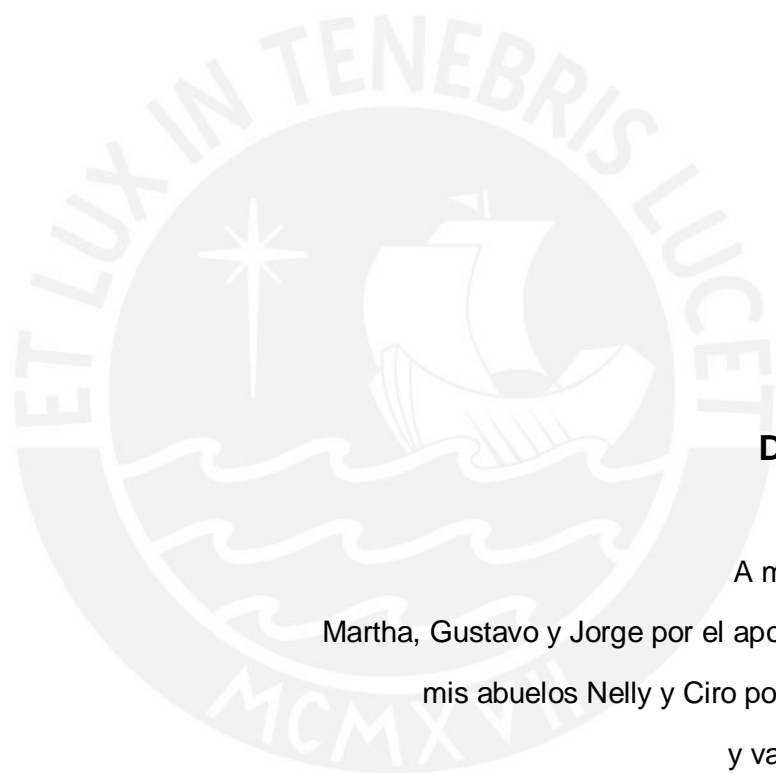
**ANÁLISIS POR MICRO SIMULACIÓN DE LA INTERSECCIÓN**  
**ENTRE LA AV. BRASIL Y EL JR. GENERAL BORGÑO**  
**EMPLEANDO VISSIM 8**

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

**César Joao Salazar Solano**

**ASESOR:** Félix Israel Cabrera Vega

Lima, agosto del 2018



## **DEDICATORIA**

A mi querida familia,  
Martha, Gustavo y Jorge por el apoyo incondicional,  
mis abuelos Nelly y Ciro por las enseñanzas  
y valores inculcados.

A mi asesor Israel Cabrera por los consejos  
brindados a lo largo de esta etapa.

## RESUMEN

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 microsimulación 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.

## ÍNDICE

### **Contenido**

Lista de figuras.....	vii
Lista de tablas.....	ix
Lista de ecuaciones.....	ix
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos .....	1
1.1.1. Objetivo general.....	1
1.1.2. Objetivo específico.....	1
1.2. Alcance del proyecto .....	2
<b>CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. Antecedentes.....	3
2.2. Modelos de simulación de tránsito .....	4
2.2.1. Generalidades .....	4
2.2.2. Clasificación de los modelo .....	4
2.2.2.1. Modelos Macroscópicos.....	4
2.2.2.2. Modelos Mesoscópicos.....	5
2.2.2.3. Modelos Microscópicos.....	5
2.3. Fundamentos de la microsimulación .....	5
2.3.1. Aleatoriedad en el flujo de tráfico.....	6
2.3.2. Generación de vehículos.....	7
2.3.2.1. Número semilla .....	8
2.3.3. Movimiento e interacción de vehículos .....	9
2.3.3.1. Cambio de carril y brecha aceptable.....	9
2.3.3.2. Modelos de seguimiento vehicular .....	10
2.3.4. Número de corridas.....	14
2.3.5. Periodo de estabilidad.....	15
2.4. Modelo de microsimulación VISSIM.....	15

2.4.1. Definición .....	16
2.4.2. Aplicación.....	16
2.4.3. Características del modelo .....	17
2.4.4. Elementos de entrada del modelo.....	18
2.4.4.1. Funciones de aceleración y deceleración.....	19
2.4.4.2. Distribuciones .....	19
2.4.4.3. Tipos de vehículos .....	20
2.4.4.4. Clases de vehículos.....	20
2.4.5. Comportamiento de conducción .....	20
2.4.5.1. Cambio de carril .....	20
2.4.5.2. Comportamiento Lateral.....	21
2.4.5.3. Control por Semaforización .....	21
2.5. Microsimulación peatonal .....	21
2.5.1. Introducción.....	21
2.5.2. Viswalk.....	22
2.5.3. Modelo de la fuerza social .....	22
2.5.3.1. Fuerza de dirección ( $Fd$ ).....	22
2.5.3.2. Fuerza de repulsión ( $F\alpha\beta r$ ) .....	23
2.5.3.3. Fuerza de límite ( $FB$ ).....	24
2.5.3.4. Fuerza de giro a la izquierda vehicular ( $Fv$ ) .....	25
2.5.3.5. Fuerza por semáforo ( $Fs$ ) .....	26
2.6. Diseño vial y señalización de intersecciones .....	26
2.6.1. Principios del diseño vial .....	27
2.6.2. Elementos de diseño de intersecciones .....	28
2.6.2.1. Paso de peatones y cruces .....	28
2.6.2.2. Radios de las esquinas .....	30
2.6.2.3. Distancia de visibilidad.....	32
2.6.3. Principios de señalización .....	32
2.6.3.1. Duración de los ciclos de una señal .....	34

2.6.3.2. Estrategias de tiempo fijo .....	35
2.6.3.3. Estrategias de control sensibles al tráfico .....	36
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DEL PROYECTO Y RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO .....	37
3.1. Consideraciones generales .....	37
3.2. Alcance del proyecto .....	37
3.3. Recolección y procesamiento de datos .....	38
3.4. Desarrollo de modelo base .....	41
3.5. Comprobación de errores .....	42
3.6. Calibración del modelo .....	42
3.7. Validación del modelo .....	42
3.8. Análisis de alternativas y soluciones .....	43
CAPÍTULO 4. PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO.....	44
4.1. Flujos vehiculares .....	44
4.2. Flujos peatonales .....	45
4.3. Datos de calibración y validación .....	47
CAPÍTULO 5. DESARROLLO DEL MODELO, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROYECTO.....	49
5.1. Desarrollo del modelo .....	49
5.1.1. Imagen de fondo .....	49
5.1.2. Link y conectores .....	50
5.1.3. Señales de control semafórico .....	51
5.1.4. Creación de flujos vehiculares y peatonales .....	51
5.1.5. Asignación de rutas estáticas .....	54
5.1.6. Áreas de conflicto y reglas de prioridad .....	54
5.2. Verificación de errores y comprobación del modelo .....	55
5.3. Calibración del modelo .....	57
5.3.1. Parámetros de Wiedemann y modelo de la fuerza social .....	57
5.3.1.1. Parámetros de Wiedemann .....	57

5.3.1.2. Modelo de la fuerza social .....	61
5.4. Validación del modelo .....	62
CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTAS DE MEJORA .....	64
6.1. Análisis de resultados .....	64
6.1.1. Velocidad de viaje vehicular .....	65
6.1.2. Demora de viaje vehicular .....	65
6.1.3. Longitudes de colas .....	66
6.1.4. Velocidad y tiempo de viaje peatonal .....	67
6.2. Propuestas de mejora .....	69
6.2.1. Rediseño geométrico de la intersección .....	69
6.2.1.1. Cruceos peatonales y geometría de las esquinas .....	70
6.2.1.2. Accesibilidad universal .....	71
6.2.1.3. Encauzamiento del tráfico vehicular .....	72
6.2.1.4. Análisis de resultados .....	72
6.2.2. Optimizar el ciclo de semáforo en la intersección .....	73
6.2.2.1. Análisis de resultados .....	74
6.3. Evaluación estadística de la propuesta de mejora .....	75
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	78
REFERENCIAS .....	80

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Intersección de las avenidas Brasil y General Borgoño.....	2
Figura 2. Simulación de una intersección multimodal .....	3
Figura 3. Teoría de flujo de tráfico.....	6
Figura 4. Nivel de agresividad del conductor a partir de un modelo estocástico .....	8
Figura 5. Velocidad y volumen de flujo a partir de múltiples semillas aleatorias.....	9
Figura 6. Diagrama de flujo que ilustra el proceso de cambio de carril en calles....	10
Figura 7. Modelo de seguimiento vehicular (de acuerdo con: Wiedemann 1974)...	14
Figura 8. Intersección modelada por VISSIM.....	17
Figura 9. Representación de los cuatro bloques de construcción.....	18
Figura 10. Fuerza impulsadora .....	23
Figura 11. Fuerza repulsiva .....	24
Figura 12. Fuerza limite.....	25
Figura 13. Fuerza de giro a la izquierda vehicular .....	26
Figura 14. Cruce peatonal en vereda angosta .....	30
Figura 15. Radio de esquina convencional .....	31
Figura 16. Intersección de calles con extensiones de vereda en las esquinas.....	32
Figura 17. Ciclo de semáforo largo en una vía principal .....	34
Figura 18. Redistribución y disminución del ciclo de señal .....	35
Figura 19. Ilustración de la operación del método de intervalo de vehículos .....	36
Figura 20. Metodología del proyecto .....	37
Figura 21. Datos geométricos de la intersección.....	39
Figura 22. Lugar de videograbación .....	40
Figura 23. Flujograma vehicular (vehículos/hora) del jirón Gral. Borgoño.....	44
Figura 24. Zonas de origen-destino para peatones .....	45
Figura 25. Flujograma peatonal (peatones/hora) con origen en C.....	46
Figura 26. Distancias utilizadas para tiempos de viaje .....	47
Figura 27. Background del proyecto.....	49
Figura 28. Creación y edición de links.....	50
Figura 29. Creación de carriles del proyecto.....	50
Figura 30. Distribución de tiempos de semáforo para cada fase .....	51
Figura 31. Composición vehicular .....	52
Figura 32. Creación de vehículos.....	52
Figura 33. Asignación de vehículos a un determinado tipo .....	53
Figura 34. Flujos vehiculares para intervalos de 15 minutos.....	53
Figura 35. Rutas estáticas vehiculares .....	54



Figura 36. Áreas de conflicto en la intersección .....	55
Figura 37. Tiempo de parada de buses de transporte público .....	55
Figura 38. Verificación de errores en la Av. Brasil .....	56
Figura 39. Semáforos invisibles ubicados en el paradero de transporte público ....	56
Figura 40. Medidas del tiempo de viaje de vehículos para cada vía .....	57
Figura 41. Parámetros de la fuerza social .....	57
Figura 42. Calibración de la Av. República Dominicana a partir del juego N°11 .....	60
Figura 43. Distribución de velocidad deseada de peatones .....	61
Figura 44. Juego de parámetros que no verificó (auxiliar sur de la Av. Brasil) .....	63
Figura 45. Flujos de cada vía para la calibración y validación .....	64
Figura 46. Cruceos peatonales [1, 2, 3, 4] .....	68
Figura 47. Giro procedente de la av. República D. con sentido hacia el sur .....	69
Figura 48. Giro procedente de la av. República D. con sentido hacia el norte .....	69
Figura 49. Desplazamiento de paraderos autorizados en la av. Brasil .....	70
Figura 50. Reducción de cruces peatonales y extensión de veredas .....	70
Figura 51. Uniformidad de rampas y crucesos peatonales .....	71
Figura 52. Comparación de las longitudes de colas para cada escenario .....	73
Figura 53. Comparación de las longitudes de colas para cada escenario .....	75
Figura 54. Evaluación estadística de las demoras de viaje vehiculares .....	76
Figura 55. Evaluación estadística de las velocidades de viaje vehiculares .....	76
Figura 56. Evaluación estadística de los tiempos de viaje peatonales .....	77
Figura 57. Evaluación estadística de las velocidades de viaje peatonales .....	77

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos de tiempos de semáforo obtenidos en campo de la av. Brasil .....	40
Tabla 2. Volumen vehicular del jirón Gral. Borgoño de acuerdo al periodo .....	44
Tabla 3. Distribución del volumen por tipo de vehículo.....	45
Tabla 4. Volumen peatonal con origen en C .....	46
Tabla 5. Número mínimo de mediciones necesarias para la calibración.....	47
Tabla 6. Número mínimo de corridas necesarias para la validación .....	48
Tabla 7. Parámetros de Wiedemann .....	58
Tabla 8. Resumen de parámetros para la calibración vehicular del modelo .....	58
Tabla 9. Tiempos de viaje (en segundos) obtenidos en el VISSIM.....	59
Tabla 10. Calibración del modelo a partir del juego de parámetros N°11 .....	59
Tabla 11. Resultados posibles .....	61
Tabla 12. Parámetros de Viswalk.....	62
Tabla 13. Resumen de valores obtenidos para la calibración de peatones.....	62
Tabla 14. Validación del modelo .....	63
Tabla 15. Velocidad promedio de viaje en la intersección .....	65
Tabla 16. Demora promedio en la intersección .....	66
Tabla 17. Longitudes de cola promedio en la intersección.....	67
Tabla 18. Velocidad y tiempo de viaje promedio .....	67
Tabla 19. Tiempo de viaje promedio (s).....	68
Tabla 20. Velocidad y demora de viaje promedio vehicular .....	72
Tabla 21. Comparación de velocidad y demora promedio de viaje en vehículos ...	74
Tabla 22. Comparación de velocidad y tiempo promedio de viaje para peatones ..	75

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Relación estímulo-respuesta .....	11
Ecuación 2. Modelo de seguimiento vehicular .....	11
Ecuación 3. Modelo de Gipps a flujo libre .....	12
Ecuación 4. Modelo de Gipps a flujo condicionado .....	12
Ecuación 5. Velocidad definitiva en el modelo de Gipps.....	12
Ecuación 6. Posición del vehículo $n$ en la ecuación de movimiento .....	13
Ecuación 7. Número de corridas necesarias.....	15

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

La congestión vehicular es un problema considerable en Lima en los últimos años, esto se refleja en el crecimiento demográfico continuo, el centralismo financiero, la escasa planificación urbanística y el crecimiento sostenido del parque automotor. Las entidades responsables, como la Municipalidad de Lima, optan por el aumento de infraestructura vial que sea capaz de soportar este crecimiento; más bien, estos intentos no son adecuados y generan el aumento del parque vehicular. Todo ello, se traduce en largas colas y tiempos de espera por parte de los conductores que se ven agobiados por la demora en sus trayectos.

Por lo anterior, se plantea el uso adecuado de un modelo de microsimulación, para replicar los patrones de tráfico, así como el comportamiento del conductor limeño en una intersección ubicada en Jesús María, en el cruce entre la avenida Brasil y el Jirón General Borgoño. Se obtendrán resultados e indicadores que representen satisfactoriamente el comportamiento del tránsito en aquella zona. De esta manera, es posible plantear detalladamente las posibles soluciones que mejoren el cruce mediante el uso de VISSIM y VISWALK 8.0, herramientas para la simulación microscópica y multimodal de tránsito.

### **1.1. Objetivos**

#### **1.1.1. Objetivo general**

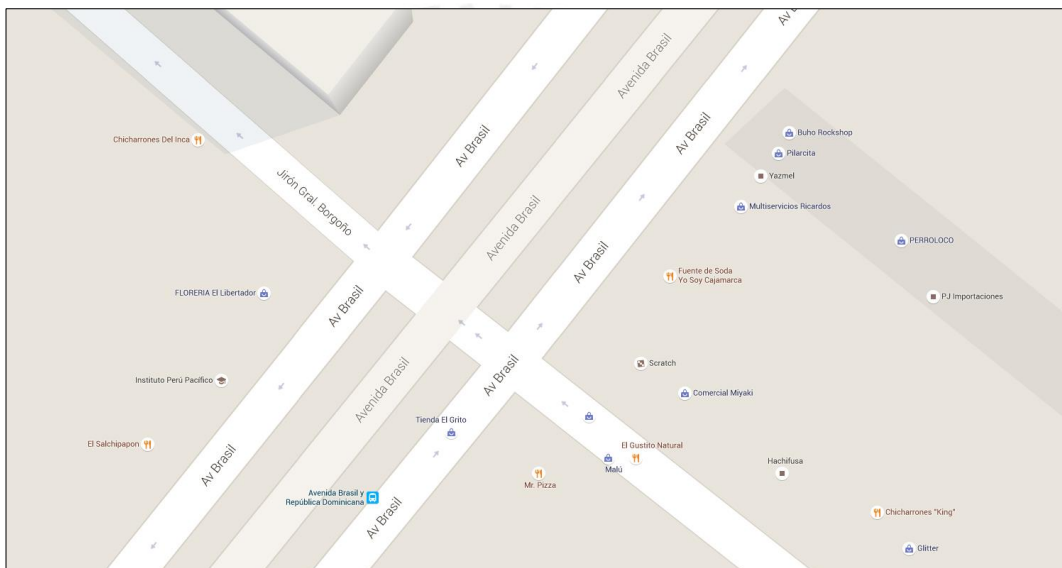
Analizar los desplazamientos de todos los modos de transporte en la intersección de la Av. Brasil y el Jr. General Borgoño a partir de un modelo de microsimulación empleando VISSIM y VISWALK 8.0.

#### **1.1.2. Objetivo específico**

Crear un modelo de microsimulación el cual pueda ser calibrado y validado para obtener indicadores que permitan representar eficientemente la realidad y el funcionamiento real de la intersección. Asimismo, proponer medidas de mejora a la situación actual con el fin de disminuir el congestionamiento vehicular que afecta a todos los usuarios en la red de transporte.

## 1.2. Alcance del proyecto

El proyecto analiza la intersección de la avenida Brasil y el Jirón General Borgoño, en el distrito de Jesús María. El Jirón General Borgoño, a pocas cuadras del cruce, posee una actividad comercial considerable, por lo que el flujo peatonal y vehicular es tan elevado como en la avenida principal. Además, la avenida paralela a Brasil, Gral. Garzón, posee a lo largo de todo su recorrido diversos locales de comida rápida, centros financieros y comerciales que tienen un impacto considerable en el flujo a lo largo de toda la avenida.



**Figura 1. Intersección de las avenidas Brasil y General Borgoño**

Fuente: Google Maps (2016)

## CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

El crecimiento acelerado de Lima Metropolitana, junto con el incremento del parque automotor ha generado problemas de orden social, económico y político, debido a la falta de una adecuada planificación. Esto ha creado la necesidad de buscar alternativas de solución para estos conflictos. El desarrollo económico de una ciudad tiene una estrecha relación con la planeación de la infraestructura de tránsito, ya que está designada para mejorar la calidad de vida de sus habitantes y proporcionar seguridad para todos los usuarios. Por ello, se han venido desarrollando herramientas computacionales que permitan la simulación de la operación del tránsito para visualizar los posibles escenarios de mejoras que se podrían implementar en la ciudad, reduciendo costos y tiempo.

Por esta razón se ha determinado en este proyecto el uso de VISSIM y VISWALK 8, los cuales modelan todos los tipos de medios de transporte y simulan su interacción; de esta manera se representa con exactitud la selección del carril, el cambio de carril y el comportamiento de seguimiento vehicular. VISSIM utiliza diferentes modelos que el usuario puede adaptar a las circunstancias locales a través de parámetros. Entre ellos está el modelo de seguimiento de Wiedemann, cambio de carriles basado en reglas y el modelo de la fuerza social para la dinámica de peatones.

En consecuencia, se pueden modelar diferentes escenarios multimodales de forma realista y valorarlos según su desempeño. El software considera tráfico motorizado y no motorizado como el caso de peatones y bicicletas (PTV, 2016).



**Figura 2. Simulación de una intersección multimodal**

Fuente: PTV (2016)

## **2.2. Modelos de simulación de tránsito**

### **2.2.1. Generalidades**

Los modelos utilizados para el tránsito vehicular están basados en teorías con enfoques microscópicos y macroscópicos, estos se basan en métodos matemáticos los cuales representan el comportamiento del flujo. La simulación de modelos está destinada a reproducir el comportamiento del tráfico en una red de transporte a través del tiempo y espacio, con el fin de pronosticar el rendimiento del mismo.

Los modelos de simulación de tránsito se representan a través de los modelos fluido-dinámicos y la teoría del seguimiento vehicular. En el primero, el tráfico es considerado como un flujo continuo de partículas idénticas, es decir, su representación se da en base a variables de estado promedio. A diferencia de este, la teoría de seguimiento vehicular interpreta las interacciones entre dos vehículos: el antecesor y el sucesor (Fernandez, 2011).

### **2.2.2. Clasificación de los modelo**

La clasificación más frecuente se basa en los detalles de simulación y se consideran tres escalas que son los macroscópicos, mesoscópicos y microscópicos.

#### **2.2.2.1. Modelos Macroscópicos**

Los modelos macroscópicos son apropiados para aplicaciones de gran escala, donde las principales variables de interés se encuentran relacionadas con las características de flujo (Whitham, 1955). Estos modelos no consideran características del vehículo-conductor a detalle, es por ello que los resultados podrían ser beneficiosos cuando se trate de proyectos que requieran ser ejecutados a corto plazo, ya que implican un menor tiempo de análisis (Elefteriadou, 2013). Estos modelos replican el movimiento de un grupo de vehículos y se caracterizan por ser representaciones continuas del flujo de tránsito y describen características como la densidad de tráfico y la velocidad del flujo.

### **2.2.2.2. Modelos Mesoscópicos**

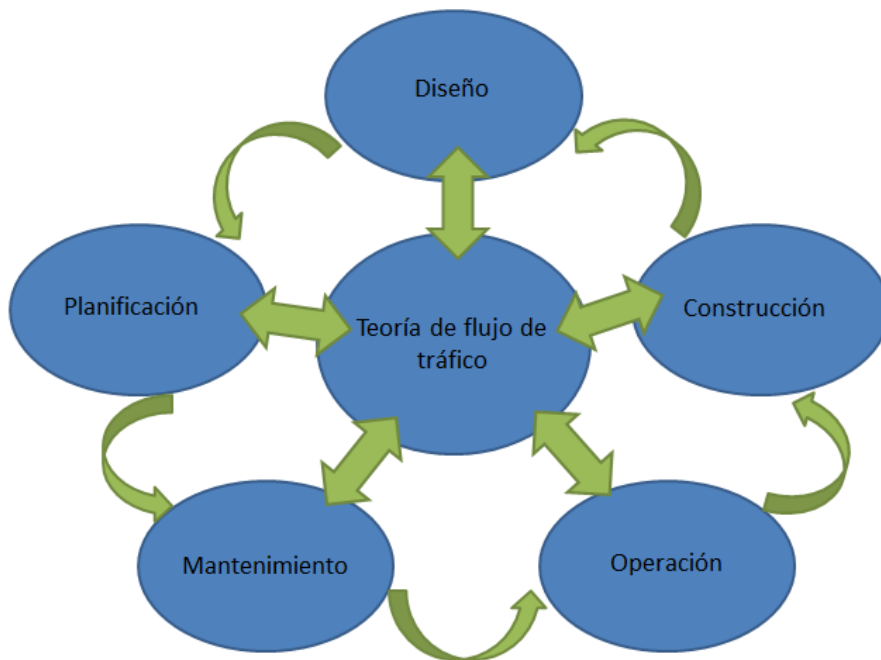
Los modelos mesoscópicos presentan una aproximación intermedia entre los microscópicos y los macroscópicos, debido a que mezclan conceptos y herramientas de ambos modelos al analizar el comportamiento de los conductores en conjunto (Papageorgiou, 2003). Estos modelos se distinguen de los microscópicos fundamentalmente en el seguimiento vehicular y en la cantidad de información sobre cada vehículo, ya que describen sus interacciones en base al comportamiento en grupo de los conductores. Es un modelo en donde los tiempos de intervalo corresponden a intervalos entre eventos, simplificando el modelo y permitiendo la calibración en base a tres parámetros que son: la velocidad en flujo libre del carril, el tiempo de reacción del conductor y la densidad máxima de congestión en la vía.

### **2.2.2.3. Modelos Microscópicos**

Un modelo microscópico consta de una infraestructura que está ocupada por un conjunto de vehículos y cada vehículo interactúa con su entorno de acuerdo a sus propias reglas (Wiering, 2004). Se simulan las características e interacciones de cada vehículo con otros en el flujo de tránsito y se producen trayectorias de los mismos a través de la red de transporte. El comportamiento incluye la descripción de cómo los vehículos se mueven, por lo que comprende aceleraciones, desaceleraciones, cambios de carril, adelantamientos, representan la conducta del conductor en condiciones de tránsito reales (FHWA, 2004).

## **2.3. Fundamentos de la microsimulación**

La ingeniería de transporte se basa sobre cinco aspectos esenciales en el ciclo de vida de un determinado proyecto de transporte: la planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento. La teoría de flujo de tráfico describe esencialmente la fase de operación, sin embargo, sus herramientas y métodos se utilizan a lo largo de todo el espectro de análisis del proyecto. La teoría de flujo de tráfico está enfocada en la capacidad y en la calidad operacional, es decir, tiene por objetivo evaluar la importancia del funcionamiento de un flujo de tráfico dado un conjunto de condiciones asumidas, como pueden ser el porcentaje de buses en el flujo de tráfico o el propio diseño de la carretera (Elefteriadou, 2013).



**Figura 3. Teoría de flujo de tráfico**

Fuente: Adaptado (Elefteriadou, 2013)

La simulación de tráfico describe sus cambios en dos tipos, los cuales dependen en cómo se actualizan. El primer tipo está basado en el tiempo, donde el simulador mantiene un registro de los vehículos a cada paso de tiempo y recoge estadísticas sobre esa base, la mayoría de modelos de micro simulación emplean una resolución de 0.1s para su actualización. En el segundo tipo los intervalos de tiempo varían en longitud y corresponden a intervalos entre eventos (FHWA, 2004), el estado y la ubicación de cada unidad de tráfico se actualiza sólo cuando se produce un evento (por ejemplo, cuando llega un vehículo o cuando una señal de tráfico cambia de rojo a verde). Se utiliza este modelo para sistemas cuyos estados cambian con poca frecuencia.

### 2.3.1. Aleatoriedad en el flujo de tráfico

La simulación representa la aleatoriedad del tráfico a través de modelos estocásticos. En cambio los modelos determinísticos asumen que no existe variabilidad en el comportamiento del conductor o en las características del vehículo, por lo que se producen los mismos resultados con idénticos datos de



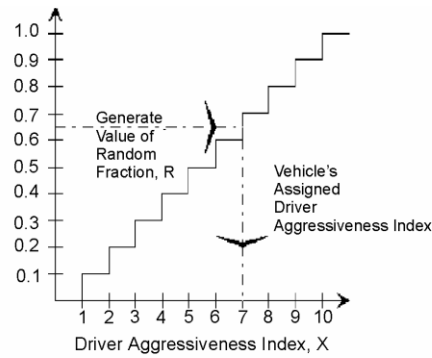
entrada. Por otro lado, a los modelos estocásticos se les asigna distribuciones estadísticas a través de números aleatorios que estipulen el comportamiento del conductor y las características del vehículo. Al cambiar aleatoriamente estos números se producen diferentes valores a pesar de introducir datos de entrada idénticos (FHWA, 2004).

### 2.3.2. Generación de vehículos

Una vez ingresado un vehículo a la red de transporte, el modelo de simulación le asignará características a este, que pueden ser propios del vehículo, como tipo (auto, camión, bus, etc.), ancho, longitud, velocidad máxima, aceleración y desaceleraciones máximas, etc. Así como propias del conductor como lo pueden ser el tiempo de reacción, la agresividad, la velocidad deseada, etc.

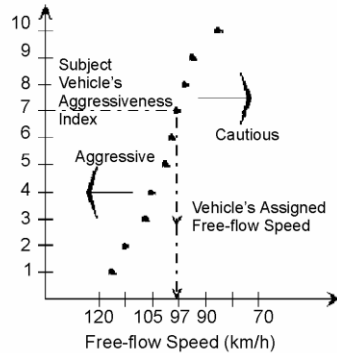
Estas características se mantienen constantes para modelos determinísticos o en función de distribuciones de probabilidad para los modelos estocásticos. La mayoría de modelos de microsimulación emplean distribuciones estadísticas que representan los atributos del conductor y sus respectivos parámetros, los cuales deben ser calibrados para reflejar las condiciones locales.

La siguiente gráfica determina el nivel de agresividad con valores entre 1 y 10, donde 1 representa un comportamiento bastante agresivo, mientras que 10 es muy cauteloso. Este valor de agresividad se produce a través de un número aleatorio  $R$  para cada vehículo de la red de transporte. Posteriormente, con el número de agresividad obtenido (7 en el ejemplo de la figura) se obtiene la velocidad que alcanza el vehículo en un flujo libre, así como la desaceleración durante la maniobra de cambio de carril.



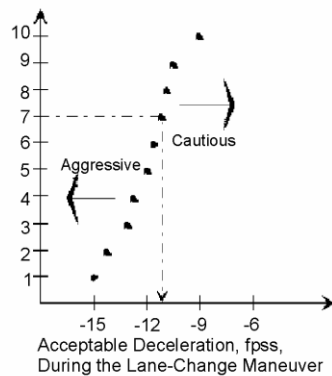
Note:  
Random-number generator produces a value,  $R$ , for each entitled vehicle. Application of the *inverse transformation method* to this distribution assigns a value of  $X$  to the vehicle, defining the driver's aggressiveness.

(a) Discretized Uniform Distribution



Note:  
This distribution implies that aggressive drivers select higher free speeds.

(b) Discretized Distribution relating Driver Aggressiveness Index to Desired Free-flow Speed



Note:  
This distribution implies that aggressive drivers accept higher risks --they are willing to accept situations that could require high deceleration to avoid a collision.

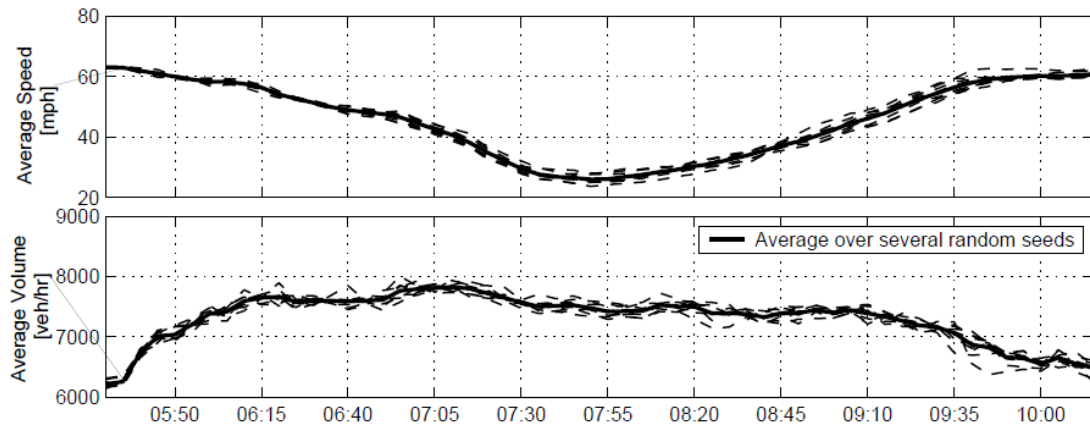
(c) Discretized Distribution relating Driver Aggressiveness Index to Acceptable Deceleration during Lane-Change Maneuver

Figura 4. Nivel de agresividad del conductor a partir de un modelo estocástico

Fuente: (FHWA, 2004)

### 2.3.2.1. Número semilla

El número semilla es un parámetro que inicia la generación de números aleatorios para la obtención de parámetros que modifican el comportamiento y características del conductor y vehículo, respectivamente (Oregon Department of Transportation, 2011). El número semilla afecta directamente a las cantidades estocásticas presentes en el software, tales como el flujo de entrada, nivel de agresividad del conductor, etc (Cabinet Kentucky Transportation, 2014).



**Figura 5. Velocidad y volumen de flujo a partir de múltiples semillas aleatorias**

Fuente: (Gomes, 2004)

### 2.3.3. Movimiento e interacción de vehículos

Los vehículos al encontrarse en un flujo de carril libre, viajan a velocidades de deseo a través de los conectores que se ejecutan en el programa; sin embargo, estas velocidades son afectadas por la geometría designada (alineación horizontal y vertical), las condiciones del pavimento, etc. La interacción entre un vehículo líder y su seguidor, en un determinado carril, es correspondido por un mecanismo de estímulo-respuesta, en donde el comportamiento del vehículo seguidor es determinado tanto por la sensibilidad del conductor, como por el estímulo dado.

Esta interacción viene dada por cumplir una mínima distancia segura entre vehículos, que es a su vez determinada por parámetros como lo pueden ser las tasas de aceleración y desaceleración. Se determinan tres algoritmos básicos que son componentes clave en el movimiento vehicular en un programa de micro-simulación (FHWA, 2004). Estos son los modelos de seguimiento vehicular, el cambio de carril y la brecha aceptable.

#### 2.3.3.1. Cambio de carril y brecha aceptable

Se inicia el proceso de cambio de carril desde que se decide realizarse, hasta el momento en que se completa la operación. Esto implica una serie de reglas y supuestos, el cambio de carril puede ser categorizado como obligatorio o voluntario. En el primero de ellos se refiere a los cambios de carril necesarios que ocurren, por ejemplo, cuando se cierra un carril por la construcción de obras. El segundo se refiere a los cambios de carril por velocidad o con el fin de adelantarse al tráfico.

Este proceso está vinculado con la distancia de brecha aceptable, la cual se refiere al espacio o tiempo entre la parte trasera del vehículo líder y la parte delantera del vehículo seguidor (Oregon Department of Transportation, 2011) necesario para realizar un cambio de carril.

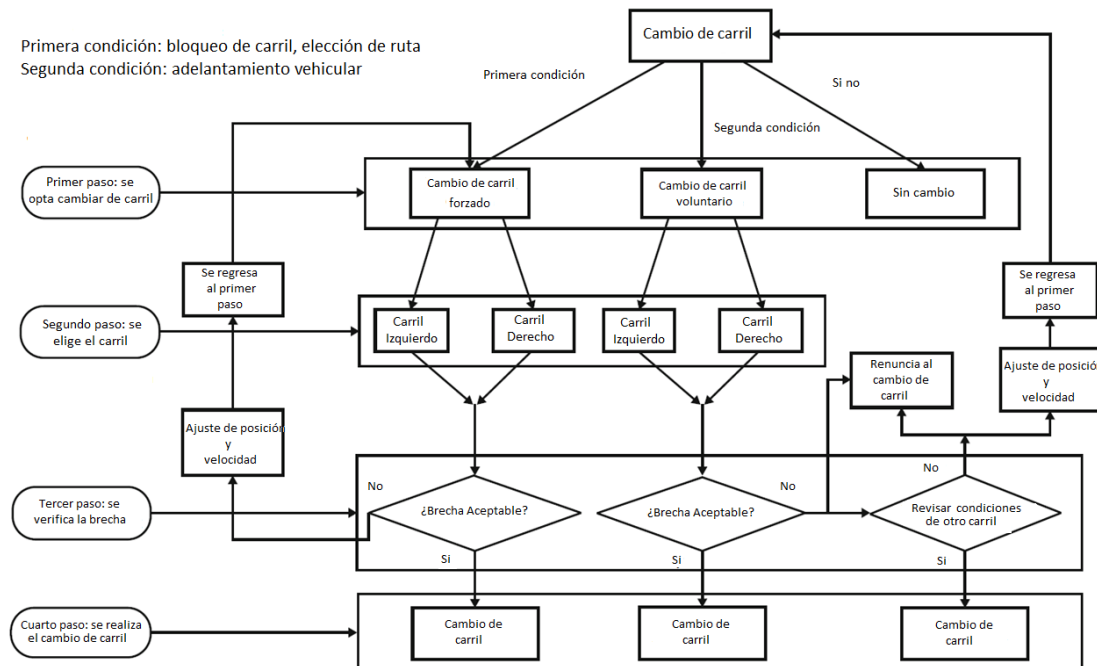


Figura 6. Diagrama de flujo que ilustra el proceso de cambio de carril en calles.

Fuente: Adaptado (Elefteriadou, 2013)

### 2.3.3.2. Modelos de seguimiento vehicular

Se desarrollaron con el fin de estimar el comportamiento de los vehículos en un flujo de tráfico. Es decir, estimar la respuesta del vehículo siguiente con respecto al comportamiento del vehículo líder (Dextre, 2000).

Se estima la trayectoria del vehículo seguidor en función de un vehículo líder, los algoritmos determinan la aceleración o velocidad del vehículo seguidor a un tiempo  $t + \Delta t$ , a partir de su posición relativa, velocidad y aceleración a un tiempo  $t$ . Las reglas del vehículo seguidor o sus ecuaciones pueden ser diferentes para distintos tipos de vehículos y conductores (Elefteriadou, 2013).

### 2.3.3.2.1. Modelo de la General Motor

Los modelos desarrollados por la General Motors se basan en la relación estímulo-respuesta, donde se refieren a que un conductor responde luego de un tiempo de reacción ante un cierto estímulo (Burgos, 2004). Este tiempo varía normalmente entre 0.5 y 2.0 segundos (Mayor, 2007). Se representa el modelo a partir de la siguiente expresión:

$$R(t + t_R) = \varphi * S(t)$$

**Ecuación 1**

Donde:

R: reacción

S: estímulo

$\varphi$ : función de sensibilidad

t: instante en el que ocurre el espaciamiento

$t_R$ : tiempo de reacción

Un estímulo puede representarse como, por ejemplo, un cambio en la velocidad o distancia respecto al vehículo que antecede, y una reacción es comúnmente una variación en la tasa de aceleración o desaceleración. Esta teoría de seguimiento vehicular da origen a una serie de modelos de la forma:

$$\ddot{X}_{n+1}(t + t_R) = \frac{\alpha_{ml} [\dot{X}_{n+1}(t)]^m}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]^l} [\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)]$$

**Ecuación 2**

Donde:

$\ddot{X}$ : tasa de aceleración o desaceleración del vehículo

$\dot{X}$ : velocidad del vehículo

X: posición del vehículo

$\alpha$ : factor de sensibilidad

m, l: constante

n: vehículo precedente

n+1: vehículo seguidor

Los exponentes  $m$ ,  $l$  toman diferentes valores según la sensibilidad de los conductores, donde dependen básicamente de factores como la velocidad del sujeto y el espacio entre vehículos.

### 2.3.3.2.2. Modelo de Gipps

Los modelos de Gipps adoptan un criterio de seguridad con el fin de evitar la colisión entre vehículos a partir de especificar una distancia de seguridad en función de la diferencia de velocidades y el tiempo de reacción del vehículo seguidor (Panwai, 2005). Este modelo especifica la velocidad de seguridad del vehículo seguidor  $v_n(t+T)$  e involucran los parámetros  $(v_a, v_b)$ , los cuales se calculan a partir de las siguientes expresiones.

Las dos ecuaciones mostradas a continuación representan las restricciones en la velocidad del vehículo  $n$  en el tiempo  $t+T$ .

La primera expresión corresponde a la velocidad en condiciones de flujo libre en donde solo está limitado por sus propias características. Se involucra la intención o voluntad de acelerar para alcanzar la velocidad deseada bajo un flujo libre.

$$v_{a(n,t+T)} = v_n(t) + 2,5a_n^{max}T \left[ 1 - \frac{v_n(t)}{v_n^{des}} \right] \sqrt{0,025 + \frac{v_n(t)}{v_n^{des}}}$$

**Ecuación 3**

La segunda expresión implica la limitación impuesta por las capacidades mecánicas del vehículo y la presencia de un vehículo líder (flujo condicionado).

$$v_{b(n,t+T)} = d_n^{max}T + \sqrt{(d_n^{max}T)^2 - d_n^{max} [2\{x_{n-1}(t) - s_{n-1}(t) - x_n(t)\} - v_n(t)T - \frac{v_{n-1}(t)^2}{d_{n-1}}]}$$

**Ecuación 4**

De esta manera la velocidad definitiva del vehículo  $n$  durante el intervalo  $(t+T)$  es el mínimo entre las dos velocidades definidas anteriormente.

$$v_{(n,t+T)} = \min\{v_{a(n,t+T)}, v_{b(n,t+T)}\}$$

**Ecuación 5**

Por lo tanto, la posición del vehículo  $n$  es actualizada considerando esta velocidad en la ecuación de movimiento:

$$x_{(n,t+T)} = x_{(n,t)} + v_{(n,t+T)}T$$

#### Ecuación 6

Donde:

$v_a(n, t)$ : velocidad del vehículo  $n$  en el movimiento  $t$

$T$ : tiempo de reacción o intervalo de simulación

$v_n^{des}$ : es la velocidad deseada del vehículo  $n$

$a_n^{max}$ : es la máxima aceleración del vehículo  $n$

$d_n^{max}$ : ( $<0$ ) es la máxima desaceleración deseada por el vehículo  $n$

$x_{n,t}$ : es la posición del vehículo  $n$  en el momento  $t$

$x_{(n-1,t)}$ : es la posición del vehículo precedente ( $n-1$ ) en el momento  $t$

$s_{n-1}$ : es la longitud efectiva del vehículo ( $n-1$ )

$d_{n-1}$ : estimación de la desaceleración deseada del vehículo ( $n-1$ )

#### 2.3.3.2.3. Modelo de Wiedemann

Los vehículos se mueven en la red utilizando un modelo de flujo de tráfico, la calidad del modelo es proporcional a la calidad de la simulación. En contraste con los modelos más sencillos en los que se proporciona una velocidad constante y un vehículo siguiendo una lógica determinista, VISSIM utiliza el modelo de percepción de Wiedemann (1974).

El concepto básico de este modelo es que el conductor de un vehículo, que se mueve más rápidamente, comienza a desacelerarse mientras que este alcanza su umbral de percepción individual con respecto a un vehículo en movimiento más lento. La reacción consciente dependerá de la diferencia de velocidad, la distancia y el comportamiento del conductor (Fellendorf, 1994). Si la red de transporte posee varios carriles, entonces se verificará si los vehículos manejan la posibilidad de encontrar las distancias de brechas aceptables en carriles vecinos. El conductor está directamente influenciado por el vehículo que viaja delante suyo, ya que el vehículo líder tendrá mucha mayor distancia. Por lo tanto este modelo se concentra en la influencia que genera el primer vehículo, por ello se denomina modelo de seguimiento vehicular (PTV, 2015).

En la siguiente gráfica, los ejes corresponden a la separación entre vehículos (eje vertical) y la velocidad relativa (eje horizontal).

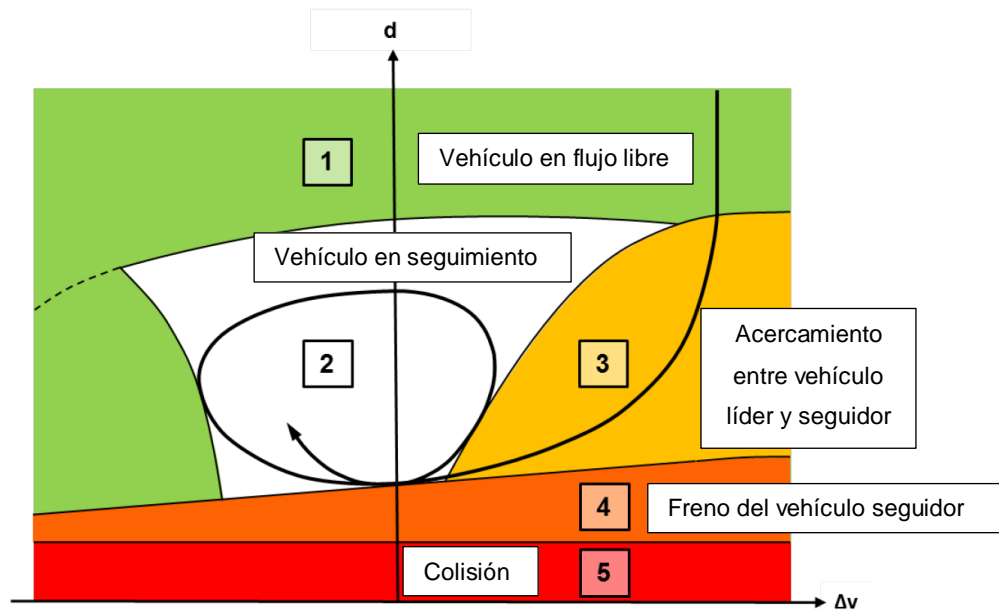


Figura 7. Modelo de seguimiento vehicular (de acuerdo con: Wiedemann 1974)

Fuente: Adaptado (PTV, 2015)

#### 2.3.4. Número de corridas

El número requerido de corridas debe estimarse a partir de un proceso iterativo. Un número preliminar mínimo de repeticiones será necesario para realizar la primera estimación de la desviación estándar de los resultados. Es recomendable ejecutar por lo menos 15 corridas con diferentes números de semilla (Cabrera, 2015). Cuando todas las repeticiones se completaron, se vuelve a calcular la desviación estándar y el número necesario de corridas para el modelo. Si este número es menor o igual al número de repeticiones realizadas, entonces el análisis se ha completado. Si no se presenta, entonces se llevan a cabo corridas adicionales (FHWA, 2004).

Los valores obtenidos por cada número semilla deberán ser documentados para que puedan ser replicados si es necesario. Esto se debe a la naturaleza aleatoria del proceso de microsimulación, ya que tiene por finalidad asegurar un valor que represente estadísticamente el promedio (Oregon Department of Transportation, 2011). Para ello se utilizará la siguiente fórmula:



$$N = \left( t_{0.025, N-1} * \frac{S}{e} \right)^2$$

#### Ecuación 7

Donde:

e: margen de error

$t_{0.025, N-1}$ : t de Student para un error de 2.5% por cara, con n-1 grados de libertad

S: desviación estándar para el promedio de la medida de eficacia seleccionada

N: número necesario de corridas

Para simplificar, este cálculo sólo se debe llevar a cabo con una o dos medidas de eficacia que se consideren las más importantes para el resultado del proyecto, tales como la demora promedio de los vehículos o el tiempo de viaje en la vía.

#### 2.3.5. Periodo de estabilidad

Cuando se inicia la microsimulación, el programa empieza con cero vehículos en la red, para ello se espera un tiempo en el que los vehículos del programa puedan ser comparados con los datos obtenidos en campo. Este tiempo se llama periodo de estabilidad.

Generalmente, el número de vehículos presentes, en un momento dado, es utilizado para determinar si el modelo ha alcanzado el equilibrio y por lo tanto se puede proceder al análisis de resultados. Por ello, una vez que el número de vehículos en la red deja de aumentar en una cantidad mínima especificada, entonces el periodo de estabilización se considerará concluido (California Department of transportation, 2002).

#### 2.4. Modelo de microsimulación VISSIM

El modelo de VISSIM se implementó en 1979, y fue desarrollado por Planung Transport Verkehr (PTV), una compañía alemana. De 1979 a 1982 se desarrolla el primer programa de software para la planificación de recorridos. Durante la década de los ochenta se tramitan los primeros grandes pedidos como la planificación de la

red de líneas de autobús y transporte por carretera en la ciudad de Mannheim. A finales de la década de los noventa se realiza la ampliación de las actividades de PTV a nivel internacional mediante Joint Venture con ITC Innovative Transportation Concepts, EE.UU. (simulación del tráfico). Se establecen organizaciones nacionales y socios colaboradores en EE.UU., Gran Bretaña, Francia, Italia y Países Bajos. En el 2010, VISSIM es el primer programa de simulación microscópica multimodal que puede representar interacciones entre peatones y vehículos de forma realista (PTV, 2016).

#### **2.4.1. Definición**

VISSIM es un modelo de microsimulación que se desarrolló para modelar el tránsito urbano y operaciones del transporte público, como software líder para la simulación microscópica del tráfico, en un solo modelo permite representar a todos los usuarios de la vía pública y estudiar sus interacciones: autos, transporte de carga y cualquier otro tipo de transporte público, ya sea ferroviario o convencional. Para ello, los modelos de comportamiento vehicular, científicamente desarrollados y validados, proporcionan una simulación realista de todos los agentes. VISSIM se convierte así en una herramienta útil para la evaluación de varias alternativas basadas en el diseño y la planeación del tránsito y transporte (PTV, 2015).

#### **2.4.2. Aplicación**

Las posibilidades de análisis que se puede generar a partir de PTV VISSIM la hacen una herramienta potente para evaluar y planificar la infraestructura vial urbana e inter urbana. VISSIM es también un simulador multiuso que puede ser muy utilizado por el equipo técnico responsable del control de la semaforización, operación de tránsito y para los especialistas que requieran mejorar las tecnologías de señalización. Con este software se pueden obtener resultados numéricos detallados así como prolizas animaciones en 3D que representan los modelos (PTV, 2016).

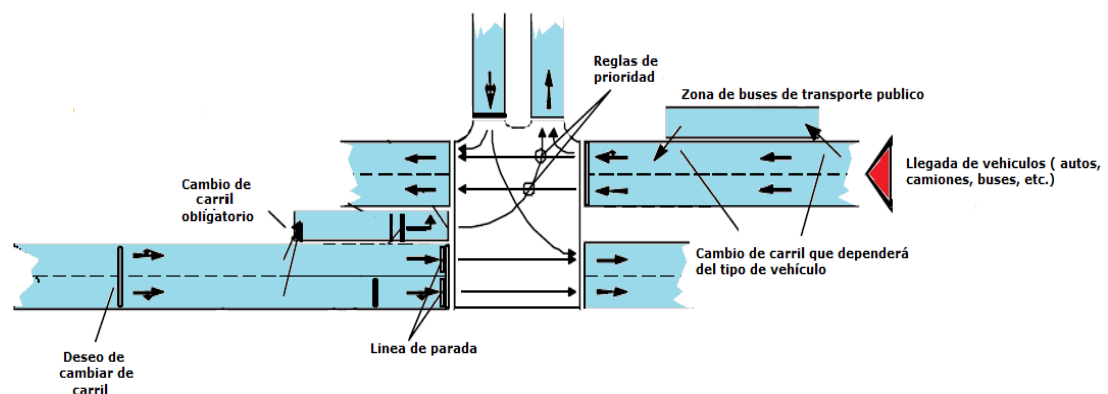
VISSIM puede ser aplicado para el desarrollo y análisis de las estrategias de gestión de autopistas donde se obtienen los impactos operativos durante la fase de construcción, así como la evaluación y optimización de la operación del tránsito en

una red con combinación de semáforos de tiempo fijo y control sensible al tráfico. Para ello se hacen uso de herramientas tales como Linsig, Synchro o Transyt.

### 2.4.3. Características del modelo

VISSIM contiene tres bloques principales de construcción, más un bloque adicional el cual genera los resultados de cada ejercicio de simulación. El nivel de detalle con el que se desea modelar la infraestructura vial, dependerá de la aplicación que se le dará, ya que es suficiente con un simple conector para probar la señal de tráfico que se detalla en una intersección. Si se necesita un mayor nivel de análisis en la simulación se requerirá un mayor nivel de detalle. Con el propósito de simular operaciones de tráfico será necesario replicar la infraestructura de la red a escala, a través de los distintos programas que permiten acceder a esa información.

El primer bloque lo compone la infraestructura de las carreteras y pistas, incluyendo también los postes de señalización y las paradas de origen y destino del transporte público.



**Figura 8. Intersección modelada por VISSIM**

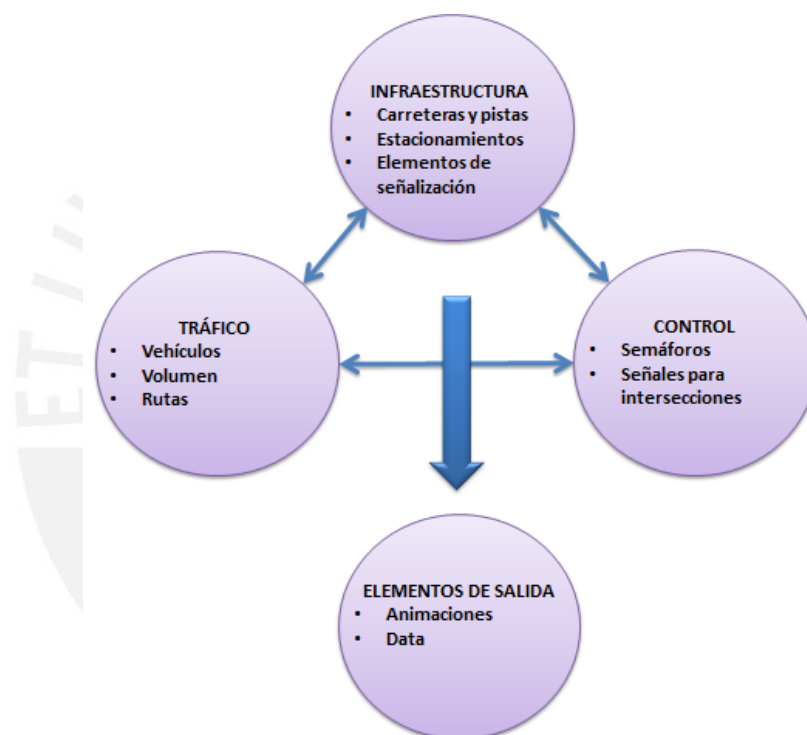
Fuente: Adaptado (Fellendorf, 1994)

En el segundo bloque se tienen las características técnicas del vehículo y las especificaciones de los flujos de tráfico, así como las descripciones que se le asignarán al modelo.

El tercer bloque está dado por el de control de tráfico y contiene los elementos necesarios para intersecciones semaforizadas y no señalizadas. Las principales

reglas de prioridad y las opciones de control de señales de tráfico se realizan dentro de este bloque.

Los tres bloques dependen unos de otros como se indica en la figura 9. La ejecución de la simulación del flujo de tráfico de vehículos activa la infraestructura sobre la cual se da la simulación, lo que a su vez influye en el control de señales para el flujo modelado. De esta manera, durante este proceso, los tres bloques están constantemente activados con interdependencias entre cada uno de ellos (Barceló, 2011).



**Figura 9. Representación de los cuatro bloques de construcción.**

Fuente: Adaptado (Barceló, 2011)

#### **2.4.4. Elementos de entrada del modelo**

Los datos base de entrada para la simulación incluyen la configuración de la red de transporte y todas las características para modelar el flujo de todos los modos que actúan en esta red, por ejemplo: distribuciones, funciones y parámetros de comportamiento (PTV, 2015).

#### 2.4.4.1. Funciones de aceleración y deceleración

Para denotar las diferencias en el comportamiento de conducción de varios conductores y las diferentes propiedades de vehículos, VISSIM utiliza distribuciones estocásticas para las funciones de aceleración y desaceleración a partir de la velocidad actual del vehículo.

#### 2.4.4.2. Distribuciones

Existen varios casos de distribuciones de naturaleza estocástica que pueden ser representados por VISSIM, de esta manera se asemeja más a la realidad. A continuación se describirán algunos de los parámetros que corresponden a esta naturaleza (PTV, 2015):

- **Distribución de velocidad deseada:** Es un parámetro importante debido a que tiene un impacto en la capacidad de las vías y en los tiempos de viaje. Si no se es obstaculizado por otros vehículos u objetos presentes en la red de transporte, como controles de señal, el conductor viajará a su velocidad deseada. Un conductor, cuya velocidad deseada es superior a la actual, comprobará si puede adelantar a otros vehículos sin poner en peligro a otros. Estas distribuciones de velocidad se definen independientemente del tipo de vehículo o peatón.
- **Distribuciones de peso y potencia:** Se refiere exclusivamente a los vehículos que pertenecen a la categoría de vehículos pesados, donde se relaciona su peso y potencia. Por ello será necesario conocer el peso de carga que puede soportar determinado vehículo, así como las características de potencia que presenten. Este parámetro puede influir notablemente en redes de transporte donde primen este tipo de vehículos pesados de carga.
- **Distribuciones del tiempo:** Estas distribuciones son utilizadas en el software para simular los tiempos de parada de los buses, las señales de pare, los tiempos de espera en los peajes a través de las señales de alto. Para los vehículos de transporte público, como el autobús o tranvía, se podrá simular el tiempo necesario para que los pasajeros puedan abordar o bajar del vehículo.

#### **2.4.4.3. Tipos de vehículos**

Un tipo de vehículo permite formar un grupo de vehículos con las mismas características de conducción técnica. VISSIM presenta, por defecto, los siguientes tipos: Autos, camiones, autobús, tranvía, bicicleta y peatones.

#### **2.4.4.4. Clases de vehículos**

Se agrupan diferentes tipos de vehículos, que pueden ser creados anticipadamente, los cuales contienen características similares. Por defecto, VISSIM tiene las siguientes clases: livianos, pesados, buses, trenes, peatones y bicicletas.

#### **2.4.5. Comportamiento de conducción**

Este conjunto de parámetros de comportamiento del conductor es bastante importante, ya que de esta manera se seleccionarán las propiedades correspondientes al entorno de la intersección a simular, y se representará lo que ocurre en la realidad. Se pueden definir las siguientes propiedades de comportamiento: cambio de carril, comportamiento lateral y el comportamiento bajo controles de señal. Cada una de estas propiedades está compuesta por diversos parámetros que afectan directamente la interacción de los vehículos y por ello pueden generar grandes diferencias en los resultados de la simulación (PTV, 2015).

##### **2.4.5.1. Cambio de carril**

VISSIM distingue dos tipos de cambio de carril. Para el cambio de carril necesario, los parámetros de comportamiento de conducción contienen la desaceleración máxima aceptable para el vehículo que se encuentra en el carril y necesita cambiar, y para el vehículo que quedará detrás de este en el nuevo carril. En el cambio de carril libre, VISSIM analiza la distancia de seguridad deseada del vehículo que quedará detrás del vehículo que lo adelantará. Esta distancia dependerá de la velocidad de ambos vehículos. Para ambos casos, cuando se desea cambiar de carril, es necesario determinar la brecha conveniente para realizar el cambio (PTV, 2015).

#### **2.4.5.2. Comportamiento Lateral**

Los parámetros del comportamiento lateral permiten viajar, ocupando el ancho entero de un carril por vehículo, a diferentes posiciones laterales así como adelantar vehículos que se encuentran en el mismo carril, si es que el ancho de la vía lo permite.

#### **2.4.5.3. Control por Semaforización**

Para el comportamiento de los conductores ante las luces del semáforo, se especifican las reacciones de estos ante los colores ámbar y rojo. También se pueden definir distancias de seguridad para proporcionar un adecuado espacio detrás de las líneas del semáforo (PTV, 2015).

### **2.5. Microsimulación peatonal**

#### **2.5.1. Introducción**

Los modelos de comportamiento peatonal, a través de los últimos años, han obtenido notable interés. Esto se debe a que presentan características similares a los gases y líquidos. Además, los datos necesarios para el modelo son fáciles de medir y, por lo tanto, comparables con los datos empíricos, asimismo, estos modelos son herramientas útiles para el diseño y la planificación de las zonas peatonales (Helbing, 1995).

Los modelos macroscópicos describen el movimiento de los peatones como un fluido continuo y basan su comportamiento como un sistema interactivo a gran escala. Este análisis es adecuado para altas densidades de flujo, donde el comportamiento de los peatones en grandes grupos sea requerido. Sin embargo, mediante la representación del peatón a través de una partícula, como elementos irracionales, estos modelos no toman en cuenta el hecho de que el comportamiento de cada peatón puede variar significativamente, y de esta manera cambiar la forma en que la multitud se comporta, especialmente en situaciones de emergencia. Por otro lado, los modelos microscópicos tratan a cada peatón, en una multitud, como un agente individual el cual ocupa cierto espacio en un instante de tiempo, asimismo, toman en cuenta los diversos factores que interactúan con el comportamiento de cada individuo (Shiwakoti, 2008).

### 2.5.2. Viswalk

PTV Viswalk permite simular y modelar el comportamiento peatonal. Esta herramienta de software permite representar las necesidades de los peatones en los diversos proyectos de infraestructura. Como un software de simulación microscópica para peatones, PTV Viswalk es particularmente adecuada para la planificación urbana y la construcción, planificación de la seguridad de peatones y medidas de evacuación, planificación integrada del transporte y otras numerosas aplicaciones destinadas a garantizar un buen flujo de peatones (PTV, 2016).

### 2.5.3. Modelo de la fuerza social

El modelo de fuerza social fue desarrollado por Dirk Helbing y Peter Molnar. En este modelo, las diferentes motivaciones e influencias de un peatón se describen por términos de fuerza. Se centra principalmente en la dinámica de Newton con la unidad de masa. Este modelo es capaz de cubrir varios fenómenos naturales que se producen durante el movimiento humano. Los peatones normalmente eligen la ruta más rápida, así mismo, se mueven con una velocidad individual, teniendo en cuenta el contexto, el sexo, la edad, el entorno, etc. Además, los peatones mantienen una distancia de los demás, esta distancia depende de la densidad y de la velocidad de los mismos (Apel, 2004).

A continuación, se describirán las componentes de un modelo de fuerza social modificado, que permite tener en cuenta las características de comportamiento de los peatones en los cruces con semáforos.

Este modelo relaciona cinco fuentes de fuerza (Zeng, 2014):

$$\vec{F}_{(tk)} = \vec{F}_d + \vec{F}_{\alpha\beta}^r + \vec{F}_B + \vec{F}_v + \vec{F}_s$$

**Ecuación 8**

#### 2.5.3.1. Fuerza de dirección ( $\vec{F}_d$ )

Esta fuerza refleja la motivación del peatón para moverse a su destino deseado a una determinada velocidad. Los peatones cambian sus vectores de velocidad de forma dinámica debido al estímulo del entorno que los rodea.

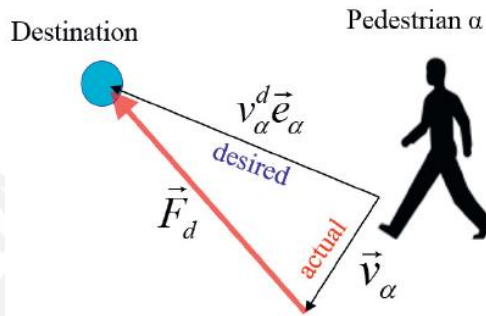


A partir de la figura 2.9, una desviación del vector de velocidad actual ( $\vec{v}_\alpha$ ) a partir del vector de velocidad deseado ( $v_\alpha^d \vec{e}_\alpha$ ) conduce a una fuerza que recupera esta misma en cierto tiempo de relajación ( $\tau_\alpha$ ).

Por lo tanto, la fuerza de dirección puede ser representado como:

$$\vec{F}_d = \frac{1}{\tau_\alpha} (v_\alpha^d \vec{e}_\alpha - \vec{v}_\alpha)$$

**Ecuación 9**



**Figura 10. Fuerza impulsadora**

Fuente: (Zeng, 2014)

### 2.5.3.2. Fuerza de repulsión ( $\vec{F}_{\alpha\beta}^r$ )

Esta fuerza representa las interacciones que generan los peatones que rodean al sujeto. Cada uno de los peatones que se encuentre dentro del rango visual del sujeto generará un campo de fuerza elíptico que resulta en un efecto repulsivo para el mismo. En diferencia con el modelo clásico, el tiempo relativo al punto de conflicto ( $T_{\alpha\beta}$ ) se toma en cuenta como un factor que determina la fuerza de repulsión. La ecuación se describe como:

$$\vec{F}_{\alpha\beta}^r = \sum_{i=1}^n A_\beta \exp[-B_\beta b_i - B_{\alpha\beta} T_{\alpha\beta}] \vec{n}_{\beta_i}$$

**Ecuación 10**

Donde ( $\vec{n}_{\beta_i}$ ) es el vector normalizado el cual es perpendicular a la línea tangente del campo de fuerza elíptico de peatones ( $\beta_i$ ). ( $A_\beta$ ) es el coeficiente de fuerza de interacción; ( $B_\beta$ ) es el coeficiente de rango de interacción para la distancia; ( $B_{\alpha\beta}$ ) es el coeficiente de rango de interacción para el tiempo relativo, donde n es el número

de peatones en conflicto. Finalmente,  $(b_i)$  es la longitud del semieje menor del campo de fuerza elíptica.

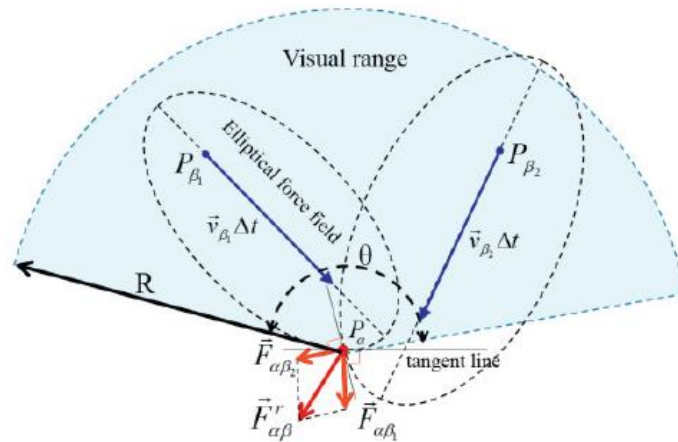


Figura 11. Fuerza repulsiva

Fuente: (Zeng, 2014)

### 2.5.3.3. Fuerza de límite ( $\vec{F}_B$ )

Generalmente, los peatones se mantienen caminando dentro de los límites del cruce peatonal. Como se muestra en la Figura 2.11 (1), se supone que cuando hay una componente de velocidad hacia el límite del cruce, esta generará una fuerza de repulsión ( $\vec{F}_{\alpha\beta}^r$ ). Esta fuerza ocasiona que el peatón mantenga una cierta distancia del límite del cruce, sin embargo, cuando la densidad de peatones en el cruce aumenta, algunos de estos optan por salir del paso peatonal con el fin de evitar conflictos con los demás peatones. No obstante, la mayoría de ellos se moverá de nuevo al cruce peatonal una vez que el conflicto se torne menos grave, como se muestra en la figura 2.11 (2). La fuerza de límite puede representarse como:

$$\vec{F}_B = \begin{cases} \vec{F}_{B\alpha}^r = A_B^r \exp(-B_B^r \|\vec{P}_\alpha - \vec{P}_\beta\|) \vec{n}_{B\alpha}, & \text{si el peaton se encuentra dentro del cruce.} \\ \vec{F}_{B\alpha}^a = A_B^a \exp(-B_B^a \|\vec{P}_\alpha - \vec{P}_\beta\|) \vec{n}_{\alpha B}, & \text{para otros casos.} \end{cases}$$

Ecuación 11

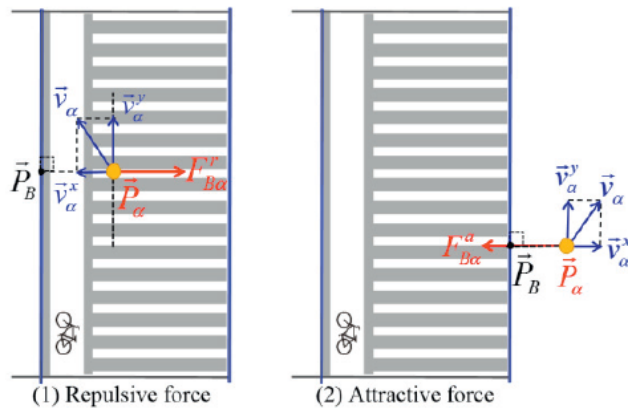


Figura 12. Fuerza limite

Fuente: (Zeng, 2014)

#### 2.5.3.4. Fuerza de giro a la izquierda vehicular ( $\vec{F}_v$ )

En general, los conductores están obligados a ceder el paso a los peatones que cruzan. Sin embargo, algunos conductores pueden tener un comportamiento agresivo, que pone en peligro la seguridad de los peatones. Se supone que los peatones se ven afectados por el campo de fuerza del vehículo una vez que este se acerca a ellos.

Como se muestra en la Figura 2.12, el peatón tomará las medidas necesarias para evitar la colisión con el vehículo que está girando a la izquierda, aunque este le ceda el paso. De la misma forma que la fuerza de repulsión entre peatones, un campo de fuerza elíptico se asume para describir la fuerza generada por el vehículo que está girando. La diferencia con el campo de fuerza de un peatón en conflicto es que los dos focos de la elipse se definen por la posición trasera del vehículo ( $\vec{P}_{rear}^{near}$ ), y la posición delantera del mismo ( $\vec{P}_{head}^{near}$ ) en el siguiente paso del vehículo.

Por lo tanto, la ecuación es representada como:

$$\vec{F}_v = A_v \exp(-B_v b_v) \vec{n}_{v\alpha}$$

Ecuación 12

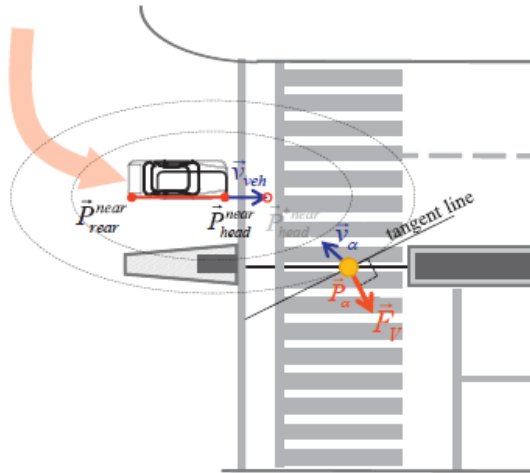


Figura 13. Fuerza de giro a la izquierda vehicular

Fuente: (Zeng, 2014)

### 2.5.3.5. Fuerza por semáforo ( $\vec{F}_s$ )

El comportamiento de peatones recibe la influencia de la fuerza de atracción de los semáforos. Análisis empíricos indican que la velocidad de los peatones es ligeramente mayor cuando se tiene una señal parpadeante de verde, por encima de la velocidad que utilizan al cruzar la calle en verde (Zhang, 2013). La razón sería que los peatones tienen que terminar de cruzar la calle antes de la aparición de la señal de rojo. En este caso, si el peatón está todavía en el cruce de peatones cuando la señal ha cambiado a verde parpadeante o rojo, este acelerará y cruzará lo más rápido posible (Zeng, 2014).

## 2.6. Diseño vial y señalización de intersecciones

Las intersecciones constituyen elementos de discontinuidad en cualquier red viaria y por lo tanto representan situaciones críticas que se deben analizar de una forma especial, ya que los vehículos son capaces de realizar distintas maniobras de confluencia, de divergencia o de cruce (Valdes, 2008). Son puntos específicos de actividad dentro de las redes de transporte urbano de cualquier ciudad, que cuentan con conflictos entre peatones, ciclistas y conductores, y que si son diseñados adecuadamente tienen el potencial de reducir la magnitud de los accidentes. Un buen diseño de intersecciones puede potenciar la actividad cívica y económica de los alrededores, así como utilizar adecuadamente los espacios de las calles y

facilitar la visibilidad para todos los usuarios, creando un ambiente en donde estos se sientan seguros y compartan mercedamente el espacio.

El enfoque tradicional se ha preocupado básicamente en reducir la demora de los vehículos motorizados, lo que beneficia el flujo de los mismos, los tiempos de viaje y la continua emisión de gases de efecto invernadero. Además, este enfoque ha prevalecido el uso de automóviles particulares por sobre el uso del transporte público y los modos de transporte alternativo (bicicletas, caminatas, etc.). Es por ello que se busca un enfoque que priorice el flujo de personas y el flujo de usuarios no motorizados, a la vez que permita un diseño más seguro y eficaz del espacio de la calle e intersecciones (ITDP, 2016).

### **2.6.1. Principios del diseño vial**

Los principios descritos a continuación deberán permitir el diseño de intersecciones como puntos de encuentro que funcionen convenientemente para todos los usuarios.

Las intersecciones deben ser lo más compactas posibles, de esta manera se reduce la exposición de los peatones y se garantiza un lento flujo de vehículos en la zona de conflicto, además se incrementa la visibilidad para todos los usuarios (NACTO, 2013). Se deberá utilizar el comportamiento habitual y las líneas de deseo de los peatones para realizar este diseño; además de ello, las intersecciones deben ser simples y predecibles en su diseño, de tal forma que los movimientos sean previsibles e inciten a todos los usuarios a respetar las señales de tránsito. Los peatones son los más vulnerables en la intersección; y por ello, el diseño debe priorizar sus necesidades (ITDP, 2016).

Se busca integrar las estrategias de diseño de intersecciones espaciales y temporales en todo el proyecto. Para ello, se reconfigurarán las intersecciones a través de los tiempos de señalización de semáforos; de esta manera, se proporciona alternativas que permitan solucionar las demoras y congestiones (NACTO, 2013).

La accesibilidad universal contempla todos los aspectos de diseño de las intersecciones, desde la geometría de diseño hasta la programación de los ciclos de fases de los semáforos. Esto con el fin de lograr el mejor resultado para todos los usuarios en consideración de las limitaciones físicas que posean ( ONCE-

COAM, 2011). Las intersecciones son espacios compartidos por todos los usuarios y tiene por finalidad crear un espacio en el que todos puedan visualizarse entre sí, de tal manera que sean mutuamente conscientes el uno del otro, para predecir acciones y reducir la severidad de los accidentes.

Finalmente, se plantea recuperar espacios públicos. Las intersecciones que contienen amplias áreas de pavimento con uso poco definido constituyen una oportunidad para aprovechar el espacio público de la calle para el peatón, los usuarios de transporte público y ciclistas. Se deberá promover la creación de plazuelas públicas y mini centros de seguridad de bajo costo para mitigar los problemas de seguridad en el corto plazo (ITDP, 2016).

## **2.6.2. Elementos de diseño de intersecciones**

Las intersecciones son un aspecto crítico del diseño de las calles, el punto en el que vehículos, bicicletas y peatones convergen. El diseño de intersecciones contempla con éxito los objetivos de movilidad y seguridad, así como oportunidades para mejorar el espacio público.

### **2.6.2.1. Paso de peatones y cruceros**

La aplicación de cruceros peatonales por sí sola no representa una medida de seguridad viable en todas las situaciones, los peatones son especialmente sensibles a los pequeños cambios en la geometría, desvíos, y la calidad de los materiales que se utilizan en las aceras y bermas. Sin embargo, los cruces tienen por finalidad proteger a los peatones indicando los lugares por donde pueden cruzar la calle, a la vez que informan a los conductores donde podrían esperar para realizar sus movimientos (ITDP, 2016).

El diseño tiene por prioridad responder ante la demanda de los peatones, y a su vez brindar la ruta más segura posible. A medida que aumentan las velocidades y volúmenes del tráfico, también lo hace el nivel de protección requerido por los usuarios. En la situación donde los flujos presenten altas velocidades y volúmenes, será necesario el uso de semáforos para preservar la seguridad de todos estos. Por otro lado, donde el tráfico peatonal sea bajo, o cuando los volúmenes de vehículos

también lo sean, se considerará el uso de señales no semaforizadas, como es el caso de medianas o cruces elevados.

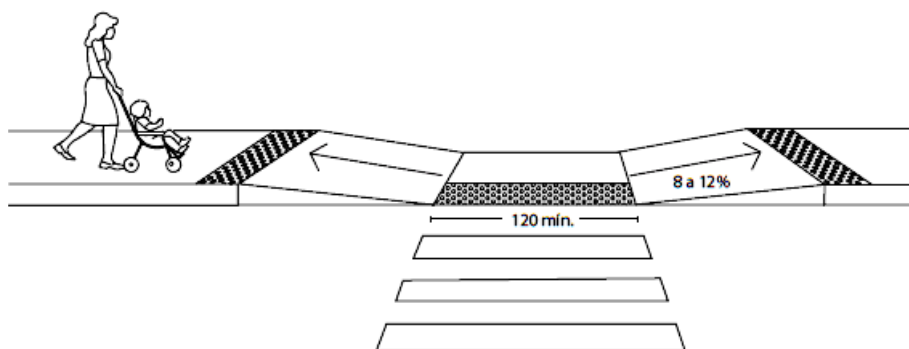
Las señales digitales de cuenta regresiva crean un ambiente de cruce más predecible y brindan una advertencia adecuada a los peatones que intenten cruzar la vía. Por ello, todas las nuevas señales de paso peatonal deben incluir señales digitales de cuenta regresiva.

El incumplimiento de las señales de tráfico por parte de los peatones aumenta con el retardo en sus trayectorias. Los retrasos superiores a 40 segundos en cruces peatonales señalizados, y 20 segundos en cruces peatonales no señalizados pueden provocar conductas arriesgadas (NACTO, 2013). Por ello, señales digitales de cuenta regresiva, así como longitudes de ciclo corta ayudan a cumplir con lo diseñado.

Los peatones, incluidas las personas de avanzada edad y discapacitadas, deben ser capaces de cruzar una intersección en un solo ciclo, en lugar de dos ciclos, se deben priorizar diseños universales con el fin de brindar confort para todos los usuarios.

Los pasos peatonales a nivel de calzada mantendrán la continuidad del itinerario peatonal y contarán con vados peatonales en sus extremos para salvar el desnivel entre la acera y la calzada ( ONCE-COAM, 2011). Esto provee a los peatones y a quienes usan sillas de rueda una transición más suave entre la acera y la calzada de la calle.

Los cruces peatonales no deben presentar cambios bruscos de altura que generen incomodidad en los usuarios, excepto en el caso en que se crucen vías de acceso limitado. Los puentes peatonales elevados y subterráneos pueden generar riesgos para los usuarios en cuanto a seguridad, debido a que pueden ser afectados por la delincuencia, y en muchos otros casos ser ignorados para realizar trayectorias más cortas y directas; además, estos excluyen a las personas de avanzada edad, niños y personas con alguna discapacidad física.



**Figura 14. Cruce peatonal en vereda angosta**

Fuente: (Ciudad Accesible, 2010)

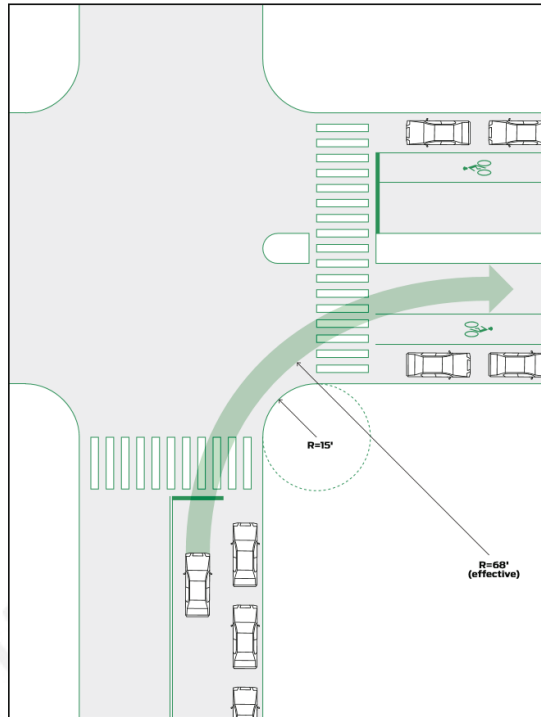
### 2.6.2.2. Radios de las esquinas

Los radios de las esquinas presentan un impacto directo sobre las velocidades de giro de vehículos, así como las distancias de cruce de los peatones. La reducción del radio de curva es fundamental para crear intersecciones compactas con bajas velocidades de giro que proporcionen seguridad para los usuarios. Como se mencionó, el tamaño del radio de curva se relaciona directamente con la longitud de paso de peatones, mientras mayor sea esta longitud, se aumentará el riesgo de exposición de los peatones (Department of Transport, 2013). La diferencia entre el radio de la esquina y el radio de giro efectivo es crucial. El radio de esquina dependerá básicamente de la presencia de estacionamientos en la calle, carriles dirigidos para bicicletas, el número de carriles de circulación de la propia vía y los dispositivos de control de tráfico.

Usualmente, se diseña únicamente los radios de esquina, sin tomar en cuenta los giros efectivos, por lo que se promueve a que el conductor del vehículo, que desea realizar un giro hacia la derecha, mantenga su velocidad constante ya que la geometría se lo permite. Debido a ello los peatones que requieran cruzar la calle estarán expuestos a vehículos con altas velocidades realizando los giros.

Los radios de giro efectivo más pequeños benefician a los peatones, ya que crean giros más cerrados en donde los conductores tienen que necesariamente reducir la velocidad, además, aumentan el área de espera y almacenamiento peatonal antes de cruzar la calle.



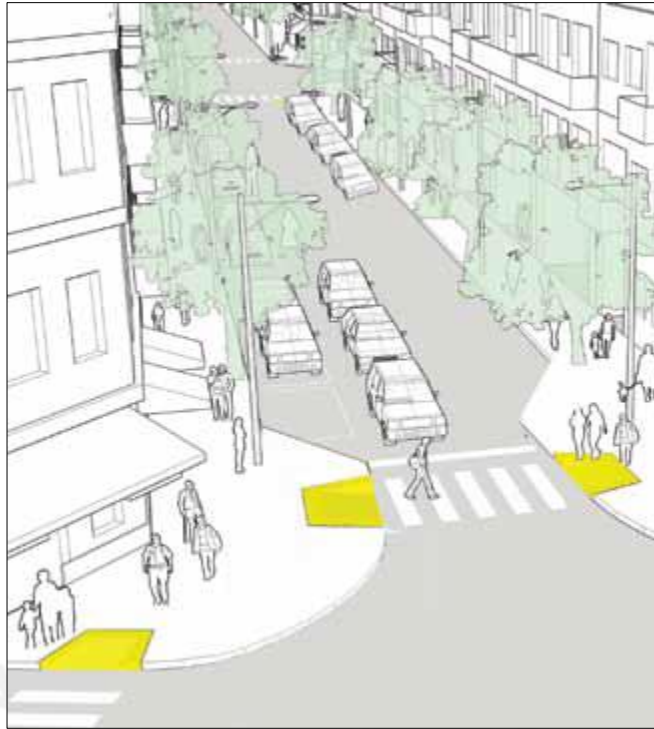


**Figura 15. Radio de esquina convencional**

Fuente: (NACTO, 2013)

Las extensiones de vereda son espacios adicionales posibles de generar cuando hay estacionamientos en la vía pública. El espacio de la calzada dedicado al estacionamiento es generalmente inútil en las esquinas, lo que abre la posibilidad de extender la vereda con el objeto de hacer más visible al peatón. Estas extensiones son útiles en ubicaciones con alto volumen de tráfico peatonal, cerca de escuelas y hospitales, y en lugares donde se registra un alto índice de accidentes de tránsito que involucran peatones.

Las extensiones se usan para almacenar peatones que esperan cruzar la calle. De esta manera se le brinda seguridad vial debido a mejoras en la visibilidad del cruce peatonal y reducción de velocidad de los conductores. También se tiene una menor exposición de los peatones al tráfico vehicular al reducir el ancho de la calle.



**Figura 16. Intersección de calles con extensiones de vereda en las esquinas**

Fuente: (ITDP, 2016)

### **2.6.2.3. Distancia de visibilidad**

La visibilidad y distancia de visibilidad son parámetros fundamentales para la seguridad que se requiere en las calles e intersecciones, vías de acceso y puntos de conflicto potencial en general. La visibilidad se ve afectada por la velocidad de diseño, sin embargo, se necesitan diseños geométricos que impliquen disminuir la velocidad de los vehículos con el fin de poder predecir sus trayectorias y aumentar la seguridad de todos los usuarios dentro de la zona de conflicto. En zonas urbanas, las esquinas son lugares de encuentro de personas, paraderos de transporte público y cualquier tipo de comercio en general, por lo que el diseño debe facilitar el contacto visual entre los usuarios, en lugar de centrarse en la creación de líneas de visión solo para el tráfico. Es importante que los dispositivos de tráfico se encuentren fuera de cualquier obstáculo en la intersección.

### **2.6.3. Principios de señalización**

Al igual de importante que la geometría y la forma de las calles, que engloban la adecuada asignación de espacio, es la asignación de tiempo, la cual se realiza por

medio de las señales de tráfico. De esta manera, la combinación de tiempo y espacio rigen el funcionamiento de las calles, proporcionando movilidad y seguridad. Las señales de tráfico son herramientas indispensables para el adecuado comportamiento de los distintos modos que circulan en una calle o en una intersección, ya que impactan de manera directa en la calidad de la red de transporte. A continuación se remarcarán las principales acciones que se deben considerar para una adecuada señalización (NACTO, 2013):

- a) Acortar los ciclos de señal con el fin de agilizar los volúmenes de los distintos usuarios. Los ciclos cortos de señal minimizan el retraso en una red compleja, reducen los tiempos de espera en todas las direcciones y proporcionan oportunidades de cruce en intervalos más estrechos.
- b) Tener como prioridad a los usuarios que caminan y montan bicicleta. Utilizar señales de prioridad para los peatones a través de intervalos dedicados de tiempo así como señales sincronizadas para los usuarios que utilizan bicicletas.
- c) Mantener el número de señales de fase al mínimo. La adición de fases adicionales tiende a aumentar los tiempos de espera para todos los usuarios mediante el aumento de la longitud total del ciclo de la señal. En intersecciones donde se pueda presentar peligro para cualquier usuario durante los giros a otros carriles por parte de vehículos, se deberá introducir una fase dedicada de giro.
- d) Sincronizar las señales con el fin de mantener velocidades de desplazamiento seguras, desalentando el exceso de velocidad, sobre todo en las calles de una sola vía.
- e) Ajustar las señales de tráfico para los distintos flujos que se pueden presentar durante el día. La frecuencia de la señal debe ser gestionada para picos altos de flujo u “horas punta”, así como para picos bajos de flujo. De esta manera se cumple con los diferentes niveles de actividad durante todo el día.
- f) Priorizar señales de control sensibles al tráfico en zonas urbanas de alta demanda de flujo, de esta manera se predicen los inconvenientes que puedan ocurrir a lo largo del día, garantizando el paso de los peatones y el flujo fluido de la red de transporte.

### 2.6.3.1. Duración de los ciclos de una señal

Los ciclos largos del semáforo convierten a las grandes avenidas en barreras para el tráfico que proviene de las vías secundarias, en lugar de formar una red óptima para todos. En la siguiente figura, bajo las condiciones iniciales que se muestran, todos los usuarios sufrirían un excesivo tiempo de espera para cruzar la avenida principal. Esto conduce a que los usuarios motorizados de las vías secundarias eviten estas calles, provocando un aumento de la congestión en la vía principal. Los peatones que usualmente cruzan esta calle se verán frustrados al tener que esperar un ciclo tan largo.

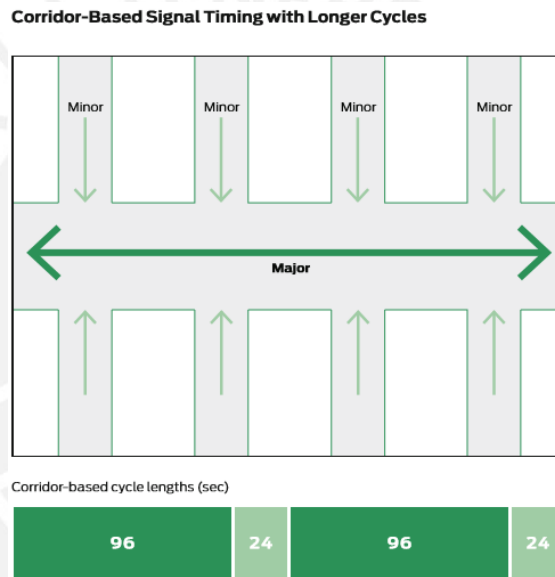


Figura 17. Ciclo de semáforo largo en una vía principal

Fuente: (NACTO, 2013)

Los ciclos de señal más cortos ayudan a que las calles e intersecciones funcionen como parte de una red completa, en lugar de una serie de vías principales aisladas. En el siguiente escenario equilibrado, el ciclo se acorta a uno de 60 segundos, se redistribuye la cantidad de tiempo en cada intersección menor. Este aumento disminuye la congestión en las calles secundarias (NACTO, 2013).

Balanced Signal Timing with Shorter Cycles

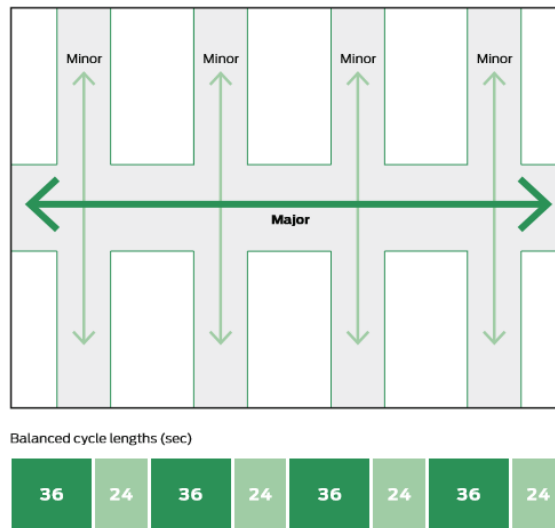


Figura 18. Redistribución y disminución del ciclo de señal

Fuente: (NACTO, 2013)

La sincronización de semáforos consiste en coordinar los tiempos de los semáforos en múltiples intersecciones que se encuentran relativamente cerca o son consecutivos, con la finalidad de facilitar el flujo de un grupo grande de vehículos. Esto se logra programando las fases de los semáforos de modo que los vehículos puedan desplazarse a una velocidad constante determinada (40 a 50 km/h generalmente). Una avenida principal correctamente programada puede mejorar notablemente el flujo de vehículos, minimizar los tiempos de viaje y paradas (Valdes, 2008).

### 2.6.3.2. Estrategias de tiempo fijo

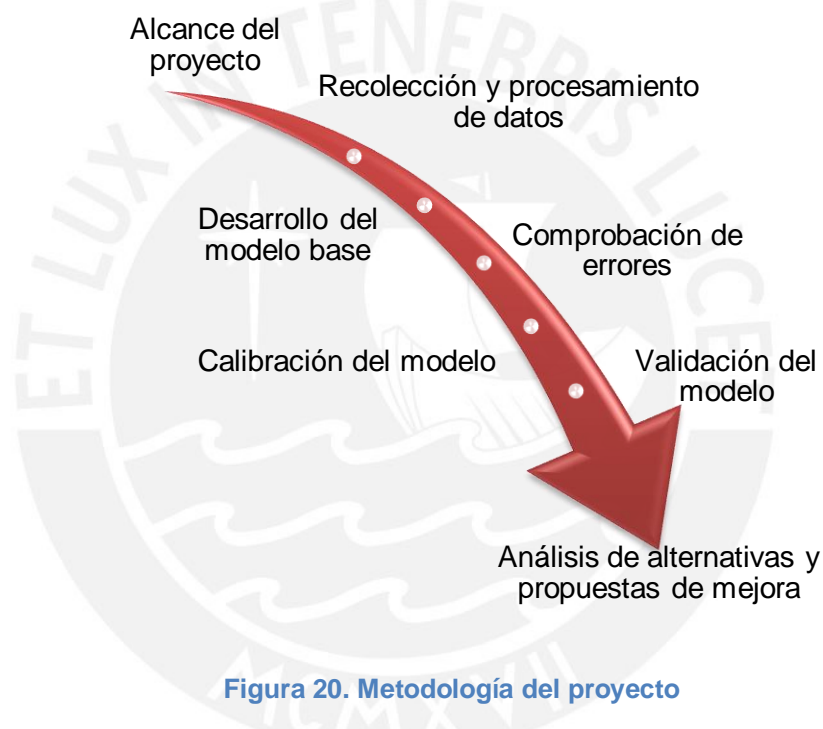
Cumplen monótonamente lo que se les ha configurado, sin depender de las variaciones en el flujo, velocidad o composición que pueden suceder a lo largo del tiempo en el tráfico (Valdes, 2008). Este tipo de estrategias sólo puede ser aplicado bajo condiciones no saturadas de la vía.



## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DEL PROYECTO Y RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO

### 3.1. Consideraciones generales

La metodología utilizada consiste en una guía de pasos, que tiene por objetivo lograr óptimos resultados. Se estudiará la intersección entre la avenida Brasil y el jirón General Borgoño ubicado en el distrito de Jesús María, y para ello se empleará un modelo microscópico en el desarrollo del mismo. Se describe un procedimiento de siete pasos, que serán detallados a continuación:



### 3.2. Alcance del proyecto

El primer paso es identificar la zona a desarrollar y definir el propósito del estudio, así como los objetivos del proyecto. Para ello, se debe considerar la geometría de la red, el control del tráfico, los aforos peatonales y vehiculares, las características del vehículo y conductor, la duración del periodo de análisis y los tipos de alternativas a tener en cuenta. Al tratarse del análisis de una intersección se utilizará el software VISSIM y VISWALK 8.0. Lo que se consiga de este paso debe ser una descripción clara de las necesidades del proyecto que deberán ser considerados para la obtención y recolección de datos de campo.

Se eligió esta intersección debido a las facilidades que se tuvo para recolectar información a través de una cámara filmadora. Asimismo, cabe resaltar que el proyecto se encuentra cerca de una zona comercial que viene a comprender el Metro de la Av. General Garzón y diversos restaurantes de comida rápida. La intersección presenta usuarios tales como peatones, ciclistas, vehículos privados y de transporte público.

### 3.3. Recolección y procesamiento de datos

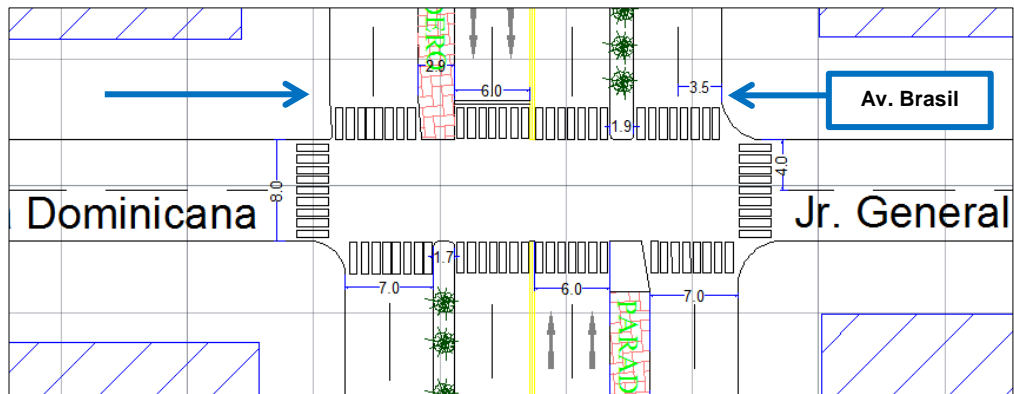
La segunda etapa consiste en la obtención de la información necesaria para desarrollar el modelo. La microsimulación requiere una gran cantidad de datos de entrada tales como la geometría de la intersección, las demandas existentes, las señales de control y los datos de calibración y validación (FHWA, 2004).

Dentro de los datos geométricos de la intersección tenemos el ancho de cada carril que se contemple en el proyecto, así como las longitudes de los mismos. Los radios de las esquinas, los anchos de los paraderos y de los cruces peatonales. Para ello, se hizo uso de una cinta métrica y el uso de Google Earth Pro es recomendado para tener una idea clara de las distancias, a partir de las facilidades que permite el software. Sin embargo, lo ideal es realizar un levantamiento topográfico con el fin de representar las medidas tomadas en campo mediante perfiles y planos, ya que esto induce a un error mínimo en comparación al utilizado en la metodología.

En la toma de datos geométricos se hizo uso de una cinta métrica de 8 metros y se efectuó el día lunes 5 de setiembre.

Como se observa en la siguiente figura, primero se tomaron los anchos de carril del jirón Gral. Borgoño y de la auxiliar de la av. Brasil. Cabe resaltar que el ancho de vía de ambos carriles auxiliares (3.5 metros por carril) es mayor que el de la avenida principal (3 metros). Es por ello que los conductores que transitan por estas auxiliares tienden a desplazarse a altas velocidades en flujo libre.





**Figura 21. Datos geométricos de la intersección**

Fuente: Propia

Luego, se tomaron los datos de la avenida principal, así como también las longitudes de los paraderos a ser considerados en el modelo del VISWALK.

Los datos de demanda hacen referencia a la recolección de los volúmenes de flujos tanto motorizados, como no motorizados. Dentro del primero tenemos a todos los tipos de vehículos que transitan por la intersección, así como las diferentes rutas que estos toman a partir de un mismo origen. Los usuarios no motorizados contemplan a los peatones y ciclistas, los cuales se rigen bajo líneas de deseo con el propósito de desplazarse de un origen a diferentes destinos a través de la intersección.

La grabación se realizó desde un departamento ubicado en el onceavo piso en la misma esquina de la intersección, el día sábado 13 de Agosto de 2016 durante una hora (13:00 – 14:00hrs) para la calibración, y el día sábado 17 de Setiembre de 2016 durante una hora (15:00 – 16:00hrs) correspondiente a la validación.

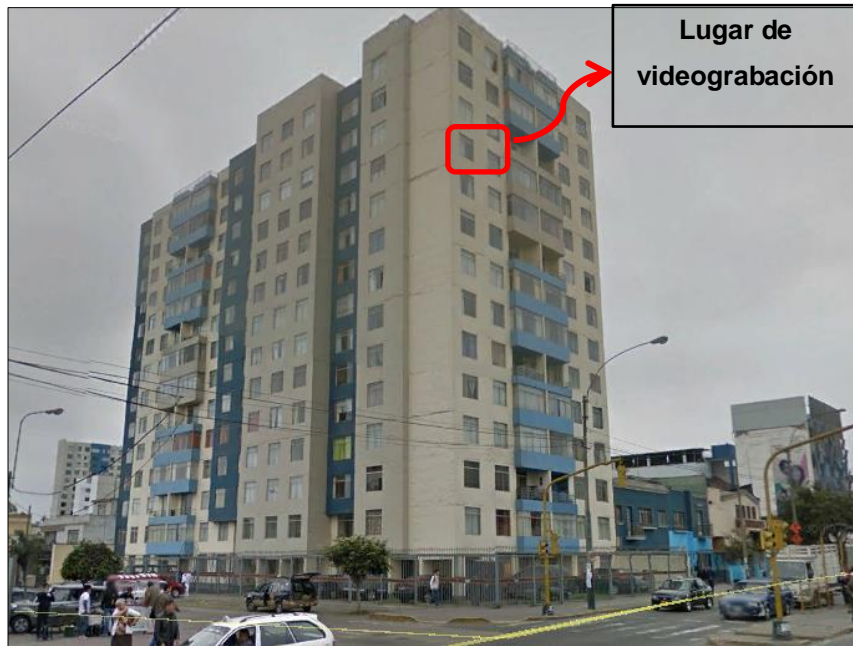


Figura 22. Lugar de videogración

Fuente: Adaptado de Google Earth

Las señales de control contemplan las frecuencias de los ciclos de los semáforos ubicados en la intersección, así como también las señales de tránsito. Para obtener las señales del semáforo se realizaron cinco mediciones con un cronómetro. La intersección posee un ciclo de semáforo que será mostrado a continuación:

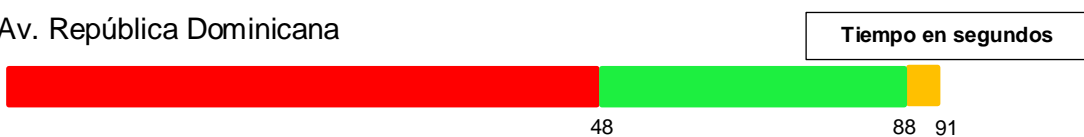
Tabla 1. Datos de tiempos de semáforo obtenidos en campo de la av. Brasil

FASE	TIEMPO (s)					TOMADO (s)
VERDE	44.97	45.09	44.89	45.01	44.59	45
AMBAR	2.89	2.81	2.81	3.05	2.95	3
ROJO	43.04	43.03	42.89	43.15	43.09	43

Av. Brasil (principal y auxiliar)



Av. República Dominicana



Finalmente, los datos de calibración y validación hacen referencia a los tiempos de viaje tanto de vehículos como de peatones, longitudes de cola, etc.

Para el proyecto, se optó por obtener esta información a partir de una filmación. Se debe tener en cuenta que la toma de datos se debe realizar durante días donde se espere una demanda y comportamiento típico de los usuarios en la intersección, es decir, no se debe realizar el levantamiento de información en días feriados o cuando la zona del proyecto se vea afectado por eventos de grandes magnitudes. Es sumamente importante controlar este factor dado que las soluciones que se intentan plantear son completamente dependientes de la cuantificación de la demanda existente en la actualidad; por lo tanto los datos obtenidos deben ser tan reales como sea posible y asemejarse al comportamiento normal de la intersección, para que los resultados tengan validez.

#### **3.4. Desarrollo de modelo base**

El objetivo es desarrollar un modelo que sea verificable, reproducible y preciso, este paso requiere de mucho tiempo y dependerá del software a ser utilizado para realizar el proceso de microsimulación, que para el proyecto será VISSIM y VISWALK 8.0.

El método puede ser pensado como la construcción de varias capas, donde la primera capa viene a ser 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.

Luego se añaden los datos de demanda, donde se configuran los volúmenes de flujo para cada carril, se identifica el flujo por tipo de vehículo y para las diferentes rutas que se observaron en campo. También se introducen los flujos peatonales, así como las líneas de deseo de estos en la intersección.

Asimismo, se añaden los datos sobre las señales de tránsito, los tiempos de semáforos y la posición de las líneas de pare que se presentan en la intersección. Se observó también que algunos carriles, al no tener un flujo vehicular constante, generan que los demás usuarios crucen a pesar de las señales de pare. Por ello, se deben implementar las reglas de prioridad de paso en el modelo.

### **3.5. Comprobación de errores**

Después que el desarrollo del modelo se haya realizado se debe verificar la existencia de errores. Este proceso presenta una serie de pasos, donde en primer lugar se verifica la conectividad de la red, la geometría de los carriles, las áreas de conflicto, etc. Se corre la animación con el fin de detectar los problemas, esta se debe observar con extremo detalle con diferente número semilla y en los puntos donde se genere congestión para determinar si el comportamiento de los conductores y peatones es realista. Se revisa el archivo de errores que VISSIM genera. Esto es estrictamente una verificación de que los parámetros iniciales del modelo fueron los adecuados, más no se debe confundir con la calibración.

### **3.6. Calibración del modelo**

La fase de calibración es el proceso en el que los parámetros individuales del modelo de simulación son ajustados de manera que este pueda ser preciso y represente las condiciones de tráfico de la zona del proyecto. Se utilizarán los tiempos de viaje vehiculares para la calibración de los parámetros del VISSIM, en donde se compararán los resultados obtenidos por el programa y los obtenidos en campo a partir de la filmación. Para este proceso se considerará un nivel de confiabilidad del 95% y un porcentaje de error del 10%, al tratarse de un proyecto de ingeniería. De manera similar se calibrarán los parámetros del VISWALK para peatones. Los datos de campo de calibración obtenidos están conformados por los tiempos de viaje vehicular y peatonal que se obtuvieron delimitando cinco distancias correspondientes a las cinco avenidas que integran la intersección, y tres distancias correspondientes a peatones.

La toma de datos de demanda para la calibración del modelo se realizó el día sábado 13 de Agosto del 2016, durante el periodo de una hora (13:00 – 14:00pm).

### **3.7. Validación del modelo**

La validación es el proceso en el que se verifica el rendimiento del modelo de microsimulación a partir de datos de campo que no se utilizaron en el proceso de calibración y ante una situación distinta a la utilizada, es decir, a partir de nueva información recogida en campo.

Esto significa que una vez colocados los nuevos datos de campo, el programa recreará la intersección y se obtendrán valores que deberán ser similares a los obtenidos en campo, con un nivel de confianza del 95%. Si es así, el modelo estará calibrado y validado, si no es así, se deberán reajustar los parámetros del programa nuevamente y ser comparados con los datos iniciales de campo.

Los datos para la validación del modelo vienen a ser los datos de demanda conseguidos el día sábado 17 de setiembre de 2016 durante una hora (15:00 – 16:00pm) y se utilizó un equipo Canon EOS Rebel T5i.

### **3.8. Análisis de alternativas y soluciones**

Esta es la primera aplicación del proyecto. El modelo de microsimulación validado se ejecuta varias veces para probar diferentes alternativas que mejoren el rendimiento de la intersección.

El primer paso en esta tarea es desarrollar un escenario de demanda de línea de base, a continuación, las distintas alternativas de mejora se codifican en el modelo de simulación. Es probable que se requiera un análisis estadístico para evaluar si una o más soluciones resultan en diferencias significativas en una o más medidas de rendimiento. Para el proyecto a realizar, se plantearán medidas de bajo costo que garanticen el desplazamiento para todos los usuarios que transitan por la intersección, así como también mejoras con respecto a la seguridad vial. Finalmente, se prosigue con la documentación de todo el proceso desde la obtención de información en campo, el desarrollo del modelo, la calibración, validación y la determinación de las medidas que generen los rendimientos más óptimos para la intersección.

## CAPÍTULO 4. PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO

### 4.1. Flujos vehiculares

Se realizó el conteo de todos los tipos de vehículos para todas las vías que intervienen en la intersección, es decir, las dos vías auxiliares de la avenida Brasil, las dos vías principales y la correspondiente al jirón Gral. Borgoño. Para el aforo vehicular se siguió un formato de un periodo total de una hora, subdividido en intervalos de 15 minutos.

A continuación, se presentan las rutas que realizan los vehículos que parten de la Av. República Dominicana, así como la distribución del aforo vehicular para la calibración del modelo.

- Ingreso al jirón Gral. Borgoño

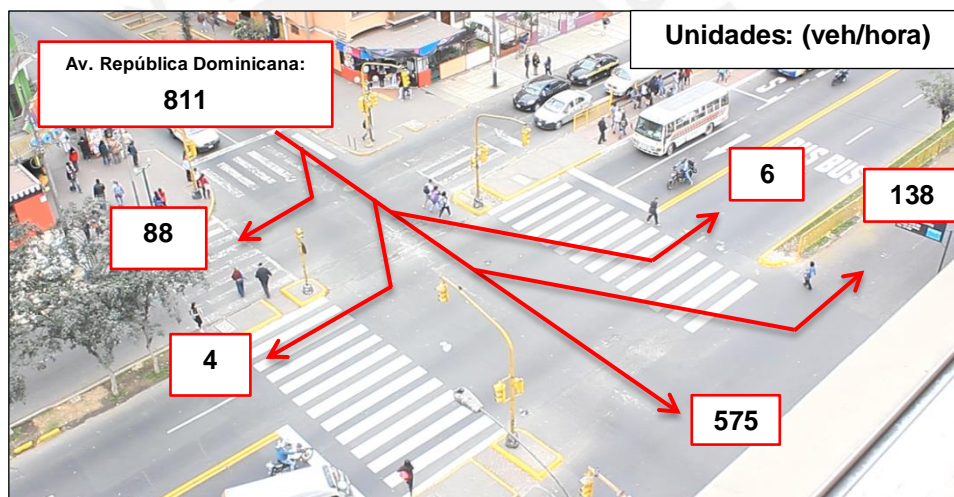


Figura 23. Flujograma vehicular (vehículos/hora) del jirón Gral. Borgoño

Fuente: Propia

Como se observa en la gráfica anterior, los flujos correspondientes a 4 y 6 vehículos por hora conciernen a líneas de transporte público que presentan una programación constante en su trayecto, por lo que se consideró importante tomarlos en cuenta.

Tabla 2. Volumen vehicular del jirón Gral. Borgoño de acuerdo al periodo

PERIODO	FLUJO PARCIAL	FLUJO ACUMULADO
13:00 - 13:15	209	209
13:15 - 13:30	196	405
13:30 - 13:45	188	593
13:45 - 14:00	218	811

**Tabla 3. Distribución del volumen por tipo de vehículo (total de vehículos registrados en una hora)**

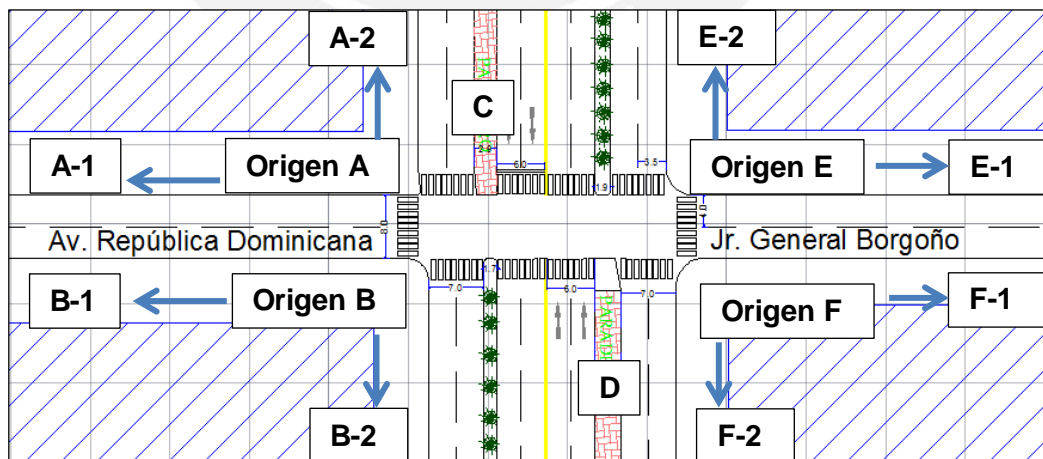
TIPO DE VEHICULO	TOTAL	PARCIAL
AUTOMÓVIL	698	0.861
COMBIS	26	0.032
COASTERS	34	0.042
BUS	20	0.025
CAMIÓN	8	0.010
MOTOCICLETAS	25	0.031
BICICLETAS	0	0.000
<b>TOTAL</b>	<b>811</b>	<b>1.000</b>

Los flujogramas, las tablas de aforo vehicular y distribución del volumen por tipo de vehículo de la av. Brasil (auxiliar y principal) se encuentran en la sección de ANEXOS.

#### 4.2. Flujos peatonales

Para el caso de los flujos peatonales se tomaron en cuenta 6 lugares de origen, donde los paraderos de transporte público corresponden a **C** y **D**. Por otro lado, la zona de origen-destino **A** se divide en dos, **A-1** con sentido a la Av. República Dominicana y **A-2** con sentido a la Av. Brasil. Se tomó de la misma manera para **B**, **E** y **F**.

El aforo se realizó en intervalos de 10 minutos y en 1 hora de duración.



**Figura 24. Zonas de origen-destino para peatones**

Fuente: Propia

A continuación, se presenta el flujograma, las tablas de aforo peatonal y distribución del volumen de los peatones que parten del paradero de transporte público ubicado en C.

- Origen C

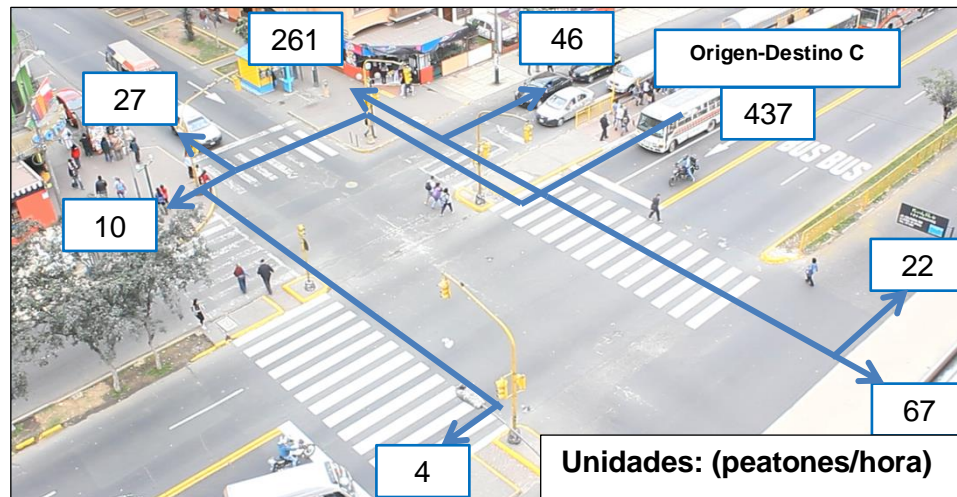


Figura 25. Flujograma peatonal (peatones/hora) con origen en C

Fuente: Propia

En la figura anterior se observa que el grueso del volumen de peatones que se originan en el paradero de transporte público se dirige hacia la Av. República Dominicana, ya que en esta avenida se tienen muchos locales de comida rápida, además de bancos y supermercados ubicados en la intersección con la av. Garzón.

Tabla 4. Volumen peatonal con origen en C

HORA	FLUJO ACUMULADO	FLUJO PARCIAL
13:00 - 13:10	90	90
13:10 - 13:20	165	75
13:20 - 13:30	252	87
13:30 - 13:40	293	41
13:40 - 13:50	371	78
13:50 - 14:00	437	66

Los flujogramas y las tablas de aforo peatonal de las demás zonas de origen-destino se encuentran en la sección de ANEXOS.



### 4.3. Datos de calibración y validación

A continuación se mostrarán los datos obtenidos en la av. Brasil (principal), tanto para el sentido norte como sur.

- Av. Brasil (principal)

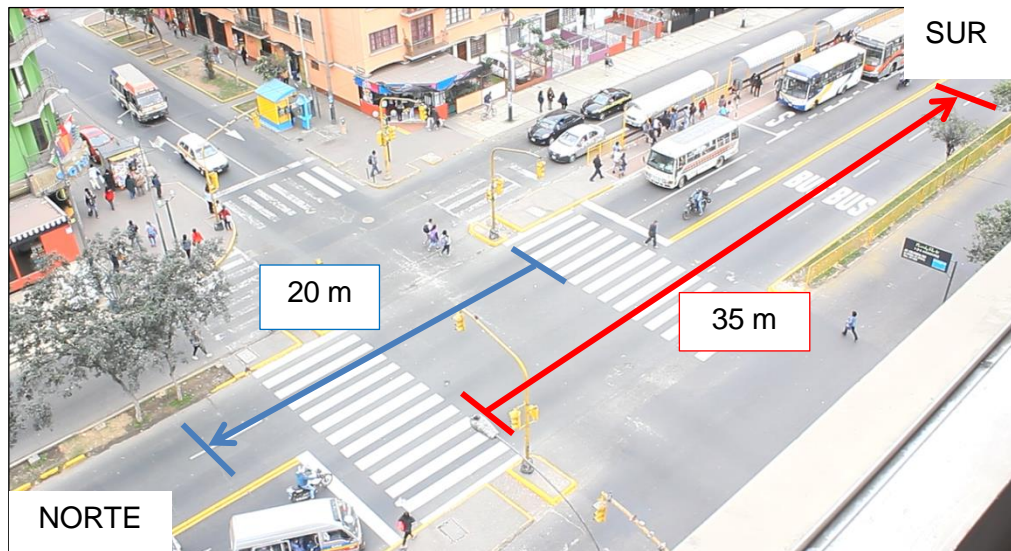


Figura 26. Distancias utilizadas para tiempos de viaje

Fuente: Propia

En la dirección norte se realizaron 40 mediciones, para obtener el número mínimo de mediciones necesarias para que la muestra sea representativa se utilizó la ecuación 7, con un margen de error correspondiente al 10% de la media obtenida, la desviación estándar de las 40 mediciones y la 't' de Student con 39 grados de libertad.

Tabla 5. Número mínimo de mediciones necesarias para la calibración

Media	2.476
Desviación Est.	0.673
Error	0.248
$t_{0.025, n-1}$	2.0211
Número mínimo de mediciones necesarias	30

Para la validación del modelo se utilizaron tiempos de viaje, a continuación se mostrará la tabla correspondiente al número mínimo de medidas necesarias en la principal de la Av. Brasil con dirección al norte.

**Tabla 6. Número mínimo de corridas necesarias para la validación**

<b>Media</b>	<b>2.260</b>
<b>Desviacion Est.</b>	<b>0.467</b>
<b>Error</b>	<b>0.226</b>
<b>t<sub>0.025,n-1</sub></b>	<b>2.0423</b>
<b>Numero mínimo de mediciones necesarias</b>	<b>18</b>

Los flujogramas, las tablas de aforo vehicular y peatonal correspondientes a los datos de validación, así como los resultados de los tiempos de viaje se encuentran en la sección de ANEXOS.



# CAPÍTULO 5. DESARROLLO DEL MODELO, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROYECTO

## 5.1. Desarrollo del modelo

Una vez obtenidos los datos geométricos, de demanda y las señales de control recolectados en campo se inicia el desarrollo del modelo a partir del software VISSIM y VISWALK 8.0. A continuación se detallará el proceso que se realizó para la creación del mismo.

### 5.1.1. Imagen de fondo

Se descarga la imagen a través de Google Maps, de esta manera el plano de la intersección será útil para la posterior creación de conectores y links. Una vez colocada la imagen esta debe ser escalada para que sea consistente con las longitudes y anchos de carril que posea la intersección.

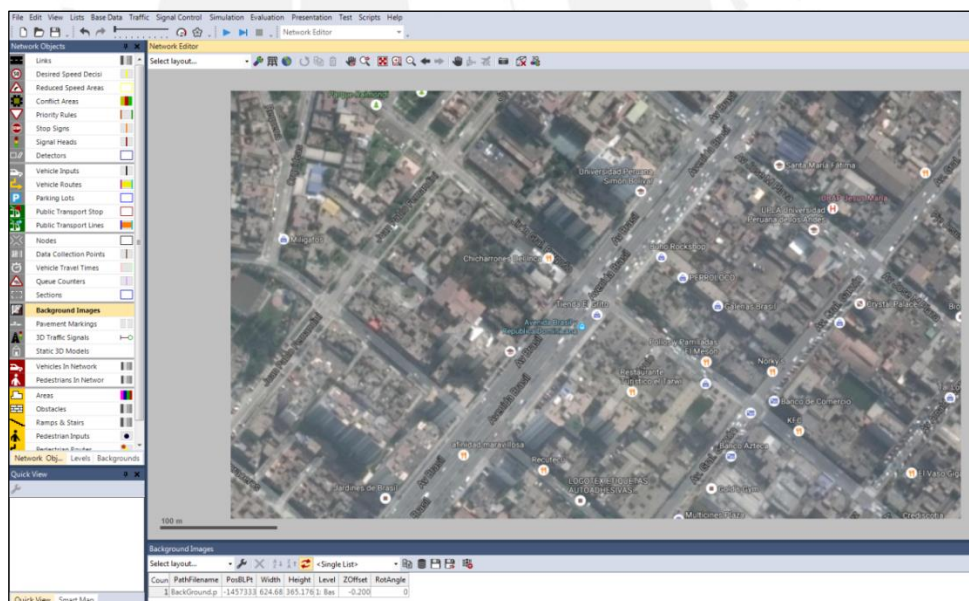


Figura 27. Background del proyecto

Fuente: Propia

## 5.1.2. Link y conectores

La opción Links del software permite crear las vías vehiculares y peatonales que se presenten en el proyecto. En cada vía se define el número de carriles que este posea, los anchos correspondientes, el sentido del flujo y la longitud. Por otro lado, los conectores son necesarios para unir links, indispensables para generar giros.

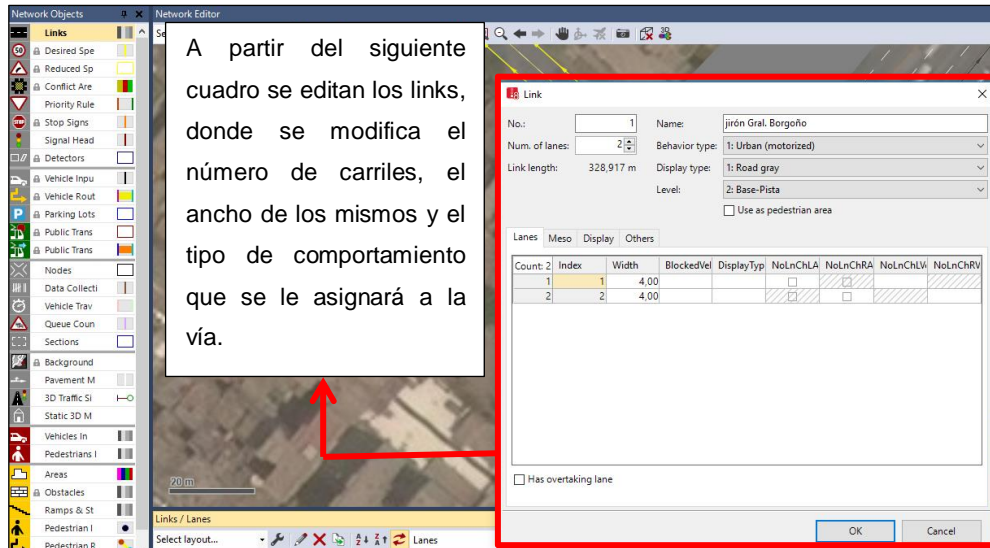


Figura 28. Creación y edición de links

Fuente: Propia

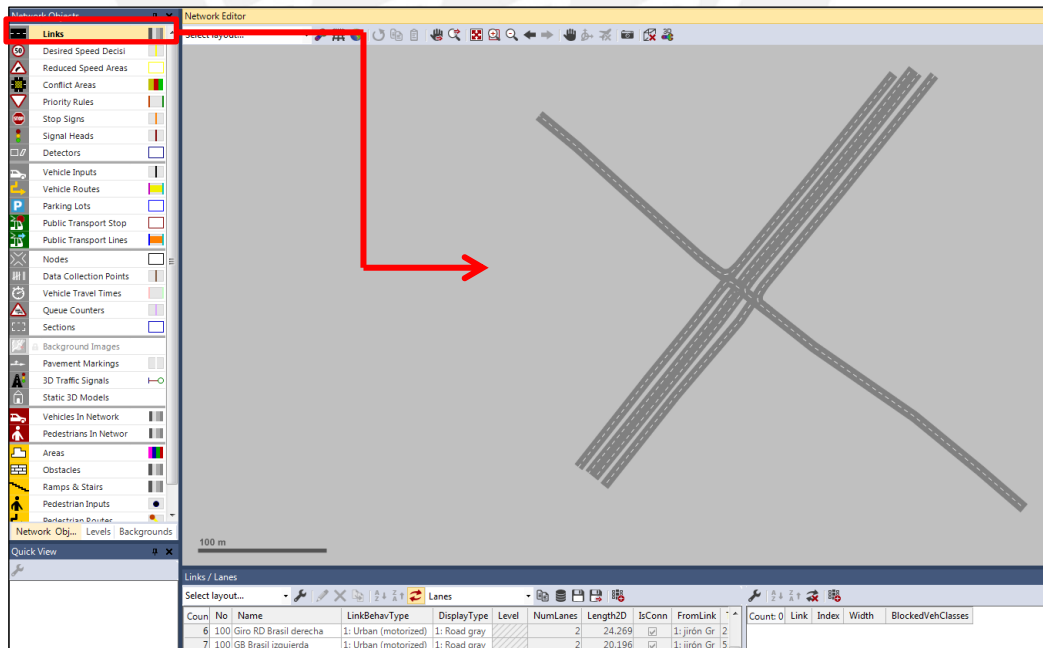


Figura 29. Creación de carriles del proyecto

Fuente: Propia

### 5.1.3. Señales de control semafórico

A partir de esta herramienta, el software será capaz de recrear las señales de control semafóricas que se presentan en el proyecto. De esta manera la intersección estará bajo el control de los semáforos vehiculares y peatonales.

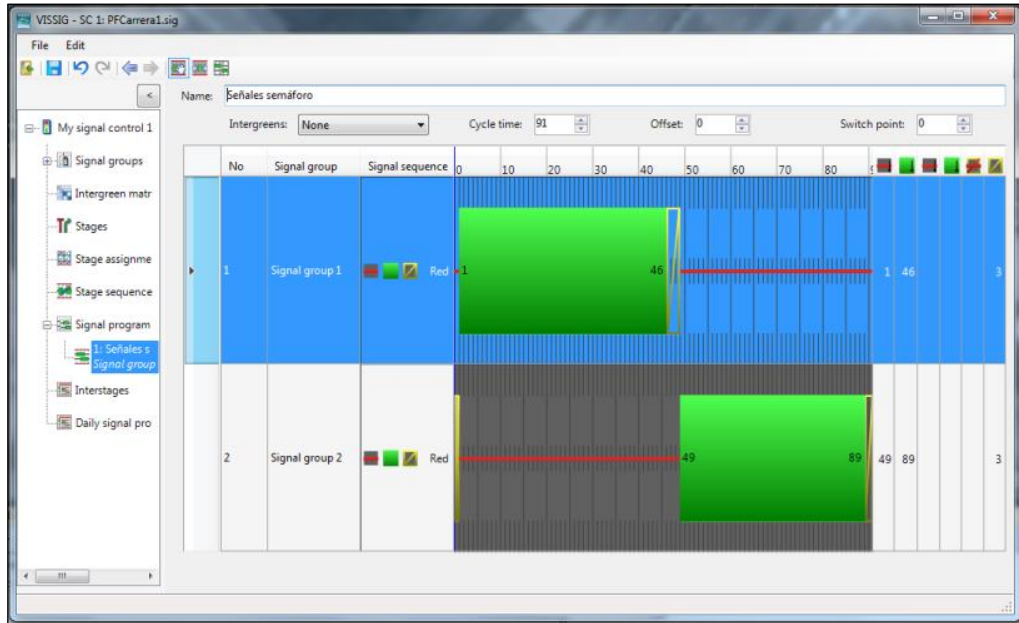


Figura 30. Distribución de tiempos de semáforo para cada fase

Fuente: Propia

### 5.1.4. Creación de flujos vehiculares y peatonales

A partir de los datos de demanda registrados en campo, se define la composición vehicular que posee la intersección, así como también el aforo. Luego se determinan las rutas estáticas junto con el porcentaje de vehículos que generan dichas rutas.

A continuación se muestra la creación de la composición vehicular para cada link creado dentro de la intersección, que consiste en colocar todos los tipos de vehículos que circulan en cada vía. Se le asignó a cada tipo de vehículo una velocidad deseada estándar que presenta el software, además se fijó el porcentaje que este representa con respecto al flujo total.

Count	No	Name
1	1	General Borgoño
2	2	Av. Brasil auxiliar norte
3	3	Av. Brasil auxiliar sur
4	4	Av. Brasil principal norte
5	5	Av. Brasil principal sur

Count	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	100: Car	50: 50 km/h	0.861
2	200: Camión	50: 50 km/h	0.010
3	300: Bus	50: 50 km/h	0.025
4	400: Combis	50: 50 km/h	0.032
5	610: Coaster	50: 50 km/h	0.042
6	620: Motocicletas	50: 50 km/h	0.031

Figura 31. Composición vehicular

Fuente: Propia

En el caso de peatones se asignó una composición típica la cual consiste en hombres y mujeres en porcentajes equivalentes.

En el proyecto presente se cuenta con combis y camiones pequeños, vehículos bastante representativos en nuestro contexto, los cuales no están contemplados en la lista de vehículos típicos que posee el software. Por ello fue necesaria la creación de ambos. Para ello, a través de la pestaña Base Data, 2D/3D Models es posible crear los vehículos a partir de la base de datos que presenta el programa. Además es posible utilizar la siguiente página web: [v3d.ptvamerica.com](http://v3d.ptvamerica.com), donde es posible exportar diferentes tipos de vehículos. Esta herramienta permite también modificar las características geométricas de los vehículos, tales como longitud, ancho, etc.

Count	No	Name	Length
13	102	Ped - Man 02	0,409
14	103	Ped - Man 03	0,442
15	104	Ped - Man 04	0,435
16	201	Ped - Woman 01	0,360
17	202	Ped - Woman 02	0,342
18	203	Ped - Woman 03	0,397
19	204	Ped - Woman 04	0,310
20	251	Ped - Woman & Child	0,357
21	301	Ped - Wheelchair	1,236
22	100	Combis	4,550
23	100	Coaster	6,950
24	100	Bus	11,149
25	100	Camión Grande	10,228
26	100	Moto	2,233
27	100	Car - Toyota Corolla	4,419
28	100	Camión Pequeño	6,312
29	100	Camioneta01	4,641
30	101	Camioneta02	4,891
31	101	Camioneta03	4,941

Figura 32. Creación de vehículos

Fuente: Propia

Una vez creados los vehículos, se procede a fijarlos dentro de un grupo que contenga las mismas características. Esta opción es a partir de la pestaña Base Data, Distributions, 2D/3D Model.

Count	Share	Model2D3D
1	0,100	1: Car - Volkswagen Golf
2	0,100	2: Car - Audi A4
3	0,100	3: Car - Mercedes CLK
4	0,100	4: Car - Peugeot 607
5	0,100	5: Car - Volkswagen Beetl
6	0,100	6: Car - Porsche Cayman
7	0,100	7: Car - Toyota Yaris
8	0,100	1009: Camioneta01
9	0,100	1010: Camioneta02
10	0,100	1011: Camioneta03
11	0,100	1007: Car - Toyota Corolla

Figura 33. Asignación de vehículos a un determinado tipo

Fuente: Propia

En la siguiente figura se muestra la asignación del flujo vehicular para cada link de la intersección, separados en intervalos de 15 minutos. Es necesario asignarle al software el flujo en las unidades de vehículos/hora, ya que así es como lo interpreta.

**Asignación de flujos vehiculares**

Count	No	Name	Link	Volume(0)	VehComp(0)
1	1	Republica Dominicana	1: jirón Gral. Borjorho	209.0	1: Default
2	2	Av. Brasil principal Norte	3: Av. Brasil principal Nort	39.0	1: Default
3	3	Av. Brasil principal Sur	4: Av. Brasil principal Sur	57.0	1: Default
4	4	Av. Brasil auxiliar Norte	2: Av. Brasil auxiliar Norte	153.0	1: Default
5	5	Av. Brasil auxiliar Sur	5: Av. Brasil auxiliar Sur	157.0	1: Default

Figura 34. Flujos vehiculares para intervalos de 15 minutos

Fuente: Propia

### 5.1.5. Asignación de rutas estáticas

Una vez fijado el flujo vehicular de cada vía, se procede a distribuirlo entre todas las posibles rutas que se hayan detectado en campo. En la siguiente figura se toma como ejemplo la Av. República Dominicana, en donde se presentan cinco diferentes rutas que toman los vehículos cuando recorren esta vía.

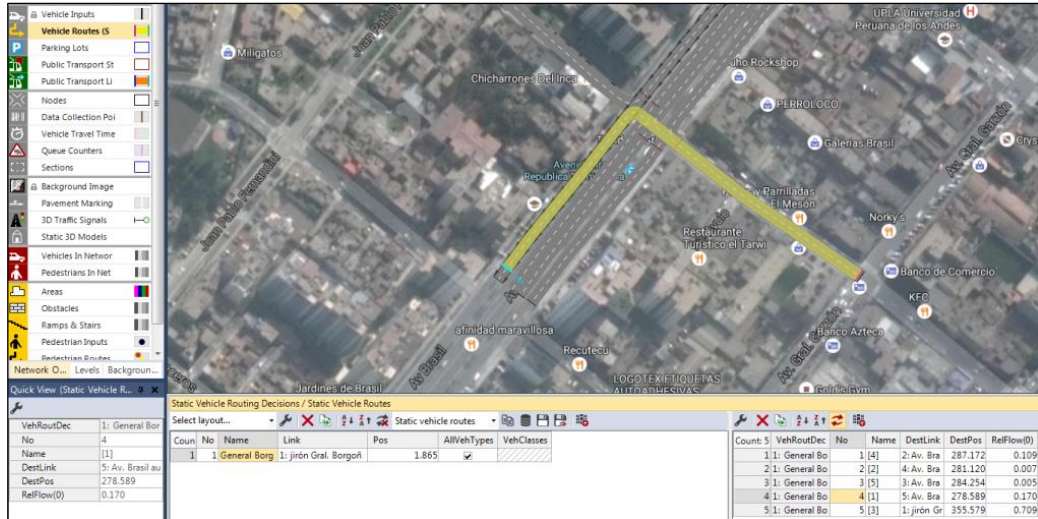


Figura 35. Rutas estáticas vehiculares

Fuente: Propia

La distribución vehicular correspondiente a la rutas de cada vía, así como las rutas peatonales en cada zona de origen-destino se encuentran en la sección de ANEXOS.

### 5.1.6. Áreas de conflicto y reglas de prioridad

A partir de esta opción, el programa puede representar el funcionamiento de la intersección. En el contexto en el que se desarrolla el proyecto de ingeniería se observa que, generalmente, los vehículos tienen prioridad sobre los peatones en cuanto a los giros que estos realizan. De esta manera, el software genera áreas de conflicto cuando ocurre un cruce de carriles o existen conectores que permiten giros. Por lo tanto es posible corresponder las características que se observan en la realidad, en la simulación; sin embargo, no llega a representar completamente el comportamiento que presentan los usuarios cuando estos interactúan entre ellos.



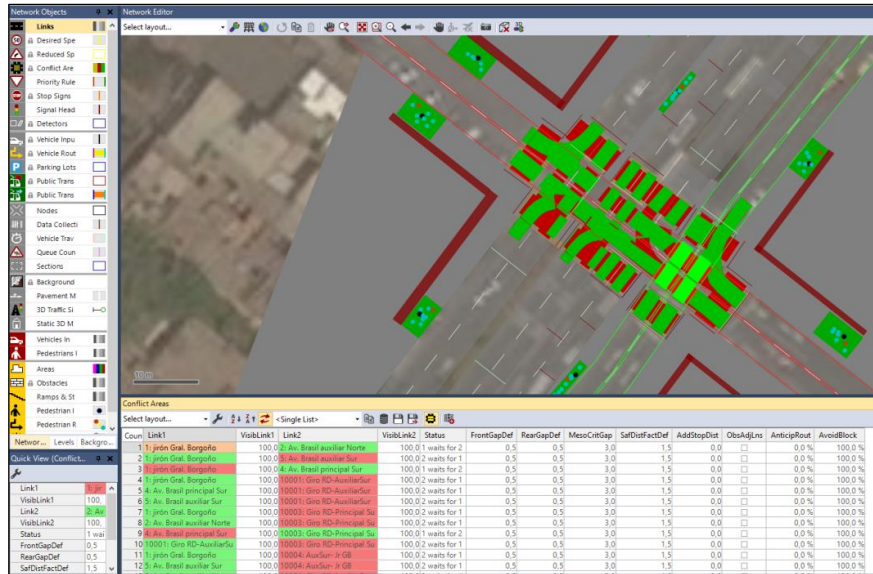


Figura 36. Áreas de conflicto en la intersección

Fuente: Propia

## 5.2. Verificación de errores y comprobación del modelo

En esta etapa se verifica el modelo, los datos de demanda como flujos vehiculares y peatonales, las señales de control y la geometría de las vías.

En la siguiente figura se muestra la primera opción que se utilizó para recrear el comportamiento del transporte público, en la que se generó una gráfica de tiempos de parada para buses y links con prioridades especiales de cambio de carril.

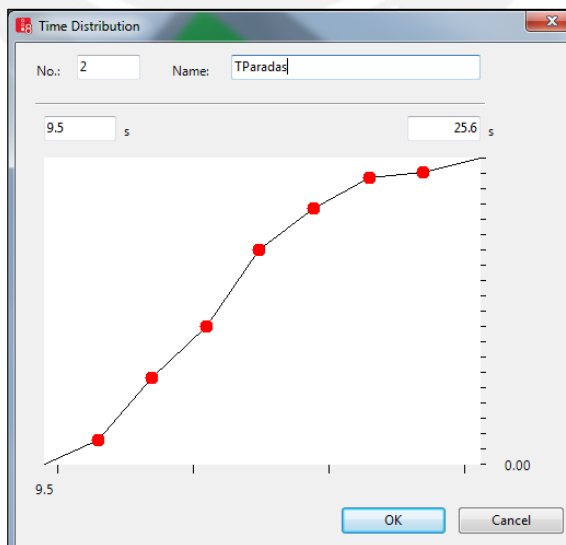


Figura 37. Tiempo de parada de buses de transporte público

Fuente: Propia

Sin embargo, al crear carriles separados en una misma vía, y unirlos a partir de conectores se traslapaban vehículos y se generaban largas colas, cualidades que no son representativas en la vía.

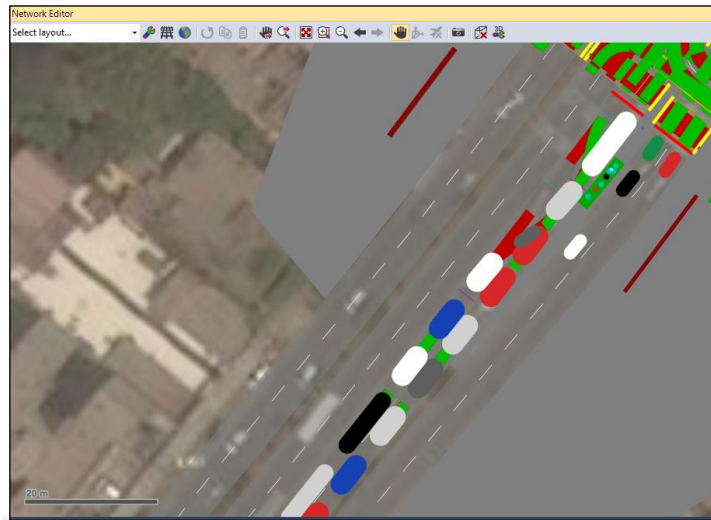


Figura 38. Verificación de errores en la Av. Brasil

Fuente: Propia

Por ello, para recrear el comportamiento de los buses de transporte público, se optó por utilizar semáforos invisibles que tengan un tiempo de rojo de 15 segundos, los cuales fueron colocados en el área correspondiente a la parada de buses. Como se observa en la imagen, estos semáforos afectarán a los buses, combis y coasters.

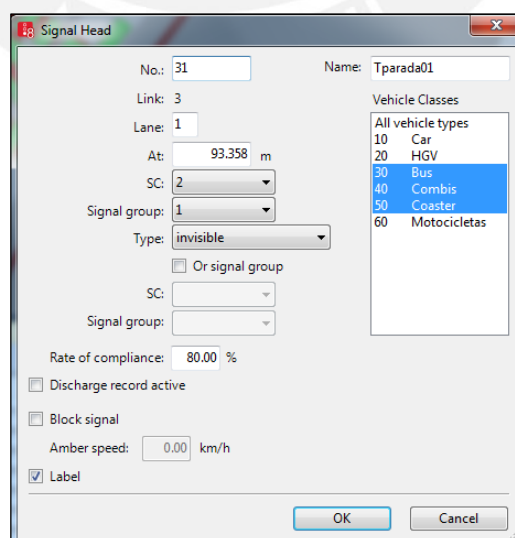


Figura 39. Semáforos invisibles ubicados en el paradero de transporte público

Fuente: Propia

### 5.3. Calibración del modelo

Consiste en representar las condiciones locales observadas en el proyecto y la interacción entre todos los usuarios. Esto será posible a través de la modificación de los parámetros de Wiedemann, donde se logrará una cierta similitud en los resultados que genera el software con los resultados obtenidos en campo con un nivel de confianza y un margen de error determinado. Para ello, la medida seleccionada para calibrar el modelo es el de tiempos de viaje para las cinco vías, en el caso de vehículos.

Coun	No	Name	StartLink	StartPos	EndLink	EndPos	Dist
1	1	RDominicana	1: jirón Gral. Borgoño	92.102	1: jirón Gral. Borgoño	121.426	29.32
2	2	Brasil auxiliar norte	2: Av. Brasil auxiliar Norte	121.867	2: Av. Brasil auxiliar N	141.867	20.00
3	3	Brasil auxiliar norte	3: Av. Brasil principal Norte [1]	128.150	3: Av. Brasil principal	148.150	20.00
4	4	Brasil auxiliar sur	5: Av. Brasil auxiliar Sur	150.417	5: Av. Brasil auxiliar S	170.648	20.23
5	5	Brasil principal sur	4: Av. Brasil principal Sur	151.537	4: Av. Brasil principal	186.537	35.00

Figura 40. Medidas del tiempo de viaje de vehículos para cada vía

Fuente: Propia

Por otro lado, en la calibración de peatones se utilizará la velocidad promedio en tres secciones ubicadas dentro de la intersección. De igual forma que en la calibración de vehículos, se modificarán parámetros que varían el comportamiento de los peatones.

Coun	No	Name	Tau	ReactToN	ASocIso	BSocIso	Lambda	ASocMean	BSocMean	VD	Noise	SidePref
1	1	Default	0.100	8	2.720	0.200	0.350	0.400	2.800	3.000	1.200	None

Figura 41. Parámetros de la fuerza social

Fuente: Propia

#### 5.3.1. Parámetros de Wiedemann y modelo de la fuerza social

##### 5.3.1.1. Parámetros de Wiedemann

A continuación se presenta una tabla donde se muestra los parámetros seleccionados para la calibración y validación del modelo, correspondientes a Wiedemann 74 (utilizado para zonas urbanas).

**Tabla 7. Parámetros de Wiedemann**

Parámetros	Descripción
Distancia entre vehículos cuando están detenidos	(ax): Define la distancia media deseada entre ambos vehículos La tolerancia se encuentra entre -1,0 m y 1,0 m, que se distribuye normalmente alrededor de 0,0 m, con una desviación estándar de 0,3 m. El valor por defecto 2.0
Distancia de seguridad (parte aditiva)	(bx <sub>add</sub> ): Valor utilizado para el cálculo de la distancia de seguridad deseada d. Permite ajustar los valores requisito de tiempo. 2.0 por defecto
Distancia de seguridad (parte multiplicativa)	(bx <sub>mult</sub> ): Valor utilizado para el cálculo de la distancia de seguridad deseada d. Permite ajustar los valores requisito de tiempo. Mayor valor = mayor distribución (Desviación estándar) de distancia de seguridad por defecto 3.0

La distancia d deseada se calcula como:

$$d = ax + bx$$

$$bx = (bx_{add} + bx_{mult} * z) * \sqrt{v}$$

Dónde:

v: velocidad vehicular (m/s)

z: es un valor entre [0,1], que se distribuye normalmente alrededor de 0.5

**Tabla 8. Resumen de parámetros para la calibración vehicular del modelo**

Parámetros Vissim	W74ax	W74bxAdd	W74bxMult	Tiempos de viaje (media)				
				Rdominicana	Auxiliar Norte	Principal Norte	Auxiliar Sur	Principal Sur
Juego de parámetros								
Campo				3.393	2.610	2.476	2.110	4.286
Por defecto	2	2	3	3.170	2.490	2.280	1.900	4.110
1	1.5	2	3	3.185	2.477	2.282	1.913	4.103
2	1	2	3	3.214	2.506	2.285	1.931	4.071
3	1	2	2	3.261	2.529	2.284	1.899	4.110
4	1	4.5	4.5	2.758	2.346	2.280	1.938	4.073
5	0.9	1.75	1.75	2.759	2.299	2.284	1.927	4.041
6	1	3	4	3.236	2.609	2.303	2.354	4.103
7	1	3.5	4	2.760	2.280	2.280	1.940	4.140
8	0.9	4	4	2.770	2.270	2.290	1.970	3.910
9	1.5	4	4	3.340	2.440	2.300	2.190	3.900
10	1.25	3.5	3.5	3.350	2.500	2.290	2.250	3.920
11	1	3.5	3.5	3.34	2.48	2.31	2.26	3.92
				Calibrado			No calibrado	

Como se observa en la tabla anterior, a partir de cinco juegos de parámetros el modelo llegó a ser calibrado. Además se debe verificar que los datos obtenidos por el software cumplan con el número mínimo de corridas necesarias para ser representativos. A partir de la ecuación 7 descrita en el capítulo 3, se presenta una tabla resumen para el juego de parámetros N°2.

**Tabla 9. Tiempos de viaje obtenidos en el VISSIM a partir del juego de parámetros N°2 (tiempo en segundos)**

	Juego de parámetros N°2				
	R. Dominicana	Brasil auxiliar norte	Brasil principal norte	Brasil auxiliar sur	Brasil principal sur
	3.14	2.64	2.43	2.02	4.08
	3.26	2.37	2.35	1.92	4.20
	3.53	2.75	2.34	1.84	4.51
	3.17	2.60	2.24	1.82	3.89
	3.38	2.43	2.14	1.99	4.22
	3.12	2.55	2.25	1.88	4.02
	3.15	2.34	2.32	1.82	4.14
	3.13	2.66	2.38	1.83	3.98
	3.01	2.60	2.25	2.09	3.89
	3.37	2.40	2.37	2.14	4.30
	3.22	2.45	2.27	1.97	3.80
	3.30	2.49	2.20	1.94	3.93
	3.25	2.46	2.25	1.97	4.07
	3.18	2.35	2.28	1.87	4.10
	2.99	2.49	2.21	1.86	3.94
<b>Media</b>	3.214	2.506	2.286	1.931	4.071
<b>Desviacion Est.</b>	0.142	0.122	0.077	0.099	0.184
<b>Error</b>	0.321	0.251	0.229	0.193	0.407
<b>t0.025,n-1</b>	2.1448	2.1448	2.1448	2.1448	2.1448
<b>Numero mínimo de corridas</b>	1	1	1	1	1

Como se observa, el número mínimo necesario de corridas para que los datos sean representativos a partir del software es 1, ya que la desviación estándar es considerablemente pequeña y en comparación con la desviación estándar obtenida en campo, esta representa apenas el 20%. De esta manera el programa garantiza valores muy cercanos al promedio, característica que no siempre se representa en nuestra realidad.

Para calibrar el modelo se utilizó el StatKey v. 1.5.1, ya que consiste en una prueba no paramétrica, la cual no requiere que la distribución de la población se caracterice en función de determinados parámetros. Las pruebas no paramétricas son útiles cuando los datos no son normales, o cuando lo son.

Para ello, se utilizó los resultados que se obtuvieron a partir del juego de parámetros N° 11, ya que son los que más se aproximan a los valores obtenidos en campo.

**Tabla 10. Calibración del modelo a partir del juego de parámetros N°11**

	Republica Dominicana	Auxiliar Norte	Principal Norte	Auxiliar Sur	Principal Sur
<b>Diferencia de medias</b>	-0.06	-0.13	-0.17	0.15	-0.37
<b>Intervalo de confiabilidad del 95%</b>	[-0.291, 0.313]	[-0.341, 0.348]	[-0.340, 0.345]	[-0.226, 0.234]	[-0.567, 0.589]

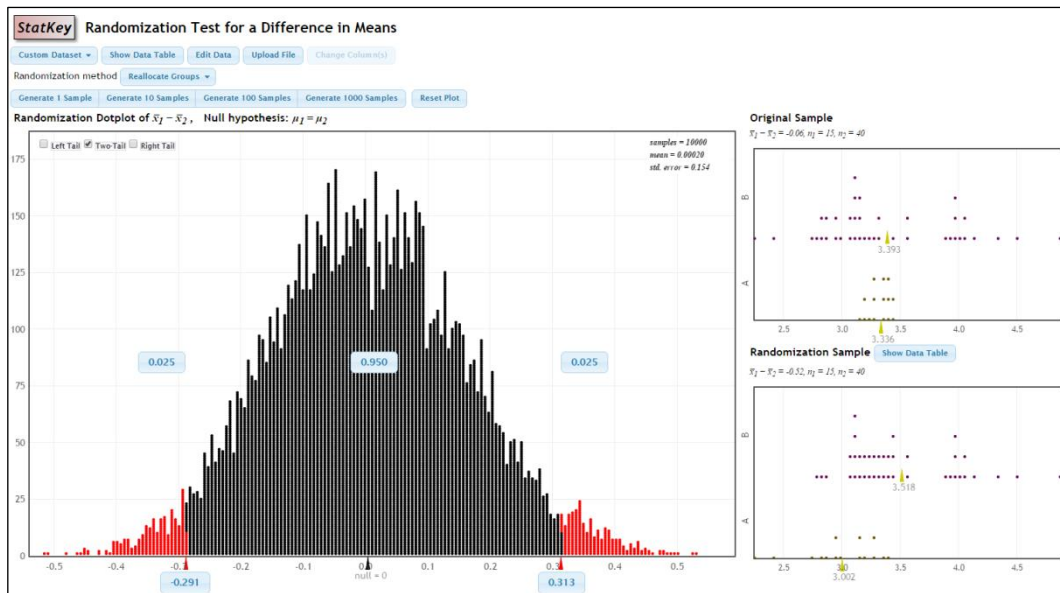


Figura 42. Calibración de la Av. República Dominicana a partir del juego N°11

Fuente: Propia

Las gráficas de las demás vías que se calibraron a partir del StatKey se encuentran en la sección ANEXOS.

Asimismo se utilizó la hipótesis nula, la cual se representa por  $H_0$  y  $H_1$ , y que será aceptada provisionalmente como verdadera, donde su validez será sometida a comprobación experimental.

$$H_0: \theta = \theta_0, \text{ y } H_1: \theta \neq \theta_0$$

Ecuación 13

La prueba de una hipótesis estadística es un proceso que nos conduce a tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula  $H_0$ , en oposición de la hipótesis alternativa  $H_1$  y en base a los resultados de una muestra aleatoria seleccionada de la población en estudio. La aceptación de una hipótesis significa que los datos de la muestra no proporcionan evidencia suficiente para refutarla (Zamora, 1995).

Al tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula  $H_0: \theta = \theta_0$  en base a los resultados obtenidos de una muestra aleatoria seleccionada de la población de estudio; hay cuatro posibles situaciones que determinan si la decisión tomada es correcta o incorrecta, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 11. Resultados posibles

Decision	Ho verdadera	H1 verdadera
Aceptar Ho	decision correcta	error tipo II
Rechazar Ho	error tipo I	decision correcta

Dónde:

Error tipo I: este error se comete al rechazar una hipótesis nula  $H_0$ , cuando ésta es verdadera.

Error tipo II: este error se comete al aceptar una hipótesis nula  $H_0$ , cuando en realidad es falsa.

### 5.3.1.2. Modelo de la fuerza social

Para la calibración de peatones a partir de Viswalk, se creó una distribución de velocidad deseada de peatones. De esta manera se les agregó una característica para representar mejor el modelo.

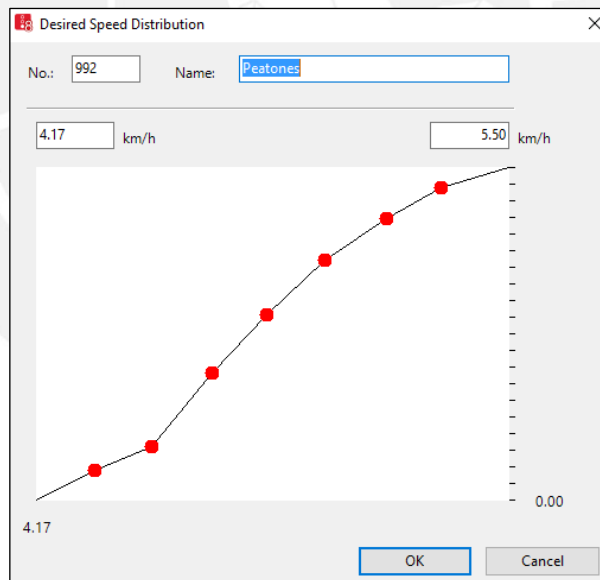


Figura 43. Distribución de velocidad deseada de peatones

Fuente: Propia

A continuación se presenta el juego de parámetros N°4 utilizado para la calibración del modelo.

**Tabla 12. Parámetros de Viswalk**

Viswalk			
Parámetros	Tau	Lambda	Noise
Valores	0.1	0.35	1.2

A partir de los parámetros descritos se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 13. Resumen de valores obtenidos para la calibración de peatones**

	Crucero A-C (auxiliar)	Crucero B-D (auxiliar)	Crucero C-E (principal norte)
Diferencia de medias	-0.08	0.07	-0.18
Intervalo de confiabilidad del 95%	[-0.214, 0.237]	[-0.247, 0.239]	[-0.324, 0.332]

De esta manera se calibró el modelo bajo el mismo procedimiento estadístico utilizado para los vehículos, las tablas y gráficos obtenidos del StatKey se encuentran en la secciones de ANEXOS.

#### 5.4. Validación del modelo

Finalmente, para concluir la construcción del modelo, se valida a partir de una nueva toma de datos de campo realizado en una fecha distinta a la de calibración, los datos de demanda fueron obtenidos el día sábado 17 de setiembre de 15:00 – 16:00 pm.

De esta manera, con los parámetros utilizados para la calibración del modelo se procede a analizar nuevamente el proyecto. Se replicará lo realizado en la etapa de calibración, y se verificará si los datos de campo y los valores que se obtienen del Vissim son similares a partir del procedimiento estadístico utilizado anteriormente.

Durante la calibración, los juegos de parámetros N° 10 y 11 fueron los más similares en comparación con los datos obtenidos en campo, por lo que se probaron ambos. Sin embargo, el juego de parámetros N° 11, durante la validación, fue el que completó la verificación de las cinco vías.



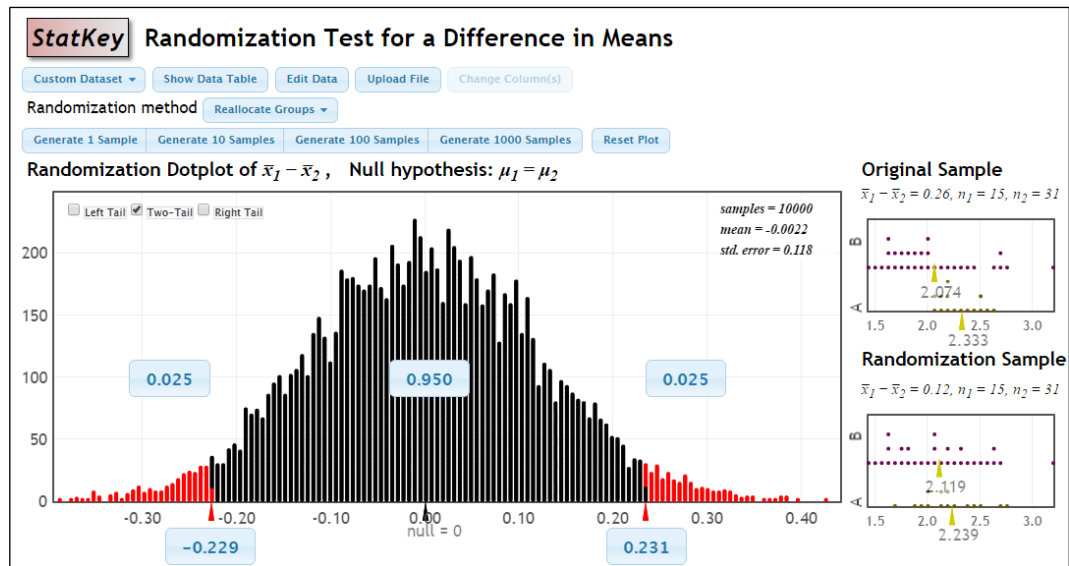


Figura 44. Juego de parámetros que no verificó (auxiliar sur de la Av. Brasil)

Fuente: Propia

A continuación se muestran los resultados obtenidos a partir del juego de parámetros N°11 para la validación del modelo.

Tabla 14. Validación del modelo

	Republica Dominicana	Auxiliar Norte	Principal Norte	Auxiliar Sur	Principal Sur
<b>Diferencia de medias</b>	-0.08	-0.13	0.09	0.21	-0.36
<b>Intervalo de confiabilidad del 95%</b>	[-0.231, 0.242]	[-0.249, 0.299]	[-0.234, 0.239]	[-0.234, 0.239]	[-0.42, 0.417]

Las tablas y gráficos correspondientes a la validación de vehículos y peatones a partir del StatKey se encuentran en la sección de ANEXOS.

## CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTAS DE MEJORA

En el presente capítulo se analizará, a partir de medidas de efectividad obtenidas de VISSIM, la calidad en el funcionamiento de la intersección. De esta manera se presentará una propuesta de mejora, en la que se mejore significativamente la calidad de la intersección, así como una mejor distribución del espacio público y accesibilidad.

### 6.1. Análisis de resultados

Al construir el modelo se utilizaron datos de demanda de dos fechas distintas, por lo que para la implementación de mejoras en la intersección se utilizará el de mayor flujo acumulado. A continuación se muestra un resumen de los flujos obtenidos durante el periodo de una hora en cada vía del proyecto.

	Calibracion	Validacion
Av. República Dominicana	757	839
Av. Brasil (principal norte)	170	180
Av. Brasil (principal sur)	160	178
Av. Brasil (auxiliar norte)	562	576
Av. Brasil (auxiliar sur)	644	671
<b>Flujo Total</b>	<b>2293</b>	<b>2444</b>

**Figura 45. Flujos de cada vía para la calibración y validación**

Fuente: Propia

Por lo tanto, como se observa en la figura, se tomará el flujo total proveniente a los datos de campo utilizados para la validación del proyecto (2444 veh/hora). La propuesta de mejora se realizará en base a este aforo vehicular.

A continuación se describirán tres medidas de efectividad para vehículos obtenidas en la intersección, la velocidad, la demora y las longitudes de cola. Asimismo, se presentarán la velocidad y el tiempo de viaje para peatones. Estos fueron conseguidos a partir de 15 corridas del modelo validado.

### 6.1.1. Velocidad de viaje vehicular

La velocidad y la demora son medidas que están relacionadas con la cantidad de tiempo que los conductores deben utilizar para completar sus viajes en la intersección.

**Tabla 15. Velocidad promedio de viaje en la intersección**

Número de corridas	Velocidad promedio (km/hr)
1	20.2
2	21.3
3	21.0
4	21.8
5	20.0
6	22.4
7	23.2
8	22.0
9	23.1
10	20.9
11	21.8
12	22.8
13	19.5
14	20.6
15	22.8
<b>Promedio</b>	<b>21.6</b>

Como se observa en la tabla, el promedio de la velocidad de viaje en la intersección es de 21.6 km/hr. Esta es una velocidad adecuada considerando que es una intersección donde existe un flujo considerable de peatones.

### 6.1.2. Demora de viaje vehicular

La demora se define como el tiempo de viaje adicional experimentado por un conductor, pasajero y peatón (Transportation Research Board, 2000). La demora que experimenta un conductor es debido a la presencia de tráfico que interfiere con el funcionamiento regular de la intersección.

La demora de viaje dentro de una intersección se calcula, generalmente, como un promedio ponderado de la demora en cada vía, y se representa como un valor para la intersección en su conjunto.

**Tabla 16. Demora promedio en la intersección**

<b>Número de corridas</b>	<b>Demora promedio (seg)</b>
1	32.7
2	29.8
3	30.6
4	28.8
5	33.3
6	27.5
7	25.8
8	28.5
9	26.1
10	30.8
11	28.5
12	26.4
13	34.5
14	31.6
15	26.5
<b>Promedio</b>	<b>29.4</b>

La demora promedio en la intersección es de 29.4 segundos, valor que representa un rendimiento adecuado en la intersección.

### **6.1.3. Longitudes de colas**

Las longitudes de cola son indicadores de ineficiencia dentro del sistema con relación a la capacidad, es una medida importante que debe evaluarse como parte de todos los análisis de intersecciones señalizadas (Transportation Research Board, 2000). El número de vehículos en cola en cualquier momento es la diferencia entre el número acumulado de vehículos que llegan a determinado punto y las salidas acumuladas hasta ese momento.

Se necesitan estimaciones de longitudes de colas vehiculares para determinar la cantidad de almacenamiento requerida para los carriles de giro y para determinar si se genera alta densidad vehicular que afecte las intersecciones contiguas.

A continuación se muestran las longitudes de cola obtenidos en las cinco vías del proyecto.

**Tabla 17. Longitudes de cola promedio en la intersección**

Avenidas de la intersección	Longitud de cola promedio (m)
Av. República Dominicana	28
Av. Brasil (auxiliar norte)	13
Av. Brasil (principal norte)	13
Av. Brasil (principal sur)	7
Av. Brasil (auxiliar sur)	12

Se puede observar que en la Av. República Dominicana es donde se genera mayor congestión vehicular con un promedio de 28 metros de cola, lo cual resulta bastante creíble debido al alto flujo vehicular que posee dicha avenida. Por otro lado, la avenida Brasil posee un menor flujo vehicular lo cual no genera mucha congestión y presenta longitudes de cola de 13 metros.

#### 6.1.4. Velocidad y tiempo de viaje peatonal

A continuación se presentan los resultados que se obtuvieron a partir del software, como se observa la velocidad promedio es de 3.23 km/hr ó 0.9 m/s, valor que puede considerarse bajo. Por otro lado el tiempo de viaje promedio en la intersección es de 62 segundos.

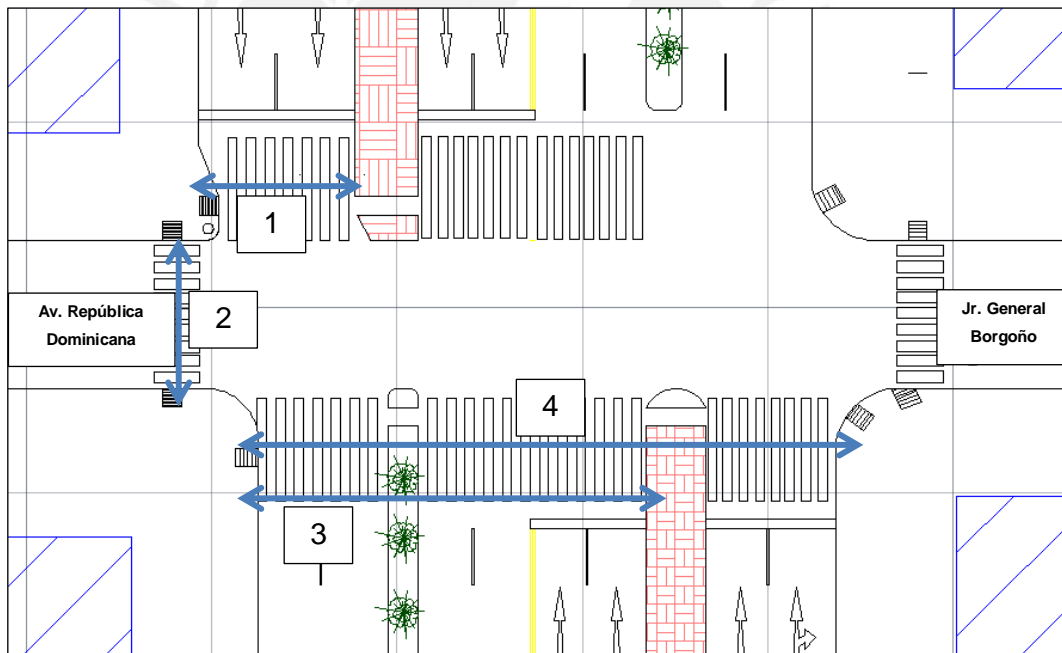
**Tabla 18. Velocidad y tiempo de viaje promedio**

Número de corridas	Velocidad promedio (km/hr)	Número de corridas	Tiempo de viaje promedio (s)
1	3.23	1	62.31
2	3.23	2	62.48
3	3.22	3	62.51
4	3.21	4	62.64
5	3.2	5	62.48
6	3.25	6	62.08
7	3.26	7	61.92
8	3.24	8	62.08
9	3.23	9	62.7
10	3.23	10	62.27
11	3.23	11	62.37
12	3.22	12	62.7
13	3.23	13	62.44
14	3.22	14	62.82
15	3.22	15	62.64
<b>Promedio</b>	<b>3.23</b>	<b>Promedio</b>	<b>62.43</b>

Asimismo, se obtuvieron cuatro resultados adicionales de tiempos de viaje promedio a partir de cuatro distancias que corresponden a las longitudes de los crucesos peatonales como se muestra a continuación.

**Tabla 19. Tiempo de viaje promedio (s)**

	Tiempo de viaje promedio (s)	Peatones en total
Crucero peatonal [1]	26.86	400
Crucero peatonal [2]	38.8	207
Crucero peatonal [3]	32.8	393
Crucero peatonal [4]	62.18	115



**Figura 46. Crucesos peatonales [1, 2, 3, 4]**

Fuente: Propia

## 6.2. Propuestas de mejora

### 6.2.1. Rediseño geométrico de la intersección

Como primera medida, al observar la intersección se propuso desplazar los paraderos que se encontraban en la avenida Brasil debido a que los buses y coasters que circulan desde la av. República Dominicana realizan giros tanto a la derecha como a la izquierda para cumplir con su ruta. Para ello se utilizó el software AutoTURN Pro 3D para AutoCAD con el fin de obtener los radios de giro necesarios para que estos vehículos puedan cumplir con su recorrido sin poner en riesgo a los peatones, como sucede en la actualidad.

Para ello, se utilizó un bus estándar de 12 metros de longitud y se le asignó una velocidad de 10 km/hr.

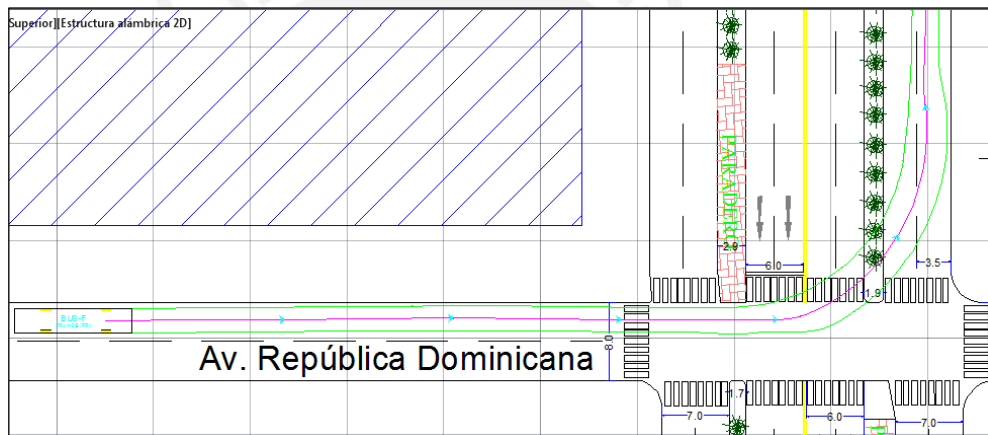


Figura 47. Giro procedente de la av. República D. con sentido hacia el sur

Fuente: Propia

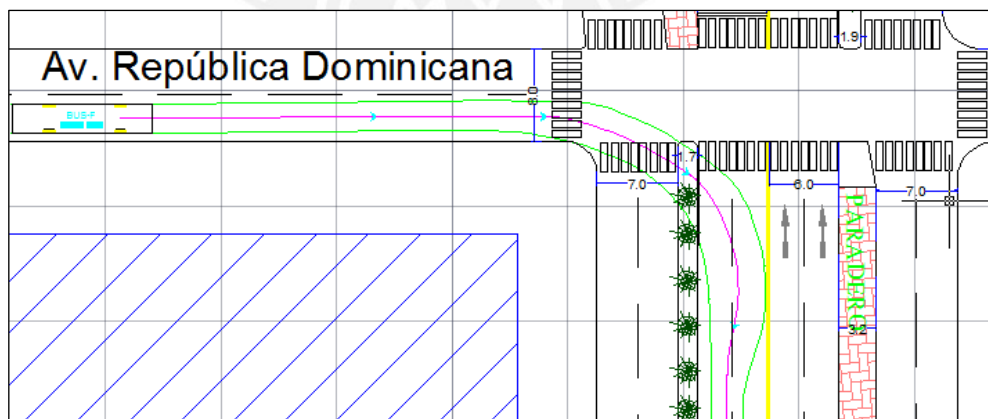
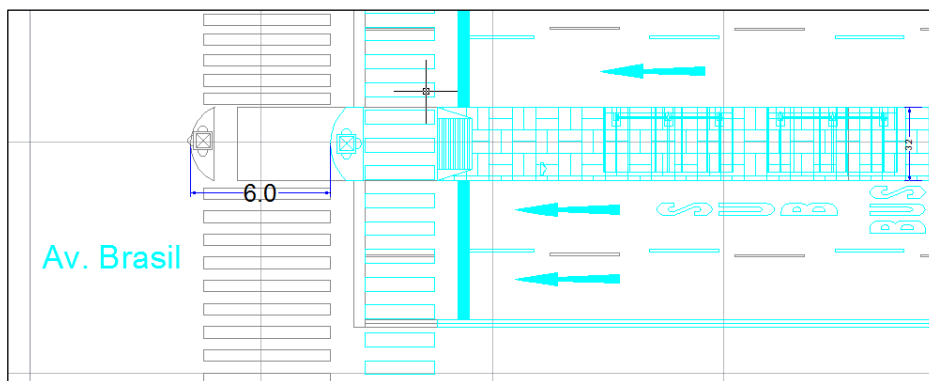


Figura 48. Giro procedente de la av. República D. con sentido hacia el norte

Fuente: Propia

Como consecuencia se obtuvo una distancia de 6 metros, medida para la cual ambos paraderos de transporte público deberán desplazarse en sentido opuesto a la intersección. A continuación, la posición del paradero de omnibus en la actualidad se presenta en color gris, mientras que de color celeste se muestra la ubicación del paradero modificado a partir de la presente propuesta.

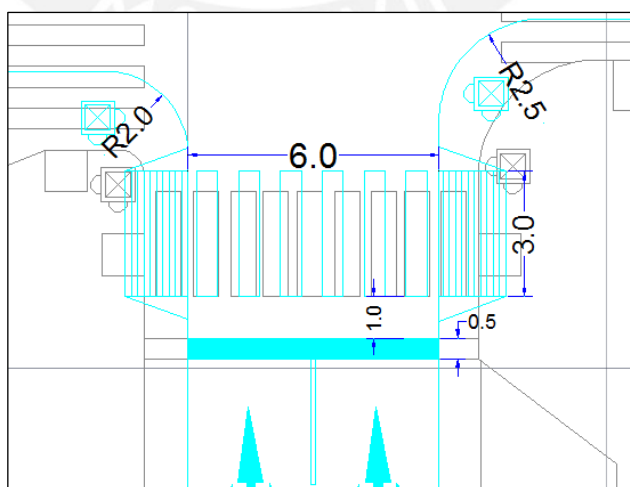


**Figura 49. Desplazamiento de paraderos autorizados en la av. Brasil**

Fuente: Propia

### 6.2.1.1. Cruceos peatonales y geometría de las esquinas

Se plantea reducir las distancias de los cruceos peatonales, de esta manera se aumenta la seguridad y el confort de los peatones al cruzar la calle. Además se propone extender la vereda en las esquinas para aumentar la visibilidad de peatones y ciclistas, así se promueve el contacto visual entre todos los usuarios que recorren la intersección.



**Figura 50. Reducción de cruces peatonales y extensión de veredas**

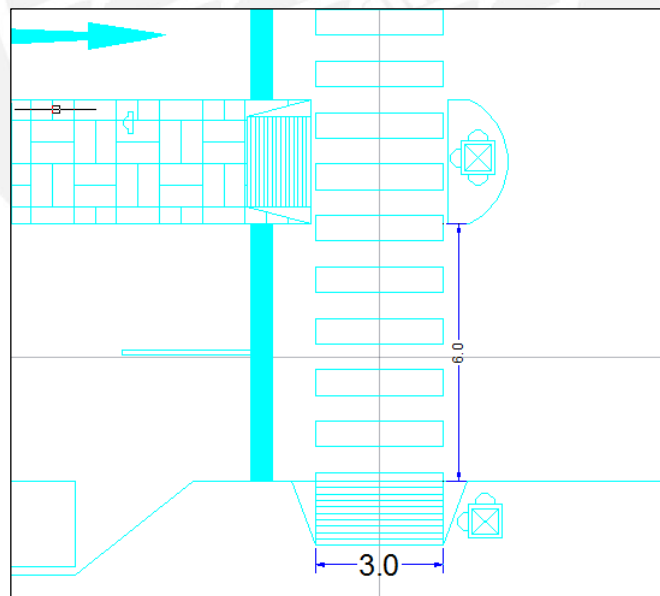
Fuente: Propia



Como se puede apreciar en la figura anterior, se planteó extender la vereda en las esquinas a partir de la reducción del ancho de vía tanto en la av. República Dominicana y jr. General Borgoño, donde se acortó de 4 a 3 metros el ancho de cada carril. De esta manera se logró una distancia efectiva de 6 metros en cada cruceo peatonal. Asimismo, se debe proveer de cuatro crucesos peatonales en toda la intersección para facilitar la circulación de los usuarios, seguir la línea de deseo de estos y evitar que tomen decisiones que generen riesgo.

#### 6.2.1.2. Accesibilidad universal

Los principios de accesibilidad universal deben formar parte en todos los aspectos del diseño de las intersecciones, desde la geometría hasta la programación de los ciclos y fases del semáforo, con el objetivo de lograr seguridad para todos los usuarios. En el presente proyecto, se plantean rampas del mismo ancho que los crucesos peatonales en cada paso a desnivel entre la acera y la calzada. Además, se plantea implementar semáforos peatonales con ciclos cortos de señal que agilicen el desplazamiento de los distintos usuarios en la intersección.



**Figura 51. Uniformidad de rampas y crucesos peatonales**

Fuente: Propia

### 6.2.1.3. Encauzamiento del tráfico vehicular

El exceso de pavimento induce a los conductores a recorrer la vía a una mayor velocidad ya que poseen más espacio para maniobrar. Por ello, la velocidad de operación se puede controlar con un diseño más compacto. Se propuso reducir el ancho de las vías en toda la intersección a 3 m, de esta manera se reduce la velocidad de operación y giro de los vehículos. En el proyecto, ambos sentidos de la principal de la av. Brasil poseen 3 metros de ancho de vía, por otro lado, las auxiliares de la av. Brasil se redujeron de 3.5 a 3 metros por carril. Finalmente, en la av. República Dominicana y el jr. General Borgoño se acortaron de 4 a 3 metros cada uno de los carriles.

### 6.2.1.4. Análisis de resultados

#### 6.2.1.4.1. Velocidad y demora de viaje vehicular

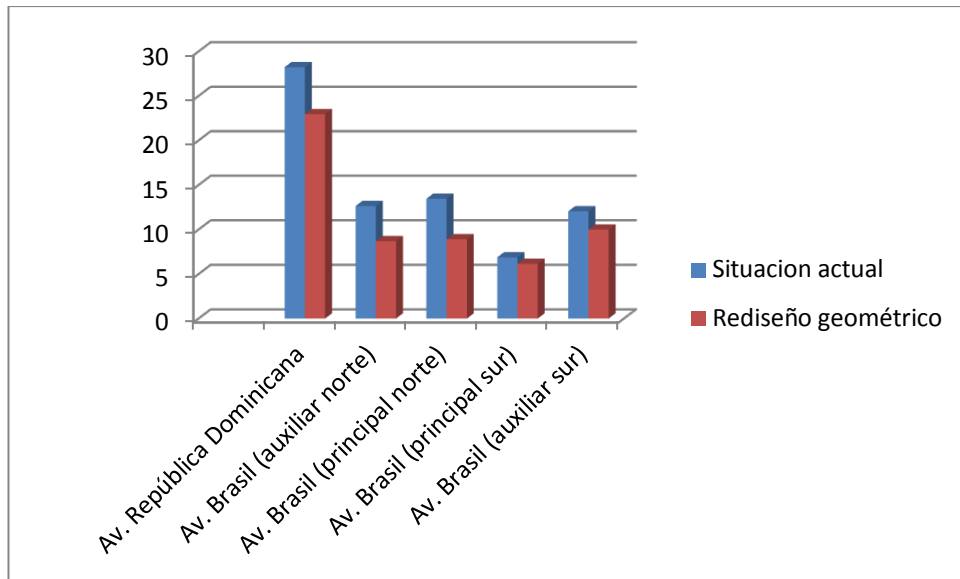
La velocidad promedio de viaje vehicular que resulta luego del rediseño geométrico es de 23.9 km/hr, la cual se incrementa en 10.5% en relación a la velocidad obtenida en la situación actual. Por otro lado la demora de viaje promedio se reduce en 17.3%.

Tabla 20. Velocidad y demora de viaje promedio vehicular

	Velocidad promedio (km/hr)	Demora de viaje promedio (s)
Promedio	23.9	24.5

#### 6.2.1.4.2. Longitudes de cola

A continuación se muestra un gráfico donde se puede observar la reducción de las longitudes de colas en cada vía a partir del rediseño geométrico. El cambio más notorio se da en la longitud de cola correspondiente a la principal de la Av. Brasil con dirección norte, en esta se produce una reducción del 33.7%.



**Figura 52. Comparación de las longitudes de colas para cada escenario**

Fuente: Propia

#### 6.2.1.4.3. Velocidad y demora de viaje peatonal

La velocidad y demora de viaje peatonal no varían significativamente cuando se realiza el rediseño geométrico. Asimismo, los tiempos de viaje obtenidos en los cruces peatonales no muestran una marcada diferencia.

#### 6.2.2. Optimizar el ciclo de semáforo en la intersección

La siguiente propuesta consiste en realizar un cambio en el ciclo del semáforo con el fin de optimizarlo. Las fases peatonales deben incluir el tiempo suficiente para que los peatones de todas las edades y habilidades físicas puedan cruzar la calle. El tiempo necesario en el que se cruza una intersección se calcula en base a la distancia de cruce y la velocidad promedio de caminata de la población adulta, la cual se estima entre 0.9 y 1.0 m/s (ITDP, 2016). Debido a ello, se estimó un valor de 30 segundos de verde, tiempo suficiente para que se pueda cruzar los 28 metros que compone la Av. Brasil. A continuación se presenta el nuevo ciclo de semáforo.

Av. Brasil (principal y auxiliar)



Av. República Dominicana



### 6.2.2.1. Análisis de resultados

A partir del cambio en el ciclo de semáforo, así como en el rediseño geométrico se obtuvieron los siguientes resultados.

#### 6.2.2.1.1. Velocidad y demora de viaje vehicular

Como se observa en la siguiente tabla, la velocidad de viaje vehicular promedio aumentó en 30.1% en el rediseño con respecto a la situación actual de la intersección, esto indica que los vehículos recorren una mayor distancia en menos tiempo. Por otro lado, la demora se redujo en un 65.2%, lo que muestra una mejora considerable en el rendimiento de la intersección.

Tabla 21. Comparación de velocidad y demora promedio de viaje en vehículos

	Velocidad promedio (km/hr)	Demora de viaje promedio (s)
<b>Rediseño</b>	28.1	17.8
<b>Situación Actual</b>	21.6	29.4
<b>Mejora (%)</b>	30.1	65.2

#### 6.2.2.1.2. Longitudes de cola

Las longitudes de colas obtenidas a partir del rediseño muestran una clara reducción con respecto al modelo actual. En la Av. República Dominicana que es la vía que más longitud de cola presenta, se tiene una reducción del 48.6%, mientras que en la Av. Brasil se produce una reducción de 38% en promedio. A partir de estos resultados podemos destacar que la optimización del ciclo de semáforo ayudo considerablemente a mejorar el rendimiento de la intersección.

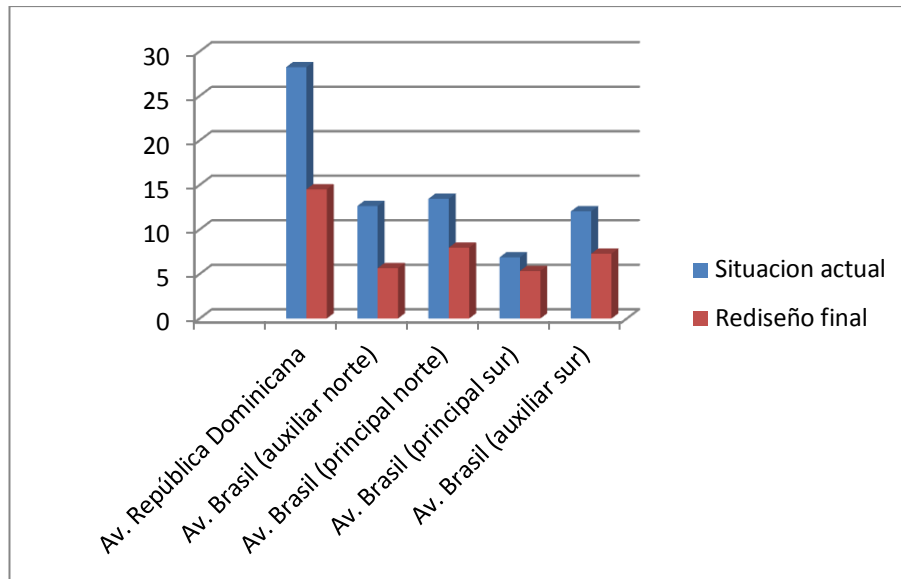


Figura 53. Comparación de las longitudes de colas para cada escenario

Fuente: Propia

### 6.2.2.1.3. Velocidad y demora de viaje peatonal

La velocidad de viaje promedio peatonal muestra un incremento del 9.4%, mientras que el tiempo de viaje promedio se reduce en 9.3%. Ambos resultados muestran una mejora discreta en el rendimiento de la red peatonal.

Tabla 22. Comparación de velocidad y tiempo promedio de viaje para peatones

	Velocidad promedio (km/hr)	Tiempo de viaje promedio (s)
<b>Rediseño</b>	3.5	56.6
<b>Situación Actual</b>	3.2	62.4
<b>Mejora (%)</b>	9.4	9.3

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

Para esta etapa se desea analizar si los resultados obtenidos a partir del rediseño, en comparación con los resultados del proyecto actual, representan un cambio significativo en la intersección. Para ello se analizarán las medidas de efectividad como lo son la velocidad, la demora de viaje vehicular y las longitudes de cola. En el caso de los peatones se analizarán las velocidades y los tiempos de viaje.

Se utilizará la hipótesis nula (alternativa), la cual se representa por  $H_0$  y  $H_1$ .

$H_0: \theta = \theta_0, y H_1: \theta > \theta_0$ , para el caso de demoras, tiempos de viaje y longitudes de cola

$H_0: \theta = \theta_0, y H_1: \theta < \theta_0$ , para el caso de velocidades

Para ello se utilizará el Statkey y se seguirá el mismo procedimiento realizado durante la calibración y validación del modelo.

A continuación se mostrará la evaluación estadística para el caso de velocidades y demoras de viaje vehicular. Además, se presentarán los casos de las velocidades y tiempos de viaje peatonales.

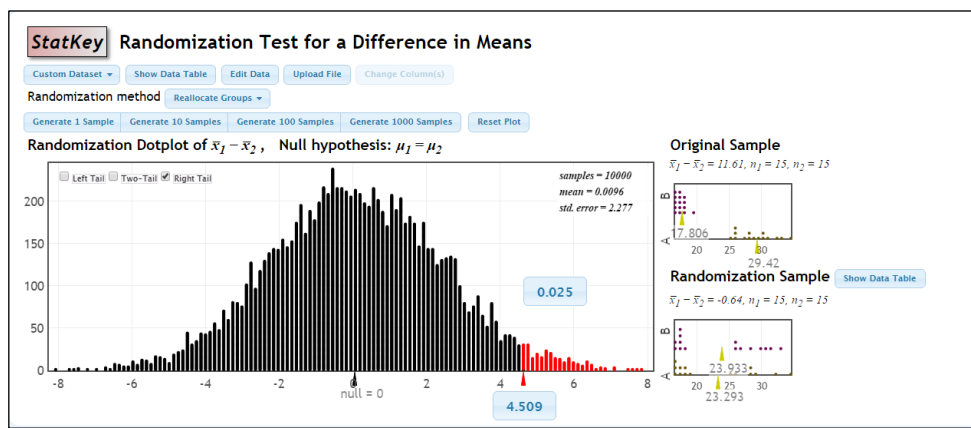


Figura 54. Evaluación estadística de las demoras de viaje vehiculares

Fuente: Propia

Como se observa en la figura anterior, se obtiene una considerable mejora con respecto a las demoras de viaje vehicular en la intersección rediseñada y optimizada. Asimismo, en la siguiente figura, la velocidad de viaje vehicular se incrementa de igual forma.

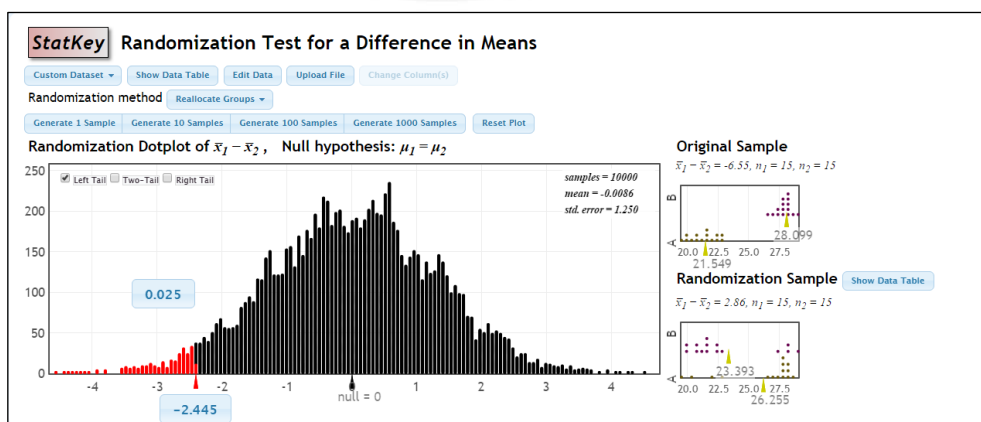


Figura 55. Evaluación estadística de las velocidades de viaje vehiculares

Fuente: Propia

La evaluación estadística realizada para la longitud de cola en cada vía se encuentra en la sección de ANEXOS.

Para las velocidades y tiempos de viaje peatonales, en ambos casos, los resultados que se obtienen del VISSIM muestran valores con una desviación estándar prácticamente insignificante (0.02 para el caso de velocidades y 0.23 para el caso de tiempos de viaje). De esta forma, se están comparando dos grupos de datos que no poseen una desviación estándar considerable. De esta forma se obtienen los siguientes gráficos, donde la velocidad y el tiempo de viaje peatonal muestran una significativa mejora, lo que ratifica un mejor rendimiento de la red peatonal.

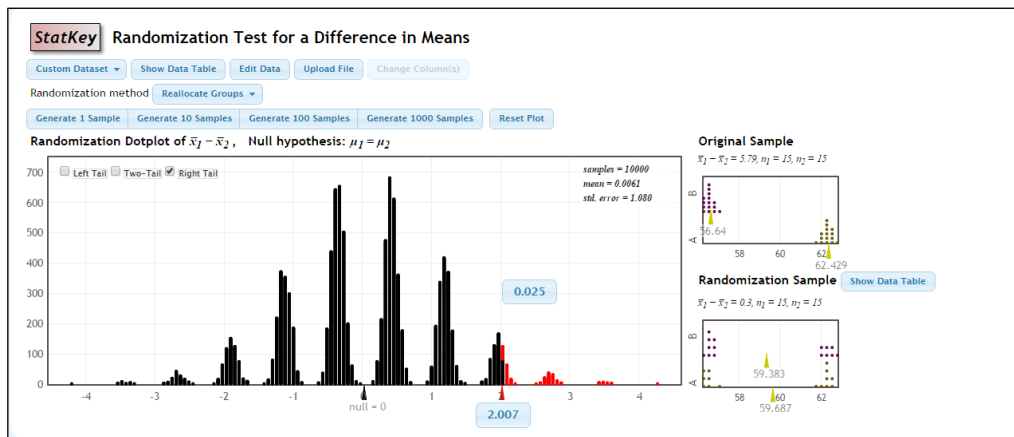


Figura 56. Evaluación estadística de los tiempos de viaje peatonales

Fuente: Propia

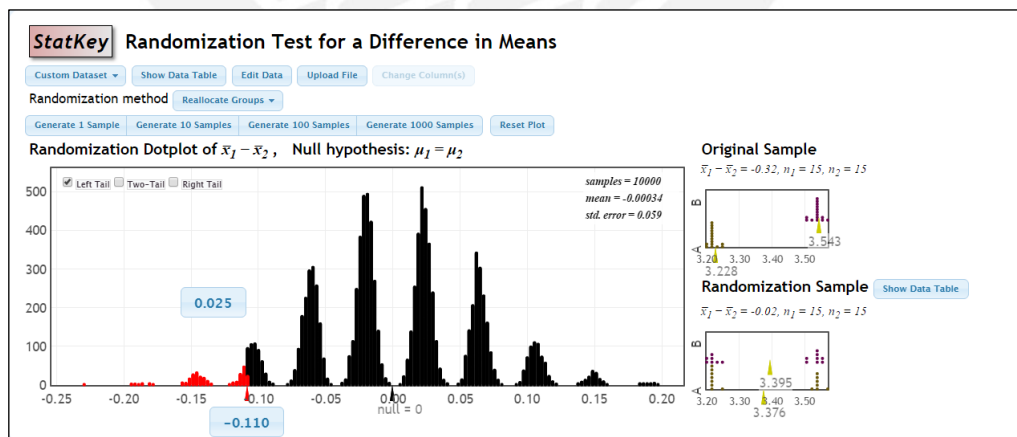


Figura 57. Evaluación estadística de las velocidades de viaje peatonales

Fuente: Propia

## CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La intersección del proyecto presenta un alto flujo peatonal, ya que se encuentra cerca del centro de actividad comercial y financiero del distrito de Jesús María. La situación actual de la intersección muestra series deficiencias con respecto a la seguridad de los peatones, ya que carece de la correcta señalización de cruces peatonales y no cuenta con semáforos para los mismos.

En la propuesta de mejora se prima la seguridad y confort de todos los usuarios de la intersección, donde el peatón debe ser la principal prioridad, seguido por los usuarios que se movilizan a partir de vehículos no motorizados.

A partir del análisis de resultados realizado para la situación actual de la intersección, el rediseño geométrico y el rediseño final, se puede concluir que a pesar de que el rediseño geométrico muestra una mejora en el rendimiento de la intersección, este no tuvo el impacto que si lo demostró la optimización del ciclo de semáforo.

El análisis de los resultados se estimó en base a tres parámetros de eficiencia para los vehículos: la velocidad promedio, demora de viaje promedio y longitudes de cola. Mientras que para los peatones se estimó en base a dos parámetros de eficiencia: la velocidad de viaje promedio y la demora de viaje promedio.

La demora de viaje vehicular promedio se redujo considerablemente (65.2%) al plantear un nuevo ciclo de semáforo, además el tiempo de viaje promedio peatonal también disminuyó, pero en menor proporción. Las longitudes de colas se vieron afectadas notablemente, donde se llegó a reducir en 48.6% el jirón General Borgoño (Av. República Dominicana) el cual presentaba los mayores problemas de congestión.

De esta manera podemos inferir que una adecuada reducción de las fases del semáforo puede contribuir bastante en la mejora del rendimiento. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que las fases mínimas de verde para peatones deban ser suficientes para que todos los usuarios puedan dirigirse a su destino, en especial las personas de avanzada edad, usuarios en sillas de ruedas y personas con alguna discapacidad física.

La propuesta de mejora contempla cambios geométricos en la intersección como la reducción del ancho de las vías, la inclusión de isletas y el incremento de los martillos peatonales. Además, la inclusión de semáforos peatonales y la



optimización de los mismos ha generado resultados favorables en la intersección a un bajo costo y ejecutable en un corto plazo.

La herramienta que utilizamos, el software VISSIM y VISWALK 8.0 fue de mucha utilidad con el fin de mejorar la calidad de la intersección, ya que permite representar de manera correcta las características de los conductores y peatones en diferentes contextos. Asimismo, es importante señalar que el software presenta limitaciones, que básicamente se deben a la difícil labor de estimar las decisiones que pueden tomar los peatones y conductores al momento de interactuar en una intersección concurrida como la del presente proyecto.

La serie de pasos propuesta en la metodología debe ser correctamente ejecutada para garantizar resultados óptimos, desde la definición del alcance del proyecto, seguido por la adecuada toma de datos de campo. Todo ello con la finalidad de garantizar los procesos de calibración y validación del proyecto.

El software VISSIM posee muchas condiciones con las cuales se puede modificar el comportamiento de los vehículos y peatones; sin embargo, en nuestra realidad existen características que son inherentes a nuestra cultura. Por ello, tratar de representar esas cualidades es muy complicado, incluso para un programa tan avanzado como este.

Los resultados que se obtienen a partir del software poseen una baja desviación estándar, lo que garantiza resultados bastante similares, sin embargo, esta característica no es muy recurrente a la hora de recopilar y procesar los datos de campo, ya que en la realidad existen diversos factores que pueden alterar el orden natural de una intersección, de esta manera se consiguen valores que pueden distar bastante el uno del otro. Esto se trata de representar en el software a partir de la aleatoriedad que conduce el número semilla, sin embargo, los resultados se vuelven predecibles al aumentar el número de corridas en el programa.

## REFERENCIAS

- ONCE-COAM (2011). *Accesibilidad universal y Diseño para todos.*
- Apel, M. (2004). *Simulation of pedestrian flows based of the social force model using the verlet link cell algorithm.*
- Barceló, J. (2011). *Fundamentals of Traffic Simulation.*
- Burgos, V. (2004). *Revision de la incorporacion del transporte publico en modelos microscopicos de trafico.*
- Cabinet Kentucky Transportation (2014). *VISSIM Development and Calibration Report.*
- Cabrera, F. (2015). *Herramientas de modelacion y gestion de transito.*
- California Department of transportation (2002). *Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software.*
- Ciudad Accesible (2010). *Guia de Consulta de Accesibilidad Universal.*
- Department of Transport (2013). *Design Manual for Urban Roads and Streets.*
- Dextre, J. (2000). *Modelo de simulacion de tráfico vehicular.*
- Elefteriadou, L. (2013). *An introduction of to traffic flow theory.*
- Fellendorf, M. (1994). *A microscopic Simulation Tool to Evaluate Actuated Signal Control including Bus Priority.*
- Fernandez, R. (2011). *Elementos de la teoria de trafico vehicular.*
- FHWA (2004). *Traffic Analysis toolbox Volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software.*
- Gomes, G. (2004). *Calibration of VISSIM for a Congested Freeway.*
- Helbing, D. (1995). *Social force for pedestrian dynamics.*
- ITDP (2016). *Guia de diseño de calles e intersecciones para Buenos Aires.*
- Mayor, R. (2007). *Ingenieria de transito: fundamentos y aplicaciones.*

- NACTO (2013). *Urban Street Design Guide*.
- Oregon Department of Transportation (2011). *Protocol for Vissim Simulation*.
- Panwai, S. (2005). *Comparative evaluation of microscopic car-following behavior*.
- Papageorgiou, M. (2003). *Review of road traffic control strategies*.
- PTV (2015). *PTV Vissim User Manual*.
- PTV (2016).
- Robles, D. (2009). *Control y simulacion de trafico urbano en Colombia: Estado del arte*.
- Shiwakoti, N. (2008). *Modelling pedestrian behaviour under emergency conditions*.
- Transportation Research Board (2000). *Highway Capacity Manual 2000*.
- Valdes, A. (2008). *Ingenieria de tráfico*.
- Whitham, G. (1955). *On Kinematic Waves. II. A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Roads*.
- Wiering, M. (2004). *Intelligent traffic light control*.
- Zamora, M. (1995). *Estadística descriptiva e inferencial*.
- Zeng, W. (2014). *A modified social force model for pedestrian behavior simulation at signalized crosswalks*.
- Zhang, X. (2013). *Modeling pedestrian walking speed at signalized crosswalks considering crosswalk length and signal timing*.