

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**MICROANÁLISIS DE LOS DESPLAZAMIENTOS
PEATONALES Y VEHICULARES EN LAS AFUERAS
DEL HOSPITAL DEL NIÑO**

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

Carolina Avilés García

ASESOR: Ing. Félix Israel Cabrera Vega

San Miguel, abril del 2017

RESUMEN

El aumento en el parque vehicular de la ciudad de Lima Metropolitana ha generado mayor tráfico vehicular y menor seguridad para los peatones. Es por esta razón, que ha aumentado el interés en el análisis de las vías urbanas de la ciudad. Entre los distintos modelos que pueden ser utilizados para este proceso, están los modelos microscópicos, lo cuales son recomendados para zonas donde existe una interacción entre los vehículos y los peatones. El presente proyecto de ingeniería tiene como objetivo evaluar las condiciones de los usuarios en una intersección, ubicada en el límite de los distritos de Jesús María, Breña y Lima; y presentar propuestas de mejora a la situación actual. El análisis se realizó en base a un modelo microscópico del sistema, desarrollado con apoyo del software de computación Vissim 8.0, y el concepto de accesibilidad universal. El proceso de construcción del modelo consiste en cuatro etapas generales que se dividen en dos sub etapas cada una. La primera etapa es el trabajo previo, en la cual se realizó la determinación de las condiciones generales del proyecto (objetivos, alcance, modelo a utilizar, software de apoyo, etc.) y la recolección de datos. El segundo lugar, se encuentra la etapa de modelamiento inicial, la cual consiste en el proceso de construcción del modelo en el software escogido y la verificación, en paralelo, de los errores que se pudieran presentar. En tercer lugar, se realizó el modelamiento final, el cual consiste en la calibración y validación del modelo en base a los datos obtenidos en campo. Finalmente, se realizó la aplicación del modelo mediante el análisis del modelo y la presentación de la documentación final. Dicho análisis se realizó en base a parámetros de eficiencia peatonales y vehiculares que son proporcionados por el programa, los cuales indicaron que la situación en la intersección es crítica. Por ejemplo, se obtuvo que longitud de cola promedio de la avenida 28 de Julio es de 46.21 m. Para verificar que la propuesta mejore la situación de la intersección de análisis, obtuvieron los parámetros de eficiencia de la misma y ser comparados por métodos estadísticos con los parámetros obtenido de la situación actual.



DEDICATORIA

A toda mi familia,
mis padres Gina y Rodolfo,
mis abuelos Vitaliana, Carmen, Rodolfo y José,
quienes han sabido guiarme y formarme
con buenos valores, buenos hábitos y sentimientos.

A mi enamorado Julio Humberto
por apoyarme a lo largo de mi vida universitaria.

A mi asesor Israel Cabrera por sus consejos y
enseñanzas en esta profesión y vida.

A mis amigos que me apoyaron y dieron palabras
de aliento para culminar este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	i
TABLA DE FIGURAS	iv
TABLA DE TABLAS.....	vi
TABLA DE ECUACIONES.....	vii
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.1. Objetivos específicos.....	2
1.2. Alcance.....	2
CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Modelos de simulación de tráfico.....	3
2.1.1. Según la escala de las variables independientes.....	3
2.1.2. Según la representación de procesos.....	4
2.1.3. Según el nivel de detalle.....	5
2.2. Microsimulación vehicular y peatonal	7
2.2.1. Fundamentos de la microsimulación.....	8
2.2.2. Modelos de seguimiento vehicular.....	10
2.2.3. Modelos de simulación peatonal.....	14
2.2.4. PTV Vissim 8.0.....	16
2.2.5. PTV Viswalk 8.0	21
2.3. Diseño vial.....	22
2.3.1. Fundamentos del diseño vial	22
2.3.2. Accesibilidad universal	23
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	24
3.1. Trabajo previo.....	24
3.1.1. Consideraciones generales	24
3.1.2. Recolección y procesamiento de datos	25
3.2. Modelamiento inicial	26
3.2.1. Desarrollo del modelo.....	27
3.2.2. Verificación del modelo.....	27
3.3. Calibración y validación del modelo.....	28
3.3.1. Calibración del modelo	28
3.3.2. Validación del modelo.....	29
3.4. Aplicación del modelo.....	29

3.4.1.	Análisis del proyecto y propuestas de mejora.....	30
3.4.2.	Documentación del proyecto	30
CAPÍTULO 4:	TRABAJO PREVIO	31
4.1.	Consideraciones previas	31
4.2.	Recolección y procesamiento de datos	32
4.2.1.	Datos geométricos.....	32
4.2.2.	Datos de demanda	32
4.2.3.	Datos de control	45
CAPÍTULO 5:	MODELAMIENTO INICIAL	47
5.1.	Desarrollo del modelo.....	47
5.1.1.	Imagen de fondo.....	47
5.1.2.	Links y conectores.....	48
5.1.3.	Áreas peatonales.....	48
5.1.4.	Cruces peatonales.....	49
5.1.5.	Escaleras de acceso	50
5.1.6.	Definición de vehículos y peatones.....	51
5.1.7.	Definición de rutas.....	52
5.1.8.	Zonas de conflicto	52
5.1.9.	Señales de control.....	53
5.1.10.	Señales de pare.....	54
5.1.11.	Reglas de prioridad de paso	54
5.2.	Verificación del modelo.....	54
CAPÍTULO 6:	CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN	57
6.1.	Calibración del modelo	57
6.1.1.	Calibración vehicular	57
6.1.2.	Calibración peatonal.....	58
6.2.	Validación del modelo.....	59
6.2.1.	Validación vehicular.....	60
6.2.2.	Validación peatonal	60
CAPÍTULO 7:	APLICACIÓN DEL MODELO.....	62
7.1.	Análisis del proyecto.....	62
7.1.1.	Eficiencia vehicular.....	63
7.1.2.	Eficiencia peatonal	64
7.2.	Propuestas de mejora.....	66
7.2.1.	Ubicación y ciclos de semáforo	66
7.2.2.	Demolición del puente peatonal.....	67

7.2.3.	Señalización	68
7.2.4.	Reubicación de paraderos	69
7.2.5.	Creación de vía para giro a la derecha	69
7.2.6.	Separadora central de Av. 28 de Julio	69
7.2.7.	Ancho de carriles	70
7.2.8.	Otras modificaciones	70
7.3.	Análisis de la propuesta	70
7.3.1.	Eficiencia vehicular	71
7.3.2.	Eficiencia peatonal	76
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		78
BIBLIOGRAFÍA.....		81



TABLA DE FIGURAS

Figura 2.1 Gráfico de modelos continuo y discreto	3
Figura 2.2 Niveles microscópicos, mesoscópicos y macroscópicos	6
Figura 2.3 Gráfico de tiempo de espera vs número de observación.....	10
Figura 2.4 Esquema del modelo de Gipps	11
Figura 2.5 Fases del modelo de Wiedemann.....	13
Figura 2.6 Modelo de cambio de carril libre	13
Figura 2.7 Modelo de cambio de carril necesario.....	13
Figura 2.8 Esquema del modelo de parámetros dinámicos.....	15
Figura 2.9 Modelo de patrones de coalición.....	15
Figura 2.10 Combinaciones de posibles posiciones para dos personas	16
Figura 2.11 Esquema de los 4 bloques de construcción	18
Figura 2.12 Modelo 3D de una intersección semaforizada.....	20
Figura 3.1 Proceso de trabajo de microsimulación.....	24
Figura 3.2 Distribución ideal de valores de calibración	29
Figura 3.3 Rediseño de una intersección, antes y después	30
Figura 4.1 Ubicación de la intersección	31
Figura 4.2 Ubicación de semáforos medidos	32
Figura 4.3 Esquema de ciclo de semáforo	33
Figura 4.4 Flujogramas de modelación: movimientos del ingreso 1 (veh/h)	34
Figura 4.5 Flujogramas de modelación: movimientos del ingreso 2 (veh/h)	34
Figura 4.6 Flujogramas de modelación: movimientos del ingreso 3 (veh/h)	35
Figura 4.7 Flujogramas de modelación: movimientos del ingreso 4 (veh/h)	35
Figura 4.8 Flujogramas de modelación: movimientos del ingreso 5 (veh/h)	36
Figura 4.9 Flujogramas de validación: movimientos del ingreso 1 (veh/h)	36
Figura 4.10 Flujogramas de validación: movimientos del ingreso 2 (veh/h).....	37
Figura 4.11 Flujogramas de validación: movimientos del ingreso 3 (veh/h).....	37
Figura 4.12 Flujogramas de validación: movimientos del ingreso 4 (veh/h).....	38
Figura 4.13 Flujogramas de validación: movimientos del ingreso 5 (veh/h).....	38
Figura 4.14 Ubicación de áreas peatonales consideradas	39
Figura 4.15 Tramos para obtención de tiempos de viaje vehiculares	40
Figura 4.16 Tramos para obtención de tiempos de viaje peatonales.....	41
Figura 4.17 Curva de frecuencias acumuladas de velocidades peatonales	43
Figura 4.18 Curva de frecuencias acumuladas de tiempos de parada buses.....	44
Figura 4.19 Curva de frecuencias acumuladas de tiempos de parada taxis.....	45

Figura 4.20 Señales de tránsito en la vía auxiliar de la Av. Brasil	45
Figura 4.21 Señales de tránsito en la Av. 28 de Julio	46
Figura 5.1 Imagen de fondo para modelación	47
Figura 5.2 Link y conectores del modelo	48
Figura 5.3 Áreas peatonales	49
Figura 5.4 Cruces peatonales	50
Figura 5.5 Vista 3D de escaleras de acceso al puente	50
Figura 5.6 Inputs vehiculares	51
Figura 5.7 Inputs peatonales	52
Figura 5.8 Rutas vehiculares en Vissim	52
Figura 5.9 Áreas de conflicto	53
Figura 5.10 Señales de control	54
Figura 5.11 Primer problema identificado	55
Figura 5.12 Segundo problema identificado	55
Figura 5.13 Tercer problema identificado	56
Figura 6.1 Gráfico de randomization test para la calibración de tramo 1	58
Figura 6.2 Gráfico de randomization test para la calibración de cruceo 1	59
Figura 6.3 Gráfico de randomization test para la validación de tramo 1	60
Figura 6.4 Gráfico de randomization test para la validación de cruceo 1	61
Figura 7.1 Longitudes de cola en la intersección - situación actual (m)	63
Figura 7.2 Ciclo de semáforo Brasil y 28 de Julio	66
Figura 7.3 Ciclo de semáforo Brasil y Restauración	67
Figura 7.4 Señales reguladoras	68
Figura 7.5 Señales preventivas e informativas	68
Figura 7.6 Comparación de longitud de colas (m)	71
Figura 7.7 Randomization test de comparación de colas tramo 1	71
Figura 7.8 Randomization test de comparación de colas tramo 2	72
Figura 7.9 Randomization test de comparación de colas tramo 3	72
Figura 7.10 Randomization test de comparación de colas tramo 4	73
Figura 7.11 Randomization test de comparación de colas tramo 5	73
Figura 7.12 Randomization test de comparación de velocidad vehicular	74
Figura 7.13 Randomization test de comparación de demoras de viaje	74
Figura 7.14 Randomization test de comparación de paradas por vehículo	75
Figura 7.15 Randomization test de comparación de demoras por paradas	75
Figura 7.16 Randomization test de comparación de velocidad peatonal	76

TABLA DE TABLAS

Tabla 4.1 Fases de ciclo de semáforo	33
Tabla 4.2 Velocidades en flujo libre	33
Tabla 4.3 Datos resumen de aforos peatonales de modelación (peatones)	39
Tabla 4.4 Datos resumen de aforos peatonales de validación (peatones)	40
Tabla 4.5 Datos resumen de tiempos de viaje vehiculares de modelación (seg.)....	41
Tabla 4.6 Datos resumen de tiempos de viaje vehiculares de validación (seg.)	41
Tabla 4.7 Datos resumen de tiempos de viaje peatonales de modelación (seg.)	42
Tabla 4.8 Datos resumen de tiempos de viaje peatonales de validación (seg.)	42
Tabla 4.9 Tabla de frecuencias de velocidades peatonales (km/h)	42
Tabla 4.10 Datos resumen de tiempos de parada vehiculares (seg.).....	43
Tabla 4.11 Tabla de frecuencias de tiempos de parada de buses (seg.)	44
Tabla 4.12 Tabla de frecuencias de tiempos de parada de taxis (seg.).....	44
Tabla 6.1 Parámetros vehiculares en Vissim	57
Tabla 6.2 Comparación de medias en calibración del tramo 1	58
Tabla 6.3 Parámetros peatonales en Vissim.....	59
Tabla 6.4 Comparación de medias en calibración del crucero 1	59
Tabla 6.5 Comparación de medias en validación del tramo 1	60
Tabla 6.6 Comparación de medias en validación del crucero 1	61
Tabla 7.1 Demanda vehicular de la intersección (veh/h).....	62
Tabla 7.2 Demanda peatonal de la intersección (peatones/h).....	62
Tabla 7.3 Ciclo de semáforo Brasil y 28 de Julio.....	66
Tabla 7.4 Ciclo de semáforo Brasil y Restauración.....	67

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 2.1 Grado de saturación.....	4
Ecuación 2.2 Número de corridas.....	9
Ecuación 2.3 Modelo de la General Motors	10
Ecuación 2.4 Modelo de Gipps, conducción libre.....	11
Ecuación 2.5 Modelo de Gipps, seguimiento vehicular	11
Ecuación 2.6 Modelo de Fuerza Social.....	14



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En la actualidad es común observar que las grandes ciudades presentan congestión de la vía pública durante ciertos periodos del día, ocasionada generalmente por la congregación de las grandes masas durante los ingresos o salidas de sus puestos de trabajo. Este congestionamiento, es más conocido como “hora punta”. Durante estos periodos, el movilizarse en automóvil o transporte público, en ciudades como Lima Metropolitana se vuelve una actividad tediosa de realizar pudiendo ocasionar excesivas demoras y otras externalidades.

La presencia de este problema en varias ciudades alrededor del mundo ha generado la necesidad de encontrar modelos que describan el comportamiento de los vehículos, ciclistas y peatones. Dos de los grupos de modelos de simulación de tráfico más utilizados son los modelos determinísticos y los modelos microscópicos. La efectividad de los primeros se ve maximizada en zonas de análisis donde no se presenta congestión vehicular, es decir, zonas de flujo libre. El segundo grupo es utilizado en zonas con mayor volumen de usuarios y cuando se observa un gran impacto en el tránsito vehicular por la conducta agresiva de los conductores, como es el caso de Lima.

En dicha ciudad, una de las intersecciones que presenta periodos con alto congestionamiento vehicular y peatonal es el cruce de las avenidas 28 de Julio y Brasil con la calle Mogoburos. Debido a su cercanía al Hospital del Niño, el hecho de ser una intersección semaforizada y la presencia de un flujo importante de vehículos y peatonales debe ser analizada a un nivel microscópico.

Por lo expuesto anteriormente, se analizará la intersección mencionada mediante un modelo microscópico con ayuda de un software conocido como Vissim 8.0. Este software es una de las herramientas que actualmente permiten generar una réplica adecuada de la situación del tráfico de la ciudad de Lima para realizar un buen análisis de esta y proponer medidas de mejora para los peatones y los modos motorizados.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Realizar el análisis de las condiciones de circulación de la intersección entre las avenidas Brasil y 28 de Julio y proponer una solución en base al análisis realizado y a los conceptos de movilidad y accesibilidad universal.

1.1.1. Objetivos específicos

El presente proyecto tiene como primer objetivo específico analizar el diseño actual de la intersección entre las avenidas Brasil y 28 de Julio. De igual manera, realizar un modelo de micro-simulación de la intersección con el software Vissim 8.0. Finalmente, plantear una solución a los problemas hallados en la intersección y realizar su evaluación en forma cuantitativa.

1.2. Alcance

El alcance de este proyecto ingenieril es el estudio de la intersección de las avenidas Brasil y 28 de Julio, ubicada en el límite de los distritos de Jesús María y Breña. El estudio comprende la toma de los datos necesarios para realizar el modelo microscópico de la intersección de interés, tales como la cantidad de peatones, velocidad de peatones, tipos de automóviles, cantidad de automóviles por tipo, velocidad de automóviles, tiempos de semáforos y geometría de la intersección. Dentro de la zona de estudio se considera la intersección de la avenida Brasil con la calle Restauración, ya que influye en el comportamiento de los vehículos y peatones.

Luego de la toma de datos, se proseguirá a realizar el procesamiento de estos en base a fundamentos de la estadística descriptiva e inferencial. Con los datos ya procesados, se realizará el modelamiento de la intersección en un software de computadoras llamado Vissim 8.0 y la calibración y validación del modelo para obtener los parámetros de eficiencia de la intersección. Finalmente, en base a los valores obtenidos, se propondrá un nuevo diseño de la intersección, el cual también será analizado en el mismo software.

CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Modelos de simulación de tráfico

Los modelos son representaciones de un determinado sistema. En el caso de la ingeniería de tráfico, la modelación es una herramienta que busca describir la situación de una vía vehicular o peatonal. A lo largo de los años se han propuesto modelos para describir el comportamiento de los vehículos y peatonal, los cuales pueden ser clasificados según varios criterios, como los que se presentan a continuación.

- Escala de las variables independientes
- Nivel de detalle
- Representación de los procesos

2.1.1. Según la escala de las variables independientes

En el caso de la simulación y estudio del tráfico, la elección entre modelos continuos o discretos depende de lo que se desea estudiar. Cabe resaltar que, en un estudio de tránsito, se pueden usar ambos modelos, los cuales se complementarán de manera simultánea según el objetivo del proyecto.

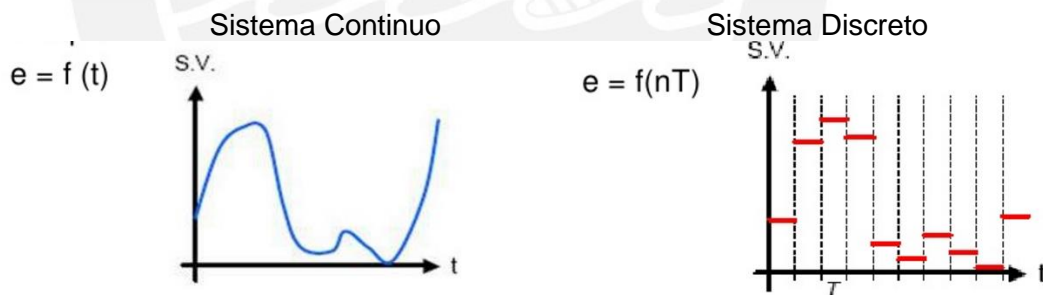


Figura 2.1 Gráfico de modelos continuo y discreto
(Campos, 2010)

2.1.1.1. Modelos continuos

Estos modelos son aquellos cuyas variables en función “toman valores que no están separados unos de otros” (RAE, 2014). En otras palabras, en estos modelos, las variables dependientes varían continuamente. Por ejemplo, en la ingeniería de tránsito, la velocidad, aceleración y posición de los vehículos son variables continuas dependientes, normalmente, del tiempo

2.1.1.2. Modelos discretos

En estos modelos la variable dependiente cambia en intervalos de la variable independiente, es decir, los valores de las variables dependientes están separados. En el estudio del tráfico, estos modelos se ven reflejados durante el conteo de vehículos, ya que estos valores son registrados en intervalos de tiempo.

2.1.2. Según la representación de procesos

2.1.2.1. Modelos determinísticos

Están basados en un estudio analítico, el cual se rige bajo ecuaciones matemáticas que no varían en relación al tiempo (Starfield, 2005). En estos casos si se realiza el análisis de interés con una variable determinada el valor del resultado siempre será el mismo. Cabe resaltar que en estos modelos la incertidumbre no es considerada para el análisis.

A continuación, se presentan algunas características utilizadas en el análisis del tráfico bajo el enfoque determinístico.

2.1.2.1.1. Demanda, capacidad y grado de saturación

En el contexto de la ingeniería de tráfico, la demanda es la cantidad de vehículos que desean pasar por una vía y depende del deseo de los conductores. Por otro lado, la capacidad es la cantidad de vehículos que pueden circular por determinada vía que depende exclusivamente de la geometría y características de la vía. Entender la diferencia entre ambos conceptos es de gran importancia para la comprensión del grado de saturación.

El grado de saturación (X) es el cociente de la demanda y la capacidad. Si el grado de saturación es mayor a 1 se comprende que la cantidad de vehículos que quieren hacer uso de la vía es mayor a la cantidad de vehículos que logran hacer uso de ella.

$$X = \frac{\text{Demanda}}{\text{Capacidad}}$$

Ecuación 2.1 Grado de saturación

2.1.2.1.2. Densidad o concentración

La densidad es la cantidad de vehículos que se encuentran en un determinado tramo de una vía en un momento específico de tiempo. Cuando los vehículos se encuentran totalmente parados y sin espacios entre ellos, la concentración del tramo será igual a la concentración máxima de este y podrá ser calculada mediante la inversa de la longitud del vehículo.

Para el cálculo de este parámetro se debe realizar el conteo de los automóviles en el tramo escogido; en muchas ocasiones para simplificar el trabajo se hace uso de fotografías aéreas de la zona.

2.1.2.1.3. Flujo o tasa de flujo

El flujo, también conocido como volumen o tasa de flujo, es la cantidad de vehículos que pasa por una sección transversal en un determinado periodo de tiempo. Los periodos de tiempo más utilizados para el cálculo de flujo son los siguientes: una fracción de hora, una hora, un día, una semana, un mes y un año.

2.1.2.2. Modelos estocásticos

En contraste, en los modelos estocásticos los valores de salida pueden variar para un mismo valor de entrada. Lo anterior es un reflejo de la probabilidad que es considerada en estos modelos. Este tipo de modelo es utilizado en los programas de micro-simulación, ya que permite obtener resultados más reales que los modelos determinísticos.

2.1.3. Según el nivel de detalle

“Hay muchas aproximaciones matemáticas que intentan modelar el flujo de tráfico vehicular en términos de alguna de sus características. Todas ellas responden con cierto grado de aproximación a la realidad” (Jiménez, 2011). Al desarrollar una clasificación de los modelos según su nivel de detalle, se pueden determinar tres categorías: modelos microscópicos, mesoscópicos y macroscópicos, los cuales serán desarrollados a continuación.

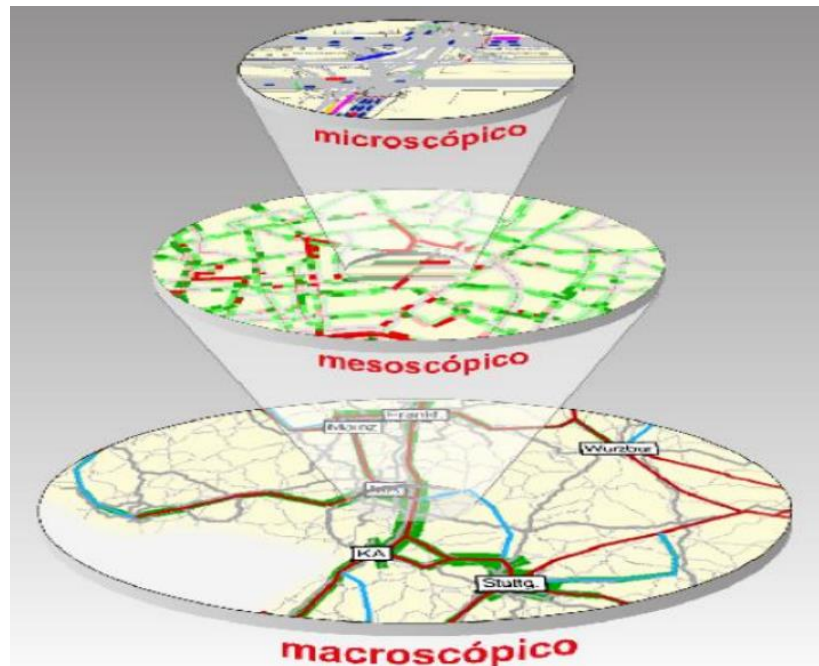


Figura 2.2 Niveles microscópicos, mesoscópicos y macroscópicos (PTV Group, 2016)

2.1.3.1. Modelos microscópicos

Los modelos microscópicos consideran los movimientos individuales de cada vehículo y cómo interactúa con otros. En estos modelos, también se considera la geometría de la zona estudiada y se introduce el concepto de agresividad de los conductores. Debido a la gran magnitud de datos que deben manejar para poder realizar este tipo de modelación de tráfico, su uso es relativamente nuevo; en la antigüedad, 1950, algunos especialistas plantearon la posibilidad de estos modelos, pero la poca tecnología con la que se contaba impidió su realización.

2.1.3.2. Modelos macroscópicos

A diferencia de los modelos microscópicos, los macroscópicos estudian el tránsito de forma global. En otras palabras, en estos modelos se realiza una representación genérica de las características del tráfico, tales como la velocidad media de los vehículos, la densidad del tráfico, entre otras.

Entre las plataformas de simulación macroscópicas más relevantes se encuentran “TRANSYT-7F, VISUM, FREFLO, NETVACI, TransCAD, KRONOS, AUTOS, EMME/2, METANET y METACOR” (Yang, Koutsopoulos, & Ben-Akiva, 1999).

Uno de los modelos macroscópicos más conocidos en el medio es el modelo basado en la teoría dinámica de fluidos. La base de este modelo son las

ecuaciones utilizadas para el estudio de fluidos como por ejemplo la ecuación de Navier-Stokes. Otro modelo está basado en la teoría de la cinética de gases, en donde se analiza el tránsito como un gas compuesto por partículas que interactúan entre ellas, las cuales son entendidas como los vehículos.

Debido a que estos modelos impiden estudiar el movimiento vehicular en casos de congestión y a que estas con el uso de estas ecuaciones no es posible prever si ese movimiento se va a mantener indefinidamente o se va a complicar, el uso de estos modelos es recomendado para estudio de autopistas y avenidas y calles con tránsito fluido.

2.1.3.3. Modelos mesoscópicos

Estos modelos pueden ser considerados modelos intermedios entre los microscópicos y los macroscópicos. Por esta razón, los modelos mesoscópicos presentan características de ambos extremos. *“Consideran principalmente el comportamiento de los conductores a lo largo del tiempo y espacio, sin prestar atención especial a los demás autos, y están basados en distribuciones de probabilidad”* (Jiménez, 2011).

Algunas plataformas de simulación que utilizan modelos mesoscópicos son, entre otras, *“METROPOLIS, DYNASMART, DYNAMIT e INTEGRATION”* (Yang, Koutsopoulos, & Ben-Akiva, 1999).

Entre los modelos que podemos encontrar en esta clasificación están los modelos de distribución, “Headway”, el cual es definido por el tiempo entre dos autos que se van siguiendo; y el modelo continuo de cinemática de gases de Prigogine y Herman (1961) en este modelo se asume que los cambios dinámicos son provocados por la aceleración y desaceleración de los vehículos.

2.2. Microsimulación vehicular y peatonal

En la actualidad, la utilización de modelos microscópicos se ha vuelto más viable debido al gran avance de la tecnología. Debido al nivel de detalles de estos modelos, la cantidad de datos que se manejan es muy grande y su análisis sin ayuda de la tecnología era imposible de realizarse.

Los modelos microscópicos simulan el comportamiento detallado de cada automóvil por medio de las reglas de evolución, muchos de ellos definen ecuaciones de movimiento para cada vehículo basadas en las ecuaciones de Newton. Requieren datos (como el tiempo de viaje y el número de veces que un

automóvil se detiene debido a las reglas, de manera individual (Jiménez, 2011). Tres de los modelos que pertenecen a esta categoría son el Modelo del Seguimiento Vehicular (“Car-Following”) de Herman y Gardels (1963) y Pipes (1953), el Modelo Seguimiento al Líder (“Follow the Leader”) de Pipes (1953), Modelo de Velocidad Óptima (“Optimal Velocity Model”) de Bando et al. (1994, 1995).

2.2.1. Fundamentos de la microsimulación

2.2.1.1. Aleatoriedad de la microsimulación

Para realizar la micro-simulación de alguna intersección se pueden utilizar modelos determinísticos o modelos estocásticos. En los primeros, no se considera la variación en las características y comportamiento que los conductores o vehículos pueden presentar. En contraste, los modelos estocásticos si consideran están variaciones mediante el uso de probabilidades.

2.2.1.2. Número semilla

El numero semilla es el valor inicial utilizados para la generación de una secuencia de valores aleatorios, los cual determinan el comportamiento y las características de los conductores que serán utilizadas para comenzar el inicio del modelo. En otras palabras, la influencia de este parámetro se ve reflejada en las decisiones tomadas en el modelo frente a situaciones específicas. Existen varios métodos para la generación de los números semillas; sin embargo, en los programas actuales de computación esta generación se produce a partir de un numero introducido por el usuario.

2.2.1.3. Número de corridas

Las corridas son las evaluaciones que se realizan para determinado modelo. Cada evaluación, como ya fue mencionado en el acápite 2.2.1.2, dependerá del número semilla escogido. Al variar el numero semilla, los resultados obtenido variarían, estos normalmente oscilan alrededor de la media total de corridas. Sin embargo, al presentarse variaciones, los resultados obtenidos deberán ser procesados mediante un estudio estadístico.

Como en cualquier estudio probabilístico, es necesario determinar el número de evaluaciones necesarias para obtener resultados fiables, esta cantidad es llamada muestra. La muestra es una parte representativa, la más heterogénea posible y

debe representar, de la mejor manera, a la población; sin dar preferencias a alguna parte en específico; esto con la finalidad de poder obtener los resultados y extrapolarlos a la población (Fernandez, 2010).

Para la determinación del número de corridas, The Federal Highway Administration (FHWA) recomienda evaluar el modelo desarrollado con un mínimo de 4 corridas. A continuación, señala que se debe a obtener los parámetros estadísticos de los resultados, tales como la media, la desviación estándar, entre otros. La asignación de un nivel de confiabilidad y el margen de error es el tercer paso del proceso, el cual es seguido por el cálculo del número mínimo de repeticiones. La ecuación recomendada por la FHWA es la siguiente.

$$N = (t_{\alpha/2} \times \frac{S}{e})^2$$

Ecuación 2.2 Número de corridas

Donde:

N: número de semillas

$\frac{t_{\alpha}}{2}$ = t-students con N-1 grados de libertad

S: desviación estándar

e: margen de error

2.2.1.4. Warm-up

El “warm-up” el periodo necesario para conseguir el equilibrio vehicular. Este periodo se presenta debido a que al inicio de la simulación no hay vehículos en el sistema, lo cuales irán apareciendo con el transcurso de tiempo hasta llegar a una cantidad prácticamente constante.

Una vez transcurrido el tiempo de “warm-up”, los datos recolectados podrán ser considerados para el análisis y procesamiento de los mismos. El FHWA, gracias a estudios realizados, determinó que este tiempo debe ser como mínimo de 10 minutos de simulación. Por otro lado, PTV indica que el warm-up podría ser de 15 minutos.

En los modelos de micro-simulación, los datos de interés, que deben ser obtenidos luego de la ejecución de la simulación, son volúmenes vehiculares, longitudes de colas y tiempo de viaje. En la figura 7 se presenta el aumento de entrada de vehículos con respecto al tiempo hasta el instante donde la curva tiende a ser constante (horizontal).

En la ilustración 3 se observa la variación que se presenta en los primeros momentos de la simulación, hasta llegar al número de observación 250, aproximadamente, donde ya se aprecia una estabilidad en los datos obtenidos.

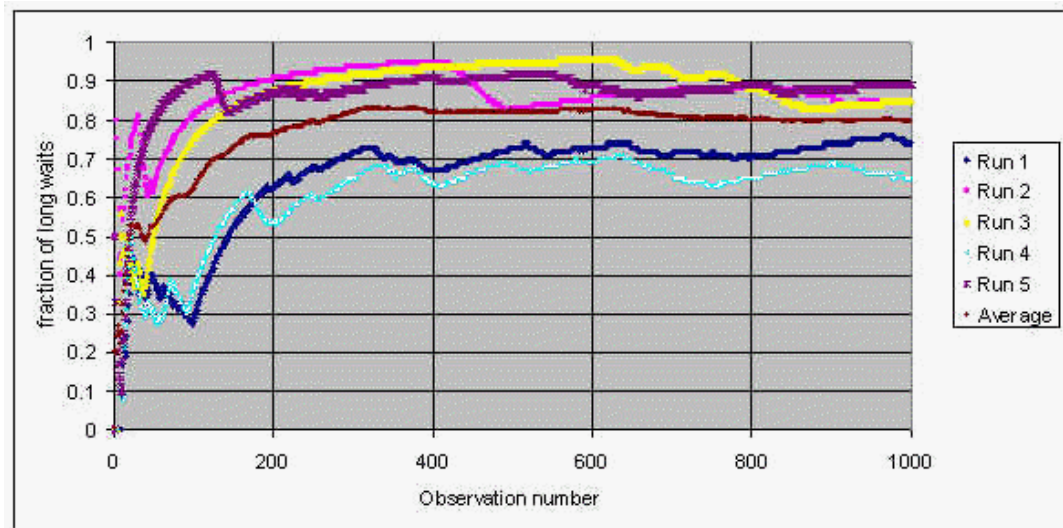


Figura 2.3 Gráfico de tiempo de espera vs número de observación
(Thesen, 2001)

2.2.2. Modelos de seguimiento vehicular

A continuación, se presenta tres modelos microscópicos existentes en la actualidad, los cuales están basados en el modelo del seguimiento vehicular (“Car-Following Model”)

2.2.2.1. Primer modelo de la General Motors

Este modelo se basa en una relación lineal que determina la acción realizada por un conductor y el estímulo que la produce. Este último puede ser una serie de factores que los conductores perciben al momento de manejar un automóvil, tal como la distancia con respecto al conductor de adelante.

Este modelo fue desarrollado en la década de los cincuenta, en base a estudios realizado en los laboratorios de la General Motors. Este modelo determina la siguiente ecuación que relaciona el estímulo en un determinado momento (t) y la respuesta del seguidor después de un intervalo de tiempo (T).

$$\text{Respuesta de Seguidor}_{(t+T)} = \text{Sensibilidad} \times \text{Estimulo}_t$$

Ecuación 2.3 Modelo de la General Motors

Sin embargo, se observó que este modelo no considera los comportamientos particulares de los conductores, ya que asume que todos reaccionan por igual.

2.2.2.2. Modelo de la distancia segura

Este modelo fue desarrollado por Gipps. En este se presenta una relación entre las características del conductor y vehículo. Este modelo toma en cuenta la reacción del vehículo seguidor y se basa en la velocidad y aceleración que debe tener para mantener una distancia en la cual el vehículo líder pueda maniobrar libremente.

Es por esta razón que el modelo indica que la aceleración del segundo vehículo variara en base al cambio de la velocidad del vehículo de adelante. Para la aplicación de este modelo se debe conocer las siguientes consideraciones. En primer lugar, el vehículo que sigue no excederá la velocidad del vehículo seguido. En segundo lugar, “si el vehículo seguidor frena de un momento a otro, debería poder hacerlo libremente sin poder ocasionar alguna colisión con el vehículo de adelante” (Nerem, 2013). Finalmente, la aceleración varía paulatinamente de forma continua, sin tener valores picos.

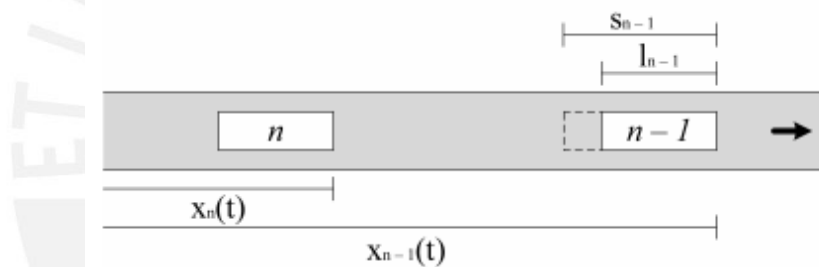


Figura 2.4 Esquema del modelo de Gipps (Nerem, 2013)

A continuación, se presentan las ecuaciones que describen el modelo en discusión.

$$u_n^a(t + \tau) = u_n(t) + 2.5a_n\tau \left(1 - \frac{u_n(t)}{U_n}\right) \sqrt{0.025 + \frac{u_n(t)}{U_n}}$$

Ecuación 2.4 Modelo de Gipps, conducción libre

$$u_n^b(t + \tau) = b_n(t) + \sqrt{b_n^2\tau^2 - b_n \left[2[X_{n-1}(t) - S_{n-1} - X_n(t)] - u_n(t)\tau - \frac{u_{n-1}t^2}{b}\right]}$$

Ecuación 2.5 Modelo de Gipps, seguimiento vehicular

Donde:

a_n = aceleración máxima que el conductor del vehículo “n” está dispuesto a emprender.

b_n = es la desaceleración más grave que el conductor del vehículo “n” desea emprender.

b = es la más severa desaceleración del vehículo n-1 según lo estimado por el conductor de vehículo n.

S_{n-1} = es el tamaño efectivo del vehículo n - 1. Esto incluye la longitud física de vehículo n - 1 y un margen de seguridad, en el que el conductor del vehículo n no está dispuesto a inmiscuirse incluso en reposo.

u_n = es la velocidad deseada del vehículo n.

$X_n(t)$ = es la ubicación de la parte delantera del vehículo n en el momento t.

$u_n(t)$ = es la velocidad del vehículo n en el en el tiempo t.

τ = es el tiempo de reacción, que es constante para todos los vehículos e igual al paso de simulación.

2.2.2.3. Modelo de Wiedemann

Este modelo está basado en parámetro psicofísicos y considera la percepción y reacción humana en las diferentes situaciones del tráfico. En este modelo se consideran 4 posibles situaciones (áreas), que los conductores experimentan dentro del tráfico (Fellendorf & Vortisch, 2010).

En la primera situación, el vehículo no se encuentra influenciado por otro que viaja en su entorno, esta es conocida como el área de libre movimiento o libertad de conducción. La segunda área es la de acercamiento, en la cual el vehículo percibe otro automóvil con velocidad baja pero aun no es influenciado por este último. En tercer lugar, se encuentra la situación en la cual el vehículo se ve influenciado por el vehículo de baja velocidad, también llamada área de seguimiento. Finalmente, Wiedemann plantea el área de desaceleración o frenado, en la cual el vehículo se ve obligado a disminuir la velocidad debido el automóvil de baja velocidad.

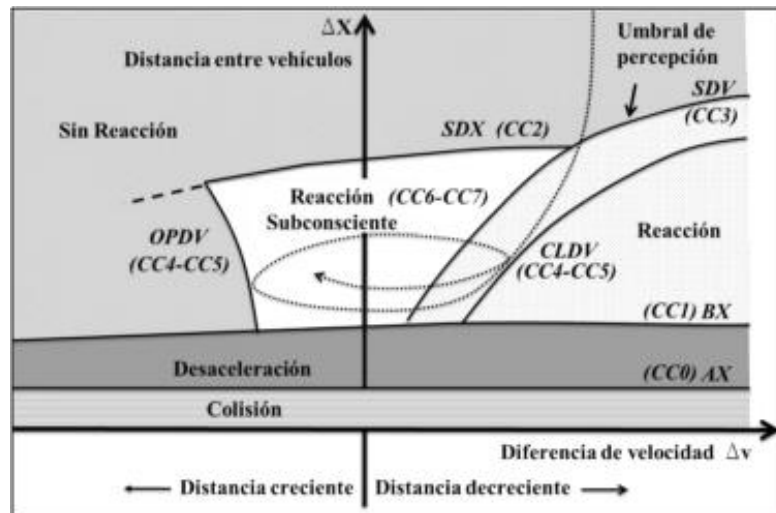


Figura 2.5 Fases del modelo de Wiedemann
(Casares & Galarraga, 2015)

2.2.2.4. Modelos de cambio de carril

Según PTV Group (2016) este modelo cuenta con dos situaciones. La primera es el cambio de carril libre, el cual se presenta cuando el conductor realiza la maniobra debido a que desea adelantar a un automóvil que va a menor velocidad.

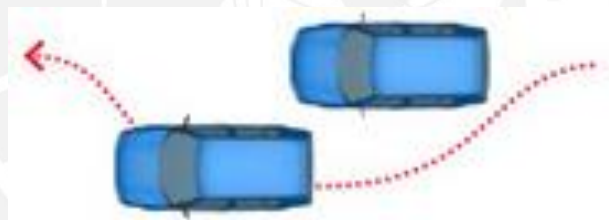


Figura 2.6 Modelo de cambio de carril libre
(PTV Group, 2016)

Por otro lado, el cambio de carril necesario se presenta cuando el conductor debe realizar esta maniobra para poder seguir el camino deseado. Por ejemplo, cuando se desea doblar a la izquierda y existe un carril exclusivo de giro a la izquierda, el conductor deberá cambiar a este carril para poder doblar.

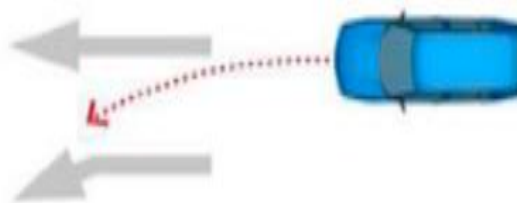


Figura 2.7 Modelo de cambio de carril necesario
(PTV Group, 2016)

2.2.3. Modelos de simulación peatonal

Los modelos descritos previamente también son utilizados para la simulación de peatones en sistemas donde interactúen con los vehículos. Sin embargo, los peatones y los vehículos tienen características psicológicas y físicas distintas, por esta razón han surgido modelos de simulación peatonal. A continuación, se presentan los dos modelos más importantes en el campo.

2.2.3.1. Modelo de fuerza social

Este modelo de fuerza social, propuesto por Helbing et al (2000), es la representación matemática de la modelación de cambios de conducta de Lewin. La hipótesis fundamental de la modelación es que los cambios de comportamiento de las personas son realizados en base a “campos sociales”. En otras palabras, *“el modelo de fuerza social describe como las fuerzas exteriores de su entorno influyen en el movimiento de un peatón”* (González, 2011).

Helbing plantea cuatro grupos de fuerzas que afectan el movimiento de una persona. La primera fuerza es la fuerza de dirección o movimiento, la cual es la representación matemática del deseo del peatón para dirigirse en una dirección determinada, es decir, esta fuerza surge de la persona en análisis. Luego se encuentran las fuerzas de repulsión. Estas fuerzas pueden ser provocadas por personas u objetos que signifiquen un obstáculo y/o generan incomodidad en la persona, por ejemplo, los muros de una edificación. El tercer grupo son las fuerzas de atracción, las cuales representan el interés o atracción que tiene la persona en otras personas u objetos, por ejemplo, los escaparates de tiendas. Finalmente, las fuerzas de fluctuación son las variaciones que se pueden presentar durante el movimiento del peatón. A continuación, se presenta la ecuación general de este modelo.

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

Ecuación 2.6 Modelo de Fuerza Social

2.2.3.2. Modelos de autómatas celulares

Estos modelos están basados en el concepto de autómata celular desarrollado por John von Neumann y Stanislaw Ulam en la década de los cuarenta. Los autómatas celulares son sistemas dinámicos discretos compuestos por cuadrículas donde cada celda evoluciona y cambia de estado a lo largo del tiempo.

2.2.3.2.1. Modelo de parámetros dinámicos

Este modelo fue presentado por Hao Yue et al. Considera que las celdas solo pueden ser ocupadas por un peatón a la vez y que la velocidad máxima del peatón es 1. El modelo se apoya en la vecindad de Moore con radio igual a 1 para describir los posibles movimientos del peatón.

En base a los posibles movimientos se calculan 4 parámetros para cada celda. El primer parámetro es el parámetro de dirección que refleja si un peatón se aleja o acerca de su destino. Por otro lado, el parámetro de vacío describe la influencia de las celdas vacías u ocupadas en el peatón y parámetro de avance representa la atracción del peatón hacia la celda destino. Finalmente, el parámetro de categoría describe la cantidad de peatones en la dirección de interés.

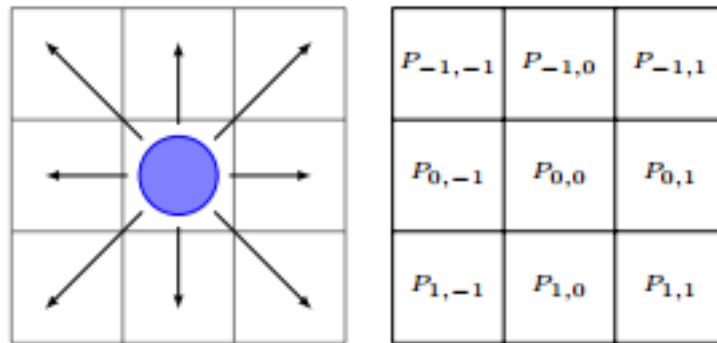


Figura 2.8 Esquema del modelo de parámetros dinámicos (González, 2011)

2.2.3.2.2. Modelo de patrones de colisión

Narimatsu (2004), desarrollador del modelo, propone que las reglas de movimiento de los peatones se determinan durante el proceso de simulación. En este modelo, a cada peatón se mueva a una velocidad constante y solo se le permite tres opciones de movimiento: a la derecha, a la izquierda y hacia adelante. El modelo plantea que el peatón evitara chocar con otro peatón que se encuentre en su campo de visión. En la siguiente figura se muestran los campos de visión de los tres movimientos permitidos.

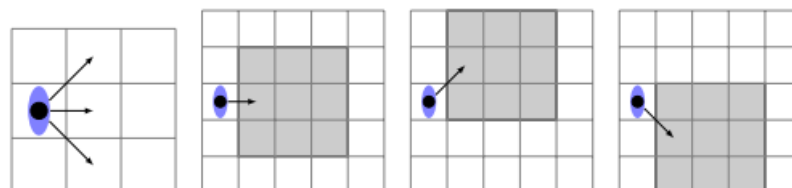


Figura 2.9 Modelo de patrones de coalición (González, 2011)

2.2.3.2.3. Modelo de distancias sociales

En el modelo de distancia sociales, presentado por Jaroslaw (2006), las celdas tienen una dimensión de 0.25 cm. Y los peatones son representados por elipses, cuyo centro se encuentra en el centro de una celda. Cada persona tiene cuatro posibles posiciones dentro de una celda. Para para lapso de tiempo se determina la combinación de posibles posibles en base a la orientación de las elipses adyacentes y la intersección entre ellas. (Gonzales, 2011).

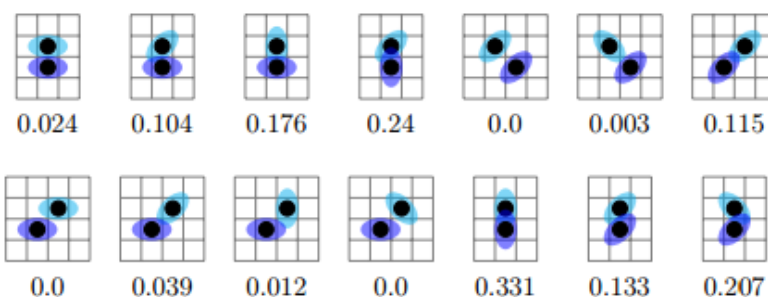


Figura 2.10 Combinaciones de posibles posiciones para dos personas
(González, 2011)

2.2.4. PTV Vissim 8.0

PTV Vissim es un software de computación que permite simular la situación del tráfico con bastante realismo. Por ejemplo, para el análisis de distintos tipos de intersecciones, el análisis de implementación de medidas en el transporte público o el impacto de un distinto plan de semaforización (PTV Group, 2016).

2.2.4.1. Antecedentes

Este programa tuvo su primera aparición en el año 1992, con la versión 2.03. Sin embargo, sus inicios datan de la década de los ochenta en Alemania, durante la cual se realizan trabajos de planificación de redes de autobús y transporte en la carretera de Mannheim. A finales del 2016, PTV Group lanzó al mercado la versión más reciente de este programa, la cual fue desarrollada en la actualidad el software se encuentra en su versión 8.0.

2.2.4.2. Aplicación

Vissim es una herramienta de simulación orientada al modelamiento de tráfico urbano y rural, así como flujos peatonales. A pesar de la creencia común, este programa puede ser utilizado no solo para el estudio de transporte privado sino también para el transporte público.

Debido a las herramientas que brinda Vissim 8.0 es posible realizar comparaciones entre los cambios geométricos que se pueden realizar en una intersección. De esta manera, permite analizar numerosas variantes de diseño manteniendo los niveles de servicio, tardanzas o longitud de colas.

El planeamiento del tráfico es otra de las aplicaciones de este programa, ya que permite modelar y analizar el impacto de los proyectos en el tráfico urbano. La capacidad de simular peatones, la búsqueda de parqueo y el impacto de los lotes y lugares de estacionamiento es otro factor ayuda a la planeación de tráfico en los proyectos de construcción o ampliación.

Por otro lado, esta herramienta permite realizar un control de los sistemas de tráfico ya existentes en la zona. Esto se logra mediante la investigación y visualización de la zona de interés a un nivel microscópico. También permite examinar el impacto de las señales y medidas de control con el tráfico de la zona.

Finalmente, permite la modelación de los detalles de buses, subterráneo, trenes y otros medios de transporte masivos. De esta forma, se pueden plantear mejoras operacionales específicas, simular y comparar los distintos caminos que puede tomar el transporte público y la ubicación de las paradas.

2.2.4.3. Funcionamiento

El funcionamiento de Vissim se basa en el modelo de Seguimiento Vehicular, específicamente en el modelo de Widemann 74, el cual es utilizado para el tránsito urbano y describe el comportamiento del tráfico dentro de un mismo carril. “El modelo está implementado dentro de PTV Vissim y puede ser ajustado por el usuario a través del valor de parámetros, lo que permite representar las condiciones locales y calibrar adecuadamente el modelo” (PTV Group, 2015). Sin embargo, el software completa su simulación con el modelo del cambio de carril libre y el modelo del cambio de carril necesario.

2.2.4.4. Arquitectura del sistema

A diferencia de los modelos macroscópicos, Vissim realiza modelos en forma detallada. Es por esta razón que este simulador contiene tres bloques principales de construcción y un bloque adicional de generación de resultados para cada ejercicio de simulación.

El primer bloque se encuentra compuesto por la infraestructura de la vía, incluyendo los postes y los lugares de estacionamiento. En este bloque se

requiere la modelación física de las vías y pistas, la determinaron de inicio y fin de los paraderos y zonas de estacionamiento. De igual manera, se requiere la colocación de las señales de tránsito, postes y elementos presentes en la vía modelada.

Las características técnicas de los vehículos son los primeros elementos del segundo bloque. Estos se ven acompañados de los volúmenes de vehículos que transitan por la vía. Finalmente, en este bloque se considera las rutas que seguirán los vehículos, indicando punto de inicio y fin en cada una de ellas.

Finalmente, el tercer bloque se encuentra compuesto por los elementos de regularización y control de tránsito, esto permite indicar si una intersección esta regularizada por prioridad de paso o es semaforizada. Los tres bloques presentados están activos durante la simulación, manteniendo su independencia.

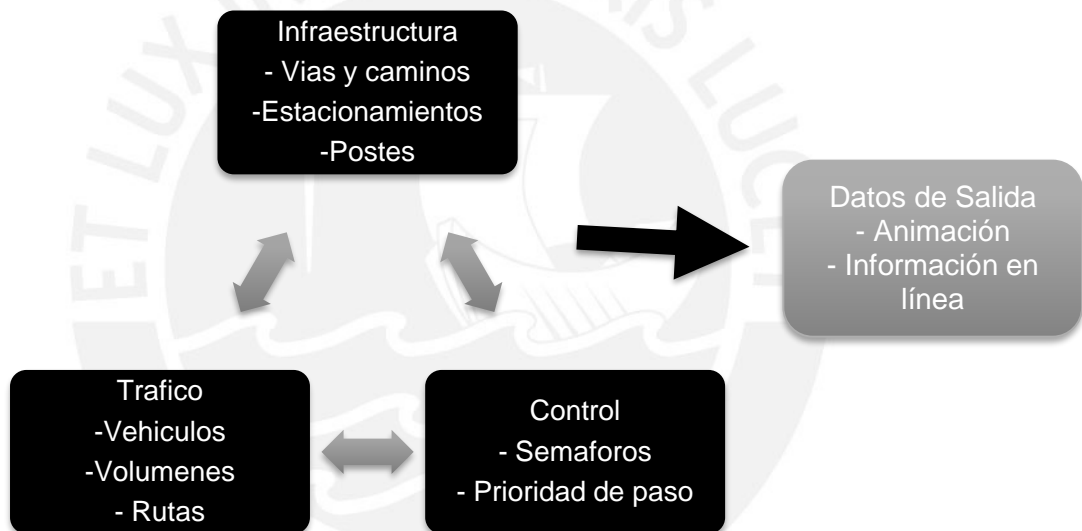


Figura 2.11 Esquema de los 4 bloques de construcción
(Adaptación de Fellendorf, 2010)

2.2.4.4.1. Modelamiento de infraestructura

“Para la simulación de tráfico, es necesario replicar la infraestructura de la red a modelar a escala” (Fellendorf & Vortisch, 2010). Existen dos formas en las que se puede crear las redes en este programa: importar desde programas de planeamiento macroscópico de transporte o realizar el trazo manual de la intersección.

Para la creación de la red es importante conocer los elementos que Vissim 8.0 nos proporciona. Los enlaces y conectores son utilizados para la representación de las vías. Estos gráficos tienen nodos que permiten que el programa genere y

evalúe situaciones tales como: dos vías que se unen en una sola, dos vías que se cruza, una vía que se divide en dos o más; o cambio en las características de la vía. Los enlaces son utilizados para la representación del eje de la vía, por lo que contendrá todas las características de esta, como por ejemplo coordenadas, gradientes, distribución de tráfico, etc. Por otro lado, los conectores permiten la unión de las distintas vías, lo cual ayuda a crear geometrías detalladas (PTV Group, 2015).

Sin embargo, en la vía podemos encontrar otros elementos que son considerados parte de la infraestructura del modelo. Por ejemplo, las señales de velocidad máxima o los indicadores de prioridad entre usuarios. Este software permite la creación de paraderos de buses o transporte público en general, esto permite crear un modelo más próximo a la realidad, ya que las paradas de estos vehículos es un factor que influye en el tráfico. Finalmente, se puede incluir zonas de estacionamiento, permitiendo modelar el efecto de las mismas en el tráfico.

2.2.4.4.2. Modelamiento de tráfico

EL segundo bloque consiste en la modelación del tráfico. En este punto debemos realizar una diferenciación entre el transporte público y el transporte privado. Mientras que el primero debe seguir rutas determinadas y, en teoría, respetar paradas ya estipulada; los vehículos privados pueden tomar rutas y realizar paradas en base a la decisión del conductor, sin seguir una regla.

En el caso del transporte privado, el software permite la diferenciación entre categorías y tipos de vehículos; y da la posibilidad de plantear distribuciones de tráfico en base a estas dos diferenciaciones. Vissim presenta, por defecto los siguientes tipos de vehículos: autos, camiones, autobús, tranvía, bicicleta y peatones; por otro lado, tiene las siguientes clases; livianos, pesados, buses, trenes, peatones y bicicletas. También permite la introducción de distribuciones de velocidad deseada, parámetro que impacta en la capacidad de las vías y en los tiempos de viaje; distribuciones de peso y potencia, parámetro exclusivo de los vehículos pesados; y distribución del tiempo, las cuales permiten simular los tiempos de parada de buses, señales de pare, tiempos en peajes, etc. Algunas características adicionales que se pueden agregar son: el modelo y color en la visualización 3D, pesos de vehículos, clases de emisiones y costos por el uso de vehículos.

En el caso del transporte público, adicionalmente a las características mencionadas anteriormente se pueden definir secuencia de llegadas de los

vehículos en base a cronogramas de llegada. También permite determinar los tiempos de demora de las líneas debido a las paradas para que los pasajeros suban.

2.2.4.4.3. Control de tráfico

Las intersecciones se pueden dividir en dos grandes grupos, aquellas controladas por semáforos y aquellas que no. Estas últimas se basan en la prioridad de paso entre los distintos caminos y vías que se encuentran en ella. El programa tiene por defecto ciertas reglas de prioridad de paso, las cuales no necesariamente se cumplen en todos los escenarios; es por esta razón que debido a la flexibilidad de Vissim 8.0, el programa permite determinar las reglas de prioridad de tránsito en cada proyecto. De igual manera, esta opción permite determinar cuando los peatones tienen la prioridad. En el caso de Lima, durante el análisis de las intersecciones de este tipo la realidad demuestra que los vehículos tienen la prioridad sobre los peatones, a pesar de que la teoría debería el caso opuesto.

Por otro lado, se encuentran las intersecciones semaforizadas. El modelo de estas intersecciones está regulado por controladores de señales, los cuales controlan el tráfico en la intersección. En otras palabras, estos reguladores son representaciones de los semáforos, con fases de tiempo verde, rojo y ámbar. Vissim 8.0 permite regular y cambiar los ciclos de los controladores en base a lo observado en la realidad, pudiendo escoger entre varias combinaciones de las secuencias de intervalos.



**Figura 2.12 Modelo 3D de una intersección semaforizada
(Tichý, 2009)**

2.2.4.4. Datos de salida

Luego de introducción todos los datos y valores en Vissim 8.0, se podrá correr el modelo y obtener los valores de control requeridos. Entre los resultados, que se pueden obtener, se encuentran las demoras, paradas, velocidades, longitudes de cola y la densidad de tráfico. Sin embargo, para la presentación de los proyectos, la visualización en 2D y 3D es una herramienta que permite un mejor entendimiento de los planteado y/o realizado. Por lo expuesto, este software permite la recreación de los modelos en ambos formatos para generar, a su vez, videos en formato AVI. Para una mejor presentación del modelo 2D se pueden importar imágenes y dibujos CAD; y para el modelo 3D se pueden importar modelos desde el programa Google Sketchup o Autodesk 3DS Max.

2.2.5. PTV Viswalk 8.0

Los modelos presentados son utilizados para el análisis de distintos medios de transporte, incluyendo caminar. Sin embargo, como complemento de Vissim 8.0 se puede hacer uso de Viswalk 8.0. Este programa de microsimulación surge debido a que se ha observado que los peatones y los vehículos no se rigen bajo las mismas reglas. Este software se basa en el modelo de Fuerza Social.

2.2.5.1. Aplicaciones

A pesar de poder ser utilizado como un complemento de Vissim y de tener un sistema de funcionamiento similar, el Viswalk tiene una gran gama de situaciones en las que puede ser aplicado. En primer lugar, Viswalk es una herramienta que permite la planificación de instalaciones, ya que permite analizar la capacidad y el uso eficiente del espacio. También permite comprar entre las distintas alternativas que se puedan presentar y así evitar problemas como los “cuellos de botella”.

Por otro lado, los centros comerciales, lugares públicos y eventos pueden hacer uso de este software para simular la evacuación de los locales en caso de emergencia. El software le permitirá observar los obstáculos y problemas que sus instalaciones presentes para poder buscar una solución a los mismos

Finalmente, la planificación del tránsito es una de las aplicaciones de Viswalk, ya que permite observar y analizar la interacción entre los peatones y los vehículos. Es por esta razón que es una herramienta que permite aplicar los conceptos de movilidad universal o accesibilidad universal.

2.3. Diseño vial

Debido a las características y problemas que se presentan en las vías urbanas, es importante distinguir su diseño del diseño de carreteras. El tratamiento de ambos tipos de vías, si bien tiene como base los mismos conceptos, las teorías y modelos aplicables a cada uno tienen grandes diferencias.

En el caso del diseño de vías urbanas, los elementos que se pueden presentar, así como los conflictos, hacen del proceso algo complejo y con varias posibilidades. En el presente acápite se explicará el diseño vial urbano para intersecciones.

2.3.1. Fundamentos del diseño vial

La National Association of City Transportation Officials (NACTO) propone seis principios básicos bajo los que se tiene que regir el diseño de intersecciones de vías urbanas.

En primer lugar, las intersecciones deben ser lo más compactas posible, esto debido a que se reduce el largo de los cruces peatonales y la exposición que tienen los peatones al transitar por ellos. La velocidad de los vehículos es menor en estas zonas y como consecuencia en las zonas de conflicto. De igual manera, la visibilidad se ve incrementada gracias a esta medida.

En segundo lugar, se encuentra el análisis de las intersecciones como parte de una red, esto permite predecir y prever conflictos que se puedan presentar debido a la influencia de otras intersecciones en la zona de interés. Por otro lado, encontramos el principio de integración entre el tiempo y el espacio. Muchas veces la correcta elección de ciclos de semáforo permite evitar embotellamientos o demoras debido a “nudos” vehiculares.

Durante el diseño de intersecciones hay que considerar que en ellas transitan varios tipos de usuarios, por lo que el diseño se debe basar en crear espacios donde todos los usuarios puedan desenvolverse adecuadamente e interrelacionarse. En quinto lugar, se encuentra el principio de usar los espacios excedentes como espacio de uso público (plazas o parques). Finalmente, el diseño de una intersección no solo debe contemplar las condiciones actuales sino los posibles cambios que se podrían presentar. Por ejemplo, en la intersección de las avenidas Faucett y Venezuela se observa que en tres de las cuatro esquinas se han dejado retiros para una posible infraestructura de intercambios viable. Sin

embargo, en la cuarta esquina se realizó la construcción de una edificación que no respeta este retiro, esto implica que, si se desea realizar el intercambio vial, se deberá expropiar y demoler la construcción existente.

2.3.2. Accesibilidad universal

La accesibilidad son las características que debe disponer un entorno urbano para ser utilizado en condiciones de comodidad, seguridad, igualdad y autonomía por todas las personas, incluso por aquellas con capacidades motrices o sensoriales diferentes (Boudeguer, Prett, & Squella, 2010). Durante la última década, este concepto de accesibilidad ha ido cambiando hasta llegar al concepto de accesibilidad universal, que propone crear espacios públicos donde todas las personas puedan desarrollarse.

Este nuevo concepto involucra siete características básicas para el diseño. En primer lugar, el diseño de debe ser fácil de usar y adecuado para todas las personas, igualdad. En segundo lugar, este acomodarse a una amplia variedad de necesidades, flexibilidad, y debe ser fácil de entender. Por otro lado, el diseño debe ser capaz de intercambiar información con el usuario sin importar las condiciones ambientales o las capacidades sensoriales del usuario. También debe tener tolerancia al error, reduciendo al mínimo los peligros y consecuencias adversas. Finalmente, el diseño debe poder ser usado eficazmente con el mínimo de esfuerzo y debe tener las dimensiones apropiadas para todos los tipos de usuarios.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El proceso de desarrollo de un estudio de tráfico se puede dividir en cuatro grandes etapas y un total de 8 subetapas. A continuación, se presentan estas fases, así como una explicación de las mismas.

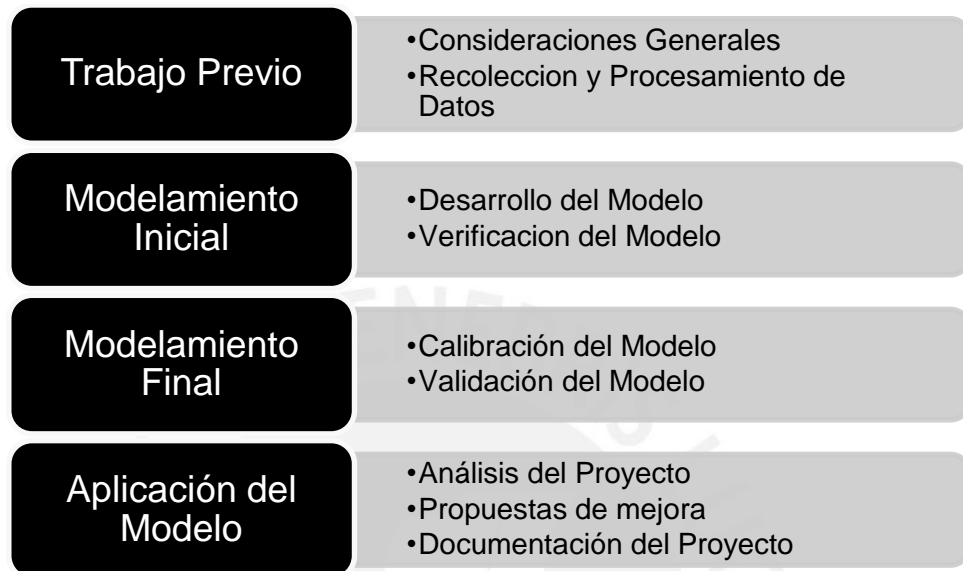


Figura 3.1 Proceso de trabajo de microsimulación
(Fuente Propia)

3.1. Trabajo previo

Esta etapa consiste en la determinación de los datos generales del trabajo y la obtención de los datos de campo que servirán en la modelación de la intersección.

3.1.1. Consideraciones generales

Para el desarrollo de cualquier proyecto, lo primero que se debe realizar es la determinación de los objetivos del proyecto, ya que en base a estos objetivos se determinarán las demás características. Luego, se prosigue con la determinación del alcance del proyecto. En este punto se debe considerar que características tiene el proyecto que será analizado y su complejidad. Por ejemplo, en la simulación de tráfico se pueden realizar estudios de una o más intersecciones dependiendo de la influencia que tienen las intersecciones cercanas en aquella de interés. Mientras más intersecciones sean necesarias simular, la complejidad del proyecto aumentará.

En base a toda la información se realizará la selección del modelo y software a utilizar. En el caso del presente proyecto, se utilizarán los modelos microscópicos de Seguimiento Vehicular y el modelo de Wiedemann. Finalmente, es necesario determinar los recursos que serán necesarios en cada etapa del proceso; por ejemplo, el software, los formatos, equipos de campo, etc.

3.1.2. Recolección y procesamiento de datos

La recolección de datos es una de las partes más importantes del proceso. Sin embargo, primero se debe determinar qué datos se recolectarán y en qué forma serán recolectados. En el presente caso, se han determinado tres tipos de datos.

3.1.2.1. Datos geométricos

En este campo los datos que se obtendrán son los valores geométricos de la intersección. Por ejemplo, radios de giro, alturas de sardineles, anchos de vía, etc. Se recomienda que estos datos sean recolectados con ayuda de equipos topográficos, los cuales permitirán una mayor exactitud. Sin embargo, el uso de planos preexistentes también puede ser un recurso aceptable, siempre que se verifique la información durante la visita de campo.

En el presente proyecto se utilizaron planos de ubicación de proyectos cercano como base para el desarrollo del plano de la zona. Durante el trabajo de campo, en primer lugar, se midieron las dimensiones del puente (alto de baranda y ancho del puente) y de las cuatro escaleras de acceso a él (ancho de la escalera, alto y profundidad del paso y dimensiones del descanso). Luego se realizó la medición de los anchos de carriles (ocho carriles en la avenida Brasil, cinco carriles en la avenida 28 de julio) y dos carriles en la calle Mogoburos. De igual manera se midieron los separadores centrales, los anchos de calzada, los anchos de las rampas de acceso y de los cruces peatonales. Finalmente se obtuvieron las dimensiones de los paraderos de transporte público. En el anexo A1 se presenta un plano de la intersección con los valores obtenidos.

3.1.2.2. Datos de demanda

En esta categoría se considera la recolección de los volúmenes de automóviles en base a los tipos de vehículos y movimientos de los mismos. De igual manera, se consideran las velocidades de vehículos, tiempos de semáforo, longitudes de cola y demoras. Finalmente se obtendrán las velocidades, movimientos, y líneas

de deseo de los peatones. Debido a las limitaciones del software seleccionado, los peatones serán tratados como vehículos. Cabe resaltar que se debe realizara dos veces la recolección de datos de demanda, en días y horas distintas para poder realizar la etapa de calibración y validación del modelo.

Debido a la complejidad de la intersección y los altos flujos presentes se decidió realizar la recolección de datos de demanda mediante filmaciones de una hora de duración. Las filmaciones fueron realizadas de 7:30 am. a 8:30 am. los días 13 de octubre del 2015 y 07 de octubre del 2015, fechas que corresponden a los datos de modelación y de validación, respectivamente. En cada caso se obtuvieron los flujos vehiculares y peatonales, los tiempos de viaje vehiculares y peatonales. También se realizó una toma de datos general para el caso de los ciclos de semáforo, las velocidades de los peatones y los tiempos de parada vehiculares Cabe resaltar que ambas filmaciones fueron realizadas en la azotea del Hospital del Niño con una cámara GoPro 4k.

3.1.2.3. Datos de control

Los datos de control consisten en la recolección y registro de las señales de tránsito, ubicación de semáforos y/o restricciones de movimiento debido a las normas de tránsito. De igual manera se considera dentro de esta categoría la ubicación de los puestos de venta (“quioscos”) ya que influyen en el ancho efectivo de calzada peatonal. En el presente proyecto se realizará la recolección de datos mediante la filmación de la intersección, esta decisión se debe a que se presenta una gran cantidad de datos que deben ser recolectados en forma paralela. Para la selección del día en que se realizara la toma de datos se considerara que los fines de semana el tráfico en la zona es mucho menor a lo que se presenta en días laborables. Por otro lado, los días lunes y viernes se presenta una anomalía en los datos obtenidos en situaciones como esta intersección, por lo que la toma de datos se realizará martes, miércoles o jueves.

El procesamiento de datos consiste en la utilización de estadística inferencial para la obtención de valores promedios, los cuales podrán ser utilizados en Vissim 8.0

3.2. Modelamiento inicial

La segunda etapa del proceso involucra dos actividades que se realizan en paralelo. La primera es el modelamiento de la intersección en Vissim 8.0 la cual está acompañada de la verificación constante del modelo.

3.2.1. Desarrollo del modelo

Probablemente la etapa más importante del proceso. Para el desarrollo del modelo, se inicia con el dibujo de la intersección en el programa escogido, Vissim 8.0. Como ayuda para un mejor desempeño en este paso, se colocará una imagen base, la cual puede ser un plano o imagen aérea de la zona. En el cabe del presente trabajo se utilizó el plano CAD desarrollado durante la toma de datos.

Luego, sobre la imagen se realizará el trazo de las vías de la intersección, considerando los anchos de vías y número de carriles por sentido. De igual manera se realizará el trazo y unión de las vías con los posibles movimientos que pueden hacer los vehículos y peatones (conectores), en base a lo recolectado en campo.

El siguiente paso consiste la configuración de los tipos y clases de vehículos a utilizar. También se pueden modificar o crear vehículos en base a la realidad de la zona estudiada. Una vez realizada esta configuración se prosigue con la introducción de los volúmenes de vehículos totales en las vías, al igual que las proporciones de estos volúmenes que representan cada tipo de vehículo. Cabe resaltar que también se realiza la introducción de los volúmenes de peatones. De igual manera se colocan los valores de velocidades promedios o distribución, mencionadas en el acápite 2.3.2.4.

Para continuar con la construcción del modelo se introducen las reglas de prioridad de paso entre las vías y líneas de deseo de los peatones. De ser una intersección semaforizada, se realiza la introducción de los ciclos de semáforos y el posicionamiento de las líneas de pare.

Por otro lado, se deben indicar y generar los paraderos, zonas de parqueo y otros elementos de la infraestructura, de tal forma que el modelo contenga todo lo que el proyecto o la intersección ya construida presente.

3.2.2. Verificación del modelo

El proceso de verificación suele realizarse en paralelo al proceso de modelamiento y permite detectar errores de la modelación de tal forma que el proceso de calibración no se base en parámetros distorsionados que conllevan a errores significantes en los resultados (US Departmente of Transportation, 2004). Entre los parámetros que se deben revisar se encuentra la conectividad de las vías, las prohibiciones y regulaciones de trafico colocadas en el modelo. De igual manera

de debe verificar los valores de dimensiones, velocidades, volúmenes y distribución de los vehículos.

Otro ejercicio muy útil en esta etapa es realizar las corridas de los vehículos y observar que no se generen incidentes o situaciones no consideradas. Esto permite que se verifiquen las reglas de prioridad de paso y las señalizaciones del modelo.

3.3. Calibración y validación del modelo

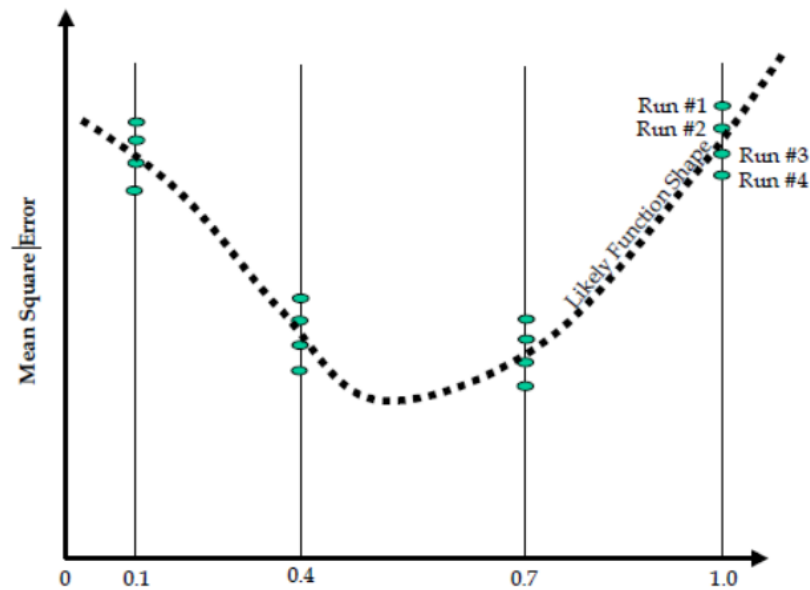
En esta etapa se realiza la calibración y validación del modelo realizado y verificado. Para poder realizar ambos procesos es necesario contar con los juegos de datos obtenidos en campo.

3.3.1. Calibración del modelo

Luego de la verificación de errores, se tiene un modelo que corre adecuadamente. Sin embargo, sin la calibración no hay forma de certificar que los resultados del modelo se asemejen a la realidad y se pueda utilizar para realizar predicciones adecuadas (US Department of Transportation, 2004). El proceso de calibración consiste en correr el sistema, el número de veces que sea necesario (según fórmula) y verificar que los valores obtenidos se asemejen a los valores recolectados en campo. Antes de la calibración se deben escoger los parámetros, en el presente proyecto se tomará como referencia la longitud de cola de la intersección.

Para realizar la calibración del modelo se pueden seguir dos caminos. El primero consiste en la calibración global del sistema mediante el ajuste del algoritmo del modelo y los parámetros asociados. Se recomienda solo variar dos de los parámetros. El segundo proceso, el cual se recomienda realizar luego de la calibración global, es el ajuste específico de velocidades.

Para la calibración vehicular del modelo desarrollado solo fue necesario realizar una calibración global del modelo. Sin embargo, en el caso de los peatones fue necesario realizar ambos procesos.



**Figura 3.2 Distribución ideal de valores de calibración
(US Department of Transportation, 2004)**

3.3.2. Validación del modelo

La validación del modelo es similar a la calibración, pero para poder realizarla es necesario introducir nuevos datos de volúmenes, velocidades, distribución de vehículos, etc. Es por esta razón que durante la recolección de datos se recomienda realizar el proceso dos veces en días y horas distintas.

Primero se realiza la modificación de los valores obtenidos en campo, sin cambiar la infraestructura de la intersección. Luego se realiza la corrida del modelo con estos nuevos valores. Finalmente se realizará la verificación de los parámetros de calibración. Si se obtienen valores similares, la validación del modelo está completa. De encontrarse diferencias significantes de debe volver a verificar el modelo y realizar la calibración del mismo con el primer juego de datos.

3.4. Aplicación del modelo

Esta es la etapa final del proceso y consiste en la utilización del modelo para los propósitos por los que se hizo. En el caso del presente proyecto, se busca determinar las deficiencias de la situación actual de la intersección y proponer un nuevo diseño.

3.4.1. Análisis del proyecto y propuestas de mejora

Una vez finalizada la calibración y validación del modelo se comienza con el análisis de los resultados. Se observan los parámetros de eficiencia de la intersección, como longitudes de cola, y presenta un resumen de la situación. De igual manera se realiza un análisis de la seguridad en la intersección, en base al concepto de movilidad universal.

Luego de realizar los análisis de la intersección, se plantean posibles soluciones para las deficiencias detectadas. Cabe resaltar que este nuevo diseño de la intersección debe cumplir con la normativa vigente del lugar y, de preferencia con las recomendaciones planteadas por instituciones internacionales.



**Figura 3.3 Rediseño de una intersección, antes y después
(Cabrerá, 2015)**

3.4.2. Documentación del proyecto

Luego de haber realizado el modelamiento y haber planteado una propuesta de rediseño, es importante juntar toda la información recolectada en un informe final. En este informe se deben incluir todos los datos recolectados en campo; el registro del proceso de modelamiento, verificación, calibración y validación del modelo; el resumen de la solución propuesta, justificando las decisiones de una forma adecuada; y finalizar con las conclusiones obtenidas del proyecto.

CAPÍTULO 4: TRABAJO PREVIO

4.1. Consideraciones previas

El presente proyecto contempla el estudio de tránsito de la intersección de las avenidas Brasil y 28 de Julio y la calle Mogoburos, el cual se realizará con ayuda de un software de microsimulación, PTV Vissim 8.0. Con ayuda del modelo realizado en el software, se analizará de la situación actual de la intersección y se plantearán soluciones a los problemas encontrados. De igual manera se analizarán las medidas de seguridad presentes desde el concepto de movilidad sostenible y accesibilidad universal.

Se considera que el cruce es independiente de las intersecciones que la rodean, ya que las intersecciones cercanas no influyen significativamente en el desarrollo del mismo. Por otro lado, los usuarios considerados en el análisis serán: ciclistas, peatones y vehículos; cuyas características, especificaciones y subdivisiones serán delimitadas en la etapa de recolección de datos.

A continuación, se presenta un plano de ubicación de la intersección:



Figura 4.1 Ubicación de la intersección
(Google Earth)

4.2. Recolección y procesamiento de datos

En el presente acápite se presentan los datos obtenidos durante el trabajo de campo y una breve explicación de cómo fueron obtenidos.

4.2.1. Datos geométricos

Para el adecuado desarrollo del modelo de microsimulación se realizó la recolección de los datos geométricos de la intersección el día 10 de septiembre del 2016. Las mediciones fueron realizadas con dos cintas métricas, una cinta métrica metálica de 8 m. y una cinta de fibra de vidrio de 30 m.

4.2.2. Datos de demanda

Para la obtención de los datos de demanda se realizaron dos filmaciones las cuales tienen una duración de una hora y corresponde a los datos y modelación y a los datos de validación.

4.2.2.1. Ciclos de semáforos

Los ciclos de semáforo fueron obtenidos con ayuda de un cronometro. Se realizaron 10 mediciones en tres semáforos. Los semáforos S1 y S3 controlan el flujo de vehículos de la avenida Brasil y el semáforo S2 controla el flujo en la avenida 28 de Julio en dirección este a oeste. A continuación, se presenta un esquema de sus ubicaciones.



Leyenda

- S1: Semáforo en la Av. Brasil. Dirección NE-SO
- S2: Semáforo en la Av. Brasil. Dirección SO-NE
- S3: Semáforo en la Av. 28 de Julio. Dirección E-O

Figura 4.2 Ubicación de semáforos medidos

Se determinó que existen dos fases en el ciclo de semáforo. La tabla 4.4 presenta los intervalos de tiempo verde, ámbar y rojo de cada fase. También se presenta un esquema el ciclo de semáforo

Tabla 4.1 Fases de ciclo de semáforo

FASE 1		TIEMPO (S)	FASE 2		TIEMPO (S)
VERDE		45.00	VERDE		35.00
AMBAR		3.00	AMBAR		3.00
ROJO		38.00	ROJO		48.00

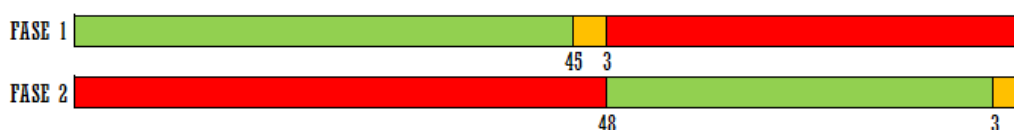


Figura 4.3 Esquema de ciclo de semáforo

4.2.2.2. Flujos vehiculares

Los flujos vehiculares fueron obtenidos mediante el conteo de vehículos en las cinco vías de ingreso a la intersección subdividiéndolos en los movimientos que realizaron (giros a la derecha o la izquierda, ingreso a la vía central o a la vía auxiliar, etc.).

Para efectos del presente proyecto ingenieril se consideran seis clases de automóviles los cuales tendrán una velocidad en flujo libre según la tabla 4.5. Estos valores son obtenidos cuando los vehículos se movilizan sin limitaciones u obstáculos (semáforos, otros automóviles o peatones)

Tabla 4.2 Velocidades en flujo libre

Tipo de vehículo	Velocidad flujo libre (km/h)	Tipo de vehículo	Velocidad flujo libre (km/h)
Automóviles	50	Motocicletas	40
Combis/Coasters	50	Bicicletas	12
Bus	50	Especial (ambulancias)	50
Camión	50		

Se presentan los flujogramas de los ingresos identificados para los datos de modelación y validación.

4.2.2.2.1. Datos de modelación

El primer ingreso vehicular identificado en la intersección es la vía auxiliar de la Av. Brasil en la dirección noreste a suroeste (Ingreso 1), que presenta un total de 686 vehículos por hora y se distribuyen en cuatro posibles rutas.

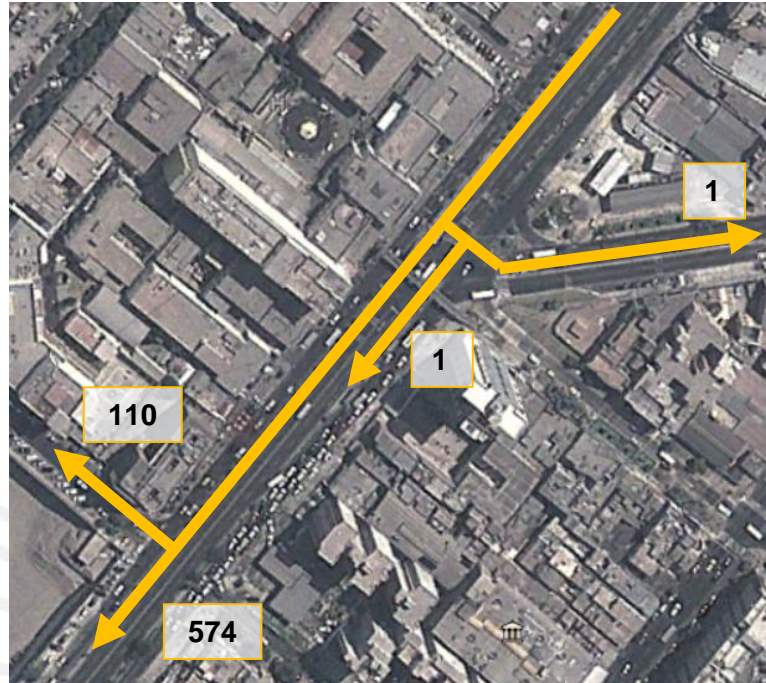


Figura 4.4 Flujogramas de modelación: movimientos del ingreso 1 (veh/h)

Por otro lado, se encuentra el ingreso 2 (la vía central de la Av. Brasil en la dirección noreste a suroeste) con una ruta y un total de 190 vehículos por hora.

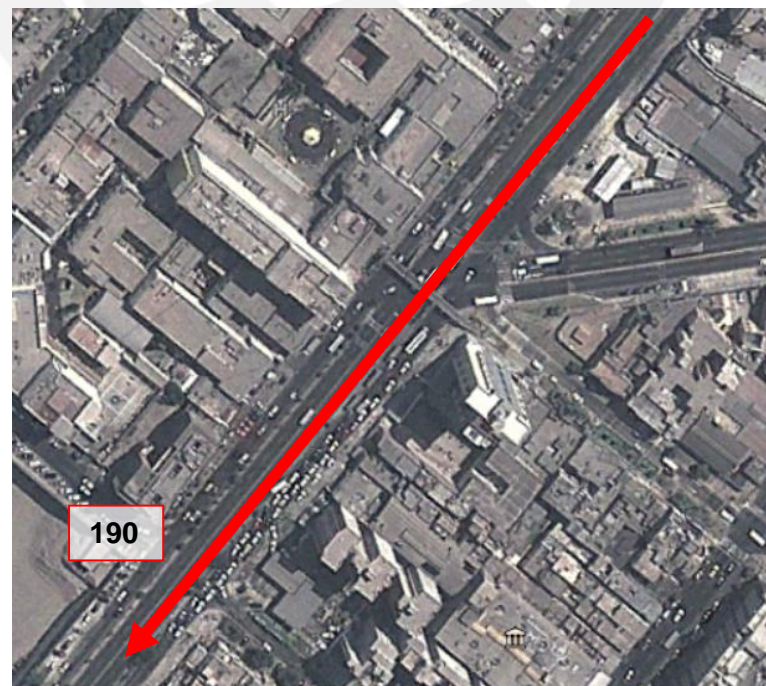


Figura 4.5 Flujogramas de modelación: movimientos del ingreso 2 (veh/h)

El ingreso 3 o ingreso por la vía auxiliar de la Av. Brasil en dirección suroeste a noreste presentó un total de 816 vehículos por hora. En este ingreso se identificaron cuatro posibles rutas vehiculares.

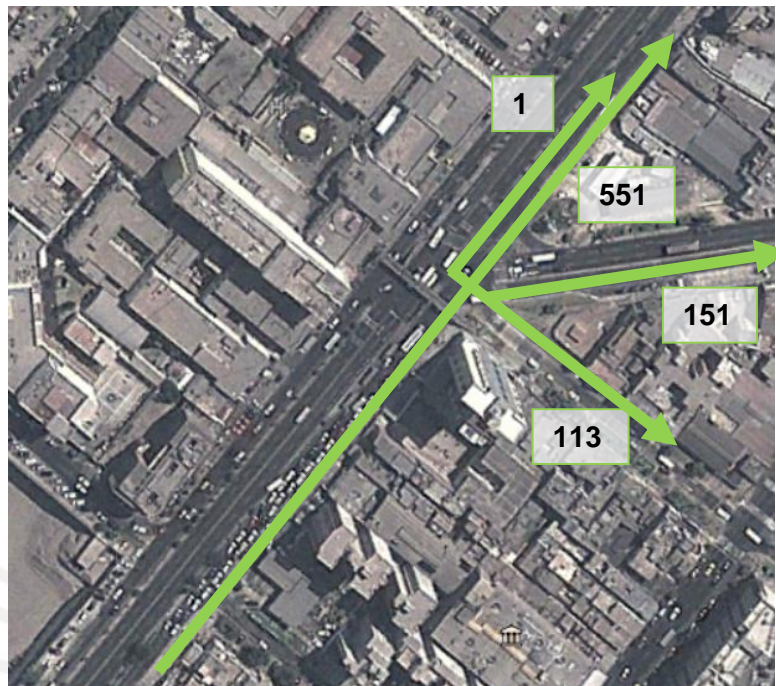


Figura 4.6 Flujogramas de modelación: movimientos del ingreso 3 (veh/h)

En el caso del ingreso por la vía central de la Av. Brasil en la misma dirección (ingreso 4), presentó un total de 303 vehículos por hora y cuatro rutas de salida.

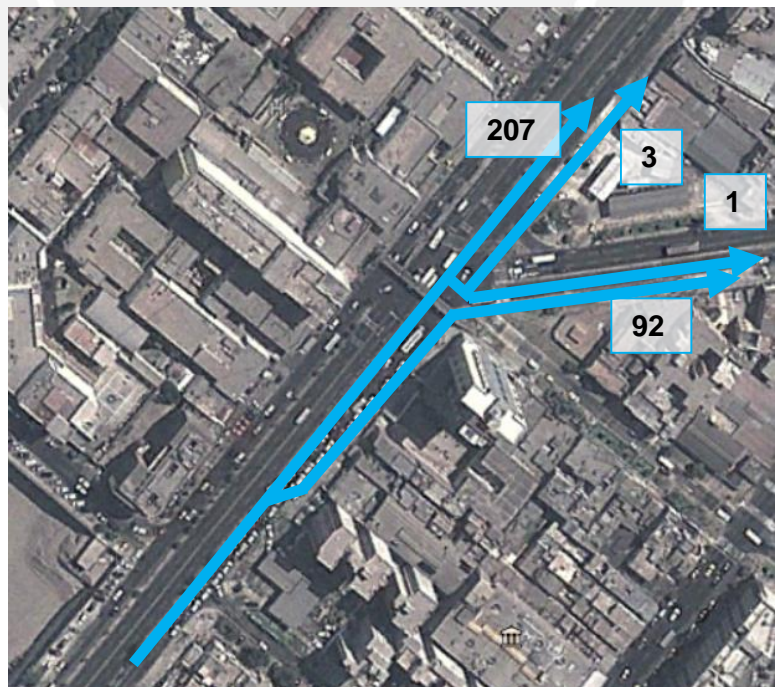


Figura 4.7 Flujogramas de modelación: movimientos del ingreso 4 (veh/h)

Finalmente, el ingreso 5 (Av. 28 de Julio) presento el mayor flujo vehicular, 1173 vehículos por hora. De igual manera presento siete posibles rutas de salida vehicular.

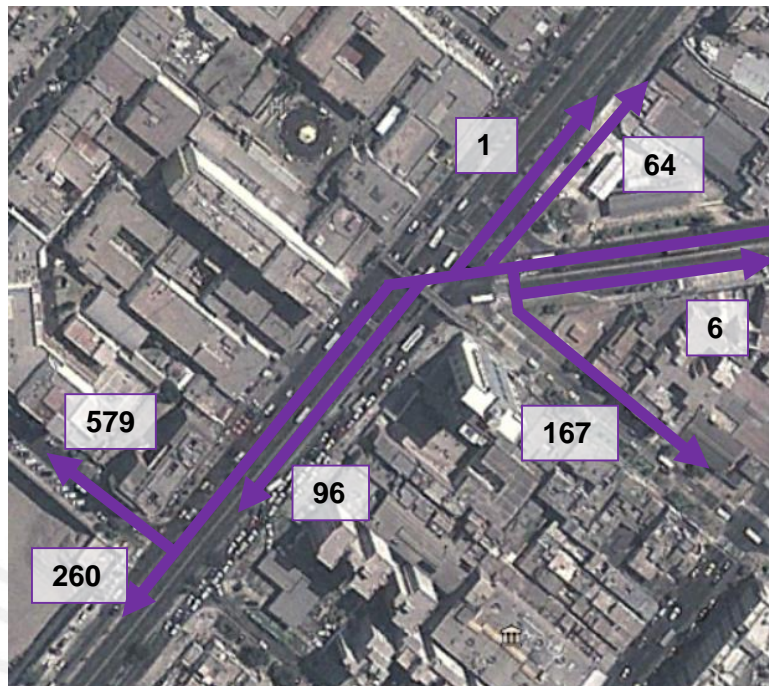


Figura 4.8 Flujogramas de modelación: movimientos del ingreso 5 (veh/h)

4.2.2.2.2. Datos de validación

Al igual que en los datos de modelación, el ingreso 1 presento cuatro rutas. Sin embargo, en la validación se contaron 733 vehículos por hora.

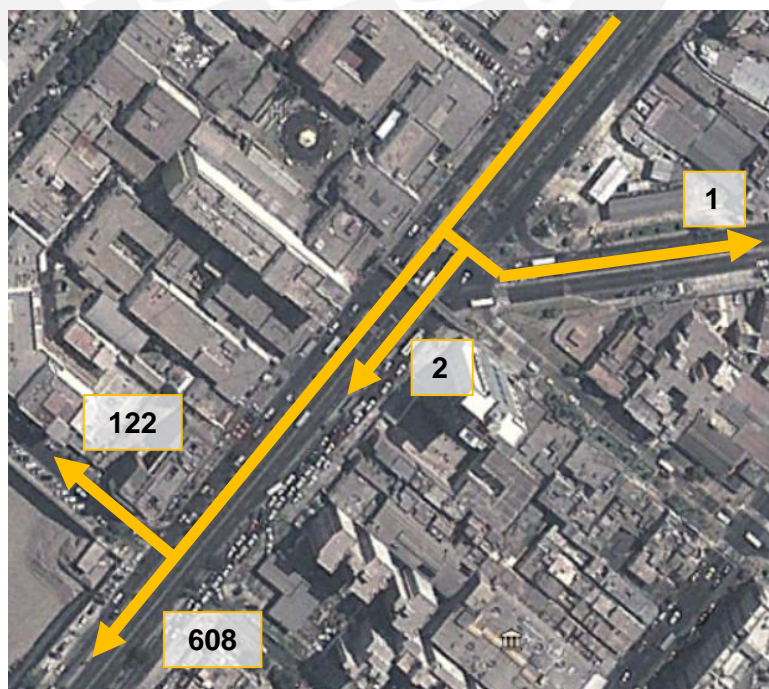


Figura 4.9 Flujogramas de validación: movimientos del ingreso 1 (veh/h)

Por el ingreso 2, durante la toma de datos de validación, ingresaron 186 vehículos por hora al sistema.

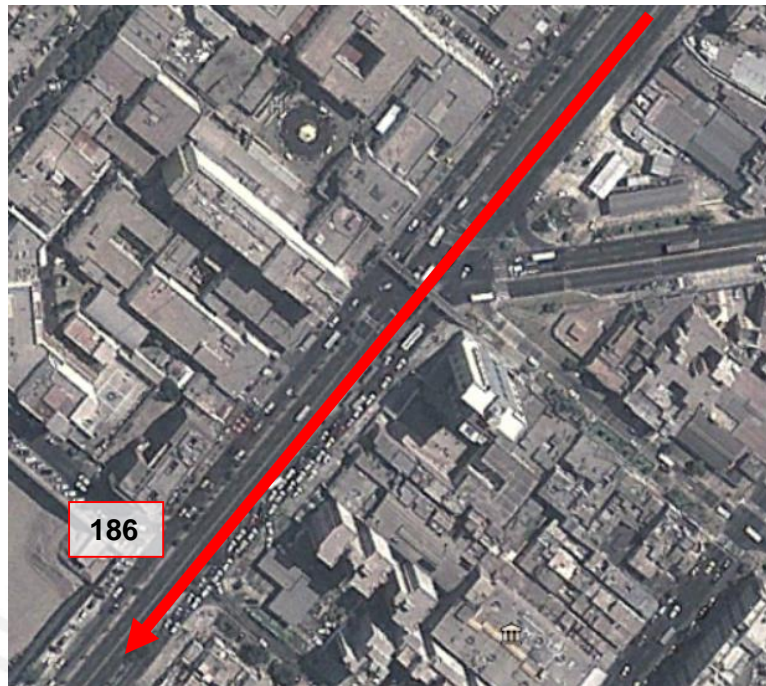


Figura 4.10 Flujogramas de validación: movimientos del ingreso 2 (veh/h)

En el ingreso 3, se contaron 852 vehículos durante la hora de observación, los cuales se distribuyen en cuatro posibles rutas.

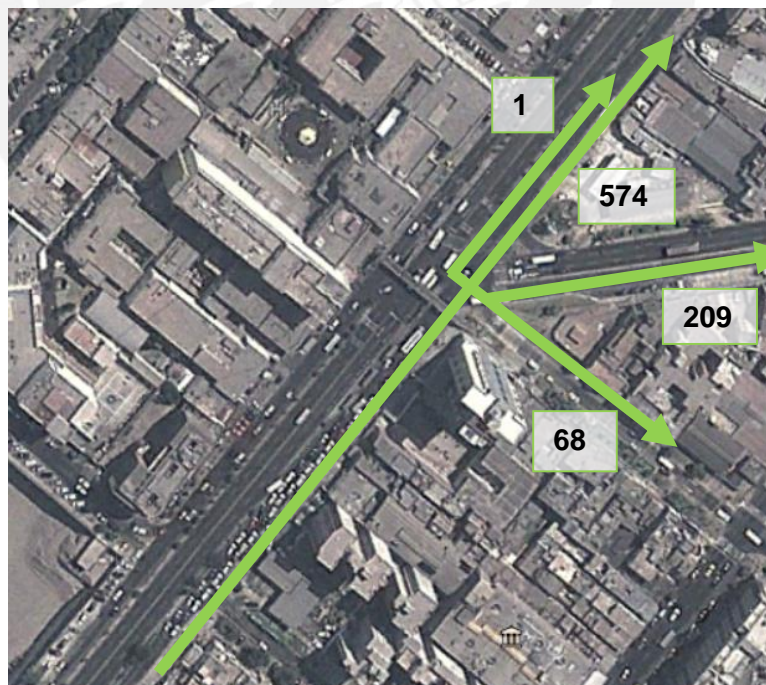


Figura 4.11 Flujogramas de validación: movimientos del ingreso 3 (veh/h)

Las cuatro rutas identificadas en el ingreso 4 suman un total de 268 vehículos por hora, según la figura 4.12

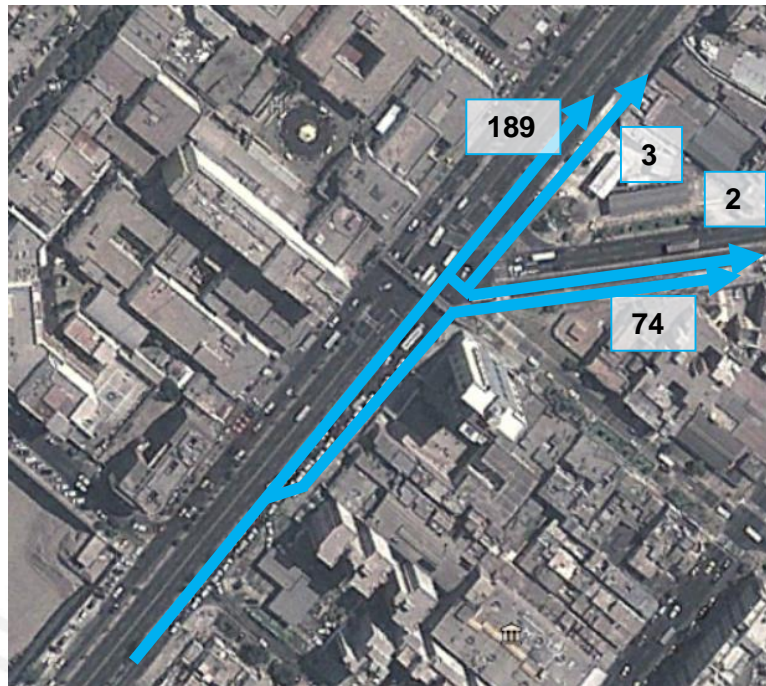


Figura 4.12 Flujogramas de validación: movimientos del ingreso 4 (veh/h)

Finalmente, el ingreso 5 vuelve a presentar el mayor flujo vehicular, con un total de 1160 vehículos por hora, los cuales se distribuyen en siete rutas para salir del sistema.



Figura 4.13 Flujogramas de validación: movimientos del ingreso 5 (veh/h)

4.2.2.3. Flujos peatonales

Para la obtención de los flujos peatonales se delimitaron 14 áreas peatonales desde las cuales se realizó el conteo de los peatonales diferenciándolos según sus líneas de deseo. El conteo se realizó en intervalos de 10 minutos. A continuación, se presenta una imagen con la ubicación de dichas áreas y su codificación.

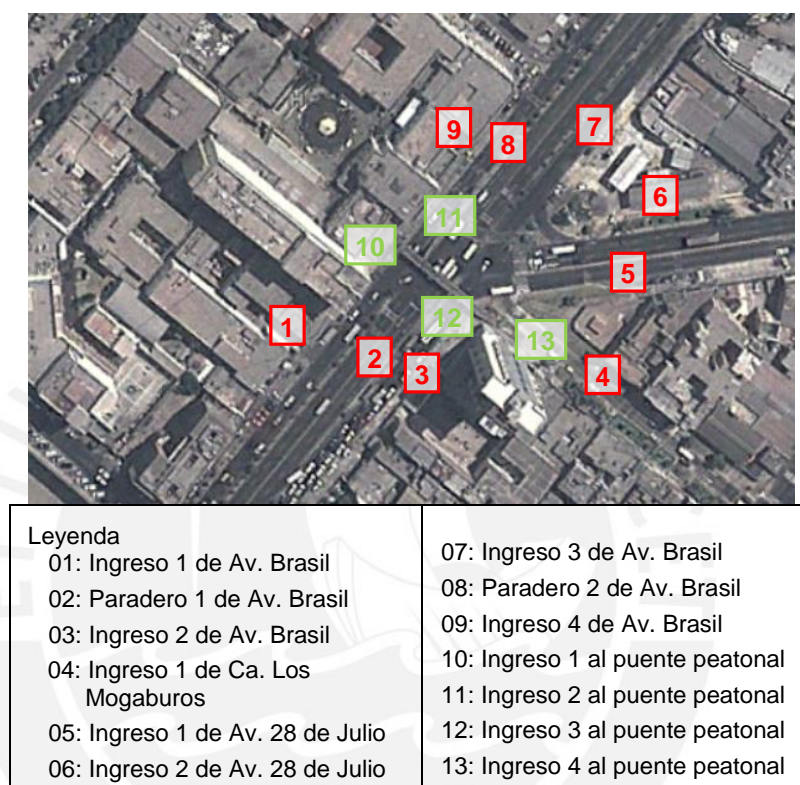


Figura 4.14 Ubicación de áreas peatonales consideradas

De igual manera se presentan tablas resúmenes de los aforos peatonales de cada zona por periodo. En el anexo A2 se presentan los conteos detallados y las rutas de los peatones.

4.2.2.3.1. Datos de modelación

Tabla 4.3 Datos resumen de aforos peatonales de modelación (peatones)

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
00:00 - 00:10	117	79	70	21	14	100	20	173	106	34	35	59	22
00:10 - 00:20	107	76	52	9	17	75	16	159	128	42	48	49	10
00:20 - 00:30	109	54	59	15	18	94	14	173	89	47	50	37	16
00:30 - 00:40	130	65	45	27	17	93	16	181	83	56	39	36	28
00:40 - 00:50	118	69	49	14	13	57	17	181	88	40	35	40	12
00:50 - 01:00	131	66	30	20	28	63	16	176	94	56	51	37	25
TOTAL	712	409	305	106	107	482	99	1043	588	275	258	258	113

4.2.2.3.2. Datos de validación

Tabla 4.4 Datos resumen de aforos peatonales de validación (peatones)

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
00:00 - 00:10	101	73	66	16	16	98	12	160	90	32	32	59	14
00:10 - 00:20	138	68	60	10	20	74	18	162	131	42	48	43	16
00:20 - 00:30	93	65	65	21	13	82	18	185	96	45	46	41	16
00:30 - 00:40	119	59	56	17	16	95	22	195	80	54	45	39	23
00:40 - 00:50	107	78	41	16	22	60	14	171	77	39	30	39	13
00:50 - 01:00	134	58	40	16	24	68	11	168	95	59	42	29	25
TOTAL	692	401	328	96	111	477	95	1041	569	271	243	250	107

4.2.2.4. Tiempos de viaje vehiculares

Para obtener los tiempos de viaje de los vehículos se delimitaron 5 tramos diferentes, un para cada ingreso vehicular.



Leyenda	
■	T1: Pista auxiliar de la Av. Brasil. Dirección NE-SO (36.50m)
■	T2: Pista central de la Av. Brasil. Dirección NE-SO (38.00m)
■	T3: Pista central de la Av. Brasil. Dirección SO-NE (38.50m)
■	T4: Pista auxiliar de la Av. Brasil. Dirección SO-NE (33.50m)
■	T5: Pista de la Av. Brasil. Dirección E-O (41.00m)

Figura 4.15 Tramos para obtención de tiempos de viaje vehiculares (Google Earth)

El registro de tiempos se realizó con ayuda de un cronometro marca Casio y modelo SWC-20. A continuación, se presenta la ubicación de dichos tramos y sus longitudes. Para la obtención del número mínimo de tiempos necesarios para que la muestra sea representativa se utilizó la ecuación 2.2 con un error de 10% de la media y un valor de $t_{\alpha/2}$ igual a 1.96.

A continuación, se presentan los valores resúmenes de los datos obtenidos, los cuales podrán ser encontrados de forma detallada en el anexo XX

4.2.2.4.1. Datos de modelación

Tabla 4.5 Datos resumen de tiempos de viaje vehiculares de modelación (seg.)

	T1	T2	T3	T4	T5
Promedio	9.27	6.35	3.48	4.57	7.63
Des. Estándar	4.03	1.36	1.28	0.74	3.20
Error	0.93	0.64	0.35	0.46	0.76
Número Mínimo	72	18	52	10	68
Número tomado	75	40	55	40	70

4.2.2.4.2. Datos de validación

Tabla 4.6 Datos resumen de tiempos de viaje vehiculares de validación (seg.)

	T1	T2	T3	T4	T5
Promedio	9.92	5.96	3.52	5.08	8.34
Des. Estándar	3.72	1.75	1.32	1.00	2.93
Error	0.99	0.60	0.35	0.51	0.83
Número Mínimo	54	33	54	15	47
Número tomado	65	40	55	40	50

4.2.2.5. Tiempos de viaje peatonales

De manera similar a los tiempos de viaje vehiculares, se delimitaron 6 tramos para la obtención de tiempos de viajes peatonales. Los cuales se presentan en la siguiente imagen. Cabe resaltar que, al igual que en los vehículos, se consideró un error de 10% de la media y un valor de $t_{\alpha/2}$ igual a 1.96 en la ecuación 2.2

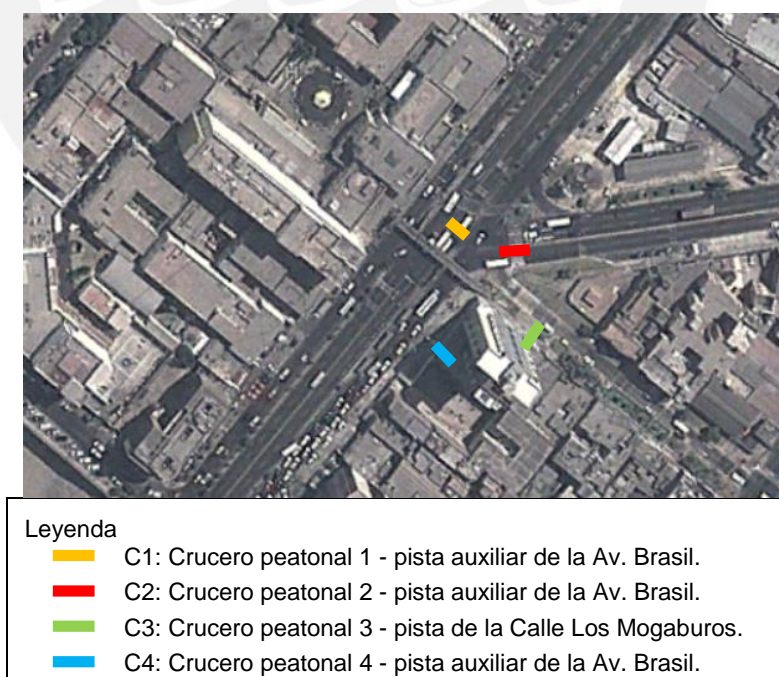


Figura 4.16 Tramos para obtención de tiempos de viaje peatonales (Google Earth)

4.2.2.5.1. Datos de modelación

Tabla 4.7 Datos resumen de tiempos de viaje peatonales de modelación (seg.)

	C1	C2	C3	C4
Promedio	5.10	5.02	4.64	5.75
Des. Estándar	1.15	1.12	0.86	1.33
Error	0.51	0.50	0.46	0.57
Número Mínimo	20	19	13	21
Número tomado	40	40	40	40

4.2.2.5.2. Datos de validación

Tabla 4.8 Datos resumen de tiempos de viaje peatonales de validación (seg.)

	C1	C2	C3	C4
Promedio	4.98	5.33	4.80	5.67
Des. Estándar	1.10	1.30	1.30	1.30
Error	0.50	0.53	0.48	0.57
Número Mínimo	19	23	28	20
Número tomado	40	40	40	40

4.2.2.6. Velocidad de peatones

Para el presente modelo se generó una curva de velocidades que sea representativa de las personas que transitan en la intersección de análisis. Para la obtención de este dato se analizaron los peatones que cruzaban la pista central de la avenida Brasil.

Primero se realizó la toma del tiempo que 80 peatones se demoran en cruzar el tramo mencionado. Luego se calculó la velocidad en kilómetros por hora (km/h) en base a la longitud del cruce que fue obtenida durante la recolección de datos geométricos. A continuación, se presenta la tabla resumen y el gráfico de frecuencias acumuladas correspondiente.

Tabla 4.9 Tabla de frecuencias de velocidades peatonales (km/h)

Cantidad	80	Rango	6.57
Vel..Min	4.49	# de Intervalos	8
Vel..Max	11.06	Diferencia	0.82

Vel..Inferior	Vel..Superior	fi	Fi	hi	Hi
4.49	5.31	31	31	0.3875	0.3875
5.31	6.13	26	57	0.3250	0.7125
6.13	6.96	11	68	0.1375	0.8500
6.96	7.78	3	71	0.0375	0.8875
7.78	8.60	2	73	0.0250	0.9125
8.60	9.42	3	76	0.0375	0.9500
9.42	10.24	1	77	0.0125	0.9625
10.24	11.07	3	80	0.0375	1.0000
		80		1	

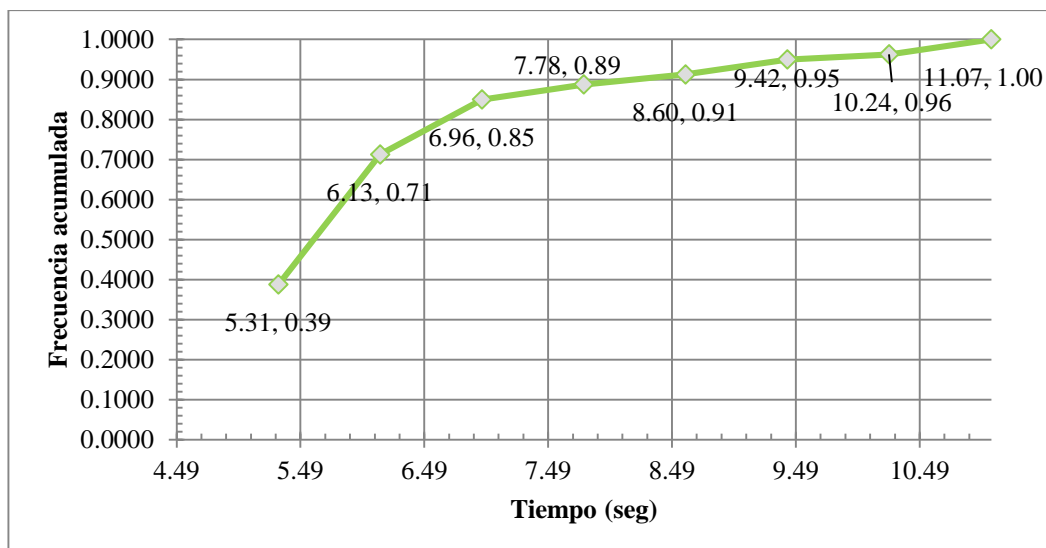


Figura 4.17 Curva de frecuencias acumuladas de velocidades peatonales

4.2.2.7. Tiempos de parada

La intersección en análisis tiene una gran cantidad de vehículos de transporte público (taxis, combis, coasters y buses), los cuales tienen gran influencia en el tráfico de la zona ya que realizan paradas para que los pasajeros suban o bajen de los vehículos. Es por esta razón que se realizó la medición del tiempo de parada de los vehículos diferenciándolos en dos grupos. Por un lado, se encuentran los taxis y por otro lado los vehículos de transporte público masivo (combis, coasters y buses).

Tabla 4.10 Datos resumen de tiempos de parada vehiculares (seg.)

	BUSES	TAXIS
Promedio	18.06	21.34
Des. Estándar	5.30	6.86
Error	1.81	2.13
Número Mínimo	33	40
Número tomado	40	40

Finalmente se construyó la curva de frecuencias acumuladas de los valores obtenidos. Las tablas 4.11 y 4.12 presenta los datos obtenidos durante el procesamiento de los tiempos de parada vehiculares y la figura 4.18 presenta el gráfico de frecuencias acumuladas.

Transporte público masivo

Tabla 4.11 Tabla de frecuencias de tiempos de parada de buses (seg.)

Cantidad	40	Rango	20.60
Vel..Min	7.81	# de Intervalos	7
Vel..Max	28.41	Diferencia	2.94

Tiempo Inferior	Tiempo Superior	fi	Fi	hi	Hi
7.81	10.75	5	5	0.125	0.125
10.75	13.70	4	9	0.100	0.225
13.70	16.64	5	14	0.125	0.350
16.64	19.58	9	23	0.225	0.575
19.58	22.52	10	33	0.250	0.825
22.52	25.47	4	37	0.100	0.925
25.47	28.42	3	40	0.075	1
		40		1	

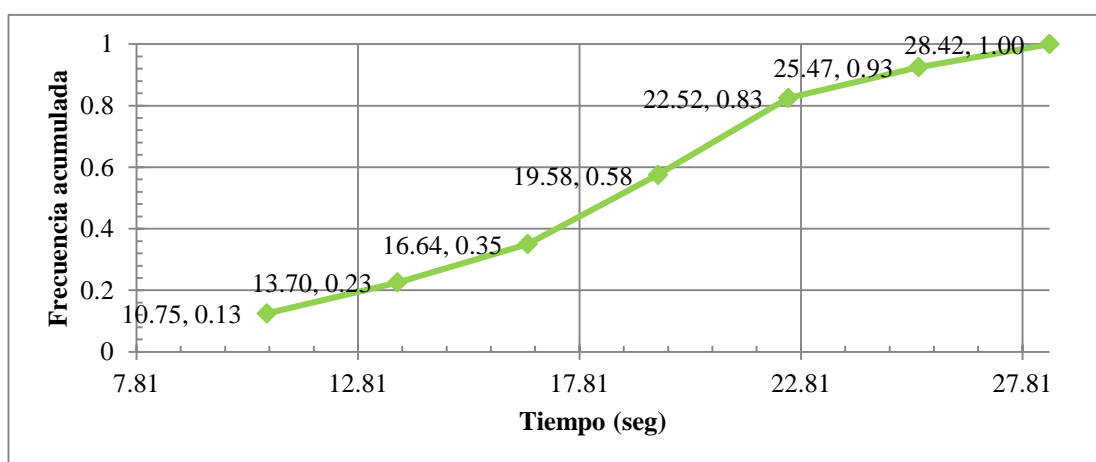


Figura 4.18 Curva de frecuencias acumuladas de tiempos de parada buses

Transporte público individual

Tabla 4.12 Tabla de frecuencias de tiempos de parada de taxis (seg.)

Cantidad	45	Rango	23.71
Vel..Min	8.91	# de Intervalos	7
Vel..Max	32.62	Diferencia	3.39

Tiempo Inferior	Tiempo Superior	fi	Fi	hi	Hi
8.91	12.30	6	6	0.1333	0.1333
12.3	15.68	7	13	0.1556	0.2889
15.68	19.07	3	16	0.0667	0.3556
19.07	22.46	7	23	0.1556	0.5111
22.46	25.85	7	30	0.1556	0.6667
25.85	29.23	9	39	0.2000	0.5667
29.23	32.62	6	45	0.1333	1
		45		1	

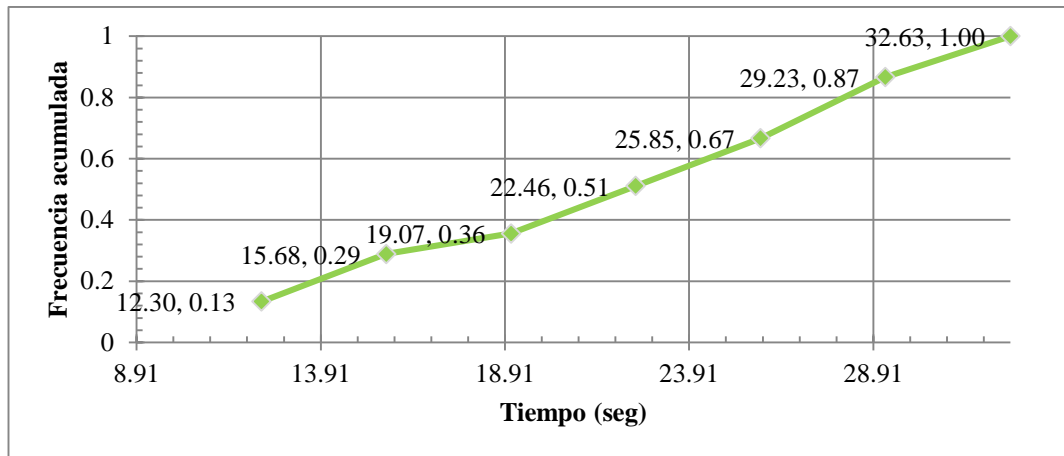


Figura 4.19 Curva de frecuencias acumuladas de tiempos de parada taxis

4.2.3. Datos de control

El reconocimiento de la zona y la identificación de las señales de tránsito se realizó durante la toma de los datos geométricos. Se identificaron cinco mástiles semafóricos, uno para cada vía de ingreso a la intersección; y tres peatonales, dos en el cruce peatonal de la avenida Brasil y uno en el cruce peatonal de la avenida 28 de Julio. Se observó que el semáforo que controla el flujo de la vía central de la avenida Brasil en dirección noreste a suroeste no tiene una visibilidad adecuada, ya que su altura es muy pequeña para las dimensiones de los vehículos que circulan por dicha vía.

Por otro lado, se observó la presencia de dos señales de tránsito en la vía auxiliar de la avenida Brasil en la dirección noreste a suroeste, una señal de “Silencia” y otra de “No estacionar” (figura 4.20).

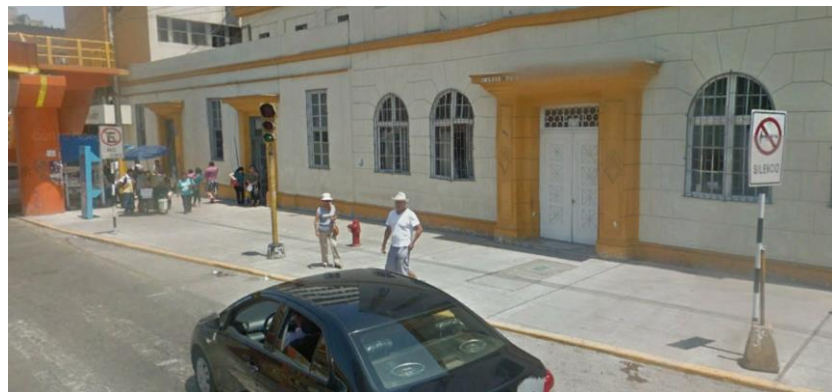
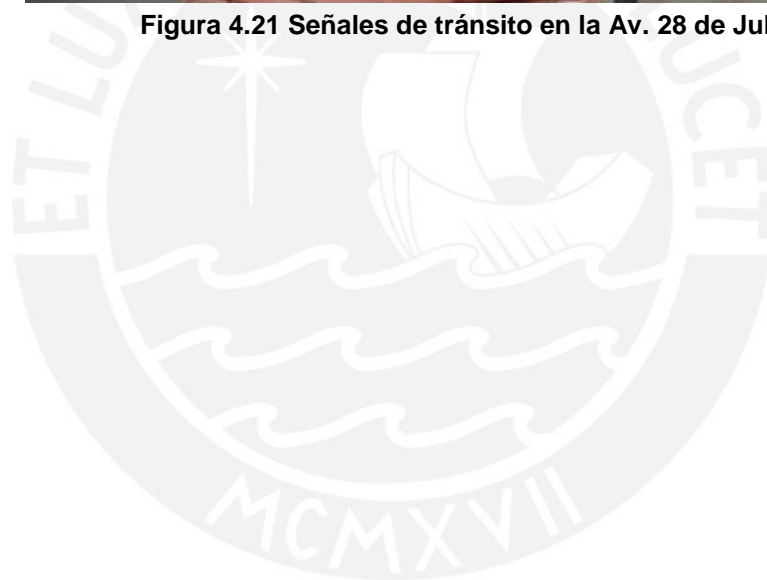


Figura 4.20 Señales de tránsito en la vía auxiliar de la Av. Brasil

Otra señalización presente fue el cartel de “Paradero”, el cual se encuentra en ambos paraderos de la vía central de la avenida Brasil. Finalmente se detectó la presencia de una señal de “Crucero peatonal” en la avenida 28 de julio. Sin embargo, esta señal no se encuentra acompañada de la cebrada peatonal dibujada en la pista.



Figura 4.21 Señales de tránsito en la Av. 28 de Julio



CAPÍTULO 5: MODELAMIENTO INICIAL

5.1. Desarrollo del modelo

La siguiente etapa en el proceso propuesto es el desarrollo del modelo, el cual fue realizado en Vissim 8.0 y Viswalk 8.0. En el presente acápite se explicarán los pasos y funciones del programa como parte del desarrollo del modelo.

5.1.1. Imagen de fondo

El programa utilizado permite utilizar una imagen como referencia para la construcción del modelo, cual es llamada imagen de fondo o “background”. En el presente proyecto se escogió realizar el modelo en base al plano realizado en la parte de recolección de datos geométricos ya que es más detallado que la imagen obtenida con ayuda de Google Earth. Vissim relaciona el “background” con el archivo de origen, por eso es importante mencionar que antes de insertar la imagen en el modelo, esta sea colocada en la misma carpeta que el archivo de Vissim. Cabe resaltar que el programa proporciona la opción de escalar la imagen, la cual es activa con el comando Ctrl + click derecho, y toma una medida como referencia para la escala.

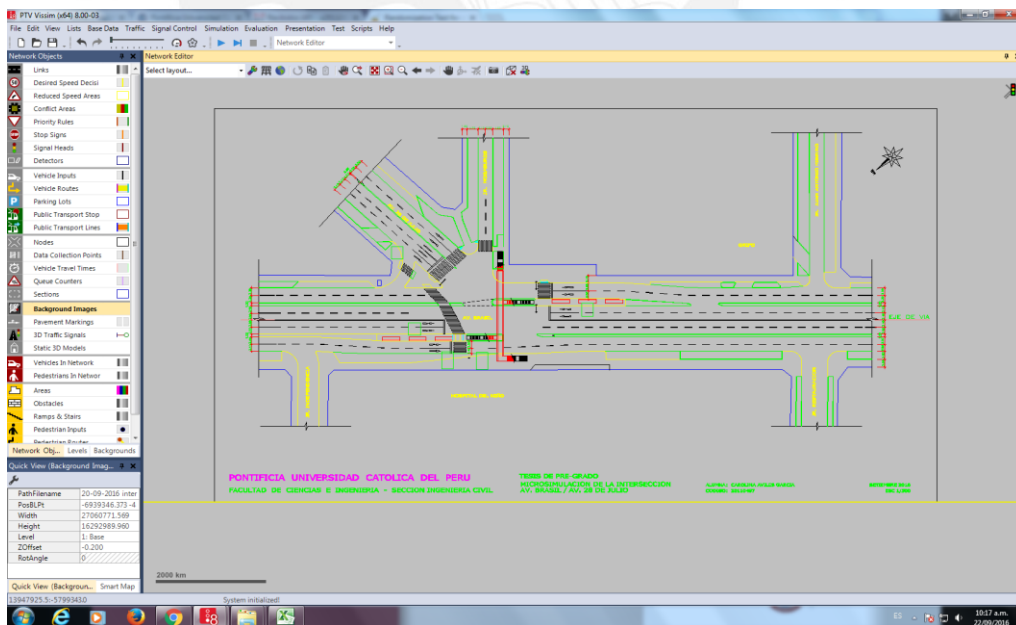


Figura 5.1 Imagen de fondo para modelación
(Fuente propia)

5.1.2. Links y conectores

El siguiente paso para la construcción del modelo es la creación de los links y los conectores. Los links representan las vías vehiculares, en este caso las avenidas Brasil y 28 de Julio, las calles Mogoburos y Restauración. Para la creación de los links es necesario conocer el ancho de carril, el número de carriles y la distancia entre carriles de cada vía. Por otro lado, los conectores son las herramientas que permiten unir los links. En el presente proyecto se han utilizado 18 conectores y 12 links.

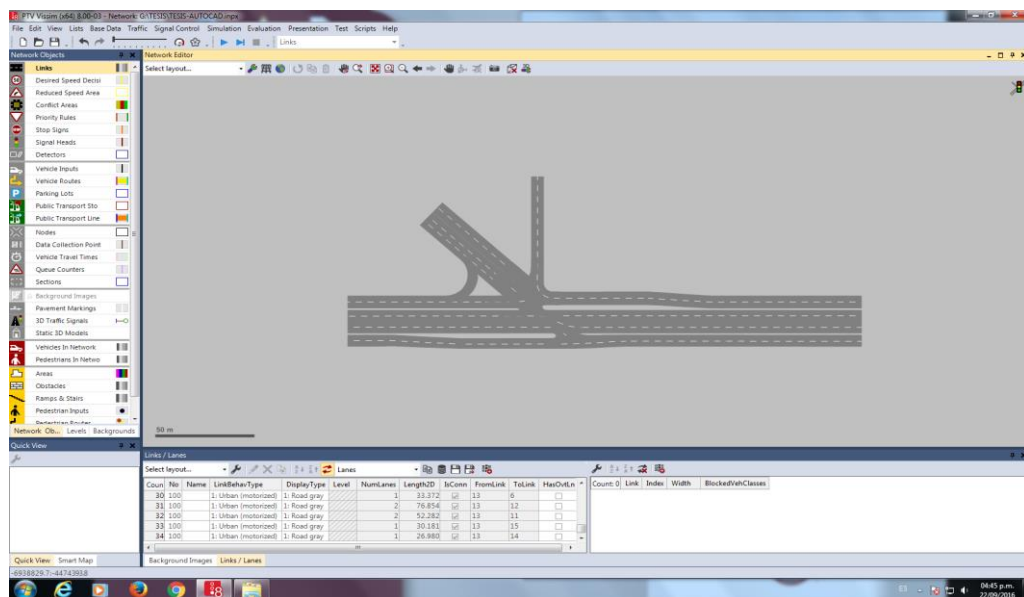


Figura 5.2 Link y conectores del modelo
(Fuente propia)

5.1.3. Áreas peatonales

Para el desarrollo del modelo peatonal con Viswalk se crearon tres niveles a 0.00m, 2.85m y 5.55. En el primer nivel se dibujaron siete áreas peatonales correspondientes a las veredas, las cuales tienen una elevación y grosor de 0.15m. Por otro lado, en el segundo nivel (+2.85m) se crearon cuatro áreas que corresponden a los descansos de las escaleras de acceso al puente con un grosor de 0.30m. Finalmente, el ultimo nivel está compuesto por un área que representa el puente con un grosor de 0.30m.

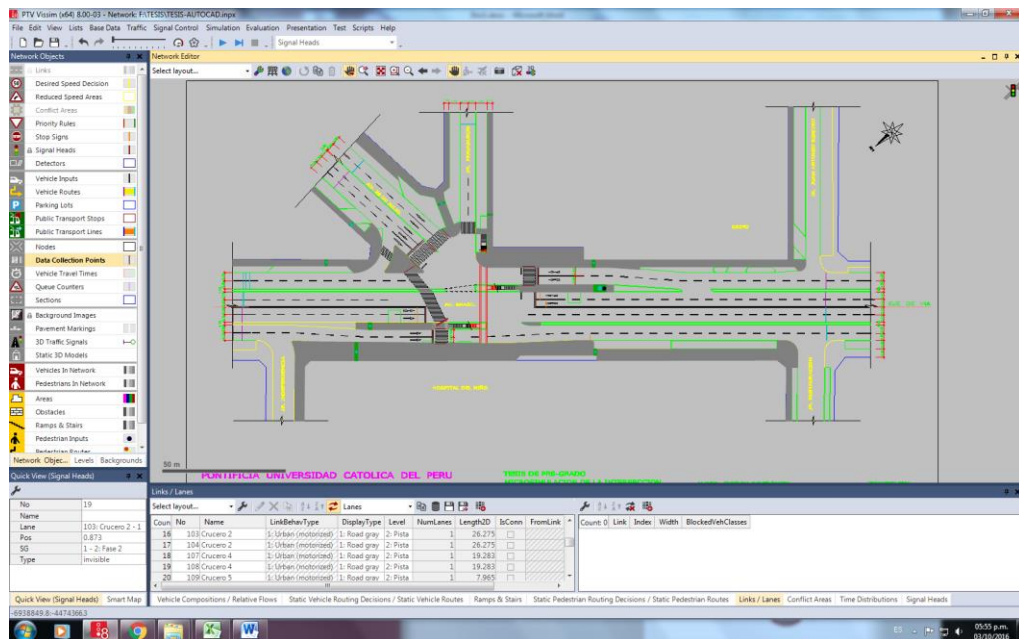


Figura 5.3 Áreas peatonales
(Fuente propia)

5.1.4. Cruces peatonales

Debido a la necesidad de colocar semáforos y reglas de prioridad de paso en los cruces peatonales. La recreación de los cruces se hizo mediante links, al igual que los links vehiculares, pero se activó la opción de utilizarlos como áreas peatonales. Esta opción crea dos links relacionados en la misma posición, pero con dirección de tránsito opuesta.

En el modelo se crearon 9 pares de links que representan los cruces peatonales formales e informales. Para efectos del presente trabajo, se consideran cruces peatonales informales aquellos que describen las líneas de deseo de los peatones, pero sin estar debidamente señalizados o que inclusive el cruce por estas zonas está prohibido.

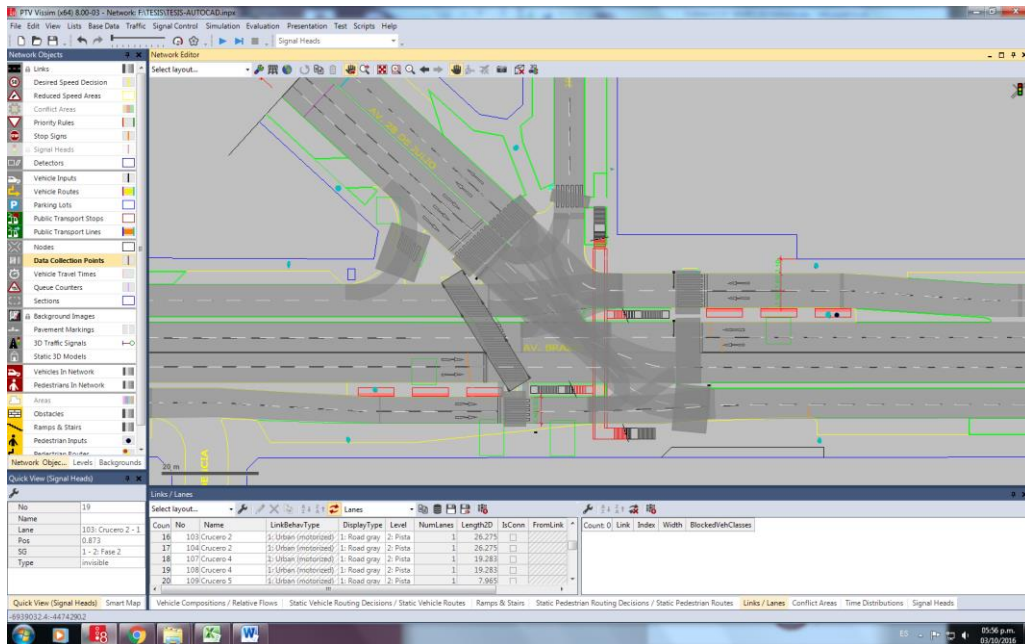


Figura 5.4 Cruces peatonales
(Fuente propia)

5.1.5. Escaleras de acceso

Para efectos del presente modelo se crearon 8 escaleras de 15 pasos cada una y con una altura de contrapaso de 18cm. De igual manera se respetaron las medidas obtenidas en campo, tales como anchos de escaleras y longitud del paso en cada una de las escaleras. Cabe resaltar que este último valor es distinto en cada una de las escaleras de acceso al puente.

Por otro lado, las rampas y escalones de acceso a las veredas no fueron considerados para el desarrollo del modelo ya que se observó que el comportamiento de los peatones no se veía afectado.

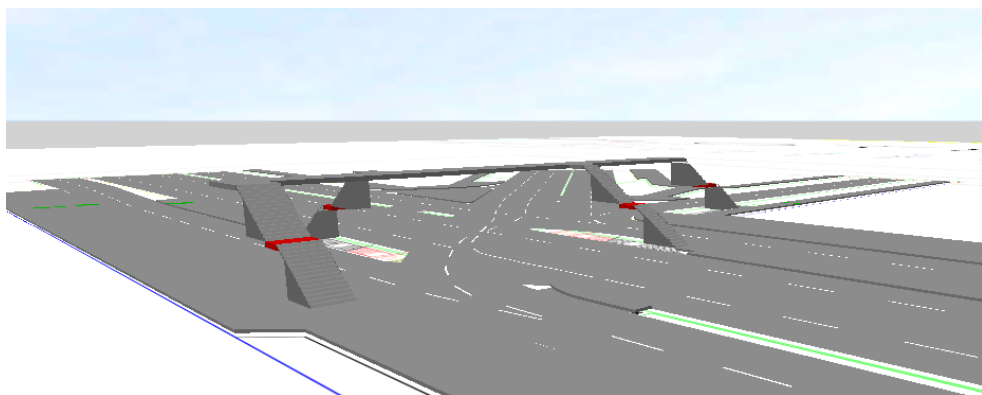
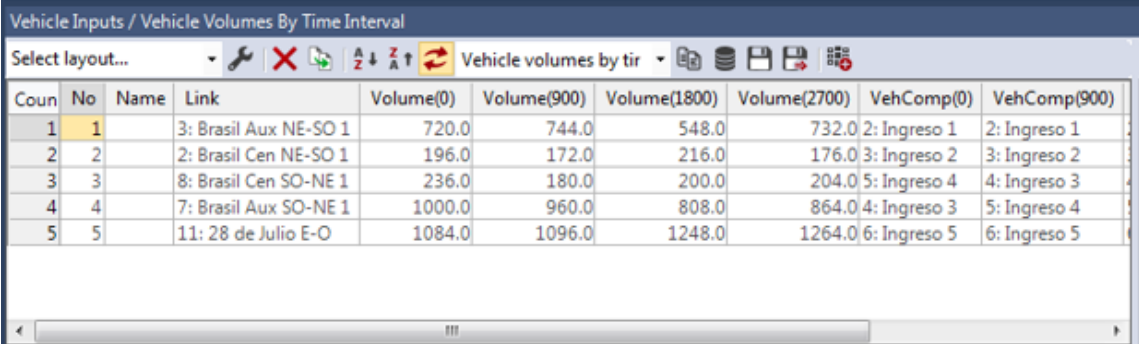


Figura 5.5 Vista 3D de escaleras de acceso al puente
(Fuente propia)

5.1.6. Definición de vehículos y peatones

Durante la toma de datos se observó que los tipos de vehículos proporcionados por Vissim 8 no son los únicos que circulan por la intersección de interés. Por esta razón, se agregaron cuatro tipos de vehículos más (motocicletas, ambulancias, coasters/combis y camiones pequeños). A pesar de no tener un modelo 2D/3D de los mismos se escogieron modelos que se acerquen a sus características del catálogo proporcionado por PTV Group en su página web. De igual manera se crearon cuatro clases de vehículos, correspondientes a cada tipo de vehículo. Finalmente se crearon los “inputs” vehiculares correspondientes a cada ingreso identificado en la toma de datos y diferenciados por intervalos de 15 minutos. A continuación, se presentan los “inputs” colocados en el modelo.



The screenshot shows a software window titled "Vehicle Inputs / Vehicle Volumes By Time Interval". It contains a table with the following data:

Coun	No	Name	Link	Volume(0)	Volume(900)	Volume(1800)	Volume(2700)	VehComp(0)	VehComp(900)
1	1		3: Brasil Aux NE-SO 1	720.0	744.0	548.0	732.0	2: Ingreso 1	2: Ingreso 1
2	2		2: Brasil Cen NE-SO 1	196.0	172.0	216.0	176.0	3: Ingreso 2	3: Ingreso 2
3	3		8: Brasil Cen SO-NE 1	236.0	180.0	200.0	204.0	5: Ingreso 4	4: Ingreso 3
4	4		7: Brasil Aux SO-NE 1	1000.0	960.0	808.0	864.0	4: Ingreso 3	5: Ingreso 4
5	5		11: 28 de Julio E-O	1084.0	1096.0	1248.0	1264.0	6: Ingreso 5	6: Ingreso 5

**Figura 5.6 Inputs vehiculares
(Fuente propia)**

Por otro lado, en el caso de los peatones se respetaron los tipos de peatones y las clases que proporcionaba el programa, ya que no se identificaron diferencias significativas entre estos y la realidad. Cabe resaltar que para los “inputs” peatonales, a pesar de tener 13 áreas de conteo, solo se colocaron 9 “inputs”, diferenciados en intervalos de 10 minutos, debido a que los accesos al puente peatonal (áreas 10, 11, 12 y 13) solo reciben peatones de alguna de las otras áreas. La figura 5.6 muestra los “inputs” en el modelo.

Coun	No	Name	Area	Volume(0)	Volume(600)	Volume(1200)	Volume(1800)	Volume(2400)	Volume(3000)	PedComp(0)
1	1	12: 1		702.0	642.0	654.0	780.0	708.0	786.0	1: Pedestrians
2	2	13: 2		474.0	456.0	324.0	390.0	414.0	396.0	1: Pedestrians
3	3	14: 3		420.0	312.0	354.0	270.0	294.0	180.0	1: Pedestrians
4	4	15: 4		126.0	54.0	90.0	162.0	84.0	120.0	1: Pedestrians
5	5	16: 5		84.0	102.0	108.0	102.0	78.0	168.0	1: Pedestrians
6	6	17: 6		600.0	450.0	564.0	558.0	342.0	378.0	1: Pedestrians
7	7	18: 7		120.0	96.0	84.0	96.0	102.0	96.0	1: Pedestrians
8	8	19: 8		176.0	174.0	191.0	175.0	190.0	197.0	1: Pedestrians
9	9	20: 9		636.0	768.0	534.0	498.0	528.0	564.0	1: Pedestrians

Figura 5.7 Inputs peatonales
(Fuente propia)

5.1.7. Definición de rutas

Luego de la definición de los vehículos y peatones y sus composiciones se realizó la creación de las rutas que siguen. En el caso de los vehículos se crearon seis puntos de inicio de rutas y se respetaron los flujogramas presentado en el acápite de recolección de datos. Por otro lado, en el caso de los peatones se crearon 13 puntos de inicio, los nueve primeros tenían 12 opciones de lega, mientras que los cuatro restantes solo 9.

Count	No	Name	Link	Pos	AllVehTypes	VehClasses	Count	VehRoutDec	No	Name	DestLink	DestPos	RefFlow(0)
1	1	3: Brasil Aux NE-SO 1		1.399	<input checked="" type="checkbox"/>		1	1	1	16		25.573	0.160
2	2	2: Brasil Cen NE-SO 1		1.371	<input checked="" type="checkbox"/>		2	1	2	10: Brasil Aux NE-SO		183.436	0.837
3	3	7: Brasil Aux SO-NE 1		5.803	<input checked="" type="checkbox"/>		3	1	3	9: Brasil Cen NE-SO 2		203.557	0.002
4	4	8: Brasil Cen SO-NE 1		5.823	<input checked="" type="checkbox"/>		4	1	4	12: 28 de Julio O-E		52.244	0.002
5	5	10011		28.800	<input checked="" type="checkbox"/>								
6	6	11: 28 de Julio E-O		1.948	<input checked="" type="checkbox"/>								

Figura 5.8 Rutas vehiculares en Vissim
(Fuente propia)

5.1.8. Zonas de conflicto

Debido a los cruce vehiculares y peatonales se generan áreas de conflicto, dos existe mayor posibilidad de un “choque”. En el presente modelo de identificaron 110 áreas de conflicto las cuales fueron analizadas para que alguno de los links involucrados tenga la prioridad de paso.

La figura 5.8 muestra las áreas de conflicto, las cuales se encuentran concentradas en núcleo de la intersección. Cabe resaltar que entre las áreas se encuentran aquellas que generan conflicto entre los peatones y los vehículos. En

estos casos se dio prioridad a los vehículos, ya que en la realidad cuando ocurren estas situaciones los peatones deciden esperar a que estos pasen.

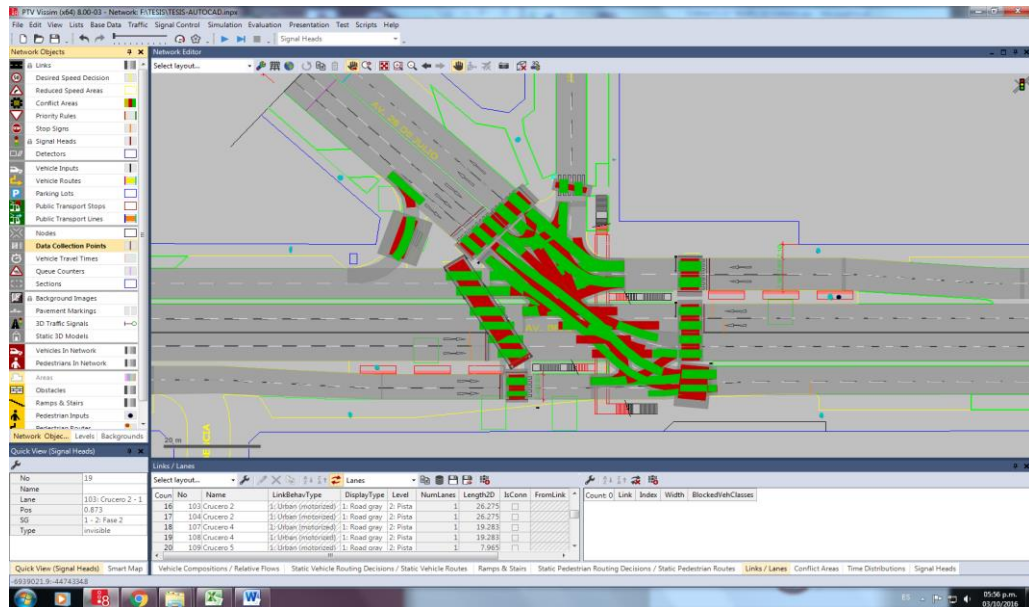


Figura 5.9 Áreas de conflicto
(Fuente propia)

5.1.9. Señales de control

En el presente proyecto se utilizaron once señales de control o semáforos vehiculares y ocho semáforos peatonales. En el primer caso se asumió que el 100% de los vehículos acata la señal, esto debido a que durante la observación de la intersección no se detectaron vehículos que no la respeten. Por otro lado, en el caso de los peatones se asumió que un 90% acata la señal, que se detectó que si no existen vehículos cerca los peatones cruzan sin importar si el semáforo se encuentre en rojo.

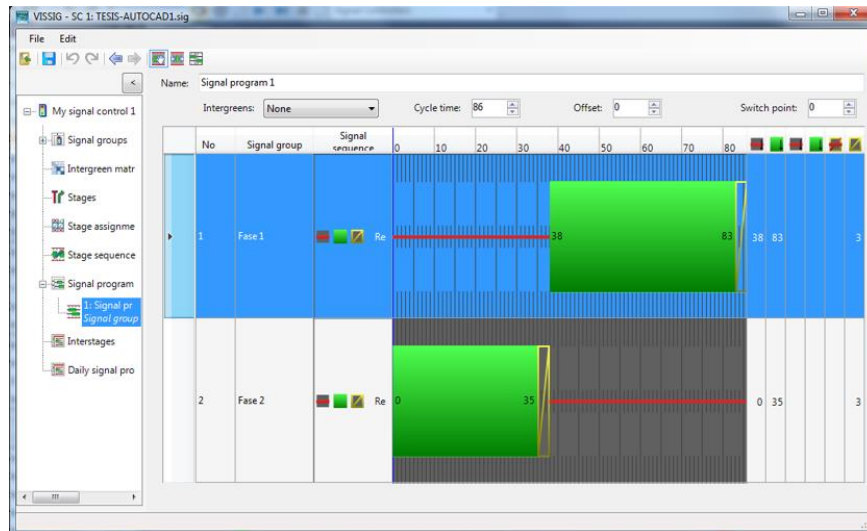


Figura 5.10 Señales de control
(Fuente propia)

5.1.10. Señales de pare

Durante el trabajo de campo se identificaron dos paraderos de buses, coasters y combis; y un paradero informal de taxis ubicado en la puerta del hospital militar. Debido a que los paraderos mencionados tienen una gran influencia en el tránsito vehicular de la zona se utilizaron zonas de espera para simular el tiempo que los pasajeros demoran en subir. El primer paso para la utilización de esta herramienta fue crear la curva de frecuencia acumulada de tiempos de parada de los vehículos, se crearon dos diferenciando los taxis de los vehículos de transporte público masivo. Luego de la creación de los tiempos de para de realizo la colocación de las señales de pare indicando que vehículos se ven influenciados por cada curva.

5.1.11. Reglas de prioridad de paso

A pesar de haber indicado la prioridad en a las zonas de conflicto identificadas se detectaron situación donde los vehículos se chocaban o no avanzaban debido a la obstrucción por otro vehículo. Es por esta razón que se decidió utilizar las reglas de prioridad de paso en ciertas situaciones las cuales de muestran en la siguiente imagen.

5.2. Verificación del modelo

Durante el proceso de modelación se realizaron corridas del modelo y se identificaron algunos problemas que en la realidad no se observan. El primer problema identificado es que el 100% de los vehículos que circulaban por el tercer

carril de la 28 de Julio no respetaban el semáforo. Luego del análisis de este problema se detectó que la señal se encontraba en el giro en “U” que sale desde este carril, por lo que solo los vehículos que realizaban este movimiento respetaban la señal. Para solucionar este caso se movió la señal al link de 28 de Julio.

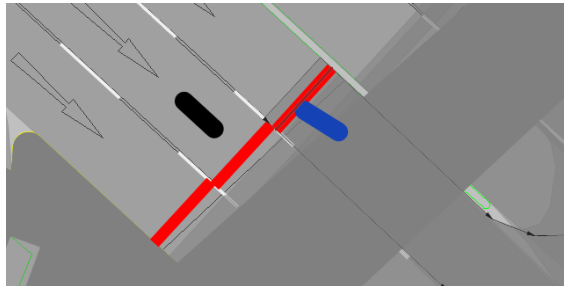


Figura 5.11 Primer problema identificado
(Fuente propia)

Por otro lado, durante las corridas realizadas se observaron peatones que se quedaban en un lugar y no avanzaban. Esto ocasionaba aglomeramiento de peatones e invasión de los carriles vehiculares por mucho tiempo. Este problema se presentó debido a que la señal de control se encontraba en el link de dirección opuesta a la correcta.

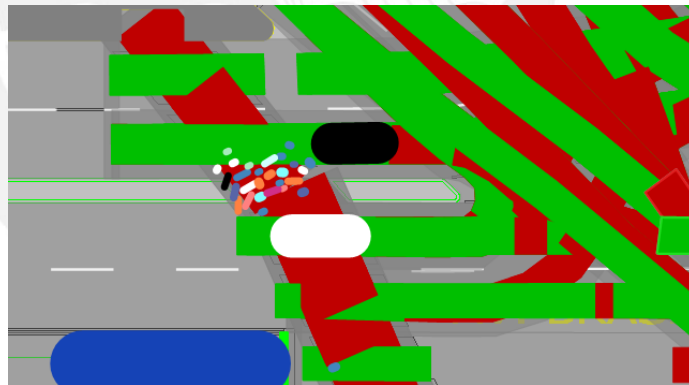
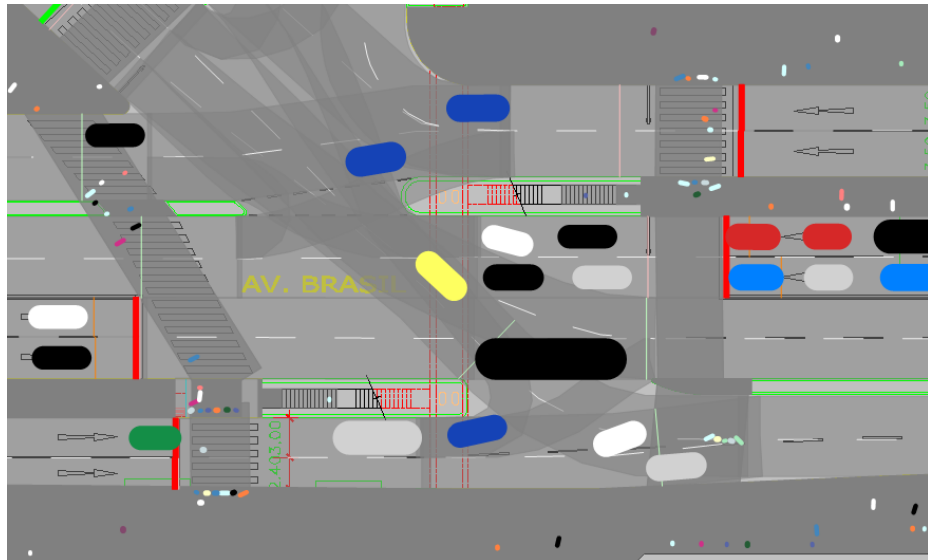


Figura 5.12 Segundo problema identificado
(Fuente propia)

Finalmente se encontró que en ciertas semillas los vehículos se cruzaban en el centro de la intersección sin avanzar por largos lapsos de tiempo. El uso de prioridades de pasos permitió que este problema se solucione.



**Figura 5.13 Tercer problema identificado
(Fuente propia)**



CAPÍTULO 6: CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN

En el presente capítulo se presentan los valores considerados en los parámetros vehiculares y peatonales, así como los tiempos de viajes obtenidos con estos valores para un total de 30 corridas (grado de libertad=29). Finalmente se muestran los gráficos obtenidos con el programa stat-key y la diferencia de medias entre los tiempos obtenidos en campo y los obtenidos con Vissim. Cabe resaltar que se considera una confiabilidad de 95%.

6.1. Calibración del modelo

En el capítulo 5 se desarrolló el proceso de modelación de la intersección en Vissim. Sin embargo, el programa trabaja con parámetros de conducta cuyos valores están basados en modelos desarrollados en otros países para otras realidades. Por esta razón, se debe realizar un proceso de calibración donde se compara un parámetro de la intersección con los resultados obtenidos con el modelo (longitudes de colas o tiempos de viaje) para ajustar los parámetros a la realidad de la zona en análisis. En este caso la calibración se realizó con los tiempos de viaje de los peatones y los vehículos obtenidos en el capítulo 4. Para verificar si el modelo se encontraba calibrado se realizaron 30 corridas con número de semilla inicial igual a 30 e incrementos de 1.

6.1.1. Calibración vehicular

En el caso de los vehículos se determinaron cinco tramos en el modelo. Se realizaron 27 juegos de corridas variando los parámetros más influyentes en el sistema (a_x , b_{xadd} y b_{xmult}). El primer parámetro indica la distancia vehicular, la cual en Lima es mucho menor a la que se observa en otros países. Por esta razón se optó por disminuir el valor. Finalmente, los parámetros que lograron la calibración del modelo son los siguientes:

Tabla 6.1 Parámetros vehiculares en Vissim

A_x	b_{xadd}	b_{xmult}
1.00	3.00	4.00

A continuación, se presentan una tabla comparativa entre los valores obtenidos en campo y mediante Vissim de la pista auxiliar de la avenida Brasil en la dirección noreste a suroeste (la información de los otros tramos se encuentra en el anexo A4). De igual manera se presentan los gráficos de comparación de medias obtenidos con ayuda de Stat-key y en ellos se observa que la diferencia de medias se encuentra en el rango admisible para considerar el modelo calibrado.

T1: Pista auxiliar de la Av. Brasil. Dirección NE-SO

Tabla 6.2 Comparación de medias en calibración del tramo 1

Diferencia de medias	TRAMO 1 (seg.)	
	-0.92	
Promedio	10.20	9.27
Desviación Estándar	0.84	4.03
Valor Mínimo	8.49	3.60
Valor Máximo	12.11	18.95
Error	1.02	0.93
Nmin	2.84	72
Nmuestra	30	75

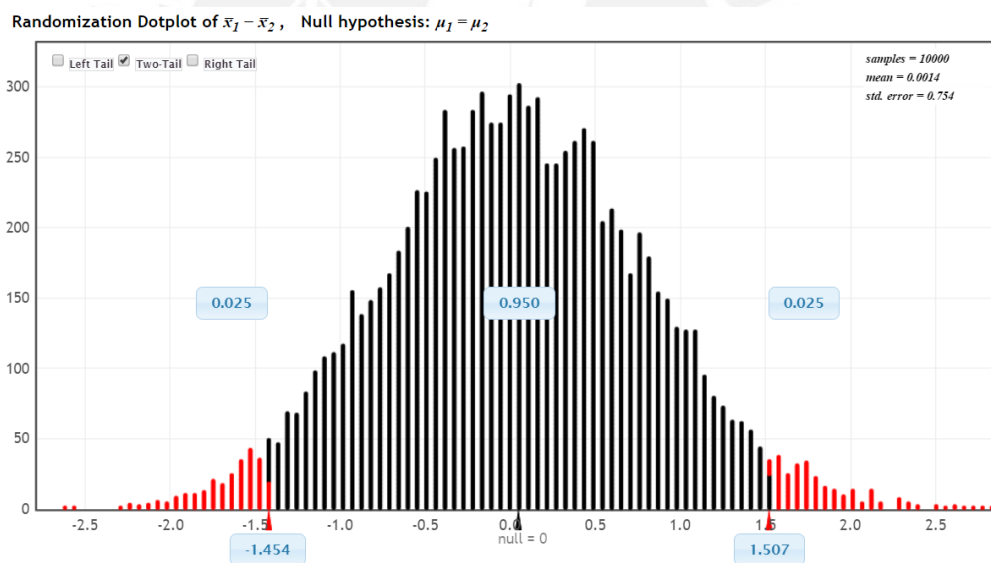


Figura 6.1 Gráfico de randomization test para la calibración de tramo 1

6.1.2. Calibración peatonal

En el caso de los peatones se determinaron cuatro tramos en el modelo. El modelo utilizado por Vissim permite modificar un total de nueve parámetros, pero para el presente modelo solo se variaron los 3 más influyentes: el tiempo de reacción (τ), el factor de Anisotropía (λ) y el factor aleatorio (Noise). La tabla 6.7 muestra los valores adoptados.

Tabla 6.3 Parámetros peatonales en Vissim

tau	landa	Noise
0.2	0.5	1.1

C1: Crucero peatonal 1 - pista auxiliar de la Av. Brasil

Tabla 6.4 Comparación de medias en calibración del cruceo 1

Diferencia de medias	CRUCERO 1 (seg.)	
	-0.10	
Promedio	5.00	5.10
Desviación Estándar	0.19	1.15
Valor Mínimo	4.59	2.39
Valor Máximo	5.36	7.62
Error	0.50	0.51
Nmin	0.41	20
Nmuestra	30	40

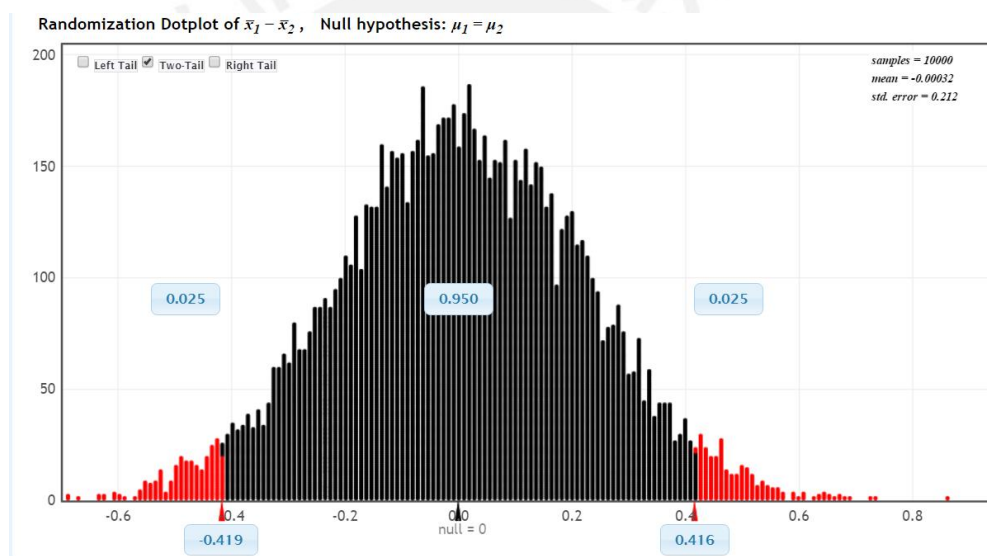


Figura 6.2 Gráfico de randomization test para la calibración de cruceo 1

6.2. Validación del modelo

El proceso de validación surge a partir de la premisa de que, si un modelo con ciertos parámetros se asemeja a la realidad en dos horas distintas de análisis en una intersección, cumplirá para cualquier momento de análisis en dicha intersección. Es por esta razón que para este proceso se colocaron datos de otra hora en la intersección y se realizó un análisis semejante al de calibración.

6.2.1. Validación vehicular

Al igual que en la calibración vehicular, se consideraron cinco tramos. La diferencia de medias obtenidas entre los datos de campo y los datos del software se encuentran en el rango admitido para cada caso.

A continuación, se presentan las tablas resúmenes y los gráficos obtenidos con ayuda de Stat-key.

T1: Pista auxiliar de la Av. Brasil. Dirección NE-SO

Tabla 6.5 Comparación de medias en validación del tramo 1

Diferencia de medias	TRAMO 1 (seg.)	
	1.10	
Promedio	11.02	9.92
Desviación Estándar	0.68	3.72
Valor Mínimo	9.91	5.66
Valor Máximo	13.02	21.53
Error	1.10	0.99
Nmin	1.59	54
Nmuestra	30	65

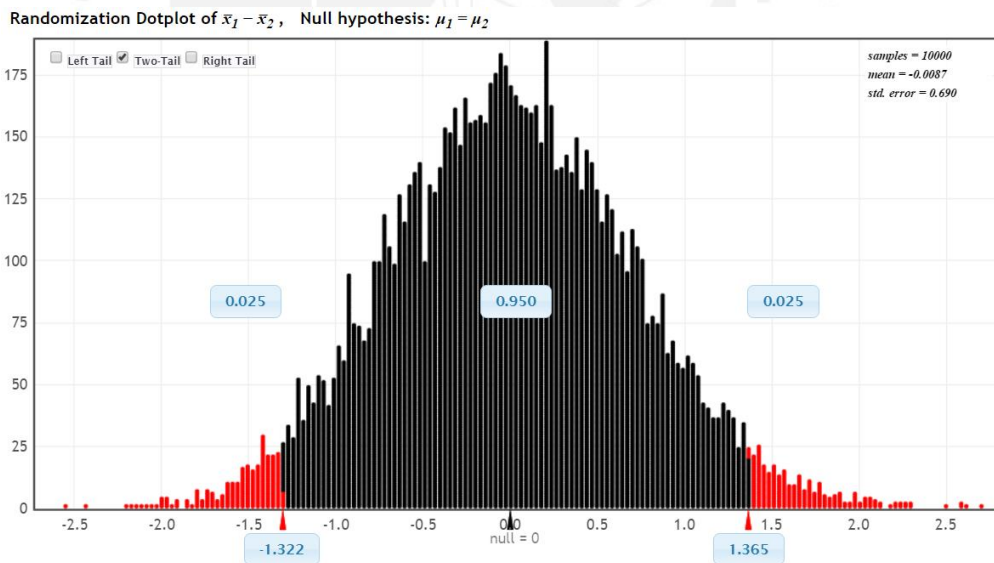


Figura 6.3 Gráfico de randomization test para la validación de tramo 1

6.2.2. Validación peatonal

La validación peatonal se realizó con los cuatro tramos utilizados en la calibración. En este caso se observó que en los cuatro casos las diferencias de medias se encontraban en el rango admitido, por lo cual el modelo se encuentra calibrado.

C1: Crucero peatonal 1 - pista auxiliar de la Av. Brasil

Tabla 6.6 Comparación de medias en validación del cruce 1

Diferencia de medias	CRUCERO 1 (seg.)	
	0.06	
Promedio	5.03	4.98
Desviación Estándar	0.20	1.10
Valor Mínimo	4.66	3.02
Valor Máximo	5.62	7.93
Error	0.50	0.50
Nmin	0.45	19
Nmuestra	30	40

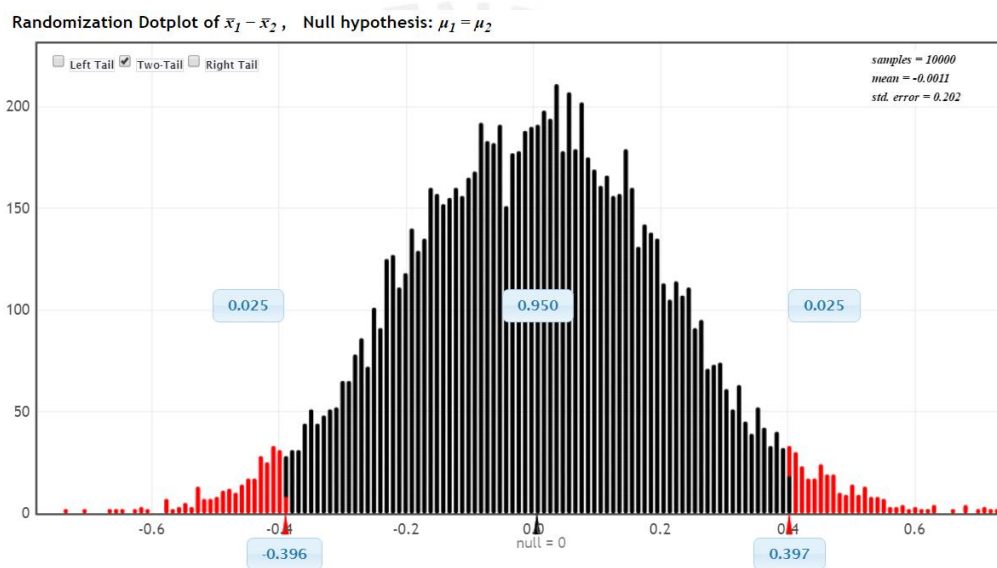


Figura 6.4 Gráfico de randomization test para la validación de cruce 1

CAPÍTULO 7: APLICACIÓN DEL MODELO

En el presente capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos en el modelo y durante la toma de datos, dos posibles soluciones para los problemas identificados y la documentación final de la solución escogida.

7.1. Análisis del proyecto

La realización del modelo en Vissim y Viswalk tiene como principal objetivo analizar el funcionamiento de la intersección. En el presente acápite se presentará un análisis de los parámetros de eficiencia y la accesibilidad de la intersección desde el punto de vista de los peatones.

Para realizar dicho análisis es importante conocer la demanda vehicular que tiene la intersección, la tabla 7.1 presenta dichos datos para los dos juegos de datos recolectados (datos de modelación y datos de validación).

Tabla 7.1 Demanda vehicular de la intersección (veh/h)

INGRESO	1	2	3	4	5	TOTAL
DATOS DE MODELACION	686	190	908	205	1173	3162
DATOS DE VALIDACIÓN	732	186	926	194	1160	3198

De igual manera en la tabla 7.2 se presentan las demandas peatonales de la intersección.

Tabla 7.2 Demanda peatonal de la intersección (peatones/h)

INGRESO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
DATOS DE MODELACION	712	409	305	106	107	482	99	1043	588	3851
DATOS DE VALIDACIÓN	692	401	328	96	111	477	95	1041	569	3810

Se puede observar que la demanda vehicular y peatonal en ambos casos son similar. Por esta razón, la evaluación de la intersección puede ser realizada en base a cualquiera de los dos juegos de datos. En este caso se decidió realizar el análisis en base a los datos de modelación.

El análisis será realizado en base a 80 corridas con semilla inicial 30 e incrementos de 1.

7.1.1. Eficiencia vehicular

7.1.1.1. Longitudes de cola

Los valores de longitudes de cola promedio fueron medidos en los cinco ingresos a intersección. Cabe resaltar que para el análisis de este parámetro se consideraran las longitudes promedias obtenidas. La figura 7.1 muestra un gráfico comparativo de los cinco valores obtenidos.

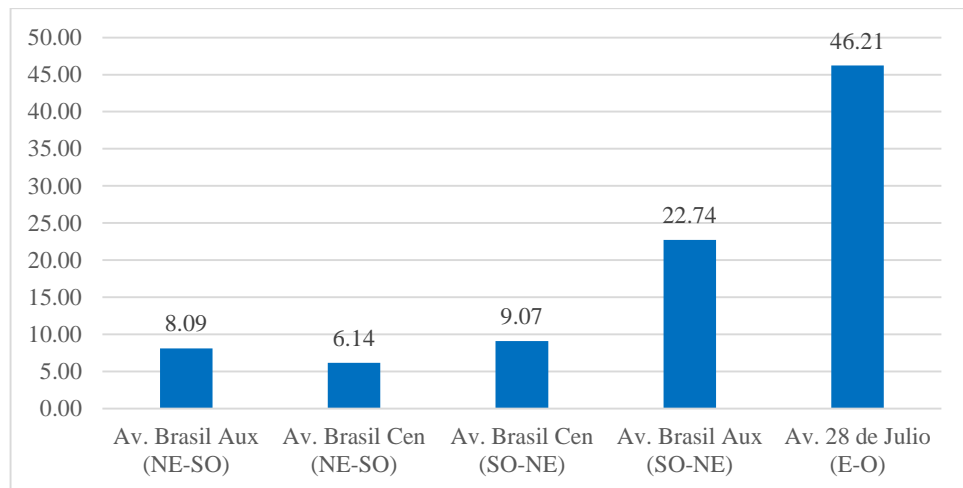


Figura 7.1 Longitudes de cola en la intersección - situación actual (m)

Se observa que el primer, segundo y tercer tramo tienen una longitud de cola promedio de 8.09, 6.14 y 9.07 metros, respectivamente, lo cual se considera un valor aceptable ya que equivale a 2 o 3 automóviles. Sin embargo, en el caso del ingreso auxiliar a la avenida Brasil en la dirección suroeste a noreste se presente una longitud promedio de 22.74 metros, la cual equivale a 6 o 7 automóviles. Este valor puede ser atribuido a las demoras que se producen cuando los vehículos que van por dicha vía desean ingresar a la avenida 28 de Julio y al paradero que se encuentra en la esquina de la vía. Finalmente se observa que el valor más crítico se encuentra en el ingreso de la avenida 28 de Julio, cuya longitud de cola promedio es de 46.21 metros (equivalente a 13 automóviles). La presencia de un paradero es la principal razón de dicho valor, ya que los buses que se encuentran en el carril derecho luego de haber hecho uso del paradero atraviesan toda la sección de la vía para ingresar a las vías con dirección noreste o suroeste de la avenida Brasil.

7.1.1.2. Velocidad de viaje

Con ayuda del software se obtuvo la velocidad promedio de todos los vehículos en la intersección, la cual fue de 15.47 km/h. Cabe resaltar que los valores obtenidos durante las 80 corridas varían entre 11.93 km/h y 16.99 km/h. Se observa que las velocidades obtenidas son muy bajas por lo que se puede afirmar que el funcionamiento de la intersección en base a este parámetro no es adecuado.

7.1.1.3. Demora de viaje

La demora de viaje es la diferencia entre el tiempo de viaje real y el tiempo de viaje ideal (en flujo libre) de los vehículos en la zona de análisis. En el caso de la intersección de interés se obtuvieron demoras que varían entre 39.92 y 64.74 segundos, con un promedio de 45.80 segundos. Se puede observar que estos valores son muy altos y representan un mal funcionamiento de la intersección.

7.1.1.4. Paradas

Los tiempos de demora por parada y la cantidad de paradas promedio por vehículo son parámetros de eficiencia que pueden ayudar a identificar si las paradas en la zona de estudio son demasiadas y tienen un alto impacto en el funcionamiento de la misma. En el presente proyecto, se obtuvieron tiempos de parada que varían entre 23.96 y 42.26 segundos, con un promedio de 28.08 segundos. De igual manera se presenta un promedio de 1.99 paradas por vehículo, estos valores indican que la cantidad de paradas que realiza un vehículo en la zona es aceptable si se considera que hay una alta presencia de peatones y paraderos vehiculares pero el tiempo de duración de dichas paradas es muy alto.

7.1.2. Eficiencia peatonal

7.1.2.1. Densidad promedio

La densidad promedio es la cantidad de peatones por unidad de área peatonal en el modelo. En el presente caso se observa que la densidad peatonal es de 0.2, lo cual nos indica que el área peatonal es suficiente para la cantidad de peatones que circulan por la zona. Sin embargo, hay que considerar que es una densidad promedio y que al observar el sistema hay zonas donde la densidad es mayor, por lo que se debe mejorar las condiciones en estas zonas.

7.1.2.2. Velocidad promedio

La velocidad promedio obtenida con Vissim es de 4.47 km/h., y cuyos valores varían entre 4.39 y 4.54 km/h. Se observa que las velocidades obtenidas se encuentran por debajo de la velocidad promedio peatonal (entre 5 y 6 km/h), por lo que en base a este parámetro la intersección no tiene un buen funcionamiento. En los resultados obtenidos también se determinó que el tiempo de viaje promedio es de 76.24 segundos.

7.1.2.3. Accesibilidad y seguridad

Los grandes flujos peatonales presentes en la zona, debido a la presencia del Hospital del Niño, producen que sea necesario realizar un análisis de la accesibilidad desde el punto de vista peatonal y alta presencia vehicular (por ejemplo, autopistas). A continuación, se presenta una breve explicación de los problemas identificados y sus posibles causas.

En primer lugar, existe un puente peatonal que busca solucionar el conflicto que se presenta entre los peatones que cruzan directamente desde la puerta del hospital hacia los paraderos de la avenida Brasil en dirección suroeste o noreste. El uso de puentes peatonales es recomendado en zona de baja presencia peatonal, por lo que no es una solución viable en la intersección de análisis. Cabe resaltar que un porcentaje considerable de peatones son niños por lo que en muchas ocasiones el subir las escaleras del puente es muy difícil para ellos. Otro problema identificado en la zona es la reducción del ancho efectivo de las calzadas y refugios debido a la presencia de ambulantes. Este problema se debe principalmente a que no existe una fiscalización adecuado de los vendedores de la zona. Finalmente, se determinó que las rampas de las veredas son más angostas que los cruces peatonales por lo que se reduce el ancho efectivo de los mismos.

Por otro lado, la intersección cuenta con paraderos adecuados, si se analiza la señalización y el ancho de los mismos. De igual manera, no existe presencia de veredas con un ancho mucho menor al recomendado. Finalmente las personas que salen del Hospital pueden ingresar directamente a la pista de la Brasil y en el caso de niño o personas con habilidades especiales esto puede significar una posibilidad de ser atropellados si cruzan imprudentemente o salen corriendo del hospital (comportamiento común en niños).

7.2. Propuestas de mejora

En base a los parámetros analizados y los problemas identificados durante el trabajo de campo se plantea una solución integral en base a los puntos de vista de todos los usuarios, priorizando los peatones.

7.2.1. Ubicación y ciclos de semáforo

Los semáforos juegan un papel importante en el funcionamiento de la intersección. Por esta razón es importante determinar un ciclo adecuado. Para la intersección de análisis se propone colocar semáforos peatonales en la intersección y semáforos vehiculares y peatonales a la altura de la calle Restauración (ver anexo A5). La propuesta contempla once semáforos peatonales y nueve semáforos vehiculares. Es importante considerar que los semáforos sugeridos son los llamados semáforos inteligentes, los cuales permiten a los usuarios conocer el tiempo que resta para cruzar la vía.

A continuación, se presentan los ciclos de semáforo propuestos para las intersecciones de las avenidas Brasil y 28 de Julio, y la avenida Brasil con la calle Restauración. En el primer caso, la fase 1 corresponde a los semáforos que controlan el flujo vehicular de la Brasil, mientras que la fase 2 a los semáforos vehiculares de 28 de Julio. La fase 4 controla el flujo peatonal que cruza la avenida Brasil y la fase 3 corresponde a los semáforos peatonales de 28 de Julio.

Tabla 7.3 Ciclo de semáforo Brasil y 28 de Julio

FASE 1		TIEMPO (S)	FASE 2		TIEMPO (S)
VERDE		32.00	VERDE		36.00
AMBAR		3.00	AMBAR		3.00
ROJO		40.00	ROJO		36.00

FASE 1		TIEMPO (S)	FASE 2		TIEMPO (S)
VERDE		36.00	VERDE		40.00
ROJO		39.00	ROJO		35.00

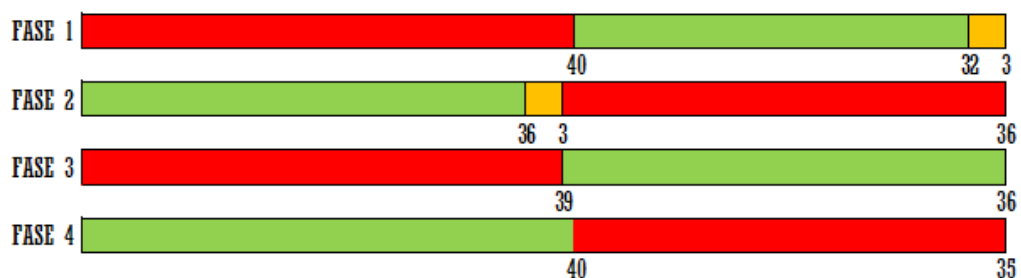


Figura 7.2 Ciclo de semáforo Brasil y 28 de Julio

Por otro lado, en el caso de la intersección de Brasil con Restauración, la fase 1 corresponde a los semáforos que controlan el flujo vehicular de la Brasil y la fase 4 los semáforos que controlan a los peatones que cruzan la Brasil. La fase 2 controla el giro a la derecha de la auxiliar de la avenida Brasil en dirección noreste a suroeste. Finalmente, la fase 3 controla a los peatones que cruzan Restauración.

Tabla 7.4 Ciclo de semáforo Brasil y Restauración

FASE 1		TIEMPO (S)	FASE 2		TIEMPO (S)
VERDE		40.00	VERDE		47.00
AMBAR		3.00	AMBAR		3.00
ROJO		32.00	ROJO		25.00

FASE 1		TIEMPO (S)	FASE 2		TIEMPO (S)
VERDE		33.00	VERDE		32.00
ROJO		42.00	ROJO		43.00

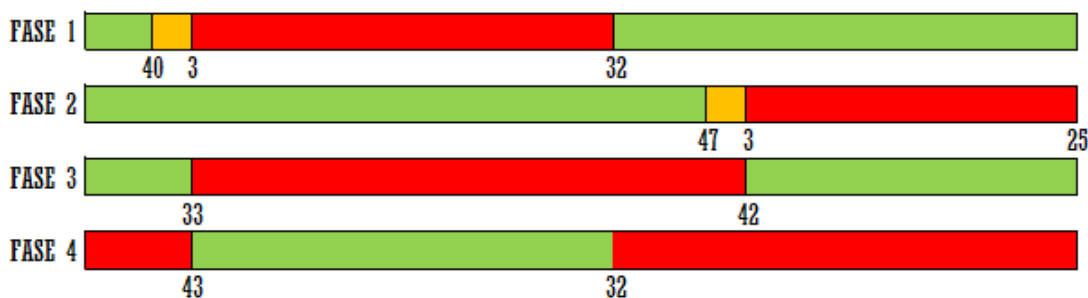


Figura 7.3 Ciclo de semáforo Brasil y Restauración

7.2.2. Demolición del puente peatonal

Los puentes peatonales son medias recomendadas para autopistas o vías donde se priorice el flujo vehicular, pero el presente proyecto no es el caso debido a los altos flujos peatonales. Por otro lado, la infraestructura existente del puente es deficiente, ya que los pasos de las escaleras son muy angostos. También se debe considerar que un gran porcentaje de los peatones son niños, para los cuales subir puentes de gran altura es muy peligroso y complicado. Por lo expuesto anteriormente se propone demoler el puente y realizar un cruce peatonal a la altura de la calle Restauración. Cabe resaltar que este nuevo cruce será controlado con semáforos vehiculares y peatonales.

7.2.3. Señalización

Entre los problemas que se detectó en la intersección se encuentra la poca señalización. Por esta razón se realizó un análisis de las indicaciones necesarias. Entre las señales reguladoras, en la vía auxiliar de la avenida Brasil en la dirección noreste a suroeste, se propone colocar la señal “Voltear a la derecha” en el cruce con Restauración para el carril de giro exclusivo; también se debe colocar una señal de “No detenerse” a la altura de la entrada del Hospital; una señal de velocidad máxima debido a la presencia del Hospital en la zona y mantener la señal de silencio en su posición actual. Por otro lado, en la vía auxiliar de sentido contrario se propone colocar una señal de “Paradero prohibido”. Finalmente, en la vía de acceso de la avenida 28 de Julio de debe poner una señal que prohíba el giro en U y una señal de “Prohibido paradero”.



Figura 7.4 Señales reguladoras
(MTC, 2000)

De igual manera, se propone mantener la señal de cruce peatonal que se encuentra en el giro a la derecha de la avenida 28 de Julio. Entre las señales informativas propuesta se encuentran los carteles de paraderos, en las nuevas ubicaciones de los mismos; así como, una señal de hospital en la vía auxiliar de la Brasil.



Figura 7.5 Señales preventivas e informativas
(MTC, 2000)

7.2.4. Reubicación de paraderos

En la actualidad se han detectado tres paraderos de buses y un paradero informal de taxis. En la propuesta se decide mantener la ubicación del paradero de la avenida Brasil en la dirección noreste a suroeste. Sin embargo, en paradero en la dirección contraria será colocado una cuadra antes de la intersección (a la altura de la calle restauración); y el paradero de la avenida 28 de Julio también debe ser colocado en la cuadra anterior a la intersección.

Cabe resaltar que en caso de la avenida Brasil el eje de la vía presenta una leve distorsión creada para que los paraderos tengan un ancho adecuado. Se a comprobado que a la altura deseada las dimensiones pueden ser variadas para tener un ancho de vereda mínimo de 2.5 m. y mantener el ancho del paradero propuesto en el diseño original.

Finalmente, en el caso del paradero informal de taxis este se propone sea reubicado en la avenida restauración ya que en esta vía se presenta una zona que puede ser utilizada para dicha función sin afectar considerablemente el tráfico vehicular.

7.2.5. Creación de vía para giro a la derecha

Durante el trabajo de campo se observó que un gran flujo de vehículos que ingresan por 28 de Julio van por la vía auxiliar de la Brasil para poder ingresar a Restauración. Es por esta razón que se propone la creación de un carril de giro exclusivo a la derecha el cual permitirá aumentar la capacidad de la vía en esta zona. Este giro a la derecha deberá respetar el semáforo que regulariza los otros dos carriles, para así permitir que los peatones puedan cruzar la calle restauración y así poder llegar a los paraderos que se encuentra al frente.

7.2.6. Separadora central de Av. 28 de Julio

En la actualidad la separadora central de la avenida 28 de Julio tiene 30 cm de ancho, lo cual es un valor muy pequeño. Esta infraestructura funciona como refugio de los peatones que desean cruzar dicha avenida, por lo que debe tener un ancho adecuado para proteger a los usuarios. También se detectó que la vía de salida de la intersección tiene dos carriles de 3.5 m. de ancho los cuales pueden ser reducidos a 3m y así poder anchar la separadora.

7.2.7. Ancho de carriles

A diferencia de otras vías que se encuentran en la ciudad de Lima las vías de acceso y salida de la intersección de análisis cuentan con un ancho adecuado para los vehículos que transitan en la misma. Sin embargo, en la vía auxiliar de la avenida Brasil en dirección al suroeste se detectó que el carril derecho tiene un ancho de 2.84 m. lo cual es menos a los demás anchos de la zona. Por otro lado, la vereda cuenta con un ancho mayor al requerido. Es por estas razones que se propone anchar el carril reduciendo el ancho de la vereda.

7.2.8. Otras modificaciones

En los puntos anteriores se han presentado las modificaciones más importantes que se proponen; sin embargo, hay un grupo de medidas de bajo costo que también deben ser contempladas. La primera medida propuesta es la colocación de una reja frente al ingreso del hospital, la cual restringirá que los peatones crucen por dicha zona y/o que los taxis paren para subir pasajeros. De igual manera es recomendable colocar esta reja debido a que hay un alto número de niños que sales del hospital y sin la debida supervisión pueden correr hacia la pista.

Por otro lado, de proponer que las dieciséis rampas propuestas tengan una pendiente de 10% (ver ubicación e anexo A4). También se propone retroceder el cruce peatonal de 28 de Julio un metro para que las rampas de acceso tengan un ancho adecuado y los peatones tengan una distancia prudente para poder visualizar adecuadamente los vehículos que se aproximan antes de cruzar.

Finalmente, se propone que los quiscos presentes en la zona de ubiquen en la acera del hospital en la zona previa al ingreso (ver anexo A4), ya que al están ubicado de zona informal obstruyen la visión de los peatones y conductores al ingresar a la intersección.

7.3. Análisis de la propuesta

En el modelo desarrollado en Vissim se realizaron las modificaciones explicadas en el acápite 7.2. y se realizaron inicialmente 30 corridas (semilla inicial=30 e incrementos de 1). Sin embargo, durante el análisis del número mínimo de muestras se detectó que uno de los parámetros no cumplía. Por esta razón se realizó un total de 80 corridas.

7.3.1. Eficiencia vehicular

7.3.1.1. Longitudes de cola

Durante el análisis de la situación actual con este parámetro, se detectó que el tramo crítico era el correspondiente a la avenida 28 de Julio. La figura 7.6 muestra que existe una mejora en la intersección.

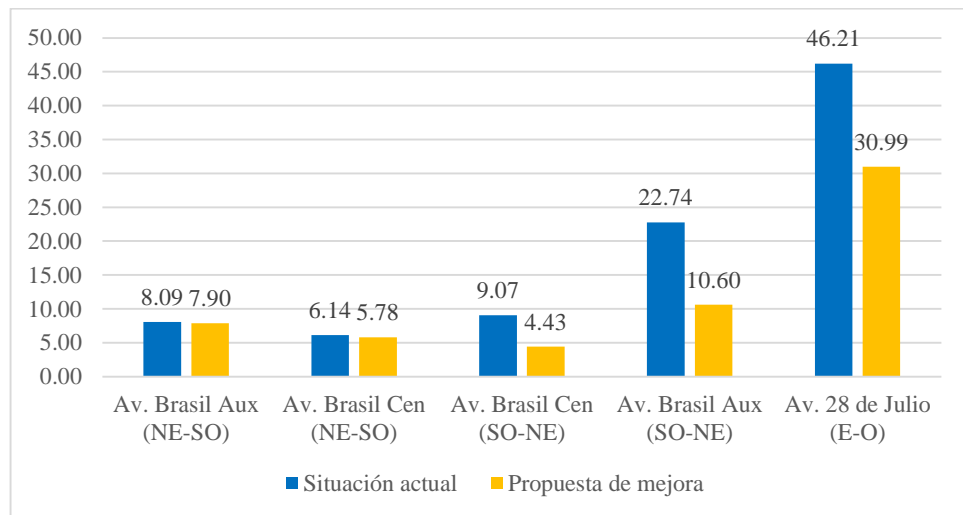


Figura 7.6 Comparación de longitud de colas (m)

En el ingreso auxiliar de la avenida Brasil en dirección noreste a suroeste presenta una leve disminución de 0.193 metros, o 2.39% de la situación actual, en el promedio. Al realizar un análisis estadístico con el Stat-key se observa que las medias pueden ser consideradas iguales.

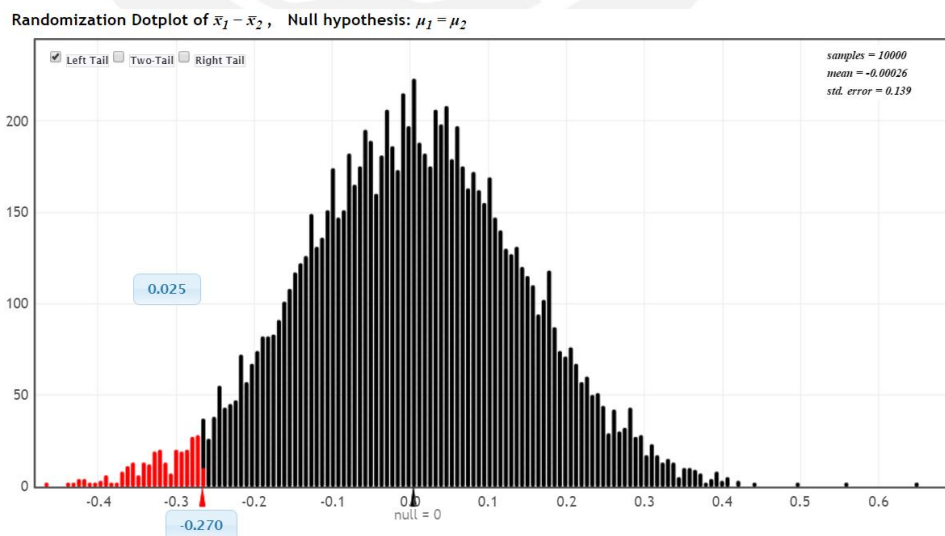


Figura 7.7 Randomization test de comparación de colas tramo 1
(-0.270 < -0.193)

Por otro lado, en el tramo central de la Brasil en la misma dirección se presenta una disminución de 0.362 metros, el cual mediante el randomization test se comprueba que representa una reducción en las longitudes de colas de dicha sección. Sin embargo, este aumento de 5.89% puede considerarse aceptable debido a que representa menos de la longitud de un carro.

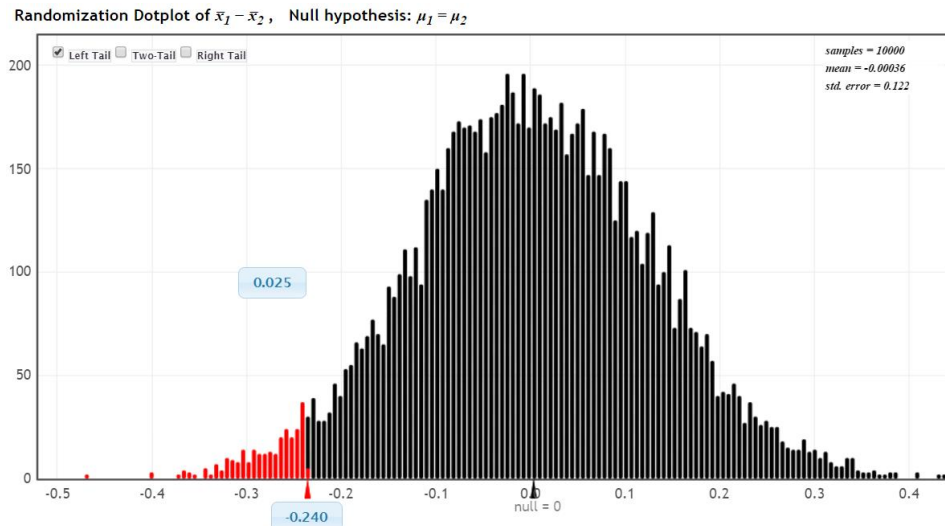


Figura 7.8 Randomization test de comparación de colas tramo 2
(-0.362 < 0.240)

En la vía central de la avenida Brasil en dirección suroeste a noreste la longitud de cola promedio tuvo una reducción de 4.641 metros o 51.15% de la situación actual. Al realizar el análisis estadístico se comprobó que esta variación es considerable, por lo tanto, se cumple el objetivo de la propuesta.

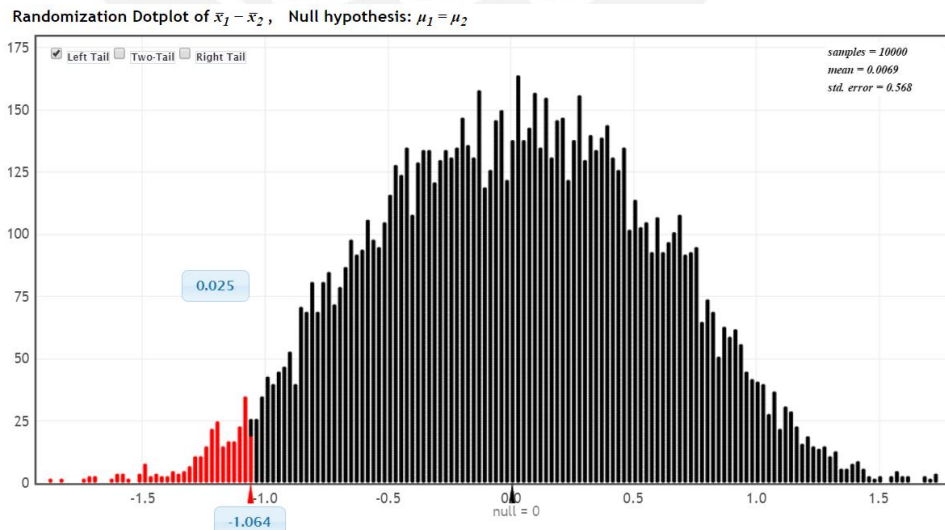
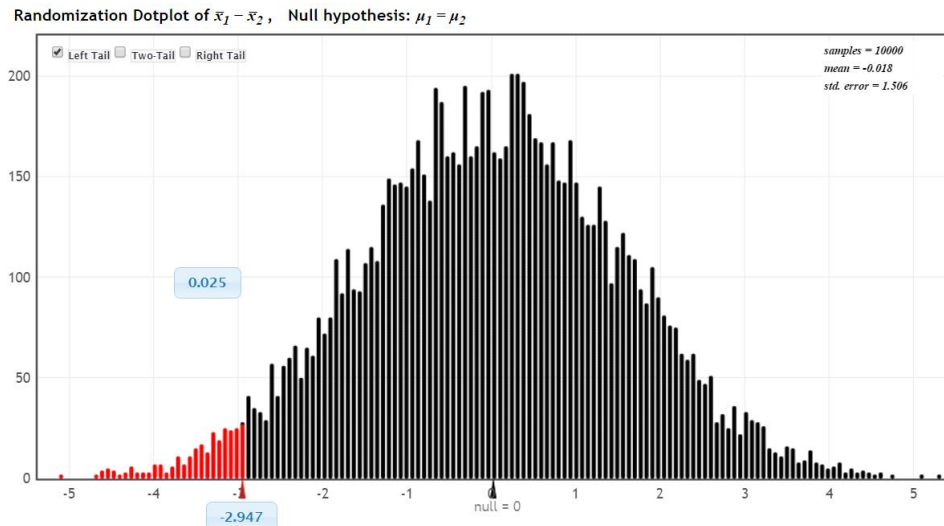


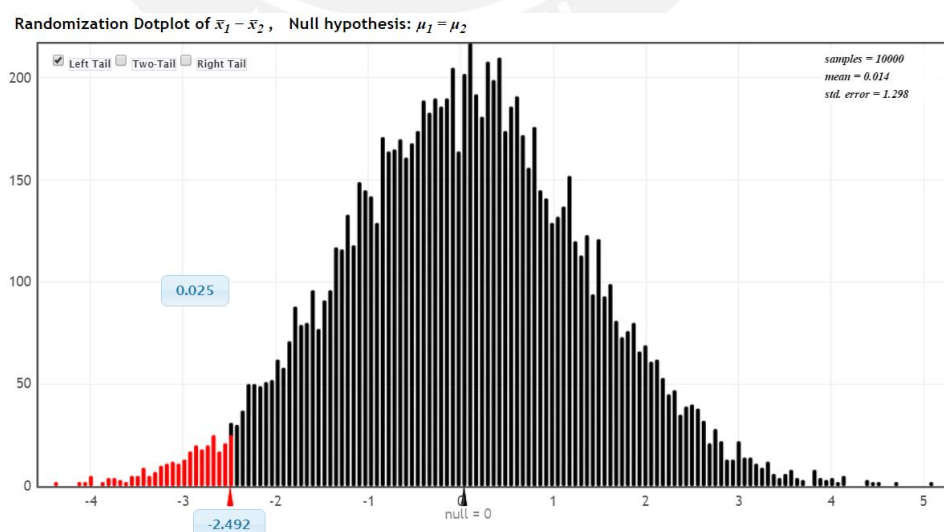
Figura 7.9 Randomization test de comparación de colas tramo 3
(-4.641 < -1.064)

En el caso de la última vía de la avenida Brasil se presentó una reducción del 53.39% de la longitud de cola actual, lo cual equivale a 12.143 metros o aproximadamente 4 carros. Esta reducción es importante y puede ser consecuencia de la creación del semáforo en la cuadra anterior, el cual permite que los vehículos que ingresan de la vía central tengan tiempo de entrar al primer carril y así doblar a 28 de Julio y obstruir el pase de otros carros.



**Figura 7.10 Randomization test de comparación de colas tramo 4
(-12.143 < -2.947)**

Finalmente, en el caso de la avenida 28 de Julio la longitud de cola promedio en de la propuesta es equivalente al 32.93% de la longitud promedio actual. La reducción de 15.217 metros tiene un valor significativo que puede verse reflejado como 4 o 5 automóviles menos.



**Figura 7.11 Randomization test de comparación de colas tramo 5
(-15.217 < -2.492)**

7.3.1.2. Velocidad de viaje

En el caso de la velocidad promedio de viaje de todo el sistema aumento 3.250 km/h. los valores obtenidos fueron analizados con el Stat-key y se determinó que el aumento de 21.01% puede considerarse como un aumento significativo de la red y por consiguiente una mejora en el sistema.

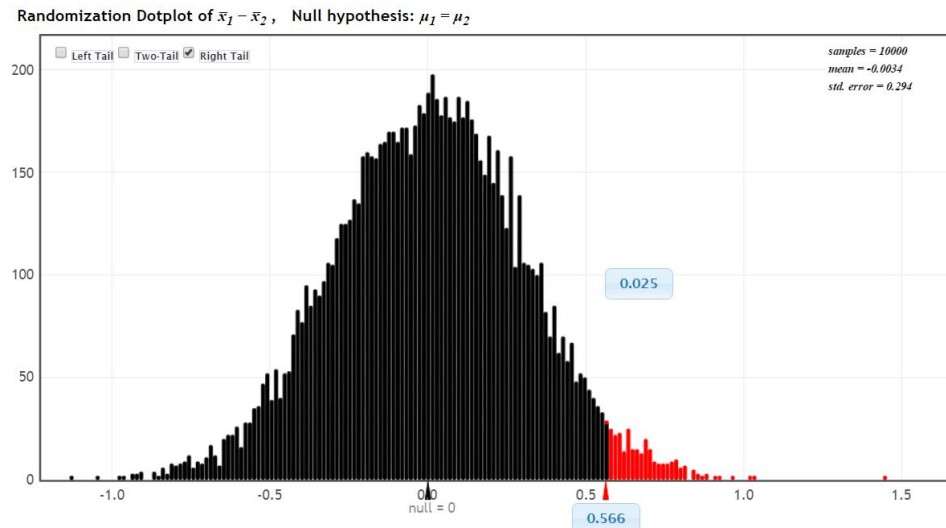


Figura 7.12 Randomization test de comparación de velocidad vehicular (0.566 < 3.250)

7.3.1.3. Demora de viaje

Por otro lado, el tiempo de demora se redujo un 25.71% o 11.778 segundos. Los resultados fueron analizados estadísticamente y se determinó que esta variación es considerada significativo y determina una mejora en el sistema.

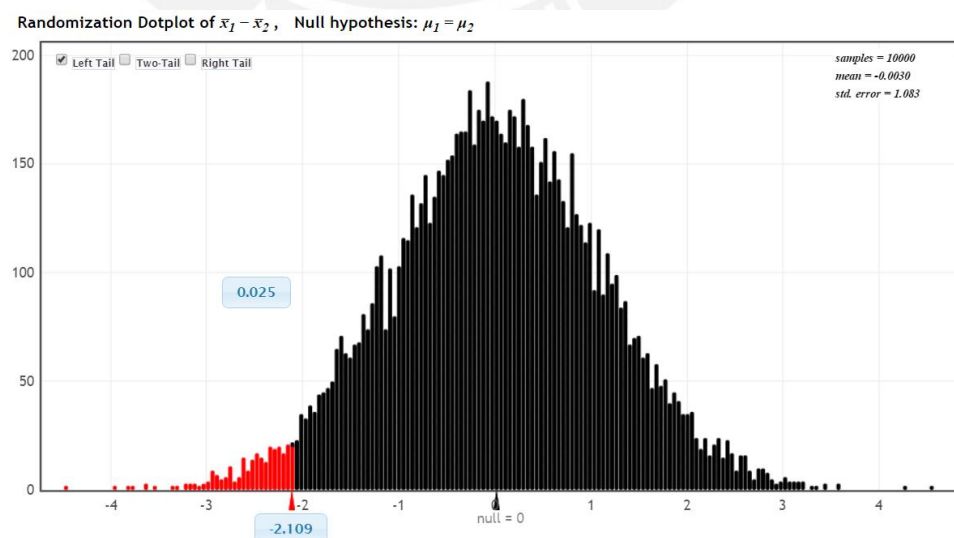
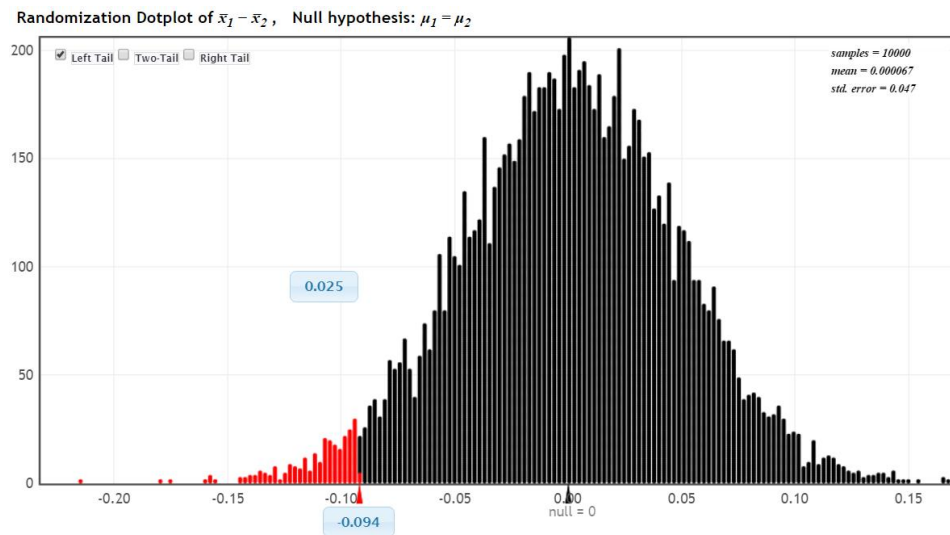


Figura 7.13 Randomization test de comparación de demoras de viaje (-11.778 < -2.109)

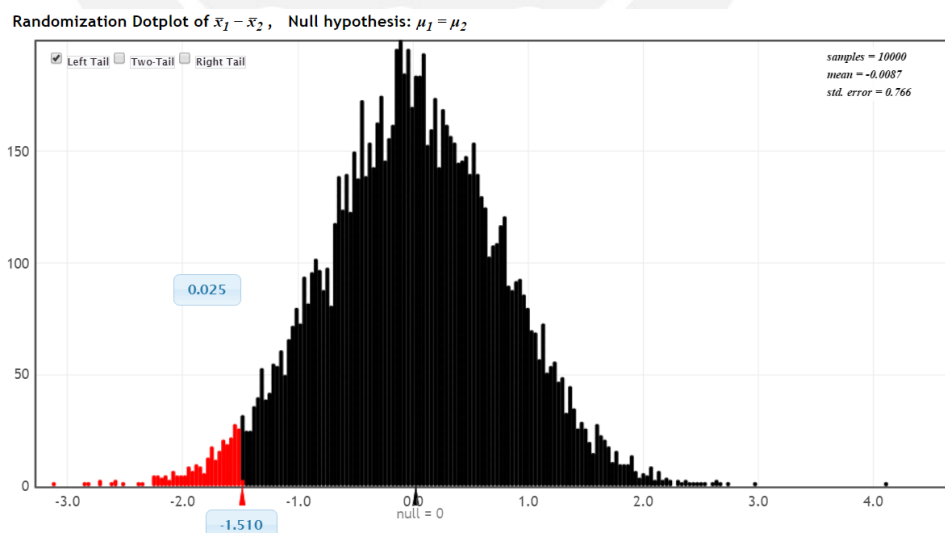
7.3.1.4. Paradas

De igual manera, se realizó un análisis estadístico para determinar si la variación de la cantidad de paradas promedio por vehículo y la demora promedio causada por este fenómeno es considerable o semejante a los parámetros de la situación actual. En el caso de paradas promedio por vehículos se presentó una reducción de 0.538 parada, lo cual equivale a una reducción del 27.05%



**Figura 7.14 Randomization test de comparación de paradas por vehículo
(-0.538 < -0.094)**

Finalmente, en el caso de las demoras causadas por las paradas se redujo de 28.08 segundos a 19.63, lo cual equivale a una disminución de 30.08%.



**Figura 7.15 Randomization test de comparación de demoras por paradas
(-8.444 < -1.510)**

7.3.2. Eficiencia peatonal

7.3.2.1. Densidad promedio

Como ya fue mencionado, la densidad promedio indica la cantidad de peatones por unidad de área peatonal. Al realizar la comparación entre la situación actual y la propuesta de mejora no se observó variación, lo cual es aceptable ya que la densidad obtenida tiene un valor pequeño.

7.3.2.2. Velocidad promedio

Al igual que en la velocidad vehicular se presentó una disminución en la velocidad peatonal, la cual vario de 4.47 km/h a 4.37km/h (equivalente a una reducción de 2.44%). Cabe resaltar que se presentó un incremento en el tiempo de viaje promedio, lo cual puede ser atribuido a que el paradero de la avenida Brasil en dirección suroeste a noreste fue trasladado por razones de seguridad.

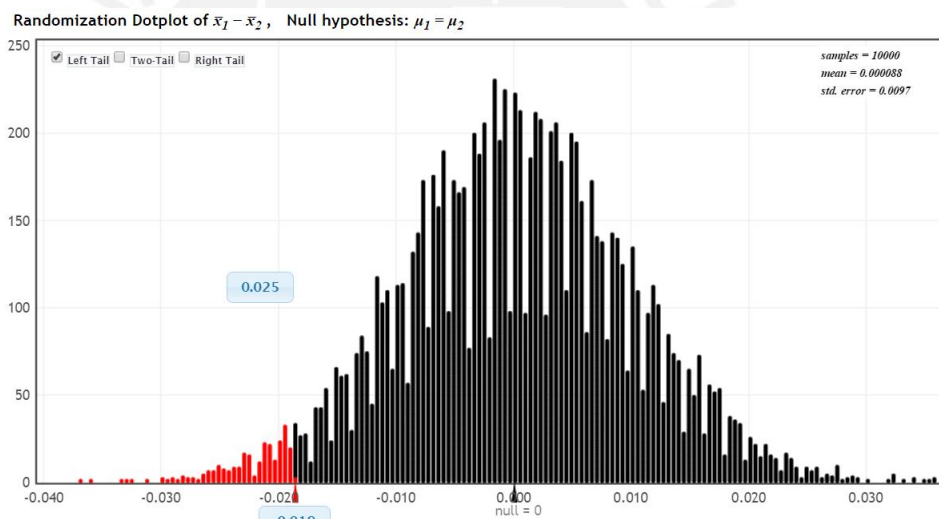


Figura 7.16 Randomization test de comparación de velocidad peatonal
(-0.109 < 0.019)

7.3.2.3. Accesibilidad y seguridad

La demolición del puente planteada en la propuesta de mejora conlleva a que la distancia recorrida por los peatones para cruzar la avenida Brasil sea mayor. Sin embargo, se considera que debido a los usuarios presentes en la zona es mejor mantener los cruces y rutas peatonales a nivel del suelo. Por otro lado, unificación y aumento del ancho efectivo de las calzadas debido al cambio geométrico de las mismas y a la movilización de ambulantes puede verse reflejada en el aumento de la velocidad peatonal. La implementación de rampas con ancho adecuado y de

pavimento táctil ayudan a un mejor desenvolvimiento de personas con capacidades diferentes en la zona.

La implementación de señales de tránsito y la colocación de la barrera en la entrada del Hospital del Niño generan un aumento de la seguridad de la intersección. Otro factor que genera un aumento en la seguridad peatonal y en el desplazamiento vehicular en el ingreso de la avenida 28 de julio es el aumento del refugio de dicha vía.



CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de la intersección de las avenidas Brasil y 28 de Julio con la calle Mogoburos se realizó en base a cuatro parámetros de eficiencia vehicular, dos parámetros peatonales y la situación de accesibilidad y seguridad de la zona, Durante el análisis vehicular se determinó que la vía con situación más crítica es el ingreso de la avenida 28 de Julio con una longitud de cola promedio de 46.21 metros. De igual manera, al observar los parámetros vehiculares generales de red se determinó que los valores obtenidos se encuentran fuera de los rangos recomendados.

Por otro lado, al realizar el análisis de eficiencia desde el punto de vista de los peatones se encontró que el sistema no presenta problemas graves como tiempos de viaje prolongados o infraestructura insuficiente para la cantidad de usuarios en el sistema. Sin embargo, la seguridad de la intersección es el aspecto más crítico que la zona. La falta de señalización es un aspecto importante que se debe mejorar, sobre todo con la presencia de un hospital cuyos pacientes son niños. Otro aspecto que se encontró es la falta de una barrera que impida que los niños que salgan distraídos o corriendo no ingresen a la pista auxiliar de la Brasil y así poder reducir la posibilidad de accidentes.

Por todos los motivos expuestos anteriormente se considera que la situación de la intersección es crítica y es necesario el desarrollo de una propuesta de mejora integral tanto en el aspecto vehicular como en la seguridad del tránsito peatonal en la zona.

Cabe resaltar que la metodología aplicada en el presente proyecto es aplicable para cualquier futuro trabajo de la misma naturaleza. La determinación del alcance el proyecto es una etapa determinante para el buen desarrollo del análisis ya que la identificación de la zona de influencia y datos que deben ser recolectados, así como los objetivos del proyecto son factores que determinaron los procesos posteriores.

La implementación de softwares, como Vissim 8.0 o Viswalk 8.0, permiten un mejor análisis de las redes viales y sus elementos. Sin embargo, los resultados proporcionados por dichos programas deben ser manejados con cautela y bajo la supervisión de un especialista en el tema. La etapa de recolección de datos es

determinante en los resultados obtenidos por lo que se debe seguir una metodología adecuada en base al proyecto en desarrollo.

Durante el análisis del modelo es importante conocer la naturaleza de los resultados y tener presente que el modelo desarrollado solo es aplicable para un momento en el tiempo con ciertas características específicas de una zona determinada. En el presente caso el modelo es solo aplicable para la zona de acceso a la entrada principal del Hospital del Niño con las características que se encontraban vigentes durante recolección de datos, fines del 2015, y si se requiere utilizar el modelo para otro periodo de tiempo (por ejemplo, en cinco años) es necesario determinar los cambios que se realizaron en la zona y determinar si estos influyeron en la intersección.

El software utilizado también permite el análisis de las propuestas de mejora que se tienen para la zona de interés y poder determinar la más adecuada. En el presente proyecto esta herramienta permitió determinar si los cambios considerados en la solución propuesta generarían mejoras en la intersección, mantendría la situación actual o la deterioraría. Para la determinación de la naturaleza del cambio se realizó una comparación de los parámetros utilizados en la etapa de análisis de la situación actual. Bajo esta premisa se determinó que la propuesta planteada genera mejoras de eficiencia y seguridad para los peatones y vehículos. Es importante aclarar que no se consideró la posibilidad de una ciclovía en la zona debido al alto flujo vehicular y a la posibilidad de ser planteada en vías alternas lo cual generaría mayor seguridad a los ciclistas.

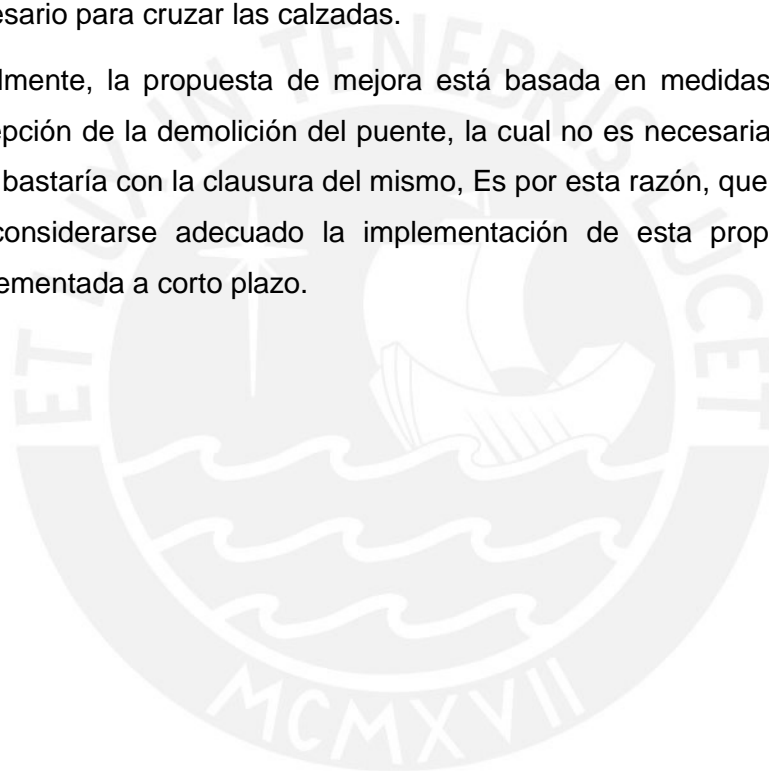
Durante el análisis de la propuesta se identificó una mejora en la velocidad promedio vehicular, en las demoras y paradas vehiculares, y en las longitudes de cola promedio de todos los tramos. Sin embargo, la velocidad peatonal presenta una disminución considerable, lo cual se puede atribuir al cambio en la posición de los cruces peatonales y puede ser aceptable ya que corresponde al 2.44%. Por otro lado, también se presentó un aumento en el tiempo de viaje peatonal debido a la redistribución de flujo peatonal por la demolición del puente. A pesar de que lo ideal es disminuir este tiempo de viaje es un fenómeno que fue aceptado debido a que con la redistribución aumentó la seguridad en zona para estos usuarios.

Por estas razones, se concluye que la solución propuesta genera una mejora considerable en el comportamiento vehicular y peatonal de la intersección. De igual manera se observó que al mejorar la seguridad en la zona, el impacto en la

eficiencia, el cual se ve reflejado en los parámetros utilizados en el presente proyecto, se ve afectado. Este fenómeno es aceptable ya que se considera más importante la búsqueda en reducir los accidente e incidentes en la zona de estudio.

Cabe resaltar que las soluciones propuestas en el presente proyecto fueron planteadas como una solución integrada para poder mejorar la circulación vehicular y peatonal en la zona. Por tal motivo el análisis del impactado de cada una por separado no necesariamente llevara a una mejora en la interacción. En el caso de los ciclos de semáforo, el tiempo propuesto es de 75 minutos debido a que con estas nuevas secuencias no solo se tiene como objetivo mejorar la circulación vehicular, sino que considera proporcionar a los peatones el tiempo necesario para cruzar las calzadas.

Finalmente, la propuesta de mejora está basada en medidas de bajo costo a excepción de la demolición del puente, la cual no es necesaria de forma ya que solo bastaría con la clausura del mismo, Es por esta razón, que se considera que se considerarse adecuado la implementación de esta propuesta puede ser implementada a corto plazo.



BIBLIOGRAFÍA

Akçelik, R., & Besley, M. (2001). Microsimulation and analytical methods for. *Conference on Advance Modeling Techniques and Quality of Service in Highway Capacity Analysis* (págs. 1-18). Truckee: Sidra Solutions.

Alcala, M. A. (2016). *Micro simulación del tráfico de la intersección de las Avenidas Bolivar, Córdova y Calle Andalucía empleando el software Vissim 6*. Lima.

Algers, S., Bernauer, E., Boero, M., Breheret, L., Di Taranto, C., Dougherty, M., . . . Gabard, J.-F. (9 de Marzo de 1998). A Review of Micro-Simulation Models. Leeds, Inglaterra.

Boudeguer, A., Prett, P., & Squella, P. (2010). *Manual de Accesibilidad Universal*. Santiago de Chile: U. Diego Portales.

Cabrera, F. (2015). Diseño de vías e intersecciones - zona urbana. Lima, Lima, Peru.

Campos, O. (2010). Introducción al Modelado y Simulación de Sistemas. Loja, Ecuador. Recuperado el 17 de 5 de 2016, de <http://es.slideshare.net/jaisraal/modelos-de-simulacion>

Casares, A., & Galarraga, J. (2015). Calibración del modelo de seguimiento de Vissim en carretera multicarriles de Uruguay. *XXIX Congreso Nacional de Pesquería em Transporte da Anpet*, (págs. 1-12). Ouro Preto.

ELSAN-PACSA. (2003). *Las Vías Urbanas* (Vol. I). Madrid.

Fellendorf, M., & Vortisch, P. (2010). Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM. En J. Barceló, *Fundamentals of Traffic Simulation* (págs. 63-93). Barcelona: Springer.

Fernandez, S. (2010). *Determinación del tamaño muestral*. Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña, Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística, Coruña. Recuperado el 3 de 6 de 2016, de <https://www.fisterra.com/mbe/investiga/9muestras/9muestras2.asp>

Friis, C., & Svensson, L. (2013). *Pedestrian Microsimulation*. Chalmers University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Göteborg.

Fundacion ONCE. (2011). *Accesibilidad Universal y Diseño para Todos*. Palermo, Argentina: Fundación COAM.

Fundosa Accesibilidad. (2009). *Accesibilidad universal. Requisitos de espacios públicos urbanizados, entornos edificados, transporte y comunicación*. Madrid, España: AENOR Ediciones.

González, J. D. (2011). *Estudio de modelos para tráfico peatonal y su aplicación a pasillos en diferentes escenarios*. Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Matemáticas, Mexico D.F.

Jiménez, M. M. (2011). *Sistema adaptativo de control y optimización de tráfico de un corredor vial semaforizado. Aplicación ciudad de Medellín*. Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Ingeniería Civil, Medellín.

Kuwahara, M., Horiguchi, R., & Yoshii, T. (2002). *Standard Verification Process for Traffic Flow Simulation Model*. Tokyo: Japan Society of Traffic Engineers.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (7 de Agosto de 2006). Clasificación Vehicular y Estandarización de Características Registrables Vehiculares. Lima, Perú.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (Agosto de 2008). Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. Lima, Perú.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras. Diseño Geométrico. Lima.

Montenegro, J. C., & Lozano, A. d. (Julio de 2013). Simulación Microscópica del Tránsito. *13th World Conference on Transport Research Society*, (págs. 1-18). Río de Janeiro. Obtenido de World Conference on Transport Research Society.

National Association of City Transportation Officials. (2013). *Urban Street Design Guide*. Nueva York.

Nerem, S. (2013). *Vehicle Weight in Gipps' Car-Following Model*. Norwegian University of Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering, Trondheim.

PTV Group. (2015). *PTV Vissim 8. User Manual*. Karlsruhe.

PTV Group. (2016). *How do people reach their destinations?* Recuperado el 8 de Septiembre de 2016, de PTV Group. The mind of movement: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/es/productos/ptv-viswalk/>

PTV Group. (2016). *PTV Vissim*. Obtenido de PTV Group. The mind of movement: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-uk/products/ptv-vissim/>

- PTV Group. (2016). *PTV Viswalk*. Obtenido de PTV Group. The mind of movement: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-uk/products/ptv-viswalk/>
- Quintero, J. R. (2011). Inventarios viales y categorización de la red vial en estudios. *Revista Facultad de Ingeniería*, 66-77.
- RAE. (2014). *Diccionario de la lengua española*. Recuperado el 16 de 5 de 2016, de Real Academia Española: <http://www.rae.es/>
- Ricardo, V. (15 de Febrero de 2016). La evacuación y el modelo de la fuerza social. *Asociación Nacional de Directores de Seguridad*. Obtenido de <http://directoresdeseguridad.es/index.php/2016/02/15/la-evacuacion-y-el-modelo-de-la-fuerza-social/>
- Starfield, T. (2005). *Discussion: Deterministic or Stochastic [Transcript]*. The University of Vermont, Vermont.
- Thesen, A. (4 de Abril de 2001). *Simulation of Manufacturing Systems. Warm-up*. Obtenido de Computer-Aided Engineering: <http://homepages.cae.wisc.edu/~ie642/content/Techniques/Warmup/warmup.htm>
- Tichý, T. (2009). *Laboratoř řízení a modelování dopravy*. Obtenido de Ústav dopravní telematiky: <http://www.lss.fd.cvut.cz/ustav/laboratore/laborator-rizeni-a-modelovani-dopravy/laborator-rizeni-a-modelovani-dopravy>
- U.S. Departmente of Transportation. (2013). *Guide for Highway Capacity and Operations Analysis of Active Transportation and Demand Management Strategies*. Washington: Federal Highway Administration.
- US Departmente of Transportation. (Julio de 2004). *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*.
- Villa, I. S., & Robusté, F. (25 de Abril de 2014). *Principios para la Micro-simulación del Tráfico*. Recuperado el 15 de Abril de 2016, de Chairs Abertis International Network: <http://www.catedrasabertis.com/>
- Yang, Q., Koutsopoulos, H., & Ben-Akiva, M. (1999). A Simulation Laboratory for Evaluating Dynamic Traffic Management Systems. *79th Annual Meeting of Transportation Research Board*, (págs. 1-25). Washington.