

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

MICRO SIMULACIÓN DEL TRÁFICO DE LA INTERSECCIÓN DE LAS AVENIDAS
BOLIVAR, CÓRDOVA Y CALLE ANDALUCÍA EMPLEANDO EL SOFTWARE
VISSIM 6

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

Moisés Agustín Alcalá Ramos

**ASESOR: Ing. Felix
Israel Cabrera Vega**

Lima , Febrero de 2016

RESUMEN

El presente proyecto de ingeniería se centra en el estudio de una intersección ubicada en el distrito de Pueblo libre con el objetivo de evaluar las condiciones de los usuarios dentro de ella mediante un modelo microscópico del sistema (intersección) y presentar propuestas de mejoras a la situación inicial. Este análisis fue realizado a través del programa computacional Vissim 6.0. La construcción de este modelo constó de 5 etapas: recolección de datos de campo, tanto para la etapa de la calibración como para la validación del modelo (flujo vehicular, flujo peatonal, geometría, etc.); procesamiento de datos (información útil de los datos de campo que sirven como datos de entrada en el software Vissim 6.0); la construcción del modelo microscópico ; calibración del modelo (ajustes de valores numéricos entre la realidad y el modelo construido en Vissim) y validación de este (evaluación del modelo microscópico construido ante nuevos datos de campo). El análisis de las condiciones de circulación de la intersección fue mediante la evaluación de los parámetros de eficiencias más resaltantes que ofrece el software Vissim 6.0 tales como las longitudes de colas, la velocidad promedio y la demora promedio. La primera propuesta fue básicamente optimizar el ciclo del semáforo, mientras que para la segunda propuesta se realizó una redistribución vehicular y optimizar el ciclo del semáforo. Los nuevos resultados obtenidos en las propuestas de mejoras fueron verificados mediante estudios estadísticos (hipótesis nula) con el fin de saber que estos fueron realmente significativos. En base a los resultados obtenidos en las propuestas de mejoras, se concluye que un correcto estudio del diseño vial (aforo vehicular, aforo peatonal, ciclo de semáforos, etc.) puede evitar potenciales rediseños y congestión dentro de ello. Finalmente, el software Vissim 6.0 logró replicar la situación real y poder analizar los diseños previos que se realizaron vía virtual y poder saber las ventajas y desventajas que se habrían podido presentar en una construcción in situ.

FACULTAD DE
**CIENCIAS E
INGENIERÍA**



PUCP

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Micro simulación del tráfico de la intersección de las avenidas Bolívar, Córdova y calle Andalucía empleando el software VISSIM 6".

Área : Movilidad y Transporte

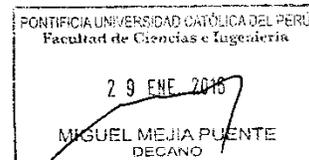
Asesor : Ing. Félix Israel Cabrera Vega

Alumno : MOISÉS AGUSTÍN ALCALÁ RAMOS

Código : 2009.7055.412

Tema N° : # 261

Fecha : Lima, 27 de enero del 2016



INTRODUCCIÓN

Por las características del tráfico en Lima, la forma más adecuada de representar la circulación vehicular es mediante los modelos de micro simulación. Pero para que estos sean válidos es necesario que se respeten sus fundamentos y se desarrollen obligatoriamente las etapas de calibración y validación. Lo anterior también incluye el uso de herramientas y pruebas estadísticas debido al carácter estocástico de la simulación. Finalmente, con estos modelos es posible evaluar el impacto de las medidas de mejora que se puedan proponer para mejorar los desplazamientos de todos los usuarios.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar las condiciones de circulación intermodal en una intersección de Lima, mediante la creación de un modelo microscópico.

Objetivos específicos

Construir un modelo de micro simulación respetando todas sus etapas: recolección de datos de campo, creación de la red, calibración y validación mediante pruebas estadísticas y múltiples corridas. Además, presentar una propuesta para mejorar el funcionamiento de la intersección.

PROGRAMA DE TRABAJO

El desarrollo de la tesis considerará los siguientes temas:

- a) Planteamiento del problema, objetivos de la investigación
- b) Antecedentes: modelos y sistemas, modelos de tráfico, micro simulación, fundamentos de la micro simulación, modelos de seguimiento vehicular, VISSIM.
- c) Metodología de la investigación.
- d) Resultados.
- e) Conclusiones y recomendaciones.

yes
[Signature]

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA

PUCP

METODOLOGÍA

La recolección y análisis de la información se desarrollará en 5 etapas: la recolección de los datos de campo mediante técnicas manuales y filmaciones; la extracción de la información de los videos en forma manual; la construcción de la red en VISSIM; la calibración y validación del modelo mediante pruebas no paramétricas y un nivel de confianza del 95%; y finalmente la evaluación de la propuesta de mejora.

REVISIONESPrimera Revisión:

- Objetivo general y objetivos específicos.
- Antecedentes.

Segunda Revisión

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

Tercera Revisión:

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

NOTA

Extensión máxima: 100 páginas.



DEDICATORIA:



A mis padres, hermanos, familia, profesores y amigos
por haber compartido conmigo esta etapa

ÍNDICE GENERAL

Contenido

CAPÍTULO 1.INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
1.2. Alcances y limitaciones.....	2
CAPÍTULO 2.ANTECEDENTES	4
2.1. Justificación.....	4
2.2. Modelo y sistema	6
2.3. Modelación del tráfico	6
2.3.1. Tipos de modelación del tráfico	7
• Modelos discretos	7
• Modelos continuos.....	8
• Modelos determinísticos	8
• Modelos estocásticos	8
• Modelos macroscópicos.....	9
• Modelos microscópicos	9
• Modelos mesoscópicos	9
2.4. Microsimulación del tráfico	10
2.5. Fundamentos de la microsimulación.....	10
2.5.1 Nivel de aleatoriedad en el flujo del tráfico (determinísticos y estocásticos) ...	11
2.5.2. Número de semilla.....	11
2.5.3. Número de corridas	11
2.5.4. Warm up (tiempo de estabilidad)	15
2.5.5. Interacción de vehículos	15
2.5.6. Calibración del modelo	16
2.5.7. Validación del modelo.....	16
2.6. Modelos de seguimiento vehicular (car following)	16
2.6.1. Modelo de la general Motor	16
2.6.2. Modelo de la distancia segura (Gipps)	17

2.6.3. Modelo de Wiedemann.....	19
2.7. Modelos de cambio de carril.....	20
• Cambio de carril necesario.....	20
• Cambio de carril libre.....	21
CAPÍTULO 3. VISSIM 6, SOFTWARE DE MICROSIMULACIÓN...	22
3.1. Vissim.....	22
3.2. Antecedentes de Vissim.....	22
3.3. Funcionamiento del software Vissim.....	22
3.4. Componente estático.....	23
3.5. Componentes dinámicos.....	24
3.6. Infraestructura del modelo.....	24
3.6.1. Link y conectores.....	25
3.6.2. Otros elementos del modelado.....	26
3.7. Control del tráfico.....	26
3.7.1. Intersecciones no semaforizada.....	26
3.7.2. Intersecciones semaforizada.....	27
3.8. Consideración del modelo.....	28
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA, RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO.....	30
4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO.....	33
4.1.1. Selección de la intersección de análisis.....	33
4.1.2. Selección del equipo de trabajo y registro de datos de campo.....	34
4.1.3. Recolección de datos de campo.....	35
• Videgrabación.....	35
• Longitud de cola.....	36
• Aforo vehicular.....	37
• Aforo peatonal.....	38
• Aforo vehicular del grifo.....	39
• Tiempo de semáforos.....	39
• Geometría del sistema.....	40
• Lista de chequeos.....	40
4.2. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO.....	40
• Videgrabación.....	40

• Longitud de cola.....	41
• Aforo vehicular.....	41
• Aforo peatonal.....	42
• Aforo vehicular del grifo.....	44
• Tiempo de semáforos.....	45
• Geometría del sistema.....	45
• Lista de chequeos.....	45
CAPÍTULO 5.CONSTRUCCIÓN DEL MODELO, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROYECTO DE INGENIERÍA.....	46
5.1. Construcción del modelo.....	46
5.1.1. Imagen de fondo (Background).....	46
5.1.2. Link y conectores.....	46
5.1.3. Definición de vehículos y peatones.....	47
5.1.4. Datos de entrada.....	48
• Entrada de vehículos y peatones (vehicule inputs).....	48
• Asignación de rutas (vehicule routes –static).....	49
5.1.5. Señales de control.....	50
5.1.6. Reglas de prioridades.....	51
5.2. Verificación del modelo realizado.....	51
5.3. Calibración del modelo.....	52
5.3.1. Parámetros de evaluación.....	52
5.4. Validación del modelo.....	56
CAPÍTULO 6.EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL PROYECTO EN ESTUDIO.....	59
6.1. Análisis de resultados.....	59
• Longitudes de colas.....	60
• Velocidad de viaje.....	60
• Demora de viaje.....	61
6.2. Propuestas de mejoras.....	61
6.3. Evaluación estadística de las propuestas de mejoras.....	65
• Verificación del extremo positivo.....	66
• Verificación del extremo negativo.....	66
6.3.1. Análisis de la Velocidad promedio.....	67
1) Propuesta de mejora-RED 70.....	67
2) Propuesta de mejora-RED NUEVA.....	68

6.3.2. Análisis de la demora promedio.....	69
1) Propuesta de mejora-RED 70.....	69
2) Propuesta de mejora-RED NUEVA.....	70
6.3.3. Análisis de las longitudes de colas.....	71
1) Propuesta de mejora-RED 70.....	71
2) Propuesta de mejora-RED NUEVA.....	71
CAPITULO 7.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
REFERENCIAS.....	76



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Flujo vial presente en el puente	5
Figura 2. Desarrollo de cola dentro del puente	5
Figura 3. Simulación de una intersección	6
Figura 4. Tipos de modelo considerados.....	7
Figura 5. Principales estrategias de simulación del tráfico	10
Figura 6. Proceso recomendado por FHWA (2004)	14
Figura 7. Ilustración del periodo de Warm up	15
Figura 8. Seguimiento vehicular	17
Figura 9. Consideraciones del modelo de Gipps.....	18
Figura 10. Fases del modelo de Wiedemman	20
Figura 11. Cambio de carril necesario	21
Figura 12. Cambio de carril libre	21
Figura 13. Giros y movimientos en una intersección.....	24
Figura 14. Links y conectores dentro de una modelación vial.....	25
Figura 15. Concepto de modelación con regla de prioridades	27
Figura 16. Inteserciones señalizadas	28
Figura 17. Modelamiento de seguimiento vehicular.....	29
Figura 18. Metodología propuesta para la realización del proyecto	32
Figura 19. Vista satelital de la intersección	34
Figura 20. Cámara profesional utilizada	35
Figura 21. Ubicación del hotel	36
Figura 22. Lugares asignados.....	36
Figura 23. Lugares asignados.....	37
Figura 24. Lugares asignados.....	38
Figura 25. Lugares asignados.....	39
Figura 26. Semáforos presentes en la intersección	39
Figura 27. Imágenes captadas desde el ángulo de la cámara	40
Figura 28. Flujoograma de Av. Bolívar (Universitaria-Brasil).....	42

Figura 29.Lugares estratégicos.....	43
Figura 30.flujo vehicular en el grifo	44
Figura 31.Tiempo de las fases de los semáforos.....	45
Figura 32.Background utilizado.....	46
Figura 33.Creación de carriles de la intersección	47
Figura 34.Composición de vehículos y peatones.....	48
Figura 35.Asignacion de rutas.....	49
Figura 36.Grupo de señales, grupo de fases, tiempo del semáforo.....	50
Figura 37. Circulación de vehículos y peatones dentro de la intersección	51
Figura 38.Tramo seleccionado para la calibración	52
Figura 39.Flujograma de Av. Bolívar (Oeste-Este).....	56
Figura 40.Longitudes de colas de la red inicial.....	60
Figura 41.Fases de tiempo como propuesta para la intersección	61
Figura 42.Longitudes de colas para el ciclo de semáforo de 70 segundos.	62
Figura 43.traslado del flujo de circulación de vehículos.....	63
Figura 44.Fases de tiempo del semáforo diseñado.....	63
Figura 45.Movimientos permitidos según la fase del semáforo.	64
Figura 46.Longitudes de colas para la propuesta2.....	64
Figura 47.Prueba de hipótesis para el extremo positivo	66
Figura 48.prueba de hipótesis para el extremo negativo.....	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Avenidas que conforman la intersección	34
Tabla 2. Modelo referencial para el registro de datos	37
Tabla 3. Modelo referencial para el registro de datos	38
Tabla 4. Registro de longitudes de colas.....	41
Tabla 5. Distribución del aforo vehicular	42
Tabla 6. distribución de del aforo peatonal	43
Tabla 7. Flujo vehicular en el grifo.....	44
Tabla 8. Datos de ingreso para la creación de una vía	47
Tabla 9. Datos de ingreso de velocidad esperada	48
Tabla 10. Datos de ingreso de velocidad esperada	49
Tabla 11. Grupo de señales	50
Tabla 12. Consideraciones para la calibración.....	53
Tabla 13. Resultados obtenidos para los parámetros del intento 23	55
Tabla 14. Distribución de vehículos de la Av. Bolívar	57
Tabla 15. Resultados de la validación del modelo	57
Tabla 16. Resultados obtenidos para la validación del modelo	58
Tabla 17. Demanda vehicular	59
Tabla 18. prueba de hipótesis de la velocidad promedio .RED 70	67
Tabla 19. Prueba de hipótesis de la demora promedio .RED NUEVA.....	68
Tabla 20. Prueba de hipótesis de la promedio .RED 70.....	69
Tabla 21. Prueba de hipótesis de la demora promedio .RED 70.....	69
Tabla 22. Prueba de hipótesis de la demora promedio .RED NUEVA.....	70
Tabla 23. Prueba de hipótesis de las longitudes de colas-.RED 70	71
Tabla 24. Prueba de hipótesis de las longitudes de colas-.RED NUEVA	72

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Desviación estándar muestral.....	12
Ecuación 2: Intervalo de confianza.....	12
Ecuación 3: N° mínimo de corridas.....	12
Ecuación 4: Modelo del General Motor.....	17
Ecuación 5: caso de conducción libre.....	18
Ecuación 6: caso de seguimiento vehicular.....	18
Ecuación 7: velocidad deseada final.....	18
Ecuación 8: distancia requerida.....	29



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En estos últimos años, el aumento notorio de los vehículos que circulan por las calles de Lima ha generado una mayor cantidad de problemas de circulación de los usuarios involucrados en los diseños viales de la ciudad, tales como congestamientos vehiculares en avenidas principales como la Av. Javier prado (flujo vehicular muy lento), diseños muy pobres de los semáforos en intersecciones así como las de señales de tránsito, entre otros. Por tales razones, uno de los principales objetivos es lograr entender la importancia que tiene un correcto estudio de los flujos vehiculares, peatonales, etc. dentro de los diseños viales. Estas situaciones pueden ser analizadas mediante diferentes herramientas; tales como programas computacionales, estudios in situ, entre otros.

Con el paso del tiempo, se han desarrollado investigaciones cuyas herramientas han sido de gran ayuda dentro del área de movilidad y transporte. Uno de estas es el software Vissim que realiza un enfoque microscópico. Con él se consideran interacciones entre cada par de vehículos y peatones; asignando características propias de cada uno de ellos.

Vissim fue creado en Alemania durante la década de los noventa. Su uso se expandió por diferentes países europeos y, en la actualidad, ya es utilizada en diferentes países sudamericanos y es empleado para evaluar las condiciones de circulación.

Dada la eficiencia que ha tenido este software en los distintos estudios realizados en distintas partes del mundo, en el presente proyecto de ingeniería se empleará el software Vissim 6.0 para el análisis de una intersección compuesta por 5 entradas y 5 salidas, en el distrito de Pueblo Libre en Lima, Perú y mostrar que mediante una mejor planificación y un adecuado tiempo para el estudio de la circulación de los usuarios en un diseño vial se puede lograr optimizarlo.

La construcción del modelo microscópico de esta intersección constará de distintas etapas. En primer lugar, se encuentra la recolección y procesamiento de los datos de campo, como el flujo vehicular, flujo peatonal, geometría del lugar, etc.; que servirán de base para el uso de Vissim.

En segundo lugar, se procede a la codificación de la red mediante el software y su posterior verificación, es decir, observar si los datos ingresados fueron los correctos.

Luego de haber terminado la etapa de verificación, se calibra el modelo. Este proceso consiste en ajustar los diversos parámetros del modelo hasta lograr que se repliquen las condiciones de la situación real.

Por último, para la construcción del modelo, se debe lograr la validación de la simulación mediante datos de entradas obtenidos en otro día para la misma zona de estudio.

Al completar el modelo microscópico del proyecto, se evalúa la circulación del tráfico de la intersección para la situación real según los parámetros de eficiencia seleccionado.

Finalmente, a partir de estos estudios se presentarán conclusiones y propuestas de mejora para la intersección estudiada.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Evaluar las condiciones de circulación de los usuarios, en una intersección de Lima, mediante la creación de un modelo microscópico.

1.1.2. Objetivos específicos

Crear, calibrar y validar un modelo de microsimulación que permita cuantificar los diferentes parámetros de eficiencia para evaluar el funcionamiento de la intersección. Además, presentar propuestas de mejora a su actual situación de manera que se vean reflejadas las mejores condiciones de circulación para todos sus usuarios (peatones, vehículos, entre otros).

1.2. Alcances y limitaciones

Este proyecto de ingeniería tiene como alcance el estudio de la intersección formada por la avenida Bolívar, como vía principal; la avenida Córdova y la calle Andalucía, como vías secundarias. El lugar de estudio se encuentra ubicado en el distrito de Pueblo libre. El control del tráfico está dado por semáforos con 3 fases.

El software Vissim 6.0 se emplea para el desarrollo de la microsimulación del proyecto; por ende, no se debe extrapolar los resultados obtenidos a versiones anteriores ni posteriores, pues no cuentan con las mismas características de la versión empleada.

La toma de datos, para la construcción del modelo, fue realizado durante el primer trimestre del año. Específicamente, el viernes 23 de enero del 2015, cuando la demanda de los usuarios es distinta al resto del tiempo anual, debido a que se encuentra en una etapa de vacaciones académicas (no existe el funcionamiento regular de colegios, universidades y otras instituciones educativas).

Por lo tanto, las diferentes medidas de mejoras para el proyecto podrían variar según el periodo del año en que sea analizado, pues el tráfico dentro de la intersección varía con el paso del tiempo.



CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

2.1. Justificación

Los estudios realizados sobre el funcionamiento del tráfico se han llevado a cabo mediante diferentes consideraciones en el momento de su análisis. Entre ellas están los modelos determinísticos y los modelos estocásticos. Se apoya en el primer modelo cuando las condiciones del tráfico son simples y sencillas, mientras que el segundo se emplea cuando hay congestión, bloqueos y conductas agresivas.

Los patrones descritos por el modelo estocástico son seguidos por el software Vissim. Su modelo microscópico puede replicar la situación del tráfico del Perú, debido a que presenta un conjunto de número semillas que generan patrones de comportamiento de los conductores de vehículos de acuerdo al estilo de manejo agresivo dentro de los diversos tipos de vías que existen (semaforizada y no semaforizada).

Por lo expuesto anteriormente, es que se analizará la intersección seleccionada bajo el modelo microscópico de Vissim. Se tomará en cuenta la interacción vehicular mediante asignaciones de comportamiento individual a cada vehículo dentro del tráfico. De esta forma, se podrá estudiar la situación actual del proyecto según los parámetros de eficiencias seleccionados (longitud de colas, tiempo de viajes, etc.).

Para un mejor entendimiento del tema, a continuación se presentan las figuras 1 y 2, en las que se aprecia el estudio de circulación vehicular dentro de una vía rápida como el puente Golden Gate en San Francisco, Estados Unidos. Dentro de esta red vial se observa que al inicio del puente, el flujo vehicular es fluido; mientras que al final de este, el flujo se torna más lento (formación de colas).



Figura 1. Flujo vial presente en el puente

Fuente: www.ptvgroup.com

Figura 2. Desarrollo de cola dentro del puente

Fuente: www.ptvgroup.com

Por otro lado, en la figura 3 se observa el modelo realizado para el estudio del tráfico de una intersección semaforizada. En ella considera la presencia de movimientos laterales, cambio de carriles y seguimiento vehicular; además de la existencia de internodalidad.



Figura 3. Simulación de una intersección

Fuente: www.ptvgroup.com

2.2. Modelo y sistema

Un modelo es la representación matemática de un sistema o una configuración diseñada del conjunto que se desea analizar para cierto propósito (RAE, 2015). En cuanto por sistema, se entiende a un conjunto de elementos que se interrelacionan entre sí para lograr un comportamiento global. Entonces, modelar un sistema consiste en el proceso que se desarrolla para presentar con exactitud lo que se desea estudiar (CCSYA, 2015).

En este proyecto, el sistema está conformado por los siguientes detalles: la geometría de la zona de estudio (Av. Bolívar, Av. Córdova y Calle Andalucía), así como elementos dinámicos como vehículos, peatones, entre otros.

2.3. Modelación del tráfico

El tránsito o tráfico es la circulación de personas en el interior de un sistema. Algunas de ellas pueden estar en vehículos o en el espacio público. Por ello, la ingeniería de tráfico es la aplicación de técnicas para aminorar los impactos sociales, urbanos y ambientales derivados del tránsito (Fernández, 2008).

Esta modelación permite conocer la situación actual del proyecto y predecir la futura condición del flujo vehicular a través de los parámetros considerados para el estudio.

2.3.1. Tipos de modelación del tráfico

Los modelos empleados para los estudios de los proyectos se pueden clasificar de diferentes formas dependiendo del nivel de análisis y detalles que se quiera lograr. En este trabajo se abarcarán los principales tipos de modelos que abordan el desarrollo del estudio de la intersección. Estos se pueden apreciar en la figura 4. Al lado izquierdo se presenta la clasificación debido a su naturaleza, tales como el modelo continuo y discreto. En la sección central se divide según el nivel de detalle. Y al lado derecho; según la dependencia al tiempo y probabilidad (modelo estocástico y determinístico).

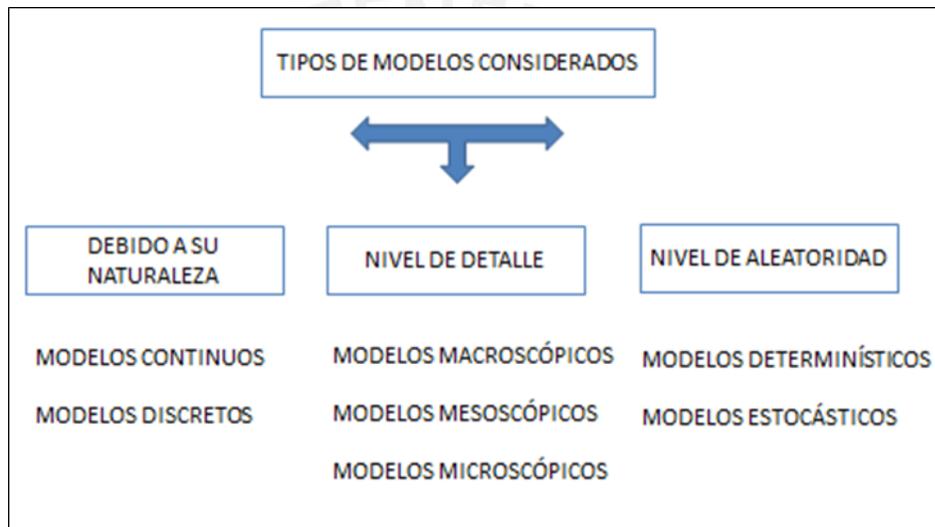


Figura 4. Tipos de modelo considerados

Fuente: elaboración propia

- **Modelos discretos**

Estos modelos se caracterizan por considerar la simulación del proyecto, una variación instantánea de los parámetros de estudio para cada intervalo de tiempo (Carvalho, 2015). Por ejemplo, el número de vehículos en una determinada hora del día. Asimismo, este modelo toma en cuenta el comportamiento de los conductores que sufren cambios en intervalos de tiempo. Ellos deciden qué acción tomar frente a cada situación en que se encuentren (Arrieta, 2013).

- **Modelos continuos**

Estos se basan en la variación continua de los parámetros a lo largo del tiempo de estudio. Cambian constantemente en relación al tiempo. Por ejemplo, los vehículos durante su circulación dentro del tráfico cambian de velocidad, posición, etc. (Aguirre, 2015).

Luego de haber presentado los dos primeros modelos, se debe indicar que las simulaciones realizadas podrán tener distinta naturaleza (discreta o continua), en función a lo que se desea estudiar y se complementarán de manera simultánea según el objetivo del proyecto.

Los modelos, también se pueden clasificar por el tipo de evento o aleatoriedad de sus variables, tales como los modelos determinísticos y estocásticos.

- **Modelos determinísticos**

Están basados en un estudio analítico, el cual se rige bajo ecuaciones matemáticas que no varían en relación al tiempo; es decir, no dependen de la incertidumbre. Por ello, se obtienen los mismos resultados para los mismos datos de entrada dentro del análisis del proyecto (Starfield, 2005). SYCNHRO es el software más común que sigue el análisis determinístico

- **Modelos estocásticos**

A diferencia del modelo determinístico, el estocástico sí presenta variabilidad en las respuestas obtenidas de acuerdo a los datos de entrada y al tiempo de análisis del proyecto. Vissim es uno de los softwares que cumple con estas condiciones (Howard & Karlin, 1998). Por ello, las simulaciones desarrolladas por los softwares que se basan en configuraciones matemáticas se asocian a los modelos estocásticos. Estos permiten obtener resultados más cercanos a la realidad con un cierto nivel de aleatoriedad según los datos de ingreso, mientras que los modelos determinísticos brindan resultados en base a ecuaciones matemáticas que a veces no se asemejan a la realidad pues desarrollan una única respuesta.

A continuación se presentan los tipos de modelo según los niveles de detalle de la simulación.

- **Modelos macroscópicos**

La principal característica de estos modelos es la representación del flujo vehicular en forma genérica. Entre las consideraciones a tener están la velocidad espacial al flujo y la densidad del tráfico.

Si bien es cierto que en este tipo de modelo el nivel de detalle no es muy profundo, los resultados obtenidos podrían ser beneficiosos cuando se trata de proyectos de suma importancia en cuanto a eficiencia, ya que implica un menor tiempo de análisis.

- **Modelos microscópicos**

Representar la realidad mediante una interacción vehicular, a través de asignaciones individuales a los vehículos y peatones, es una característica de este modelo (Mathew & Krishna, 2006). Por tal motivo, se pueden obtener resultados con mayor exactitud mediante un correcto estudio de los datos de campo y una adecuada estimación del tiempo invertido. Por lo general se requiere de un mayor tiempo que el empleado en un modelo macroscópico (Suárez, 2007)

- **Modelos mesoscópicos**

Este modelo abarca algunas características de los modelos macroscópicos y microscópicos. Sigue el patrón de considerar pelotones de vehículos como una unidad, mientras que los movimientos de giro, tiempo de entrada y salida son determinados de manera singular según el mecanismo simulado (Arrieta, 2013). En la figura 5 se observan las consideraciones pertenecientes a cada modelo, según el nivel de detalle de la simulación

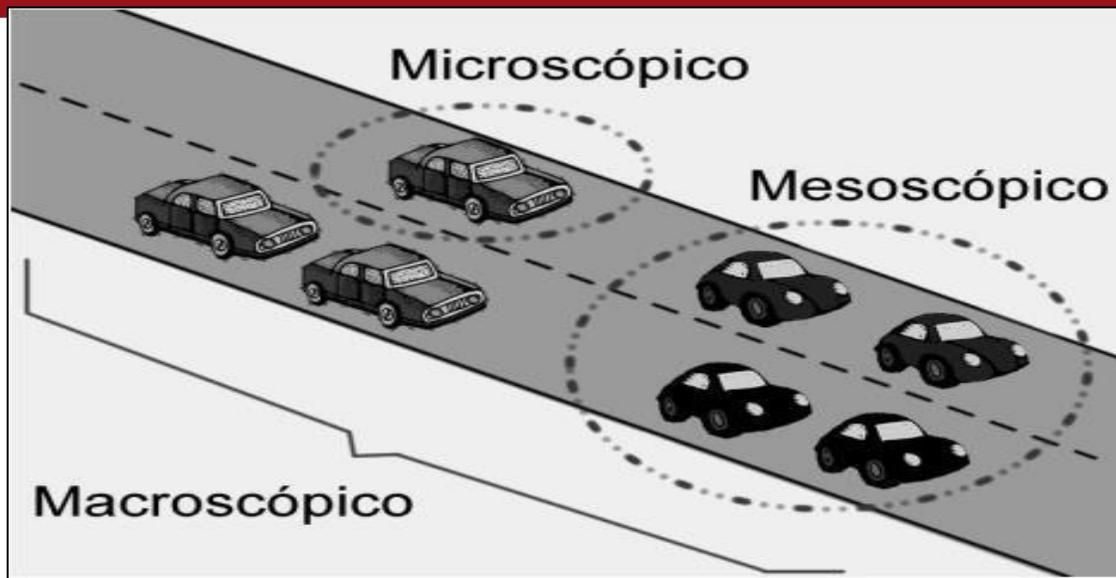


Figura 5. Principales estrategias de simulación del tráfico

Fuente: Francisco (2015)

2.4. Microsimulación del tráfico

En estos últimos años, los modelos microscópicos han sido ampliamente utilizados para el análisis del funcionamiento del tráfico. Esto se debe a la seguridad, bajo costo y menor tiempo de análisis en comparación a las pruebas in situ (Byungkyu & Schneeberger, 2007). Uno de los softwares que está basado en el estudio de un modelo microscópico es el programa computacional Vissim. Su análisis permite predecir los potenciales problemas que presenta el proyecto estudiado. Si bien es cierto que en este tipo de modelo existen múltiples parámetros de eficiencia, se deberá trabajar con los más importantes: los adecuados para el proyecto desarrollado.

Finalmente, cabe mencionar que cuando se habla del modelo microscópico, no se refiere a un alcance geográfico del área de estudio, sino a un profundo análisis del funcionamiento del tráfico.

2.5. Fundamentos de la microsimulación

Cada microsimulación realizada, cuenta con conceptos fundamentales para lograr el objetivo, entre ellos está la aleatoriedad del modelo, el warm up, la interacción vehicular, la calibración y la validación.

2.5.1 Nivel de aleatoriedad en el flujo del tráfico (determinísticos y estocásticos)

El nivel de aleatoriedad dentro de los softwares de microsimulación se presenta de manera determinista y estocástica. En el primero no se presenta variación en las características de los conductores ni en los vehículos como por ejemplo: el estilo de manejo de los conductores o la misma longitud que cuentan los vehículos. En cambio en un nivel estocástico, se asigna a estos una determinada característica en base a distribuciones estadísticas.

2.5.2. Número de semilla

Este genera un número aleatorio, el cual será representado mediante el tipo de vehículo y comportamiento de los conductores con una determinada característica. Su accionar se ve reflejado en la secuencia de decisiones frente a situaciones específicas. Por ejemplo; en el estilo de manejo, pueden observarse conductas agresivas, agradables, entre otros; en el tipo de vehículo, pueden ser camionetas, combis, automóviles. Estas características permiten el orden jerárquico en la red vial (Dowling et al., 2004).

2.5.3. Número de corridas

Cada evaluación realizada por el modelo microscópico dependerá del número de semilla asignado. A partir de cada análisis de la microsimulación, se obtendrán resultados generalmente cercanos a la media del total de corridas. No obstante, cada evaluación se diferenciará una de otra. Por ello, para hacer válidos los resultados obtenidos, se deberá analizar cuántas corridas serán necesarias (Fellendorf, 2010).

Será necesario hacer un estudio estadístico. Como no se podrá evaluar la totalidad de los elementos (población), se trabajará con una parte de ella (muestra). Esta deberá ser 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 (Fernández, 2015).

La distribución de los resultados permitirá un análisis estadístico para poder extrapolar lo obtenido de la muestra a la población, de acuerdo a un nivel de confiabilidad y un margen de error.

Después de haber explicado los conceptos necesarios, será posible determinar la cantidad suficiente de número de corridas del modelo. Su estudio requiere emplear parámetros estadísticos como la media, la desviación estándar y un tipo de distribución.

La desviación estándar de la muestra se calcula de la siguiente manera:

$$S^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1} \quad \text{Ecuación 1: Desviación estándar muestral}$$

Donde:

S: desviación estándar

X: resultado del parámetro de eficiencia en una corrida específica

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

N: número de corridas

Según lo recomendado por la Federal Highway Administration (FHWA), la distribución empleada para determinar el número mínimo de corridas es la distribución T student.

Por lo tanto:

$$CI_{(1-\alpha\%)} = 2 * t_{(\alpha/2), N-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{N}} \quad \text{Ecuación 2: Intervalo de confianza}$$

Donde:

C: intervalo de confianza

$t_{(\alpha/2)}$: t-student con N-1 grados de libertad

N: número de corridas

S: desviación estándar

Tal como se menciona en los estudios realizados por la FHWA (2004), el número mínimo de corridas se evalúa de la siguiente manera:

$$N = \left(t_{\alpha/2} \times \frac{S}{e} \right)^2 \quad \text{Ecuación 3: N° mínimo de corridas}$$

Donde:

N: número mínimo de corridas

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

S: desviación estándar

e: margen de error

The Federal Highway Administration (FHWA) recomienda el siguiente proceso de análisis para determinar el número mínimo de corridas: en primer lugar, se debe evaluar el modelo desarrollado con un mínimo de 4 corridas. Luego se prosigue a obtener los parámetros estadísticos de los resultados como la media, la desviación estándar, etc. Asimismo, se debe asignar un nivel de confiabilidad y el margen de error. Una vez establecidos estos detalles, se obtiene el número mínimo de repeticiones mediante la Ecuación 3.

Finalmente, se debe comparar el valor obtenido por la ecuación 3 contra el número de corridas del modelo. Se tendrá dos opciones: si la cantidad de corridas realizadas es mayor al mínimo, será suficiente la evaluación. Caso contrario, se deberá trabajar con otra cantidad de corridas y volver a medir los parámetros estadísticos de la nueva muestra y seguir con el procedimiento que continúa hasta conseguir que el número de corridas sea mayor al mínimo.

Para un mejor entendimiento del proceso mencionado, se presenta la Figura 6.

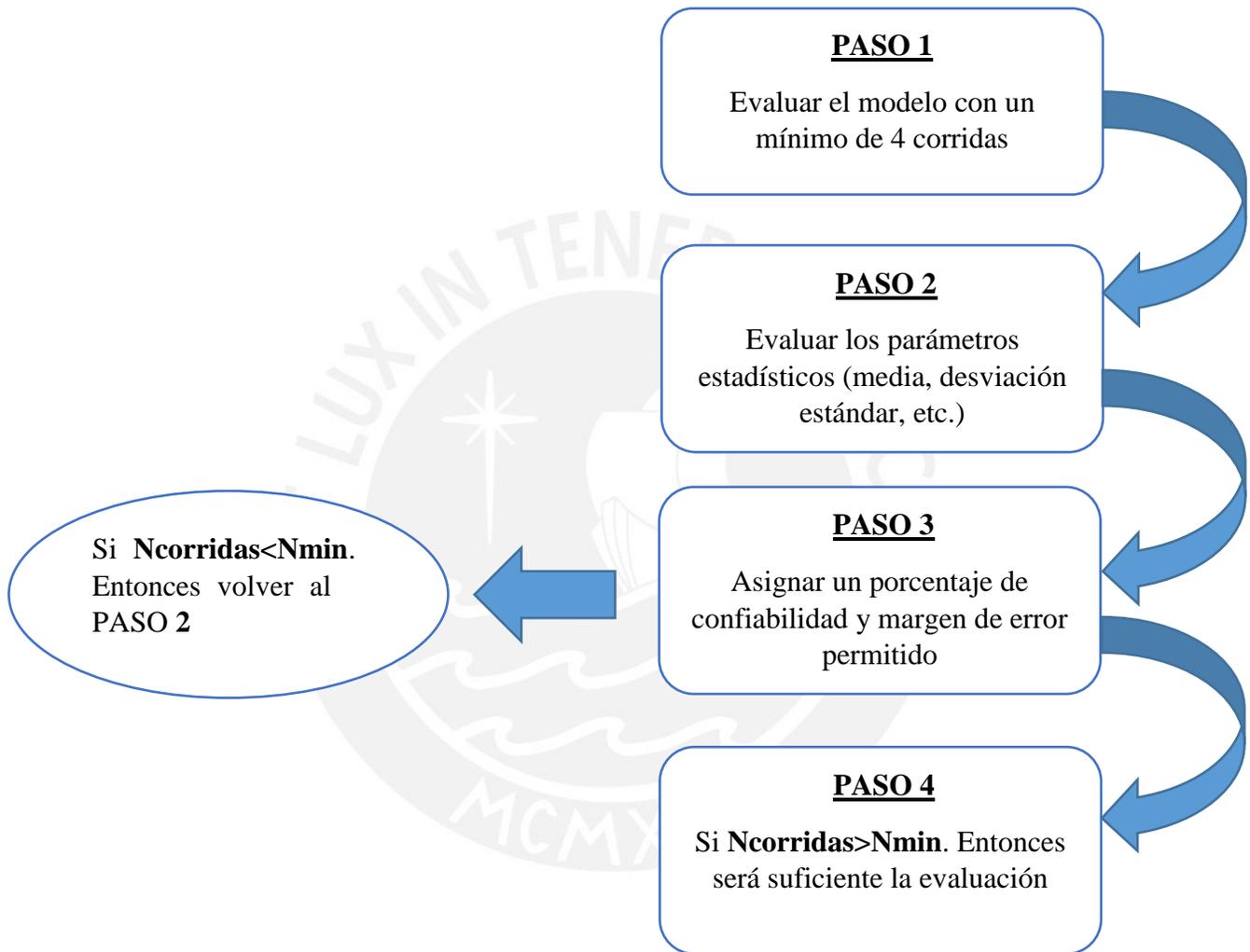


Figura 6. Proceso recomendado por FHWA (2004)

Fuente: Elaboración propia

2.5.4. Warm up (tiempo de estabilidad)

Por lo general, cuando se inicia la ejecución de la simulación, ningún vehículo está presente en el sistema vial ya que durante el transcurso del tiempo, el modelo comenzará a tener una mayor cantidad de vehículos. El periodo necesario para conseguir el equilibrio vehicular se conoce como warm up.

Cuando se logra este equilibrio, será apropiado empezar a recopilar la información estadística. Se analizan los resultados de los parámetros de eficiencia como el volumen vehicular, la longitud de colas, el tiempo de viaje, etc. (Dowling et al., 2004). Estudios realizados por FHWA obtuvieron el tiempo de estabilización para los modelos realizados (warm up) como mínimo 10 minutos de simulación.

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).

Ahí se observa el tiempo transcurrido, cuyo valor numérico será el warm up.

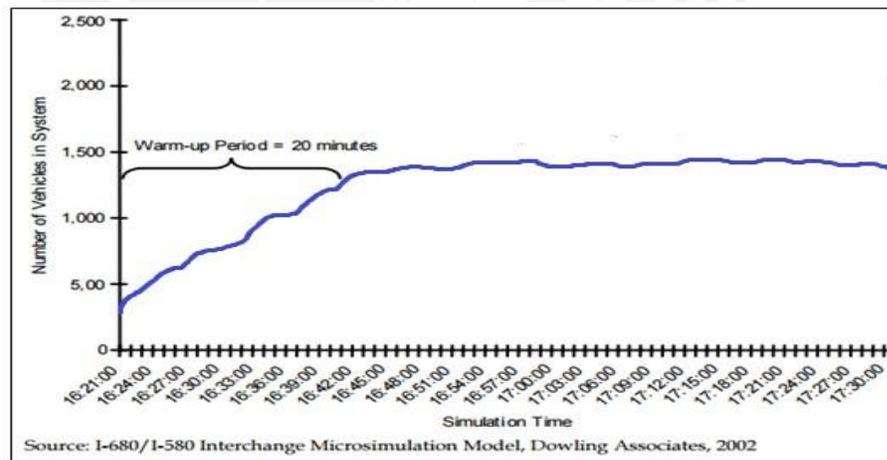


Figura 7. Ilustración del periodo de Warm up

Fuente: Modificado de Dowling et al. (2004)

2.5.5. Interacción de vehículos

La interacción de los vehículos, en la red de flujo vehicular, es una característica esencial de los modelos microscópicos. La manera de hacerlo es mediante los modelos de seguimiento vehicular y cambio de carril (Fellendorf, 2010).

En la primera; la decisión de los conductores pasa por el análisis de la velocidad, aceleración, desaceleración, distancia segura, entre otros; mientras que en la segunda, se toma en cuenta la necesidad de cambio de carril del vehículo, ya sea por el estilo de manejo del conductor o por el adelanto de un vehículo más rápido a otro más lento (PTV GROUP, 2015)

2.5.6. Calibración del modelo

Es un proceso iterativo que tiene por finalidad asegurar que el modelo realizado refleje adecuadamente la situación real (a través de sus condiciones locales). Se lleva a cabo mediante la comparación entre parámetros de eficiencia obtenidos con el software y los datos de campo.

Se emplean parámetros como la longitud de colas, velocidad de viaje, tiempo de viaje y otros (Dowling et al., 2004). Estudios realizados por Bloomberg (2003) hacen mención que se podría presentar hasta una diferencia de resultados del 69% a condiciones futuras, si se presenta una diferencia del 13% entre velocidades en la calibración en vías rápidas.

2.5.7. Validación del modelo

Este es el proceso donde se verifica si el modelo realizado cumple con las condiciones necesarias para ser apto a la evaluación de resultados. Esta validación se consigue a través del ingreso de nuevos datos de entrada del campo de la zona elegida. Como resultado final, se debe obtener valores semejantes entre el software Vissim y resultados del campo, donde se tiene como base los parámetros modificados dentro del software en el proceso de calibración (Benekohal, 1991).

2.6. Modelos de seguimiento vehicular (car following)

Está basado en la influencia que puede existir en la interacción de un par de vehículos (líder y seguidor). Por ello, se ha desarrollado diferentes teorías acerca de esta dependencia vehicular. Entre ellas está el modelo de la General Motor, el modelo de la distancia segura (GIPPS) y el modelo de Wiedemann.

2.6.1. Modelo de la general Motor

Propuesto por los estudios realizados en los laboratorios de General Motors en la década de los cincuenta. Su modelo está dado por un mecanismo de estímulo y respuesta de

cada conductor. Además de la sensibilidad de este frente a la aparición de otro vehículo. Su relación matemática está dada por la Ecuación 4 (Mathew & Krishna, 2006):

$$\text{Respuesta del seguidor}_{(t+T)} = \text{Sensibilidad} \times \text{estímulo}_t$$

Ecuación 4: Modelo del General Motor

Donde:

Respuesta del seguidor $(_{t+T})$: aceleración del vehículo siguiente al finalizar el tiempo de percepción reacción (T)

Sensibilidad: dependerá del conductor del vehículo siguiente

Estímulo: velocidad relativa de la interacción de un par de vehículos (líder y seguidor)

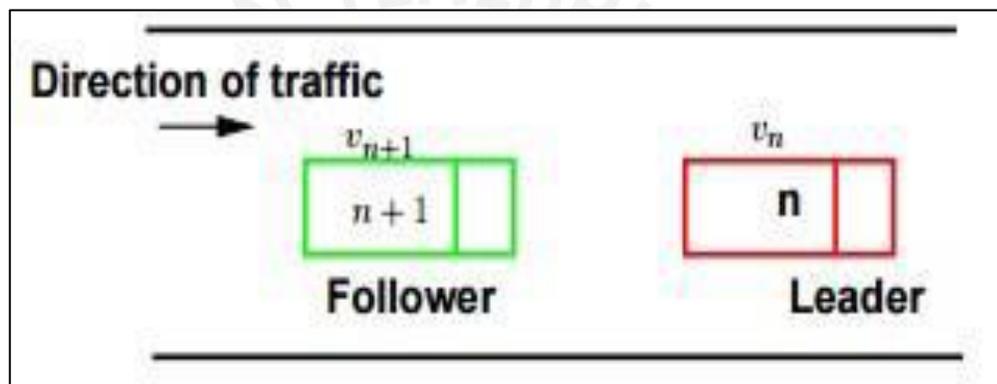


Figura 8. Seguimiento vehicular

Fuente: Mathew (2006)

Sin embargo, se demostró que el modelo de General Motors contaba con un punto débil: se consideraba que todos los conductores tenían comportamientos similares, y los vehículos, dimensiones iguales dentro del tráfico.

2.6.2. Modelo de la distancia segura (Gipps)

Fue desarrollado por Gipps. Su propuesta fue relacionar la velocidad necesaria en la interacción de un par de vehículos con la distancia mínima segura que debe existir entre ellos. Los parámetros del modelo deben corresponder a las características del conductor y vehículo (Ahmed, 1999).

Esta propuesta toma en cuenta la reacción del vehículo seguidor. Analiza la velocidad deseada para mantener una distancia con tal que el vehículo líder pueda maniobrar libremente. Esta deberá presentar las siguientes consideraciones:

En primer lugar, se tiene que un vehículo no excederá la velocidad deseada del conductor; mientras en la segunda, la aceleración debería aumentar a partir del incremento de la velocidad y luego decrecer a cero a medida que se acerca a la velocidad deseada, en cuanto al caso de conducción libre. 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).

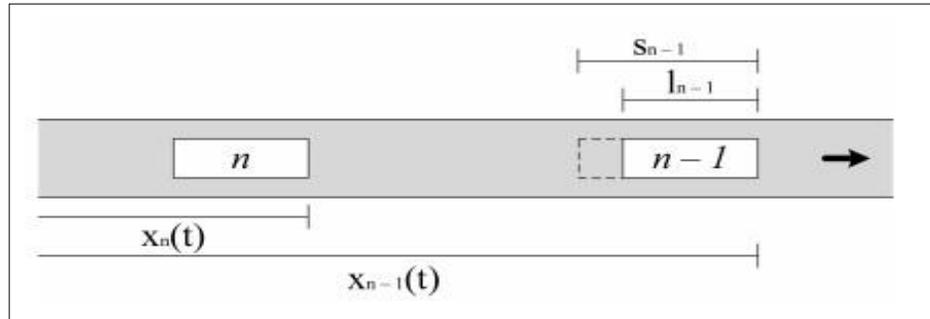


Figura 9. Consideraciones del modelo de Gipps

Fuente: Nerem (2013)

Entonces, mencionado el aspecto teórico, se presenta las ecuaciones de las velocidades necesarias tanto para el caso de conducción libre y seguimiento vehicular.

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

Ecuación 5: caso de conducción libre

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

Ecuación 6: caso de seguimiento vehicular

$$u_n(t + \tau) = \min\{u_n^a(t + \tau), u_n^b(t + \tau)\} \quad \text{Ecuación 7: velocidad deseada final}$$

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.

2.6.3. Modelo de Wiedemann

Se basa en los parámetros psicofísicos. Su modelo considera esencialmente la percepción y reacción humana en las diferentes situaciones del tráfico vehicular (Macêdo & Mendonça de Castro Neto, 2014)

La percepción y reacción humana se ven representadas a través de las influencias de sus propios movimientos, debido al tipo de manejo, máxima aceleración, etc. Así como la distancia entre vehículos y la diferencia de velocidades entre ellos.

Estos factores mencionados dependen de un conjunto de umbrales humanos y distancias entre vehículos dentro de situaciones de interacción vehicular (líder y seguidor).

En este modelo se consideran 4 posibles situaciones (áreas), por las cuales, los conductores atraviesan dentro del tráfico (Fellendorf, 2010).

En la primera situación se presenta un movimiento libre del vehículo, ya que no se encuentra influenciado por otro que viaja en su entorno (área de libre movimiento - libertad de conducción).

En la segunda, el conductor percibe un vehículo con una velocidad más baja pero no es influenciado por el vehículo de adelante (área de acercamiento).

En la tercera situación, este entra en un proceso de seguimiento inconsciente ya que se ve influenciado totalmente por el vehículo de menor velocidad (área de seguimiento).

Un ejemplo es el caso de la desaceleración aceptable para el vehículo que desea cambiar de carril y se detiene el vehículo que es sobrepasado (Suárez, 2007).

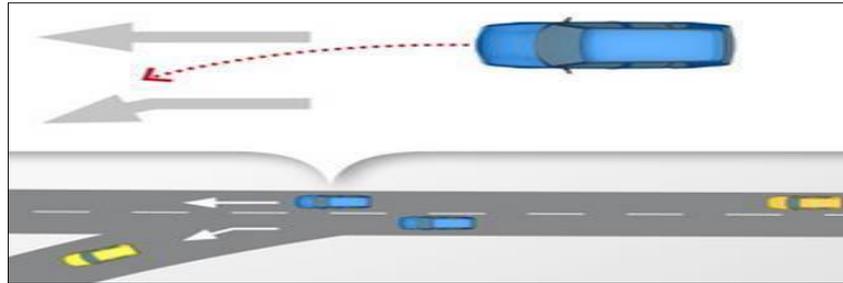


Figura 11. Cambio de carril necesario

Fuente: PTV GROUP (2015)

- **Cambio de carril libre**

En este escenario se presenta el adelanto a vehículos con movimiento lento. Por ejemplo, se aprecia en la figura 12 que el vehículo realiza un cambio de carril libre ya que su velocidad deseada es mayor que el de adelante.

En estos tipo de modelos se asegura que el vehículo adelantado no se vea considerablemente afectado por esta maniobra (PTV GROUP, 2015).

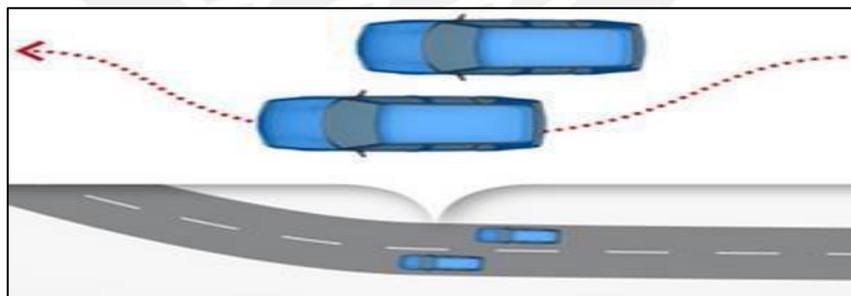


Figura 12. Cambio de carril libre

Fuente: PTV GROUP (2015)

CAPÍTULO 3. VISSIM 6.0, SOFTWARE DE MICROSIMULACIÓN

3.1. Vissim

Es un medio computacional de microsimulación utilizado para realizar estudios del funcionamiento del tráfico multimodal (Arrieta, 2013)

También permite representar a todos los usuarios de la vía pública y estudia sus interacciones. Entre ellos se encuentran los vehículos, peatones, entre otros. Para lograr esto, se harán asignaciones individuales de cada uno de ellos para hacer una réplica de la realidad.

3.2. Antecedentes de Vissim

El término proviene de la frase alemana “Verkehr in Städten - Simulation”. Se traduce como simulación del tránsito en las ciudades. Sus inicios datan por la década de los ochenta en la universidad de Karlsruhe de Alemania. Su primera aparición en el mundo comercial fue en el año 1992, con la versión 2.03 dentro del entorno de Windows (PTV GROUP, 2015) .Actualmente, la empresa PTV Group dispone de la versión 7.0 y se estima que a finales del presente año, se cuenta con la versión 8.0. Además, se espera que lidere el mercado en cuanto a programas de microsimulaciones para estudios del tránsito.

3.3. Funcionamiento del software Vissim

Vissim está basado en los parámetros psicofísicos del seguimiento vehicular propuesto por el profesor Wiedemann. Entre sus aplicaciones más destacadas están el de proyectar el tránsito urbano y operaciones del transporte público así como el análisis de la configuración de carriles, composición del tráfico, semaforización, etc. Es así que se convierte en una herramienta útil para la evaluación de las alternativas basadas en el diseño y el planeamiento del tránsito y transporte (Gao, 2008).

Su principal tarea es conseguir la adecuada representación del comportamiento de la conducción vehicular en el tránsito. Para lograrlo, se debe tomar en cuenta la dinámica seguida por los distintos tipos de vehículos en interacción.

Está internamente compuesto por dos funciones: el simulador del tráfico y el generador de estados de señales. El primero de estos permite la animación de la circulación de los vehículos; mientras que el segundo genera internamente archivos de salida con acumulación de datos estadísticos como tiempos de viaje y longitudes de cola (Bloomberg, 2000).

El modelo de seguimiento vehicular es el que tiene mayor efecto sobre Vissim. No obstante, se debe considerar el modelo de cambio de carril, ya que ambos forman un conjunto integrado en el desarrollo del modelo del tráfico. Para el primer modelo, si un vehículo de mayor velocidad se acerca a uno con menor velocidad, se ajustará a su separación. Esto se debe a la reacción del conductor que depende de la diferencia de velocidad, distancia y comportamiento (Ahmed, 1999). Por otro lado, para el segundo modelo, se verifica la conducción de los vehículos por las conexiones de varios carriles.

La microsimulación del proyecto es representada por las redes viales, los peatones, los vehículos y otros elementos que se registran como datos de entrada en este software. A continuación se presentan los componentes presentes en el proyecto: los estáticos y los dinámicos.

3.4. Componente estático

Estos componentes se aprecian durante la trayectoria de los vehículos dentro del sistema modelado. En el caso de una intersección, se producen giros y movimientos para las circulaciones realizadas (Narváez & Zapardiel, 2015).

Los giros se definen como la posibilidad de un vehículo de dirigirse de un tramo a otro. Por otro lado, el movimiento indica una desagregación de los giros que se incrementa de acuerdo al grado de detalle.

Estos detalles se pueden apreciar la figura 13. Asimismo, existen otros componentes estáticos, tales como las señales de tránsito. Estas tienen una gran influencia sobre los conductores pues aseguran y/o persuaden el cumplimiento de las normas.

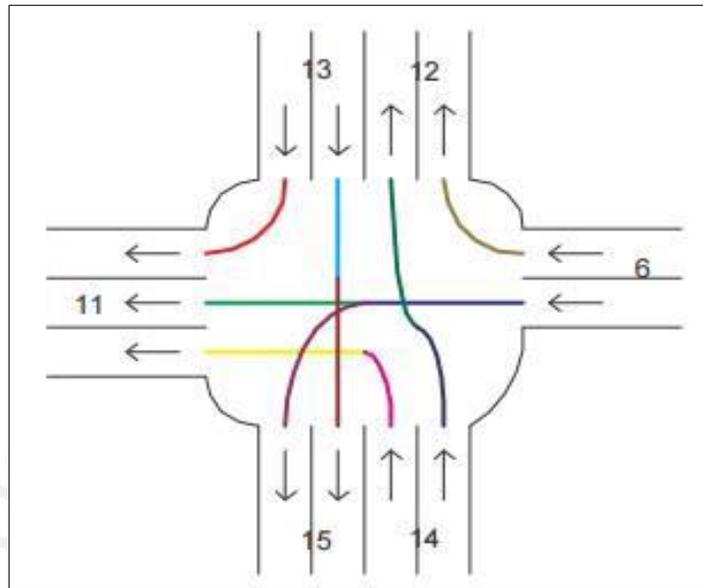


Figura 13. Giros y movimientos en una intersección

Fuente: Arrieta (2013)

3.5. Componentes dinámicos

Estos varían con relación al tiempo durante la circulación del tráfico. Influyen en gran medida con la determinación de las interrelaciones existentes entre los diferentes parámetros dentro del modelo microscópico. Por ende, la elección del nivel de detalle del proyecto dependerá de la precisión de estos componentes dinámicos (Narváez & Zapardiel, 2015). Los semáforos son un ejemplo de los distintos componentes dinámicos. Estos afectan el comportamiento de un conductor y por ello, influyen considerablemente en el sistema.

3.6. Infraestructura del modelo

Parte del objetivo del proyecto es el estudio del nivel de detalle de la construcción del modelo. Se mencionan dos situaciones: para el análisis de fallo de las señales de tránsito, basta con un esbozo de la infraestructura del modelo. En el estudio de la intersección se necesita un trabajo de mayor precisión. En ese caso, se cuenta con el desarrollo de la

simulación de la zona estudiada (PTV GROUP, 2015). Las redes viales se representan mediante escalas geométricas. Sus mediciones se logran a través de vistas satelitales, importaciones macroscópicas, fotografías aéreas, mediciones en CAD, mediciones manuales, entre otros.

A continuación se detallarán los elementos más importantes para el desarrollo de la infraestructura dentro del software Vissim.

3.6.1. Link y conectores

Estos elementos del software representan los carriles de la red vial y resultan esenciales para el desarrollo del modelo. El diseño vial suele representarse mediante estos comandos, usualmente con nodos ubicados en secciones interrelacionadas y links colocados a lo largo de los tramos viales (Fellendorf, 2010). Para la aplicación de los conectores se puede citar los casos del uso indispensable si se desea fusionar dos o más links, asimismo cuando se presenta un cruce entre ellos, como otro posible escenario se tiene cuando un link se divide entre dos o más en el seguimiento de su ruta y se desea ajuntarlos o en la presencia de una variación de las características de un tramo de la carretera. (Reducción de números de carriles, ancho de carril, etc.).

En la figura 14 se aprecia el tramo de una carretera y los diferentes carriles. Cada uno con su propia definición como su dimensión, asignación de dirección, número de carriles y otros. También se observa la aplicación de conectores para sus uniones.

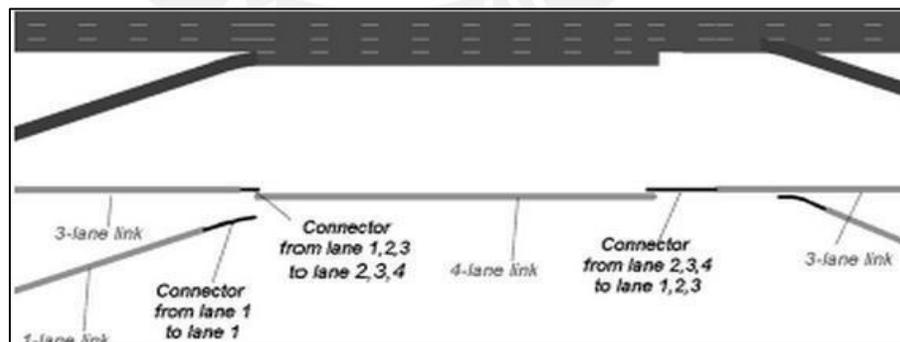


Figura 14. Links y conectores dentro de una modelación vial

Fuente: Fellendorf (2010)

3.6.2. Otros elementos del modelado

Otros comandos dentro de Vissim están situados en una posición dentro de un link o conector específico para su funcionamiento. Podemos encontrar los siguientes:

En primer lugar, se encuentra la señal del límite de velocidad. Su indicación es que tan pronto el vehículo llegue a su ubicación inicial, éste se ajustará a la velocidad indicada. Luego, se puede mencionar la prioridad entre usuarios. Se identifican los vehículos con mayor prioridad a comparación de otros. Por ejemplo, la circulación en una vía principal con respecto a una vía secundaria. Finalmente, se puede señalar el signal head que representa a los semáforos dentro del modelo microscópico realizado del sistema en evaluación.

3.7. Control del tráfico

Una de las aplicaciones de Vissim es el análisis del flujo del tráfico en una intersección. Este concepto se desarrolla a lo largo del presente proyecto, debido a que el objetivo principal de este trabajo de ingeniería es el análisis de circulación de los usuarios dentro de este tipo de red vial, entre los cuales se pueden mencionar la situación de una intersección no semaforizada y semaforizada.

3.7.1. Intersecciones no semaforizada

Este tipo de intersección es modelada mediante reglas de prioridades entre vías y conectores por donde los vehículos realizan sus recorridos. Estos tienen que ser reconocidos entre ellos. Los detalles entre vehículos se desarrollan por medio de normas de diseños viales de la gestión de tránsito.

Por ejemplo, para el caso descrito, el flujo vehicular prioritario deberá ser el de la derecha, mientras que el flujo vehicular con ruta de terminación, deberá dar paso al que cuenta con una ruta de continuación.

En la figura 15 se observa el modelo, donde el vehículo 1 cuenta con la prioridad ya que se encuentra en la avenida principal. Por ende, el vehículo 2 debe esperar en la línea de parada hasta que el primero cruce totalmente el área de conflicto.

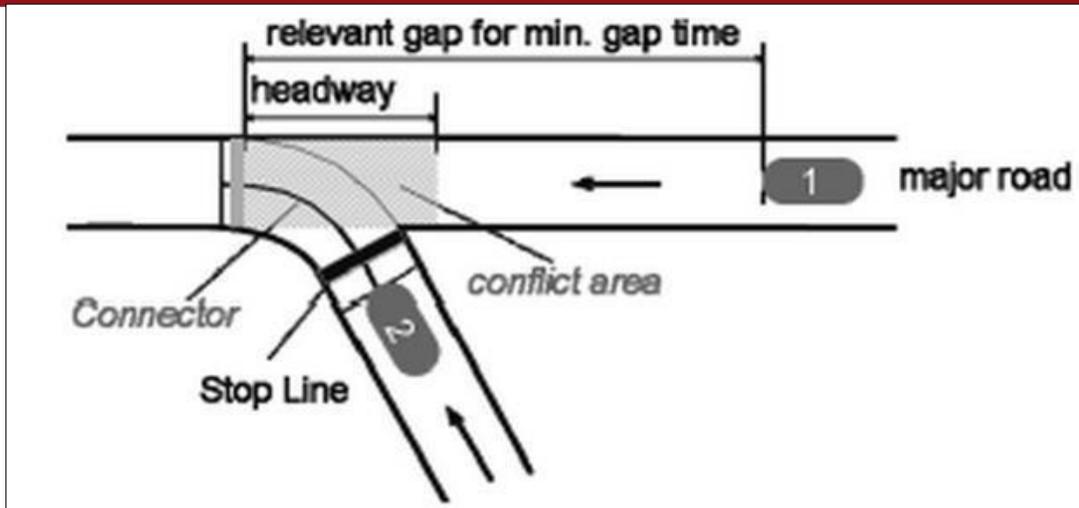


Figura 15. Concepto de modelación con regla de prioridades

Fuente: Fellendorf (2010)

3.7.2. Intersecciones semaforizada.

Este tipo de intersección tiene como característica realizar el modelo mediante la aplicación de controladores de señales (signal control). Su uso es controlar el funcionamiento del tráfico de la intersección semaforizada.

Estos controles están conformados por un grupo de señales (signal grupal), los cuales realizan la función del semáforo dentro del modelo mismo. Emplea las fases de tiempo: rojo, verde y ámbar.

Finalmente, estas representaciones se aprecian por medio del signal head (simulan las características de los semáforos), ubicadas en la intersección de estudio (Fellendorf, 2010). En la figura 16 se presenta un modelo de intersección controlada por semáforos.

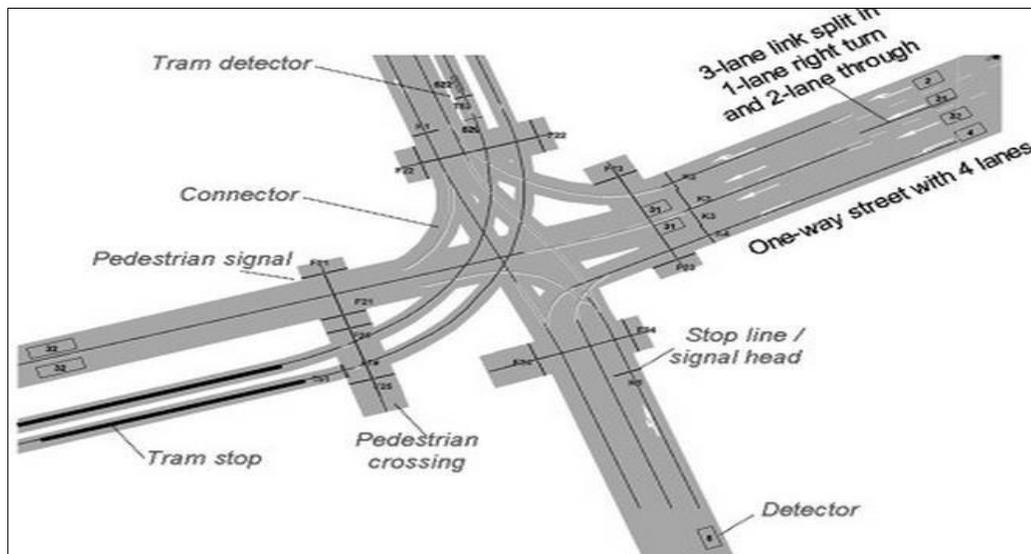


Figura 16. Intersenciones señalizadas

Fuente: Fellendorf (2010)

3.8. Consideración del modelo

El software Vissim tiene como base el funcionamiento de los parámetros psicofísicos de Wiedemann. Este tiene en cuenta los umbrales de percepción y reacción del conductor de cada vehículo en el transcurso de la ruta en que se encuentre. Además, tiene en consideración los submodelos de seguimiento vehicular. El cambio de carril, el comportamiento lateral y el control semaforizado son los más influyentes para el software. Mediante la ecuación 8 se puede expresar la distancia requerida en la interacción entre un par de vehículos.

Esto es con el fin de ajustar los resultados obtenidos por medio del software de microsimulación y los datos de campo.



Figura 17. Modelamiento de seguimiento vehicular

Fuente: elaboración propia

$$d = ax + (bx_{add} + bx_{mul} * z)x\sqrt{v}$$

Ecuación 8: distancia requerida

Donde:

 a_x : distancia promedio deseada entre vehículos detenidos. b_{x_add} : parte aditiva de la distancia deseada por seguridad b_{x_mul} : parte multiplicativa de la distancia deseada por seguridadZ: valor entre 0 y 1, obtenido de una distribución normal ($\mu = 0.5$ y $\sigma = 0.15$)

V: velocidad (m/s)

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA, RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO

Este proyecto tiene como objetivo principal, evaluar las condiciones de circulación de los usuarios de una intersección, perteneciente al distrito de Pueblo Libre, mediante el desarrollo de un modelo microscópico. Por lo tanto, para poder lograrlo, este trabajo de ingeniería pasará por distintas etapas, las cuales serán descritas a continuación:

Como primer paso, se procedió con la búsqueda y selección del sistema de diseño vial, que debía satisfacer con los requisitos necesarios para su estudio, tales como las características geométricas, los aforos peatonales y vehiculares; así como el tipo de semaforización presente.

Después de la selección del sistema, se decide por los datos necesarios a recolectar en el campo, como la longitud de colas, los aforos vehiculares, los aforos peatonales, tiempo de viajes, entre otros. Para recolectar los datos se emplean herramientas de trabajos como las cámaras filmadoras, cintas métricas, cronómetros y otros elementos necesarios.

Una vez finalizada la decisión del tipo del registro de datos, se procede al procesamiento de datos para construir el modelo microscópico. Con dicho objetivo, la toma de datos se realizó a cabo el día viernes 23 de enero del 2015 por un periodo de una hora (9:30 a.m. - 10:30 a.m.) con la colaboración de los alumnos del curso Gestión del Tránsito, el cual se dicta en la PUCP.

Al término del registro de datos, se procede a la recopilación y clasificación de datos que servirán como información de entrada para la construcción del modelo a través del software Vissim 6.0. El modelo microscópico está conformado por la intersección seleccionada, los tipos de vehículo dentro de ella, el tiempo del semáforo, los aforos vehiculares, los aforos peatonales, la prioridad entre vehículos, y otros detalles importantes para el correcto funcionamiento de este.

Como siguiente paso, se calibra el modelo teniendo como base resultados obtenidos por el programa Vissim y los datos de campo. Vale mencionar, que para este proceso se consideró un nivel de confiabilidad del 95% y un porcentaje de error del 10% de la media. Asimismo, el parámetro seleccionado para la calibración fue el tiempo de viaje de los diferentes vehículos en un tramo perteneciente a la Av. Córdova (Sur).

Posterior a la calibración, se realiza la validación del modelo con el fin de verificar el correcto funcionamiento del modelo construido ante una nueva situación. Para ello, se debe de ingresar un nuevo registro de datos de campo y poder lograr que los resultados obtenidos (velocidad promedio, tiempo de viaje, longitudes de colas, etc.) sean similares a lo obtenido entre el campo y Vissim de acuerdo a los ajustes realizados en la etapa de calibración.

Al contar con el modelo construido, calibrado y validado, se procede a la evaluación y análisis de los resultados del funcionamiento de la red vial (intersección).

Con la información recopilada de la situación actual de la intersección, se realiza la documentación, así como la presentación de propuestas de mejoras y evaluación de los parámetros de eficiencia para este nuevo escenario.

Finalmente, se detallan las conclusiones y recomendaciones basadas en lo obtenido por la microsimulación realizada a través del software Vissim 6.0.

A continuación, se puede apreciar la Figura 18, donde se presenta la secuencia de la metodología de este proyecto, la cual tiene como base la recomendación dada por la FHWA (2004).

METODOLOGÍA

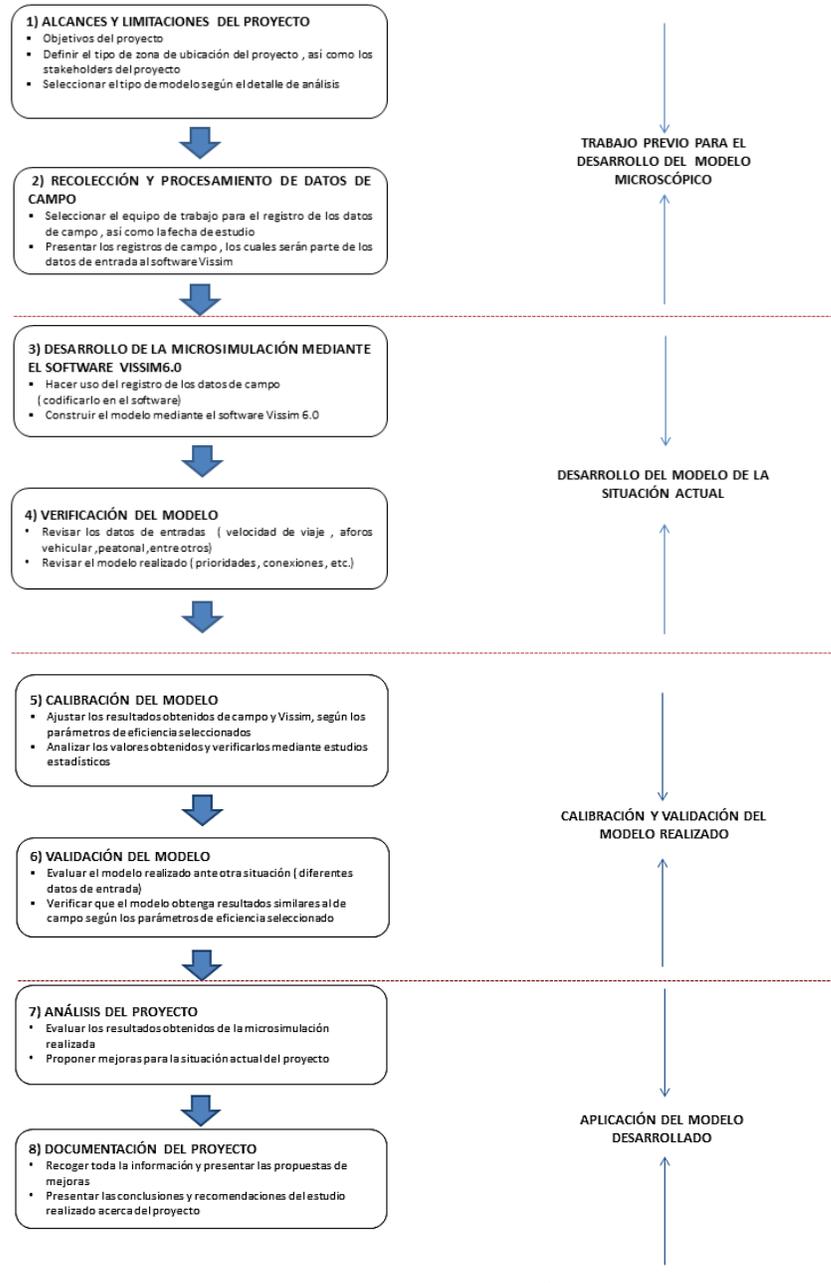


Figura 18. Metodología propuesta para la realización del proyecto

Fuente: Adaptado de FHWA (2004)

4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO

El presente proyecto de ingeniería se basa en la correcta recolección de datos de campo para obtener resultados confiables. Dadas las pautas necesarias, se presentará a continuación los detalles considerados en el proceso de la toma de datos de campo:

4.1.1. Selección de la intersección de análisis

En principio se evaluaron los posibles escenarios para el estudio del diseño vial dentro de la ciudad de Lima. Como primer punto, el autor de este trabajo contaba con 3 opciones previas para el estudio del funcionamiento del tráfico, los cuales eran la Av. Abancay, la intersección de las Av. Angamos y la vía expresa (Paseo de la república) y el proyecto que se estudia en este trabajo de ingeniería. Sin embargo, al haber cursado la materia de “Gestión de tránsito” en la PUCP, se pudo reconocer que la simulación de una intersección sería lo más indicado.

De las 3 intersecciones preseleccionadas, se necesitó conocer la factibilidad y accesibilidad con la que contaba cada uno de ellas para el registro de campo necesario, tales como la medición de geometría, grabación, aforos peatones, vehiculares, entre otros. Debido a las condiciones dadas, se prefirió a la intersección ubicada en el distrito de Pueblo Libre, Lima.

Esta intersección se encuentra en funcionamiento bajo un solo control de señales (semáforos), el cual está compuesto por 3 fases. Asimismo se debe de acotar que el proyecto se encuentra en una zona comercial, donde se ubican restaurantes, farmacias; así como un mercado a pocas cuadras de la intersección.

A continuación se presenta la Figura 19 donde se detalla una vista satelital de la intersección analizada.

Tabla 1. Avenidas que conforman la intersección

UBICACIÓN	Av. BOLÍVAR	Av. CÓRDOVA	Calle ANDALUCÍA
Ruta 1	Av. Universitaria(W) → Av. Brasil(E) (3 carriles)	Av. Sevilla(N) → Av. Gral Artigas(S) (2 carriles)	Av. Arce (N) → Av. Gral Artigas(S) (2 carriles)
Ruta 2	Av. Brasil(E) → Av. Universitaria(W) (3 carriles)	Av. Gral Artigas(S) → Av. Sevilla(N) (2 carriles)	Av. Gral Artigas(S) → Av. Arce(N) (2 carriles)

Fuente: elaboración propia



Figura 19. Vista satelital de la intersección

Fuente: Adaptado de google streetview

4.1.2. Selección del equipo de trabajo y registro de datos de campo

Una vez decidido la zona de estudio, se prosigue con la selección del equipo de trabajo y herramientas (cinta, filmadora, cronómetro, etc.) para lograr la microsimulación de la intersección deseada. Entonces, al contar con los conocimientos suficientes, obtenidos a través del curso, para la toma de datos de campos necesarios y lo importante que resulta su registro, se procedió a agrupar a los estudiantes en diferentes equipos de trabajo según la magnitud de la actividad asignada para la toma de datos en campo. Entre las actividades pertinentes están la videograbación, longitudes de colas, aforos vehiculares, aforos peatonales, aforo vehicular dentro del grifo, lista de chequeos, tiempo de

semáforos y la geometría de la intersección, cuyas definiciones y proceso de cada una de estas tareas serán explicados en la siguiente sección.

4.1.3. Recolección de datos de campo

La toma de datos de campo se realizó el día viernes 23 de enero del 2015 durante el periodo de una hora (9:30am–10:30am) donde involucra todas las actividades mencionadas en el párrafo anterior y que serán descritos a continuación:

- **Videograbación**

Esta actividad resulta ser esencial para nuestro proyecto, debido a que queda registrado el funcionamiento del sistema, con el fin de poder observar algunos detalles que sean necesarios como la velocidad de viaje, longitud de cola, dimensión de la geometría u otros parámetros de eficiencia relevantes.

Esta actividad fue realizada en dos ocasiones, tanto para la calibración y validación del proyecto; la filmación del funcionamiento del tráfico se realizó con la ayuda de una cámara profesional por el periodo de una hora, cuyas características se puede apreciar en la figura 20.



Figura 20. Cámara profesional utilizada

Fuente: Elaboración propia

Por último, se debe resaltar que esta actividad se realizó desde el 4to piso de un hotel ubicado en el cruce de la Calle Andalucía y la Av. Córdoba, pues resultó el lugar más adecuado para el registro del tráfico, tal como se puede apreciar en la Figura 21.



Figura 21. Ubicación del hotel

Fuente: Adaptado de google streetview

- **Longitud de cola**

Dado los lugares para la toma de datos de este parámetro, el equipo encargado realizó marcaciones previas en las veredas que sirvió como herramienta de medición y poder facilitar el trabajo. A continuación se presenta la figura 22, en donde se puede apreciar la toma de mediciones.



Figura 22. Lugares asignados

Fuente: Adaptado de google streetview

- **Aforo vehicular**

Cada miembro se distribuye en los lugares designados dentro de la intersección tal como lo muestra la Figura 23 y la tabla 2 para la toma de datos. En adición a lo mencionado, tanto para el aforo vehicular, peatonal se sigue la recomendación de dividir el periodo de una hora en intervalos de 15 minutos.



Figura 23. Lugares asignados

Fuente: Adaptado de google streetview

Tabla 2. Modelo referencial para el registro de datos

TIEMPO	DIRECCION DEL FLUJO VEHICULAR		
9:30-9:45			
9:45-10:00			
10:00-10:30			
TOTAL			

Fuente: Gestión del tránsito (2015)

- **Aforo peatonal**

Con la misma idea principal del aforo vehicular, se realizó apuntes de las circulaciones de los peatones dentro del sistema desde los lugares asignados tal como se puede observar en la figura 24.



Figura 24. Lugares asignados

Fuente: Adaptado de google streetview

Tabla 3. Modelo referencial para el registro de datos

TIEMPO	DIRECCION DEL FLUJO PEATONAL		
9:30-9:45			
9:45-10:00			
10:00-10:30			
TOTAL			

Fuente: Gestión del tránsito (2015)

- **Aforo vehicular del grifo**

De manera similar al registro de datos de los aforos anteriores, se procede a recolectar la circulación de los vehículos (salidas y entradas) dentro del grifo, tal como muestra la figura 25.



Figura 25. Lugares asignados

Fuente: Adaptado de google streetview

- **Tiempo de semáforos**

Al igual que el resto de actividades, esta se logró con la ayuda de los estudiantes del curso de Gestión del tránsito, donde se debió detectar las fases de movimientos permitidos en la intersección y se registró el tiempo de cada uno de ellas mediante un cronómetro.



Figura 26. Semáforos presentes en la intersección

Fuente: gestión del tránsito (2015)

- **Geometría del sistema**

Esta actividad consistió en recorrer toda la intersección para registrar detalles importantes tal como las dimensiones de las medianas presentes, medidas de los estacionamientos, distancia entre los carriles, longitudes de aceras, dimensiones de las rampas, entre otros detalles que sea de relevancia en el sistema .

- **Lista de chequeos**

Finalmente , para esta actividad se debió tomar registro en base al formato preparado para la lista de chequeo de la intersección ; es decir ,siguieron las especificaciones detalladas en el formato y poder dar el visto bueno (✓) o no (X) según lo observado en campo.

Todos los detalles conseguidos en esta etapa serán útiles en el momento de presentar la propuesta de mejora para la intersección. Por lo tanto, se deberá procesar los datos de campo conseguidos, los cuales serán presentados en la siguiente sección.

4.2. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO

En esta sección se presenta los resultados obtenidos de los datos de campo mediante la etapa realizada previamente.

- **Videgrabación**

En esta sección se presenta el panorama general captado por la filmadora desde su ubicación dentro de la intersección



Figura 27. Imágenes captadas desde el ángulo de la cámara

Fuente: elaboración propia

- **Longitud de cola**

Se presenta los resultados obtenidos en la toma de datos, en el que se separa las longitudes de cola según cada ubicación asignada. Además se señala el promedio y desviación estándar, valores que servirán de mucho ayuda para el momento de la calibración en caso se requiera de él.

Tabla 4.Registro de longitudes de colas

LONGITUD DE COLA					
número	Longitud de cola 15	Longitud de cola 2	Longitud de cola 14	Longitud de cola 17	Longitud de cola 16
1	58,38	5,85	21,5	33,7	6
2	57,4	3,9	23,5	40,7	10
3	67,2	1,95	15	30,7	12
4	38,68	1,95	19	32,7	15
5	49,8	0	24,5	35	12
6	47	1,95	18,5	34	12
7	36,58	0	20	33,7	0
8	35,78	3,9	16	35,7	15
9	36,88	1,95	16	28	25
10	68,44	3,9	19	33	5
11	48,2	0	12	32	5
12	59,36	1,95	20	54	10
13	47,4	1,95	39,5	24	10
14	50,5	0	13	29	20
15	67,2	1,95	32	37	10
16	48,6	1,95	10	50	10
17	48,5	3,9		44	15
18	48,8	0		37	20
19	50,5	1,95		29	8
20	36,88	0		37	20
21	47,8	0		53	17
22	48,7			52	5
23	47,3			52	12
24	46,2			47	8
25	44,7			46	12
26	42,1			26	5
27	57,36			25	5
28	54,7			45	6
29	48,1			43	20
30	58,38			32	20
31	45,5			44	15
32	47,6			42	
33	46,7			36	
PROMEDIO	49,61272727	1,857142857	19,96875	37,97575758	11,77419355
DESV. EST.	8,523897023	1,686066852	7,453117357	8,578535361	5,948163175

Fuente: Gestión del tránsito (2015)

- **Aforo vehicular**

En esta sección se presenta el Flujograma para la salida de vehículos con mayor volumen, en este caso fue la Av. Bolívar (PUCP-BRASIL), la descripción de los demás Flujograma se puede encontrar en la sección de ANEXOS

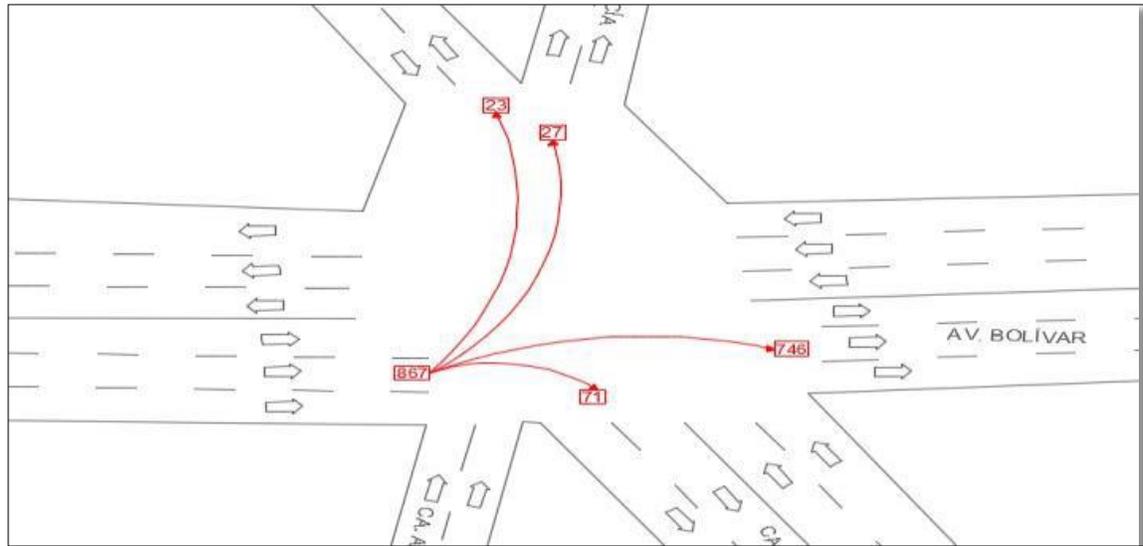


Figura 28. Flujograma de Av. Bolívar (Universitaria-Brasil)

Fuente: Gestión del tránsito (2015)

Tabla 5. Distribución del aforo vehicular

HACIA	Av. Córdoba(sur)		Av. Brasil					Av. Córdoba(norte)		Calle Andalucía		
	AUTO	MOTO	AUTO	COMBI	CAMIÓN	MOTO	BUS	AUTO	MOTO	AUTO	COMBI	CAMIÓN
9:30-9:45	21	3	160	28	0	3	3	3	0	7	0	0
9:45-10:00	20	2	154	32	1	2	5	6	1	4	2	2
10:00-10:15	24	1	146	23	0	6	6	9	0	6	2	1
10:15-10:30	0	0	139	27	1	5	5	4	0	3	0	0
Subtotal	65	6	599	110	2	16	19	22	1	20	4	3
Total	71		746					23		27		

Fuente: Gestión del tránsito (2015)

- **Aforo peatonal**

De manera similar al trabajo obtenido para el aforo vehicular, se presenta a continuación el flujo de peatones con la respectiva dirección que siguen hacia su destino.

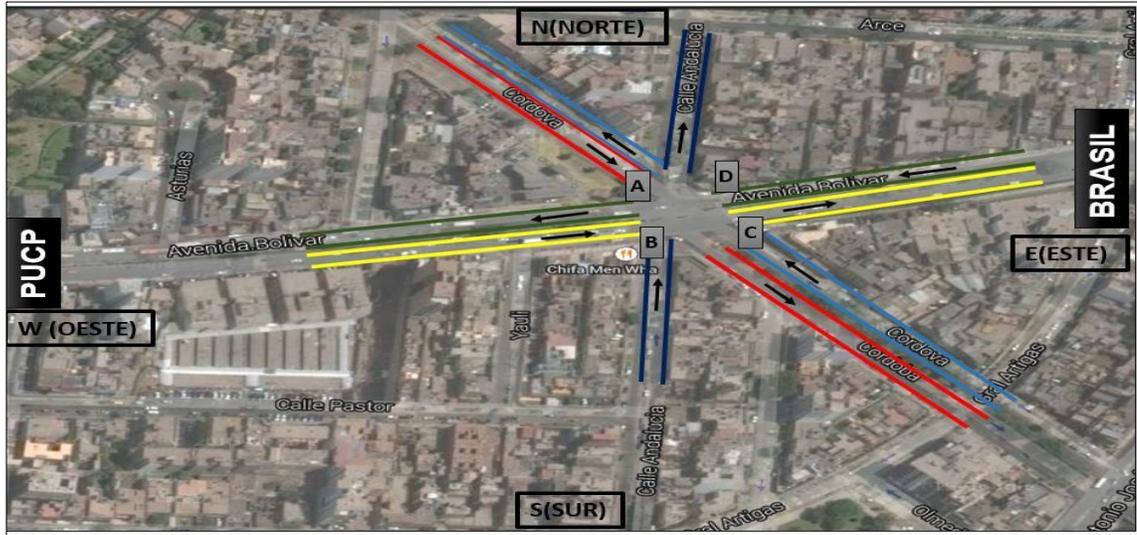


Figura 29.Lugares estratégicos

Fuente: Adaptado de google streetview

Tabla 6.distribución de del aforo peatonal

HORA	A → B	B → A	B → C	C → B	C → D	D → C	D → A	A → D
9:30-9:45	29	12	44	34	18	6	13	9
9:45-10:00	38	10	36	57	13	14	16	11
10:00-10:20	36	17	17	23	6	17	15	12
Total	103	39	97	114	37	37	44	32

Fuente: Gestión del tránsito (2015)

- **Aforo vehicular del grifo**

En este caso, similar a los flujos anteriores, se presenta el flujo para las entradas y salidas del grifo.



Figura 30. flujo vehicular en el grifo

Fuente: Adaptado de google streetview

Tabla 7. Flujo vehicular en el grifo

entrada por la Av. Córdoba (1)			entrada por la Av. Bolívar (2)		
Tipo vehículo	Cantidad	Parcial	Tipo vehículo	Cantidad	Parcial
Autos	52	0,897	Autos	42	0,955
Motos	2	0,034	Motos	0	0,000
Carretilla motorizada	2	0,034	Carretilla motorizada	0	0,000
Camión	2	0,034	Camión	0	0,000
Minivan	0	0,000	Minivan	2	0,045
Total	58	1,000	Total	44	1,000

salida por la Av. Córdoba(3)			salida por la Av. Bolívar (4)		
Tipo vehículo	Cantidad	Parcial	Tipo vehículo	Cantidad	Parcial
Autos	38	0,864	Autos	52	0,963
Motos	2	0,045	Motos	0	0,000
Carretilla motorizada	2	0,045	Carretilla motorizada	0	0,000
Camión	0	0,000	Camión	2	0,037
Minivan	2	0,045	Minivan	0	0,000
Total	44	1,000	Total	54	1,000

Fuente: Gestión del tránsito (2015)

- **Tiempo de semáforos**

Se presenta las fases del tiempo para los semáforos ubicados dentro de la intersección



Figura 31. Tiempo de las fases de los semáforos

Fuente: Gestión del tránsito (2015)

- **Geometría del sistema**

El plano logrado se puede apreciar en la sección de ANEXOS.

- **Lista de chequeos**

Los resultados de las especificaciones de la lista de chequeo se ubican en la sección de anexos

CAPÍTULO 5. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROYECTO DE INGENIERÍA

5.1. Construcción del modelo

Como parte de la metodología propuesta, se continúa con la etapa de la construcción del modelo, pues ya contamos con el registro de los datos de campo que servirán como información de entrada para la microsimulación que se desarrollará mediante el software Vissim. Entonces, se pasará a presentar los pasos más relevantes para la creación del modelo:

5.1.1. Imagen de fondo (Background)

Se utiliza el plano de la intersección, el cual nos sirve de referencia para la creación de la red vial, el cual se puede apreciar en la figura 32.

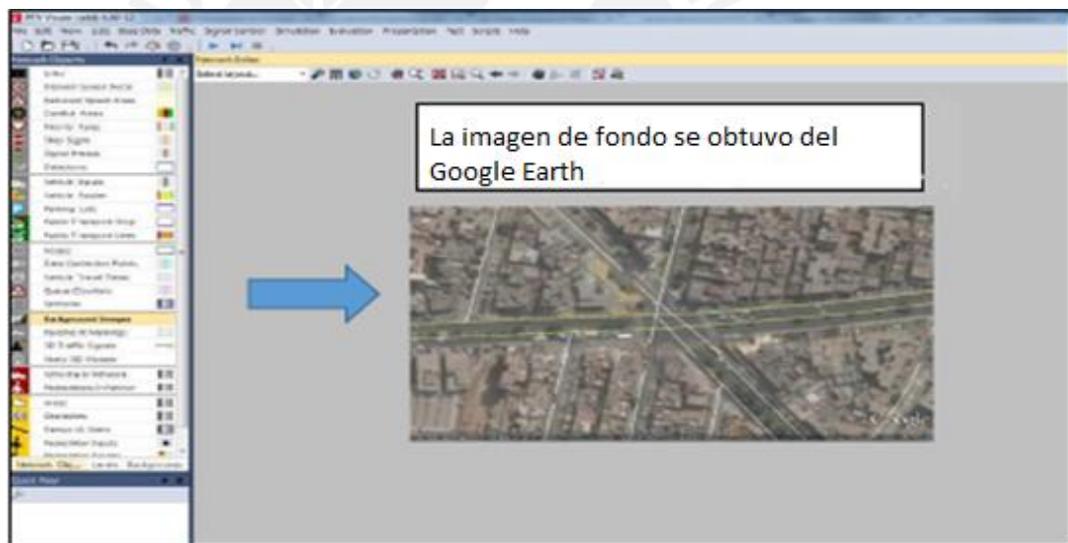


Figura 32. Background utilizado

Fuente: elaboración propia

5.1.2. Link y conectores

Estas herramientas del software representan las vías diseñadas dentro del sistema, los cuales serán definidos por los números de carriles, distancia entre carriles, la dirección de viaje permitido, entre otros. En cambio los conectores, sirven para poder unir par de links.

Por ejemplo, para la creación de la vía Av. Bolívar (vía principal) se cuenta con los datos que muestra la Tabla 8, cuya creación se puede apreciar en la figura 33.

Tabla 8. Datos de ingreso para la creación de una vía

Link	Universitaria -Brasil
Número de carriles	3
Dirección	→
Ancho de carril	3m

Fuente: elaboración propia

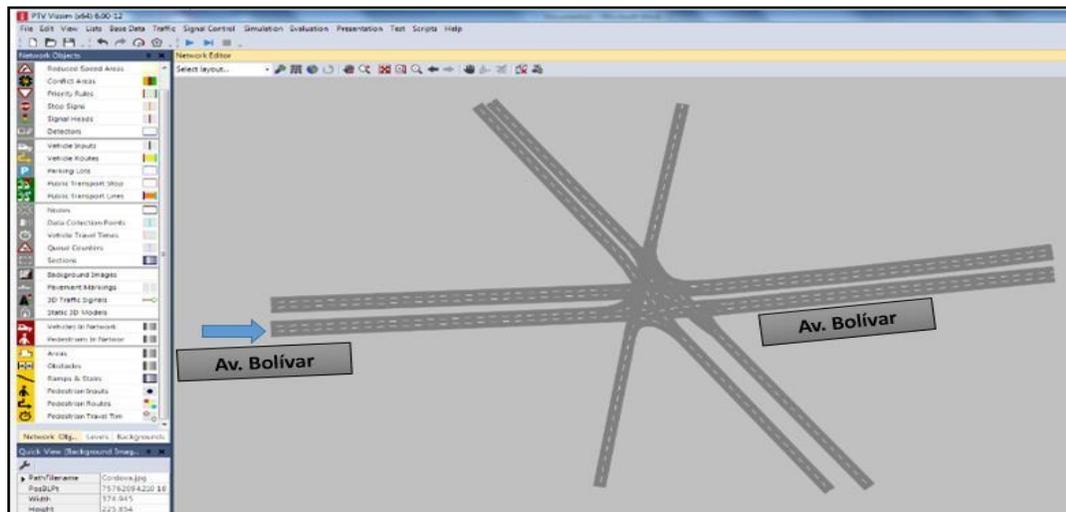


Figura 33. Creación de carriles de la intersección

Fuente: elaboración propia

5.1.3. Definición de vehículos y peatones

Mediante los aforos registrados, se define los tipos de vehículos o peatones que circulan dentro de una vía creada, así como su velocidad esperada y el porcentaje de participación con respecto al flujo total. Siguiendo con la explicación para la creación de la vía de la Av. Bolívar, se presenta buses, camiones, automóviles tal como se detalla en la tabla 9 y se puede apreciar en la figura 34.

Tabla 9. Datos de ingreso de velocidad esperada

TIPO DE VEHÍCULO	VELOCIDAD DESEADA	FLUJO DE PARTICIPACIÓN
Bus	50km/h	0.972
Camiones(HGV)	50km/h	0.008
Carro	50km/h	0.022

Fuente: elaboración propia

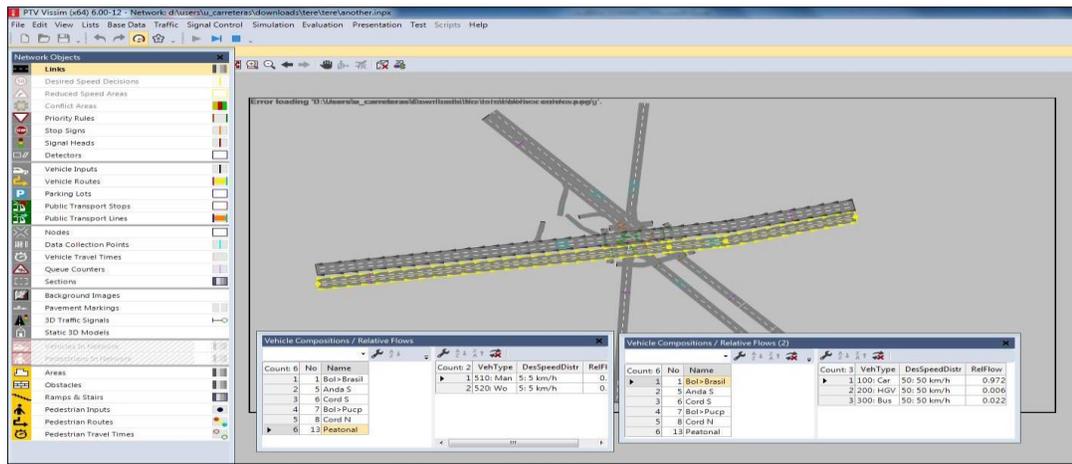


Figura 34. Composición de vehículos y peatones

Fuente: elaboración propia

5.1.4. Datos de entrada

Una vez creada las vías y definido los vehículos dentro del sistema, se pasa a ingresar los datos de campo realizado en la etapa de la recolección de datos tal como el aforo vehicular, peatonal, tiempo de semáforos, entre otros.

- **Entrada de vehículos y peatones (vehicule inputs)**

En este paso se ingresa como dato la cantidad de vehículos o peatones que circulan por una vía determinada; el decir el volumen registrado. Para el ejemplo de la Av. Bolívar, se cuenta con un flujo de 661 vehículos /hora distribuidos en los tipos de vehículos asignados para esta vía.

- **Asignación de rutas (vehicule routes –static)**

En esta parte, se distribuye el flujo vehicular o peatonal de una vía entre las posibles rutas que puede seguir los vehículos. En el ejemplo de la Av. Bolívar, los vehículos se dirigen hacia Av. Brasil, Av. Córdova y Calle Andalucía con una determinada fracción (%), los cuales son detallados en la Tabla10 y cuya representación se presenta en la figura 35.

Tabla 10.Datos de ingreso de velocidad esperada

Dirección de la ruta	Flujo que se dirige a la ruta seleccionada
Continúa Av. Bolívar	0.86
Hacia Av. Córdova(La leña)	0.082
Hacia Av. Córdova	0.027
Hacia Calle Andalucía	0.031

Fuente: elaboración propia

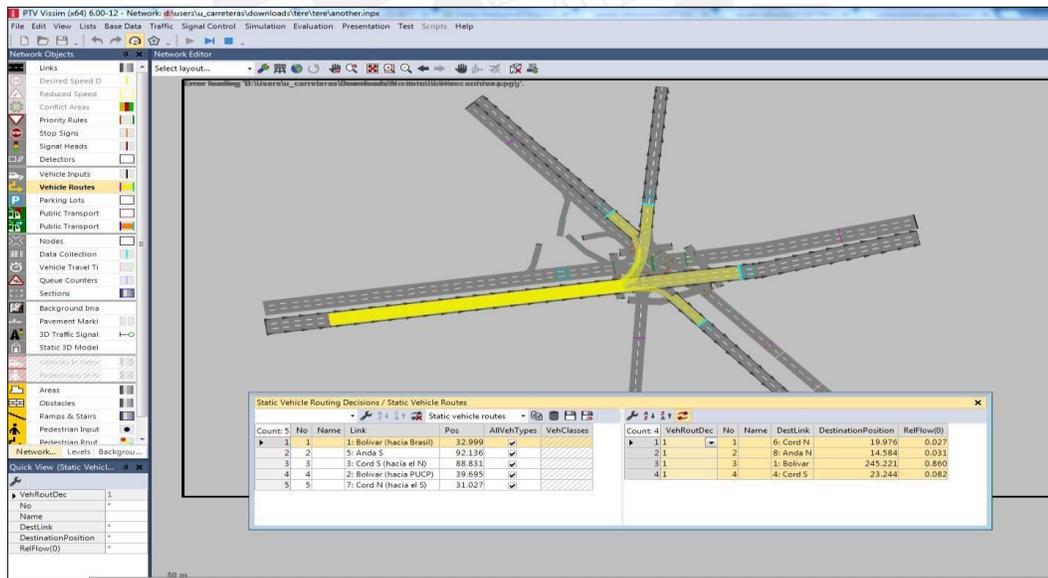


Figura 35.Asiginacion de rutas

Fuente: elaboración propia

5.1.5. Señales de control

Hasta el momento ya se cuenta con el funcionamiento del modelo, sin embargo todavía no se logra que la intersección se encuentre bajo el control de semáforos, entonces mediante las señales de controles que representan los semáforos habituales en las calles de Lima se logrará esto.

En la zona del proyecto que se estudia se cuenta con 4 semáforos, los cuales cuentan con 3 grupos de señales y un solo controlador dentro de la intersección, cuya descripción se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Grupo de señales

GRUPO	Link
Grupo1	Av. Bolívar
Grupo2	Av. Córdova
Grupo3	Calle Andalucía

Fuente: elaboración propia

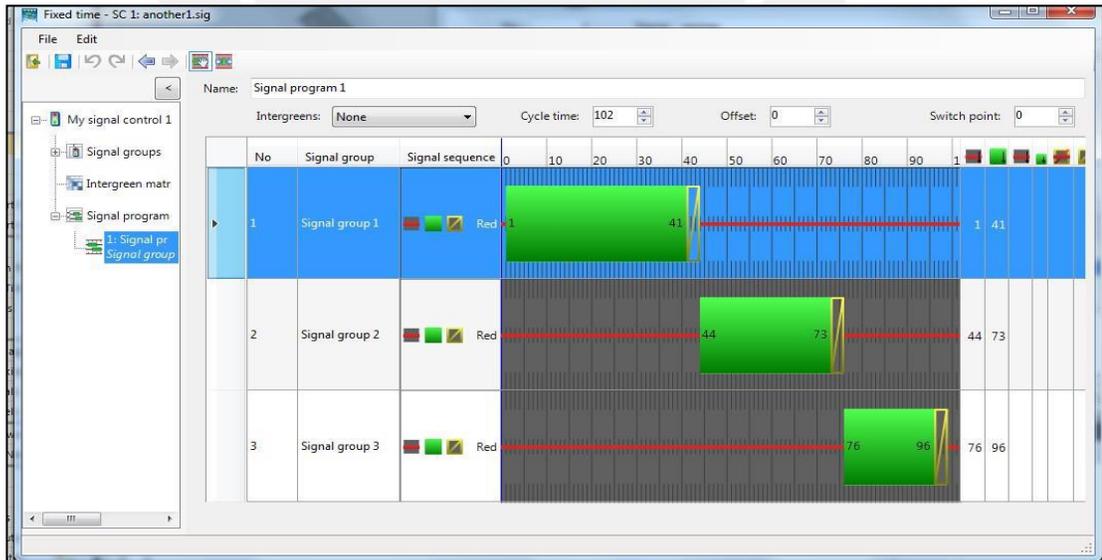


Figura 36. Grupo de señales, grupo de fases, tiempo del semáforo

Fuente: elaboración propia

5.1.6. Reglas de prioridades

Finalmente, se procede a completar el funcionamiento del modelo mediante prioridades entre vehículo-vehículo; vehículos - peatones. Por ejemplo, para la Av. Bolívar, se debe priorizar al peatón cuando este se encuentra en medio de la pista y el semáforo cambia de rojo a verde, entonces los vehículos deben esperar que la persona cruce totalmente el carril.

Finalmente, en la figura 37 se puede apreciar la circulación de usuarios dentro de la intersección desde varios puntos de referencias (imágenes en 3D).

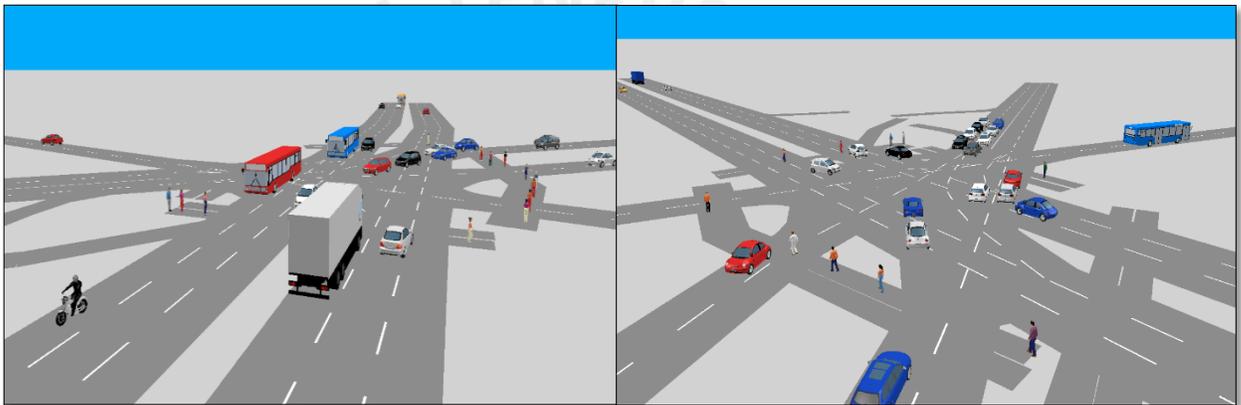


Figura 37. Circulación de vehículos y peatones dentro de la intersección

Fuente: elaboración propia

5.2. Verificación del modelo realizado

Este proceso consiste en verificar si los datos de entrada fueron los correctos, así como comprobar que los registros de campos son lógicos tales como el aforo vehicular, peatonal, longitudes de colas, etc.

Dadas las pautas, se debe mencionar que en el presente proyecto se pudo detectar que los valores numéricos de las longitudes de colas, recolectados en campo, de todas las vías no fueron los correctos, por ello se decidió considerar otro parámetro de eficiencia para poder realizar la calibración del modelo. En este caso fue el tiempo de viaje de un tramo de la Av. Córdova (sur), debido a que la filmación realizada captó el funcionamiento del tráfico de una manera apropiadamente en esta avenida.

5.3. Calibración del modelo

Como actividad siguiente a la verificación, se realiza la calibración del modelo, cuyo objetivo es replicar las condiciones locales de estudio. Esto se logrará mediante la modificación de los parámetros de Wiedemann hasta conseguir que los resultados obtenidos mediante el software representen a los de campo, con un cierto nivel de confiabilidad y margen de error.

Como se mencionó, el parámetro de eficiencia seleccionado en el presente proyecto es el tiempo de viaje para un intervalo seleccionado de la Av. Córdova (sur), cuyo valor promedio resultó de 2.65 segundos con una desviación estándar de 0.84 segundos. En la figura 38 se puede apreciar el intervalo considerado, de 28 metros aproximadamente, para la toma de tiempo de viaje.

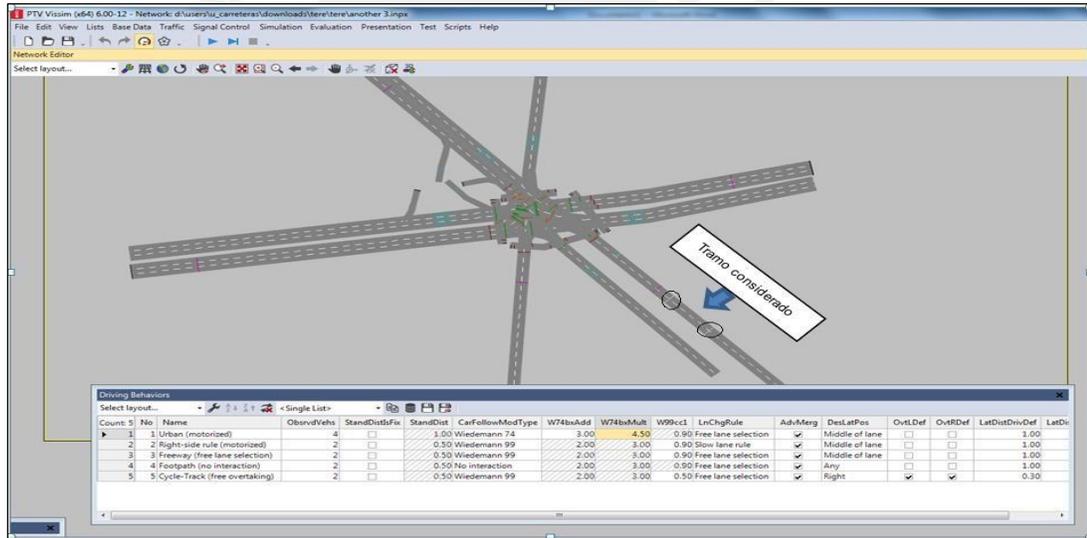


Figura 38. Tramo seleccionado para la calibración

Fuente: elaboración propia

5.3.1. Parámetros de evaluación

El número de corridas de la microsimulación, por intento, fue de 15 veces el cual cumple con el número de corridas mínimo recomendados por FHWA (2004). En el primer intento de calibración se trabajó con los parámetros de Wiedemann, que por defecto nos proporciona el software; en los siguientes intentos, se debió cambiar estos valores para nuestro propósito, los cuales se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12. Consideraciones para la calibración

INTENTO				VALORES		VISSIM		CAMPO	
	ax	bdd	bmul	minimo	maximo	MEDIA	DESVIACION	MEDIA	DESVIACION
1	2	3	3	2,32	2,57	2,41	0,06	2,65	0,84
2	1	3	3	2,34	2,57	2,42	0,04	2,65	0,84
3	1	2	2	2,30	2,30	2,37	0,04	2,65	0,84
4	0,5	2	2	2,30	2,46	2,37	0,04	2,65	0,84
5	1	3	2	2,31	2,50	2,39	0,06	2,65	0,84
6	1,25	3	3	2,34	2,57	2,42	0,06	2,65	0,84
7	1,5	3,5	3	2,35	2,76	2,44	0,10	2,65	0,84
8	1,5	3,5	3,5	2,34	2,69	2,43	0,08	2,65	0,84
9	1,5	4	4	2,36	2,66	2,46	0,09	2,65	0,84
10	1,75	4	4	2,36	2,66	2,46	0,09	2,65	0,84
11	1,25	4	4	2,36	2,66	2,46	0,09	2,65	0,84
12	1	4	4	2,36	2,66	2,46	0,09	2,65	0,84
13	1	5	4	2,42	4,37	2,65	0,49	2,65	0,84
14	1	4,75	4	2,40	2,88	2,49	0,12	2,65	0,84
15	1	4,5	4	2,39	3,00	2,52	0,18	2,65	0,84
16	1	4,25	4	2,39	2,63	2,46	0,07	2,65	0,84
17	1	4,25	4,25	2,36	3,04	2,51	0,17	2,65	0,84
18	1	4,5	4,5	2,40	2,63	2,49	0,07	2,65	0,84
19	1	4,75	4,5	2,37	3,06	2,50	0,16	2,65	0,84
20	1	4,75	4,25	2,38	2,70	2,48	0,08	2,65	0,84
21	1	4,5	4,75	2,41	3,02	2,57	0,18	2,65	0,84
22	1	4,25	4,75	2,38	3,04	2,49	0,16	2,65	0,84
23	1	3	5	2,37	4,32	2,58	0,49	2,65	0,84
24	1	3	4	2,31	3,60	2,42	0,07	2,65	0,84
25	1	3	4,5	2,34	5,53	2,64	0,80	2,65	0,84
26	1	4,75	4,75	2,426228	2,893211	2,549931	0,144927	2,65	0,84
27	1	5	3	2,400387	3,256589	2,544754	0,223984	2,65	0,84

Fuente: Elaboración propia

Para el Intento 1, los parámetros de a_x , $b_{x\text{ add}}$ y $b_{x\text{ mult}}$ fueron 2, 3 y 3 respectivamente, con los cuales se obtuvo una media muestral de 2.41 seg. y una desviación estándar de 0.23 seg. frente a los valores obtenidos en campo de 2.65 seg y 0.84. Si bien es cierto que a partir de estos valores el modelo podría resultar ser calibrado, no es admisible aceptar estos parámetros, pues se considera una distancia vehicular de 2m, cuyo valor entre vehículos detenidos no resulta lógico para el estilo de manejo en el Perú.

Entonces, a partir de los resultados se seleccionaron los 2 intentos (23 y 25) con una media muestral más cercana a la obtenida en campo, tal como se detalla en la tabla 13, que a simple vista podrían ser el conjunto de parámetros requeridos. Sin embargo, se les debe de verificar mediante un análisis estadístico (prueba de hipótesis) que cuenta con un nivel de confiabilidad (95%) y margen error permitido.

A continuación se presenta las consideraciones para esta hipótesis, con el cual se podrá rechazar o aceptar los valores obtenidos:

Hipótesis nula: Si $\mu_1 = \mu_2$

Condición:

Entonces se tiene el siguiente intervalo de confianza:

$$(X_1 - X_2) - t_{(\alpha/2)} \times \sqrt{\left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right) \times Sp^2} < (\mu_1 - \mu_2) < (X_1 - X_2) + t_{(\alpha/2)} \times \sqrt{\left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right) \times Sp^2}$$

$$Sp^2 = \frac{(N_1 - 1)s_1^2 + (N_2 - 1)s_2^2}{N_1 + N_2 - 2}$$

Nivel de confianza: 95%

Gdl: $N_1 + N_2$

Donde:

X_1 : media muestral de campo

X_2 : media muestral de Vissim

N_1 : cantidad de datos considerados para la muestra de campo

N_2 : cantidad de datos considerados para la muestra de Vissim

S_1 : desviación estándar muestral de campo

S_2 : desviación estándar muestral de Vissim

Gdl: grados de libertad

$t_{(\alpha/2)}$: valor obtenido mediante la distribución t-student, grados de libertad y nivel de confianza

Dadas las consideraciones de la Hipótesis Nula, se analizarán los parámetros de los intentos 23 y 25, debido a que resultan ser más cercanos a la media muestral de campo.

1) Intento 23 ($a_x=1$; $b_{xadd}=3$; $b_{xmult}=5$)

$X_1=2.65$; $S_1=0.84$; $N_1=300$

$X_2=2.58$; $S_2=0.49$; $N_2=15$ $t_{(\alpha/2)}=1.96$; nivel de confianza: 95%; margen de error = 0.25s, Gdl=315

Número mínimo de corridas: $N^\circ = \left(\frac{1.96 \times 0.49}{0.25}\right)^2 = 14.75$; por lo tanto 15 corridas son suficientes.

Los resultados para este análisis se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Resultados obtenidos para los parámetros del intento 23

Paso	Expresión	Valor numérico
1	$X_1 - X_2$	0.07
2	$N_1 - 1$	299
3	$N_2 - 1$	14
4	$N_1 + N_2$	315
5	S_1^2	0.71
6	S_2^2	0.24
7	$1/N_1$	0.003
8	$1/N_2$	0.07
9	$\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}$	0.07
10	$(N_1 - 1) \times S_1^2 + (N_2 - 1) \times S_2^2$	215.65
11	S_p^2	0.69
13	$\sqrt{\left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right) \times S_p^2}$	0.22
14	expresión "13" $\times t_{\alpha/2}$	0.43
15	extremo negativo : "1" - "14"	-0.36
16	extremo positivo : "1" + "14"	0.5

Fuente: Elaboración propia

Una vez calculado el intervalo de confianza, se tiene que (u1-u2) varía entre los valores de -0.36 y 0.50. Por lo tanto, la hipótesis nula se acepta, debido a que el intervalo de confianza contiene el valor numérico CERO.

2) Intento 25($a_x=1$; $b_{xadd}=3$; $b_{xmult}=4.5$):

$X_1=2.65$; $S_1=0.84$; $N_1=300$ $X_2=2.64$; $S_2=0.80$; $N_2=15$ $t_{(\alpha/2)}=1.96$;

nivel de confianza: 95%; margen de error=0.25 s, Gdl=315

Número mínimo de corridas: $N^\circ = \left(\frac{1.96 \times 0.80}{0.25}\right)^2 = 39$; por lo cual, 15 corridas no son suficientes

Por lo tanto, al haber analizado estos dos juegos de parámetros dentro del proceso de calibración, se selecciona el intento 23, pues este si cumple con lo requerido previamente.

5.4. Validación del modelo

Como etapa final de la construcción del modelo, se debe validar lo realizado mediante un análisis de la simulación del proyecto con un nuevo conjunto de datos de entradas de campo, cuya obtención fue posible por la filmación realizada la primera semana de Marzo, específicamente el día viernes 6 de marzo del 2015 por el periodo de 1 hora (9:30am-10:30am).

Entonces en la siguiente evaluación del modelo se ingresa este nuevo registro de datos de campo y se verifica que los resultados obtenidos para el parámetro de eficiencia seleccionado (tiempo de viaje), sea similar entre lo obtenido en campo y el modelo realizado.

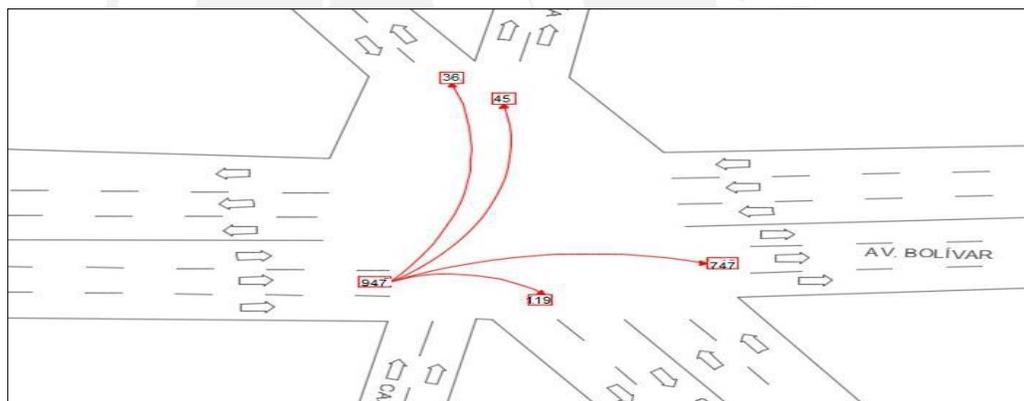


Figura 39. Flujograma de Av. Bolívar (Oeste-Este)

Fuente: elaboración propia

En la figura 39, se presenta el nuevo flujogramas obtenido, en la etapa de validación, de la av. Bolívar, mientras que los demás aforos se puede apreciar en la sección de anexos. Asimismo, se presenta la tabla 14, el cual muestra la distribución de vehículos en esta nueva toma de datos.

Tabla 14. Distribución de vehículos de la Av. Bolívar

HACIA	Av. Brasil	Av. Córdoba(sur)	Calle Andalucía	Av. Córdoba(norte)
BICICLETA	3	3	0	0
CAMIÓN	22	5	3	3
VAN	8	0	0	1
CAMIONETA	82	11	3	4
AUTO	468	98	35	26
COMBI	2	0	1	2
BUS	142	1	0	0
MOTO	20	1	3	0
TOTAL	747	119	45	36

Fuente: elaboración propia

A continuación se presenta los resultados obtenidos a partir del nuevo registro de datos del campo; asimismo, se debe de acotar que los números semillas evaluados fueron los mismos para la calibración (1 al 15), pues es necesario evaluarlo con las mismas condiciones. Lo obtenido en campo fue una media de 2.99 seg y una desviación estándar de 1.02, mientras los resultados obtenidos por medio del software Vissim se pueden apreciar en la tabla 16.

Número mínimo de corridas: $N^{\circ} = \left(\frac{1.96 \times 0.37}{0.25}\right)^2 = 8.41$; por lo tanto 15 corridas son suficientes.

Tabla 15. Resultados de la validación del modelo

Vissim	
1.00	2.99
2.00	2.69
3.00	2.71
4.00	2.57
5.00	2.58
6.00	3.42
7.00	2.50
8.00	3.60
9.00	3.24
10.00	2.53
11.00	2.80
12.00	3.25
13.00	3.20
14.00	2.50
15.00	2.62
Media	2.88
Desviación	0.37

Fuente: elaboración propia

De la misma manera a los resultados obtenidos en la calibración, en esta sección también se debe de verificar los resultados mediante la prueba de hipótesis nula, en donde el cálculo desarrollado se aprecia en la tabla.

Tabla 16.Resultados obtenidos para la validación del modelo

Paso	ecuación	valor
1	$X1-X2$	0.11
2	$N1-1$	419.00
3	$N2-1$	14.00
4	$N1+N2-2$	433.00
5	$S1^2$	1.04
6	$S2^2$	0.14
7	$1/N1$	0.00
8	$1/N2$	0.07
9	$\frac{1}{N1} + \frac{1}{N2}$	0.07
10	Sp^2	1.01
11	$\left(\frac{1}{N1} + \frac{1}{N2}\right) xSp^2$	0.07
12	$\sqrt{\left(\frac{1}{N1} + \frac{1}{N2}\right) xSp^2}$	0.27
13	$\sqrt{\left(\frac{1}{N1} + \frac{1}{N2}\right) xSp^2} \times t(\alpha/2)$	0.54
14	Extremo negativo("1"- "13")	-0.43
15	Extremo positivo("1"+ "13")	0.65

Fuente: elaboración propia

Para este segundo análisis, el (u1-u2) varía entre los valores -0.43 y 0.65, por lo tanto, se valida la hipótesis nula, pues el intervalo de confianza incluye al valor numérico CERO. Por lo tanto, se debe decir que el modelo ha sido satisfactoriamente validado y está listo para el análisis correspondiente de otros escenarios.

CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL PROYECTO EN ESTUDIO

6.1. Análisis de resultados

En este acápite se analizará los parámetros de eficiencias necesarios para determinar la calidad del funcionamiento del tráfico en la intersección estudiada y presentar propuestas de mejora, en caso fuera necesario, con el fin de optimizar el diseño vial y verse reflejado en la circulación de los usuarios.

Al realizar la construcción del modelo microscópico, se debió recolectar los datos de campo en dos ocasiones, por tal motivo, se trabajará con los aforos de mayor demanda total para la intersección. Dicho cálculos se puede apreciar en la tabla tabla18.

Tabla 17. Demanda vehicular

Salida de vehiculos	REGISTRO DE DATOS	
	Calibración	Validación
Cordova Sur	345	385
Cordova Norte	180	127
Andalucia Sur	43	113
Brasil-PUCP	867	823
PUCP-Brasil	667	947
TOTAL	2102	2395

Fuente : Elaboración propia

Se puede observar que en la etapa de validación la demanda vehicular fue mayor por el periodo de una hora (2395veh/hora). Entonces, la evaluación de la intersección se realizará con este aforo vehicular, además de obtener resultados del funcionamiento del tráfico dentro de la intersección de manera general o por accesos según la importancia del parámetro de eficiencia. Por otro lado, se debe mencionar nuevamente que los resultados que se presentarán a continuación fueron el resultado de la evaluación de 15 corridas con el software Vissim 6.0.

- **Longitudes de colas**

Para las mediciones de las longitudes colas se tuvo en cuenta las fases de los semáforos. Se midieron estos parámetros en cada uno de los accesos (entradas vehiculares a la intersección) y se tomaron los valores promedios en cada uno de ellos. A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada acceso en la figura 40.

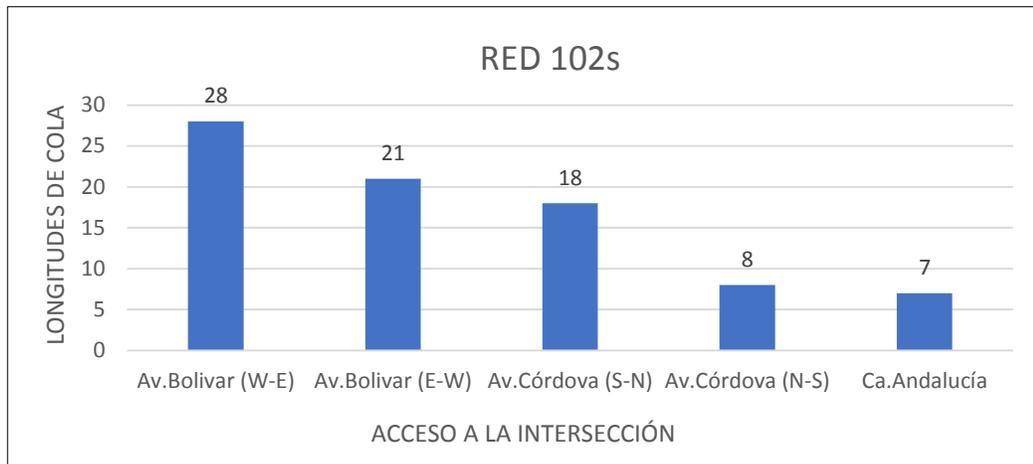


Figura 40. Longitudes de colas de la red inicial

Fuente: elaboración propia

Se puede apreciar que en el acceso a la intersección, Calle Andalucía, es donde se produce la menor formación de longitud de cola con un valor de 7m, cuyo valor podría representar la formación de 2 vehículos aproximadamente; mientras la máxima longitud de cola se produce en una de las vías principales con un valor de 28 m, el cual puede representar a 7 vehículos. Por lo tanto, se puede deducir que este es el principal responsable en las acumulaciones de demoras del funcionamiento de la red. Sin embargo, resulta lógico obtener este valor en este acceso, debido a que aquí se ubica un paradero, lo que no se puede observar en los demás.

- **Velocidad de viaje**

En este caso, el análisis fue para la intersección en general con el fin de determinar el funcionamiento de la red vial según este parámetro. El valor obtenido fue de 15 km/h por vehículo. Por lo tanto, se puede afirmar que el funcionamiento de la intersección según este parámetro de eficiencia no es muy adecuado, pues los vehículos se desplazan

con una velocidad baja. Sobre todo si en este lugar se presenta un mayor número de vehículos particulares.

- **Demora de viaje**

Se utiliza este parámetro de eficiencia, pues es uno de lo más utilizado, debido a su relevancia para el funcionamiento de la intersección, pues aquí se considera el tiempo perdido en un viaje que un vehículo realiza de un punto a otro debido a la concentración del tráfico con el fin de poder obtener el funcionamiento de la red vial .En este caso se obtuvo una demora promedio por vehículo de 38,11seg. Cuyo valor numérico representa un funcionamiento regular, según este parámetro.

6.2. Propuestas de mejoras

Al haber realizado el análisis de la red, y con el propósito de obtener una mejora en su funcionamiento se presentarán dos propuestas, las cuales puedan ser tomadas en cuenta según la preferencia y comodidad.

Como primera propuesta se pretende hacer un cambio del ciclo actual del semáforo (optimizarlo). Entonces, el valor resultante será de 70 segundos repartidas entre las mismas fases de tiempo (verde, ámbar, rojo), Así mismo se mantiene las fases de movimiento en la intersección .A continuación se presenta el nuevo ciclo de semáforo en la figura 41 , el cual pudo ser hallado mediante el uso del programa SYNCHRO 8.0 .

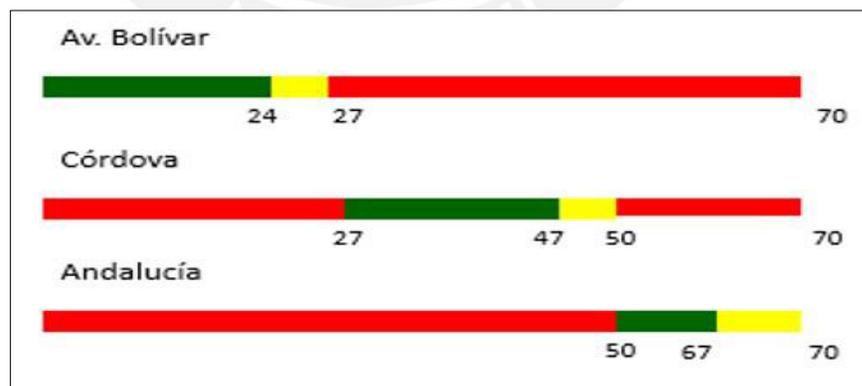


Figura 41.Fases de tiempo como propuesta para la intersección

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos de los parámetros de eficiencias seleccionados muestran mejorías en todos ellos.

Las longitudes de colas obtenidas se muestran en la figura 42, en donde se puede apreciar una clara mejoría de todas ellas desde el valor máximo hasta el valor mínimo de ellas.

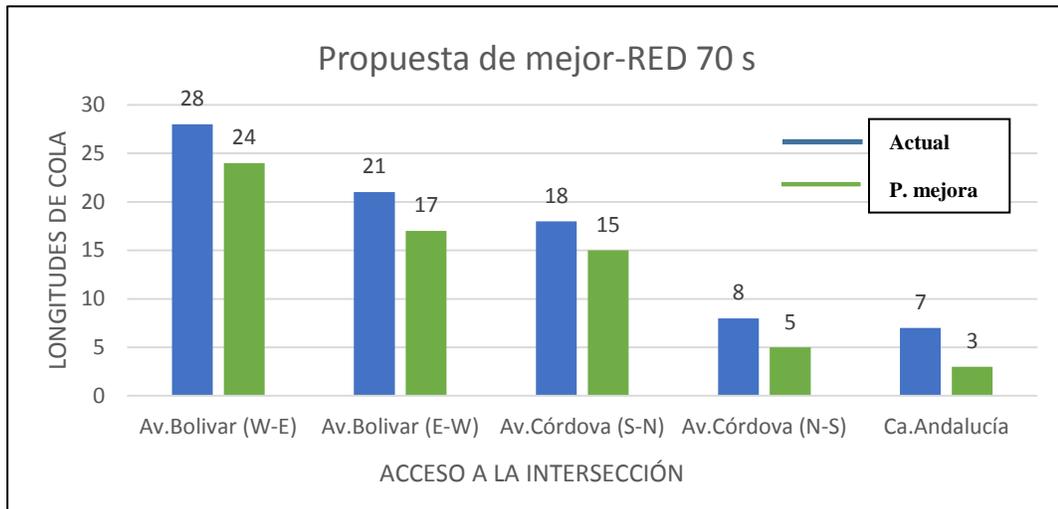


Figura 42. Longitudes de colas para el ciclo de semáforo de 70 segundos.

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, para la demora promedio por vehículo en la intersección, se obtiene el valor de 33 seg, cuyo valor numérico demuestra un claro avance con respecto al de la red inicial (38,11seg \approx 39), es decir se obtuvo una disminución del 15% del valor original.

Finalmente, para la velocidad promedio de los vehículos presentes en la intersección, resulta ser de 18 km/h, es decir un aumento de 3km/ h con respecto al inicial (una elevación del 20 % del dato original)

Como segunda propuesta, se desea trasladar el flujo de circulación de vehículos por la calle Andalucía hacia la Av. Córdoba (sur-norte), pues esta resultó ser bajo en comparación con los demás accesos ,incluso se presentaba momentos de tiempo en que no había circulación de ningún tipo de vehículos. Además que la circulación por esta vía era netamente por vehículos particulares. En la figura 43, se puede apreciar el flujo que se desea trasladar hacia otro acceso de la intersección.

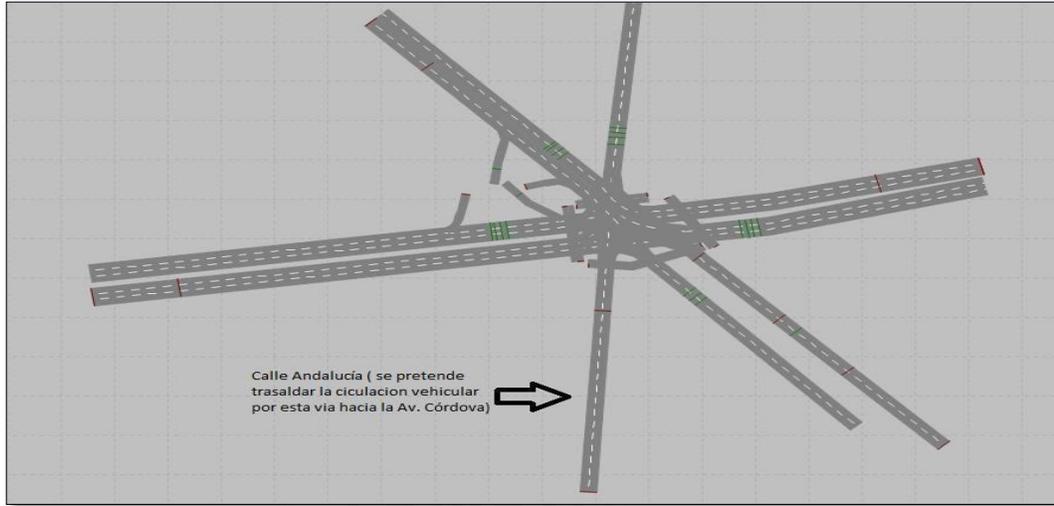


Figura 43. traslado del flujo de circulación de vehículos

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, se pretende que la intersección trabaje con el funcionamiento óptimo del ciclo del semáforo, por lo tanto, se hace el uso del programa SYNCHRO, y se obtiene el valor de 65 segundos para esta nueva red vial. Este nuevo diseño se puede apreciar en la figura 44.

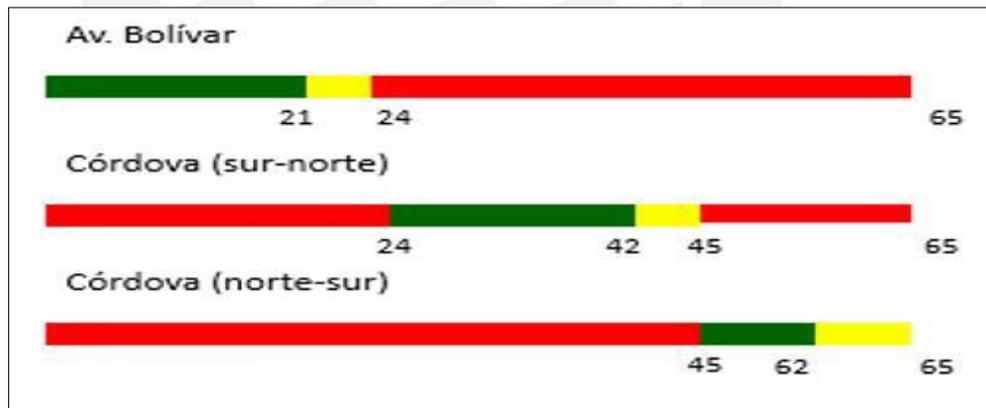


Figura 44. Fases de tiempo del semáforo diseñado

Fuente: elaboración propia

El número de fases se mantiene en 3, sin embargo, las fases de movimientos serán los siguientes: fase 1, Av. Bolívar; fase2, Av. Córdova (sur-norte) y fase 3, Av. Córdova (norte-sur). Lo mencionado anteriormente se puede apreciar en la figura 45.

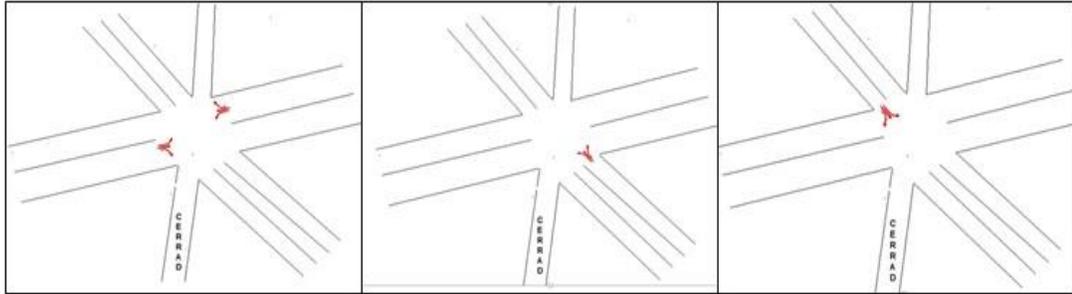


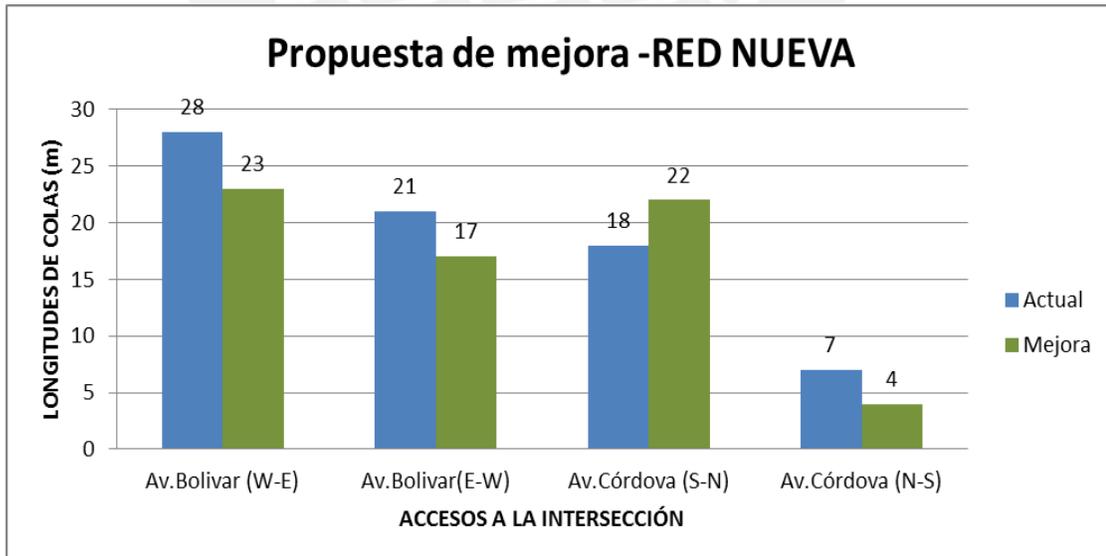
Figura 45.Movimientos permitidos según la fase del semáforo.

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos para esta segunda propuesta mostraron una mejoría para el funcionamiento de la intersección.

Las longitudes de colas se muestran en la figura 46, en donde se puede apreciar un mejor desarrollo dentro de la intersección para este parámetro de eficiencia.

Figura 46.Longitudes de colas para la propuesta2



Fuente: elaboración propia

Se puede apreciar que hay una disminución de este parámetro en todas los accesos, con excepción de la Av. Córdova (sur –norte).

Este incremento se debe esencialmente al aumento de aforo vehicular a esta entrada a la intersección, pues se trasladó los aforos de la calle Andalucía para priorizar los movimientos de los demás accesos.

Asimismo, para la demora promedio de vehículos en la intersección se obtuvo el valor de 32 segundos, es decir una disminución del 18% del inicial (6 seg). Finalmente, la velocidad promedio resultante fue de 17 km/h, el cual refleja un aumento del 14% aprox. de la velocidad inicial.

6.3. Evaluación estadística de las propuestas de mejoras

En esta última sesión del presente capítulo se debe de analizar si los nuevos resultados obtenidos, en base a las propuestas dadas, son realmente significativos, es decir, saber si los valores obtenidos marcan una diferencia de mejoría con respecto a los iniciales considerados (velocidades, demoras, longitudes de colas). Por lo tanto, para dicho análisis, se cuenta con la prueba de hipótesis, cuya utilidad es similar que en las etapas de calibración y validación. A continuación, se presenta los conceptos necesarios de este análisis, así como las consideraciones que se debe de tomar en cuenta.

Hipótesis nula (alternativa)- prueba de un extremo

Para comparar dos muestras se tienen las siguientes variables que se deben reconocer como:

$$T = \frac{(X1-X2)}{Sp\sqrt{\frac{1}{N1}+\frac{1}{N2}}}, Sp^2 = \frac{(N1-1)S1^2+(N2-1)S2^2}{N1+N2-2};$$

X_i =media de la muestra i

S_i = desviación estándar de la muestra i

N_i = número de corridas de la muestra i

T = valor obtenido con los parámetros estadísticos estudiados

t_0 = valor obtenido de la tabla student con el grado de libertad (GDL)

GDL= $N1+N2-2$

- **Verificación del extremo positivo :**

$X_1 > X_2$, se rechaza si $T > t_\alpha$

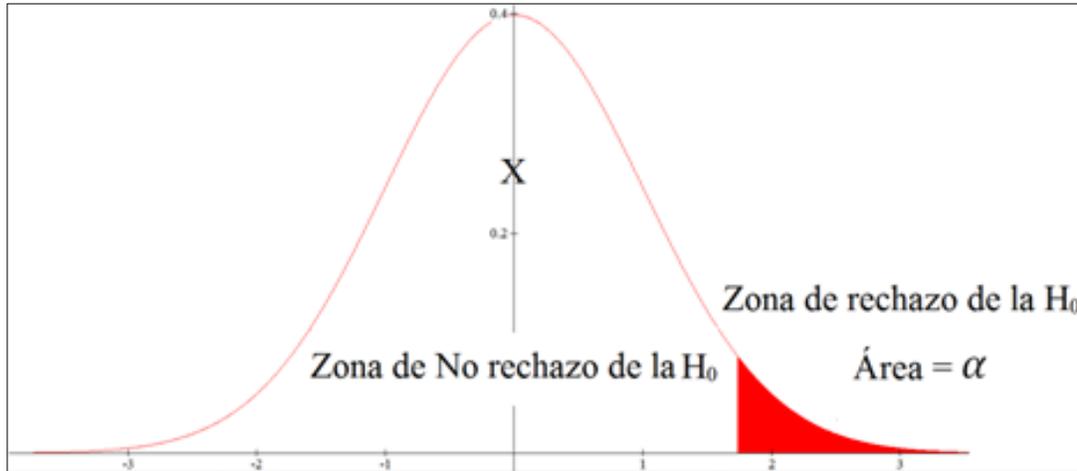


Figura 47. Prueba de hipótesis para el extremo positivo

Fuente: elaboración propia

- **Verificación del extremo negativo**

$X_1 < X_2$, se rechaza si $t_\alpha < T$

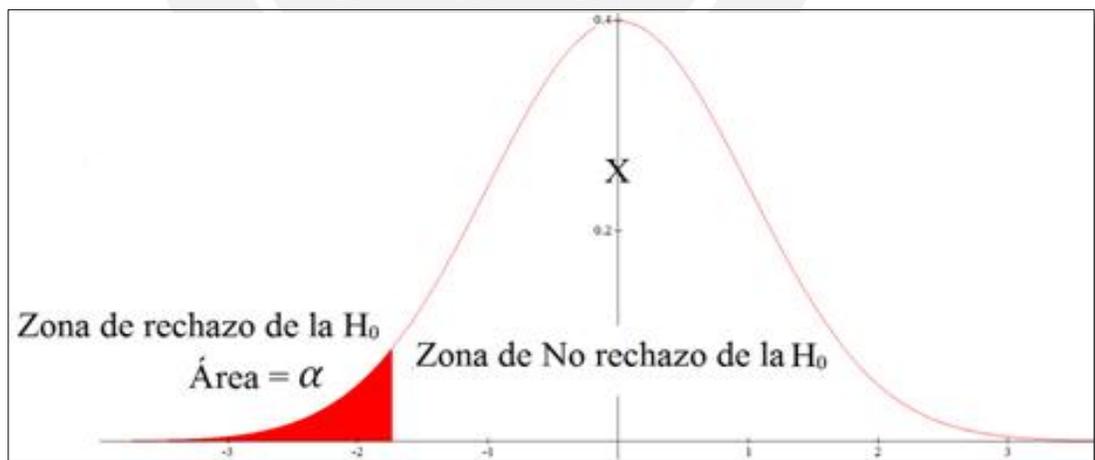


Figura 48. prueba de hipótesis para el extremo negativo

Fuente: elaboración propia

6.3.1. Análisis de la Velocidad promedio

1) Propuesta de mejora-RED 70

$X_1=15, S_1=0.45; X_2= 18, S_2= 0.42$; con un Gdl = 28; nivel de confiabilidad 95%; margen de error =0.25; $N_1= 15$ y $N_2= 15$

Número mínimo de corridas: $N^\circ = \left(\frac{2.05 \times 0.42}{0.25}\right)^2 = 11.85$; por lo tanto 15 corridas son suficientes.

Tabla 18.prueba de hipótesis de la velocidad promedio .RED 70

VELOCIDAD PROMEDIO	
propuesta de mejora-RED 70	
GDL	28.00
X1	15.00
X2	18.00
N1	15.00
N2	15.00
N1 - 1	14.00
N2 - 1	14.00
s1	0.45
s2	0.42
$\frac{1}{N1}$	0.07
$\frac{1}{N2}$	0.07
$\sqrt{\left(\frac{1}{N1} + \frac{1}{N2}\right)}$	0.37
Sp^2	0.19
Numerrador (T)	-3.00
Denominador (T)	0.07
$T = \frac{N(T)}{D(T)}$	-43.37
t student	-2.05

Fuente: elaboración propia

En la tabla 18, se presenta los cálculos realizados para la obtención del parámetro T con el objetivo de comparar con el valor de t (obtenida de la tabla t student, dados los gdl)

Como se puede apreciar en la tabla anterior, $T = -43.37 < t = -2.04$, entonces se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, la velocidad promedio obtenido en base a la propuesta de mejora implica una mejora significativa.

2) Propuesta de mejora-RED NUEVA

$X1=15, S1=0.45; X2= 17, S2= 0.39$; con un Gdl = 28, nivel de confiabilidad 95%, margen de error =0.25; $N1= 15$ y $N2= 15$

Número mínimo de corridas: $N^\circ = \left(\frac{2.05 \times 0.39}{0.25}\right)^2 = 10.23$; por lo tanto 15 corridas son suficientes.

Tabla 19. Prueba de hipótesis de la demora promedio .RED NUEVA

VELOCIDAD PROMEDIO	
propuesta de mejora-RED 70	
GDL	28.00
X1	15.00
X2	17.00
N1	15.00
N2	15.00
N1-1	14.00
N2-1	14.00
s1	0.45
s2	0.39
$\frac{1}{N1}$	0.07
$\frac{1}{N2}$	0.07
$\sqrt{\left(\frac{1}{N1} + \frac{1}{N2}\right)}$	0.37
Sp^2	0.18
Numerrador (T)	-2.00
Denominador (T)	0.06
$T = \frac{N(T)}{D(T)}$	-30.89
t student	-2.05

Fuente: elaboración propia

En esta ocasión se puede apreciar que el valor de $T = -30.89 < t \text{ student} = -2.048$, del mismo modo que el caso anterior, este resultado representa una mejoría a nivel estadístico para el parámetro estudiado, que tiene como base a la segunda propuesta de mejora.

6.3.2. Análisis de la demora promedio.

1) Propuesta de mejora-RED 70

X1=38.16, S1=0.50; X2= 33.46, S2= 0.41 ; con un Gdl = 28; nivel de confiabilidad de 95 %, margen de error =0.25; N1= 15 y N2= 15

Tabla 21.Prueba de hipótesis de la demora promedio .RED 70

DEMORA PROMEDIO	
propuesta de mejora	
GDL	28.00
X1	38.16
X2	33.46
N1	15.00
N2	15.00
N1 - 1	14.00
N2 - 1	14.00
s1	0.50
s2	0.41
$\frac{1}{N1}$	0.07
$\frac{1}{N2}$	0.07
$\sqrt{\left(\frac{1}{N1} + \frac{1}{N2}\right)}$	0.37
Sp^2	0.21
Numerrador (T)	4.70
Denominador (T)	0.08
$T = \frac{N(T)}{D(T)}$	61.57
t student	2.05

Fuente: elaboración propia

Número mínimo de corridas: $N^{\circ} = \left(\frac{2.05 \times 0.41}{0.25}\right)^2 = 11.30$; por lo tanto 15 corridas son suficientes. Para la verificación de la velocidad obtenida, se puede apreciar en la tabla 21, que el valor de $T = 61.57 > t \text{ student} = 2.05$, el cual implica un rechazo a la hipótesis nula. Por lo tanto, representa una mejora al parámetro de eficiencia señalado para esta primera situación de mejora.

2) Propuesta de mejora-RED NUEVA

X1=38.16, S1=0.50; X2= 31.78, S2= 0.44 ; con un Gdl = 28; nivel de confiabilidad de 95%; margen de error =0.25; N1= 15 y N2= 15

Tabla 22.Prueba de hipótesis de la demora promedio .RED NUEVA

DEMORA PROMEDIO	
propuesta de mejora	
GDL	28.00
X1	38.16
X2	31.78
N1	15.00
N2	15.00
N1-1	14.00
N2-1	14.00
s1	0.50
s2	0.44
$\frac{1}{N1}$	0.07
$\frac{1}{N2}$	0.07
$\sqrt{\left(\frac{1}{N1} + \frac{1}{N2}\right)}$	0.37
Sp^2	0.22
Numerrador (T)	6.38
Denominador (T)	0.08
$T = \frac{N(T)}{D(T)}$	78.78
t student	2.05

Fuente: elaboración propia

Número mínimo de corridas: $N^{\circ} = \left(\frac{2.05 \times 0.38}{0.25}\right)^2 = 9.71$; por lo tanto 15 corridas son suficientes. En esta segunda situación de mejora, se puede apreciar en la tabla 22, que el valor T obtenido para la velocidad es $T = 78.78 > t_{student} = 2.048$, por lo que se concluye que el parámetro analizado, implica una mejora significativa.

6.3.3. Análisis de las longitudes de colas

1) Propuesta de mejora-RED 70

Para la verificación del nivel de mejora de las longitudes de colas, se obtuvieron los valores obtenidos T para cada acceso según se observa en la tabla 23. Similar a los casos anteriores, se compara con el $t_{student}$. Los cuales resultan obtener un nivel de mejor significativa.

Tabla 23. Prueba de hipótesis de las longitudes de colas-.RED 70

LONGITUDES DE COLAS				
Propuesta de mejora-RED 70				
ACCESO	Av. Bolívar (W-E)	Av. Bolívar (E-W)	Av. Córdoba (S-N)	Av. Córdoba (N-S)
GDL	28.00	28.00	28.00	28.00
X1	28.00	21.00	18.00	7.00
X2	23.00	17.00	22.00	4.00
N1	15.00	15.00	15.00	15.00
N2	15.00	15.00	15.00	15.00
N1-1	14.00	14.00	14.00	14.00
N2-1	14.00	14.00	14.00	14.00
s_1	0.45	0.42	0.44	0.37
s_2	0.42	0.44	0.41	0.35
$\frac{1}{N_1}$	0.07	0.07	0.07	0.07
$\frac{1}{N_2}$	0.07	0.07	0.07	0.07
$\sqrt{\left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right)}$	0.37	0.37	0.37	0.37
Sp^2	0.19	0.19	0.18	0.13
Numerrador (T)	5.00	4.00	-4.00	3.00
Denominador (T)	0.07	0.07	0.07	0.05
$T = \frac{N(T)}{D(T)}$	72.28	59.21	-60.57	63.34
t student	2.05	2.05	-2.05	2.05

Fuente: elaboración propia

2) Propuesta de mejora-RED NUEVA

Finalmente, se aprecia en la tabla 24 que los resultados obtenidos, para esta segunda propuesta de mejora, que los resultados obtenidos de las longitudes de colas implican una mejora significativa. Sin embargo, para el acceso Av Córdoba (S.N) se obtiene un aumento significativo.

Para este resultado es preciso mencionar que se obtiene esto, debido a que se trasladó el aforo vehicular del acceso Calle Andalucía; es decir, es como que se haya sumado el valor de la longitud de cola de esta calle hacia el acceso de la Av. Córdoba.

Tabla 24. Prueba de hipótesis de las longitudes de colas-.RED NUEVA

LONGITUDES DE COLAS				
Propuesta de mejora-RED NUEVA				
ACCESO	Av. Bolívar (W-E)	Av. Bolívar (E-W)	Av. Córdoba (S-N)	Av. Córdoba (N-S)
GDL	28.00	28.00	28.00	28.00
X1	28.00	21.00	18.00	7.00
X2	23.00	17.00	22.00	4.00
N1	15.00	15.00	15.00	15.00
N2	15.00	15.00	15.00	15.00
N1-1	14.00	14.00	14.00	14.00
N2-1	14.00	14.00	14.00	14.00
s1	0.45	0.42	0.44	0.37
s2	0.42	0.44	0.41	0.35
$\frac{1}{N1}$	0.07	0.07	0.07	0.07
$\frac{1}{N2}$	0.07	0.07	0.07	0.07
$\sqrt{\left(\frac{1}{N1} + \frac{1}{N2}\right)}$	0.37	0.37	0.37	0.37
Sp^2	0.19	0.19	0.18	0.13
Numerrador (T)	5.00	4.00	-4.00	3.00
Denominador (T)	0.07	0.07	0.07	0.05
$T = \frac{N(T)}{D(T)}$	72.28	59.21	-60.57	63.34
t student	2.05	2.05	-2.05	2.05

Fuente: elaboración propia

CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos tanto para la situación actual, así como las propuestas de mejoras a la intersección estudiada, se presentan las siguientes conclusiones:

En el presente proyecto se obtuvieron dos propuestas de mejoras (diferentes escenarios de circulación de los usuarios dentro de la intersección). En la primera, se optimiza el ciclo del semáforo, es decir, se logra una reducción de tiempo con apreciables mejoras en los parámetros de eficiencias con respecto a la situación actual; mientras en el segundo, se decide redistribuir el flujo de los vehículos en la intersección mediante el cierre de uno de sus accesos así como la optimización del ciclo del semáforo. Por lo tanto, un detallado estudio de la red vial, podría generar comportamientos muy eficientes con muchas alternativas de circulación dentro de ella. Con respecto a las dos propuestas presentadas, a pesar de lograr con ambas un escenario con mejores parámetros de eficiencias, se considera la primera propuesta como una mejor alternativa, pues no es necesario realizar una redistribución vehicular.

Asimismo, se concluye que un tiempo mayor en el ciclo de un semáforo, no asegura un mejor funcionamiento en una intersección semaforizada. Este aumento solo ocasiona un mayor problema en la red, tal como se demostró en los resultados de los parámetros de eficiencias seleccionados para las distintas situaciones de la intersección.

En adición al análisis de los parámetros de eficiencias, la demora promedio de vehículos tiende a ser menor cuando se presenta un menor ciclo del semáforo. Por ejemplo, para el caso inicial se obtuvo una demora de 39 segundos; en la primera propuesta resultó un tiempo de 33 segundos; mientras para la segunda propuesta se obtuvo un valor de 32 segundos. En cuanto a las longitudes de colas presentes en los accesos disminuirían con un a un menor tiempo de un ciclo de semáforo. Por último, la velocidad promedio de los vehículos que interactúan en la intersección muestra un incremento mientras el ciclo del semáforo es menor, tal como se aprecia en los resultados dados: para la situación actual

la velocidad actual fue de 15 km/h; sin embargo, para la primera propuesta presentada fue del valor de 18km/h.

En base a los resultados realizados, se puede concluir que si no se cuenta con un correcto estudio, podría generar deficiencias en el funcionamiento de la intersección, a pesar de contar con un excelente diseño vial (número de carriles, longitudes entre ellos, visibilidades para ambos lados)

Finalmente , el uso del software Vissim resulta ser muy favorable para el estudio del funcionamiento de la red vial, así como el estudio de la circulación de los usuarios de ella, debido a que evita una alta demanda de tiempo en estar localizado para los detalles necesarios de estudio (estudios in situ) .Además de representar de manera correcta una red vial que sea requerida y obtener resultados con un alto grado de precisión , de tal manera ,que si se requiera el caso, se puede modificar los datos de entrada de una manera rápida y analizar propuestas de mejora para el estudio de un proyecto.

Por medio de la aplicación del software Vissim para la construcción del modelo microscópico, los resultados obtenidos y el análisis realizado a ellos, se presentan las siguientes recomendaciones:

La metodología seguida para el análisis del funcionamiento de la red de la intersección seleccionada puede ser usada como guía para estudios de otros tipos de redes viales que se requiera saber el nivel de funcionamiento controlado por semáforos o con prioridades de pasos.

En cuanto al análisis de diseño de una intersección semaforizada se debe tomar en cuenta los aforos presentes en cada acceso con el fin determinar un ciclo óptimo del semáforo, sobre todo en el tiempo de verde efectivo, este no debe ser muy alto en ninguna de las fases (no debe de haber una gran diferencia de tiempo entre los acceso analizados), pues lo único que conseguirá será perjudicar las condiciones de circulación.

Al realizar el diseño vial se debe de contar con los aforos vehiculares, peatonales, y de todos los usuarios pertinente, así como el estudio de la geometría, además de analizar el

tipo de zona de ubicación, dado que partir del lugar de ubicación se conocerá el tipo de comportamiento de los usuarios (agresivo, gentil, defensivo, entre otros). De esta manera conseguir un trabajo en conjunto de estos componentes con el fin de poder realizar un adecuado funcionamiento

Es importante para el desarrollo del proyecto, el adecuado registro de los datos de campo, ya que esta información resulta clave para el objetivo de estudio del funcionamiento de la red vial, Por lo tanto, para este proceso se debe de contar con el apoyo de personas capacitadas en el tema

Finalmente, con el fin de poder representar de la mejor manera la red vial en el software Vissim o en otro programa computacional, se debe de analizar los resultados que se obtienen en el transcurso de la construcción del modelo microscópico, es decir, verificar si los valores obtenidos son acorde con lo del campo para poder evitar una posterior acumulación de errores , los cuales podrían ser notorios en el análisis de los resultados y finalizar en conclusiones erróneas para el proyecto estudiado.

REFERENCIAS

Aguirre, M. (2015). *Sistemas, modelos y simulación* [Fecha de consulta: 08 de Marzo].

Recuperado de: <http://arantxa.ii.uam.es/~aguirre/OS/sms.pdf>

Ahmed, K. (1999). *Modeling Drivers' Acceleration and Lane Changing Behaviour*.

Massachusetts: Institute of Technology.

Arrieta, K. (2013). *Modelación del tráfico vehicular con el software PTV Vissim -Tramo Bomba El gallo - Bomba El Amparo*. Cartagena: Universidad de Cartagena.

Benekohal, R. (1991). Procedure for validation of microscopic traffic flow simulation models. *Transportation Research Record* n1320.p190-202

Bloomberg, L. & Dale, J. (2000). *A comparison of the Vissim and Corsin traffic simulation models*. Oakland: Institute of Transportation Engineers Annual Meeting.

Byungkyu, P. & Schneeberger, J. (2007). Microscopic simulation model calibration and validation. *Case study of Vissim simulation Model for a Coordinated Actuated Signal System*. Virginia: University of Virginia.

Cabrera, F. (2015-A). *Gestión del tránsito*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Cabrera, F. (2015-B). *Ingeniería del tráfico*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

CCSYA (2015). *Aplicación de modelos de simulación al análisis de proyectos en autopista*. [Fecha de consulta: 12 de abril]. Recuperado de: <http://www.aacarreteras.org.ar/archivos-jornadagrupalpaz/Langlois.pdf>

Carvalho, M. (2015). *Discrete and continuous simulation*. [Diapositivas de power point]. Recuperado de: <http://es.slideshare.net/chienql/discrete-and-continuoussimulation-presentation>

Castañeda, M. (2015). *Ingeniería de tránsito y transporte teoría?... o solución al problema de movilidad actual*. Nueva Granada: Universidad Militar Nueva Granada.

Dowling, R., Skabardonis, A., Halkias, J., McHale, G., & Zammit, G. (2004). Guidelines for calibration of microsimulation models: framework and applications. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1876), 1-9.

Fellendorf, P. (2010). *Microscopic traffic flow simulation Vissim*. Alemania: International Series in Operation Research and Management Science.

Fernández, P. (2015). *Determinación del tamaño muestral*. [Fecha de consulta: 15 de mayo]. Recuperado de: <https://www.fisterra.com/mbe/investiga/9muestras/9muestras2.asp>

Fernandez, R. (2009). *Elementos de la Teoría del Tráfico Vehicular*. Santiago de Chile: Universidad los Andes.

FHWA (2004). *Traffic analysis toolbox Volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software*. Washington: FHWA-HRT-04-040.

Gao, Y. (2008). *Calibration and comparison of the Vissim and integration microscopic traffic simulation model*. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute.

Howard, M. & Karlin, S. (1998). *An introduction to stochastic modeling (3rd edition)*. San Diego: Academic press.

Macêdo, V. & Mendonça de Castro Neto, M. (2014). *Considerações sobre a calibração do modelo de car-following do vissim para vias arteriais urbanas*. Ceará: Universidad de Federal do Ceará.

Matthew, T & Rao, K. (2006). Introduction to transportation engineering. *Microscopic traffic flow modeling*. Recuperado de: <http://nptel.ac.in/courses/105101087/downloads/Le-c-34.pdf>

Narváez, R. & Zapardiel, A. (2015). *Modelación del tránsito vehicular en el sector bomba El Amparo -Sao la Plazuela, Cartagena por medio del software PTV Vissim*. Cartagena: Universidad de Cartagena.

Nerem, S. (2013). *Vehicle weight in Gipps' car-following model*. Noruega: Norwegian University of Science of Technology.

PTV GROUP. (2015). Welcome to the PTV Group! - PTV Group. [Fecha de consulta: 20 de marzo]. Recuperado de: <https://www.ptvgroup.com>

RAE. (2015). *Real Academia Española*. [Fecha de consulta: 10 de abril]. Recuperado de <https://www.rae.es>

Starfield, T.(2005). *Discussion: Deterministic or Stochastic*. [Fecha de consulta: 20 de abril]:Recuperado de:http://www.uvm.edu/~tdonovan/modeling/Module5/05_DeterministicStochastic_transcript.pdf

Suárez, A. (2007). *Análisis y evaluación operacional de intersecciones urbanas mediante la microsimulación*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Vera, F.(2012). *Aplicabilidad de las metodologías del HCM 2000 y Synchro 7.0 para analizar intersecciones semaforizadas en Lima*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

