

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis:

**“MICROSIMULACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS
PEATONALES Y VEHICULARES UTILIZANDO LOS
SOFTWARES VISSIM 9.0 Y VISWALK 9.0 EN LA PLAZUELA
BOLOGNESI DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA”**

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO CIVIL

Presentado por la bachiller:
Kattia Ivonne Abanto Pérez

Asesor:
Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo

CAJAMARCA – PERÚ

2020

**Copyright © 2019 by
Kattia Ivonne Abanto Pérez
Todos los derechos reservados**

AGRADECIMIENTO:

A Dios, siempre conmigo en las dificultades permitiéndome cumplir mis metas, como en este estadio tan importante de mi formación profesional.

A mi familia, por su amor, paciencia, esfuerzo y cariño incondicional; por su valentía y motivación para afrontar las adversidades y seguir avanzando en este camino.

Al Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo, por su asesoramiento en la temática con sus ideas, sugerencias y dedicación en la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Yter Antonio Vallejos Díaz, quien con sus conocimientos en metodología de investigación resolvió todas mis dudas y me ayudó a concretizar esta tesis.

A mis amigos que me apoyaron, alentaron y ayudaron de manera incondicional en el camino para alcanzar mi meta.

DEDICATORIA

A Dios, ya que inspiró mi espíritu para poder lograr todos mis objetivos.

A mi familia, quienes son mi fuente de motivación y apoyo durante todo este tiempo, gracias a su amor, sacrificio y trabajo en todos estos años.

A mis profesores, quienes me han apoyado, compartido sus conocimientos, resuelto mis dudas y apoyado para culminar este Proyecto de Tesis.

A mis amigos, por sus palabras de aliento y confianza en los momentos difíciles.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO:	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT:	xiv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
ASPECTOS GENERALES.....	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Formulación del problema.....	3
1.3 Hipótesis de la Investigación	3
1.4 Variables y Operacionalización.....	3
1.5 Justificación de la Investigación	7
1.6 Alcances y delimitación de la Investigación.....	8
1.7 Limitaciones de la investigación.....	8
1.8 Objetivos.....	8
1.8.1 Objetivo General.....	8
1.8.2 Objetivos Específicos.....	8
1.9 Descripción de capítulos.....	9
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación.....	10
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	10
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	11
2.1.3 Antecedentes Locales.....	12
2.2. Bases Teóricas.....	13
2.2.1. Rotondas.....	13
2.2.2 Reglas de Prioridad o derecho de Paso.....	23
2.2.3 Teoría de Modelo y Sistema.....	24
2.2.4 Micro simulación del tráfico.....	27
2.2.5 PTV Vissim	34
2.2.5. PTV Viswalk	40

2.3 Definición de Términos Básicos.....	40
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
3.1 Localización.....	45
3.1.1 Ubicación Geográfica.....	45
3.1.2 Estado del arte.....	46
3.2 Procedimiento.....	50
3.2.1 Equipo necesario para la toma de datos.....	48
3.2.2 HCM 2010.....	52
3.3. Tratamiento y Análisis de datos y Presentación de Resultados.....	53
3.3.1 Recolección y Procesamiento de Datos.....	53
3.3.2 Modelamiento Inicial.....	82
3.3.3 Calibración del Modelo Vehicular.....	90
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	92
4.1 Transporte Formal según la Municipalidad Provincial de Cajamarca.....	92
4.4. Análisis de la primera simulación.....	93
4.5 Análisis de la segunda simulación.....	94
4.6 Análisis de la tercera simulación.....	94
4.7 Resultados y Alternativas de Solución.....	94
4.7.1 Resultados de la Micro simulación del escenario actual.....	95
4.7.2 Alternativas de Solución.....	98
4.7.2.1 Alternativa N° 1.....	98
4.7.2.2 Alternativa N° 2.....	101
4.7.2.3 Alternativa N° 3.....	103
4.8 Aplicación de la Norma HCM 2010.....	105
4.9 Comparación de Resultados HCM 2010 y Vissim 11.0 y Viswalk 11.0.....	113
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
Conclusiones.....	114
Recomendaciones.....	115
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	116
ANEXOS.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Variable: Flujo Vehicular.....	4
Tabla 1-2 Variable: Flujo Peatonal.....	5
Tabla 1-3 Variable: Infraestructura Vial Pública.....	5
Tabla 1-4 Variable: Desplazamiento Vehicular.....	6
Tabla 1-5 Variable: Desplazamiento Vehicular.....	7
Tabla 2-1 Diámetro de círculo inscrito.....	14
Tabla 2-2 Velocidad Máxima de diseño de entrada recomendada.....	17
Tabla 3-1 Datos resumen de aforos peatonales de modelación (peatones).....	55
Tabla 3-2 Datos resumen de aforos peatonales de validación (peatones)	74
Tabla 3-3 Datos resumen de tiempos de viaje vehiculares de modelación (seg.)	74
Tabla 3-4 Datos resumen de tiempos de viaje vehiculares de validación (seg.)	74
Tabla 3-5 Tiempos de viaje peatonales de modelación del cruce 1 (seg).....	75
Tabla 3-6 Tiempos de viaje peatonales de modelación del cruce 1 (seg).....	75
Tabla 3-7 Datos resumen de tiempos de parada vehiculares (seg.)	76
Tabla 3-8 Datos resumen de tiempos de parada vehiculares (seg.)	77
Tabla 3-9 Datos resumen de tiempos de parada vehiculares (seg.)	77
Tabla 3-10 Datos resumen de tiempos de parada vehiculares (seg.)	78
Tabla 3-11 Datos resumen de tiempos de parada vehiculares (seg.)	80
Tabla 3-12 Datos resumen de tiempos de parada vehiculares (seg.)	82
Tabla 4-1 Parque automotor en Cajamarca (Transporte Formal).....	92
Tabla 4-2 Resultados del desempeño de los vehículos en la vía (Diseño actual)	96
Tabla 4-3 Resultados del tiempo de viaje de los peatones (Diseño actual)	97
Tabla 4-4 Porcentaje de vehículos pesados por vía.....	107
Tabla 4-5 Factor Hora Pico por vía.....	107
Tabla 4-6 Caudal de vehículos en cada flujo.....	108
Tabla 4-7 Caudal de demanda para cada movimiento.....	109
Tabla 4-8 Flujo circulante y de salida en la rotonda.....	109
Tabla 4-9 Flujos de entrada por carril.....	109
Tabla 4-10 Capacidad por carril.....	110
Tabla 4-11 Volumen por carril.....	111

Tabla 4-12 Relación Volumen - Capacidad.....	111
Tabla 4-13 Retraso de control promedio para cada carril de entrada.....	112
Tabla 4-14 Nivel de Serviabilidad - HCM 2010.....	113
Tabla 4-15 Comparación de resultados HCM 2010 y VISSIM 11.0 Y VISWALK 11.0.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Alineación de los ramales.....	15
Figura 2-2 Ángulo entre los ramales de aproximación.....	16
Figura 2-3 Camino más rápido en una rotonda.....	17
Figura 2-4 Distancia visual a la intersección.....	19
Figura 2-5 Distancia visual a la entrada de la rotonda.....	19
Figura 2-6 Áreas verdes utilizadas como berma en una Rotonda.....	20
Figura 2-7 Áreas verdes en una Rotonda.....	21
Figura 2-8 Giros libres a la derecha.....	22
Figura 2-9 Modelos considerados por nivel de aleatoriedad, detalle o naturaleza.....	25
Figura 2-10 Modelo Microscópico, Mesoscópicos y Macroscópico.....	27
Figura 2-11 Proceso de Simulación.....	30
Figura 2-12 Fases del modelo de Wiedemman.....	33
Figura 2-13 Cambio de carril necesario.....	33
Figura 2-14 Cambio de carril libre.....	34
Figura 2-15 Esquema de 4 bloques de construcción.....	36
Figura 2-16 Modelo 3D de una intersección semaforizada.....	39
Figura 3-1 Imagen de la Plazuela Bolognesi.....	45
Figura 3-2 Avenida Atahualpa (entrada y salida).....	46
Figura 3-3 Entrada de la avenida San Martín de Porres	47
Figura 3-4 Avenida Juan XXIII (entrada y salida).....	48
Figura 3-5 Avenida Héroes de San Ramón (entrada y salida).....	49
Figura 3-6 Salida de la Avenida Independencia.....	49
Figura 3-7 Dron utilizado.....	50
Figura 3-8 Imagen de la Plazuela Bolognesi captada con el dron.....	51
Figura 3-9 Tipos de vehículos que circulan en la Rotonda de la Plazuela Bolognesi.....	54
Figura 3-10 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019 Av. Atahualpa.....	56
Figura 3-11 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019 Av. San Martín de Porres.....	56
Figura 3-12 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019 Av. Juan XXIII.....	57

Figura 3-13 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019 Av. Héroes de San Ramón.....	57
Figura 3-14 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 1 (veh/h).....	58
Figura 3-15 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 2 (veh/h).....	58
Figura 3-16 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 3 (veh/h).....	59
Figura 3-17 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 4 (veh/h).....	59
Figura 3-18 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 1 (veh/h).....	60
Figura 3-19 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 2 (veh/h).....	60
Figura 3-20 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 3 (veh/h).....	61
Figura 3-21 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 4 (veh/h).....	61
Figura 3-22 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 1 (veh/h).....	62
Figura 3-23 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 2 (veh/h).....	62
Figura 3-24. Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 3 (veh/h).....	63
Figura 3-25 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 4 (veh/h).....	63
Figura 3-26 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019. Av. Atahualpa (Anexo 03).....	64
Figura 3-27 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019. Av, San Martín de Porres – (Anexo 03).....	65
Figura 3-28 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019. Av, Juan XXIII – (Anexo 03)	65
Figura 3-29 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019. Av, Av, Héroes de San Ramón – (Anexo 03)	66
Figura 3-30 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 1 (veh/h).....	66
Figura 3-31 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 2 (veh/h).....	67
Figura 3-32 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 3 (veh/h).....	67
Figura 3-33 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 4 (veh/h).....	68
Figura 3-34 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 1 (veh/h).....	68
Figura 3-35 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 2 (veh/h).....	69
Figura 3-36 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 3 (veh/h).....	69
Figura 3-37 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 4 (veh/h).....	70
Figura 3-38 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 1 (veh/h).....	70
Figura 3-39 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 2 (veh/h).....	71

Figura 3-40 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 3 (veh/h).....	71
Figura 3-41 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 4 (veh/h).....	72
Figura 3-42 Ubicación de áreas peatonales consideradas.....	73
Figura 3-43 Tramos para obtención de tiempos de viaje vehiculares.....	76
Figura 3-44 Cruceos peatonales para obtención de tiempos peatonales.....	78
Figura 3-45 Imagen del Programa VISSIM 11.0.....	83
Figura 3-46 Importación y escala de la imagen al programa VISSIM.....	84
Figura 3-47 Creación de las vías para los vehículos y ciclistas.....	84
Figura 3-48 Creación de las vías peatonales.....	85
Figura 3-49 Creación de áreas de salida peatonales.....	85
Figura 3-50 Número de vehículos y peatones.....	86
Figura 3-51 Rutas que seguirán los vehículos.....	87
Figura 3-52 Rutas que seguirán los peatones.....	87
Figura 3-53 Zonas de conflicto.....	88
Figura 3-54 Reglas de prioridad.....	88
Figura 3-55 Problema presentado en la simulación. Av. San Martin.....	89
Figura 3-56 Problema observado, Reglas de Prioridad en la Av. Atahualpa.....	90
Figura 3-57 Parámetros de Simulación.....	91
Figura 3-58 Atributos de los Resultados.....	91
Figura 4-1 Transporte Formal en la ciudad de Cajamarca.....	92
Figura 4-2 Primera Simulación de la Plazuela Bolognesi.....	93
Figura 4-3 Segunda Simulación de la Plazuela Bolognesi.....	94
Figura 4-4 Tercera Simulación de la Plazuela Bolognesi.....	94
Figura 4-5 Desempeño de los vehículos en la Plazuela Bolognesi	95
Figura 4-6 Desempeño de los peatones en la Plazuela Bolognesi.....	95
Figura 4-7 Ciclo de los semáforos de los carriles de entrada a la rotonda obtenidos en el Vissim 11.0 y Viwalk 11.0.....	98
Figura 4-8 Ciclo de semáforos de las Av. Atahualpa, Av. San Martin de Porres, Av. Juan XXIII y Av. Héroes de San Ramón.....	99
Figura 4-9 Comparación del Parámetro de desempeño vehicular en la rotonda.....	99
Figura 4-10 Comparación del Parámetro de desempeño peatonal en la rotonda.....	100
Figura 4-11 Comparación del Parámetro de desempeño vehicular en la	

rotonda-Alternativa N° 02.....	102
Figura 4-12 Comparación del Parámetro de desempeño peatonal en la rotonda.....	103
Figura 4-13 Comparación del Parámetro de desempeño vehicular en la rotonda-Alternativa N° 03.....	104
Figura 4-14 Comparación del Parámetro de desempeño peatonal en la rotonda.....	105
Figura 4-15 Rotonda de la Plazuela Bolognesi.....	106
Figura 4-16 Flujos Vehiculares entrantes a la Plazuela Bolognesi.....	106

RESUMEN

La Plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca en las horas punta presenta un serio problema de congestión vehicular y peatonal debido a factores como son el flujo vehicular, peatonal y la infraestructura vial de la zona en estudio, es por esta razón que el objetivo principal de este trabajo de investigación fue determinar los tiempos óptimos de los desplazamientos vehiculares y peatonales en base a los flujos vehiculares, peatonales e infraestructura vial de la Plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca utilizando los softwares VISSIM 9.0 Y VISWALK 9.0. La construcción del modelo de la rotonda y las 3 alternativas de solución propuestas fueron inicialmente realizadas usando la versión 9.0 de dichos programas, pero posteriormente, debido a que dichos softwares han sido actualizados se ha culminado la investigación utilizando la versión 11.0 de éstos. Primero, se determinaron los datos a ser tomados en las visitas de campo, dichos datos son esenciales para la construcción del modelo de simulación en los softwares antes mencionados, luego, se realizó una comparación entre las demoras calculadas por los softwares y las demoras calculadas con el Manual de carreteras HCM 2010 para determinar la eficacia de dichos softwares. Finalmente, se propusieron 3 posibles alternativas de solución para mejorar la situación actual de la rotonda Bolognesi. Finalmente, se determinó que la propuesta que funciona es que la rotonda siga funcionando como una intersección no semaforizada, pero con la diferencia que el tránsito de moto taxis y taxis de las Av. Atahualpa y Av. Héroes de San Ramón sean desviados al Jirón El Progreso y a la Avenida Mario Urteaga respectivamente y además cambiar el sentido del Jirón Juan XXIII a un solo sentido con 2 carriles de salida, de esta manera se obtiene una disminución significativa del 51.44 % en las demoras, un 8.00 % en el tiempo detenido y un aumento del 57.84% de la velocidad del sistema con respecto a la situación actual.

Palabras Claves: Desplazamiento vehicular, desplazamiento peatonal, flujo vehicular, flujo peatonal, infraestructura vial.

ABSTRACT:

The “Plazuela Bolognesi” of Cajamarca city in the rush hours presents a serious problem of vehicular and pedestrian congestion due to factors such as vehicular, pedestrian flow and road infrastructure of the area under study, it is for this reason that the main objective of this research work was to determine the optimal times of vehicular and pedestrian movements based on the vehicular, pedestrian and road infrastructure movements of the “Plazuela Bolognesi” of Cajamarca city using the VISSIM 9.0 and VISWALK 9.0 software. The construction of the roundabout model and the 3 proposed alternative solutions were specifically executed using version 9.0 of these programs, but later, because these softwares have been updated, the investigation using version 11.0 of the texts has been completed. First, the data to be taken in the field visits will be determined, such data is essential for the construction of the simulation model in the software determined above, then a comparison was made between the delays calculated by the software and the delays calculated with the HCM Road Manual 2010 to determine the effectiveness of these softwares. Finally, 3 possible alternative solutions were proposed to improve the current situation of the Bolognesi roundabout. Finally, the proposal that works is determined that the roundabout continues to function as a non-traffic light intersection, but with the difference that the traffic of motorcycle taxis and taxis of Atahualpa Av. And Av. Heroes of San Ramón will be diverted to Jirón El Progreso and Mario Urteaga Avenue respectively and will also change the direction of Jirón Juan XXIII in one direction with 2 exit lanes, in this way a significant decrease of 51.44% in delays will be obtained, 8.00% in time stopped and an increase 57.84% of the system speed with respect to the current situation.

Key Words: Vehicular displacement, pedestrian displacement, vehicular flow, pedestrian flow, road infrastructure

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El aumento de vehículos motorizados a nivel mundial ha agudizado la situación concerniente al tráfico vehicular y peatonal, ya que no solo implica retrasos para desplazarse de un lugar a otro, sino que también se incluye la contaminación ambiental, el estrés, entre otras molestias que dicha actividad representa para los usuarios de las vías públicas. Esta situación no sólo se presenta en las ciudades más concurridas a nivel mundial, sino que es observada diariamente en los lugares donde vivimos, ya sea que nos desplacemos en vehículos motorizados, no motorizados o a pie.

En base a lo dicho en el párrafo anterior, y siendo ésta una situación muy común cuya solución es urgente y que necesita ser efectiva, rápida y en lo posible que no implique la inversión de cuantiosas sumas de dinero, es que se han creado softwares para solucionar este problema. VISSIM es un software creado por PTVGROUP, que, a diferencia de los demás softwares de simulación, incluye parámetros que hacen que la simulación vehicular y peatonal sea lo más real posible y tenga un comportamiento muy similar a lo que se puede observar en la realidad.

Con el VISSIM 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. (Alcalá Moisés, 2016, p.1).

Actualmente son más de 2500 ciudades que toman decisiones basadas en las soluciones que se simulan a través de los softwares, y debido a su tecnología de optimización se ahorra alrededor del 17% en costos. (PTV GROUP, 2019)

Cajamarca es una ciudad que presenta problemas de congestión vehicular, y peatonal, debido a ello se usó el software VISSIM que incluye herramientas del VISWALK para el análisis peatonal; específicamente de la plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca. Se determinó los posibles factores que estén afectando la situación actual y además se propusieron posibles soluciones.

En el capítulo I se describe el contexto, el problema formulado en interrogante y los objetivos. el capítulo II se describe los antecedentes teóricos de la investigación, se presenta una sistematización de las bases teóricas que fundamentan científicamente la

investigación, y se presenta la definición de términos básicos principalmente aquellos involucrados en las variables y subvariables. en el capítulo III se describen los materiales y métodos utilizados en la investigación indicando los procedimientos para el acopio de los datos de las diferentes variables a través de sus indicadores, también se indica el tratamiento y análisis de los datos que se utilizaron junto con las técnicas estadísticas de la presentación de los resultados. en el capítulo IV se presentan el análisis de los resultados y la discusión de los mismos con los antecedentes y las bases teóricas. finalmente, en el capítulo V se declaran las conclusiones y las recomendaciones correspondientes según el logro de los objetivos, la hipótesis y los resultados obtenidos.

ASPECTOS GENERALES

1.1 Planteamiento del Problema

En Cajamarca, el aumento del parque automotor se ha debido a la adquisición de un excesivo número de vehículos de transporte público de reducida capacidad como son las mototaxis y taxis, los que han ocasionado que el flujo vehicular y peatonal sea lento, en especial, durante las “horas punta” u “horas pico”. Se suma a este problema, el precario estado en la que se encuentra la infraestructura vial, poca visibilidad de las señales de tránsito, falta de educación vial, entre otros. Para dar solución a éste problema, fue necesario determinar los tiempos óptimos de los desplazamientos vehiculares y peatonales determinados en base a los flujos vehiculares, peatonales e infraestructura vial de la Plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca utilizando los softwares VISSIM 11.0 Y VISWALK 11.0. Dicho análisis se llevó a cabo a través de los softwares mencionados, los cuales son herramientas de modelación microscópica, capaces de modelar adecuadamente los múltiples conflictos encontrados en dicha intersección.

En el VISSIM se considera zonas con un elevado volumen de usuarios, en el cual se observó el impacto en el tránsito vehicular debido a la conducta impaciente de los conductores como es en el caso de las principales intersecciones en Cajamarca. Es en uno de estas rotondas conocidas como “Plazuela Bolognesi” en el que el congestionamiento vehicular y peatonal es elevado, esto se debe a que se intersectan 5 avenidas principales: Atahualpa, San Martín de Porres, Juan XXIII, Héroes de San Ramón e Independencia. Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, se estudió el flujo vehicular y peatonal en la Plazuela mencionada mediante un micro análisis, el cual fue llevado a cabo con la ayuda

de los softwares Vissim 11.0 Y Viswalk 11.0. Este programa es un medio que permite generar una reproducción adecuada de la situación de tráfico de ciudades como es Cajamarca, el cual, con un conveniente análisis, se brindó ciertas medidas para mejorar la situación actual del flujo vehicular y peatonal.

1.2 Formulación del Problema

¿Cuáles son los tiempos óptimos de los desplazamientos vehiculares y peatonales determinados en base a los flujos vehiculares, peatonales e infraestructura vial de la Plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca utilizando los softwares VISSIM 11.0 Y VISWALK 11.0?

1.3 Hipótesis de la Investigación

El desplazamiento peatonal y vehicular es lento en horas punta según la infraestructura vial y el flujo vehicular y peatonal determinados mediante la micro simulación utilizando los softwares VISSIM 11.0 y VISWALK 11.0 en la Plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca.

1.4 Variables y Operacionalización.

1.4.1 Variables

Variables de Entrada (Variables Independientes)

- Flujo Vehicular.
- Flujo Peatonal.
- Infraestructura Vial.

Variables de Salida (Variables dependientes)

- Desplazamiento Vehicular.
- Desplazamiento Peatonal.

1.4.2 Operacionalización de variables

Tabla 1-1 Variable: Flujo Vehicular

VARIABLE	SUB VARIABLE	INDICADORES
FLUJO VEHICULAR	Espacios Comerciales	Concurrencia a Locales Comerciales
		Concurrencia de Mercados
		Concurrencia de Restaurantes
		Concurrencia de Negocios Informales
	Espacios de uso Educativo y Recreacionales	Instituciones educativas de nivel Inicial
		Instituciones educativas de nivel Primaria
		Instituciones educativas de nivel Secundaria
		Edificaciones de Espectáculos deportivos
	Aforo vehicular	Cantidad de vehículos de servicio público
		Cantidad de Vehículos particulares
		Cantidad de Vehículos mixtos adaptables
		Cantidad de Vehículos de carga

FUENTE: Elaboración Propia.

Tabla 1-2 Variable: Flujo Peatonal

VARIABLE	SUB VARIABLE	INDICADORES
FLUJO PEATONAL	Espacios Comerciales	Concurrencia de Locales Comerciales existentes
		Concurrencia de Mercados existentes
		Concurrencia de Restaurantes existentes
		Concurrencia de Negocios Informales existentes
	Centros Educativos y de Recreación	Instituciones educativas de nivel Inicial
		Instituciones educativas de nivel Primaria
		Instituciones educativas de nivel Secundaria
		Edificaciones para Espectáculos deportivos
	Aforo peatonal	Cantidad Estudiantes y trabajadores del estado
		Cantidad Comerciantes formales
		Cantidad Comerciantes informales
		Cantidad Usuarios en general

FUENTE: Elaboración Propia.

Tabla 1-3 Infraestructura Vial Pública

VARIABLE	SUB VARIABLE	INDICADORES
INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA	Infraestructura Física	Estructura del pavimento
		Estacionamientos vehiculares
		Soporte vehicular
		Características Geométricas de calles
	Nivel de Servicio	Estado del material asfáltico
		Deterioro de calles
		Deterioro de veredas

	Mantenimiento
Señalización y seguridad vial	Señales de tránsito por calles.
	Paraderos y zonas de estacionamiento.
	Policías de tránsito por calles.
	Mantenimiento de los dispositivos de control de tránsito.
Gestión	Plan de Desarrollo Urbano.
	Plan de Rutas.
	Plan de Infraestructura vial.
	Presupuesto.

FUENTE: Elaboración Propia.

Tabla 1-4 Variable: Desplazamiento Vehicular

VARIABLE	SUB VARIABLE	INDICADORES
DESPLAZAMIENTO VEHICULAR	Longitudes de cola	Cantidad de vehículos de uso público
		Cantidad de vehículos particulares
		Horas de mayor flujo vehicular
		Espaciamiento promedio entre vehículos
	Demora de Viaje	Cantidad de vehículos de uso público
		Cantidad de vehículos particulares
		Horas de mayor demanda vehicular
		Intervalo de tiempo entre vehículos
	Paradas	Cantidad de paradas promedio por vehículo
		Tiempo de demora por parada
		Cantidad de vehículos
		Cantidad de peatones

FUENTE: Elaboración Propia.

Tabla 1-5 Variable: Desplazamiento Peatonal

VARIABLE	SUB VARIAB	INDICADORES
DESPLAZAMIENTO PEATONAL	Condiciones de movilidad	Cantidad de peatones
		Cantidad de vehículos que interactúan con los peatones
		Formación de pelotones y grupos de peatones
		Hora de flujo peatonal
	Grado de fricción	Cantidad de peatones
		Elipse corporal
		Señalización y ancho de Paraderos
		Ancho efectivo de caminata
	Interacciones	Elipse corporal
		Ancho efectivo de caminata
		Requerimiento de espacio adicional
		Formación de pelotones y grupos de peatones

FUENTE: Elaboración Propia.

1.5 Justificación de la Investigación

La importancia de la presente investigación se enfoca en determinar los tiempos óptimos de los desplazamientos vehiculares y peatonales determinados en base a los flujos vehiculares, peatonales e infraestructura vial de la Plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca utilizando los softwares VISSIM 11.0 Y VISWALK 11.0; debido a que no existe investigaciones científicas con respecto este tema. Dicho estudio involucró el uso de herramientas computacionales relativamente nuevas para la ciudad de Cajamarca, las cuales nos dieron un nuevo enfoque para abordar dicho problema.

Además, la importancia del presente trabajo de investigación es contribuir al fomento del uso de dichos programas computacionales por parte de entidades públicas y privadas responsables de la gestión vial como la Gerencia de circulación vial de la ciudad de Cajamarca, la cual es encargada de velar por la seguridad, comodidad de los usuarios de las vías públicas. No sólo es una alternativa eficaz, sino también económica, la cual ayuda

a encontrar la situación óptima para las vías y diferentes intersecciones de nuestra ciudad utilizando la simulación virtual que es un tipo de experimentación más exacta.

También es importante la presente investigación porque los resultados son un punto de referencia para futuros estudios, como una investigación aplicada en una realidad como la ciudad de Cajamarca.

1.6 Alcances y Delimitación de la Investigación

La investigación se desarrolló con el objetivo de proponer soluciones al congestionamiento presente en la Plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca, para ello se hizo uso de los softwares Vissim 11.0 y Viswalk 11.0. Éste estudio fue llevado a cabo durante el primer trimestre del año 2017, periodo durante el cual la demanda de usuarios es menor debido a las vacaciones académicas en los diferentes centros educativos: inicial, primaria, secundaria entre otros. Debido a que el tráfico es variable, las mejoras y medidas planteadas son válidas solo durante el periodo mencionado y por ende no funcionarán de manera adecuada en el futuro, ya que serán condiciones diferentes.

1.7 Limitaciones de la Investigación

La investigación se centra básicamente en el análisis microscópico; es decir en la representación de la realidad de la interacción vehicular a través de asignaciones individuales a los vehículos y peatones, de los desplazamientos peatonales y vehiculares en la Plazuela Bolognesi, por lo que no se ha hecho un estudio riguroso respecto al tránsito en forma global. Esto quiere decir, que no se analizó la velocidad media de los vehículos, la densidad de tráfico entre otras variables propias de un análisis mayor.

1.8 Objetivos

1.8.1 Objetivo General

Determinar los tiempos óptimos de los desplazamientos vehiculares y peatonales en base a los flujos vehiculares, peatonales e infraestructura vial de la Plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca utilizando los softwares VISSIM 11.0 Y VISWALK 11.0.

1.8.2 Objetivos Específicos

- Determinar los tiempos óptimos de los desplazamientos vehiculares en base a los flujos vehiculares, peatonales e infraestructura vial de la Plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca utilizando los softwares VISSIM 11.0 Y VISWALK 11.0.

- Determinar los tiempos óptimos de los desplazamientos peatonales en base a los flujos vehiculares, peatonales e infraestructura vial de la Plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca utilizando los softwares VISSIM 11.0 Y VISWALK 11.0.
- Modelar el escenario real de la Plazuela Bolognesi utilizando los softwares VISSIM 11.0 Y VISWALK 11.0.
- Cuantificar los parámetros de medición a considerar luego del replanteo del modelo considerando 3 posibles alternativas de solución.
- Determinar las demoras de la rotonda de la Plazuela Bolognesi mediante el manual de carreteras HCM 2010.
- Comparar las demoras obtenidas entre la situación actual obtenidas mediante los softwares VISSIM 11.0 Y VISWALK 11.0 y el manual de carreteras HCM 2010.

1.9 Descripción de capítulos

El informe de tesis se está presentando en 5 capítulos. En el capítulo I se describe el contexto, el problema formulado en interrogante y los objetivos. El capítulo II se describen los antecedentes teóricos de la investigación, se presenta una sistematización de las bases teóricas que fundamentan científicamente la investigación, y se presenta la definición de términos básicos principalmente aquellos involucrados en las variables y sub- variables. El capítulo III se describen los materiales y métodos utilizados en la investigación indicando los procedimientos para el acopio de los datos de las diferentes variables a través de sus indicadores; también se indica el tratamiento y análisis de los datos que se utilizaron junto con las técnicas estadísticas de la presentación de los resultados. En el capítulo IV se presentan el análisis de los resultados y la discusión de los mismos con los antecedentes y las bases teóricas. Finalmente, en el capítulo V se declaran las conclusiones y las recomendaciones correspondientes según el logro de los objetivos, la hipótesis y los resultados obtenidos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales:

- Suárez L. (2007) en su trabajo de tesis de postgrado “Análisis Y Evaluación operacional de intersecciones urbanas mediante micro simulación” –Medellín, abordó el tema de herramientas computacionales para micro simular el tránsito en sitios determinados de la ciudad de Medellín, Colombia. Desarrolló una metodología para calibrar los parámetros de velocidades deseadas, brechas y el comportamiento del conductor usando como simulador el VISSIM. Mostró que los parámetros de mayor sensibilidad fueron los cambios en la velocidad deseada, comportamientos del conductor y brechas. Concluyó que el VISSIM generaliza algunos parámetros como el tipo de vehículos, trabajando en equipo interdisciplinario con ingeniero de tránsito y transporte, ingeniero físico y con un especialista en programas computacionales.
- Canca D., Guerrero F. y Jiménez F. (2006), en su trabajo de investigación “Un modelo de equilibrio dinámico y simulación para el análisis de flujos peatonales en grandes eventos expositivos” – Sevilla, abordaron el problema de precisión en los modelos clásicos de simulación peatonal. Plantearon como solución la creación de un nuevo modelo dinámico de distribución y asignación de flujos peatonales llamado Dynamic Distribution and Assignment simulation(DDAS), basado en técnicas de simulación en tiempo discreto y en asignación dinámica de rutas, permitiendo analizar el sistema de transporte en el interior de un recinto, priorizando el estudio de capacidades de los distintos tramos, calles, pasarelas, entre otros. El modelo propuesto combina los modelos de la planificación de transporte y simulación microscópica en tiempo discreto. Concluyeron que el modelo permitió estudiar el nivel de servicio en la red y en los pabellones, además de que puede ser aplicado en contextos no peatonales, como base para el estudio de la afluencia a parkings en áreas centrales de ciudades.
- Correa E. y Valencia S. (2005), para su trabajo de tesis de pregrado “Planteamiento de soluciones al problema de congestión vehicular y peatonal en el tramo comprendido en la carretera 7 entre las calles 39 y 45 de Bogotá”, abordaron el problema de gestionamiento peatonal y vehicular en el tramo más crítico de la zona en estudio, basándose en la caracterización de la zona de estudio (usos del suelo, características

geométricas y operativas, señalización), mediante la metodología del manual de planeación y diseño para la administración del tránsito, los resultados que se obtuvieron fueron el diagnóstico de las variables de tránsito del tramo en estudio y el planteamiento conceptual de posibles soluciones a los problemas identificados. Evidenciaron que para lograr la correcta descripción del flujo vehicular y peatonal es necesario analizar los volúmenes vehiculares y peatonales sobre una infraestructura vial idónea.

- González M. (2013), en su trabajo de tesis “Un modelo heurístico nuevo para el análisis del flujo vehicular”, abordó el problema de congestión vehicular en la ciudad de Puebla – México. Para resolver el problema propuso un modelo de tráfico para el análisis y simulación de las diferentes condiciones de circulación, basado en los modelos tanto macroscópico (Greenshields y Greenberg Headway) como mesoscópica y microscópica. Logró simular al congestionamiento, así como probar las diferentes estrategias para el descongestionamiento. Los resultados mostraron que en función de las colas vehiculares se pueden modificar los ciclos del semáforo. En consecuencia, probó que este modelo contribuiría a la sincronización de semáforos mejorando así el flujo vehicular de la ciudad de Puebla.

2.1.2 Antecedentes Nacionales:

- Avilés C. (2017), en su trabajo de tesis de pregrado “Microanálisis de los desplazamientos peatonales y vehiculares en las afueras del Hospital del Niño”- Lima, abordó el problema de tráfico vehicular y la falta de seguridad peatonal en la intersección ubicada en el límite de los distritos de Jesús María, Breña y Lima. Para ello creó un modelo de simulación del flujo vehicular y peatonal. Este modelo fue elaborado con la ayuda de los Softwares VISSIM y VISWALK, basados en los aforos vehiculares y peatonales de las calles que comprenden la intersección en estudio. En la simulación llegó a determinar que la falta de señalización en la intersección hace de la seguridad de ésta el aspecto más crítico, así como también es la causa de la formación de largas colas de los vehículos. Concluyó que se debería rediseñar la intersección, incluyendo la colocación de semáforos inteligentes para peatones y vehículos, además demoler el puente peatonal e incluir señales de tránsito que garanticen la seguridad.

- Álvarez J. (2017), en su trabajo de tesis de pregrado “Micro-simulación intermodal en la ciudad del Cusco empleando los softwares Vissim 8 Y Viswalk 8” realizada la ciudad de Cusco, propuso realizar la construcción un modelo de micro-simulación utilizando los softwares VISSIM Y VISWALK que tenga como base un correcto estudio vial de dicha intersección, así como la obtención de la cantidad de usuarios que hacen uso de las vías de la intersección en estudio. De esta manera, determinó que las causas que provocan las largas colas, demoras e incomodidad en los peatones se reducirían mediante la modificación de las fases y ciclos de los semáforos y algunas mejoras en la geometría de la zona estudiada.
- Leonardo R. (2017) en su trabajo de tesis de pregrado “Análisis del nivel de Serviciabilidad de las intersecciones semaforizadas de la avenida Villanueva Pinillos y modelado con SYNCHRO 8.0 – Jaén – 2016”, analizó el problema de congestión vehicular en las intersecciones semaforizadas de la avenida Villanueva Pinillos en Jaén; para lo cual propuso un modelo de la intersección con el software SYNCHRO en base a la serviciabilidad de dichas intersecciones. Realizó el estudio de tráfico para obtener el aforo vehicular de la zona en estudio. Concluyó que no todas las intersecciones se encuentran saturadas en su entorno y en algunos casos el flujo vehicular existente es el adecuado. De esta manera, el software SYNCHRO resulta muy útil para la obtención de una vista dinámica del desarrollo de un ciclo semafórico y la obtención de flujos de saturación y niveles de servicio aproximado.

2.1.3 Antecedentes Locales:

- Izquierdo Y. (2015) en su tesis de pregrado “Influencia del Flujo Vehicular y la Infraestructura Vial en el congestionamiento vehicular en la ciudad de Cajamarca”, abordó el problema de congestión vehicular de veinte y un (21) calles en la ciudad de Cajamarca, proponiendo el desarrollo de un modelo usando dinámica de sistemas en base al estudio de la influencia del flujo vehicular y la infraestructura vial en el congestionamiento vehicular de dichas vías. El desarrollo de esta metodología combina la teoría, los métodos y la filosofía para analizar el comportamiento de las vías en estudio, además dicho modelo fue verificado empleando la herramienta Vensim PLE. Evidenció que la influencia

del tráfico vehicular y la infraestructura vial es del 80% en el congestionamiento vehicular.

- Atoche W. y Rojas J. (2013) en su proyecto de investigación “Tránsito en una carretera usando simulación”, formularon el problema del impacto del tráfico vehicular como consecuencia de la explotación de minerales en las diversas regiones del territorio nacional. Estudiaron el tráfico vehicular en la ruta comprendida entre el poblado de Chilete al Proyecto Minero Conga (vía carretera Kunturwasi) en el departamento Cajamarca- Perú. Resolvieron el problema con un modelo para la simulación de tráfico utilizando el software de simulación Arena. Los resultados obtenidos de la simulación fueron útiles para programar el transporte de carga, sin alterar la capacidad promedio de las vías. Concluyeron que el uso de este estudio podría impactar positivamente en el uso de la vía Kunturwasi.
- Garcia y Perez (2013), en su trabajo de tesis “Estudio sistémico de aforo de tránsito vehicular en puntos críticos de la ciudad de Cajamarca”, abordaron el congestionamiento vehicular del centro histórico, proponiendo un modelo de simulación de flujo vehicular, desarrollado en visual Basic y Access, con el cual simularon el sistema de tránsito vehicular, basado en el aforo vehicular de las calles que comprenden al área de estudio. Concluyeron que se debería prohibir el tránsito de taxis así como tener un policía de tránsito permanentemente en horas de mayor flujo vehicular, retirar dos semáforos y finalmente implementar control fotográfico e intensificar la educación vial en los ciudadanos.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Rotondas

2.2.1.1. Disposiciones Generales

Intersección tipo rotonda

Las rotondas son una solución que consiste en hacer coincidir sus ramales en una circunferencia central, en el cual los vehículos giran alrededor de una isla central hasta llegar a su rama de salida. Las rotondas son usadas para generar un tráfico fluido y la preferencia en este tipo de intersección la tiene el vehículo que se encuentra dentro de la

rotonda. Además, se usan para evitar la implementación de semáforos. La implementación de este tipo de intersección es muy favorable, si las ramas de ingreso a la rotonda cuentan con volúmenes parecidos y/o existen movimientos de giros predominantes que superan los rectos. El diseño de este tipo de intersecciones debe basarse inicialmente en los estudios de tráfico, capacidad de la rotonda y el dimensionamiento de los entrecruzamientos. (López Leoncio, Medina Carlos, 2018, p.9).

Reglas de Prioridad en una rotonda

En una rotonda, tiene prioridad de paso el vehículo que circula por ella respecto al que intenta ingresar. (DS N°016-2009-MTC)

Tamaño, posición y alineación de aproximación

Para equilibrar los principios de diseño de una rotonda se necesitan de 3 aspectos.

- a. Diámetro de círculo inscrito:** Generalmente, para rotondas de varios carriles, el diámetro varía desde 45 a 100 m. Para rotondas de 2 carriles, pueden ser desde 49 hasta 55 m., para rotondas de 3 o 4 carriles, se puede obtener diámetros desde 60 a 100 m.

Tabla 2-1 Diámetro de círculo inscrito

Configuración de rotonda	Tipo de vehículo de diseño*	Rango de diámetro de circunferencia inscrita	
Mini-rotonda De un solo carril	SU-30 (SU-9)	45-90 ft	14-27 m.
	B-40 (B-12)	90-150 ft	27-46 m.
De varios carriles (2 carriles)	WB-50 (WB-15)	105-150 ft	32-46 m.
	WB-67 (WB-20)	130-180 ft	40-55 m.
	WB-50 (WB-15)	150-220 ft	46-67 m.
	WB-67 (WB-20)	165-220 ft	50-67 m.
De varios carriles (3 carriles)	WB-50 (WB-15)	200-250 ft	61-76 m.
	WB-67 (WB-20)	220-300 ft	67-91 m.

FUENTE: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010) por Guzmán Jesús, 2015.

*Tipo de vehículo de diseño, según las normas AASHTO, donde:

SU-30 : camión de 3 ejes.

B-40 : Bus interurbano.

WB – 15: Semitrailer intermedio.

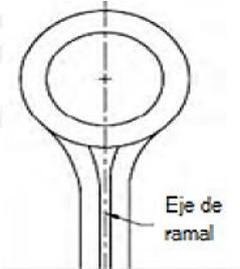
WB – 20: Semirremolque interestatal.

Al escoger un menor diámetro, éste ayudaría a un mejor funcionamiento debido a las limitaciones de derecho de paso que la rotonda exige, pero a la vez no se podría permitir un mismo ángulo de deflexión y control de velocidad, como si lo haría un diámetro mayor. (The Highways Agency, 2007, citado por Guzmán 2015).

b. Alineación de los ramales: Este aspecto afecta a la deflexión de entrada, por lo tanto, también a la velocidad. Además, afecta a la visibilidad del conductor de los otros ramales o entradas y la capacidad de que el vehículo diseño se acomode en su paso.

En la siguiente figura se aprecian las 3 formas de ubicar los ramales con respecto al centro de la rotonda.

Figura 2-1 Alineación de los ramales.

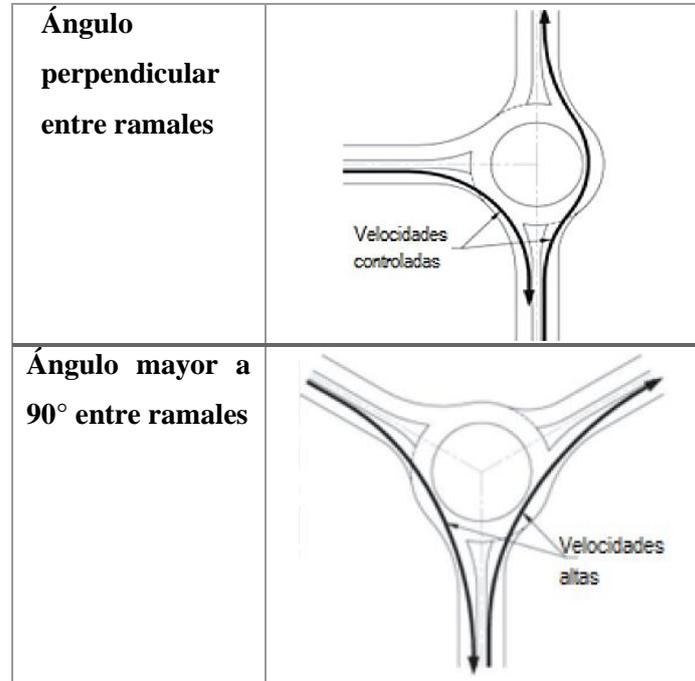
<p>Eje al lado izquierdo del centro de la rotonda</p>	 <p>Linea central de aproximación</p>	<p>Es bueno para rotondas pequeñas en la que transitan vehículos largos. Es ineficiente para vehículos ligeros porque tienen velocidades altas a la salida.</p>
<p>Eje alineado con el centro de la rotonda</p>	 <p>Eje de ramal</p>	<p>Permite que las curvaturas de salida puedan llevar a los conductores a reducir la velocidad. Normalmente usado para radios grandes.</p>
<p>Eje al lado derecho del centro de la rotonda</p>	 <p>Eje de ramal</p>	<p>En estas es más complicado obtener velocidades deseadas (entrada y salida), por ello no son normalmente usadas.</p>

FUENTE: Adaptado de NCHRP Report 672(2010) por Guzmán Jesús, 2015.

c. Ángulo entre los ramales de aproximación: En general, es preferible que las aproximaciones lleguen a la intersección con un ángulo aproximado de 90°; si es mayor a este, las velocidades para girar a la derecha serían elevadas y propensos a los accidentes; de la misma forma, si los ángulos son menores a 90°, los vehículos grandes dificultarían su giro (NCHRP, 2010, citado por Guzmán 2015). Por lo general, el hecho

que las aproximaciones lleguen de forma perpendicular a la intersección, hace que las velocidades sean bajas para cualquier movimiento deseado.

Figura 2-2 Ángulo entre los ramales de aproximación



FUENTE: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010) por Guzmán Jesús, 2015.

2.2.1.2. Pruebas de rendimiento

Las pruebas de rendimiento sirven para verificar si una alternativa de mejora efectivamente funcionará y cumplirá con las expectativas que se tienen desde su planteamiento, es decir es la comprobación de una alternativa de solución, para saber si mejorará el funcionamiento de un sistema que se encuentra en conflicto.

Lamentablemente, en los programas determinísticos no se pueden aplicar las siguientes pruebas ni tampoco verificar si funcionarán, ya que no contemplan datos desconocidos, por ende, no acepta la existencia del azar o incertidumbre como sucedería al proponer una situación futura. (Guzmán Jesús, 2015, p. 29)

Camino más rápido: Es el camino formado por los radios de curvatura de las partes de la rotonda (curvaturas de ingreso, salidas, circunferencia inscrita e isla central) los cuales son los más óptimos y seguros para el trayecto del vehículo. Para determinar cuál es la ruta más rápida, se analiza la trayectoria del vehículo sin seguir las separaciones de los carriles ni el tráfico que pueda haber, con la cual se puede hallar una velocidad segura para el diseño. También se debe tener en cuenta el camino natural, este consiste en seguir

la trayectoria en el mismo carril, ya que se asume que los demás carriles están llenos de vehículos. Para este caso, los radios de curvatura deben ser similares, pues de esa manera se mantiene una velocidad constante (NCHRP, 2010, citado por Guzmán 2015). Se tiene que analizar también las velocidades para cada ruta que tomarán los vehículos en general.

Tabla 2-7 Velocidad Máxima de diseño de entrada recomendada

TIPO DE ROTONDA	VELOCIDAD MÁXIMA DE DISEÑO DE ENTRADA RECOMENDADA
Mini-rotonda	30 km/hr
Un solo carril	40 km/hr
Varios carriles	40-50 km/hr

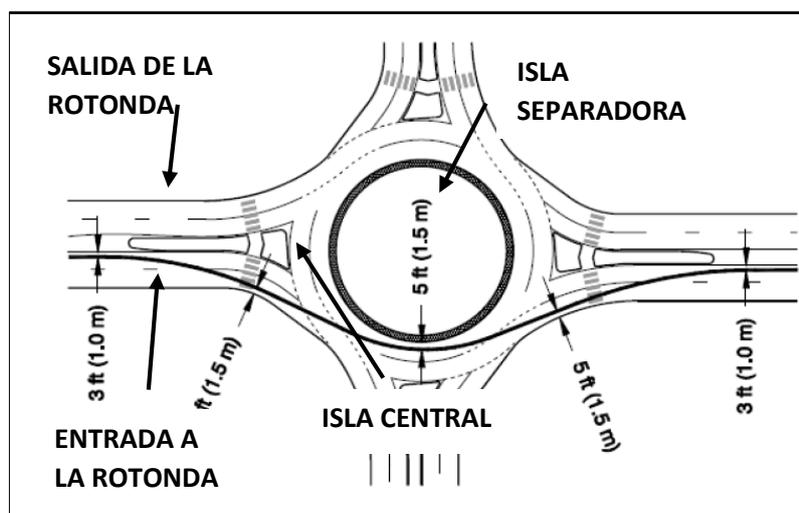
FUENTE: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010) por Guzmán Jesús, 2015.

Para obtener el camino más rápido se necesitan las siguientes consideraciones:

- Se debe conocer la trayectoria de los vehículos. Para rotondas en general, la trayectoria en la que los vehículos se desplazan más rápido se referencia con las siguientes distancias:

- 1.5 m. a las curvas de entrada y salida de la rotonda.
- 1 m. a las islas separadoras, presentes en la rotonda.
- 1.5 m. a los bordes de la isla central de la rotonda.

Figura 2-3. Camino más rápido en una rotonda



FUENTE: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010) por Guzmán Jesús, 2015.

- Se debe saber la velocidad de los vehículos para cada movimiento que se pretenda hacer. Para ello, se utilizan los radios horizontales para cada una de las rutas a tomar en la rotonda. Existe una relación entre el radio de curvatura horizontal y la velocidad de desplazamiento, dicha relación se muestra en la siguiente ecuación, donde se considera a “e” como la pendiente

$$V = 3.4415R^{0.3861} , \quad \text{para } e = +0.02 \quad (2.1)$$

$$V = 3.4614R^{0.3673} , \quad \text{para } e = -0.02 \quad (2.2)$$

Donde:

V = Velocidad de Vehículos. (m/s)

R = Radio de curvatura horizontal. (m)

e = Pendiente (en decimales)

Esta ecuación presentada es la más simple e ideal que se puede presentar, pues no se tiene en cuenta otros factores como las aceleraciones o desaceleraciones que se pueden tomar en el trayecto. (Guzmán Jesús, 2015, p. 31)

Visibilidad: Se entiende por visibilidad a la cualidad perceptible que permite ver objetos a determinada distancia. (Abreu, Brieto, Gómez, Lugo, Pacheco y Soler, 2017). De esta manera se los conductores pueden manejar de forma segura y puede prevenir accidentes. Los siguientes puntos son los más importantes a tener en cuenta:

- **Distancia visual de parada:** Es la distancia necesaria para que un conductor se detenga desde que percibe el objeto, ya sea peatón o un vehículo detenido. Se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

$$d = 1.468 * t * V + 1.087 * \frac{V^2}{a} \quad (2.3)$$

Donde:

d: Distancia visual de parada (m)

t: tiempo de percepción, por lo general es 2.5 s

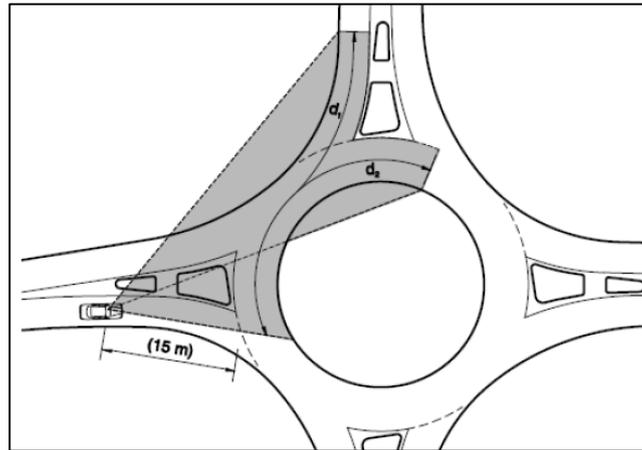
V: velocidad inicial mph

a: desaceleración (m/s²), por lo general es 3.3528 m/s²

- **Distancia visual a la intersección:** Es la distancia necesaria para percibir la presencia de la intersección. Los únicos lugares que debe mirar el conductor son los

vehículos que se acercan de la entrada anterior y los vehículos que se aproximan por alrededor de la rotonda; estos dos puntos mencionados y el lugar del conductor forman un triángulo llamado “el triángulo de visibilidad” (NCHRP, 2010 citado por Guzmán 2015). Dicha figura sirve para que el conductor pueda prevenir cualquier conflicto vehicular que pueda suceder al momento de llegar a la intersección.

Figura 2-4 Distancia visual a la intersección



FUENTE: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010) por Guzmán Jesús, 2015.

Figura 2-5 Distancia visual a la entrada de la rotonda.

	<p>Distancia visual a la entrada del óvalo</p>
	<p>Distancia visual de la calzada circulatoria</p>
	<p>Distancia visual al cruce peatonal en la salida</p>

FUENTE: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010) por Guzmán Jesús, 2015.

Para que el triángulo de visión funcione de la mejor manera, la longitud desde el vehículo a la entrada de la rotonda no debe exceder los 15 m., ya que el exceso de visión hace que los accidentes se incrementen; sabiendo esto, se pretende que los vehículos que ingresan reduzcan la velocidad y cedan el paso.

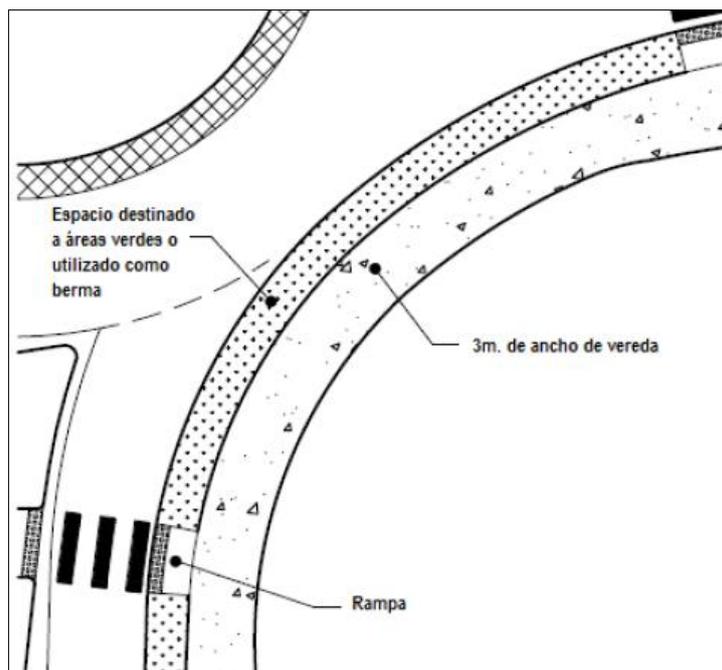
El ángulo de visibilidad entre dos vehículos que se aproximan la rotonda por dos ramales consecutivos no debe ser menor a 75° , ya que, de ser así, a aquel que está al lado derecho le va a ser muy dificultoso ver que otro vehículo también está ingresando a la rotonda y tendría que sacar el cuerpo por la ventana o girar demasiado, perdiendo de vista el panorama frontal. (Guzmán Jesús, 2015, p.34)

c. Detalles finales de diseño

Consideraciones de diseño para los peatones: El funcionamiento de la rotonda no solo tiene que ver con que no haya congestión vehicular, sino que también que los peatones no se vean perjudicados al trasladarse a través o alrededor de la rotonda

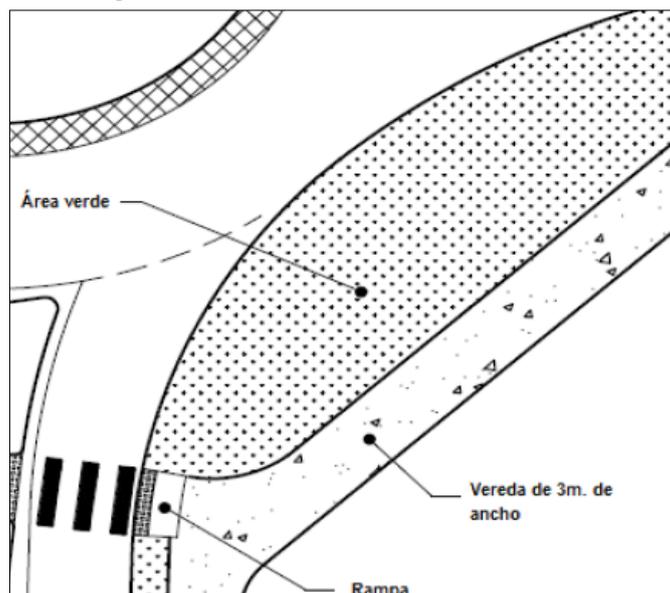
- **Veredas:** Estas deben bordear exteriormente la calzada circulatoria, de esta manera se da más comodidad a los peatones, ya que en estos lugares podría haber bancas, áreas verdes y entretenimiento. Además, esto ayuda a que los peatones no puedan cruzar hacia la isla central y así guiar a las personas con discapacidad.

Figura 2-6 Áreas verdes utilizadas como berma en una Rotonda



FUENTE: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010) por Guzmán Jesús, 2015.

Figura 2-7 Áreas verdes en una Rotonda



FUENTE: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010) por Guzmán Jesús, 2015.

El ancho de vereda normalmente es 1.8 m., pero puede llegar a tener hasta 1.5 m. como mínimo, y si está junto a ciclo vías, esta debe tener más de 3 m. (Guzmán Jesús, 2015, p.36).

Cruceros peatonales: En las islas separadoras, el ancho del cruceo peatonal debe ser mayor a 1.8 m. Dicho cruceo debería estar a no menos de 6 m. del borde de la calzada circulatoria, ya que en esa distancia puede entrar un vehículo. Los cruces peatonales deben ser perpendiculares a las veredas e isla divisorias, pues de esta manera se utiliza la ruta más corta. Si se genera una intersección muy angulada en la isla separadora por la unión de los cruceros peatonales, se debería optar por tomar el cruceo de manera recta, de esta manera se ayuda a las personas con discapacidades visuales a cruzar con mayor facilidad. Uno de los cruceros peatonales más seguros es el elevado, ya que hace que los vehículos reduzcan su velocidad, además las personas discapacitadas ya no tendrán que subir y bajar las rampas al momento de cruzar la calzada en ambos sentidos. Es importante mencionar que todo cruceo peatonal debe estar debidamente señalizado para la prevención de los accidentes. (Guzmán Jesús, 2015, p.37).

Consideraciones a tener en cuenta para la ubicación de los paraderos:

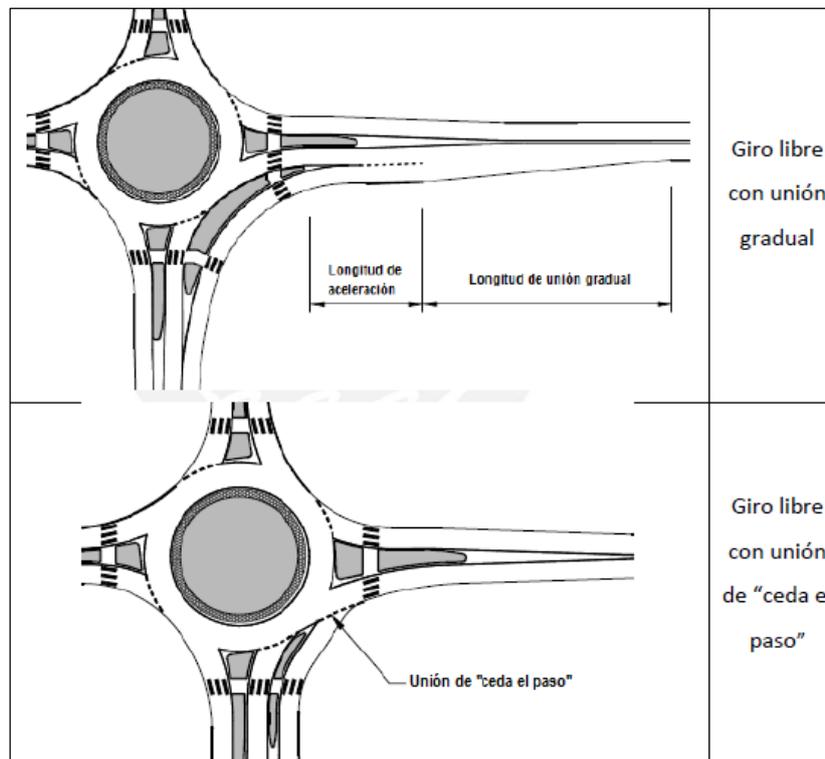
- **Antes de la intersección:** El paradero debe estar lo suficientemente pegado a la derecha para evitar problemas cuando otros vehículos deseen adelantar al que está parado.

Para rotondas de un solo carril, es posible que el paradero se ubique al costado del cruceo peatonal, ya que tiene visión total de todo el cruce, sin embargo, esto no aplica para rotondas de varios carriles, en este caso, los paraderos deben estar desde 15 m. antes del cruceo peatonal.

- **Después de la intersección:** En este caso, el paradero debe estar después del cruceo peatonal. Se pueden crear un espacio libre, muy aparte de los carriles, en la que los buses puedan detenerse, de esta manera se evitaría que las colas se prolonguen a la rotonda misma, aunque se puede generar un poco de congestión al salir de dicha retirada.

Giros libres a la derecha: Cuando el flujo vehicular que desea girar hacia la derecha es alto, una buena solución es crear un carril exclusivo para dicho propósito. Otra causa por la que se opta por esto es que existe un alto flujo vehicular que circula alrededor de la rotonda. Hay dos opciones de solución, una es crear la vía libre con una salida paralela a la calzada con la que se unirá, pero tiende a que las velocidades de los vehículos no se reduzcan. La otra opción es que dicha vía tenga una salida que ceda el paso a los que salen por el ramal al que se unirá, pero es mejor cuando se tiene un alto flujo de peatones y ciclistas. (Guzmán Jesús, 2015, p.38).

Figura 2-8 Giros libres a la derecha



FUENTE: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010) por Guzmán Jesús, 2015.

2.2.2. Reglas de Prioridad o derecho de Paso

Las reglas de prioridad se establecen cuando las trayectorias de distintos usuarios de las vías públicas que coinciden en un punto denominado intersección, generan el conflicto de quien va a pasar primero. Este conflicto puede surgir entre los conductores de los vehículos cuyas trayectorias se cruzan en una intersección o entre conductores de vehículos y peatones. (Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones de San Martín, Argentina)

En la sección IV del texto único ordenado del Reglamento Nacional de Tránsito, se hace referencia al derecho de paso, a continuación, se detalla lo siguiente:

Derecho de Paso

Artículo 176.- Derecho de paso en intersección no regulada.

El conductor de un vehículo que llega a una intersección no regulada, debe ceder el paso a los vehículos que la estén cruzando.

Artículo 177.- Derecho de paso en vía preferencial.

El conductor de un vehículo que llega una vía preferencial, debe ceder el paso a los vehículos que circulen por dicha vía. Sólo puede ocupar la calzada de la vía preferencial cuando este despejada y pueda realizar el cruce.

Artículo 180.- Derecho de paso en caso de existir semáforos y señales.

En las intersecciones donde se ha determinado la preferencia de paso mediante semáforos o mediante señales de “PARE” o “CEDA EL PASO”, no regirán las normas establecidas en los artículos anteriores.

Artículo 181.- Derecho de paso en rotondas.

En una rotonda, tiene prioridad de paso el vehículo que circula por ella respecto al que intenta ingresar.

Artículo 183.- Preferencia de paso al ingreso o salida de una vía.

El conductor de un vehículo que ingresa a una vía, o sale de ella, debe dar preferencia de paso a los demás vehículos que transiten por dicha vía y a los peatones.

Artículo 184.- Derecho de paso en al reinicio de la marcha o cambio de dirección o de sentido de circulación.

El conductor de un vehículo al reiniciar la marcha, o cambiar de dirección o de sentido de circulación, debe dar preferencia de paso a los demás vehículos.

Artículo 186.- Preferencia de paso de los peatones.

El conductor que conduce un vehículo debe dar preferencia de paso a los peatones que hayan iniciado el cruce de la calzada en las intersecciones no reguladas y a los que estén concluyendo el cruce en las intersecciones reguladas, siempre que lo hagan por los pasos destinados a ellos, estén o no debidamente señalizados.

2.2.3 Teoría de Modelo y Sistema

a. 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).

b. 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).

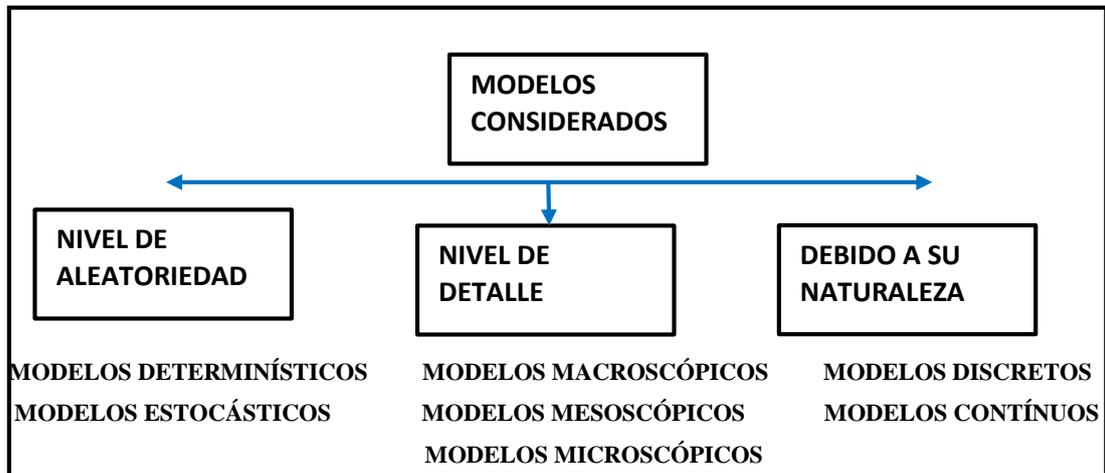
Esta modelación permite conocer la situación actual del proyecto y predecir la futura condición del flujo vehicular a través de los parámetros considerados para el estudio.

c. 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 2-9. Al lado izquierdo se presenta la clasificación debido a su nivel de aleatoriedad, tales como el modelo determinístico y estocástico, dependiendo de la existencia de la probabilidad.

En la sección central se divide según el nivel de detalle. Y al lado derecho; según su naturaleza: modelos discretos y continuos.

Figura 2-9 Modelos considerados por nivel de aleatoriedad, detalle o naturaleza



FUENTE: Adaptado de Avilés, 2017

La modelación del tráfico por el tipo de evento o aleatoriedad de sus variables, se clasifica en 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, es decir que no contempla la incertidumbre para la simulación).

• **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 y 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.

Los modelos, también se pueden clasificar por su naturaleza, es decir si la variación de un parámetro es simultánea o continua:

- **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).

Por último, se presentan los tipos de modelo según el nivel 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.

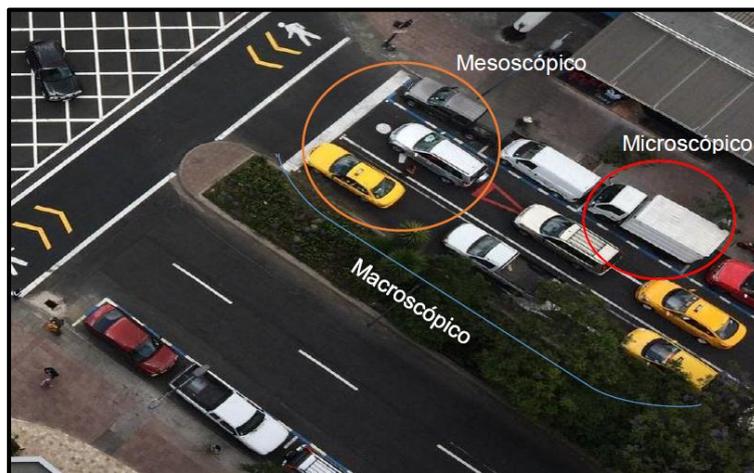
- **Modelos Microscópicos**

Representar la realidad mediante una interacción vehicular, a través de asignaciones individuales a los vehículos y peatones, es una característica de este modelo (Mathew y 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 2-10 se observan las consideraciones pertenecientes a cada modelo, según el nivel de detalle de la simulación.

Figura 2-10 Modelo Microscópico, Mesoscópico y Macroscópico



FUENTE: Alvarez Vargas, Jordy Wilber, 2017

2.2.4 Micro simulación 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. (Sánchez Luis, 2019)

a. Fundamentos de la micro simulación

Cada micro simulación realizada, cuenta con conceptos fundamentales para lograr el objetivo, entre ellos está la aleatoriedad del modelo, el warm up (periodo de estabilidad para conseguir el equilibrio vehicular dentro del programa, ya que al empezar la simulación no hay vehículos del sistema), la interacción vehicular, la calibración y la validación. (Alvarez Jordy, 2017, p.9)

b. Nivel de aleatoriedad en el flujo tráfico (determinísticos y estocásticos)

El nivel de aleatoriedad dentro de los softwares de micro simulación 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: del 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. (Alvarez Jordy, 2017, p.9)

c. 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 citado por Alvarez, 2017).

d. 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, citado por Alvarez, 2017). 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, citado por

Alvarez, 2017). 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. (Alvarez Jordy, 2017, p.9)

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:

$$S^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1} \quad (2.4)$$

Donde:

S: desviación estándar

X: resultado del parámetro de eficiencia en una corrida específica: 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:

(2.5)

$$CI_{(1-\alpha\%)} = 2 * t_{(\alpha/2), N-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Donde:

CI: 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:

$$N = \left(t_{\alpha/2} \times \frac{S}{e} \right)^2 \quad (2.6)$$

Donde:

N: número mínimo de corridas

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

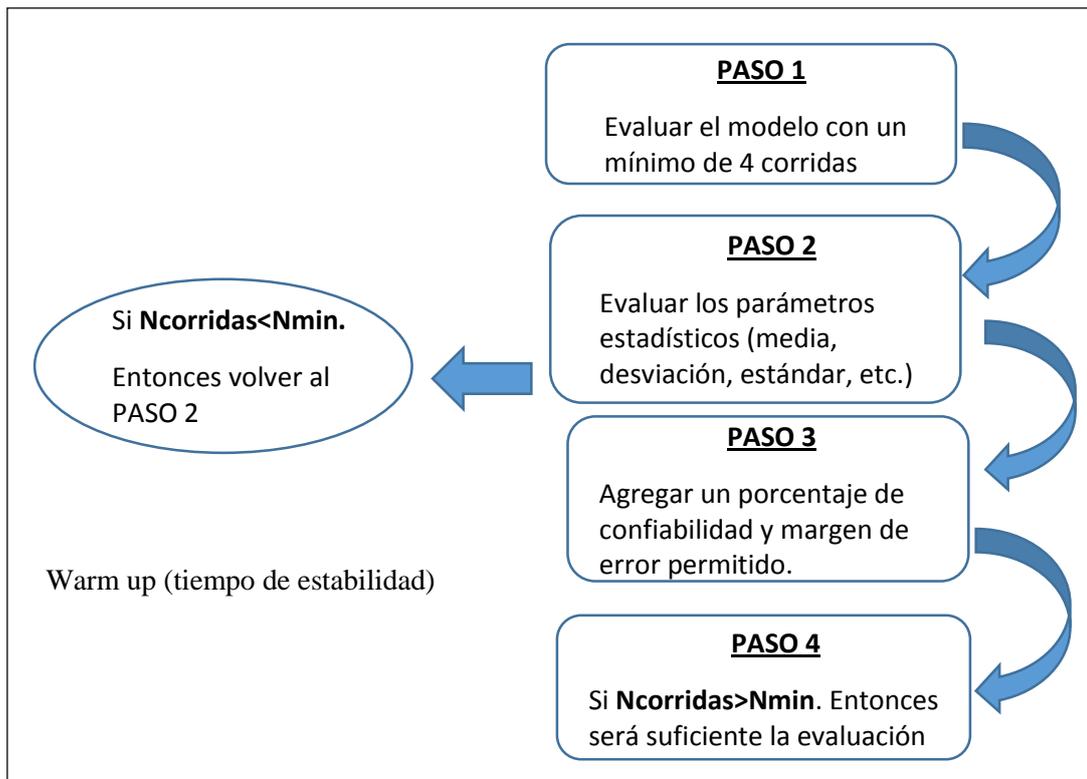
S: desviación estándar

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 2.6.

Finalmente, se debe comparar el valor obtenido por la ecuación 2.6 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 2-11. (Alvarez Jordy, 2017, p.11).

Figura 2-11 Proceso de Simulación



FUENTE: Alcalá Moisés, 2016 (Proceso recomendado por FHWA 2004)

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. (Alcalá Moisés, 2016)

e. 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)

f. 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).

g. 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).

h. 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, destacando el modelo de Wiedemann, el cual es ampliamente usado en el Vissim.

h.1 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).

Finalmente, en la cuarta situación, este se encuentra en una fase de desaceleración. El conductor tendrá que frenar al no contar con una distancia segura con respecto al otro vehículo (área de desaceleración o frenado).

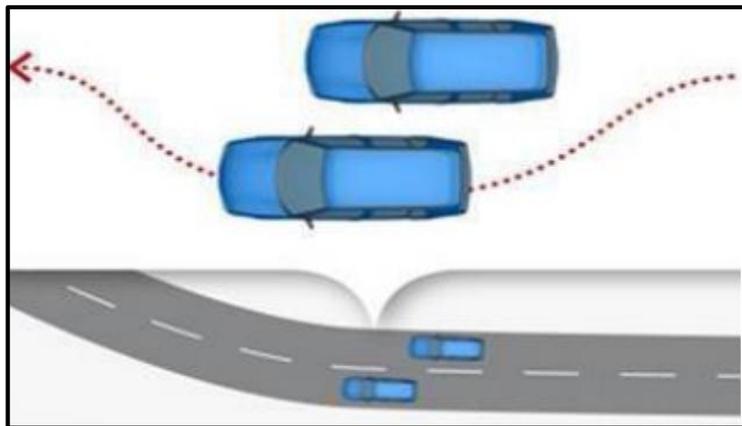
En la figura 2-12 se ilustra las situaciones o fases que atraviesa el conductor en la circulación del tráfico:

i.2 Cambio de carril libre

En este escenario se presenta el adelanto a vehículos con movimiento lento. Por ejemplo, se aprecia en la figura 2-14 que el vehículo realiza un cambio de carril libre ya que su velocidad deseada es mayor que el de adelante.

En estos tipos de modelos se asegura que el vehículo adelantado no se vea considerablemente afectado por esta maniobra (PTV Group, 2016)

Figura 2-14 Cambio de carril libre



FUENTE: PTV GROUP (2016)

2.2.5 PTV Vissim

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

a. Antecedentes

Este programa tuvo su primera aparición en el año 1992, con la versión 2.03. Sin embargo, sus inicios datan de la década de los ochenta en Alemania, durante la cual se realizan trabajos de planificación de redes de autobús y transporte en la carretera de Mannheim. A finales del 2018, PTV Group lanzó al mercado la versión más reciente de este programa, la cual fue desarrollada en la actualidad el software se encuentra en su versión 11.0.

b. Aplicación

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

Debido a las herramientas que brinda Vissim 11.0 es posible realizar comparaciones entre los cambios geométricos que se pueden realizar en una intersección. De esta manera, permite analizar numerosas variantes de diseño manteniendo los niveles de servicio, tardanzas o longitud de colas.

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

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

Finalmente, permite la modelación de los detalles de buses, subterráneo, trenes y otros medios de transporte masivos. De esta forma, se pueden plantear mejoras operacionales específicas, simular y comparar los distintos caminos que puede tomar el transporte público y la ubicación de las paradas. (Avilés Carolina, 2017, p.16)

c. Funcionamiento

El funcionamiento de Vissim se basa en el modelo de Seguimiento Vehicular, específicamente en el modelo de Widemann 74, el cual es utilizado para el tránsito urbano y describe el comportamiento del tráfico dentro de un mismo carril. “El modelo está implementado dentro de PTV Vissim y puede ser ajustado por el usuario a través del valor de parámetros, lo que permite representar las condiciones locales y calibrar adecuadamente el modelo” (PTV Group, 2015). Sin embargo, el software completa su simulación con el modelo del cambio de carril libre y el modelo del cambio de carril necesario. (Avilés Carolina, 2017, p.17)

d. Arquitectura del sistema

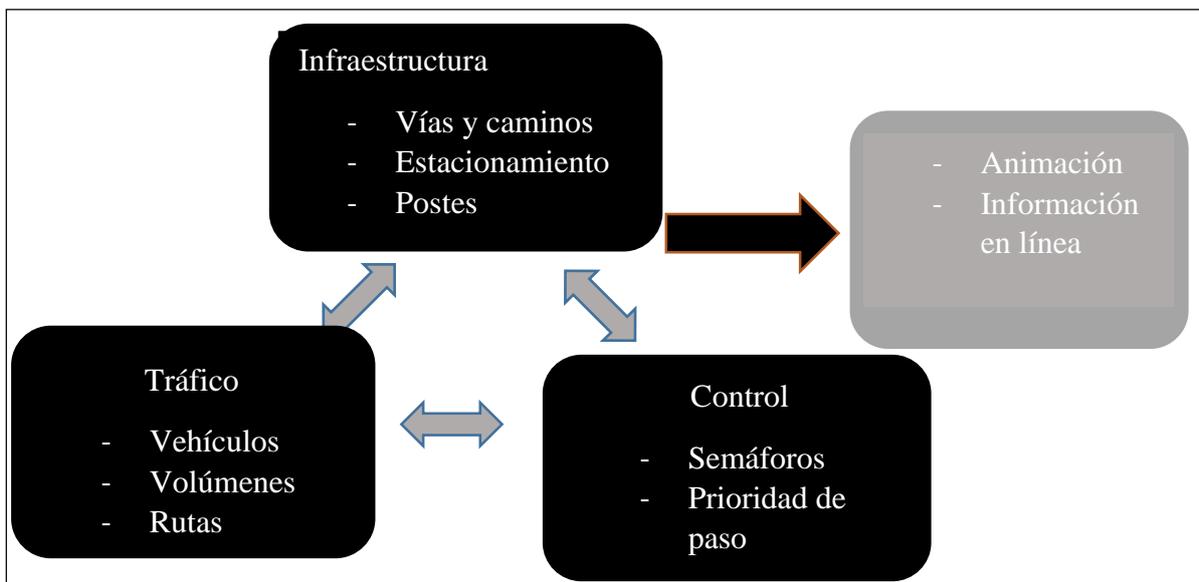
A diferencia de los modelos macroscópicos, Vissim realiza modelos en forma detallada. Es por esta razón que este simulador contiene tres bloques principales de construcción y un bloque adicional de generación de resultados para cada ejercicio de simulación.

El primer bloque se encuentra compuesto por la infraestructura de la vía, incluyendo los postes y los lugares de estacionamiento. En este bloque se requiere la modelación física de las vías y pistas, la determinaron de inicio y fin de los paraderos y zonas de estacionamiento. De igual manera, se requiere la colocación de las señales de tránsito, postes y elementos presentes en la vía modelada.

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

Finalmente, el tercer bloque se encuentra compuesto por los elementos de regularización y control de tránsito, esto permite indicar si una intersección esta regularizada por prioridad de paso o es semaforizada. Los tres bloques presentados están activos durante la simulación, manteniendo su independencia. (Avilés Carolina, 2017, p.18)

Figura 2-15 Esquema de 4 bloques de construcción



FUENTE: Adaptación de Fellendorf 2010 por Avilés Carolina, 2017

d.1 Modelamiento de infraestructura

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

Para la creación de la red es importante conocer los elementos que Vissim 11.0 nos proporciona. Los enlaces y conectores son utilizados para la representación de las vías. Estos gráficos tienen nodos que permiten que el programa genere y evalúe situaciones tales como: dos vías que se unen en una sola, dos vías que se cruzan, una vía que se divide en dos o más; o cambio en las características de la vía. Los enlaces son utilizados para la representación del eje de la vía, por lo que contendrá todas las características de esta, como por ejemplo coordenadas, gradientes, distribución de tráfico, etc. Por otro lado, los conectores permiten la unión de las distintas vías, lo cual ayuda a crear geometrías detalladas (PTV Group, 2015).

Sin embargo, en la vía podemos encontrar otros elementos que son considerados parte de la infraestructura del modelo. Por ejemplo, las señales de velocidad máxima o los indicadores de prioridad entre usuarios. Este software permite la creación de paraderos de buses o transporte público en general, esto permite crear un modelo más próximo a la realidad, ya que las paradas de estos vehículos es un factor que influye en el tráfico. Finalmente, se puede incluir zonas de estacionamiento, permitiendo modelar el efecto de las mismas en el tráfico. (Avilés Carolina, 2017, p.19)

d.2 Modelamiento de tráfico

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

En el caso del transporte privado, el software permite la diferenciación entre categorías y tipos de vehículos; y da la posibilidad de plantear distribuciones de tráfico en base a estas dos diferenciaciones. Vissim presenta, por defecto los siguientes tipos de vehículos: autos, camiones, autobús, tranvía, bicicleta y peatones; por otro lado, tiene las siguientes clases; livianos, pesados, buses, trenes, peatones y bicicletas. También permite la introducción de distribuciones de velocidad deseada, parámetro que impacta en la capacidad de las vías y en los tiempos de viaje; distribuciones de peso y potencia,

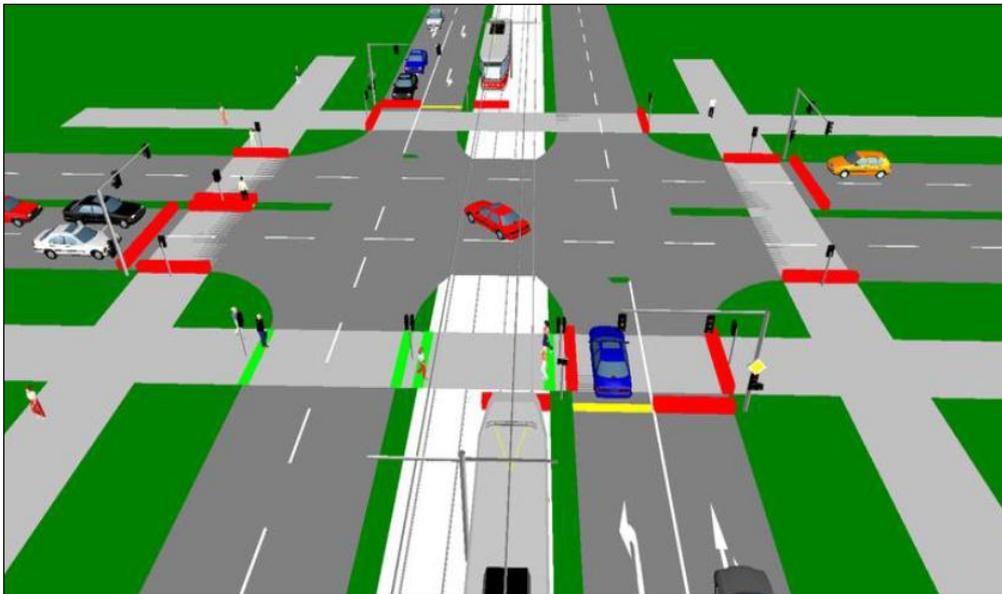
parámetro exclusivo de los vehículos pesados; y distribución del tiempo, las cuales permiten simular los tiempos de parada de buses, señales de pare, tiempos en peajes, etc. Algunas características adicionales que se pueden agregar son: el modelo y color en la visualización 3D, pesos de vehículos, clases de emisiones y costos por el uso de vehículos. En el caso del transporte público, adicionalmente a las características mencionadas anteriormente se pueden definir secuencia de llegadas de los vehículos en base a cronogramas de llegada. También permite determinar los tiempos de demora de las líneas debido a las paradas para que los pasajeros suban. (Avilés Carolina, 2017, p.19)

d.3 Control de tráfico

Las intersecciones se pueden dividir en dos grandes grupos, aquellas controladas por semáforos y aquellas que no. Estas últimas se basan en la prioridad de paso entre los distintos caminos y vías que se encuentran en ella. El programa tiene por defecto ciertas reglas de prioridad de paso, las cuales no necesariamente se cumplen en todos los escenarios; es por esta razón que debido a la flexibilidad de Vissim 11.0, el programa permite determinar las reglas de prioridad de tránsito en cada proyecto. De igual manera, esta opción permite determinar cuando los peatones tienen la prioridad. En el caso de Lima, durante el análisis de las intersecciones de este tipo la realidad demuestra que los vehículos tienen la prioridad sobre los peatones, a pesar de que la teoría debería el caso opuesto.

Por otro lado, se encuentran las intersecciones semaforizadas. El modelo de estas intersecciones está regulado por controladores de señales, los cuales controlan el tráfico en la intersección. En otras palabras, estos reguladores son representaciones de los semáforos, con fases de tiempo verde, rojo y ámbar. Vissim 11.0 permite regular y cambiar los ciclos de los controladores en base a los observado en la realidad, pudiendo escoger entre varias combinaciones de las secuencias de intervalos.

Figura 2-16 Modelo 3D de una intersección semaforizada, elaborada en el programa VISSIM (donde se observa los semáforos, peatones y vehículos que intervienen en dicha intersección).



FUENTE: Tichý, 2009

d.4 Datos de salida

Luego de introducción todos los datos y valores en Vissim 11.0, se podrá correr el modelo y obtener los valores de control requeridos. Entre los resultados, que se pueden obtener, se encuentran las demoras, paradas, velocidades, longitudes de cola y la densidad de tráfico. Sin embargo, para la presentación de los proyectos, la visualización en 2D y 3D es una herramienta que permite un mejor entendimiento de los planteado y/o realizado. Por lo expuesto, este software permite la recreación de los modelos en ambos formatos para generar, a su vez, videos en formato AVI. Para una mejor presentación del modelo 2D se pueden importar imágenes y dibujos CAD; y para el modelo 3D se pueden importar modelos desde el programa Google Sketchup o Autodesk 3DS Max.

2.2.5. PTV Viswalk

Los modelos presentados son utilizados para el análisis de distintos medios de transporte, incluyendo caminar. Sin embargo, como complemento de Vissim 11.0 se puede hacer uso de Viswalk 11.0. Este programa de microsimulación surge debido a que se ha observado que los peatones y los vehículos no se rigen bajo las mismas reglas. Este software se basa en el modelo de Fuerza Social.

a. Aplicaciones

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

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

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

2.3 Definición de Términos Básicos

• Flujo Vehicular

Es el movimiento de vehículos desde de una posición inicial a una posición final sobre secciones específicas dentro de un sistema vial, describen la forma como circulan los vehículos y para su análisis se relacionan con diferentes variables, principalmente con el volumen, velocidad, densidad, intervalo y espaciamiento. (Rivera, 2016) ; (Mozo Sánchez, 2011).

• Espacios Comerciales

Son extensiones territoriales, ya sea en un medio urbano o rural, destinadas al comercio de bienes o servicios, en los que interactúan los compradores y vendedores. Entre los tipos de comercio desarrollados en estas zonas se tiene: locales comerciales, mercados, restaurantes y negocios informales. (ConceptoDefinicion, 2016) ; (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2011).

- **Edificios de uso Educativo y Espacios Recreacionales**

Edificios de uso Educativo

Son aquellas construcciones en las que se brindan los servicios de capacitación y educación, y sus actividades complementarias; generando de esta manera la concurrencia de estudiantes, docentes y todos aquellos profesionales que trabajan para el estado. Entre los tipos de edificaciones educativas están: Instituciones Educativas de Nivel Inicial, Nivel Primaria, Nivel Secundario y Nivel Superior. (Alberto, 2015); (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

- **Edificaciones de Espectáculos Deportivos**

Son bienes inmuebles destinados a las actividades de esparcimiento, recreación activa o pasiva, a la presentación de espectáculos artísticos, a la práctica de deportes o a la realización de espectáculos deportivos, y cuentan por lo tanto con la infraestructura necesaria para facilitar la realización de las funciones propias de dichas actividades. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento).

- **Aforo Vehicular**

Es el conteo de vehículos que se encuentran en una determinada área, que pasan por sección de una vía o intersección en un intervalo de tiempo dado; se tiene en cuenta su variación, su tasa de crecimiento y su composición. (ASISTRA, 2019).

- **Flujo Peatonal**

Describe la circulación de los peatones sobre las vías públicas, desde una posición inicial a una posición final. El flujo peatonal dependerá de variables como la velocidad del peatón, condiciones de movilidad, grado de fricción entre otras; su análisis es factible en ciudades pequeñas e intermedias (Guío, 2010).

- **Aforo Peatonal**

Es el conteo de peatones, especialmente clasificados por su variación (espacial y temporal), distribución (por sentidos o cruces en accesos de intersecciones) y composición (de acuerdo con los atributos de los peatones, como género, edad y ocupación). (Guío, 2010).

- **Infraestructura Vial**

Es el conjunto de instalaciones y activos físicos proyectados y construidos fundamentalmente para el desplazamiento de vehículos o peatones en forma confortable y segura desde un punto a otro por vía terrestre. De manera general, las vías se clasifican en urbanas e interurbanas. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2008); (Wikipedia, 2018) ; (Vásquez Cordano, 2008).

- **Infraestructura Física**

Son aquellos elementos viales tales como: estructura del pavimento, separadores centrales, obras de drenaje, elementos de seguridad vial de apoyo, entre otros. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2008); (Alcaldía de Barranquilla, 2019).

- **Nivel de Servicio**

Indicadores que califican y cuantifican el estado de una vía mediante las condiciones de operación del flujo vehicular y de su percepción por los motoristas y/o pasajeros. Estas condiciones son descritas por factores como: velocidad y tiempo de recorrido, comodidad, seguridad vial entre otros. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008); (Obando).

- **Señalización y Seguridad Vial**

Son elementos que componen el sistema vial y cuyo objetivo principal es brindar al usuario de éstas vías la información suficiente para orientarlo sobre el sitio que se encuentra y la forma de alcanzar su destino, previniendo o evitando riesgo de accidentes. (Dirección General de Servicios Técnicos, 2014); (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2008)

- **Gestión de la Infraestructura Vial Urbana**

“Es la administración de la infraestructura vial, la que comprende las funciones de planificar, organizar, dirigir, coordinar, ejecutar, y controlar la infraestructura vial terrestre”; de esta manera mejorar la satisfacción en los usuarios de una manera más productiva. (Ministerio de Transporte y comunicaciones (MTC), 2006); (Rojas, 2007).

- **Desplazamiento Vehicular**

Es el movimiento que realiza un vehículo para ir de un punto inicial a un punto final en una determinada sección de una vía pública. (Márquez, 2019).

- **Longitud de cola**

Es la longitud lineal de todos los vehículos que esperan antes de cruzar una intersección vial por un determinado periodo de tiempo, ya sea debido a la presencia de una señal de parada de tránsito, un policía de tránsito o algún peatón cruzando la calle. Su análisis es importante para determinar la capacidad y calidad del equipo de control del tráfico (Martínez, 2004) ; (Wu, 1998).

- **Demora de Viaje**

Es la diferencia que existe entre el tiempo real y el tiempo de viaje ideal (en flujo libre) requerido para ir de un punto a otro en una determinada ruta. Se puede dar debido al tiempo de espera para cruzar una intersección o algún otro evento que ocasione una demora. (Avilés C. , 2017).; (Travel time and delay studies, s.f.).

- **Paradas**

Son espacios o elementos urbanos en los que existe intercambio pasajero-vehículo y que contribuyen al funcionamiento óptimo del flujo vehicular. Estos pueden ser predeterminados como en el caso del sistema público, los cuales son conocidos como paraderos; o en base a la decisión del conductor, sin seguir una regla, como en el caso de los vehículos privados. (Wikipedia, 2017); (Avilés C. , 2017).

- **Desplazamiento Peatonal**

Es la acción que realiza un peatón al trasladarse de una posición inicial a una posición final en una vía pública. (Márquez, 2019); (RAE, 2018).

- **Peatón**

Es la persona que, sin ser conductor, transita a pie por las vías públicas. También se consideran peatones los que empujan cualquier otro vehículo sin motor de pequeñas dimensiones o las personas con movilidad reducida que circulan al paso con una silla de ruedas con motor o sin él". (Ministerio del interior, 2014).

- **Grado de Fricción**

Es el grado de rozamiento que existe entre los peatones; ya sea en una zona comercial, educacional, etc. y debido a la presencia de aceras angostas, presencia de obstáculos, bajas velocidades de caminata, los cuales impiden un flujo libre peatonal y dificultar maniobras como adelantamiento. (Oxford University Press); (Guío Burgos, 2010).

- **Interacción**

Es la acción que se desarrolla de manera recíproca entre los peatones, generando que se integren formando masas de una densidad más o menos uniforme, llevando a todos ellos en el mismo sentido como sucede con la formación de pelotones y grupo de peatones. (Definicion, 2018); (Guío Burgos, 2010).

- **Formación de Pelotones y grupo de peatones**

Es el resultado de la interacción entre peatones. Un pelotón, según TRB (2000), se refiere al número de peatones caminando juntos en un grupo involuntariamente, como resultado de un semáforo u otros factores, el grupo de peatones es un conjunto de personas que comparten un viaje o parte del mismo, caminando en conjunto e interactuando voluntariamente entre ellos, de manera que su velocidad de caminata es similar (Guío, 2010)

- **Elipse corporal**

Es el espacio ocupado por un peatón ya sea en una zona de espera o en movimiento, se representa mediante una elipse, que en el primer caso tiene un área de 0.3 m^2 y para peatones en movimiento, la elipse debe considerar una zona adicional debida al paso del peatón y al movimiento de los brazos, definiendo un área peatonal de 0.75 m^2 (Guío, 2010)

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

3.1.1 Ubicación Geográfica

La investigación se desarrolló en la ciudad de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca, localizado en el norte del Perú, específicamente en la rotonda de la Plazuela Bolognesi cuyas coordenadas son:

Plazuela Bolognesi

- Latitud: 7° 09' 48.49" S
- Longitud: 78° 30' 39.16" S
- Altitud: 2717 m
- Coordenadas UTM:
Norte: 9207435 N
Este: 774914 E
DATUM: WGS84 ZONA 17M

Figura 3-1 Imagen de la Plazuela Bolognesi



FUENTE: Elaboración Propia.

3.1.2 Estado del arte

La Plazuela Bolognesi es una intersección del tipo rotonda, en la cual confluyen las Avenidas Héroes de San Ramón, San Martín de Porres, Independencia y el jirón Juan XXIII. La situación actual del flujo vehicular, peatonal y la infraestructura vial de dichas avenidas han sido estudiadas en esta investigación. El Pasaje San Agustín no se ha considerado, debido a que no existe interacción vehículo- peatón en esta zona, y se ha considerado como zona comercial de destino para la simulación.

Para conocer el estado en que cada vía se encuentra, se procederá a describirlas a continuación:

- **Avenida Atahualpa**

El tramo estudiado comprende la última cuadra de esta avenida y tiene una longitud aproximada de 100 metros desde la intersección de la rotonda con dicho tramo, el ancho promedio de la vía es de 7.40 m, el cual se reduce a 5.02 m a una distancia aproximada de 20 m para ingresar a la rotonda, cuenta con un carril de entrada y salida. Los flujos vehiculares y peatonales son elevados y debido al ancho de la vía es que se presentan demoras elevadas y conflictos entre usuarios de las vías.

Figura 3-2 Avenida Atahualpa (entrada y salida)



FUENTE: Elaboración Propia.

- **Avenida San Martín de Porres**

Esta avenida es también una de las más importantes de la ciudad de Cajamarca, ya que al extenderse de noreste a sureste conectan la zona monumental con la zona sur de la ciudad.

Esta vía está construida con pavimento rígido, y actualmente se encuentra en buen estado, pero es necesario un mantenimiento programado debido a poca visibilidad de las señales horizontales que en ella están. El tramo en estudio tiene una longitud aproximada de 96 metros, el ancho promedio de la vía es de 4.35 metros, con 2 carriles de entrada. Los flujos vehiculares y peatonales que ingresan a la rotonda no son muy elevados comparados con los flujos anteriores, sin embargo, presentan conflictos debido a que la capacidad de esta vía se ve reducida por el comercio ambulatorio.

Figura 3-3 Entrada de la avenida San Martín de Porres



FUENTE: Elaboración Propia.

- **Jirón Juan XXIII**

Esta vía sirve como nexo entre las vías que ingresan a la Plazuela Bolognesi y el Jr. El Progreso, está construida con pavimento rígido y se encuentra en un estado aceptable, pero con necesidad de mantenimiento ya que también las señalizaciones horizontales no son visibles. El tramo en estudio tiene una longitud aproximada de 35 metros, el ancho promedio de la vía es de 6.72 m, con un carril de entrada y uno de salida.

Los flujos vehiculares y peatonales que ingresan a la rotonda a través de esta vía son menores con respecto a los demás flujos que ingresan, sin embargo, debido al ancho de vía que tiene se producen colas lo que genera demoras.

Figura 3-4 Avenida Juan XXIII (entrada y salida)



FUENTE: Elaboración Propia.

- **Héroes de San Ramón**

Esta vía es una de las más importantes de la ciudad de Cajamarca, se extiende de noroeste a sureste y está construida con pavimento rígido, el estado de dicha vía en los tramos que han sido estudiado son buenos, pero necesitan mantenimiento periódico, ya que las señalizaciones que en ella existen no son muy visibles y generan confusión en los usuarios.

El tramo estudiado se extiende a lo largo de la cuarta cuadra de esta avenida y tiene una longitud aproximada de 93m tomada desde la intersección de dicha avenida con la rotonda. Este tramo tiene un ancho total de 24.23 metros y tiene un separador central que mide 10.50 metros y cuenta con un carril de entrada y un carril de salida. Los flujos vehiculares y peatonales en el carril de entrada de esta sección son los más elevados comparados con los demás carriles que ingresan en la rotonda, razón por la cual las demoras son más elevadas.

Figura 3-5 Avenida Héroes de San Ramón (entrada y salida)

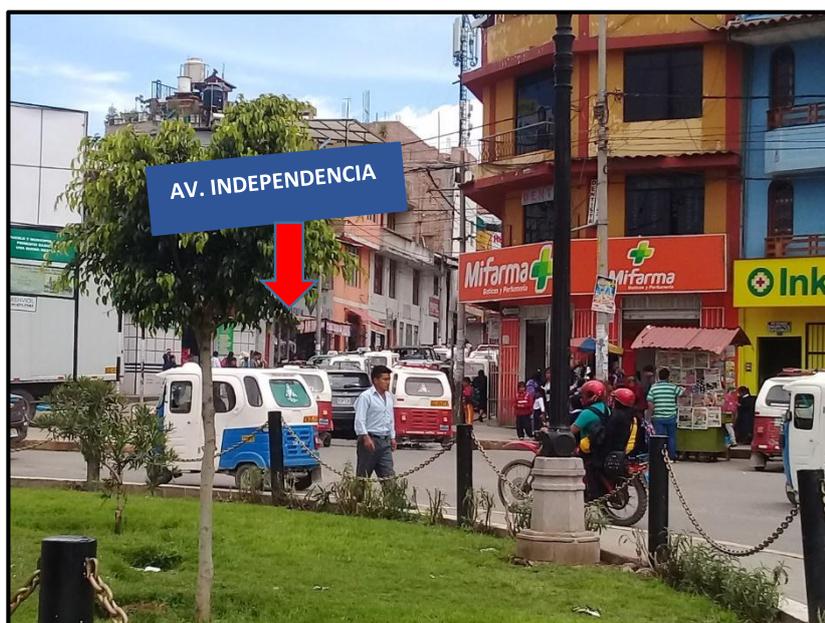


FUENTE: Elaboración Propia.

- **Avenida Independencia**

Esta vía es usada por los vehículos que van hacia la costa o hacia el suroeste de la ciudad de Cajamarca, está construida con pavimento rígido cuyo estado es aceptable, pero con deficiencias en las señales horizontales debido a su poca visibilidad. El tramo en estudio tiene una longitud de 66 metros. Esta vía tiene un ancho de 7.42 metros, es de un solo sentido, y cuenta con 2 carriles.

Figura 3-6. Salida de la Avenida Independencia



FUENTE: Elaboración Propia.

El propósito del estudio, en primera instancia, fue recopilar la información del flujo vehicular y peatonal de la situación actual de dicha rotonda, posteriormente realizar la simulación de dicha situación y finalmente proponer alternativas que mejoren el funcionamiento de esta intersección.

3.2 PROCEDIMIENTO

Para analizar el desplazamiento vehicular y peatonal se siguieron 3 pasos primordiales. Primero, se realizó una visita de campo en la cual se determinó el equipo que se debía utilizar y los datos que se debían recolectar. Segundo, se recolectó información, planos, entrevistas, información del transporte formal, accidentes de tránsito, grabaciones de la cámara de seguridad ubicada en la Plazuela Bolognesi entre otros; brindada por las diferentes entidades públicas (Municipalidad, Policía Nacional de Perú). Por último, se tomó una filmación con un dron para obtener los datos de calibración y validación del modelo.

3.2.1 Equipo necesario para la toma de datos

a. Dron

Esta herramienta resulta ser fundamental para este proyecto de investigación, ya que gracias a ella quedó registrado el funcionamiento del sistema. Se pudo observar a detalle, información necesaria como funcionamiento de la rotonda de la Plazuela Bolognesi, así como también datos más específicos: velocidad de viaje, longitud de cola, rutas, así como otros parámetros relevantes.

Esta actividad fue realizada en 2 días lunes, tanto en la mañana, medio día y por la tarde; tanto para calibración como para validación del modelo. La filmación se realizó por un periodo de 15 minutos durante las horas punta de dichos días: en la mañana, medio día y en la tarde.

Figura 3-7 Dron utilizado



FUENTE: Elaboración Propia.

Por último, se debe resaltar que dicha actividad se realizó desde la isla central de la Plazuela Bolognesi, resultando así un lugar adecuado tanto para el levantamiento del dron como para su aterrizaje. La vista brindada por el dron es la más adecuada como se puede observar en la Figura 3-8.

Figura 3-8 Imagen de la Plazuela Bolognesi captada con el dron



FUENTE: Elaboración Propia.

Además, con la ayuda de estas grabaciones se calcularon las velocidades, teniendo un punto de referencia en el video y utilizando el plano de autocad para tomar las mediciones necesarias.

b. Fichas Técnicas

Después de realizar la visita de campo y seleccionar la rotonda Bolognesi como intersección de estudio, se indagó de manera general acerca de las horas punta y la situación actual de la Plazuela Bolognesi. Para ello se realizaron entrevistas, como por ejemplo la entrevista grabada llevada a cabo al mayor Policía Nacional del Perú, Ronald Fernando Rojas Aliaga, así como también las entrevistas orales realizadas a las personas encargadas de la venta en las farmacias, personas que atienden en los restaurantes entre otros negocios encontrados en la rotonda de la Plazuela Bolognesi. Además, los planos de la Plazuela Bolognesi fueron facilitados por la Municipalidad de Cajamarca, el cual se utilizó para calcular distancias y diferentes datos en cuanto a la geometría vial de dicha intersección se refiere.

c. VISSIM

Una vez quedaron registrados los datos de campo: el número de vehículos y peatones, los datos geométricos de la infraestructura vial, señalizaciones, entre otros; se procedió a dibujar las vías que confluyen en la intersección de la plazuela Bolognesi, luego se procedió a ingresar el número de vehículos obtenidos por hora y las rutas que siguen éstos para llegar a su destino. Además, se agregan detalles como son las señalizaciones de los pases peatonales. Luego, se identificaron las zonas de conflicto, y al ser la plazuela Bolognesi una rotonda, se procedió a dar prioridad a los vehículos que se encontraban dentro de la rotonda con respecto a los que iban ingresando a ella. Es también importante señalar, que en el Vissim ofrece la opción del transporte público, es decir en el caso de la Plazuela Bolognesi, los buses y las combis son simulados de esta manera; y también los paraderos. Vissim, fue muy importante debido a que gracias a este programa se pudieron analizar las causas del congestionamiento vehicular existente y se simularon alternativas de solución para dicho problema.

d. VISWALK

Las herramientas del Viswalk vienen integradas dentro del Vissim, Es por eso que después de haber ingresado los datos vehiculares, se procedió a dibujar las áreas peatonales y las rutas que seguían los peatones para posteriormente ingresar los datos de flujo peatonal, de manera similar al flujo vehicular. A partir de este momento, los vehículos y peatones interactúan, y se procede a establecer las reglas de prioridad en donde se dan estas interacciones: pases peatonales y paraderos.

Al utilizar ambas herramientas, se está representado de manera muy objetiva y real la situación actual de la Plazuela Bolognesi, de este modo las alternativas de solución tendrán un impacto muy parecido entre el modelo de simulación y la puesta en funcionamiento en la realidad de dicha intersección.

3.2.2 HCM 2010.

El manual de carreteras HCM 2010, en el capítulo 21, establece el procedimiento que se sigue en una rotonda para determinar las demoras de la situación actual. Debido a que no hay un estudio muy detallado, se ha adaptado la rotonda de la Plazuela Bolognesi a los modelos de rotondas estudiados en la norma. Finalmente, las demoras encontradas en el programa y las demoras calculadas con la norma HCM 2010 fueron comparadas, y de

esta manera se calibraron los resultados obtenidos en el programa para tener seguridad de que los datos obtenidos al analizar las alternativas de solución son confiables.

3.3. Tratamiento y Análisis de datos y Presentación de Resultados

3.3.1 Recolección y Procesamiento de Datos

3.3.1.1 Datos geométricos

Para realizar un modelamiento adecuado de la rotonda en estudio, se realizó la recolección de datos geométricos de la intersección el día 03 de marzo del 2019. Estos datos incluyen anchos de vías, ancho de veredas, anchos de pases peatonales, dimensiones de los paraderos entre otros.

3.3.1.2 Datos de demanda

Para la obtención de los datos de demanda, primeramente, se realizó un seguimiento del tránsito vehicular y peatonal de la Plazuela Bolognesi durante dos semanas con la ayuda de las cámaras ubicadas en el polideportivo San Ramón, estas grabaciones fueron brindadas por la Municipalidad Provincial de Cajamarca. Dicha información sirvió para tener en cuenta los días de mayor tráfico vehicular, es decir los días en los que fue necesario emplear drones para tener mayor precisión en cuanto al conteo de vehículos, peatones, rutas que éstos siguen entre otras características que luego serán ingresadas en el Programa Visssim, y los días que se realizó la toma de datos manualmente, con la ayuda de compañeros de la universidad; haciendo un total de 15 días. Cabe especificar, que se utilizaron drones para las filmaciones del día lunes 19 de marzo a las 07: 15 am, 01:00 pm y 07:15 pm cada una con una duración de 15 minutos, mismos datos que se utilizaron para la modelación y del día lunes 26 de marzo en el mismo horario anterior, los cuales serán utilizados como datos de validación.

3.3.1.3 Flujos Vehiculares

Para obtener los flujos vehiculares fueron obtenidos mediante el conteo de vehículos en las cuatro vías de ingreso a la rotonda de la Plazuela Bolognesi, categorizándolos en base a las rutas que siguieron.

En el caso de este proyecto de ingeniería se consideraron seis clases de vehículos motorizados, como se puede apreciar en la figura 3-9.

Figura 3-9 Tipos de vehículos que circulan en la Rotonda de la Plazuela Bolognesi

	
<p style="text-align: center;">MOTO TAXI</p>	<p style="text-align: center;">AUTOMOVIL</p>
 	
<p style="text-align: center;">BICICLETA/MOTOCICLETA</p>	<p style="text-align: center;">BUS</p>
	 
<p style="text-align: center;">CAMION</p>	<p style="text-align: center;">BUS/COUSTER</p>

FUENTE: Elaboración propia.

Para realizar la modelación del tráfico vehicular, se han distribuido este tipo de vehículos observado en la Plazuela Bolognesi, según los tipos que ofrece el software Vissim, los cuales son 4:

Tabla 8-1 Equivalencias entre vehículos que circulan en la Plazuela Bolognesi y los brindados por el programa Vissim 11.0

TIPO DE VEHICULO QUE CIRCULA EN LA PLAZUELA BOLOGNESI	TIPO DE VEHICULO EN EL VISSIM 11.0
Taxi	Car
Mototaxi	
Camión	HGV
Combi	Bus
Bus/ Couster	
Motocicleta	Bicicleta
Bicicleta	

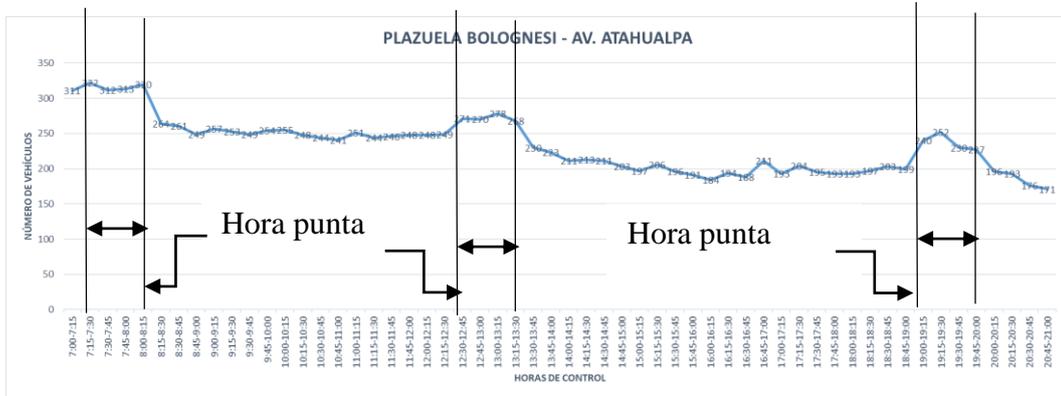
A continuación, se presentan los flujogramas de los ingresos identificados para los datos de modelación y validación.

3.3.1.3.1 Datos de modelación

LUNES 19 DE MARZO

Para determinar las horas punta de la primera cuadra de la avenida Héroes de San Ramón, se realizaron los aforos vehiculares el día lunes 19 de marzo desde las 07:00 am a 09:00 pm. En la figura 3-10 se observa que las horas de mayor volumen vehicular se da entre las 07:15 am a 07:30 am.

Figura 3-10 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019. Av, Atahualpa
(Anexo 03)



Asimismo, se realizaron los aforos vehiculares para las demás avenidas que confluyen en la rotonda de la Plazuela Bolognesi.

Figura 3-11 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019. Av. San Martín de Porres (Anexo 03)

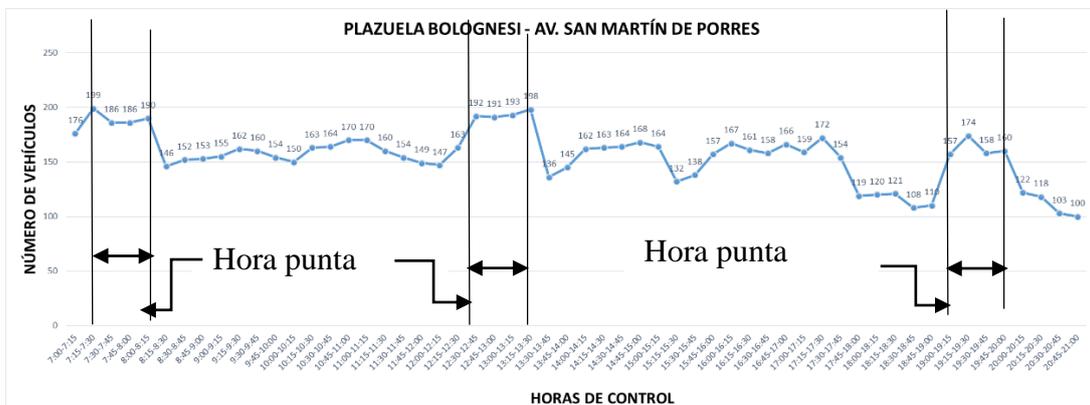


Figura 3-12 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019. Av, Juan XXIII
(Anexo 03)

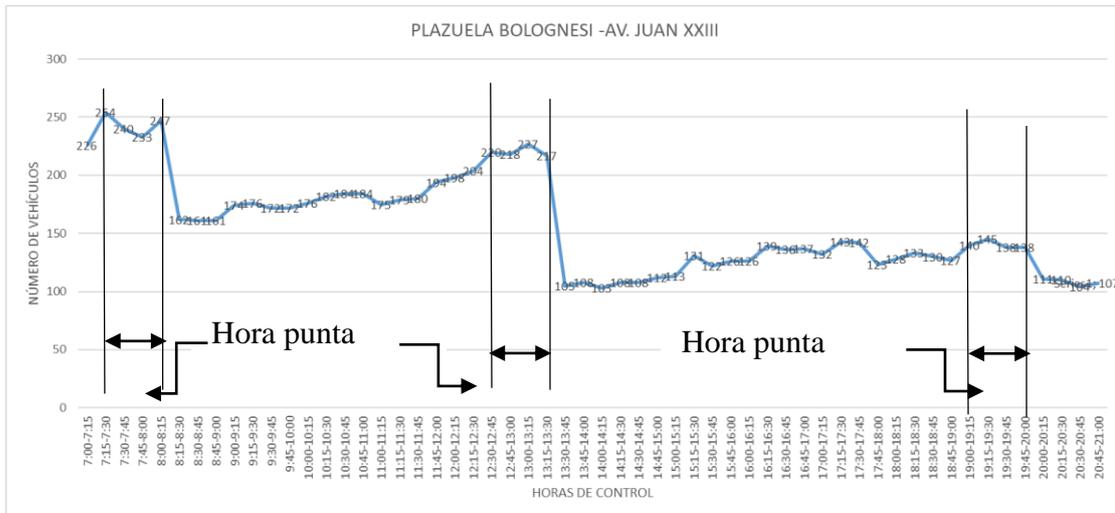
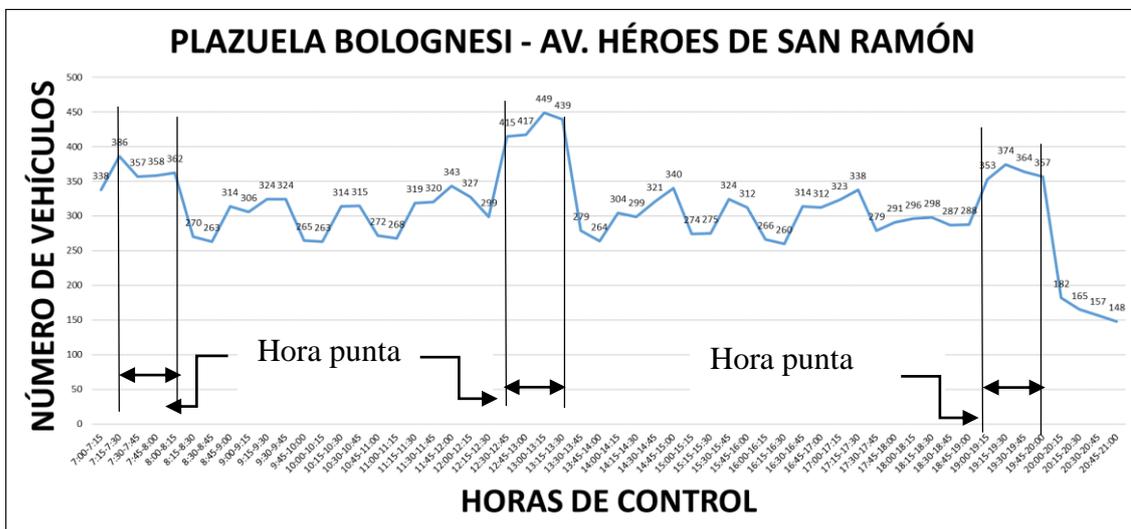


Figura 3-13 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019. Av, Juan Héroes de San Ramón (Anexo 03)



PRIMERA MODELACIÓN (MAÑANA 07:15 AM – 07 :30 AM)

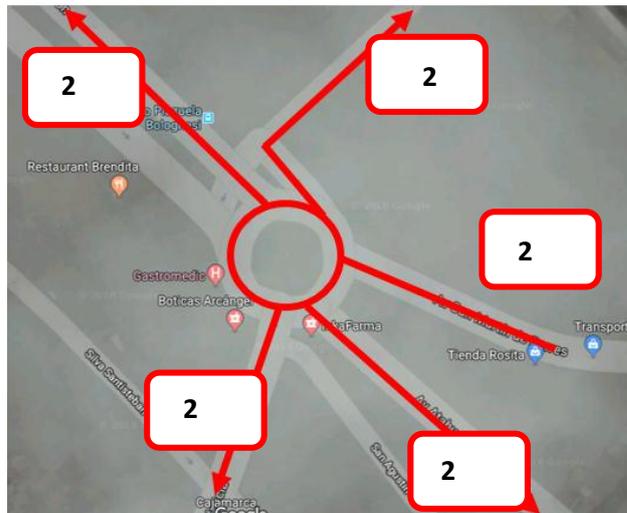
El primer ingreso vehicular identificado en la rotonda en estudio fue el carril de entrada de la Av. Atahualpa (Ingreso 1), que presenta un total de 1288 vehículos por hora: 166 (Bus), 960(Car), 144 (Bike) y 12 (HGV) y se distribuyen en 3 rutas.

Figura 3-14 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 1 (veh/h)



Por otro lado; está el ingreso de la Av. San Martín de Porres con 4 rutas y un total de 796 vehículos por hora: 24(Bus), 684 (Car), 72 (Bike) y 16 (HGV).

Figura 3-15 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 2 (veh/h)



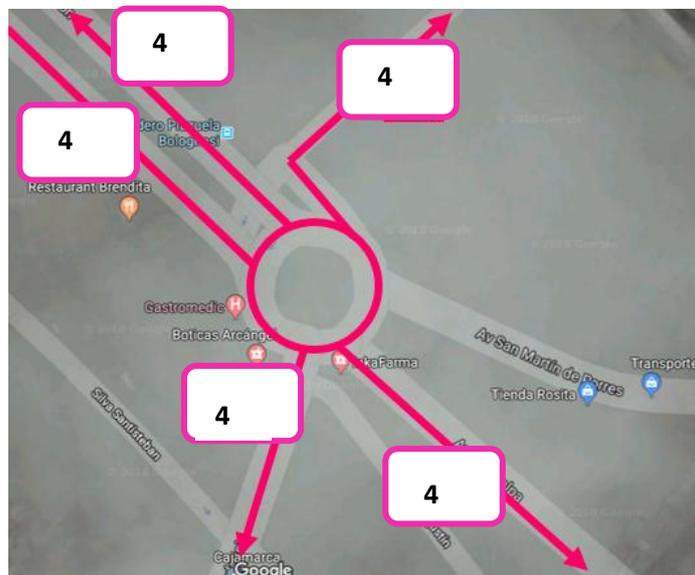
El ingreso 3 o ingreso por el carril de entrada de la Av. Juan XXIII presentó un total de 1016 vehículos por hora: 36(Bus), 872 (Car), 100(Bike) y 8(HGV). En este ingreso se identificaron tres posibles rutas vehiculares.

Figura 3-16. Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 3 (veh/h)



Finalmente, el ingreso 4 (Av. Héroes de San Ramón) presento el mayor flujo vehicular, 1544 vehículos por hora: 228 (Bus), 1144 (Car), 164 (Bike), 8 (HGV). De igual manera presentó cuatro posibles rutas de salida vehicular.

Figura 3-17 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 4 (veh/h)



SEGUNDA MODELACIÓN (MEDIODIA 01:00 PM – 01 :15 PM)

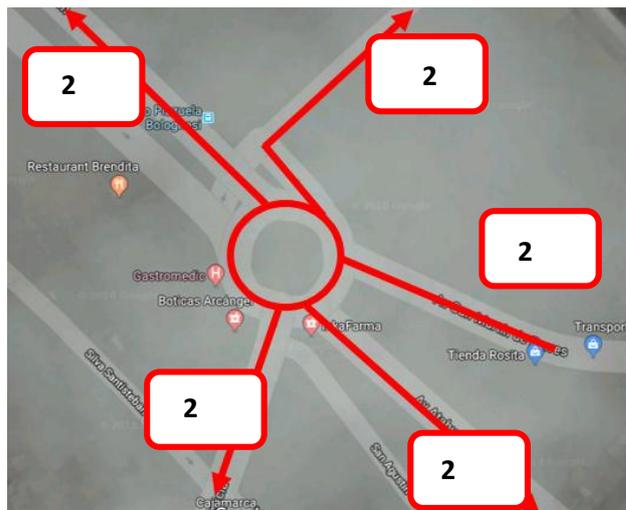
El primer ingreso vehicular identificado en la rotonda en estudio fue el carril de entrada de la Av. Atahualpa (Ingreso 1), que presenta un total de 1112 vehículos por hora: 160 (Bus), 856(Car), 84 (Bike) y 12 (HGV) y se distribuyen en 3 rutas.

Figura 3-18 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 1 (veh/h)



Por otro lado; está el ingreso de la Av. San Martín de Porres con 4 rutas y un total de 772 vehículos por hora: 34(Bus), 576 (Car), 146 (Bike) y 16 (HGV).

Figura 3-19 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 2 (veh/h)



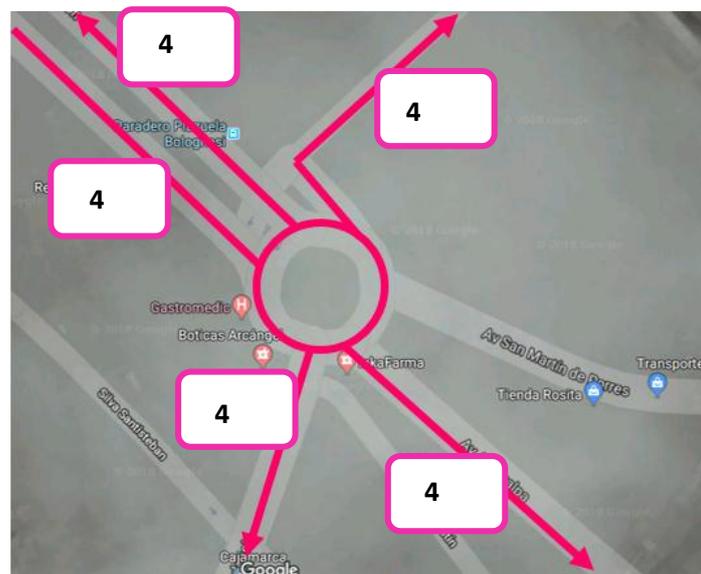
El ingreso 3 o ingreso por el carril de entrada de la Av. Juan XXIII presentó un total de 908 vehículos por hora: 16(Bus), 780 (Car), 104 (Bike) y 8 (HGV). En este ingreso se identificaron tres posibles rutas vehiculares.

Figura 3-20 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 3 (veh/h)



Finalmente, el ingreso 4 (Av. Héroes de San Ramón) presento el mayor flujo vehicular, 1796 vehículos por hora: 252 (Bus), 1292 (Car), 220 (Bike), 32 (HGV). De igual manera presentó cuatro posibles rutas de salida vehicular.

Figura 3-21 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 4 (veh/h)



TERCERA MODELACIÓN (NOCHE 07:15 PM – 07:30 PM)

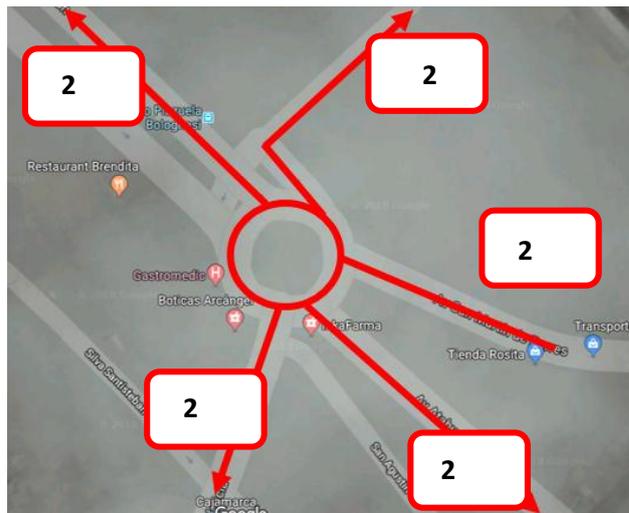
El primer ingreso vehicular identificado en la rotonda en estudio fue el carril de entrada de la Av. Atahualpa (Ingreso 1), que presenta un total de 1008 vehículos por hora: 136 (Bus), 788 (Car), 84 (Bike) y 0 (HGV) y se distribuyen en 3 rutas.

Figura 3-22 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 1 (veh/h)



Por otro lado; está el ingreso de la Av. San Martín de Porres con 4 rutas y un total de 696 vehículos por hora: 40 (Bus), 580 (Car), 60 (Bike) y 16 (HGV).

Figura 3-23 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 2 (veh/h)



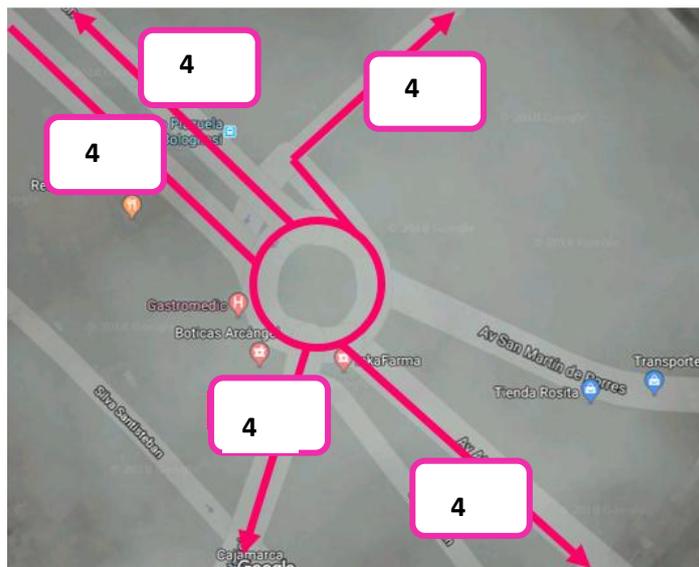
El ingreso 3 o ingreso por el carril de entrada de la Av. Juan XXIII presentó un total de 580 vehículos por hora: 8(Bus), 508 (Car), 60 (Bike) y 4 (HGV). En este ingreso se identificaron tres posibles rutas vehiculares.

Figura 3-24 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 3 (veh/h).



Finalmente, el ingreso 4 (Av. Héroes de San Ramón) presentó el mayor flujo vehicular, 1496 vehículos por hora: 152 (Bus), 1128 (Car), 212 (Bike), 4 (HGV). De igual manera presentó cuatro posibles rutas de salida vehicular.

Figura 3-25 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 4 (veh/h).



3.3.1.3.2 Datos de validación

LUNES 26 DE MARZO

Para comprobar los datos tomados anteriormente, y poder validarlos, se se realizaron los aforos vehiculares el día lunes 19 de marzo desde las 07:00 am a 09:00 pm. En la figura 3-26 se observa que las horas de mayor volumen vehicular se da entre las 07:15 am a 07:30 am.

Figura 3-26 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019. Av. Atahualpa
(Anexo 03)

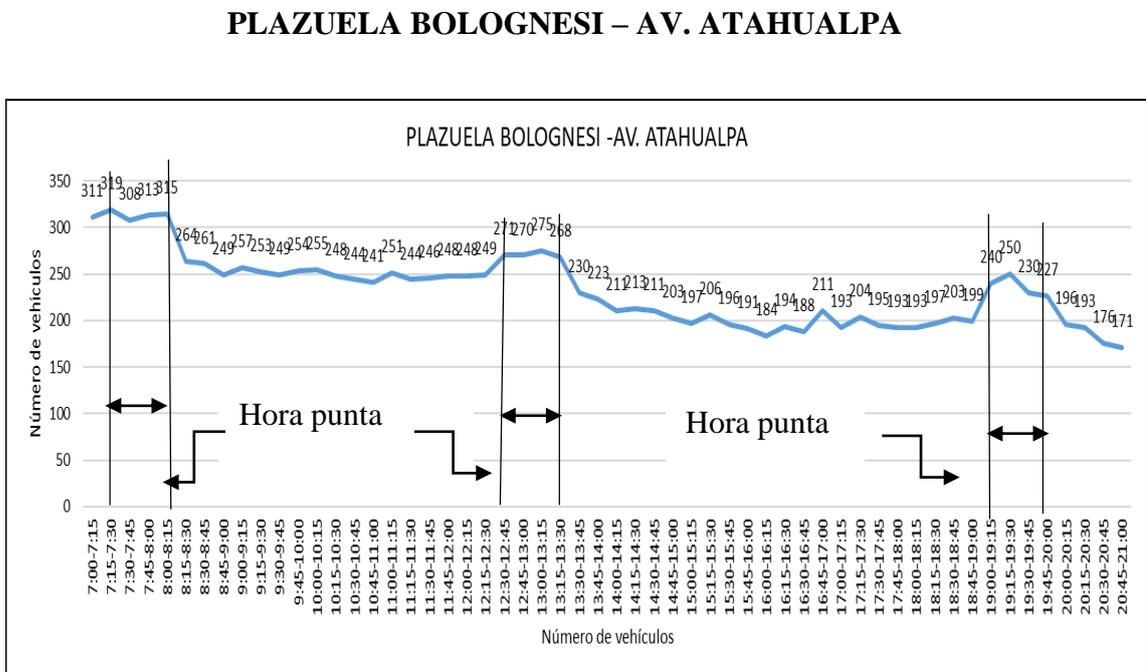


Figura 3-27 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019. Av, San Martín de Porres – (Anexo 03)

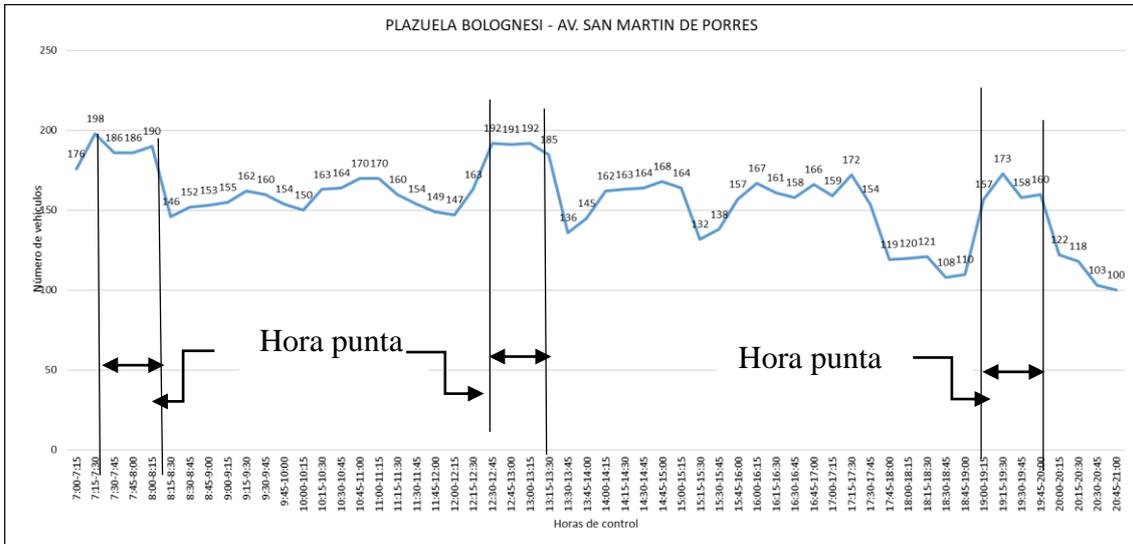


Figura 3-28 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019. Av, Juan XXIII – (Anexo 03)

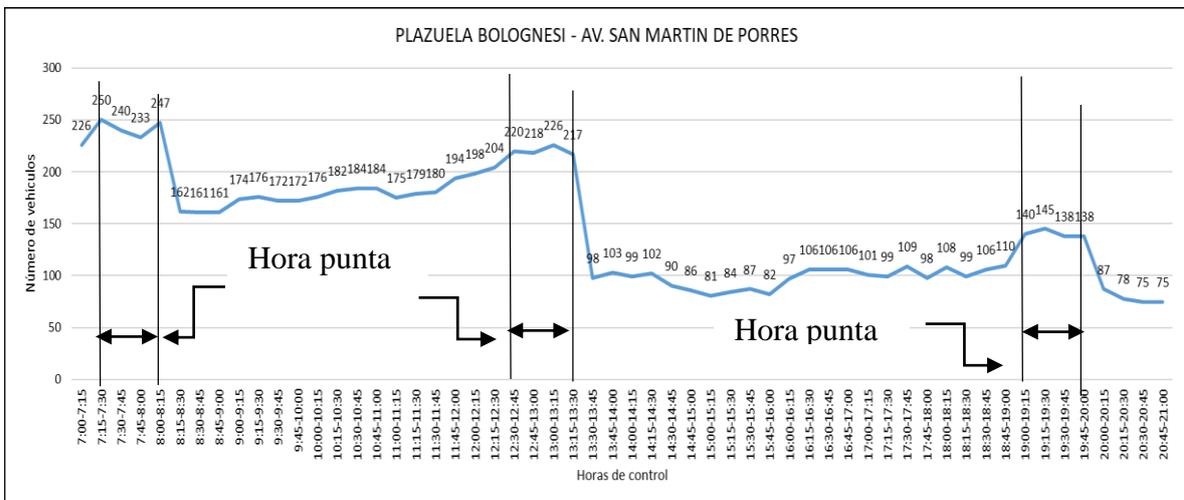
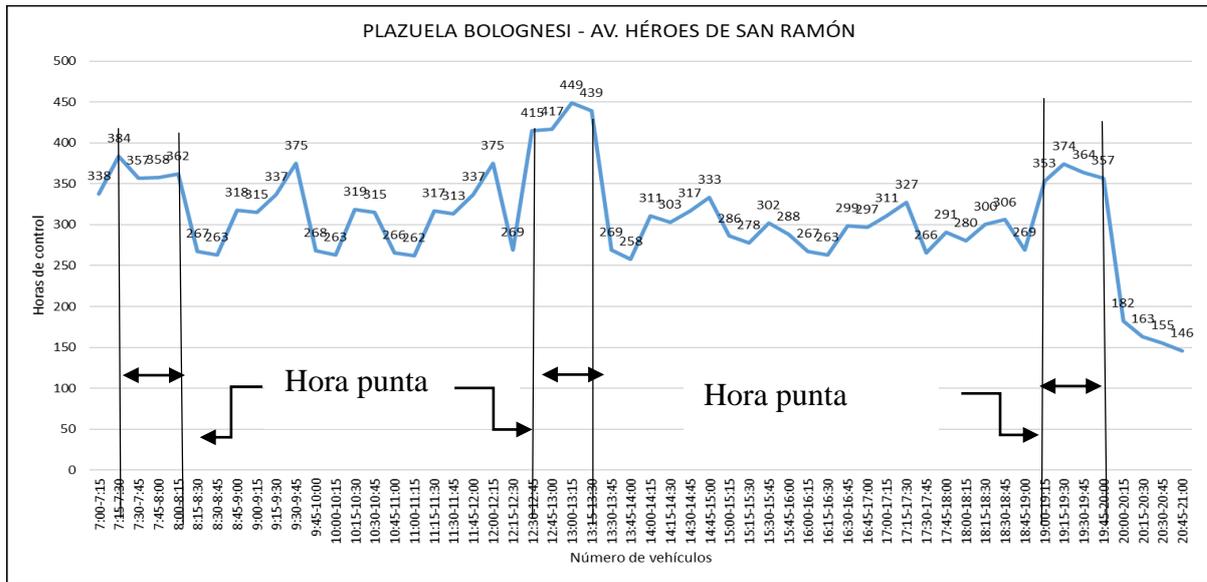


Figura 3-29 Flujo vehicular del día lunes 19 de marzo del 2019. Av, Héroes de San Ramón – (Anexo 03)



PRIMERA VALIDACIÓN (MAÑANA 07:15 AM – 07:30 AM)

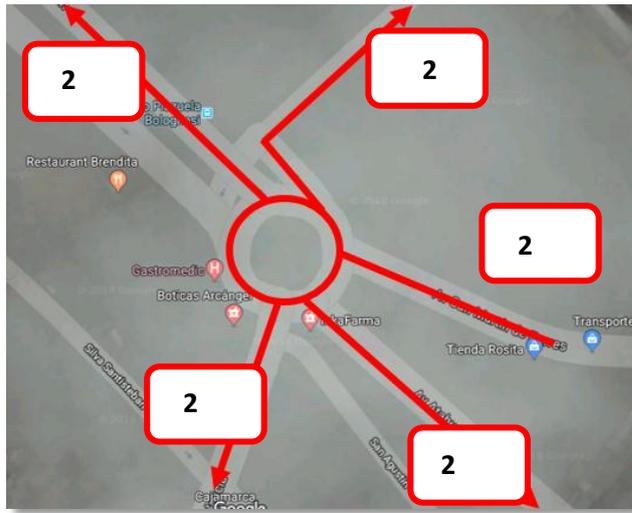
El primer ingreso vehicular identificado en la rotonda en estudio fue el carril de entrada de la Av. Atahualpa (Ingreso 1), que presenta un total de 1272 vehículos por hora: 212 (Bus), 916(Car), 140 (Bike) y 4 (HGV) y se distribuyen en 3 rutas.

Figura 3-30 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 1 (veh/h)



Por otro lado; está el ingreso de la Av. San Martín de Porres con 4 rutas y un total de 756 vehículos por hora: 32(Bus), 636 (Car), 84 (Bike) y 4 (HGV).

Figura 3-31 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 2 (veh/h)



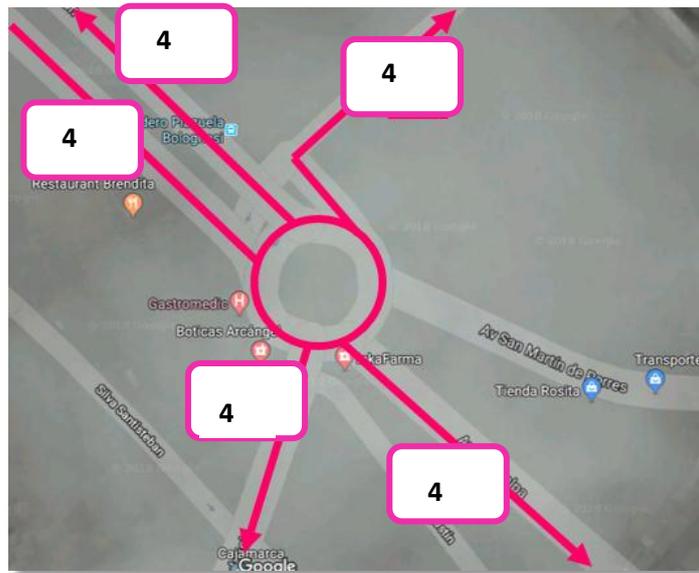
El ingreso 3 o ingreso por el carril de entrada de la Av. Juan XXIII presentó un total de 880 vehículos por hora: 20 (Bus), 832 (Car), 24(Bike) y 4(HGV). En este ingreso se identificaron tres posibles rutas vehiculares.

Figura 3-32 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 3 (veh/h)



Finalmente, el ingreso 4 (Av. Héroes de San Ramón) presentó el mayor flujo vehicular, 1292 vehículos por hora: 280 (Bus), 856 (Car), 152 (Bike), 4 (HGV). De igual manera presentó cuatro posibles rutas de salida vehicular.

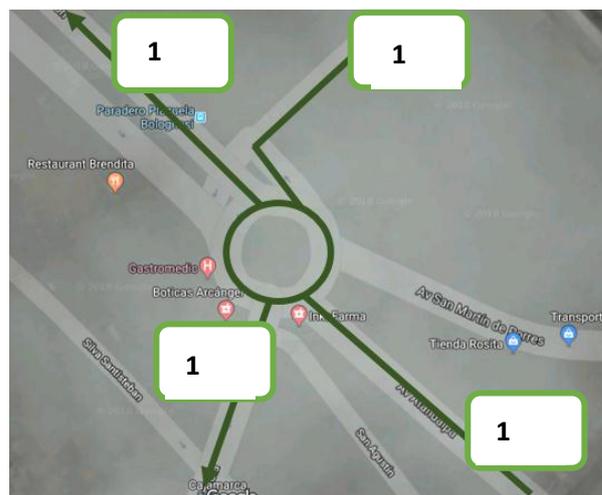
Figura 3-33 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 4 (veh/h)



SEGUNDA VALIDACIÓN (MEDIODIA 01:00 PM – 01 :15 PM)

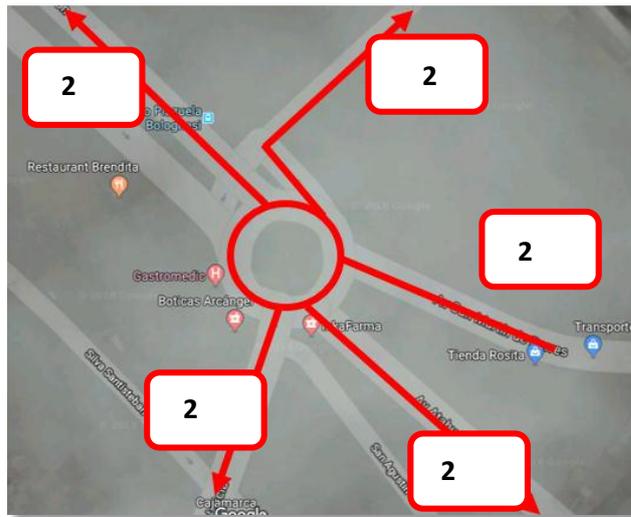
El primer ingreso vehicular identificado en la rotonda en estudio fue el carril de entrada de la Av. Atahualpa (Ingreso 1), que presenta un total de 1236 vehículos por hora: 232 (Bus), 872 (Car), 124 (Bike) y 8 (HGV) y se distribuyen en 3 rutas.

Figura 3-34 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 1 (veh/h)



Por otro lado; está el ingreso de la Av. San Martín de Porres con 4 rutas y un total de 828 vehículos por hora: 52 (Bus), 636 (Car), 140 (Bike) y 0 (HGV).

Figura 3-35 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 2 (veh/h)



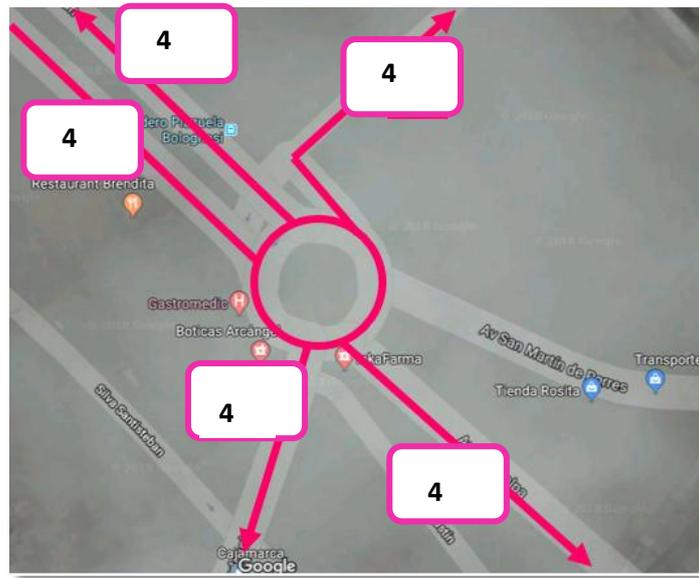
El ingreso 3 o ingreso por el carril de entrada de la Av. Juan XXIII presentó un total de 1040 vehículos por hora: 60 (Bus), 836 (Car), 140 (Bike) y 4 (HGV). En este ingreso se identificaron tres posibles rutas vehiculares.

Figura 3-36 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 3 (veh/h)



Finalmente, el ingreso 4 (Av. Héroes de San Ramón) presentó el mayor flujo vehicular, 1484 vehículos por hora: 220 (Bus), 1060 (Car), 192 (Bike), 12 (HGV). De igual manera presentó cuatro posibles rutas de salida vehicular.

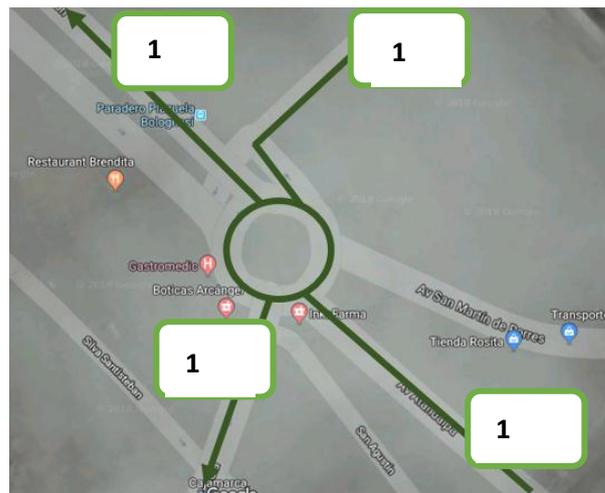
Figura 3-37 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 4 (veh/h)



TERCERA VALIDACIÓN (NOCHE 07:15 PM – 07:30 PM)

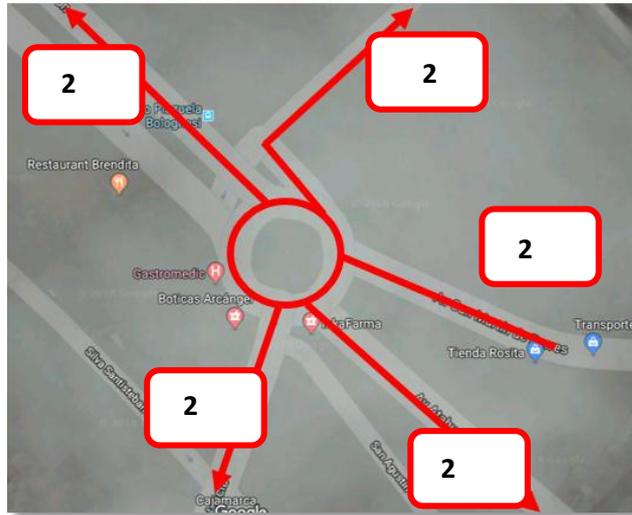
El primer ingreso vehicular identificado en la rotonda en estudio fue el carril de entrada de la Av. Atahualpa (Ingreso 1), que presenta un total de 1052 vehículos por hora: 164 (Bus), 784 (Car), 96 (Bike) y 8 (HGV) y se distribuyen en 3 rutas.

Figura 3-38 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 1 (veh/h)



Por otro lado; está el ingreso de la Av. San Martín de Porres con 4 rutas y un total de 716 vehículos por hora: 28 (Bus), 616 (Car), 68 (Bike) y 4 (HGV).

Figura 3-39 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 2 (veh/h)



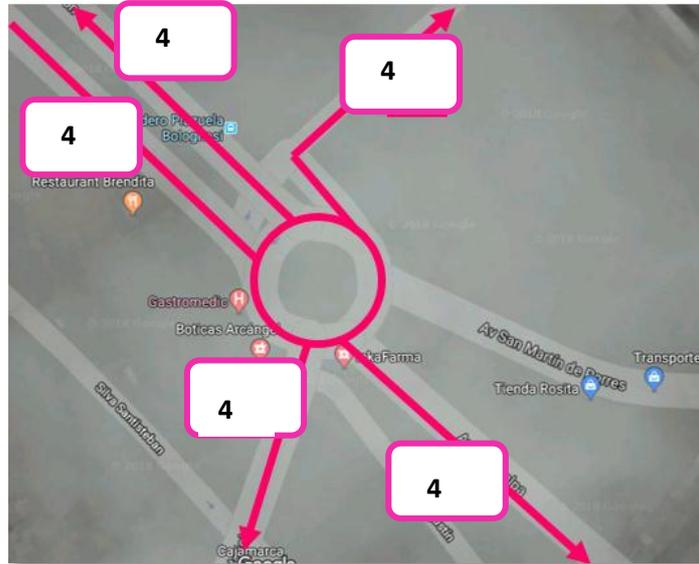
El ingreso 3 o ingreso por el carril de entrada de la Av. Juan XXIII presentó un total de 528 vehículos por hora: 12 (Bus), 440 (Car), 68 (Bike) y 8 (HGV). En este ingreso se identificaron tres posibles rutas vehiculares.

Figura 3-40 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 3 (veh/h)



Finalmente, el ingreso 4 (Av. Héroes de San Ramón) presentó el mayor flujo vehicular, 1328 vehículos por hora: 156 (Bus), 1024 (Car), 148 (Bike), 0 (HGV). De igual manera presentó cuatro posibles rutas de salida vehicular.

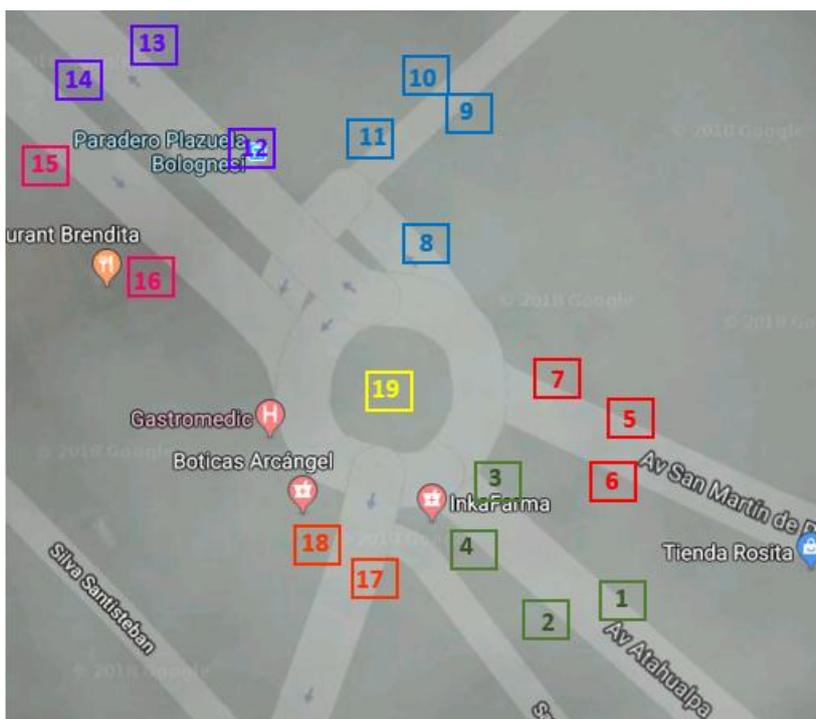
Figura 3-41 Flujogramas de modelación: movimientos de ingreso 4 (veh/h)



3.3.1.4 Flujos Peatonales

Para la obtención de los flujos peatonales se delimitaron 19 áreas peatonales desde las cuales se realizó el conteo de los peatones diferenciándolos según sus líneas de deseo, es decir las rutas que siguen de acuerdo al destino que tomen, por ejemplo, al mercado San Sebastián, colegio San Ramón, estadio Héroes de San Ramón, entre otras edificaciones aledañas a la Plazuela Bolognesi. El conteo se realizó en intervalos de 10 minutos. A continuación, se presenta una imagen con la ubicación de dichas áreas y su codificación.

Figura 3-42 Ubicación de áreas peatonales consideradas



<p>Leyenda</p> <p>01: Ingreso 1 de Av. Atahualpa</p> <p>02: Ingreso 2 de Av. Atahualpa</p> <p>03: Paradero informal 1 de Av. Atahualpa.</p> <p>04: Paradero informal 2 de Av. Atahualpa.</p> <p>05: Ingreso 1 Av. SMP.</p> <p>06: Ingreso 2 Av. SMP.</p> <p>07: Paradero informal 1 de Av. SMP</p> <p>08: Paradero Plazuela Bolognesi.</p>	<p>10: Ingreso 2 de Av. JUAN XXIII</p> <p>11: Paradero Av. JUAN XXIII</p> <p>12: Paradero Av. HSRM.</p> <p>13: Ingreso 1 de Av. HSRM.</p> <p>14: Ingreso 2 Av. HSRM.</p> <p>15: Ingreso 3 Av. HSRM.</p> <p>16: Paradero Av. HSRM.</p> <p>17: Ingreso 1 de Av. Independencia</p> <p>18: Ingreso 1 de Av. Independencia</p> <p>19: Plazuela Bolognesi (Área de descanso)</p>
--	--

De igual manera se presentan tablas resúmenes de los aforos peatonales de cada zona por periodo.

LUNES 19 DE MARZO

PRIMERA MODELACIÓN (MAÑANA 07:15 AM – 07 :30 AM)

3.3.1.4.2 Datos de modelación

En la tabla 3-2 de muestran los datos de aforos peatonales.

Tabla 3-2 Datos resumen de aforos peatonales de modelación (peatones)

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
00:00 - 00:10	67	45	16	6	55	4	145	3	67	49	80	26	41	8	11	18	3	16	73
00:10 - 00:20	59	43	17	5	51	3	143	2	65	47	78	25	42	7	10	15	3	17	69
00:20 - 00:30	62	39	18	7	53	4	138	3	66	42	75	24	43	7	8	19	2	14	68
00:30 - 00:40	60	40	15	7	50	5	139	3	64	44	81	21	45	6	7	20	4	16	71
00:40 - 00:50	58	42	12	6	48	4	140	4	63	45	79	22	39	5	8	17	4	14	67
00:50 - 01:00	59	35	15	8	52	4	141	2	59	41	77	25	35	8	9	18	5	12	72
TOTAL	365	244	93	39	309	24	846	17	384	268	470	143	245	41	53	107	21	89	420

SEGUNDA MODELACIÓN (MEDIODIA 01:00 PM – 01:15 PM)**3.3.1.4.3 Datos de modelación**

En la tabla 3-3 de muestran los datos de aforos peatonales.

Tabla 3-3 Datos resumen de aforos peatonales de modelación (peatones)

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
00:00 - 00:10	73	46	7	7	58	5	146	4	68	51	81	28	43	9	11	20	4	17	75
00:10 - 00:20	58	44	5	5	52	3	144	2	65	48	79	26	45	7	10	16	4	17	70
00:20 - 00:30	63	40	8	8	54	5	142	4	67	44	76	23	46	7	10	21	2	15	72
00:30 - 00:40	59	41	7	7	49	6	140	3	64	46	83	21	47	8	7	20	5	16	71
00:40 - 00:50	57	43	6	6	49	4	141	4	65	45	80	22	40	7	9	19	4	14	67
00:50 - 01:00	58	38	9	9	54	6	143	3	58	43	78	26	34	9	9	22	6	15	73
TOTAL	368	252	42	42	316	29	856	20	387	277	477	146	255	47	56	118	25	94	428

TERCERA MODELACIÓN (MAÑANA 07:15 PM – 07 :30 PM)**3.3.1.4.4 Datos de modelación**

En la tabla 3-4 de muestran los datos de aforos peatonales.

Tabla 3-4 Datos resumen de aforos peatonales de modelación (peatones)

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
00:00 - 00:10	65	44	15	6	55	3	143	3	66	48	79	25	41	7	11	17	3	17	74
00:10 - 00:20	55	43	17	5	49	3	142	2	65	47	78	25	42	7	10	15	3	17	69
00:20 - 00:30	59	39	16	7	53	4	138	3	64	41	75	24	44	5	8	19	2	14	67
00:30 - 00:40	58	42	15	7	48	5	135	3	64	44	81	21	45	6	7	19	3	18	71
00:40 - 00:50	55	42	12	5	48	4	140	4	63	45	77	22	38	5	9	17	4	14	66
00:50 - 01:00	59	38	14	6	50	4	139	2	59	40	76	23	35	8	9	18	5	12	72
TOTAL	351	248	89	36	303	23	837	17	381	265	466	140	245	38	54	105	20	92	419

LUNES 26 DE MARZO

PRIMERA VALIDACIÓN (MAÑANA 07:15 AM – 07 :30 AM)

3.3.1.4.5 Datos de validación

En la tabla 3-5 se muestran los datos de aforos peatonales.

Tabla 3-5 Datos resumen de aforos peatonales de validación (peatones)

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
00:00 - 00:10	67	46	18	6	56	3	147	4	69	49	81	27	41	6	12	18	4	19	74
00:10 - 00:20	68	42	17	6	53	4	145	4	68	48	79	25	43	8	10	15	4	17	70
00:20 - 00:30	61	37	20	4	51	6	139	3	68	43	75	24	43	7	9	22	2	16	69
00:30 - 00:40	62	43	15	5	52	5	140	3	69	45	78	23	45	6	9	20	3	16	72
00:40 - 00:50	62	39	17	6	49	5	140	4	63	45	79	23	40	6	8	20	4	15	69
00:50 - 01:00	64	38	18	9	52	4	143	3	62	44	79	25	35	8	9	18	5	12	71
TOTAL	384	245	105	36	313	27	854	21	399	274	471	147	247	41	57	113	22	95	425

SEGUNDA VALIDACIÓN (MEDIODIA 01:00 PM – 01 :15 PM)

3.3.1.4.6 Datos de validación

En la tabla 3-6 se muestran los datos de aforos peatonales.

Tabla 3-6 Datos resumen de aforos peatonales de validación (peatones)

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
00:00 - 00:10	67	45	17	5	56	3	146	3	71	49	80	26	41	7	13	19	3	19	74
00:10 - 00:20	67	40	16	6	52	4	145	4	69	50	81	25	43	7	12	15	4	17	70
00:20 - 00:30	59	38	19	4	50	6	139	3	66	42	75	24	43	7	8	23	2	16	69
00:30 - 00:40	60	41	15	5	49	5	142	3	66	46	78	24	45	8	9	20	3	18	72
00:40 - 00:50	59	38	16	7	48	5	140	4	64	45	79	25	40	5	7	22	4	15	69
00:50 - 01:00	63	36	16	8	52	4	141	2	61	43	76	24	36	8	9	18	5	12	72
TOTAL	375	238	99	35	307	27	853	19	397	275	469	148	248	42	58	117	21	97	426

TERCERA VALIDACIÓN (NOCHE 07:15 PM – 07 :30 PM)

3.3.1.4.7 Datos de validación

En la tabla 3.7 se muestran los datos de aforos peatonales.

Tabla 3-7 Datos resumen de aforos peatonales de validación (peatones)

PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
00:00 - 00:10	65	45	18	5	55	3	146	3	67	49	80	26	41	6	11	17	3	18	73
00:10 - 00:20	67	39	16	5	52	3	144	4	68	48	79	24	42	7	10	15	4	17	70
00:20 - 00:30	59	38	19	4	51	6	139	3	66	42	75	24	43	7	8	21	2	15	68
00:30 - 00:40	61	41	14	5	50	5	139	3	67	45	77	23	45	6	9	20	3	16	72
00:40 - 00:50	59	38	15	6	49	5	140	4	63	45	79	22	39	5	7	19	4	14	68
00:50 - 01:00	62	36	16	8	52	4	142	2	61	42	77	24	35	8	9	18	5	12	72
TOTAL	373	237	98	33	309	26	850	19	392	271	467	143	245	39	54	110	21	92	423

3.3.1.5 Tiempo de viaje vehiculares

Tiempo que demoran los vehículos en recorrer cierto tramo en los carriles de la rotonda de la Plazuela Bolognesi. Para obtener los tiempos de viaje de los vehículos se delimitaron 5 tramos diferentes, uno para cada ingreso vehicular y uno de un tramo de entrada de la rotonda de la Plazuela Bolognesi. En la Av. Atahualpa se consideró una longitud de 25.50 m, en la Av. San Martín de Porres de 35.40 m, Av. Juan XXIII de 11.50 m, Av. Héroes de San Ramón de 13.90 m y en el carril de entrada a la rotonda de la Plazuela Bolognesi una longitud de 33.33 m.

Figura 3-43 Tramos para obtención de tiempos de viaje vehiculares



Leyenda

- T1: Carril de entrada Av. Atahualpa (25.50 m)
- T2: Carril de entrada Av. SMP (35.40 m)
- T3: Carril de entrada Av. Juan XXIII (11.50 m)
- T4: Carril de entrada Av. HSRM (40.60 m)
- T5: Carril de entrada Av. Atahualpa y Av. SMP (62.50 m)

A continuación, se presentan los valores resúmenes de los datos obtenidos, los cuales podrán ser encontrados de forma detallada en el anexo 5.

3.3.1.5.2 Datos de modelación

Para determinar los tiempos de viaje vehiculares, se tomó en cuenta la hora de mayor tráfico vehicular: el día lunes 19 de marzo a las 07:15 am.

Tabla 3-8 Datos resumen de tiempos de viaje vehiculares de modelación (seg.)

	T1	T2	T3	T4	T5
Promedio	5.53	7.76	2.17	5.97	12.51
Des. Estándar	0.91	3.97	0.81	1.45	2.39
Error	0.25	0.99	0.23	0.46	0.54
Número Mínimo	51	62	47	38	75
Numero tomado	64	64	64	74	80

3.3.1.5.3 Datos de validación

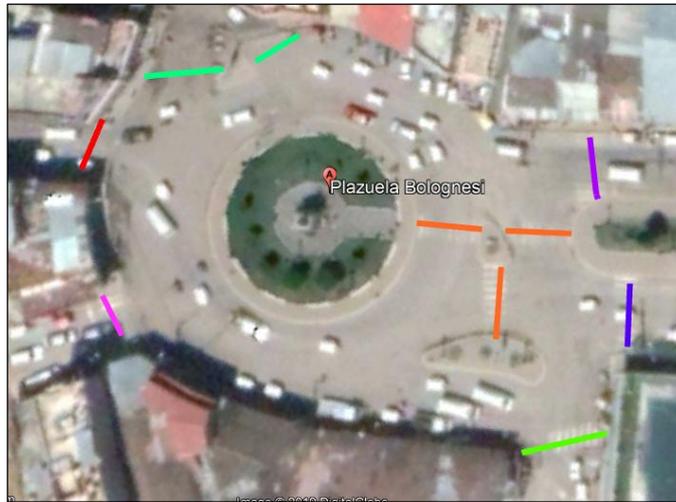
Para determinar los tiempos de viaje vehiculares, se tomó en cuenta la hora de mayor tráfico vehicular: el día lunes 26 de marzo a las 07:15 am.

Tabla 3-9 Datos resumen de tiempos de viaje vehiculares de validación (seg.)

	T1	T2	T3	T4	T5
Promedio	5.42	7.31	2.20	6.03	12.50
Des. Estándar	0.83	3.28	0.78	1.35	2.37
Error	0.28	0.99	0.23	0.33	0.54
Número Mínimo	34	42	44	65	74
Numero tomado	64	64	64	74	80

3.2.1.5. Tiempo de viaje peatonales

Figura 3-44 Cruceos peatonales para obtención de tiempos peatonales.



Leyenda:

- █ C1: Cruceos peatonal 1 – Av. Atahualpa.
- █ C2: Cruceos peatonal 2 – Av. SMP.
- █ C3: Cruceos peatonal 3 – Av. Juan XXIII.
- █ C4: Cruceos peatonales 4 y 5 – Av. HSRM.
- █ C5: Cruceos peatonal 6 y 7 – Av. Independencia.
- █ C6: Cruceos peatonal 7, 8 y 9 – Carril de la Rotonda de la Plazuela Bolognesi

3.2.1.5.1 Datos de Modelación

Para determinar los tiempos de viaje peatonales, se tomó en cuenta la hora de mayor tráfico vehicular: el día lunes 19 de marzo a la 01:00 pm.

Para la modelación se tomó los tiempos de viaje de los peatones en todos los crucesos peatonales, presentado en el anexo 6.

Tabla 3-10 Tiempos de viaje peatonales de modelación del cruce 1 (seg)

Datos obtenidos del cruceos peatonal ubicado en la Av. Atahualpa.

C1: Cruceos peatonal 1 (Av. Atahualpa)

Promedio	=	3.33	dist=	0.00492 Km
Des. Estándar	=	1.18		
Z	=	1.96		
Error	=	0.46		
Número Mínimo	=	25.08		

N° PEATON	TIEMPO		DIST (Km)	VELOCIDAD (Km/h)
	(seg)	(h)		
1°	7	0.00194444	0.00492	2.53
2°	7	0.00194444	0.00492	2.53
3°	5	0.00138889	0.00492	3.54
4°	5	0.00138889	0.00492	3.54
5°	6	0.00166667	0.00492	2.95
6°	6	0.00166667	0.00492	2.95
7°	5	0.00138889	0.00492	3.54
8°	8	0.00222222	0.00492	2.21
9°	6	0.00166667	0.00492	2.95
10°	6	0.00166667	0.00492	2.95
11°	6	0.00166667	0.00492	2.95
12°	4	0.00111111	0.00492	4.43
13°	5	0.00138889	0.00492	3.54
14°	7	0.00194444	0.00492	2.53
15°	6	0.00166667	0.00492	2.95
16°	6	0.00166667	0.00492	2.95
17°	2	0.00055556	0.00492	8.86
18°	4	0.00111111	0.00492	4.43
19°	6	0.00166667	0.00492	2.95
20°	10	0.00277778	0.00492	1.77
21°	10	0.00277778	0.00492	1.77
22°	9	0.00250000	0.00492	1.97
23°	5	0.00138889	0.00492	3.54
24°	3	0.00083333	0.00492	5.90
25°	4	0.00111111	0.00492	4.43
26°	6	0.00166667	0.00492	2.95
27°	6	0.00166667	0.00492	2.95
28°	6	0.00166667	0.00492	2.95
29°	5	0.00138889	0.00492	3.54
30°	5	0.00138889	0.00492	3.54
31°	5	0.00138889	0.00492	3.54
32°	5	0.00138889	0.00492	3.54
33°	5	0.00138889	0.00492	3.54
34°	7	0.00194444	0.00492	2.53
35°	6	0.00166667	0.00492	2.95
36°	6	0.00166667	0.00492	2.95
37°	6	0.00166667	0.00492	2.95
38°	5	0.00138889	0.00492	3.54
39°	5	0.00138889	0.00492	3.54
40°	5	0.00138889	0.00492	3.54
Velocidad promedio				3.33

3.2.1.5.2 Datos de Validación

Para determinar los tiempos de viaje peatonales, se tomó en cuenta la hora de mayor tráfico vehicular: el día lunes 26 de marzo a la 01:00 pm.

Para la validación también se tomó los tiempos de viaje de los peatones, en todos los cruces peatonales, esto con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento del sistema, pero con diferentes flujos peatonales.

Tabla 3-11 Tiempos de viaje peatonales de modelación del cruce 1 (seg)

Datos obtenidos del cruce peatonal ubicado en la Av. Atahualpa.

C1: Cruce peatonal 1 - Av. Atahualpa				
Promedio	=	2.79	Dist= 0.00492 Km	
Des. Estándar	=	0.49		
	Z	1.96		
	=			
Error	=	0.46		
Número Mínimo	=	4.28		
N° PEATON	TIEMPO		DIST (Km)	VELOCIDAD (Km/h)
	(seg)	(h)		
1°	8	0.00222222	0.00492	2.21
2°	7	0.00194444	0.00492	2.53
3°	6	0.00166667	0.00492	2.95
4°	6	0.00166667	0.00492	2.95
5°	6	0.00166667	0.00492	2.95
6°	7	0.00194444	0.00492	2.53
7°	6	0.00166667	0.00492	2.95
8°	6	0.00166667	0.00492	2.95
9°	6	0.00166667	0.00492	2.95
10°	7	0.00194444	0.00492	2.53
11°	7	0.00194444	0.00492	2.53
12°	5	0.00138889	0.00492	3.54
13°	6	0.00166667	0.00492	2.95
14°	6	0.00166667	0.00492	2.95
15°	7	0.00194444	0.00492	2.53
16°	8	0.00222222	0.00492	2.21
17°	4	0.00111111	0.00492	4.43
18°	5	0.00138889	0.00492	3.54
19°	5	0.00138889	0.00492	3.54
20°	8	0.00222222	0.00492	2.21
21°	6	0.00166667	0.00492	2.95

22°	9	0.00250000	0.00492	1.97
23°	6	0.00166667	0.00492	2.95
24°	5	0.00138889	0.00492	3.54
25°	5	0.00138889	0.00492	3.54
26°	7	0.00194444	0.00492	2.53
27°	7	0.00194444	0.00492	2.53
28°	7	0.00194444	0.00492	2.53
29°	6	0.00166667	0.00492	2.95
30°	7	0.00194444	0.00492	2.53
31°	7	0.00194444	0.00492	2.53
32°	6	0.00166667	0.00492	2.95
33°	6	0.00166667	0.00492	2.95
34°	8	0.00222222	0.00492	2.21
35°	7	0.00194444	0.00492	2.53
36°	7	0.00194444	0.00492	2.53
37°	7	0.00194444	0.00492	2.53
38°	8	0.00222222	0.00492	2.21
39°	7	0.00194444	0.00492	2.53
40°	7	0.00194444	0.00492	2.53
Velocidad promedio				2.79

3.2.1.6. Tiempos de parada

En la intersección en análisis confluye una gran cantidad de vehículos de transporte público (taxis, combis, coasters y buses), los cuales tienen gran influencia en el tráfico de la zona ya que realizan paradas para que los pasajeros suban o bajen de los vehículos. Es por esta razón que se realizó la medición del tiempo de parada de los vehículos diferenciándolos en dos grupos. Por un lado, se ha considerado el transporte público masivo (combis, coasters y buses). y el transporte privado (taxis y mototaxis). Para determinar los tiempos de parada, se tomó en cuenta la hora de mayor tráfico vehicular: el día lunes 21 de marzo a las 07:15 am.

Tabla 3-12 Datos resumen de tiempos de parada vehiculares (seg.)

Datos provenientes de los anexos 7 y 8.

	TRANSPORTE PUBLICO	TRANSPORTE PRIVADO
Promedio	8.46	25.26
Des. Estándar	4.50	16.52
Error	1.23	4.70
Número Mínimo	32	47
Número Tomado	50	53

3.2.2 Modelamiento Inicial

En este ítem se desarrolla el modelo de micro simulación de la situación actual en el programa VISSIM 11.0 y VISWALK 11.0, en donde se crea la red y se ingresan los datos de entrada. Después de realizar el modelo, se procede a la verificación de errores, corroborando que los datos de entrada son los mismos que los que se observaron durante la toma de datos; luego se corre el modelo, para determinar si se presentan situaciones anómalas como posibles “choques” o “atropellamientos” que no se observan en la realidad. Finalmente, se realizan los procesos de calibración y validación del modelo con los parámetros establecidos.

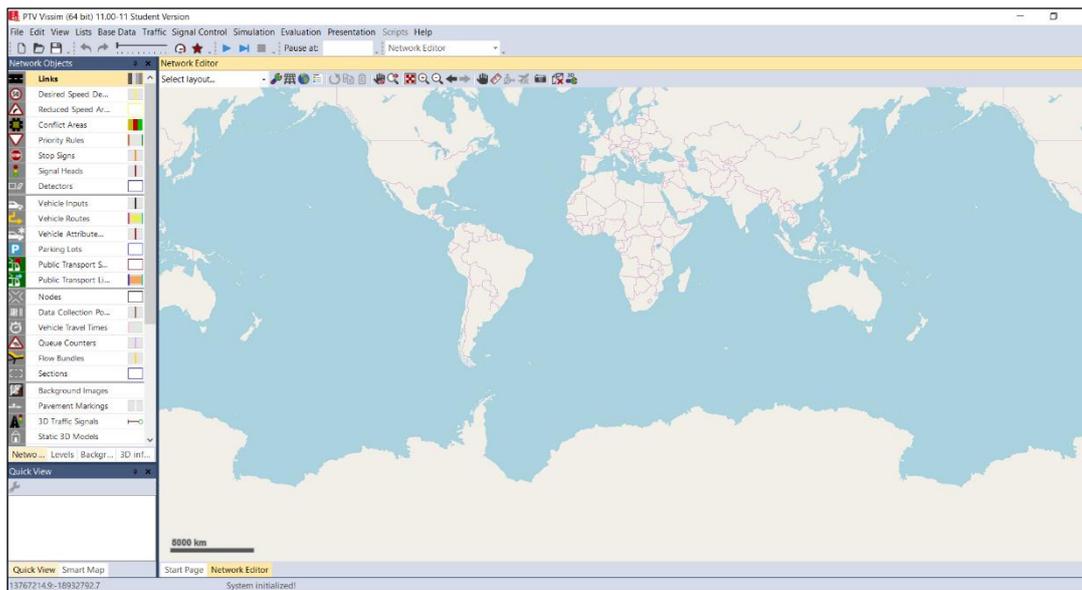
Desarrollo del modelo

Como se expresó en el párrafo anterior, se procede al desarrollo del modelo, el cual fue realizado en Vissim 11.0 y Viswalk 11.0. A continuación, se explican los pasos que se siguieron en el programa para la elaboración de dicho modelo.

Imagen de fondo

Al abrir el programa obtenemos la siguiente ventana

Figura 3-45. Imagen del Programa VISSIM 11.0

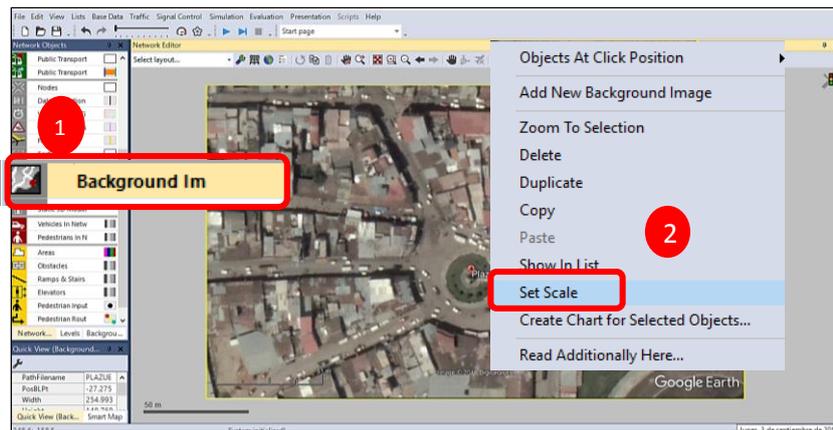


Con la ayuda de la rueda del mouse acercaremos la pantalla hasta que la escala que aparece como 5000 km en la parte inferior de nuestra ventana sea 5m ó 10 m.

Imagen de fondo o Background

El programa Vissim 11.0 nos ofrece la opción de realizar el modelo de simulación, teniendo como base una imagen de google maps. Para realizar la inserción de esta imagen, hacemos click en background images en la barra de herramientas que aparece en el lado izquierdo de nuestra pantalla. Luego presionamos ctrl+click derecho y nos aparece la opción para agregar imagen de fondo (add background) en donde daremos clic y buscaremos la imagen guardada en nuestro equipo. Posteriormente dicha imagen debe ser escalada utilizando ctrl+ click derecho tomando como referencia una distancia en google maps. En el presente proyecto se utilizaron las medidas del plano realizado en autocad. Luego se requiere escalar la imagen para que cuente con las medidas reales de la intersección. Para ello se presiona la tecla Ctrl y clic derecho en la pantalla donde se encuentra la imagen, se elige la opción Set Scale, se marca el segmento de un carril y se escribe la longitud en metros.

Figura 3-46 Importación y escala de la imagen al programa VISSIM 11.0



Links y conectores

El siguiente paso para la construcción del modelo es la creación de los links y los conectores. Los links representan las vías vehiculares, en este caso las avenidas Atahualpa, San Martín de Porres, Juan XXIII, Héroes de San Ramón e Independencia. Para la creación de los links es necesario conocer el ancho de carril, el número de carriles y la distancia entre carriles de cada vía. Por otro lado, los conectores son las herramientas que permiten unir los links. En el presente proyecto se han utilizado 10 conectores y 19 links.

Para ingresar las vías por las que transitarán los peatones para llegar a su destino se utiliza la herramienta *Links* de VISSIM 11.0, pero adecuándola para el tránsito peatonal. Se da clic a *Links* y se abre un cuadro donde se marca la opción *Use as pedestrian área* (figura 3-48). Luego con clic derecho se dibujan las vías necesarias, las cuales presentan doble sentido y permite que los peatones circulen en todo el espacio.

Figura 3-47 Creación de las vías para los vehículos y ciclistas.

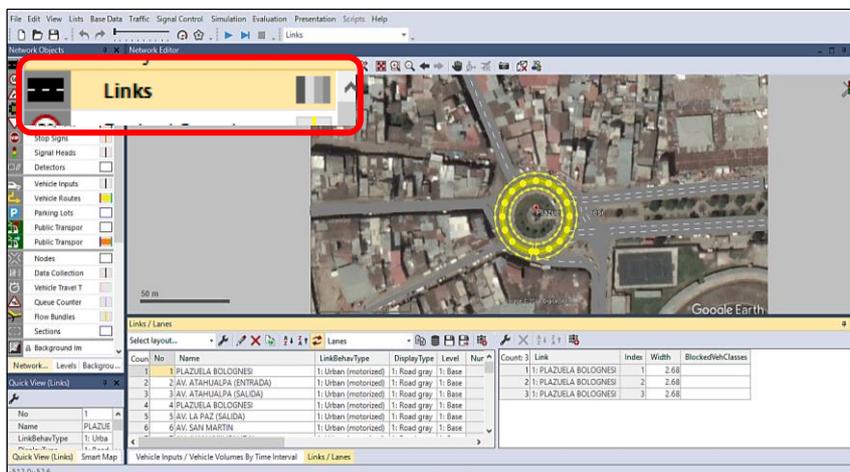
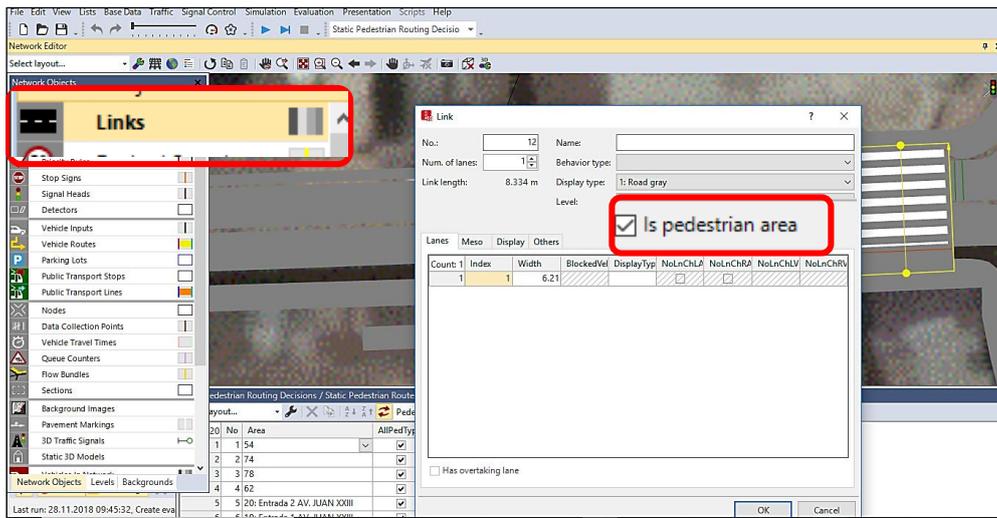


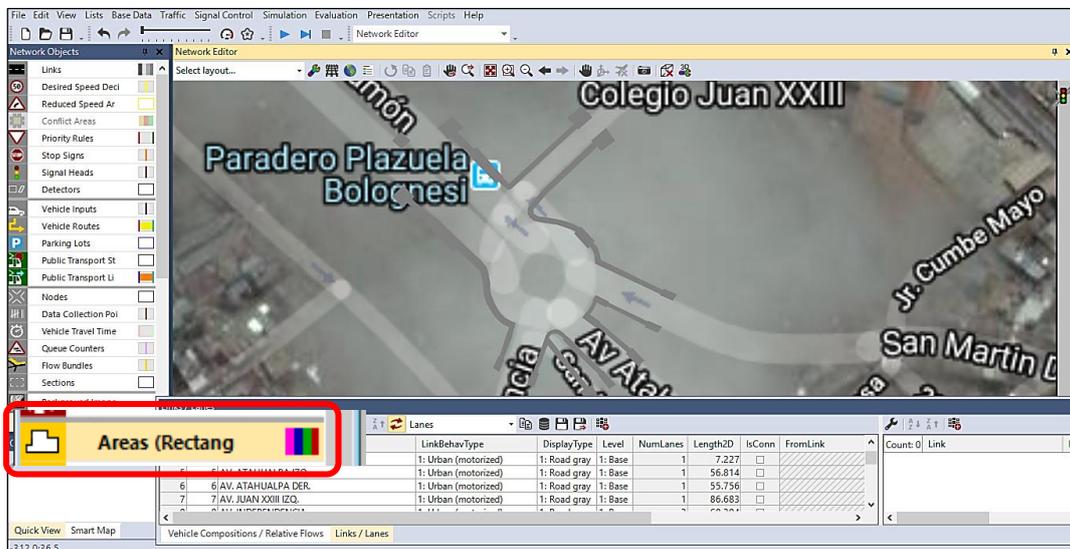
Figura 3-48 Creación de las vías peatonales



Áreas peatonales

Para el desarrollo del modelo peatonal con Viswalk, se dibujaron 19 áreas peatonales correspondientes a veredas y paraderos.

Figura 3-49 Creación de áreas de salida peatonales



Cruces peatonales

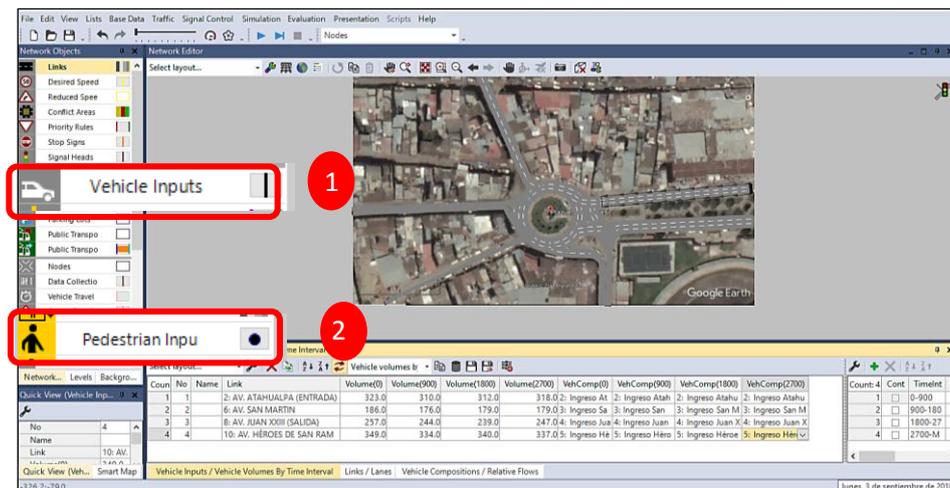
Surgiendo la necesidad de colocar reglas de prioridad de paso en los cruces peatonales, es que se hizo dichos cruces mediante el uso de links, similar a los links vehiculares, para ello se configuraron como áreas peatonales. Dicha opción crea dos links relacionados en la misma posición, pero con dirección opuesta.

En dicho modelo se crearon 15 pares de links que representan los cruces peatonales, de los cuales 10 están señalizados.

Definición de vehículos y peatones

Después de realizar el aforo vehicular de la Plazuela Bolognesi, se observó que los tipos de vehículos proporcionados por el programa no son los mismos, sin embargo, se decidió agrupar a los vehículos de acuerdo a sus características físicas, capacidad y comportamiento, de tal manera que se acerquen lo más posible a los tipos de vehículos proporcionados por Vissim 11. Finalmente, se crearon los “vehicle inputs” que corresponde al número de vehículos que ingresan por dicha avenida, identificados en la toma de datos. Como se observa a continuación, se ha ingresado el número de vehículos para cada avenida.

Figura 3-50 Número de vehículos y peatones

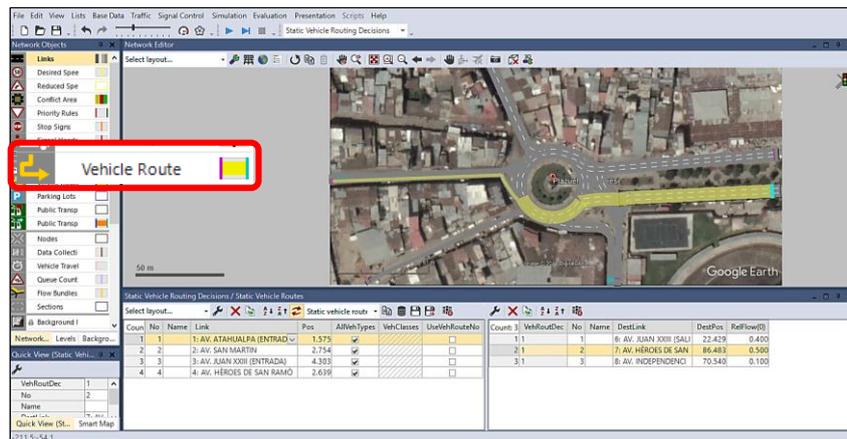


Por otro lado, en el caso de los peatones se utilizaron las opciones que nos brinda el programa que son: hombres y mujeres.

Definición de rutas

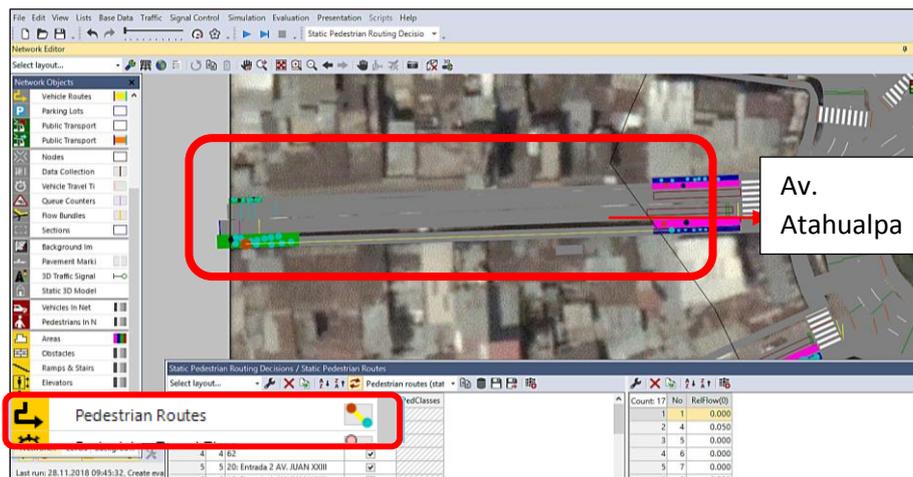
Luego de la definición de los vehículos, se realizó la creación de rutas que siguen éstos. Primero, se observaron cuatro puntos de inicio de rutas, los cuales corresponden a las avenidas de mayor importancia que confluyen en esta intersección, debido a que presentan un mayor tráfico vehicular y peatonal, y por ende tienen una mayor influencia en el comportamiento en la rotonda de la plazuela Bolognesi: Atahualpa, San Martín de Porres, Juan XXIII y Héroes de San Ramón.

Figura 3-51 Rutas que seguirán los vehículos



Se ingresan las rutas que seguirán los peatones con la herramienta de *Pedestrian Routes* y se seleccionan el inicio y el fin del recorrido de los peatones. Además, se debe indicar el número de peatones que sigue cada ruta.

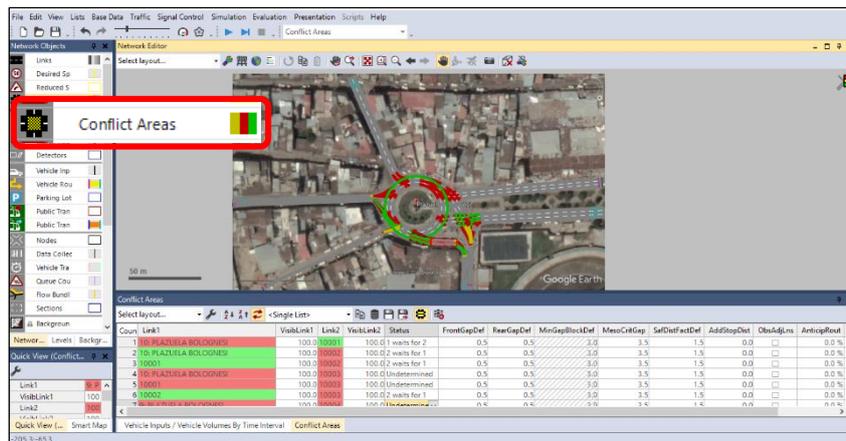
Figura 3-52 Rutas que seguirán los peatones



Zonas de conflicto

Debido a que esta intersección presenta un alto flujo vehicular y peatonal, existe interacción entre vehículos y peatones, generándose de esta manera áreas de conflicto, es decir áreas donde existe una gran posibilidad de un “choque”. En el presente modelo, 99 áreas de conflicto fueron identificadas y de esta manera se indicó la prioridad de los links. Según el reglamento de rotondas, los vehículos que se encuentran circulando en la rotonda tienen prioridad de pase con respecto a los vehículos que se encuentran en las vías antes de ingresar a ésta.

Figura 3-53 Zonas de conflicto



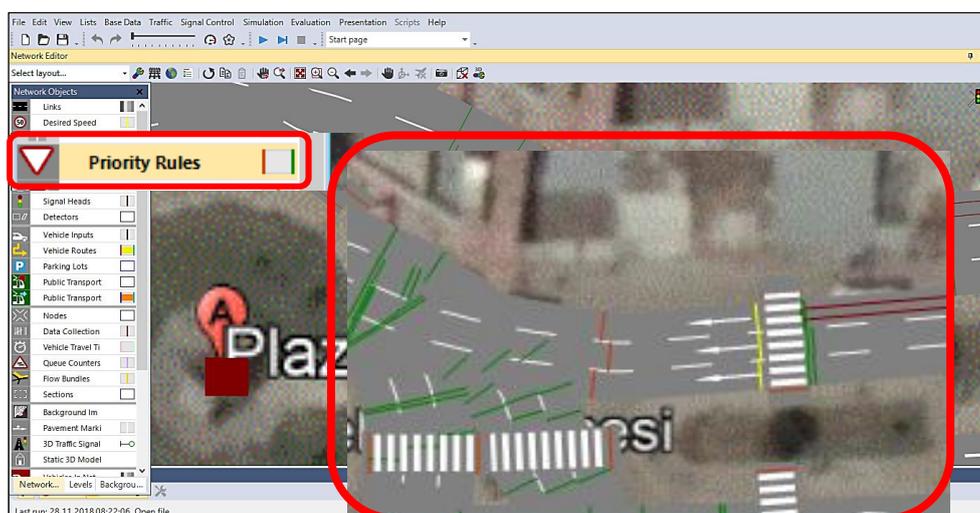
Señales de pare

Durante el reconocimiento de la zona de estudio, se observaron 03 paraderos: 02 paraderos de buses y combis, 04 paraderos informales de taxis, moto taxis, buses y combis ubicados a la entrada y salida de la Avenida Atahualpa, antes de ingresar a la Av. Juan XXIII.

Reglas de prioridad de paso

Debido a que se detectaron situación donde los vehículos se “chocaban” o no avanzaban durante la simulación, como consecuencia de la obstrucción por otro vehículo, se procedió a establecer reglas de prioridad de paso, las cuales se muestran en la siguiente imagen.

Figura 3-54 Reglas de prioridad



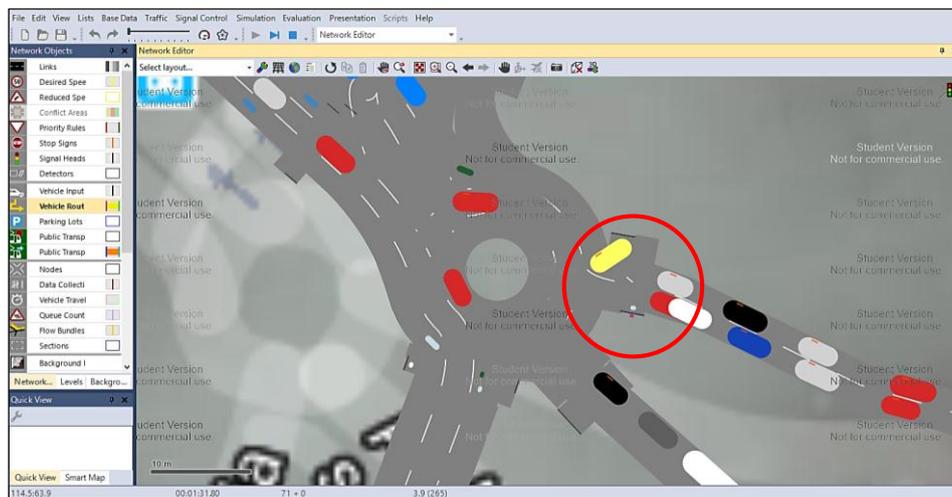
Las reglas de prioridad son líneas como se puede observar en la figura 3-54, las cuales indican la prioridad que tiene un vehículo sobre otro, la prioridad de un vehículo sobre el peatón o de ciclistas sobre peatones, acorde a la situación observada en dicha intersección.

Verificación del modelo

Cuando se terminó de construir la red e ingresar los datos de entrada, se deberá proceder a revisar si el modelo presenta errores. Para ello se puede revisar el modelo en dos aspectos, primero ver los datos de entrada y segundo la animación, en ambos casos debe concordar con el escenario real. A continuación, se describe la información que puede ser relevante para la verificación.

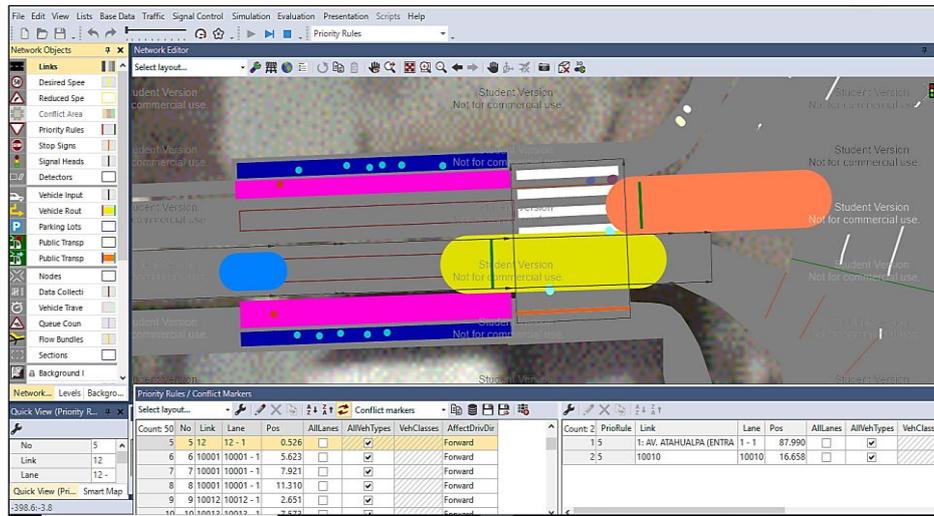
Durante el proceso de modelación se realizaron corridas del modelo y se identificaron algunos problemas que en la realidad no se observan. El primer problema identificado es que en cierto momento los vehículos que circulaban por la Av. San Martin de Porres, realizan un giro en el pase peatonal ubicado en esta avenida. Para solucionar el problema se establecieron reglas de prioridad.

Figura 3-55 Problema presentado en la simulación. (Av. San Martin).



También se observó que cuando los peatones cruzan, los buses los “atropellan”, para solucionar este problema se observó que las reglas de prioridad no estaban bien ubicadas y por ello los peatones no las respetaban.

Figura 3-56 Problema observado: reglas de prioridad en la Av. Atahualpa



3.2.3 CALIBRACIÓN DEL MODELO VEHICULAR

La calibración es un proceso iterativo, donde primero se establece los parámetros de simulación y luego los parámetros del comportamiento de los conductores. (Flores Yasmin, 2016, p.51).

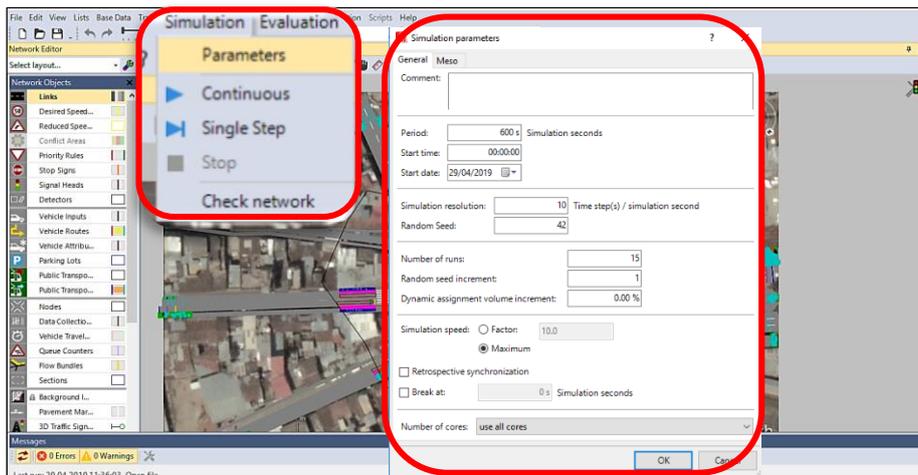
3.2.3.1 Parámetros de Eficiencia Vehicular

Primeramente, se determinó en el software el parámetro de eficiencia a ser evaluado, en este caso dicho parámetro fue el tiempo de viaje de los vehículos. Se seleccionó la herramienta de Vehicle Travel Time y con clic derecho se marcó el punto inicial y el punto final de la sección que fue analizada.

3.2.3.2 Parámetros de simulación vehicular

Para la elaboración de la micro simulación, los parámetros que fueron empleados se muestran en la figura 3-57: número semilla (Random Sedd), número de corridas (Number of Runs), incremento del número semilla (Random Sedd Increment) y velocidad de simulación (Simulation Speed). Para ingresar estos parámetros se utiliza la herramienta de Simulation / Parameters, en donde aparece un cuadro en el que se ingresan los valores (figura 3-57). Para el número de semilla se utilizó el generado por el programa automáticamente que es 42 con un incremento de 1 por corrida. El número de corridas se determinó con la (ecuación número 2.6), con la que se obtuvo un valor de 15, lo que es un valor aceptable con un 95% de confianza. Por último, la velocidad de simulación fue la máxima.

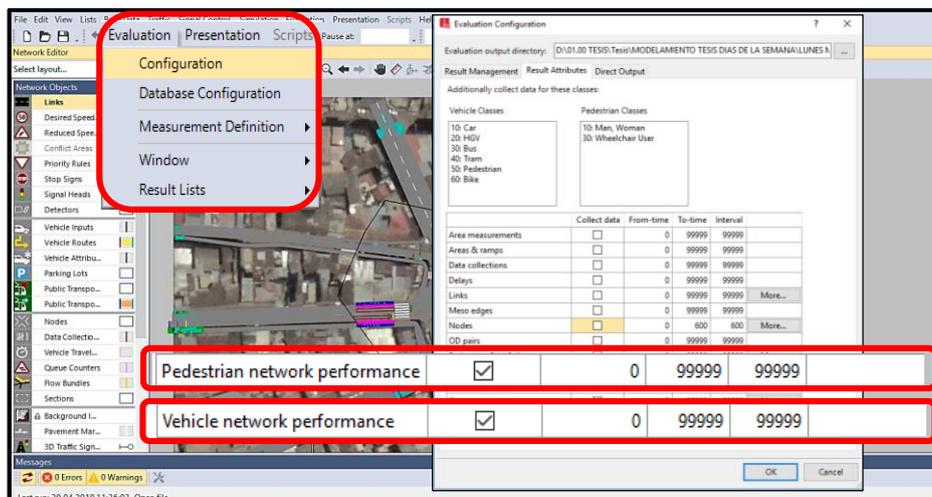
Figura 3-57 Parámetros de Simulación



3.2.3.3 Resultados de los vehículos

El modelo realizado fue calibrado utilizando los parámetros de eficiencia del rendimiento del peatón en la red (Pedestrian Network Performance) y de eficiencia del rendimiento del vehículo en la red (Vehicle Network Performance), debido a que fueron estos datos lo que fueron tomados en consideración durante la observación de las grabaciones tomadas por el dron. El tiempo total de la micro simulación se estableció 600 segundos. Para realizar el procedimiento anterior, se ingresa a la herramienta de Evaluation / Configuration y se abre un cuadro, donde se marcan las opciones de Pedestrian Network Performance y Vehicle Network Performance y además se especifica el tiempo total de la simulación (figura 3-58).

Figura 3-58 Atributos de los Resultados



CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Transporte Formal según la Municipalidad Provincial de Cajamarca

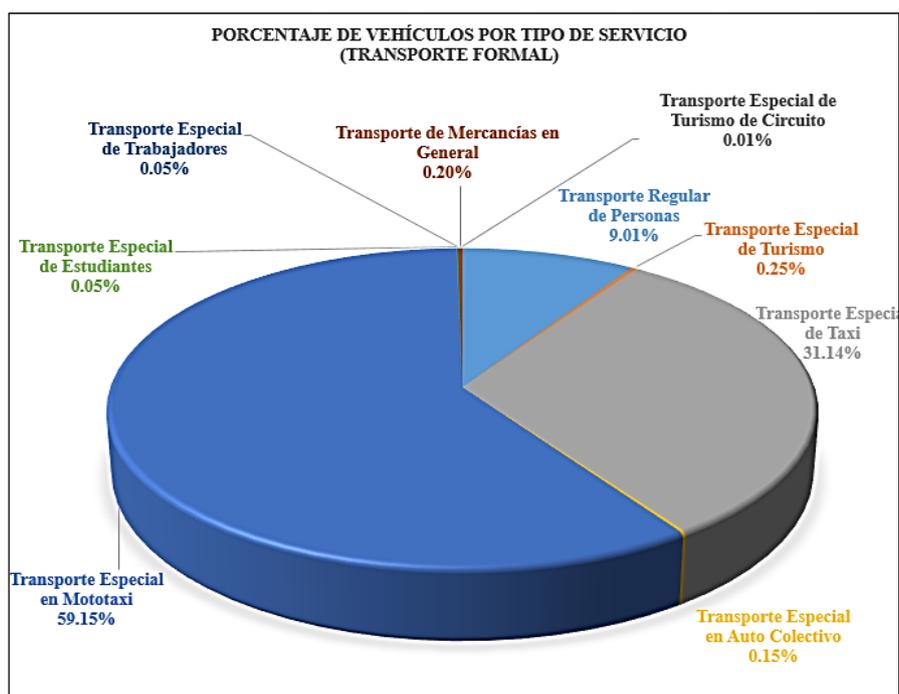
La Municipalidad Provincial de Cajamarca brindó información relevante acerca del transporte formal en la ciudad de Cajamarca.

Tabla 4-1. Parque automotor en Cajamarca (Transporte formal), clasificado por tipo de servicio

SERVICIO	NÚMERO	PORCENTAJE
Transporte Regular de Personas	1171	9.01%
Transporte Especial de Turismo	32	0.25%
Transporte Especial de Taxi	4046	31.14%
Transporte Especial en Auto Colectivo	20	0.15%
Transporte Especial en Mototaxi	7687	59.15%
Transporte Especial de Estudiantes	6	0.05%
Transporte Especial de Trabajadores	6	0.05%
Transporte de Mercancías en General	26	0.20%
Transporte Especial de Turismo de Circuito	1	0.01%
TOTAL	12995	100.0%

A continuación, se muestra el gráfico del parque automotor correspondiente al transporte formal.

Figura 4-1. Transporte Formal en la ciudad de Cajamarca



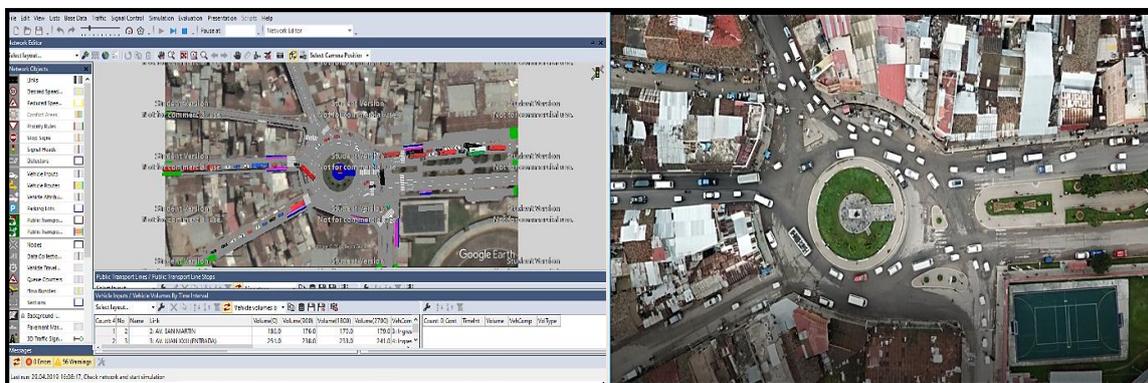
FUENTE: Municipalidad Provincial de Cajamarca

Como se puede observar en el gráfico, más de la mitad de vehículos son moto taxis con un porcentaje de 59.15%, seguidamente se tiene los taxis con un porcentaje de 31.14%, además las combis y buses suman un 9.01%. Finalmente se tiene otros tipos de transporte que suman 0.7%.

4.4. Análisis de la primera simulación.

El objetivo principal de la investigación es analizar la influencia del flujo vehicular, peatonal y la infraestructura vial en el desplazamiento peatonal y vehicular en la Plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca, a continuación, se presentan imágenes de la primera simulación de la Plazuela Bolognesi para comparar entre la simulación obtenida en el programa y la obtenida en campo con ayuda del dron. Estas imágenes fueron elaboradas con los datos que muestran un mayor flujo vehicular vehicular y peatonal del día lunes 16 de marzo del año 2018 de 07: 15 am a 07:30 am, con una duración de 15 minutos los cuales representan el tiempo que se empleó el dron y por consiguiente el tiempo utilizado para la simulación en el software Vissim 11.0 y Viswalk 11.0.

Figura 4-2 Primera Simulación en la Plazuela Bolognesi



Análisis e interpretación:

Se aprecia en la figura 4-2 el congestionamiento vehicular presente en la Plazuela Bolognesi, debido a la gran cantidad de moto taxis y taxis, los que hacen un total de 915 vehículos motorizados. Además, se observa el problema de parqueo, el cual está prohibido en intersecciones de importancia como lo es una rotonda. Con respecto a los peatones, se observa que tienen que esperar para poder cruzar las vías, y además debido a que es una hora de alta demanda peatonal, debido al horario de entrada, entre las 7 y 8:30 am aproximadamente en las diferentes instituciones educativas aledañas a la Rotonda de la Plazuela Bolognesi, es que aumentan las demoras vehiculares y peatonales.

4.5 Análisis de la segunda simulación.

Las imágenes que se muestran en la figura 4-3 fueron elaboradas con los datos del día lunes 16 de marzo del año 2018 de 01: 00 pm a 01:15 pm.

Figura 4-3 Segunda Simulación de la Plazuela Bolognesi

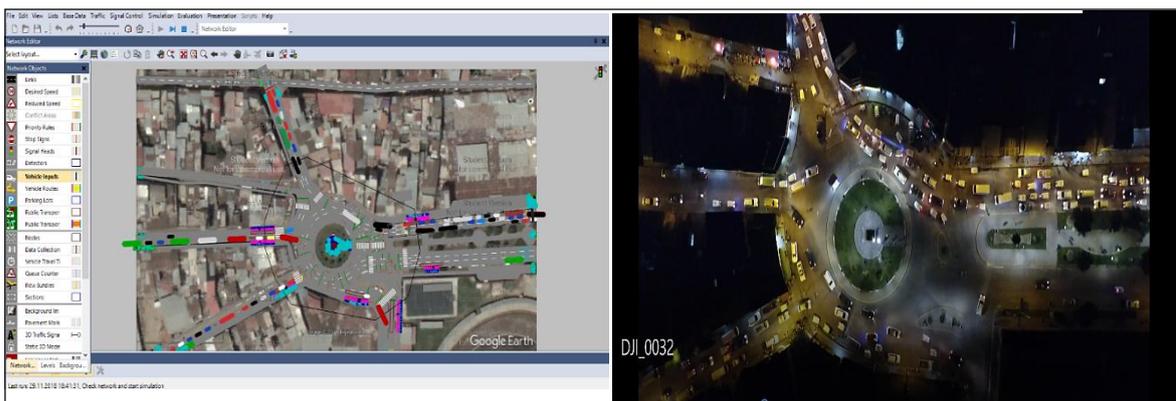


4.6 Análisis de la tercera simulación.

Análisis e interpretación:

Se aprecia en la figura 4-4 el congestionamiento vehicular presente en la Plazuela Bolognesi, mayormente en las Avenidas Atahualpa y Héroes de San Ramón, debido a la gran cantidad de moto taxis y taxis. Además, se observa el problema de parqueo, como lo es en el carril de circulación de la rotonda ubicada entre la Av. Héroes de San Ramón e Independencia y la entrada hacia la rotonda por la Av. San Martín de Porres, lo cual está prohibido en intersecciones de importancia como lo es una rotonda.

Figura 4-4 Tercera Simulación de la Plazuela Bolognesi



4.7 Resultados y Alternativas de Solución.

Después de la calibración del modelo, con los resultados obtenidos de la simulación, se procede a realizar un detallado análisis de la situación actual de la Plazuela Bolognesi, para después proponer alternativa de solución que solucionen la problemática actual.

4.7.1 Resultados de la Micro simulación de la situación actual.

Los resultados del desempeño vehicular y peatonal, se obtienen con la herramienta Evaluation / Result List / Network Performance (vehicle) Results y Network Performance (Pedestrian) Results (figura 4-5). En el caso del desempeño vehicular, los datos que se obtienen en las tablas de resultados son las demoras, velocidades, velocidades de demoras, tiempos de viaje y para el caso peatonal se obtienen la velocidad, tiempo de viaje los cuales nos servirán para compararlos con la situación actual.

Figura 4-5 Desempeño de los vehículos en la Plazuela Bolognesi.

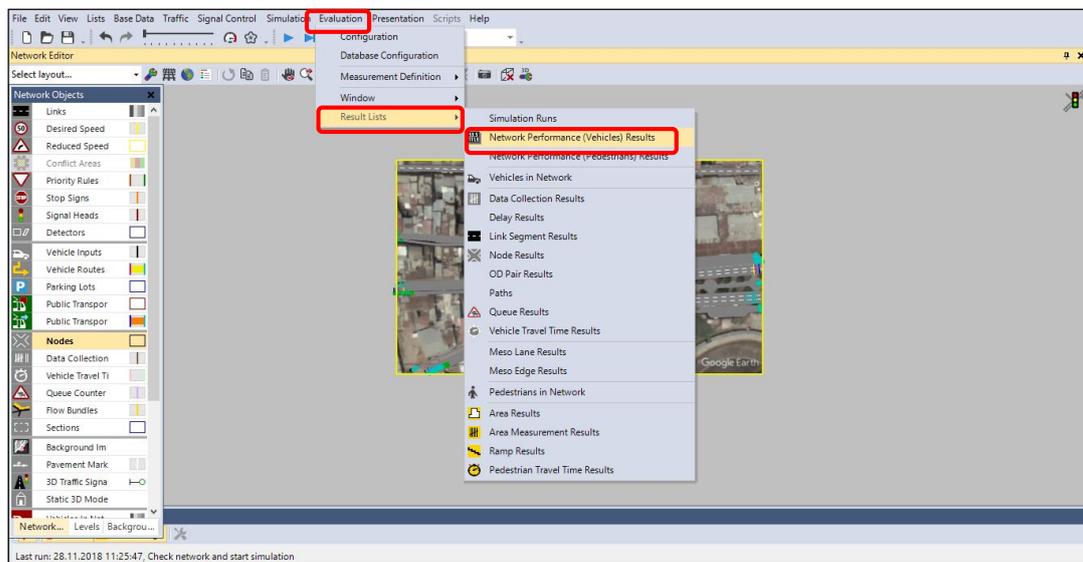
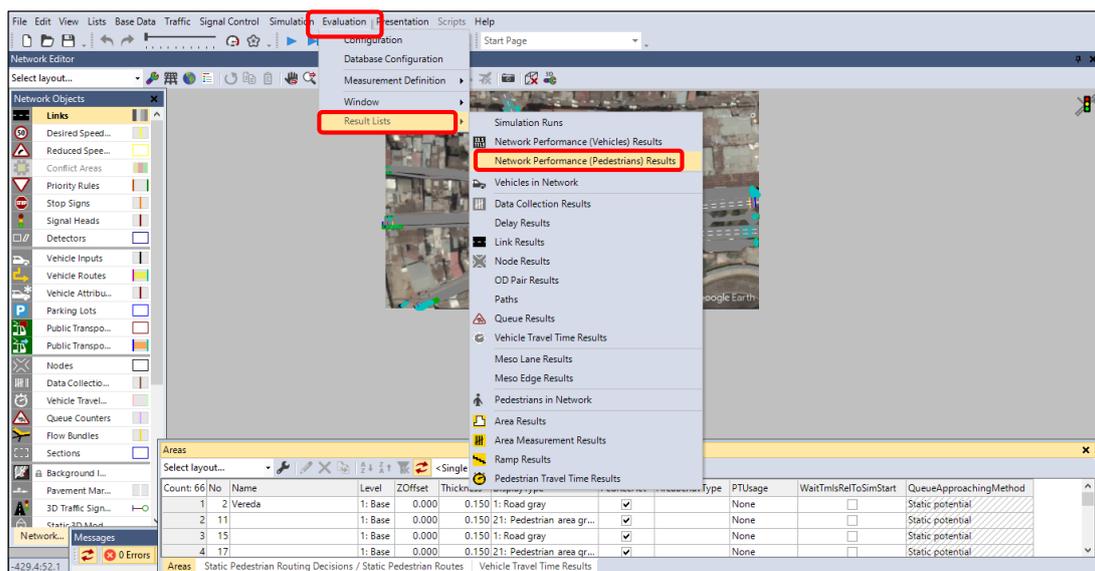


Figura 4-6 Desempeño de los peatones en la Plazuela Bolognesi.



A continuación, se muestra la tabla 4-2 con los resultados obtenidos del modelo de simulación creado en Vissim 11.0 y Viswalk 11.0, en lo concerniente al desempeño vehicular obtenido de las quince corridas. El intervalo de simulación fue de 0 a 600 segundos. Se determinó que las demoras medias en segundos/ vehículo fue de 110.92 seg/veh en el escenario actual.

Tabla 4-2 Resultados del desempeño de los vehículos en la vía (Diseño actual).

Número de corrida	Intervalo Tiempo (seg)	Demoras (seg/veh)	Tiempo Detenido (seg)	Velocidad (km/hr)
1	0-600	109.20	5.78	4.37
2	0-600	134.69	4.79	3.27
3	0-600	107.62	6.43	4.31
4	0-600	101.55	6.14	4.67
5	0-600	101.69	9.00	4.53
6	0-600	105.67	15.50	4.49
7	0-600	152.18	6.53	3.05
8	0-600	91.92	6.32	4.92
9	0-600	118.59	6.43	3.82
10	0-600	92.73	5.73	5.03
11	0-600	96.51	6.62	4.72
12	0-600	119.54	10.93	3.96
13	0-600	95.76	6.42	4.78
14	0-600	111.88	7.73	4.23
15	0-600	124.26	5.12	3.67
Media	0-600	110.92	7.30	4.25
Desv. Estándar	0-600	16.74	2.74	0.59
Mínimo	0-600	91.92	4.79	3.05
Máximo	0-600	152.18	15.50	5.03

Para el análisis del desempeño peatonal, se analizaron las velocidades de cada peatón y sus tiempos de viaje, durante su desplazamiento desde un punto inicial a un punto final,

según lo observado en los datos de campo y por consiguiente los datos provenientes del modelo de simulación en Vissim 11.0 y Viswalk 11.0.

Se obtuvo una velocidad media peatonal de 2.02 km/h y un tiempo de viaje medio de 179.96 seg (tabla 4-3).

Tabla 4-3 Resultados del tiempo de viaje de los peatones (Diseño actual)

Número de corrida	Intervalo Tiempo (seg)	Velocidad (km/hr)	Tiempo de Viaje (seg)
1	0-600	1.43	122.63
2	0-600	1.81	247.83
3	0-600	1.73	174.44
4	0-600	2.17	173.86
5	0-600	2.62	164.47
6	0-600	2.45	165.37
7	0-600	1.60	156.53
8	0-600	2.02	165.02
9	0-600	1.88	174.30
10	0-600	1.74	139.28
11	0-600	1.95	305.95
12	0-600	1.79	140.97
13	0-600	1.99	162.29
14	0-600	2.75	218.81
15	0-600	2.38	187.69
Promedio	0-600	2.02	179.96
Desv. Estándar	0-600	0.38	46.40
Mínimo	0-600	1.43	122.63
Máximo	0-600	2.75	305.95

4.7.2 Alternativas de Solución

4.7.2.1 Alternativa N° 1

4.7.2.1.1 Eficiencia Vehicular

Debido a que la intersección en estudio es una rotonda, no existen semáforos en dicha intersección. Por ello, sería interesante conocer el funcionamiento de dicha intersección, pero considerando su funcionamiento como una intersección semaforizada. En este caso se propone colocar 4 semáforos vehiculares en las vías de acceso a la rotonda: Av. Atahualpa, Av. San Martín de Porres, Av. Juan XXIII, Av. Héroe de San Ramón. Es importante considerar que los semáforos sugeridos son los llamados semáforos inteligentes, los cuales permiten a los usuarios conocer el tiempo que resta para cruzar la vía.

Figura 4-7 Ciclo de los semáforos de los carriles de entrada a la rotonda obtenidos en el Vissim 11.0 y Viwalk 11.0 para un mejor funcionamiento de la intersección.

Ciclo de semáforo Av. Atahualpa

FASE	TIEMPO (S)
ROJO	70
VERDE	70
AMBAR	3

Ciclo de semáforo Av. San Martín de Porres

FASE	TIEMPO (S)
ROJO	110
VERDE	30
AMBAR	3

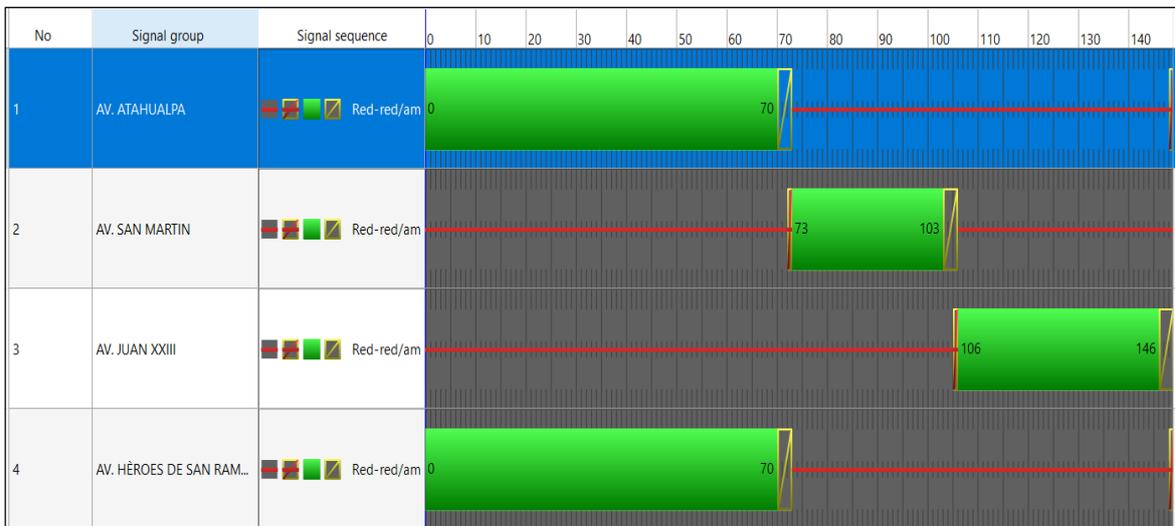
Ciclo semáforo Av. Juan XXIII

FASE	TIEMPO (S)
ROJO	100
VERDE	40
AMBAR	3

Ciclo de semáforo Av. Héroe de San Ramón

FASE	TIEMPO (S)
ROJO	70
VERDE	70
AMBAR	3

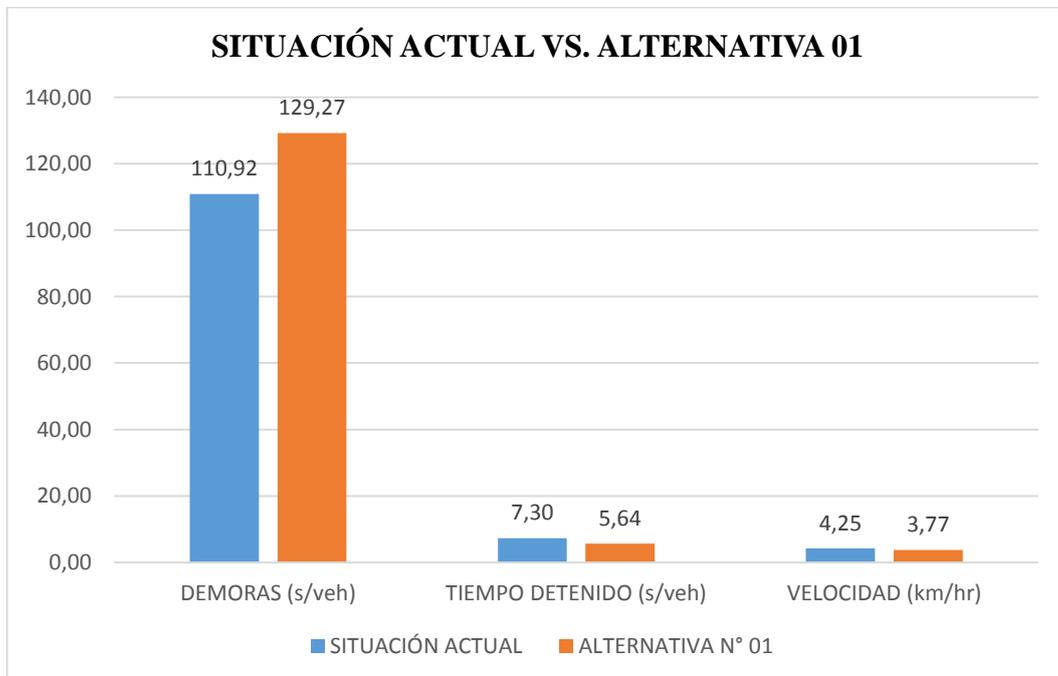
Figura 4-8 Ciclo de semáforos de las Av. Atahualpa, Av. San Martín de Porres, Av. Juan XXIII y Av. Héroes de San Ramón.



Comparación de los resultados del modelo

Con el modelo de micro simulación del diseño actual y de la propuesta, se procedió a comparar los resultados obtenidos de cada parámetro de eficiencia de los vehículos para concluir si la propuesta actual presenta mejoras o no.

Figura 4-9 Comparación del Parámetro de desempeño vehicular en la rotonda.



- Con respecto a las demoras, se observa un aumento de 16.55 % entre el promedio de demoras de la situación actual y la propuesta de mejora, lo que se considera como la disminución del funcionamiento de la red.

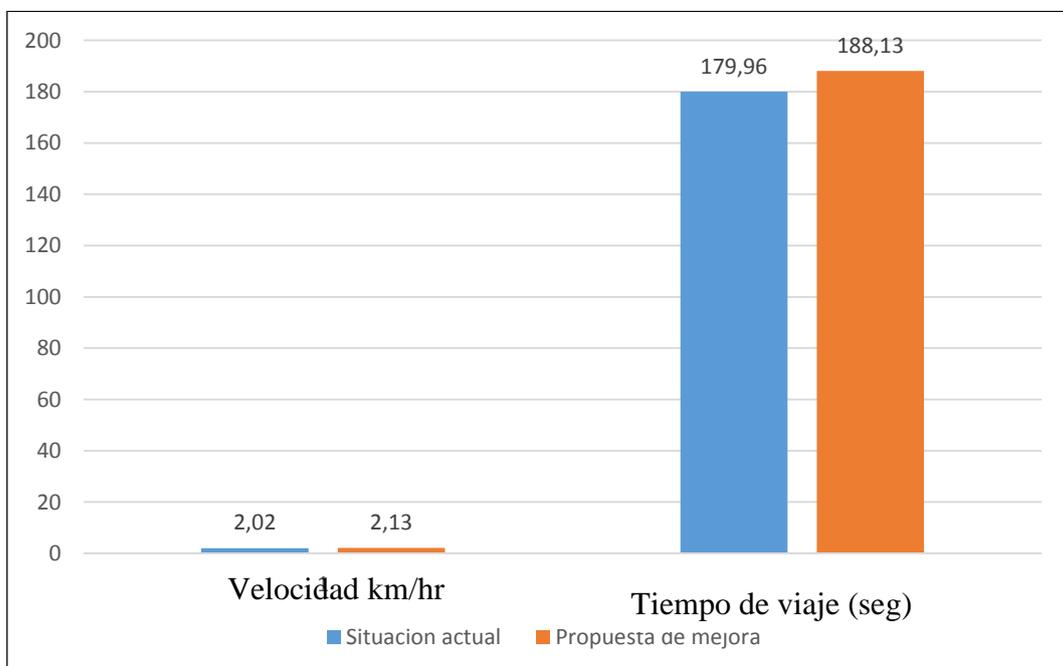
- En el caso del tiempo detenido promedio de todo el sistema, disminuyó 1.65 segundos, lo cual significa una disminución del 22.67%, lo cual puede ser considerado como un mejor desempeño de la red y por consiguiente en la mejora del sistema.
- De igual manera se realizó un análisis en la velocidad de viaje promedio de todo el sistema, y se determinó una disminución del 11.43 %, lo cual significa que el sistema no mejora, sino que la velocidad promedio en la red disminuye.

4.7.2.1.2 Eficiencia Peatonal

Comparación de los resultados del modelo

Con el modelo de micro simulación del diseño actual y de la propuesta actual, se procedió a comparar los resultados obtenidos de cada parámetro de eficiencia de los peatones para concluir si dicha propuesta presenta mejoras o no.

Figura 4-10 Comparación del Parámetro de desempeño vehicular en la rotonda- Alternativa N°01.



- Con respecto a la velocidad de los peatones, se observa un aumento de 5.44 % entre el promedio de demoras de la situación actual y la propuesta de mejora.

- En el caso del tiempo de viaje promedio de todo el sistema, aumentó 8.17 segundos, lo cual significa un aumento del 4.5 %, puede considerarse una pequeña disminución en el funcionamiento de la red.

Finalmente se decide no emplear semáforos debido a que las demoras aumentan, de esta manera es preferible dejar que la intersección funcione como una rotonda y en base a ello proponer 2 alternativas de solución viables, funcionales y que mejoren el funcionamiento del sistema.

4.7.2.2 Alternativa N°2

4.7.2.2.1 Eficiencia Vehicular

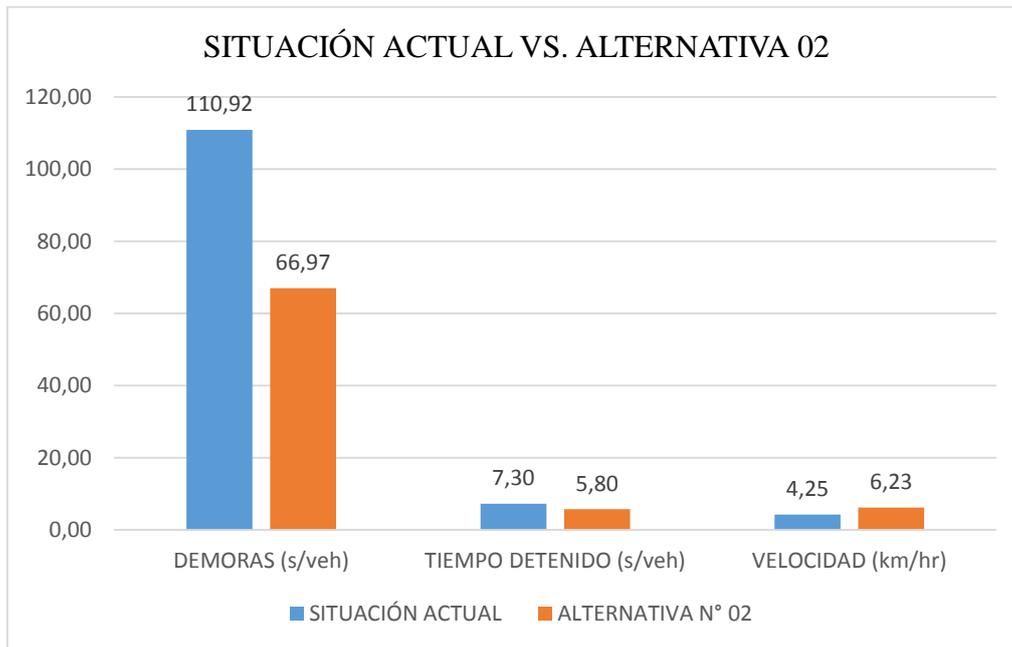
Se ha considerado que el medio de transporte más usado en esta intersección debe ser el servicio público como las combis y buses, ya que el gran número de unidades motorizadas con poca capacidad conformado en su mayoría por moto taxis representan un gran problema y son mayores contribuidores al caos que se presenta en esta intersección. La disminución de vehículos motorizados como son las mototaxis, o en su defecto, la ausencia de este tipo de vehículos y su debido reemplazo con el aumento de buses o combis, mejorarían la capacidad de la vía y, por ende, el flujo vehicular.

Es por ello que esta segunda alternativa contempla que, el tránsito de unidades motorizadas de poca capacidad como son las mototaxis y taxis de las Av. Atahualpa y Av. Héroes de San Ramón sean desviados al Jirón El Progreso y a la Av. Mario Urteaga respectivamente, de acuerdo al sentido del tráfico de dichas calles. Por otro lado, debido a la vulnerabilidad de los peatones, es sugerido que haya un policía de tránsito en cada calle que ordenen el tránsito y así evitar posibles accidentes.

Comparación de los resultados del modelo

Con el modelo de micro simulación del diseño actual y de la propuesta actual, se procedió a comparar los resultados obtenidos de cada parámetro de eficiencia de los vehículos y peatones para concluir si dicha propuesta presenta mejoras o no.

Figura 4-11 Comparación del Parámetro de desempeño vehicular en la rotonda- Alternativa N° 02.



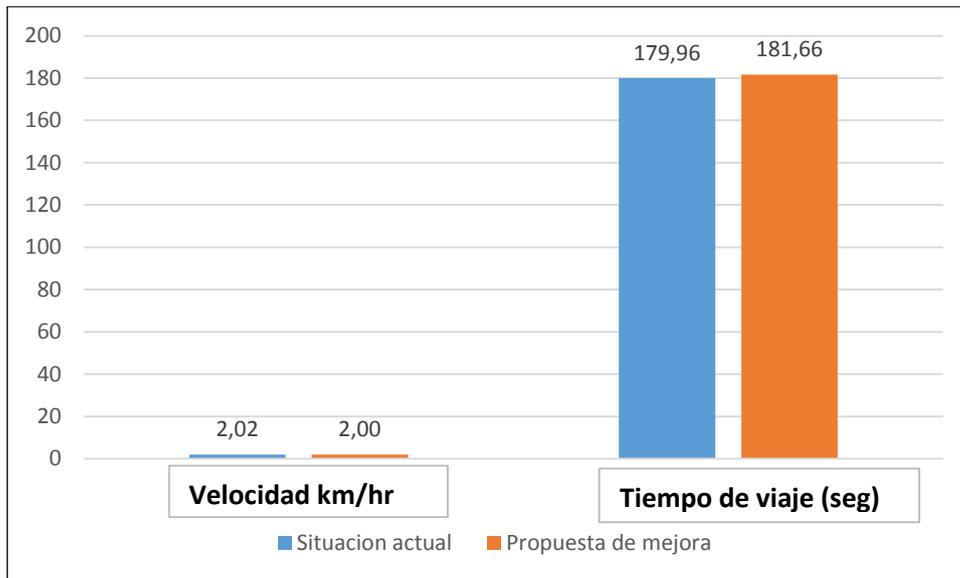
- Con respecto a las demoras, se observa una disminución significativa de 39.62 % entre el promedio de demoras de la situación actual y la propuesta de mejora, puede considerarse como un aumento significativo de la red y por consiguiente una mejora en el sistema.
- En el caso del tiempo detenido promedio de todo el sistema, disminuyó 1.50 segundos, lo cual significa una disminución del 20.59 %, lo cual puede ser considerado como un mejor desempeño de la red y por consiguiente en la mejora del sistema.
- De igual manera se realizó un análisis en la velocidad de viaje promedio de todo el sistema, y se determinó un aumento del 46.4 %, siendo muy significativa la mejora respecto a este parámetro.

4.7.2.2.1.2 Eficiencia Peatonal

Comparación de los resultados del modelo

Con el modelo de micro simulación del diseño actual y de la propuesta actual, se procedió a comparar los resultados obtenidos de cada parámetro de eficiencia de los peatones para concluir si dicha propuesta presenta mejoras o no.

Figura 4-12 Comparación del Parámetro de desempeño vehicular en la rotonda.



- Con respecto a la velocidad de los peatones, se observa una disminución de 0.99 % entre el promedio de demoras de la situación actual y la propuesta de mejora.
- En el caso del tiempo de viaje promedio de los peatones, disminuyó 1.7 segundos, lo cual significa un aumento del 0.94 %, puede considerarse un pequeño aumento en el funcionamiento de la red.

.7.2.2 Alternativa N°3

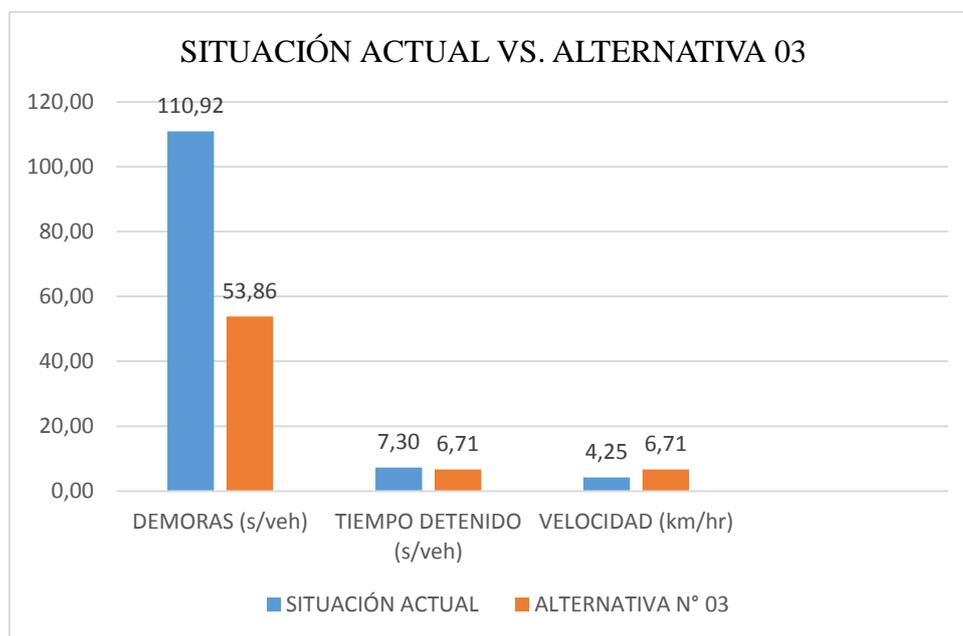
4.7.2.2.1 Eficiencia Vehicular

Para esta alternativa propuesta, se sugiere que además de desviar el tránsito hacia la Avenida Mario Urteaga, el Jr. Juan XXIII funcione como una vía de un solo sentido con 2 carriles de salida, de esta manera el tránsito de vehículos en la rotonda de la Plazuela Bolognesi sea más fluido y con menos flujos vehiculares en conflicto dentro del carril circulante de éste.

Comparación de los resultados del modelo

Con el modelo de micro simulación del diseño actual y de la propuesta actual, se procedió a comparar los resultados obtenidos de cada parámetro de eficiencia de los vehículos y peatones para concluir si dicha propuesta presenta mejoras o no.

Figura 4-13 Comparación del Parámetro de desempeño vehicular en la rotonda- Alternativa N° 03.



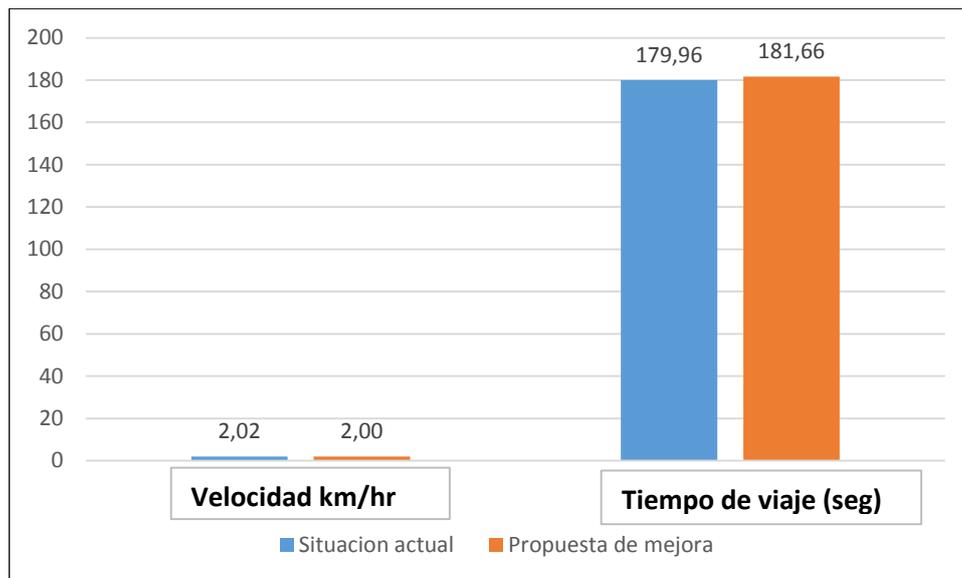
- Con respecto a las demoras, se observa una disminución significativa de 51.44 % entre el promedio de demoras de la situación actual y la propuesta de mejora, puede considerarse como un aumento significativo de la red y por consiguiente una mejora en el sistema.
- En el caso del tiempo detenido promedio de todo el sistema, disminuyó 0.58 segundos, lo cual significa una disminución del 8 %, lo cual puede ser considerado como un mejor desempeño de la red y por consiguiente una pequeña mejora del sistema.
- De igual manera se realizó un análisis en la velocidad de viaje promedio de todo el sistema, y se determinó un aumento del 57.84 %, siendo muy significativa la mejora respecto a este parámetro.

4.7.2.2.1.2 Eficiencia Peatonal

Comparación de los resultados del modelo

Con el modelo de micro simulación del diseño actual y de la propuesta actual, se procedió a comparar los resultados obtenidos de cada parámetro de eficiencia de los peatones para concluir si dicha propuesta presenta mejoras o no.

Figura 4-14 Comparación del Parámetro de desempeño vehicular en la rotonda.



- Con respecto a la velocidad de los peatones, se observa una disminución de 0.99 % entre el promedio de demoras de la situación actual y la propuesta de mejora.
- En el caso del tiempo de viaje promedio de los peatones, disminuyó 1.7 segundos, lo cual significa un aumento del 0.94 %, puede considerarse un pequeño aumento en el funcionamiento de la red.

3.3.2 APLICACIÓN DE LA NORMA HCM 2010.

3.2.1 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO MEDIANTE LA NORMA HCM 2010.

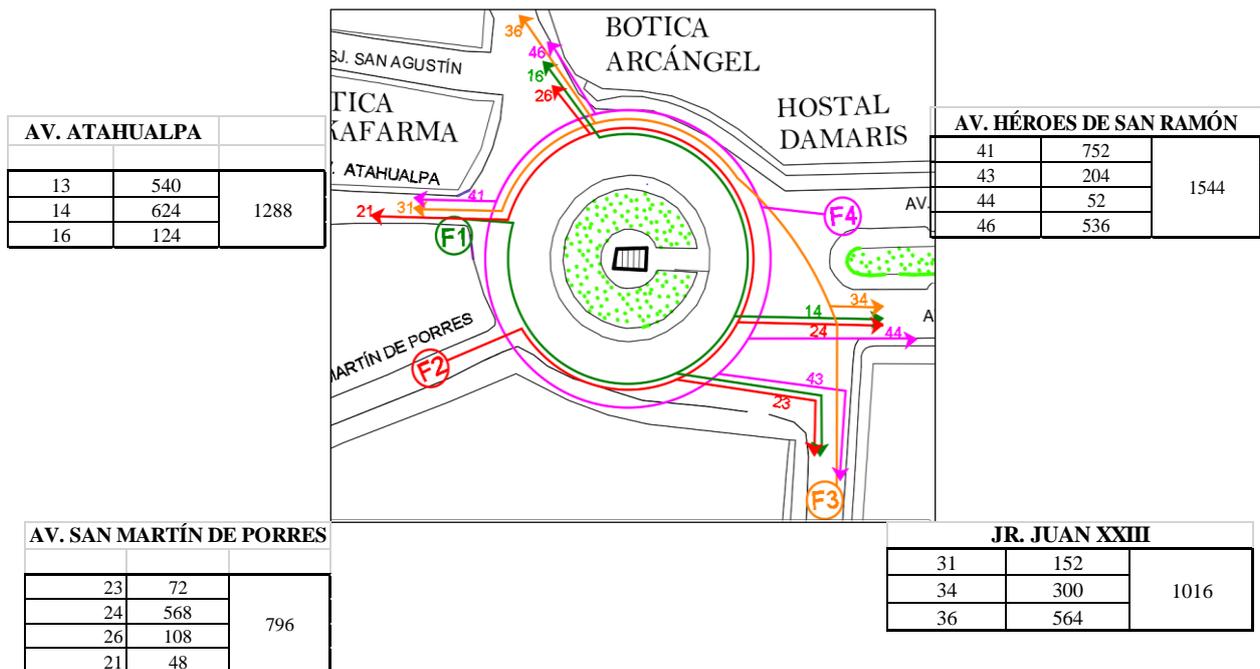
3.2.1.1 Los Hechos

Por facilidad, la rotonda de la Plazuela Bolognesi, va a ser analizada en la posición siguiente, suponiendo que el Norte está ubicado en la siguiente manera.

Figura 4-15. Rotonda de la Plazuela Bolognesi.



Figura 4-16 Flujos Vehiculares entrantes a la Plazuela Bolognesi.



*** Porcentaje de vehículos pesados para movimientos en dirección este y oeste:**

Según el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG - 2018, establece que:

Serán considerados como vehículos pesados, los pertenecientes a las categorías M (vehículos automotores de cuatro ruedas diseñados para el transporte de pasajeros, excepto la M1), N (vehículos automotores de cuatro ruedas o más, diseñados y construidos para el transporte de mercancías), O (remolques y semirremolques) y S (combinaciones especiales de los M, N y O).

Entonces, de los vehículos que transitan por la Rotonda de la Plazuela Bolognesi, serán considerados, **los minibuses(combis)**, buses y camiones.

Tabla 4-4 Porcentaje de vehículos pesados por vía.

AV. o JR.	FLUJO	VEHÍCULOS PESADOS	
		VOLUMEN	PORCENTAJE
ATAHUALPA	13	156	29%
	14	52	8%
	16	0	0%
SMP	23	4	6%
	24	0	0%
	26	4	4%
	21	8	17%
JUAN XXIII	31	8	5%
	34	0	0%
	36	0	0%
HSRM	41	256	34%
	43	0	0%
	44	4	8%
	46	0	0%

Tabla 4-5 Factor Hora Pico por vía.

AV. o JR.	FHP
ATAHUALPA	0.98
SMP	0.96
JUAN XXIII	0.96
HSRM	0.95

3.2.1.2 PROCEDIMIENTO

PASO 01: CONVERTIR LOS VOLÚMENES DE DEMANDA DE MOVIMIENTO EN TASAS DE FLUJO.

$$v_{EBL} = \frac{V_{EBL}}{PHF} \quad (4.1)$$

Donde:

v_i = caudal de demanda para el movimiento i (veh / h),

V_i = volumen de demanda para movimiento i (veh / h), y

PHF = factor de hora pico.

Tabla 4-6 Caudal de vehículos en cada flujo.

AV. o JR.	FLUJO	CAUDAL (veh/h)
ATAHUALPA	13	552
	14	637
	16	127
SMP	23	75
	24	592
	26	113
	21	50
JUAN XXIII	31	159
	34	313
	36	588
HSRM	41	792
	43	215
	44	55
	46	565

PASO 02: AJUSTE LAS TASAS DE FLUJO PARA VEHÍCULOS PESADOS

$$v_{EBL,pce} = \frac{v_{EBL}}{f_{HV}} \quad (4.2)$$

Donde:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)} \quad (4.3)$$

$v_{i,pce}$ = caudal de demanda para movimiento i (pc / h),

v_i = caudal de demanda para el movimiento i (veh / h),

f_{HV} = factor de ajuste de vehículos pesados,

P_T = proporción del volumen de demanda que consiste en vehículos pesados, y

E_T = passenger car equivalent for heavy vehicles.

Tabla 4-7 Caudal de demanda para cada movimiento

AV. o JR.	FLUJO	FACTOR DE AJUSTE (FHV)	FHV (PROM)	CAUDAL DE DEMANDA PARA MOVIMIENTO
ATAHUALPA	13	1.000	1.000	552
	14	1.000		637
	16	1.000		127
SMP	23	1.000	1.000	75
	24	1.000		592
	26	1.000		113
	21	1.000		50
JUAN XXIII	31	1.000	1.000	159
	34	1.000		313
	36	1.000		588
HSRM	41	1.000	1.000	792
	43	1.000		215
	44	1.000		55
	46	1.000		565

PASO 03: DETERMINAR EL FLUJO CIRCULANTE Y DE SALIDA

Para este caso, solo se van a calcular los flujos circulantes para cada tramo.

Tabla 4-8 Flujo circulante y de salida en la rotonda

AV. o JR.	FLUJOS CIRCULANTES
ATAHUALPA	270
SMP	1531
JUAN XXIII	609
HSRM	1037

PASO 04: DETERMINAR LOS FLUJOS DE ENTRADA POR CARRIL

Tabla 4-9 Flujos de entrada por carril

AV. o JR.	CARRIL	FLUJOS DE ENTRADA (vc,pce)
ATAHUALPA	ÚNICO	1316
SMP	IZQUIERDA	440
	DERECHA	390
JUAN XXIII	ÚNICO	1060
HSRM	IZQUIERDA}	893
	DERECHA	734

PASO 05: DETERMINAR LA CAPACIDAD DE CADA CARRIL DE ENTRADA

*Si la entrada es de un solo carril opuesto por dos carriles circulantes, se utilizará la siguiente fórmula

$$c_{e,pce} = 1,130e^{(-0.7 \times 10^{-3})v_{c,pce}} \quad (4.4)$$

En este caso: **Av. Atahualpa, Jr. Juan XXIII**

*Si la entrada es de 2 carriles opuesto por dos carriles circulantes, se utilizará la siguiente fórmula:

CARRIL IZQUIERDA

$$c_{e,R,pce} = 1,130e^{(-0.7 \times 10^{-3})v_{c,pce}} \quad (4.5)$$

CARRIL DERECHA

$$c_{e,L,pce} = 1,130e^{(-0.75 \times 10^{-3})v_{c,pce}} \quad (4.6)$$

En este caso, la **Av. San Martín de Porres (SMP)** y la **Av. Héroes de San Ramón (HSRM)**

Entonces, la capacidad de cada carril de entrada, será:

Tabla 4-10 Capacidad por carril

AV. o JR.	CARRIL	CAPACIDAD DE CARRIL (Ce, R, pce)
ATAHUALPA	UNICO	1130
SMP	IZQUIERDA	387
	DERECHA	359
JUAN XXIII	UNICO	748
HSRM	IZQUIERDA	833
	DERECHA	835

PASO 06: DETERMINAR LA IMPEDANCIA DE LOS PEATONES A LOS VEHÍCULOS.

En la rotonda de la plazuela Bolognesi los peatones no afirman el derecho de paso que generalmente se otorga en la mayoría de las jurisdicciones, además, los flujos vehiculares son altos. De acuerdo a las características antes mencionadas, los peatones tienen un

impacto adicional insignificante, de esta manera, no se calculará la impedancia de los peatones a los vehículos.

PASO 07: CONVERTIR LAS CAPACIDADES Y FLUJOS DE CARRIL EN VEHÍCULOS POR HORA.

$$c_i = c_{i,PCE} f_{HV,e} f_{ped} \quad (4.7)$$

Donde:

c_i = capacidad para el carril i (veh / h),

$c_{i,PCE}$ = capacidad para el carril i (pc / h),

F_{HVe} = factor de ajuste de vehículos pesados para el carril (ver más abajo), y

F_{ped} = factor de impedancia peatonal.

Tabla 4-10 Capacidad por carril

AV. o JR.	CARRIL	CAPACIDAD POR CARRIL(vi)
ATAHUALPA	UNICO	1130
SMP	IZQUIERDA	387
	DERECHA	359
JUAN XXIII	UNICO	748
HSRM	IZQUIERDA	833
	DERECHA	835

$$v_{EB,R} = v_{pce,EB,R} f_{HV,e,EB} \quad (4.8)$$

Tabla 4-11 Volumen por carril

AV. o JR.	CARRIL	VOLUMEN POR CARRIL(vi)
ATAHUALPA	UNICO	1316
SMP	IZQUIERDA	440
	DERECHA	390
JUAN XXIII	UNICO	1060
HSRM	IZQUIERDA	893
	DERECHA	734

PASO 08: CALCULAR LA RELACIÓN VOLUMEN - CAPACIDAD PARA CADA CARRIL

Tabla 4-12 Relación Volumen - Capacidad

AV. o JR.	CARRIL	RELACIÓN VOLUMEN – CAPACIDAD
ATAHUALPA	UNICO	1.16
SMP	IZQUIERDA	1.14

	DERECHA	1.09
JUAN XXIII	UNICO	1.42
HSRM	IZQUIERDA	1.07
	DERECHA	0.88

PASO 09: CALCULAR EL RETRASO DE CONTROL PROMEDIO PARA CADA CARRIL

$$d = \frac{3,600}{c} + 900T \left[x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{\left(\frac{3,600}{c}\right)x}{450T}} \right] + 5 \times \min[x,1] \quad (4.9)$$

Donde

d = retraso de control promedio (s / veh),

x = relación volumen-capacidad del carril en cuestión,

c = capacidad del carril sujeto (veh / h), y

T = período de tiempo (h) (T = 0.25 h para un análisis de 15 min).

Tabla 4-13 Retraso de control promedio para cada carril de entrada

AV. o JR.	CARRIL	RETRASO
ATAHUALPA	UNICO	100.37
SMP	IZQUIERDA	120.67
	DERECHA	107.12
JUAN XXIII	UNICO	212.64
HSRM	IZQUIERDA	73.98
	DERECHA	30.95

PASO 10: CALCULAR EL RETRASO DE CONTROL PROMEDIO Y DETERMINAR LOS PARA CADA ENFOQUE Y LA ROTONDA EN SU CONJUNTO

$$d_{\text{approach}} = \frac{d_{LL}v_{LL} + d_{RL}v_{RL} + d_{\text{bypass}}v_{\text{bypass}}}{v_{LL} + v_{RL} + v_{\text{bypass}}} \quad (4.10)$$

d (AV. ATAHUALPA) =	110.369	s/veh
d (AV. SMP) =	114.304	s/veh
d (AV. JUAN XXIII)=	212.645	s/veh
d (AV. HSRM) =	54.567	s/veh

$$d_{\text{intersection}} = \frac{\sum d_i v_i}{\sum v_i} \quad (4.11)$$

Donde:

$d_{\text{intersection}}$ = demora de control para toda la intersección (s / veh),

d_i = demora de control para el enfoque i (s / veh), y

v_i = caudal para el enfoque i (veh / h).

d aproximado =	111.97	s/veh
----------------	--------	-------

Según los cálculos, determinamos el nivel de serviciabilidad de la rotonda:

Tabla 4-14 Nivel de Serviabilidad - HCM 2010

Control Delay (s/veh)	LOS by Volume-to-Capacity Ratio ^a	
	$v/c \leq 1.0$	$v/c > 1.0$
0-10	A	F
>10-15	B	F
>15-25	C	F
>25-35	D	F
>35-50	E	F
>50	F	F

Note: ^a For approaches and intersectionwide assessment, LOS is defined solely by control delay.

Teniendo un nivel de serviciabilidad **F**.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS HCM 2010 Y VISSIM 11.0 Y VISWALK 11.0.

Por último, se comparan los datos encontrados a través de los softwares Vissim 11.0 y Viswalk 11.0 con los resultados encontrados a través del reglamento HCM 2010

Tabla 4-15 Comparación de resultados HCM 2010 y VISSIM 11.0 Y VISWALK 11.0

	MÉTODO UTILIZADO	DEMORA (s/veh)
DEMORAS	HCM (2010)	111.97
	VISSIM Y VISWALK(promedio)	110.92

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se determinó que las demoras medias en segundos/ vehículo fue de 110.92 seg/veh en el escenario actual. Se obtuvo una velocidad media peatonal de 2.02 km/h y un tiempo de viaje medio de 179.96 seg (tabla 4.3).
2. El trabajo de micro simulación realizado se basó en diseñar 3 alternativas viables que mejoren el funcionamiento de la rotonda Bolognesi, principalmente que sean seguras, económicas y funcionales.
3. La primera propuesta considera cambiar el funcionamiento de la intersección, que actualmente es una rotonda, a una intersección semaforizada, lo cual no mejoró la situación actual generando mayores demoras, de esta manera las siguientes alternativas de solución tuvieron como base que la intersección siga funcionando como una rotonda.
4. La segunda propuesta contempla se desvíe el tráfico de taxis y mototaxis hacia el Jirón el Progreso sin tener que ingresar a la rotonda y a la Avenida Mario Urteaga.
5. La tercera alternativa contempla lo mencionado anteriormente y además que el Jr. Juan XXIII funcione como una vía en un solo sentido con 2 carriles de salida, lo cual permite disminuir los flujos vehiculares en conflicto dentro del carril circulante de la rotonda.
6. Con respecto a los peatones, en la situación actual se encontraron problemas con respecto a los cruces peatonales, la poca visibilidad de las señales de tránsito y la falta de educación vial, problemas que han sido relegados por creerlos de menor importancia, sin embargo, son puntos esenciales a solucionar que deben ser tomados en cuenta por la Municipalidad Provincial de Cajamarca, en conjunto con la Policía Nacional de Tránsito.
7. La propuesta uno modelada con los softwares Vissim 11.0 y Viswalk 11.0, presentó los siguientes parámetros de eficiencia: velocidad promedio fue de 3.77 km/hr, demora promedio de 129.27 segundos y tiempo detenido promedio de 5.64 segundos.
8. La propuesta dos de mejora presentó los siguientes parámetros de eficiencia: velocidad promedio fue de 6.23 km/hr, demora promedio de 66.97 segundos y tiempo detenido promedio de 5.80 segundos.
9. Finalmente, la propuesta de mejora tres, presentó los siguientes parámetros de eficiencia: velocidad promedio fue de 6.71 km/hr, demora promedio de 53.86

segundos y tiempo detenido promedio de 6.71 segundos, propuesta que representa la optimización de los desplazamientos vehiculares y peatonales en la rotonda Bolognesi.

10. En la presente tesis, el enfoque fue el tránsito vehicular y peatonal y la infraestructura vial, y tomando en cuenta que es una intersección que no cuenta con área libre para ser ampliada o modificada, es que no se ha hecho cambios a la infraestructura vial, en base a ello se han propuesto alternativas viables, realizables y económicas, además de proponer el mantenimiento periódico de las señales de tránsito y una muy necesaria cultura vial.

Recomendaciones

1. La utilización de softwares de simulación para modelar situaciones en conflicto debería ser más frecuente ya que de esta manera es posible proponer una o múltiples alternativas de solución, las cuales, al ser probadas en dichos softwares, facilitan y hacen más racional la elección de la solución más conveniente y efectiva.
2. Después de haber realizado la simulación en los softwares Vissim 11.0 y Viswalk 11.0, es necesario utilizar un método de manera manual como es el HCM 2010 para el cálculo de demoras, de esta manera se tiene una base para determinar si los parámetros que se obtiene del programa son reales y por lo tanto aceptables para continuar con la propuesta de alternativas.
3. Se recomienda que para la toma de datos se implementen nuevas tecnologías como son el uso de videograbadoras o drones que faciliten y hagan más precisa la toma de datos.
4. Finalmente, con respecto a la educación vial, es muy importante tomar en cuenta como prioridad al peatón en todo el proceso de la investigación, ya que es una fuente importante de información que nos brinda datos reales de la situación en estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alberto, Cecilio Edificios de uso Educativo: <http://www.eoi.es/blogs/gestioneducativa/2015/06/28/diferenciacion-entre-espacio-educativo-espacio-escolar-y-espacio-docente/>. [Último acceso:28 Junio 2018].
- Alvarez s, J. W. (2017). Micro-simulación intermodal en la ciudad del Cusco empleando los softwares Vissim 8 y Visswalk 8. Cusco.
- Atoche y Rojas. (2013). Tránsito en una carretera usando simulación. Cajamarca.
- Avilés, C. (2017). Microanálisis de los desplazamientos Peatonales y Vehiculares en las afuera del Hospital del Niño. Lima.
- Canca, D., Guerrero, F., y Jiménez, F. (2006). Un modelo de equilibrio dinámico y simulación para el análisis de flujos peatonales en grandes eventos expositivos. Sevilla.
- ConceptoDefinicion. ConceptoDefinicion. Obtenido de Definición de zona comercial: <http://conceptoDefinicion.de/zona-comercial/>. [Último acceso: 13 mayo 2018).
- Correa y Valencia. (2005). Planteamiento de soluciones al problema de congestión vehicular y peatonal en el tramo comprendido en la carretera 7 entre las calles 39 y 45 de Bogotá. Bogotá.
- Dirección General de Servicios Técnicos. (2014). Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad 2014. México: Autor. Obtenido de <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/NUEVO-SENALAMIENTO/manualSenalamientoVialDispositivosSeguridad.pdf>
- Garcia y Perez. (2013). Estudio sistémico de aforo de tránsito vehicular en puntos críticos de la ciudad de Cajamarca. Cajamarca.
- González, M. (2013). Un modelo heurístico nuevo para el análisis del flujo vehicular. México.
- Granados, F.(2011). Análisis de nivel de servicio y capacidad de segmentos básicos de autopistas, segmentos trenzados y rampas de acuerdo al manual de capacidad de carreteras HCM2000 aplicando MATHCAD. México.

- Grupo ROGLE. Aplicando Teoría de Colas en Dirección de Operaciones. Obtenido de <http://personales.upv.es/jpgarcia/linkedddocuments/teoriadecolasdoc.pdf>
- Guío, F. (29 de febrero-mayo de 2010). Flujos peatonales en infraestructuras continuas: marco conceptual y modelos representativos. Revista virtual, 195. Obtenido de Fundación Universitaria Católica del Norte: <http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/77/160>
- Izquierdo, Y. (2015). Influencia del Flujo Vehicular y la Infraestructura Vial en el congestionamiento vehicular en la ciudad de Cajamarca, utilizando dinámica de sistemas. Cajamarca.
- Leonardo Neyra, R. d. (2017). Análisis del nivel de Serviciabilidad de las intersecciones semaforizadas de la avenida Villanueva Pinillos y modelado con SYNCHRO 8.0-Jaén-2016. Jaén.
- Márquez, P. Física y Química. Obtenido de <http://eso4fyq.cellavinaria.org/temas/los-movimientos/posicin/desplazamiento>. [Último acceso: 27 mayo 2019].
- Martínez, M. (10 de 11 de 2004). Monografías.com. Obtenido de Teoría de colas: <http://www.monografias.com/trabajos18/teoria-colas/teoria-colas.shtml>
- Ministerio de Transporte y comunicaciones (MTC). (2006). Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial. Lima: Autor.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. Lima: Autor.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). Norma A.040 Educación. Lima: Autor.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2011). Modificación de la Norma Técnica A.070 Comercio. Lima: Autor.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (s.f.). NORMA A.100 Recreación y Deportes. Lima.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Sanemaiento. (15 de Julio de 2011). Modificación de la Norma Técnica A.070 Comercio. Modificación de la Norma Técnica A.070 Comercio. Lima, Lima, Perú.

- Ministerio del interior. (2014). Los peatones. Los peatones, 7. Madrid, Madrid, España: Catálogo general de publicaciones oficiales: <http://publicacionesoficiales.boe.es>. [Último acceso:28 Junio 2018].
- Mozo Sánchez, J. (2011). Análisis de nivel de servicio y capacidad de segmentos básicos de autopistas, segmentos trenzados y rampas de acuerdo al manual de capacidad de carreteras HCM2000 aplicando MATHCAD. México: Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/417/A4.pdf?sequence=4>. [Último acceso: 13 mayo 2018).
- Obando, W. (s.f.). Academia. Obtenido de La conservación por niveles de servicio: http://www.academia.edu/6288451/LA_CONSERVACION_NIVEL_DE_SERVICIO. [Último acceso: 13 mayo 2018).
- Oxford University Press. (s.f.). Español Oxford Living Dictionaries. Obtenido de <https://es.oxforddictionaries.com/definicion/friccion>
- RAE. (2018). Desplazamiento. Obtenido de <https://www.google.com.pe/search?q=desplazamiento&oq=desplazamiento&aqs=chrome..69i57j69i59l3j69i61j69i60.2956j0j1&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Real Academia Española. (s.f.). Real Academia Española. Obtenido de <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=desplazamiento>
- Rivera, L. P. (16 de 05 de 2016). Teoria de Flujo Vehicular. Obtenido de <https://prezi.com/cihz-9ingr6m/teoria-del-flujo-vehicular/>
- Rodriguez, D. (2002). Concurrencia en sistemas multiagente: Implementación de un simulador de tráfico urbano. Bogotá.
- Rojas, J. I. (2007). Biblioteca Virtual de Derecho, Economía y Ciencias Sociales. Obtenido de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2007b/269/3.htm>
- Suárez Castaño, L. A. (2007). Análisis Y Evaluación operacional de intersecciones urbanas mediante microsimulación. Medellín.
- Universidad Católica del Norte. (25 de 11 de 2009). Revista Virtual. Obtenido de <http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/77/160>

- Vásquez Cordano, A. y. (2008). Ensayos sobre el rol de la infraestructura vial en el crecimiento económico del Perú. Lima: Nova Print S.A.C.
- Wikipedia. Parada de Autobús. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Parada_de_autob%C3%BAs. [Último acceso: 13 mayo 2018).
- Wikipedia. Wikipedia. Obtenido de Carretera: <https://es.wikipedia.org/wiki/Carretera>. [Último acceso: 09 junio 2018).
- Wu, N. (1998). Estimation of Queue Lengths and Their Percentiles at Signalized. Obtenido de http://homepage.rub.de/ning.wu/pdf/Q_Signal_copenhagen.PDF. [Último acceso: 12 julio 2018).

ANEXOS

ANEXO 1: PLANOS

ANEXO 2: MANUAL VISSIL 11.0 Y VISWALK 11.0

ANEXO 3: CONTEO DE VOLÚMENES VEHICULARES

ANEXO 4: FLUJOGRAMAS

ANEXO 5: VELOCIDAD DE LOS VEHÍCULOS

ANEXO 6: TIEMPO DE VIAJES PEATONALES

ANEXO 7: TIEMPOS DE PARADA (TRANSPORTE PÚBLICO)

ANEXO 8: TIEMPOS DE PARADA (TRANSPORTE PRIVADO)