

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



ANÁLISIS Y REDISEÑO DE LA INTERSECCIÓN DE AVENIDA

LA MAR CON LA AVENIDA URUBAMBA

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Jordy Walter Infanzon Molleda

ASESOR:

Félix Israel Cabrera Vega

Lima, setiembre de 2021

RESUMEN

En la actualidad, muchas de las vías urbanas de la ciudad de Lima presente graves problemas de congestión vehicular. Este problema se ha agudizado con el tiempo por el incremento de los vehículos en el parque automotor, deficiencias en las medidas de gestión del tráfico y el mal diseño de la infraestructura vial urbana. Uno de los puntos críticos en el diseño calles urbanas son las intersecciones, ya que en estas convergen los movimientos de todos los usuarios. En el presente proyecto se evalúa y propone un rediseño de la intersección de la avenida Urubamba y la avenida La Mar ubicada en el distrito de Ate Vitarte.

El desarrollo del proyecto se llevó mediante la consecución de los siguientes cinco pasos: definición del alcance del proyecto, recolección de datos de la visita de campo, observación directa del área de estudio, modelación microscópica de la intersección y la propuesta de mejora. Por un lado, la construcción del modelo tiene como la finalidad brindar un análisis cuantitativo de las características que presenta la intersección en la situación actual y en el rediseño mediante el programa Vissim y VisWalk 8.0. Los parámetros de análisis vehicular usados del modelo son las longitudes colas vehiculares, velocidades de viaje y demoras de viaje; para la evaluación peatonal se empleó la densidad promedio y tiempo de viaje. Por otro lado, la evaluación cualitativa del área de estudio se realizó mediante una observación directa de la zona de estudio y la ayuda de una Lista de Chequeo.

Las propuestas de mejora que se plantean en la intersección abarcan cambios del diseño geométrico, implementación de control de tráfico, colocación de paradero de buses e incorporación de señalizaciones viales. Por un lado, los cambios geométricos presentados comprenden el redimensionamiento de las rampas peatonales, modificación de las islas de seguridad, cambio del eje de la calzada, alineamiento de los cruceros e implementación de carril de giro a la izquierda. Por otro lado, en el rediseño se planteó regular el tránsito vehicular y peatonal mediante semáforos de ciclos fijos. Por último, en la avenida La Mar se propuso la ubicación de dos paraderos de buses. Con la propuesta planteada se verifico que la vía que registra mayor longitud de cola ubicada en la avenida la Mar con dirección de flujo de Este a Oeste se reducen su la longitud de cola de 40.6 a 30.35 m.



DEDICATORIA

A mi familia por su apoyo en toda mi carrera
universitaria.

A mi asesor por sus enseñanzas y consejos en
elaboración de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	i
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABLAS	v
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo general	2
1.1.2 Objetivo específico	2
1.2 Alcances	2
1.3 Justificación.....	3
CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA	6
2.1 Modelo y sistema.....	6
2.2 Modelos de simulación del tráfico.....	6
2.2.1 Según el tipo de variable	7
2.2.2 Según el nivel de aleatoriedad	8
2.2.3 Según el nivel de detalle a analizar	9
2.3 Micro-simulación vehicular y peatonal.....	10
2.4 Fundamentos de la micro simulación	10
2.4.1 Aleatoriedad en el modelo a micro simular	10
2.4.2 Número de semilla.....	11
2.4.3 Número de corridas.....	12
2.4.4 Warm up.....	13
2.5 Modelos de seguimiento vehicular existentes	13
2.6 Modelo de Cambio de carril	15
2.7 Modelos de seguimiento Peatonal Existentes.....	16
2.7.1 Modelo de fuerza social o campo social	16
2.7.2 Modelo de celulares autómatas(AC)	17
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	18
3.1 Alcance del proyecto.....	19
3.2 Recolección de datos	19

3.3	Observación directa	22
3.4	Modelación microscópica	23
3.4.1	Desarrollo del modelo	23
3.4.2	Verificación del modelo	23
3.4.3	Calibración y validación del modelo	24
3.5	Propuestas de mejora	24
3.5.1	Análisis del proyecto	24
3.5.2	Informe del proyecto	24
CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DE LA INTERSECCIÓN ACTUAL Y PROCESAMIENTO DE DATO		
25		
4.1	Análisis de la intersección actual	25
4.2	Recolección y procesamiento de dato	26
4.2.1	Datos geométricos	26
4.2.2	Flujos vehiculares	28
4.2.3	Flujos peatonales	29
4.2.4	Tiempos de viajes vehiculares	30
4.2.5	Tiempos de viajes peatonales	32
4.2.6	Velocidad vehicular	34
4.2.7	Velocidad de peatones	35
4.2.8	Datos de señalización	36
4.2.9	Reductores de velocidad	38
4.2.10	Regulación de Tránsito en la Intersección	38
4.2.11	Lista de chequeo	39
CAPÍTULO 5: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO		40
5.1	Desarrollo del modelado	40
5.1.1	Importación de imagen	40
5.1.2	Links y conectores	41
5.1.3	Áreas y cruces peatonales	41
5.1.4	Configuración de vehículos y peatones	42
5.1.5	Creación de las rutas estáticas	43
5.1.6	Zonas de conflicto	44

5.2	Verificación del modelo	45
5.3	Calibración del modelo	46
5.3.1	Calibración vehicular	46
5.3.2	Calibración peatonal.....	47
5.4	Validación del modelo	49
5.4.1	Validación vehicular.....	49
5.4.2	Validación peatonal	50
CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTAS DE MEJORA		52
6.1	Evaluación del escenario actual.....	52
6.1.1	Evaluación vehicular.....	53
6.1.2	Evaluación peatonal	55
6.2	Propuesta de mejora	56
6.3	Análisis estadístico de la propuesta de mejora	62
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		67
7.1	Conclusiones	67
7.2	Recomendaciones.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Gráfico de modelos continuo	7
Figura 2.2: Gráfico de modelos discretos	7
Figura 2.3: Generación de las características del conductor y vehículo	12
Figura 2.4: Sistema de análisis de la teoría de seguimiento vehicular	14
Figura 2.5: Modelo de la Fuerza Social	16
Figura 3.1: Metodología para el desarrollo de una propuesta de mejora de una intersección vial	18
Figura 3.2: Distribución de carriles para el aforo vehicular	20
Figura 3.3: Distribución de crueros para el aforo peatonal	21
Figura 4.1 Ubicación de área de estudio	25
Figura 4.2: Volúmenes vehiculares para la calibración (veh/h)	28
Figura 4.3: Volúmenes vehiculares para la validación (veh/h)	29
Figura 4.4: Áreas de ingreso peatonal	29
Figura 4.5: volúmenes peatonales de calibración (peatón/h)	30
Figura 4.6: Volúmenes peatonales de validación (peatón/h)	30
Figura 4.7: Tramos de evaluación	31
Figura 4.8: Crueros de evaluación	33
Figura 4.9: Curva de frecuencia acumulada vehicular	35
Figura 4.10: Curva de frecuencia acumulada peatonal	35
Figura 4.11: Señalización de prevención temporal de construcción	36
Figura 4.12: Señalización de regulación	37
Figura 5.1: Importación de imagen base	40
Figura 5.2: Construcción de las vías	41
Figura 5.3: Áreas y crueros peatonales	42
Figura 5.4: Áreas de conflicto y reglas de prioridad	45
Figura 5.5: Superposición de dos diferentes vehículos	45
Figura 5.6: Gráfico de Randomization test para la calibración vehicular del tramo 1	47
Figura 5.7: Gráfico de Randomization test para la calibración peatonal del cruceo 1	48
Figura 5.8: Gráfico de Randomization test para la validación vehicular del tramo 1	50
Figura 5.9: Gráfico de Randomization test para la validación peatonal del cruceo 1	51
Figura 6.1: Longitudes de colas vehiculares del escenario actual	53
Figura 6.2: Identificación y enumeración de problemas encontrados para los peatones	56
Figura 6.3: Ciclo y fases de los semáforos propuestos	58
Figura 6.4: Señalización de reglamentación contempladas en el rediseño	59
Figura 6.5: Señalización informativa contemplada en el rediseño	59
Figura 6.6: Plano de la intersección actual	60
Figura 6.7: Plano de rediseño de la intersección	61
Figura 6.8: Análisis de reducción de la longitud de cola	63
Figura 6.9: Análisis de la velocidad de viaje de la red	64
Figura 6.10: Análisis del demora del viaje en la red	65
Figura 6.11: Análisis del tiempo de viaje peatonal	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1:Tabla para el aforo vehicular.....	21
Tabla 3.2:Tabla para el aforo peatonal	21
Tabla 4.1:Tiempos de viaje vehiculares para la calibración y validación	31
Tabla 4.2: Muestra mínima de tiempos de viaje vehiculares para la calibración y validación	32
Tabla 4.3:Tiempos de viaje peatonales para la calibración y validación	33
Tabla 4.4: Muestra mínima de tiempos de viaje peatonales para la calibración y validación	34
Tabla 5.1:Composicion vehicular.....	42
Tabla 5.2: Volúmenes vehiculares para la calibración	43
Tabla 5.3:Volumenes peatonales para la calibración	43
Tabla 5.4:Distribucion de rutas vehiculares	44
Tabla 5.5:Distribucion de rutas peatonales.....	44
Tabla 5.6: Valores de los parámetros de calibración vehicular	46
Tabla 5.7:Cuadro de evaluación vehicular del tramo 1 para la calibración	47
Tabla 5.8:Valores de la calibración peatonal.....	48
Tabla 5.9: Cuadro de evaluación vehicular del cruce 1 para la calibración	48
Tabla 5.10: Cuadro de evaluación vehicular del tramo 1 para la validación.....	49
Tabla 5.11: Cuadro de evaluación peatonal del cruce 1 para la validación	50
Tabla 6.1:Volumenes vehiculares de calibración y validación	52
Tabla 6.2:Volumenes peatonales de calibración y validación.....	52
Tabla 6.3: Lista de problemas identificados para los peatones	55
Tabla 6.4: Lista de mejoras planteadas en el área de estudio	61

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En la actualidad, diversas ciudades del mundo presentan graves problemas de congestión de tránsito en zonas urbanas, ocasionados por el crecimiento desenfrenado del parque automotor, estrategias inadecuadas de gestión del tráfico, diseños viales urbanos deficientes, políticas de transportes y planificación urbana incorrectas. Parte de estos problemas de movilidad urbana se pueden resolver a partir del mejoramiento de las intersecciones viales, por medio de nuevos diseños geométricos, el uso de rotondas, pasos a desnivel o semaforizaciones.

Teniendo en cuenta las actuales condiciones de la movilidad en nuestro país, es relevante preguntarnos si la manera en que estamos controlando el tráfico urbano es la más apropiada para nuestro entorno. Asimismo, se debe tener en cuenta que la aplicación de cualquier método de control del tráfico debe hacerse sobre una base sólida de validación en modelos de sistemas de tráfico. Dos de las formas más usadas de analizar y representar el tráfico son los modelos determinísticos y los modelos microscópicos. El inconveniente con los primeros es que solo se enfocan en los vehículos, lo que no brinda una solución global. El segundo grupo nos permite analizar la intersección de manera más detallada, en el que se consideran interacciones entre vehículos y peatones.

En la ciudad de Lima, una de las intersecciones que presenta periodos con alto congestionamiento vehicular y peatonal es el cruce de las avenidas La Mar y Urubamba, debido en gran medida a que en este espacio existen flujos importantes de vehículos y peatones regulados por un control de tráfico deficiente. A esta situación, se agrega que la intersección presenta problemas en su diseño geométrico, lo que ocasiona que exista más zonas de conflictos entre los usuarios de este espacio público.

Por lo expuesto anteriormente, se analizará la intersección mencionada mediante un modelo microscópico, en este caso con el software conocido como VISWALK y VISSIM 8.0. Este software es solo una herramienta de análisis numérico, que nos permite compara las mejoras que presenta el rediseño de la intersección frente al escenario actual.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

El objetivo general del presente proyecto es mejorar la movilidad peatonal y vehicular en la intersección de las avenidas de La Mar y Urubamba, ubicada en el distrito de Ate.

1.1.2 Objetivo específico

Los objetivos específicos del presente proyecto ingenieril son los siguientes:

- Identificar los principales problemas de circulación de los diversos modos de transporte.
- Presentar medidas de mejora a la situación actual de movilidad en la intersección, que convoquen a los peatones a usar modos de transportes sostenibles y eficientes. Asimismo, estas acciones de mejora deberán permitir la reducción de los niveles de accidentabilidad vial.

1.2 Alcances

El presente trabajo tiene como alcance el estudio de la intersección en cruz conformadas por las avenidas La Mar con la avenida Urubamba, en el distrito de Ate. En las avenidas de esta intersección se registra una actividad comercial demandante y variada.

Para evaluar las acciones de mejoras planteadas se desarrolla un modelo microscópico. El modelo requiere de la entrada de datos, las cuales fueron recolectadas de campo de un día típico del segundo semestre del 2019. Es importante mencionar que los flujos peatonales y vehiculares ingresados en el modelo corresponden a la hora de mayor demanda (7:00-8:00 am).

La limitación del estudio es que las mejores presentadas tendrá sentido siempre y cuando no existan variaciones importantes en los flujos vehiculares y peatonales.

1.3 Justificación

En estos últimos años se ha incrementado la demanda de movilidad urbana en Lima y Callao. De acuerdo la Fundación Transitemos, en esta zona metropolitana se registraron en el año 2018 un total de 26 millones 709 mil Viajes diarios, de los cuales 19 millones 709 mil son viajes motorizados. Este número de viajes totales ha aumentado en un 20% respecto al informe realizado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón en el año 2013. De los datos realizados en el 2018 resulta una tasa promedio de viajes de 2.8 viajes diarios por persona. Frente a esta situación las políticas de gobierno han planteado soluciones en favor de la circulación del automóvil dejando de lado los otros medios de transportes más eficientes y sostenibles. Estas acciones equivocadas han generado que el transporte urbano desarrolle los siguientes problemas: contaminación ambiental constante, tasa de accidentabilidad alta y congestión de tránsito (Mariana Alegre , 2016). A continuación, se explicará sobre los principales impactos negativos del transporte motorizado en Lima y Callao.

La ciudad de Lima presenta serios problemas de contaminación atmosférica, y el tráfico de vehículos es el principal agente contaminantes del aire (Clima de cambios , PUCP). La movilidad motorizada genera emisiones de materiales particulado, como $PM_{2.5}$, y contaminantes gaseosos, como dióxido de azufre SO_2 , óxidos de nitrógeno NO_x , dióxido de carbono CO_2 y el monóxido de carbono CO (INEI , 2018). Es importante mencionar, que la antigüedad promedio del parque automotor de Lima y Callao registrado en el 2018 fue de 12.5 años (Fundación Transitemos, 2018). Esta condición del transporte urbano genera un mayor nivel de contaminación en el aire (Asociación Automotriz del Perú , 2019). Según el Informe de “ Índice de vida y calidad del aire ” (IQAIR) presentado por Ken Lee and Michael Greenstone , la ciudad de Lima presenta el aire más contaminado de América, debido al alto contenido de $PM_{2.5}$ en la atmosfera . En el año 2019 se registró en el Perú un promedio $23.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ microgramos de particulados por metro cúbico de aire, valor que excede el límite máximo de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ recomendado por Organización Mundial de la Salud (OMS). Esta situación es preocupante, ya que afecta negativamente a la salud de la población y reduce la expectativa de vida en 4.7 años. De acuerdo a la OMS , en el año 2012 se estimaron 7 millones de muertes en el mundo como consecuencia de la polución del aire.

Otro de los impactos negativos del caótico transporte urbano en la capital es la pérdida de vida y el daño de la integridad física a causa de los accidentes de tránsito (Mariana Alegre, 2016). Según el informe de la OMS del 2013, cada año alrededor de 1.24 millones de personas fallecieron por siniestros de viales, de los cuales la quinta parte están involucrados los peatones. Es importante mencionar, que el año 2019 este problema representaba la décima causa de muerte a nivel global (OMS,2020), y con alta tasa de crecimiento del parque automotor se espera que para el 2030 se convierta en la quinta causa de muerte (Ciudades seguras mediante el diseño, 2020).

Un análisis local de la ciudad de Lima nos brinda el Observatorio Nacional de Seguridad Vial, realizado en el 2021. Este informe nos indica que en el primer semestre en Lima se registraron 16 848 siniestros viales, en los cuales 260 personas perdieron la vida y 8 961 resultaron lesionados. Los factores más importante que ocasionaron los accidentes de tránsito son los siguientes: imprudencia del conductor (28.5%), exceso de velocidad (27.4%), ebriedad del conductor (5.8%), imprudencia del peatón (3.3%), vía en mal estado (1.9%), falla mecánica (1.8%), factor ambiental (1%) y otros. Los costos asociados por los accidentes de tránsito en países desarrollados están en el orden de 1% al 2% del PBI (Eduardo Alcántara, 2010). En el Perú el costo asociado a los accidentes asciende a la suma de 350 millones de US\$ anual (Provias).

La ciudad de Lima experimenta graves problemas de congestión de tránsito urbano, las cuales son generados por múltiples factores y afectan a la calidad de vida urbana (Fundación Transitemos, 2017). Por un lado, los dos principales problemas de congestión son un inadecuado diseño vial y una deficiente gestión del tránsito. Es necesario mencionar, que el parque automotor ha tenido un crecimiento continuo en estos últimos años, lo que agrava este problema. Sin embargo, la tasa de motorización de la capital es muy bajo comparado a otros países (Mariana Alegre, 2016). Además, de lo ya mencionado la gran cantidad de vehículos de baja ocupación presentes en las vías afecta el flujo vehicular. Según el informe de la Fundación Transitemos, el 31% del total de los viajes se realizan en estos vehículos.

Por otro lado, la congestión del tránsito se manifiesta con la reducción progresiva de las velocidades de circulación, lo que genera costos asociados al incremento de tiempo de viaje, al consumo combustible, a la contaminación ambiental entre otros (Alberto Bull , 2003). De acuerdo al informe de Lima Como Vamos , realizado en el 2018 , 35.1% de personas que desplazan en Lima por trabajo o estudio incrementaron su tiempo de viaje, debido al congestionamiento vehicular . Asimismo, en este mismo informe se indica que alrededor de 25 % de limeños se desplazan mas de dos horas al día para ir a trabajar o estudiar. Se estima que alrededor de 20 días laborales una persona utiliza para realizar sus viajes diarios, y que estos generan a la población de Lima un costo estimado de 27 millones de soles asociados al desplazamiento cotidiano (Fundación Transitemos , 2017). La congestión en la capital ocasiona que un vehículo incremente su tiempo de viaje en promedio 30 minutos, lo que se traduce en una perdida economía de S/ 11.2 millones de soles diarios asociados al incremento de consumo de combustible de todos los vehículos circulantes en esta región (Fundación Transitemos, 2017). Una investigación de Reexpansión estima que la congestión en el Perú en conjunto genera perdidas de US\$ 800 millones de dólares.

Por lo tanto, es necesario que se tomen acciones sobre el sistema precario de transporte urbano de la metrópoli conformado por Lima y Callao. Estas acciones tienen que ir orientadas en implementar un sistema de transporte sostenible, en la que se prioricen la personas antes que los automóviles (Dextre, 2014). Un correcto diseño de la infraestructura vial, en donde se incluyan conceptos de accesibilidad universal; una adecuada gestión del tráfico, apropiada programación de los semáforos y señalización; un sistema de transporte publico ordenado, de calidad, integrado y multimodal, permitirán un tránsito más fluido, seguro y mejor (Mariana Alegre).

CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Modelo y sistema

Los sistemas están conformados por elementos que guardan relación alguna que les permite interactuar con las demás partes de la red. Además, los sistemas presentan una organización que garantiza su existencia, funcionamiento y alcance del objetivo común que persiguen (Aquiles, 1995). Las redes de transporte son muy importantes en varios aspectos para la sociedad, ya que un mal o inadecuado funcionamiento puede generar serios problemas en la salud, seguridad y en el bienestar económico de los cuidanos. Ante esta situación, los profesionales han visto la necesidad de modelar estos sistemas complejos, mediante enfoques reduccionistas, holísticas, modelos basados en agentes entre otros. La representación del sistema mediante modelos nos ayuda analizar y predecir su comportamiento mediante la simulación de ellos (Stefano De Porcellinis, 2009). En el proyecto de estudio, los elementos que conforman el sistema son las demandas vehiculares, peatonales, infraestructuras viales y las señalizaciones de tránsito.

2.2 Modelos de simulación del tráfico

Los modelos, en la ingeniería de tráfico, son herramientas que nos permiten evaluar el comportamiento vehicular y peatonal. En actualidad, existen diferentes modelos y la elección de uno de estos se realiza de acuerdo a la extensión de área de estudio, el nivel de detalle requerido y sus limitaciones. Los modelos se pueden clasificar siguiendo tres criterios.

- a. Según el tipo de variable: Modelos continuos o discretos.
- b. Según en nivel de aleatoria: Modelos determinísticos y estocásticos.
- c. Según el nivel de detalle: Modelos macroscópicos, mesoscópicos y microscópicos.

2.2.1 Según el tipo de variable

Modelo continuo:

En los modelos continuos la dependencia entre las variables genera que estas evolucionen solo de forma continua. En este modelo las variables experimentan cambios en infinitos puntos en el tiempo (Tarifa, 2011). Por ejemplo, la posición, velocidad y aceleración de los vehículos en una vía son variables continuas que dependen y varían a lo largo de todo el tiempo.

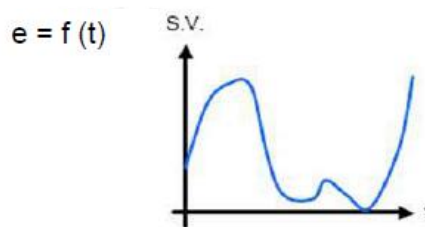


Figura 2.1: Gráfico de modelos continuo

Fuente: Campos (2010)

Modelo discreto

Existen varios sistemas dinámicos que se han representado a través de modelos de eventos discretos. En estos modelos las variables de análisis sufren modificaciones instantáneas solamente dentro de un rango preciso de tiempo. (Paez et al, 2011). Por ejemplo, el software Vissim es un modelo discreto, ya que esta actualiza la posición de los vehículos en una fracción de segundo de simulado.

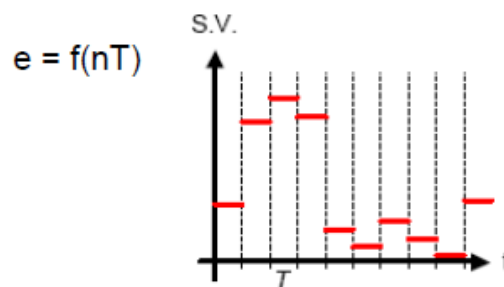


Figura 2.2: Gráfico de modelos discretos

Fuente: Campos (2010)

2.2.2 Según el nivel de aleatoriedad

Modelo Determinístico:

Son modelos matemáticos cuya solución para determinadas condiciones es única y siempre la misma; es decir, para la misma entrada producirá invariablemente las mismas salidas. En estos modelos los datos se conocen con certeza los datos y no se contemplan la existencia de incertidumbre (Pimentel, 2014).

Modelo Estocásticos:

Por el contrario, los modelos estocásticos predicen un conjunto de resultados posibles a partir un grupo de datos de entrada. Estos modelos contienen uno o más variables aleatorias y las relaciones entre variables se toma por medio de funciones probabilísticas (Howard & Karlin, 1998). Estos modelos son la mejor forma de conocer al comportamiento del sistema del mundo real, ya que al menos una de las partes del sistema presenta conductas estocásticas propias por naturaleza o por desconocimiento del fenómeno (Tarifa, 2011). Por ejemplo, para el diseño de un sistema de transporte más eficiente que optimice los tiempos de viaje se identifican variables como la demanda, tiempos de espera y de servicio que no se conocen con seguridad, por lo que para lograr con el objetivo se emplean modelos estocásticos (Dallos & Galeno, 2016). El software Vissim introducen la aleatoriedad en la simulación del tráfico a partir de los números de semilla que usa en cada corrida de la simulación. Los números de semilla indican la agresividad de cada conductor.

Dentro de los modelos estocásticos existe una división según el nivel de detalle con que el modela analicé el sistema, estos son los siguientes: modelos microscópicos, mesoscópicos y macroscópicos.

2.2.3 Según el nivel de detalle a analizar

Modelo macroscópico:

Los modelos macroscópicos analizan los flujos peatonales y vehiculares como un medio continuo donde solo interesan sus cantidades promedios como la densidad y la velocidad media. Estos modelos consisten en ecuaciones derivadas de la dinámica de fluidos (Twarogowska et al, 2014). Los modelos macroscópicos para el estudio del tráfico fueron introducidos en los años cincuenta por Lighthill y Whitham (1955) y Richards (1956) en la cual presentaron su trabajo sobre la dinámica de las olas del flujo de tráfico. Entre los modelos de simulación macroscópica más utilizadas se encuentran TRANSYT-7F, VISUM, FREFLO, NETVACI, TransCAD, KRONOS, AUTOS, EMME/2, METANET y METACOR.

Modelo mesoscópicos:

Los modelos mesoscópicos es una representación intermedia entre los modelos microscópicos y macroscópicos ya que usan conceptos y herramientas de ambos modelos para analizar el comportamiento de un grupo de conductores (Robles.D et al, 2009). En estos modelos las identidades para el análisis dinámico del tráfico se describen con nivel alto de detalle, pero las relaciones e interacciones entre ellas no son tan minuciosas. Por ello, su uso está limitado a áreas donde las interacciones entre vehículos y/o peatones no afecten en gran medida a los resultados de la simulación (Burghout, 2004). Algunas plataformas de simulación que usan los modelos mesoscópicos son: METROPOLIS, DYNASMART, DYNAMIT e INTEGRATION

Modelo microscópico:

Estos modelos, representan el tráfico urbano de una manera más detallada; es decir analizan el tráfico considerando a cada vehículo y peatón como una entidad. Por ello, los modelos microscópicos proporcionan una descripción de los movimientos

de los vehículos individuales que se consideran resultado de las características de los conductores y los vehículos, las interacciones entre las unidades del vehículo y las características de la vía, las condiciones externas, y las regulaciones y control del tráfico (ITS, 2007). El nivel de detalle en la interacción entre las identidades de este modelo se ve refleja cuando el vehículo acelera, desacelera, cambian de carril y hace la elección de la ruta. La aceleración de los vehículos está gobernada la teoría de seguimiento vehicular, el cambio de carril se da en función de la velocidad del vehículo del frente, el espacio del carril adyacente entre otros. Los resultados de estos modelos son muy sensibles a la construcción de la red, el control del tráfico, demanda de los usuarios de la red. Además, presentan una tarea muy complicada en la hora de la calibración y validación, esto se puede evidenciar en los pocos manuales que permitan alcanzar estos objetivos (Burghout, 2004). Algunas plataformas de simulación que usan los modelos microscópicos son: INTRAS, FRESIM, MITSIM, NETSIM, CORSIM, VISSIM, THOREAU, FLEXYT-II y AIMSUM

2.3 Micro-simulación vehicular y peatonal

En los últimos años, los modelos de micro simulación representan una importante herramienta para el desarrollo de una gran variedad de estudios de tránsito y son clave en el proceso de planeación y ajuste en la infraestructura vial y de transporte. Con el paso del tiempo y con el consecuente desarrollo tecnológico, se han convertido en un elemento fundamental para la evaluación tanto de las propuestas de solución de problemas de tránsito existentes, como para la correcta formulación de nuevos proyectos de infraestructura vial.

2.4 Fundamentos de la micro simulación

2.4.1 Aleatoriedad en el modelo a micro simular

La mayoría de las intersecciones pueden ser estudiadas de forma de determinística o aleatoria. Por un lado, los modelos determinísticos consideran que no existe

variación en las características de los conductores y vehículos. Esta hipótesis asumida del modelo determinístico no es cierta, ya que cada uno de los conductores tienen una forma particular de comportarse que depende del estado de ánimo, experiencia del conductor, entre otros. Además, las longitudes de todos los vehículos en ninguna intersección no son iguales. Por otro lado, los modelos de estocásticos dependen de números aleatorios para generar vehículos, seleccionar su destino y ruta, y determinar su comportamiento a medida que se mueven a través de la red. Por ello, se indica que el modelo de micro simulación tiene un carácter aleatorio y que debe ser analizado repetidamente hasta encontrar una respuesta con un grado de determinado de confiabilidad (PTV,2011). En muchos proyectos de ingeniería se considera un grado de confiabilidad de 95 por ciento.

2.4.2 Número de semilla

Los modelos de simulación estocástica cuentan con rutinas que generan números aleatorios a partir de un número de semilla. Estos números aleatorios se le asigna a cada conductor, vehículo y peatón, las cuales determinan el comportamiento vehículo, peatón y tipo de vehículo. El número de semilla que por defecto se encuentra en el programa Vissim es el 42. Este número se va cambiando en cada una de las corridas según el valor de incremento que se haya seleccionado. Al cambiar el número de semilla se producen una secuencia diferente de números aleatorios, que, a su vez, producen valores distintos para las características del vehículo, conductor y peatón (PTV,2011).

En la Figura 2.3: Generación de las características del conductor y vehículo, se muestra el proceso genérico para generar atributos de conductor-vehículo para un modelo de simulación microscópica. Usando la el numero aleatorio correspondiente a cada vehículo se determinan la agresividad de los conductores, que varía del 1 al 10. A partir del índice de agresividad se determina la aceleración de deseo para el conductor Y.

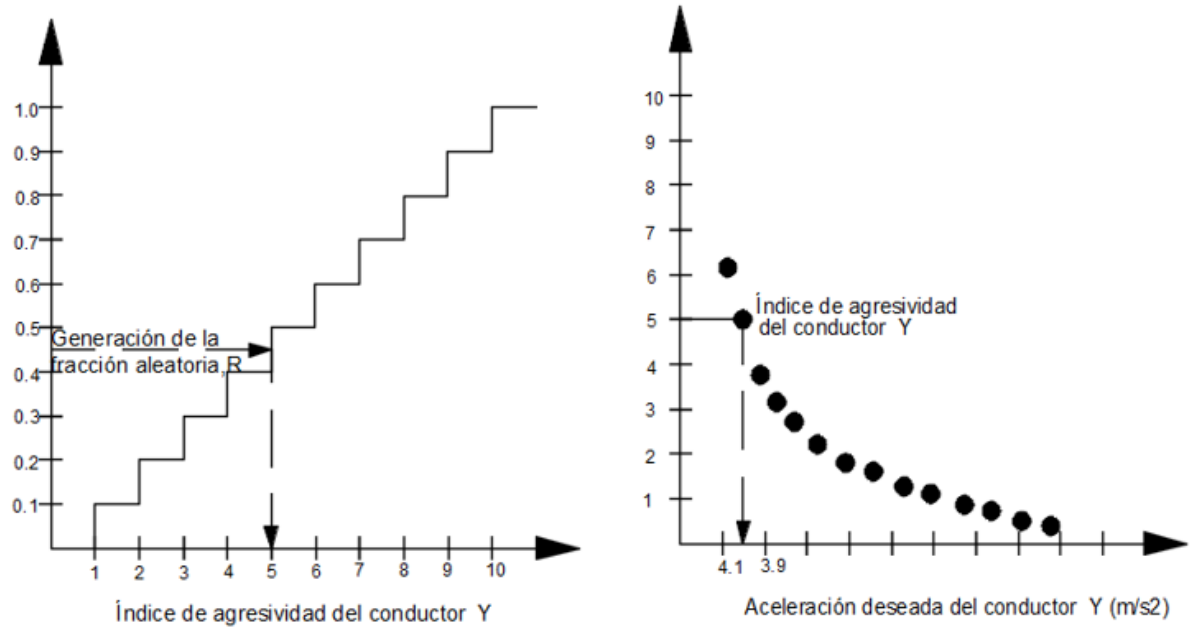


Figura 2.3: Generación de las características del conductor y vehículo

Fuente: Adaptado de FHWA (2004)

2.4.3 Número de corridas

En los modelos de micro simulación microscópica se debe realizar múltiples corridas debido a su naturaleza aleatoria y a que se trabaja con muestras pequeñas, con el fin de obtener resultados fiables que pueden ser extrapolados a población.

De acuerdo a The Federal Highway Administration (FHWA, 2004), el número de corridas mínimas se logra de mediante un proceso iterativo. Para iniciar en el proceso de iteración se recomienda que la primera muestra sea de cuatro corridas, con lo cual se determina la desviación estándar usando la siguiente formula.

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

Donde:

S= desviación estándar

X= variable para la que se requiere la varianza de la muestra

\bar{x} = promedio de los valores de x

N=número de corridas

Después, de estimar la desviación estándar y considerar un nivel de confianza se verifica si el número de corridas es suficiente usando la siguiente expresión.

$$N \geq \left(t_{\alpha/2} \times \frac{S}{e} \right)^2 \quad \text{Donde:}$$

e= margen de error
 $t_{\alpha/2}$ = valor de la distribución “t” student
S = derivación estándar
N= número de corridas obtenido

Es importante mencionar que existen otras recomendaciones para el número mínimo de corridas, algunos autores recomiendan realizar 20 corridas de simulación con diferentes números de semillas. Además, a mayor número de corridas se obtendrán mejores resultados.

2.4.4 Warm up

Cuando se inicia la simulación no existe ningún vehículo o peatón en la red. Por lo tanto, se debe considerar un periodo de tiempo en donde la cantidad de vehículos y de peatones se estabilicen dentro del sistema. Este periodo se conoce como el Warm up, la cual se logra cuando el número de vehículos y peatones que ingresan al sistema es aproximadamente igual al número que abandonan el sistema. Así mismo, es importante mencionar que los resultados de los modelos se deben analizar luego del periodo de estabilización del sistema (FHWA,2004).

En la mayoría de los estudios se suelen considerar Warm up de 10 a 15 min. Este periodo de estabilización es propio de cada modelo, ya que depende de las características de la red, cantidad de vehículos, entre otros.

2.5 Modelos de seguimiento vehicular existentes

En los últimos años, ha surgido la necesidad de modelar el comportamiento del tráfico, debido a los múltiples problemas que este genera. Hoy en día, existen más de 60 softwares de micro simulación que se diferencian por la teoría de seguimiento vehicular, capacidad de modelar diversos modos simultáneamente y por el tipo de modelo empleado para representar el comportamiento vehicular y peatonal. Los

modelos de seguimiento vehicular describen la interacción entre vehículos adyacentes en el mismo carril y controlan los movimientos de los vehículos en la red. Es decir, esta teoría caracteriza el comportamiento del vehículo $n+1$ en función del vehículo n . Por esta razón, se menciona que el modelo de seguimiento vehicular constituye la parte primordial del modelo de micro simulación.

El software Vissim emplea el modelo de Wideman, que es parte de los modelos psicofísicos. En la siguiente figura, se muestra con línea punteada el sistema usado en la teoría de seguimiento vehicular.

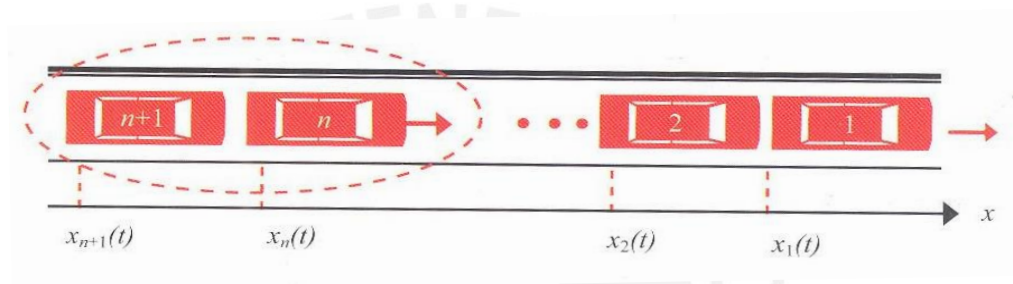


Figura 2.4: Sistema de análisis de la teoría de seguimiento vehicular

Fuente: Fernández, R (2010)

En las siguientes líneas se explican los principales modelos de seguimiento vehicular. En primer lugar, el modelo de general motors (GM) es el primer modelo de seguimiento vehicular que fue presentado por primera vez por Chandler et al. Este modelo explicaba que la respuesta del conductor del vehículo siguiente se generaba solo por dos factores: la sensibilidad y el estímulo. Por un lado, el modelo especifica el estímulo como la velocidad relativa entre los vehículos, es decir, cada vehículo tiende a moverse a la misma velocidad que el vehículo delantero. Por otro lado, la respuesta del conductor se representó mediante la aceleración o desaceleración del vehículo siguiente al finalizar el tiempo de percepción reacción (Li, Y et al, 2012).

En segundo lugar, se encuentra el modelo de velocidad óptima, que se basa en que el conductor busca una velocidad segura determinada por la distancia desde el vehículo líder. Teniendo como premisa la hipótesis anterior, en 1995 Brando

propuso un modelo, en la cual se formularon la aceleración como una función de la velocidad optima (Li, Y et al, 2012).

En tercer lugar, tenemos al modelo de Gipps o distancia segura, que es el primer modelo general de seguimiento vehicular que es aplicable en dos tipos de escenarios: de flujo libre y cuando la red se encuentra congestionada. Este proporciona una máxima aceleración para un conductor con la cual no se excederá la velocidad deseada y se mantendrá un mínimo de espacio libre de seguridad.

En cuarto lugar, se presentan los modelos psicofísicos o también llamado modelo de Wiedemann se basan en las características psico-físico del conductor. Este modelo es conocido por su amplio uso del software de simulación de flujo de tráfico multimodal microscópico, Vissim. El modelo de seguimiento de automóviles de Wiedemann usa umbrales para definir los diferentes comportamientos de los vehículos en el seguimiento de automóviles. El umbral de percepción se encuentra determinado por la velocidad relativa y la distancia entre vehículos. Los resultados muestran que los umbrales no son constantes, sino que varían a diferentes velocidades.

2.6 Modelo de Cambio de carril

Los modelos de cambio de carril representan las decisiones instantáneas de selección de carril que debe realizar el conductor para mejorar su velocidad, evitar obstáculos o situarse adecuadamente para girar al final del tramo. El modelo clasifica el cambio de carril en dos: obligatorio o por mejora. Por un lado, el cambio de carril por mejora se genera cuando la velocidad del conductor es inferior a la velocidad deseada. En este caso, el conductor selecciona el carril que le asegure la mayor velocidad posible.

Por otro lado, el cambio de carril necesario se presenta cuando existe obstáculos o cuando se necesita realizar un giro al final de la trayectoria que permita continuar con el camino deseado.

2.7 Modelos de seguimiento Peatonal Existentes

Los modelos de micro simulación representan el comportamiento del peatón mediante modelos de seguimientos peatonales, en las siguientes líneas se desarrollan dos de los modelos más usados para representar el comportamiento errático del peatón.

2.7.1 Modelo de fuerza social o campo social

El modelo de fuerza social pertenece a la familia de los modelos físicos. Este modelo fue presentado por Helbing, en el cual se tiene como concepto base que el movimiento de los peatones se ve influenciado por fuerzas sociales. El modelo considera 4 fuerzas sociales para representar el comportamiento peatonal. En la siguiente figura se esquematizan estas fuerzas y se presenta la formulación matemática del modelo.

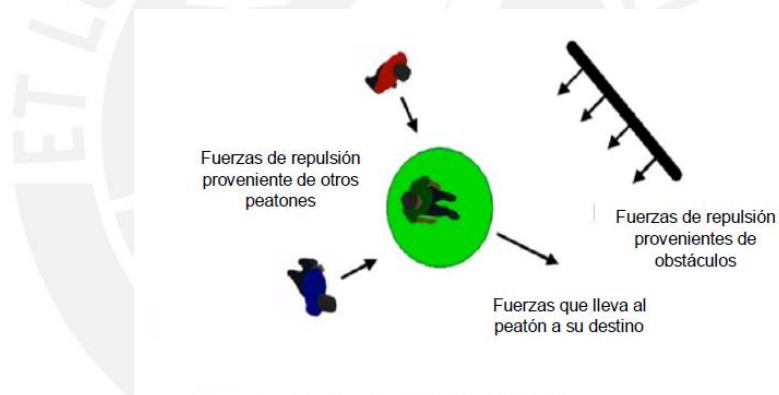


Figura 2.5: Modelo de la Fuerza Social

Fuente: Adaptado de PTV GROUP (2016)

$$\bar{F} = \bar{F} \text{ direccion} + \bar{F} \text{ repulsion} + \bar{F} \text{ atraccion} + \bar{F} \text{ fluctuaciones}$$

La primera fuerza es la que le conduce al peatón a su destino. Esta fuerza considera un tiempo de relajación τ en la cual el peatón adapta su velocidad. La siguiente fuerza representa la influencia de los otros peatones, objetos u obstáculos que no permiten su libre tránsito del peatón. En ella se incluye un parámetro λ , que refleja la fuerza de interacción entre los peatones que se encuentren a su alrededor. Luego se encuentra la fuerza de atracción que representa el interés que siente el peatón

por el espacio donde se encuentran determinadas personas u objetos. Finalmente, la fuerza de fluctuación representa las variaciones aleatorias del comportamiento peatonal (Helbing et al , 1995).

2.7.2 Modelo de celulares autómatas(AC)

Hoy en día, los modelos celulares autómatas se emplean para modelar fenómenos complejos en las diferentes áreas del conocimiento. Este modelo fue desarrollado por Jhon von Neumann y Stanislaw Ulam en la década de los cuarenta. Además, el modelo AC se caracteriza por ser un sistema dinámico discreto en tiempo y en espacio.

En el modelo celular autómatata el espacio se divide en celdas pequeñas, en donde los estados de las celdas varían en tiempos discretos según una función transitoria. A continuación, se explicará cuatro modelos que utilizan este enfoque. En primer lugar, se tiene el modelo de parámetros dinámicos que fue presentado por Hao Yue et al, la cual presenta las siguientes características: dentro de una celda solo puede haber un peatón, la velocidad máxima de los peatones es de una celda por actualización y emplea la vecindad de Moore con radio de 1 como los posibles movimientos de los peatones.

En segundo lugar, se ubica el modelo patrones de colisión, la cual fue presentado por Narimatsu et al. Este tiene como base que los peatones evitan el choque con otros peatones a partir de un área de visión. En tercer lugar, se presenta el modelo de campo de piso, que fue presentado por Burstedde. Este modelo tiene como fundamento que las interacciones entre las personas varían en función de su distancia relativa. Para distancias cortas las interacciones son del tipo repulsivas y para distancias amplias son de tipo atractivas. Por último, se muestra el modelo de campo de piso, que fue presentado por Jaroslaw et al. En este modelo el área social del peatón se representa a través de una elipse que simula el espacio ocupado por el peatón. Las actualizaciones del estado de la variable de este modelo, modifica la posición y orientación de cada peatón.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

En el presente capítulo se describirá el procedimiento seguido para el desarrollo de una propuesta de mejora de una intersección vial. La metodología seguida constata de cinco pasos. En primer lugar, se debe definir el alcance el proyecto, lo cual se logra estableciendo los objetivos del estudio, la amplitud del estudio y las herramientas de análisis. En segundo lugar, se debe identificar, recolectar y procesar los datos para la calibración y validación del modelo. En tercer lugar, se debe realizar una observación directa en el área de estudio, que permita conocer e identificar los problemas de los usuarios. En cuarto lugar, se realizará el modelamiento inicial de intersección y la verificación de posibles errores de codificación de los datos de entrada en el software. Seguidamente, se procederá con la calibración y validación del modelo desarrollado para lo cual se usará los tiempos de viaje. Finalmente, se realizará el análisis de la intersección de intersección con la finalidad de plantear propuestas de mejora.

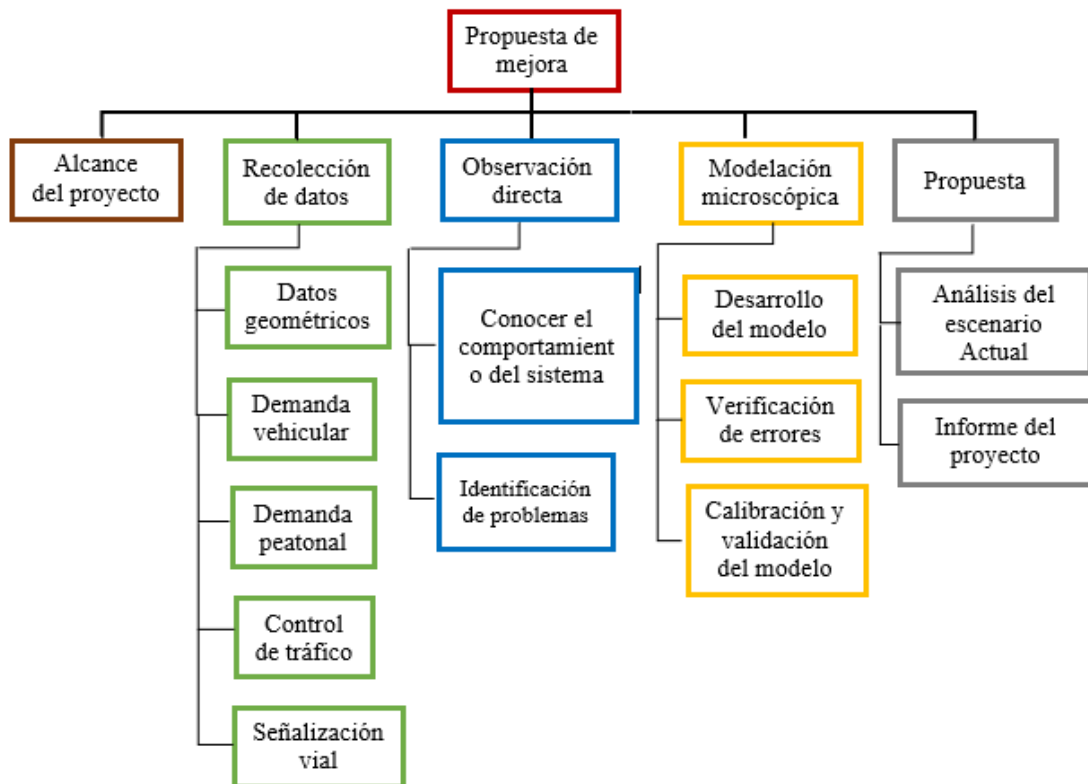


Figura 3.1: Metodología para el desarrollo de una propuesta de mejora de una intersección vial

Fuente: Adaptado de FHWA (2004)

3.1 Alcance del proyecto

El propósito del presente proyecto es plantear un rediseño geométrico de la intersección y aplicar medidas de gestión de tránsito para una intersección deficiente en el control de tráfico, con la finalidad de lograr un mejor escenario para todos los usuarios de la intersección.

El área de estudio de proyecto es la intersección conformada por las Avenidas Urubamba y La Mar, ubicada en el distrito de Ate Vitarte. Para el modelamiento de la intersección se usó el software Vissim,

3.2 Recolección de datos

La recolección de datos se realizó mediante visitas a campo, en las cuales se realizaron mediciones y filmaciones. Las filmaciones se realizaron desde la parte alta de una edificación de 4 pisos y en dos días diferentes para así obtener los datos para la calibración y la validación del modelo. En las siguientes líneas se detallan los datos que fueron tomados.

- **Datos de geometría**

La geometría de la intersección se determinó mediante el uso de una cinta métrica, un plano bosquejo de la intersección y la ayuda de una persona. La cinta métrica nos permitió obtener las dimensiones de las veredas, de las rampas de acceso, de las medianas, las islas peatonales, de los carriles, de los radios de giros de los martillos y de los cruces. Estas dimensiones fueron apuntadas sobre el plano preliminar de la intersección.

- **Datos de flujos vehiculares**

La recolección de los flujos vehiculares en la intersección se realizó a partir del conteo directo de las grabaciones. Como primer paso se clasificó los vehículos que circulan por esa intersección. En la intersección se identificó cinco tipo de vehículos. En la Figura presentan la composición vehicular de la zona de estudio. Luego, se procedió hacer el conteo del flujo vehicular en intervalos de tiempos de 15 min, considerando la dirección a la que se dirigen y el carril de donde parten. En la Figura 3.2 se muestra la numeración

de los carriles. Asimismo, el registro de los datos se llevó a cabo usando el formato que se presenta en la figura 12.



Figura 3.1: Composición vehicular de la intersección de estudio.

Fuente: Propia

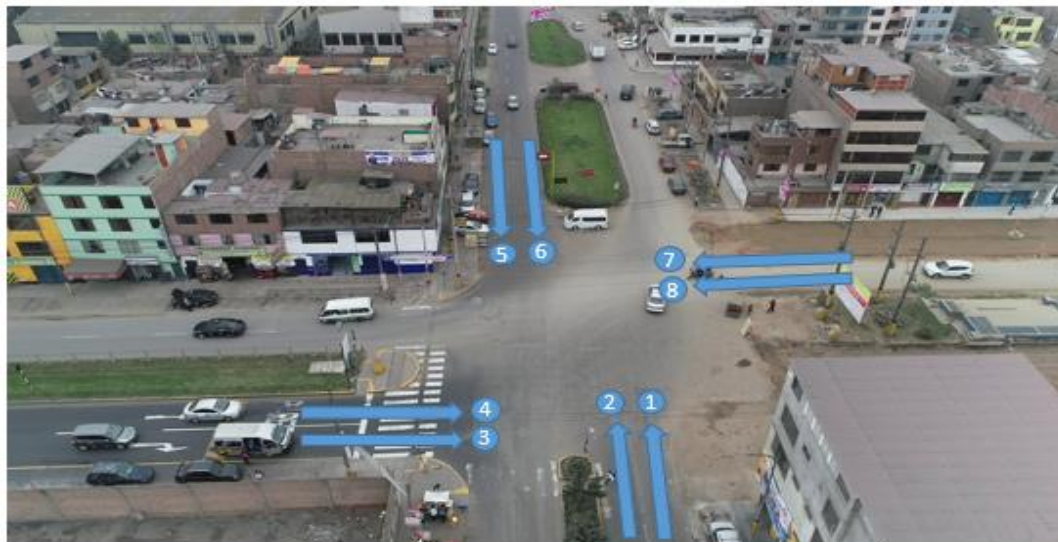



Figura 3.2: Distribución de carriles para el aforo vehicular

Fuente: Propia

Tabla 3.1:Tabla para el aforo vehicular

Fuente: Propia

1 	AUTO COMBI COASTER	MOTOTAXI	CAMION	MOTOCICLETAS	BUS
08:00-08:15					
08:15-08:30					
08:30-08:45					
08:45-09:00					

- **Datos de flujo peatonales**

El conteo de volumen peatonal se realizó usando la grabación y en intervalos de tiempo de 10 min. Para realizar el conteo de las personas se clasificó según su género y el sentido de desplazamiento del peatón. En las siguientes líneas se muestra la asignación de los cruces peatonales y las tablas para el aforo peatonal.

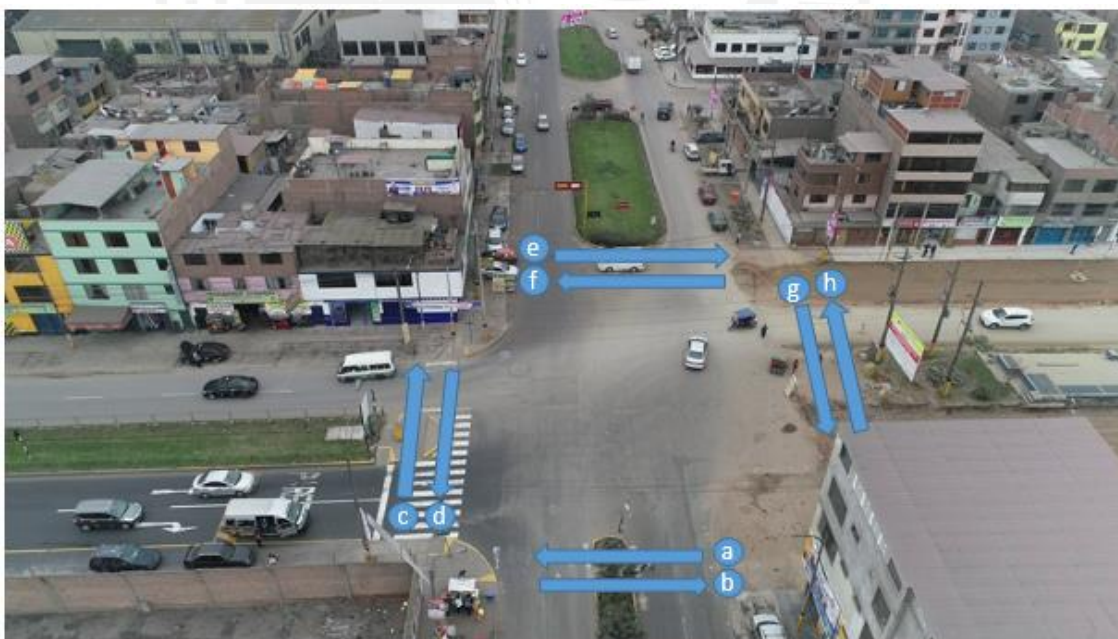


Figura 3.3:Distribución de cruces para el aforo peatonal

Fuente: Propia

Tabla 3.2:Tabla para el aforo peatonal

Fuente: Propia

	a ←		b →	
	Varones	Mujeres	Varones	Mujeres
08:10-08:20				
08:20-08:30				
08:30-08:40				
08:40-08:50				
08:50-09:00				

- **Tiempos de viaje vehiculares y peatonales**

Los tiempos de viajes se determinaron para cada tipo de vehículo y peatón fijando tramos en los carriles y crueros convenientemente, para lo cual se usó un cronometro y una cinta métrica. Estos valores se usaron para determinación de las velocidades y la calibración del modelo.

- **Velocidades de vehículos y peatonales**

Las velocidades de deseo y de giro de los vehículos se determinaron usando como dato de entrada los tiempos de viajes vehiculares. En el caso de las velocidades peatonales también se usó los tiempos de viajes para determinar su velocidad. Para ambos usuarios se hizo uso de la siguiente fórmula, para así determinado la variable requerida.

$$velocidad = \frac{distancia}{tiempo}$$

3.3 Observación directa

Esta etapa del proyecto se lleva juntamente con la recolección de datos, la cual tiene como objetivo conocer el comportamiento e identificar los problemas que presentan los vehículos, peatones, ciclistas y otros usuarios. Los datos extraídos mediante la observación directa servirán para el análisis cualitativo de la intersección

3.4 Modelación microscópica

3.4.1 Desarrollo del modelo

La construcción del modelo se puede dividir en cinco grupos. Por un lado, se debe crear la geometría de la intersección. Este empieza mediante la importación de una imagen satelital o un plano digital de la zona de estudio en el software. Seguidamente se realiza el escalamiento de la imagen, el trazado de los carriles que conforman la intersección y la implementación de las áreas peatonales. Luego se conecta las vías y zonas peatonales según los movimientos que se realizan en los usuarios en el área de estudio.

Por otro lado, se debe introducir los vehículos y peatones presente en zona de análisis. Esto se logra configurando y definido la composición de los vehículos y peatones en el modelo. En algunos casos es necesario la creación de vehículos, ya que estos no están como predeterminados en el programa. Luego se debe codificar los volúmenes y la gráfica de velocidades de todos los usuarios.

Seguidamente, se debe establecer el control del tráfico en las vías y cruces. En intersecciones de pocas zonas de interferencia se puede solucionar con el comando de áreas de conflicto. En otros casos de gran cantidad de zonas de interferencias es necesario realizar en cada lugar de conflicto reglas de prioridad. En caso de ser una intersección semaforizadas, se debe introducir los ciclos del semáforo y la ubicación de la línea de pare.

3.4.2 Verificación del modelo

La verificación se debe llevar de manera simultánea a lo largo de todo el desarrollo de todo el modelo. Uno de los errores más presentes es la regulación de tráfico, para su identificación se deberá correr el modelo en 3D. Además, se debería tener un control de los volúmenes, velocidades, dimensiones de los carriles y la conectividad de las vías. Es importante realizar este control, para tener valores coherentes en el proceso de calibración.

3.4.3 Calibración y validación del modelo

El proceso de calibración del sistema asegura que nuestro modelo represente con precisión la densidad del tráfico y el comportamiento presente. Este proceso se logra a partir de la secuencia de tres pasos. Por un lado, se debe elegir el parámetro que se usara para la calibración, en el proyecto se usó el tiempo de viaje. Por otro lado, se debe elegir la herramienta para análisis estadístico. La calibración en el proyecto se realiza usando la hipótesis nula y el programa randomization test. Finalmente, se procede a verificar que la diferencia de medias del parámetro medido en campo y el modelo se encuentre en la zona de aceptación de la gráfica t-Student. En caso que la diferencia este en la zona de rechazo se realizará el ajuste de los parámetros globales.

El proceso de validación es homologo al de calibración. Este se diferencia de trabajar con otros datos de entrada tomado en un día diferente al de la calibración. Asimismo, es necesario indicar que al llegar paso de verificación y no cumplir se procederá calibrar y realizar nuevamente la validación.

3.5 Propuestas de mejora

3.5.1 Análisis del proyecto

Una vez que el modelo este calibrado y validado se inicia con el análisis de la situación actual de la intersección. Por un lado, los análisis se realizan mediante los parámetros de eficiencias, como los tiempos de viaje, longitudes de colas y velocidades de viaje. Con las variables de eficiencias determinadas mediante el software se evalúan cualitativa y cuantitativa de la calidad de circulación vehicular. Por otro lado, se realiza una inspección de seguridad vial que nos permitan identificar los posibles riesgos de accidentes. Seguidamente, se plantean un rediseño de la intersección siguiendo las recomendaciones de instituciones interrelaciones.

3.5.2 Informe del proyecto

Esta etapa comprende realizar un reporte en donde se presentan los datos recolectados de campo, el desarrollo del modelamiento, la verificación, calibración, validación y resultados del análisis.

CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DE LA INTERSECCIÓN ACTUAL Y PROCESAMIENTO DE DATO

4.1 Análisis de la intersección actual

El área de investigación está conformada por la intersección de la avenida La Mar con la avenida Urubamba, en el distrito de Ate Vitarte. Las dos avenidas mencionadas la conforman dos carriles en cada sentido. En la siguiente imagen se muestra la ubicación de la zona de estudio para la evaluación del tránsito vehicular y peatonal.

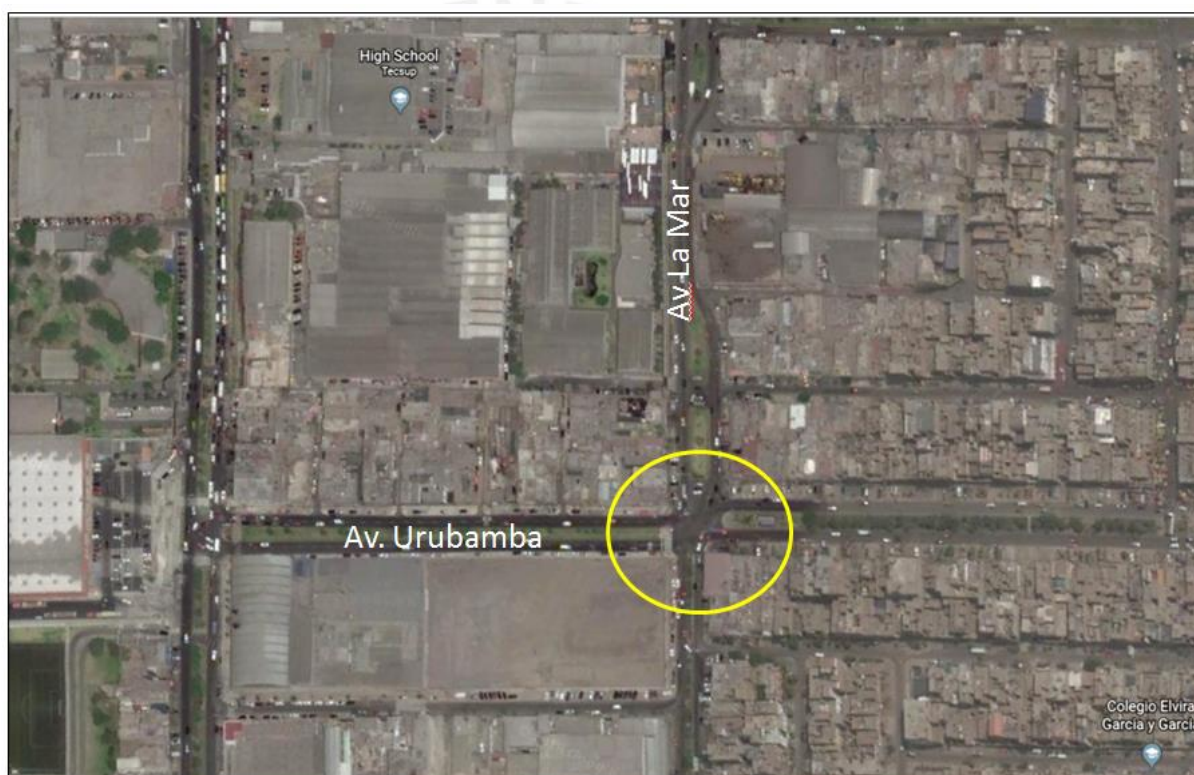


Figura 4.1 Ubicación de área de estudio
Fuente: Adaptado de Google Earth (2018)

En el área de estudio mencionada se realizó un análisis microscópico con la herramienta PTV Vissim 8.0. Para ello, se consideró como usuarios de la intersección los peatones y vehículos, cuyas características se presentan en la etapa de recolección de datos.

En la intersección existe gran flujo vehicular y peatonal debido al comercio que se realiza en sus alrededores y al cierre parcial de la carretera central. Por un lado, el comercio en esta intersección se debe a la presencia de talleres mecánicos, tiendas de repuestos, mercados y centros comerciales. Por otro lado, el cierre de la carretera central ocasionado por la ejecución del proyecto de Línea 2 del Metro de Lima, genero un aumento en las vías aledañas por los desvíos de los vehículos.

4.2 Recolección y procesamiento de dato

La extracción de la información de campo se realizó a través de dos visitas, las cuales se realizaron el día 29 y 28 de agostos del 2019. Asimismo, la condición del clima en la fecha de la toma fue de un día nublado. En las siguientes líneas se presentan los datos recolectados de campo y los detalles para la obtención de estos.

4.2.1 Datos geométricos

Esta actividad se realizó con la ayuda de una persona. Para lo cual se usó como herramienta de trabajo una cinta métrica, cuaderno de apuntes, entre otros. Las medidas que se recolectaron fueron los anchos de los carriles, las dimensiones de los separadores centrales, las dimensiones de las islas peatonales, las dimensiones de los martillos, anchos de las veredas, anchos de las rampas y longitudes adicionales que nos permitieron definir la ubicación de cada uno de los elementos de la vía. En las siguientes líneas se detalla las dimensionas geométricas registradas:

- a) Dimensión de carriles: Los anchos de los carriles tienen una dimensión de 3m en ambas avenidas.



Figura 2 : Ancho de carril de la Av La Urubamba.
Fuente: Propia

- b) Dimensión de veredas: El ancho de las veredas varían de 1.5 a 2.4 metros.
- c) Islas peatonales: En la intersección solo existen tres islas peatonales con áreas de 2.5, 16 y 45 m². En la avenida La Mar no existe una isla peatonal definida, lo que genera que los peatones crucen de forma insegura.



- d) Dimensión de separador central: En la intersección todos los separadores tienen diferentes medidas, razón por la cual los carriles no se encuentran alineados y la zona

de conflicto de los usuarios de la vía se mayor. Estos separadores tienen las siguientes medidas: 2.5, 4.5 , 9 y 10 metros .

- e) Zonas de Área Verde: En la intersección cuenta con separadores centrales provista de áreas verdes.

4.2.2 Flujos vehiculares

Los volúmenes vehiculares se registraron mediante el conteo por carril en las 4 vías de ingreso y subdividiendo en los movimientos (giro en “U”, giros a la derecha o izquierda o ingreso directo). Así mismo, dentro del conteo se consideraron cinco tipos de vehículos. En las siguientes imágenes se muestran la demanda vehicular para la calibración y validación registrada en lapso de una hora. Es importante mencionar, que según la señalización horizontal presente solo está permitido los siguientes movimientos: en el carril izquierdo movimientos rectos, y en el carril derecho giros a la derecha y movimientos rectos.

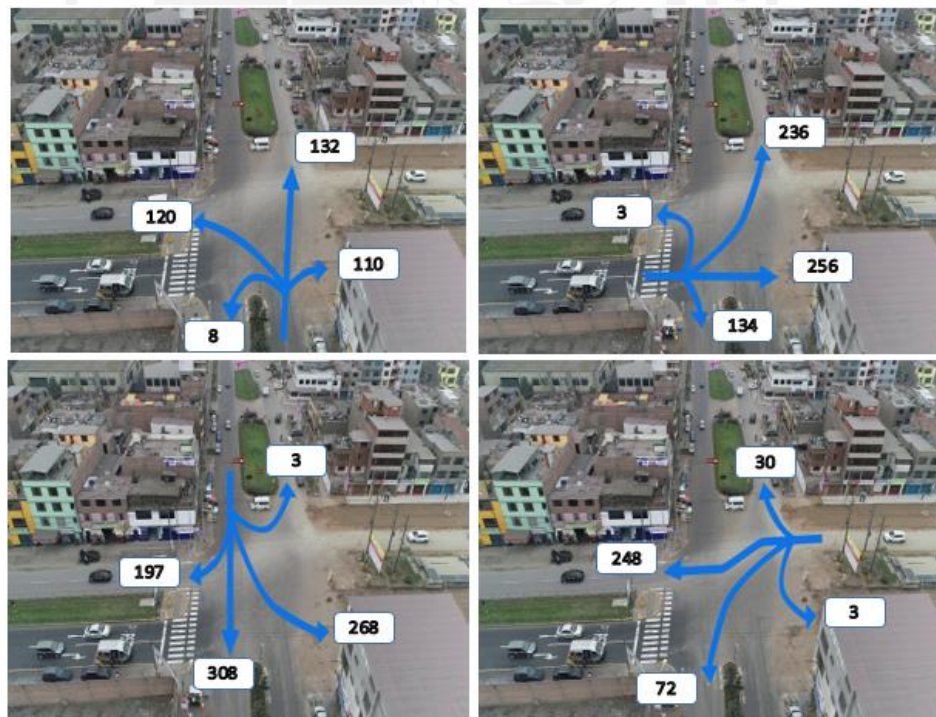


Figura 4.2: Volúmenes vehiculares para la calibración (veh/h)
Fuente: Propia

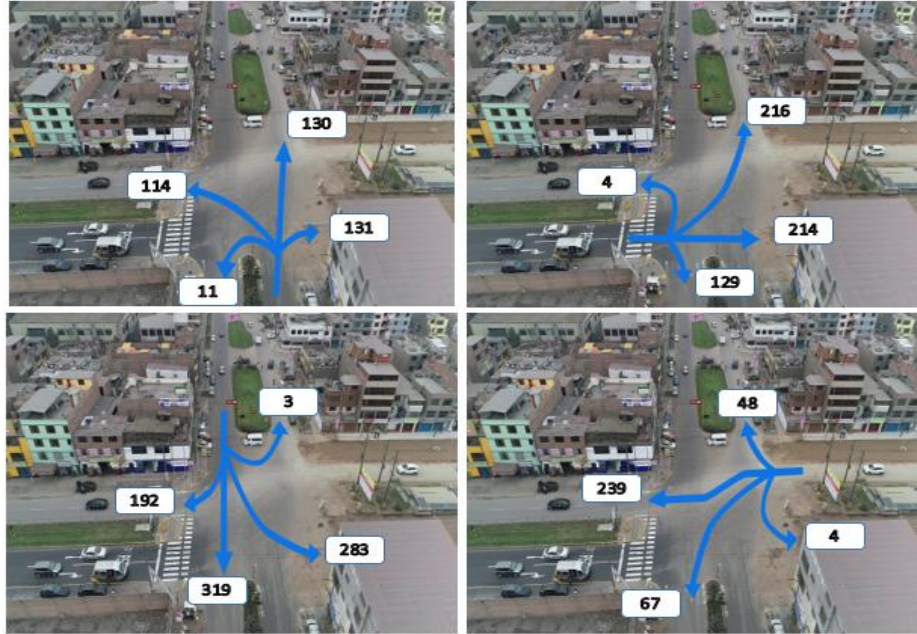


Figura 4.3: Volúmenes vehiculares para la validación (veh/h)
Fuente: Propia

4.2.3 Flujos peatonales

Los conteos de los flujos peatonales se realizaron en intervalos de 10 min a lo largo de una hora. Para la realización de esta actividad se identificó las áreas de ingresos y las líneas de deseo de los patrones. En el proyecto se reconoció 4 áreas de entrada peatonal, las cuales se encuentran en las esquinas de la intersección. En la siguiente imagen se presenta las zonas de ingreso peatonal.



Figura 4.4: Áreas de ingreso peatonal
Fuente: Propia

Los volúmenes peatonales para calibración y validación se muestran en la figura 4.5 y 4,6 respectivamente.

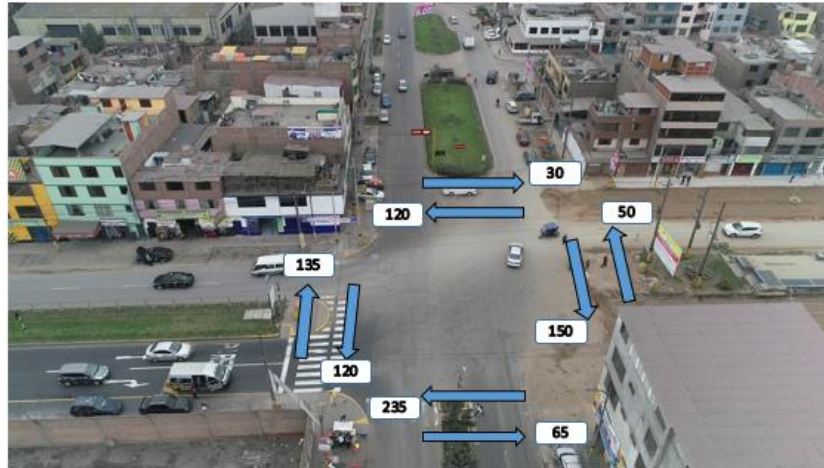


Figura 4.5: volúmenes peatonales de calibración (peatón/h)
Fuente: Propia

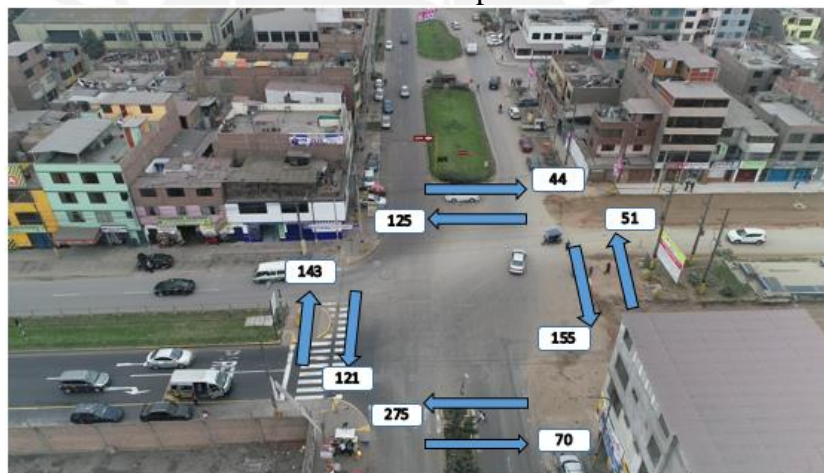


Figura 4.6: Volúmenes peatonales de validación (peatón/h)
Fuente: Propia

4.2.4 Tiempos de viajes vehiculares

Los tiempos de viajes vehiculares se registraron en dos tramos, para lo cual se usó un cronometro y un cuaderno de apuntes. La distancia en ambos tramos de análisis es de 30 metros. La figura siguiente muestra los tramos donde se tomó los tiempos mencionados.

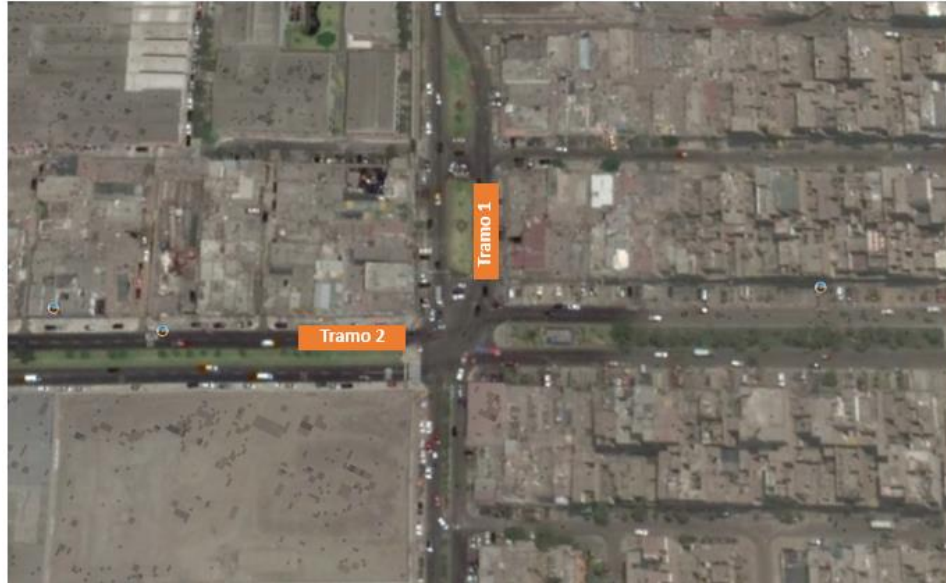


Figura 4.7:Tramos de evaluación

Fuente: Adapto de Google Earth (2018)

Se registró treinta valores de tiempos de viaje en cada tramo, tanto para la calibración como la validación. Para verificar el mínimo números de muestras representativas se usó un $t_{\frac{\alpha}{2}} = 2.0452$. En las siguientes líneas se muestra los valores de tiempos vehiculares para la calibración y validación, así como el mínimo número de muestras.

Tabla 4.1:Tiempos de viaje vehiculares para la calibración y validación

Fuente: Propia

N	Calibración		Validación	
	Tiempos de viaje (s)		Tiempos de viaje (s)	
	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 1	Tramo 2
1	6.23	6.53	4.87	5.23
2	6.13	6.45	4.56	5.78
3	4.55	3.98	5.34	3.50
4	6.54	3.91	5.45	3.91
5	5.14	5.67	5.44	5.76
6	5.33	6.83	5.23	5.63
7	6.36	4.92	5.38	5.19
8	6.78	5.33	6.38	5.85
9	5.15	5.37	5.05	5.19
10	5.42	6.78	5.42	5.35
11	6.67	4.65	6.16	4.73
12	4.33	6.84	6.35	5.74
13	4.76	5.09	6.73	6.13

14	5.56	6.54	6.26	6.41
15	6.34	6.52	6.13	5.45
16	4.90	6.38	5.21	6.08
17	6.82	3.97	5.98	4.32
18	5.48	6.52	5.48	6.28
19	5.76	6.20	5.49	6.27
20	5.23	6.25	5.55	6.09
21	5.32	6.87	5.22	5.64
22	4.21	5.86	4.86	5.74
23	5.54	6.24	6.18	5.78
24	5.88	5.79	5.95	5.48
25	6.79	3.87	6.21	3.45
26	5.33	6.15	5.11	5.62
27	5.60	6.35	4.56	5.76
28	4.53	6.15	4.36	6.75
29	5.46	4.13	5.86	4.53
30	5.23	6.96	4.35	6.21

Tabla 4.2: Muestra mínima de tiempos de viaje vehiculares para la calibración y validación

Fuente: Propia

	Calibración		Validación	
	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 1	Tramo 2
Promedio	5.58	5.77	5.50	5.46
Des. Estándar	0.75	1.01	0.64	0.82
Error	0.56	0.58	0.55	0.55
$t_{\alpha/2}$	2.0452	3.0452	2.0452	3.0452
Numero min	7.50	28.16	5.61	21.08
Numero tomado	30	31	30	31

4.2.5 Tiempos de viajes peatonales

Los tiempos de viajes peatonales se midieron en dos cruceros usando un cronometro y un cuaderno de apuntes. La distancia en ambos cruceros de estudio es de seis metros. En las siguientes imágenes se indica los cruceros donde se realizaron las mediciones.



Figura 4.8: Cruceos de evaluaci3n
Fuente: Propia

Se registr3 treinta valores de tiempos de viajes peatonales en cada uno de los cruceos, tanto para la calibraci3n como para validaci3n. Para verificar el m3nimo n3meros de muestras representativas se us3 un $t_{\frac{\alpha}{2}} = 2.0452$. En las siguientes l3neas se muestra los valores de tiempos de viajes peatonales para la calibraci3n y validaci3n, as3 como el m3nimo n3mero de muestras.

Tabla 4.3: Tiempos de viaje peatonales para la calibraci3n y validaci3n
Fuente: Propia

N	Calibraci3n		Validaci3n	
	Tiempos de viaje (s)		Tiempos de viajes (s)	
	Cruce 1	Cruce 2	Cruce 1	Cruce 2
	Peat3n	Peat3n	Peat3n	Peat3n
1	3.70	4.67	4.53	3.46
2	4.93	5.48	3.46	4.63
3	3.32	4.41	3.21	3.65
4	4.23	5.38	4.32	4.76
5	3.46	4.08	4.13	4.89
6	4.56	5.01	3.23	3.35
7	3.85	4.95	3.67	2.60
8	4.12	4.62	4.32	3.56
9	3.98	4.86	3.43	4.21
10	3.36	4.73	3.21	3.19

11	3.54	5.08	3.11	4.76
12	3.24	4.64	4.32	3.35
13	4.67	2.45	3.31	3.15
14	3.41	4.53	4.13	4.47
15	4.32	4.03	4.23	4.76
16	4.30	3.83	3.16	3.87
17	3.53	4.27	3.25	2.96
18	4.82	3.36	4.35	3.39
19	3.67	3.97	4.32	3.13
20	4.20	3.69	3.12	2.67
21	4.87	2.80	3.24	3.38
22	3.78	4.24	3.15	3.87
23	3.38	5.20	4.23	4.67
24	2.59	4.34	3.36	4.75
25	5.83	4.08	3.56	4.65
26	3.26	3.25	2.78	3.57
27	5.36	2.78	3.35	4.65
28	3.74	3.50	3.57	3.32
29	5.24	3.64	4.38	2.75
30	3.36	3.74	3.18	4.47

Tabla 4.4: Muestra mínima de tiempos de viaje peatonales para la calibración y validación
Fuente: Propia

	Calibración		Validación	
	Crucero 1	Crucero 2	Tramo 1	Tramo 2
Promedio	3.65	3.83	3.65	3.83
Des. Estándar	0.53	0.74	0.53	0.74
Error	0.37	0.38	0.37	0.38
$t_{\alpha/2}$	2.0452	2.0425	2.0452	2.0425
Numero min	8.69	15.49	8.69	15.49
Numero tomado	30	30	30	30

4.2.6 Velocidad vehicular

Se determinaron las velocidades de cuatro tipos de vehículos a partir de los tiempos de viajes y una distancia de definida. Estos valores representan las velocidades que el conductor alcanzaría en un flujo libre. Para cada tipo de vehículo se calculó treinta

velocidades. En las siguientes imágenes se muestra la curva de frecuencia acumulada de velocidades para cada tipo de vehículo.

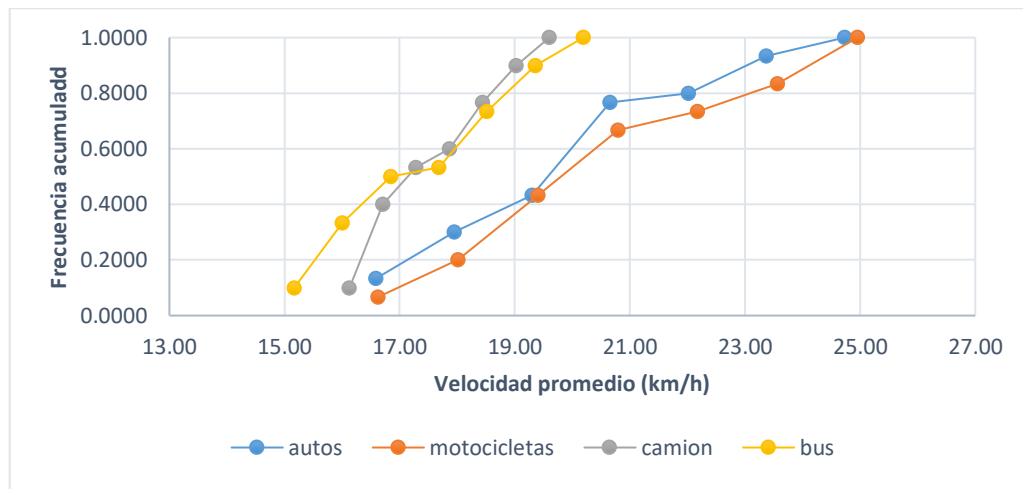


Figura 4.9: Curva de frecuencia acumulada vehicular
Fuente: Propia

4.2.7 Velocidad de peatones

Las velocidades peatonales se determinaron mediante los tiempos de viajes y unas longitudes definidas (distancia de los cruces). En esta actividad se calcularon treinta velocidades de viajes peatonales. En las siguientes imágenes se presentan las curvas de frecuencia acumulada de los peatones.

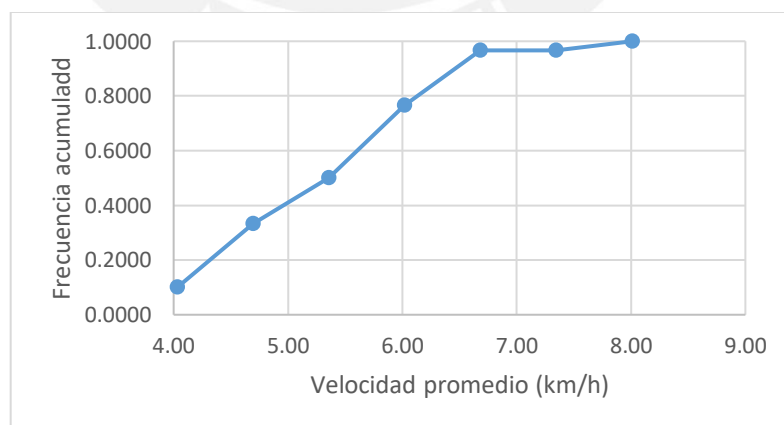


Figura 4.10: Curva de frecuencia acumulada peatonal
Fuente: Propia

4.2.8 Datos de señalización

Dentro de la intersección se pudo visualizar señalización de tránsito vertical y horizontal. Estas señalizaciones permiten la reducción y severidad de los accidentes de tránsito (Autorías de Seguridad Vial, 2003). En las siguientes líneas se detallará las señalizaciones encontradas en la intersección de estudio.

Por un lado, según el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito o Automotor para Calles y Carreteras (MDCT) existen tres tipos de señalización vertical de acuerdo a su función. En la intersección de estudio se pudo observar dos de ellas, la señalización reglamentaria y la preventiva temporal de construcción. En primer lugar, la señalización reglamentaria que se encontró es la prohibición de paso de vehículos pesados en un horario fijo y la de ceda el paso. Esta señalización tiene como función comunicar a los usuarios sobre las restricciones y limitaciones del uso de la vía (MDCT , 2016). En la intersección de estudio el derecho de paso de los vehículos está regulado por la señalización ceda el paso, ubicado en la avenida La Mar . En segundo lugar, la señalización de tránsito temporal de construcción hallada es la desvío y la de reducción de velocidad. Esta señalización tiene como objetivo advertir a los conductores sobre la presencia de riesgos o situaciones imprevistas en la vía o en su alrededor; así como guiar a los conductores sobre las vías alternas para un tránsito seguro (MDCT, 2016). En las siguientes imágenes se presentan las señalizaciones anteriormente mencionadas.



Figura 4.11: Señalización de prevención temporal de construcción
Fuente: Propia



Figura 4.12: Señalización de regulación
Fuente: Propia

Por otro lado, según el MDCT la señalización horizontal se clasifica en dos: las demarcaciones planas en el pavimento y los dispositivos elevados colocados en el pavimento. En la zona de estudio se pudo visualizar solo las demarcaciones planas: líneas de borde de calzadas, líneas separadoras de carril, líneas de pare, líneas de cruce peatonal, demarcaciones para estacionamientos y flechas indicadoras del sentido del tránsito. Estas tienen la función de regular, advertir, canalizar el flujo vehicular y peatonal, y orientar transversalmente a los conductores (MDCT, 2016). En las siguientes imágenes se muestran las señalizaciones horizontales encontradas en la intersección.

Z



Figura 4.33 : Señalización horizontal en la intersección de estudio.
Fuente: Propia

4.2.9 Reductores de velocidad

Existen varias herramientas para el control de la velocidad de los vehículos. Uno de ellos son los tratamientos de ingeniería: en el caso de estudio se pudo observar reductores de velocidad tipo resalto circular (Sociedad Global de Seguridad Vial, 2008). Estos elementos se encuentran distribuidos al ingreso de la intersección, y uno al término de la intersección.

4.2.10 Regulación de Tránsito en la Intersección

En las intersecciones a nivel las prioridades de paso se pueden materializar a través de señales “Ceda el paso”, o “Pare”, o construir Rotondas o instalar “Semáforos”. La primera señalización se usa cuando existe una buena visibilidad para todos los usuarios (Autoría de Seguridad Vial, 2003). En caso de estudio la intersección se encuentra regula por la señalización “Ceda el paso”.

4.2.11 Lista de chequeo

Las listas de chequeo son un medio de apoyo de identificación de problemas de seguridad vial (CONASET, 2003). Estas listas son usadas en la visita a campo del proyecto, para así conocer las condiciones existentes en temas de seguridad vial del proyecto. En el presente trabajo se ha adoptado una lista de chequeo de la Guía para realizar una Auditoria Vial.

El registro de los datos de la lista de chequeo se presenta en los anexos. Esto nos servirán para sustentar nuestras propuestas de mejoras planteadas.



CAPÍTULO 5: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

En este capítulo se describe detalladamente los pasos seguidos para la construcción del modelo de la intersección usando los softwares Vissim y Viswalk 8.0. Seguidamente, se presentan las verificaciones realizadas en el modelo. Finalmente, se explican la secuencia de pasos para la calibración y validación del modelado.

5.1 Desarrollo del modelado

Con los datos procesados se empieza a desarrollar el modelo, para lo cual se siguieron los siguientes pasos.

5.1.1 Importación de imagen

Esta actividad consiste en insertar una imagen base para la creación de la geometría de la intersección. En el proyecto se utilizó como imagen de fondo el plano de intersección realizado en la etapa de procesamiento de datos. Antes de la introducción de la imagen en el software, se creó una carpeta para el modelado donde se coloca el archivo del plano. Luego de la importación de la imagen de fondo se proceda a escalarlo a partir de una dimensión recolectada en campo. En siguiente imagen se enumera los pasos para la introducción de la imagen de fondo.

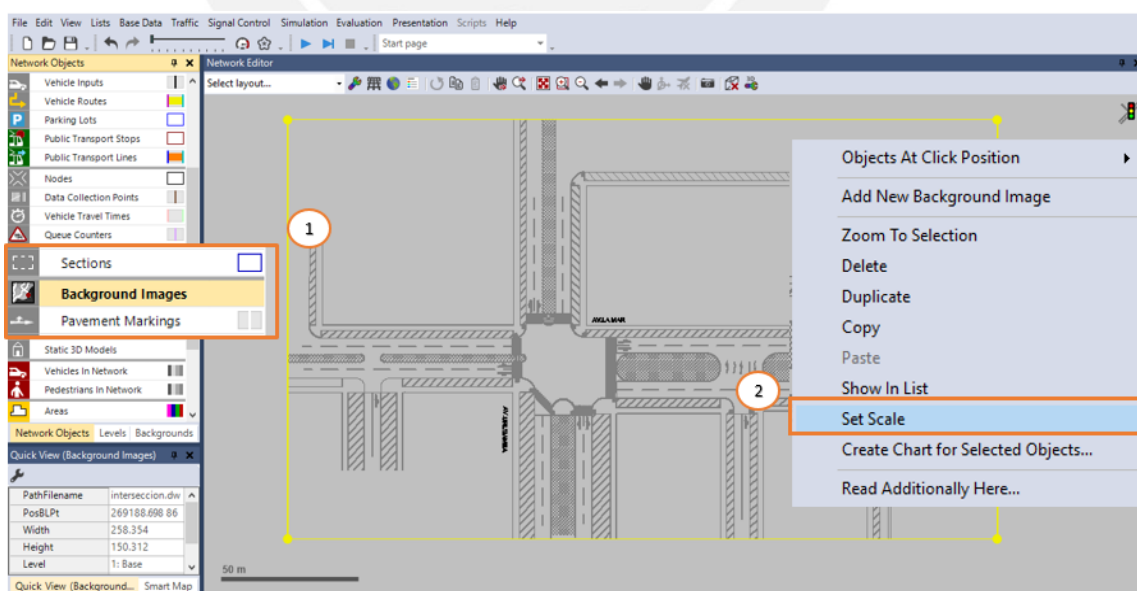


Figura 5.1: Importación de imagen base
Fuente: Propia

5.1.2 Links y conectores

Con la ayuda de la imagen de fondo se continuo con la creación de la geometría de la intersección. En esta sección se usó la opción *Links* tanto para creación de los carriles y conectores. Para el desarrollo de esta actividad se requiere conocer como datos de entrada los anchos de las vías, los números de los carriles y la dirección del flujo. En el proyecto se usó ocho links para construcción de las vías y dieciséis conectores. La imagen siguiente muestra las vías y los conectores construidos.

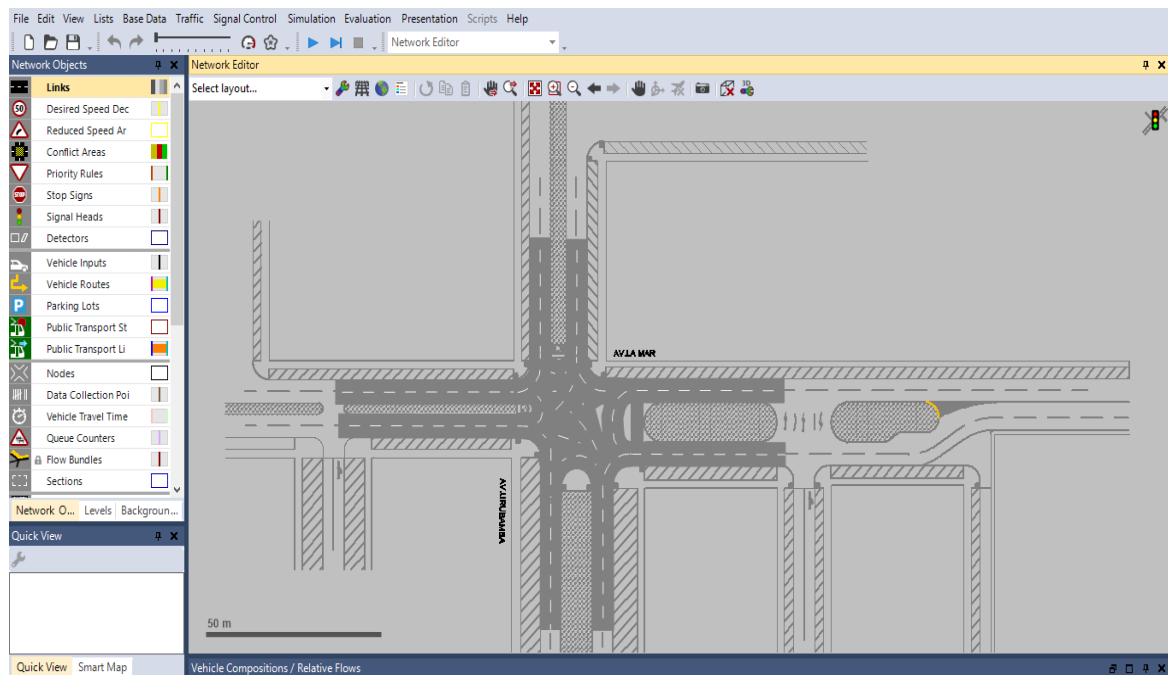


Figura 5.2: Construcción de las vías
Fuente: Propia

5.1.3 Áreas y cruces peatonales

En el proyecto se identificaron cuatro áreas de ingreso peatonales y ocho cruces. Estas áreas se crearon a nivel de las vías en las esquinas de las intersecciones. Mientras, los cruces peatonales se construyeron con *Links* y seleccionado la opción *Pedestrian Area*. En siguientes líneas se muestra el desarrollo del modelo incluido los cruces y área peatonales.

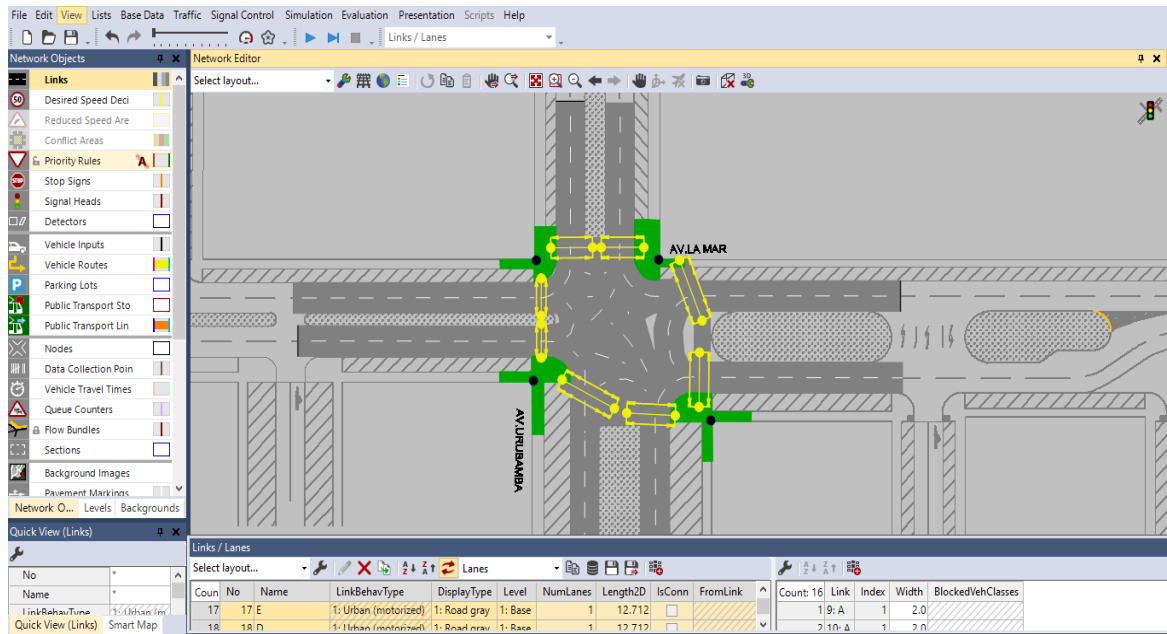


Figura 5.3: Areas y cruces peatonales
Fuente: Propia

5.1.4 Configuración de vehículos y peatones

En esta sección se define la composición y volúmenes de los vehículos y los peatones. Por un lado, en el proyecto se identificaron moto taxis que no estaban predeterminados en las opciones de vehículos del programa, por lo cual se tuvo que introducir este vehículo atípico. Para creación de estos se usó un modelo en Sketchup. Luego se importó este modelo a V3DM 1.5. Después, se introdujo la frecuencia acumulada de velocidades deseadas, aceleración máxima y aceleración deseada del vehículo atípico. Finalmente, se creó el vehículo en el programa Vissim en la opción *Vehicle Class*. Dentro de la intersección se identificaron cuatro tipos de vehículos, los cuales se presentan en la siguiente imagen.

Tabla 5.1: Composición vehicular
Fuente: Propia

Count	No	Name	Count	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	1	AvLaMarB	1	100: Car	1048: Auto	0.437
2	2	AvLaMarC	2	200: HGV	1050: Camion	0.023
3	3	AvUrubambaE	3	300: Bus	1051: Bus	0.009
4	4	AvUrubambaH	4	610: Mototaxi	1047: Mototaxi	0.508
			5	620: Motocicleta	1049: Motocicleta	0.022

Por otro lado, los volúmenes vehiculares se codificaron a través de la opción Vehicle Inputs. Mientras, para los volúmenes peatonales se usó la opción Pedestrian Inputs. En las siguientes líneas se muestra los volúmenes peatonales y vehiculares codificados en el modelo.

Tabla 5.2: Volúmenes vehiculares para la calibración
Fuente: Propia

Coun	No	Name	Link	Volume(0)	VehComp(0)
1	1		2: AvLaMarB	385.0	1: AvLaMarB
2	2		5: AvUrubambaE	562.0	3: AvUrubambaE
3	3		3: AvLaMarC	801.0	2: AvLaMarC
4	4		8: AvUrubambaH	358.0	4: AvUrubambaH

Tabla 5.3: Volúmenes peatonales para la calibración
Fuente: Propia

Count: 4	No	Name	Area	Volume(0)	PedComp(0)
1	1		1: Area1	285.0	1: Pedestrians
2	2		2: Area2	200.0	1: Pedestrians
3	3		3: Area3	150.0	1: Pedestrians
4	4		4: Area4	270.0	1: Pedestrians

5.1.5 Creación de las rutas estáticas

Luego de haber definido la composición y los volúmenes de los usuarios de la intersección, se procedió a definir las rutas estáticas para los peatones y los vehículos. Por un lado, para creación de las rutas de los vehículos se identificó cuatro tipos de movimientos de cada vía de ingreso a la intersección. Luego se introdujo los porcentajes de cada movimiento realizado desde la vía de entrada. Por otro lado, se identificó 2 tipos de movimientos realizados por los peatones desde cada área para la creación de las rutas estáticas. Después, se codificó los porcentajes de cada tipo de movimiento identificado. En las siguientes imágenes se muestra las rutas vehiculares y peatonales definidas en el modelado.

Tabla 5.4: Distribucion de rutas vehiculares
Fuente: Propia

Static Vehicle Routing Decisions / Static Vehicle Routes													
Coun	No	Name	Link	Pos	AllVehType	VehClasse	Cou	VehRoutDec	No	Name	DestLink	DestPos	RelFlow(0)
1	1	AvLaMarB	2: AvLaMarB	23.207	<input checked="" type="checkbox"/>		1	1: AvLaMarB	1	A	6: AvUrubambaF	5.973	0.306
2	2	AvUrubambaE	5: AvUrubambaE	15.711	<input checked="" type="checkbox"/>		2	1: AvLaMarB	2	B	4: AvLaMarD	18.019	0.337
3	3	AvLaMarC	3: AvLaMarC	17.581	<input checked="" type="checkbox"/>		3	1: AvLaMarB	3	C	7: AvUrubambaG	15.063	0.337
4	4	AvUrubambaH	8: AvUrubambaH	13.735	<input checked="" type="checkbox"/>		4	1: AvLaMarB	4	D	1: AvLaMarA	14.790	0.020

Tabla 5.5: Distribucion de rutas peatonales
Fuente: Propia

Static Pedestrian Routing Decisions / Static Pedestrian Routes							
Count	No	Area	AllPedTypes	PedClasses	Count	No	RelFlow(0)
1	1	1: Area1	<input checked="" type="checkbox"/>	10	1	1	0.825
2	2	2: Area2	<input checked="" type="checkbox"/>	10	2	2	0.175
3	3	3: Area3	<input checked="" type="checkbox"/>	10			
4	4	4: Area4	<input checked="" type="checkbox"/>	10			

5.1.6 Zonas de conflicto

Unos de los problemas que presenta esta intersección en su modelación es la gran cantidad de zonas de conflictos. En un inicio se planteó resolver esta dificultad con la opción de *Conflict Areas*, pero al utilizarlo se observó que los vehículos se detuvieron mucho tiempo y no representaban lo que se observó en campo. Otra opción, de regulación que tiene el software son las reglas de prioridad, al ser utilizadas en la intersección para las zonas de conflictos encontradas entre vehículos se llegó a modelar de una mejor manera a lo visto en campo. Sin embargo; para las zonas de conflicto entre los vehículos y peatones la opción de *Conflict Areas* representaba adecuadamente lo visto en campo, por lo cual *Conflict Areas* se usó solo en los cruces para el proyecto. En las siguientes imágenes se muestra la regulación usado para el proyecto.

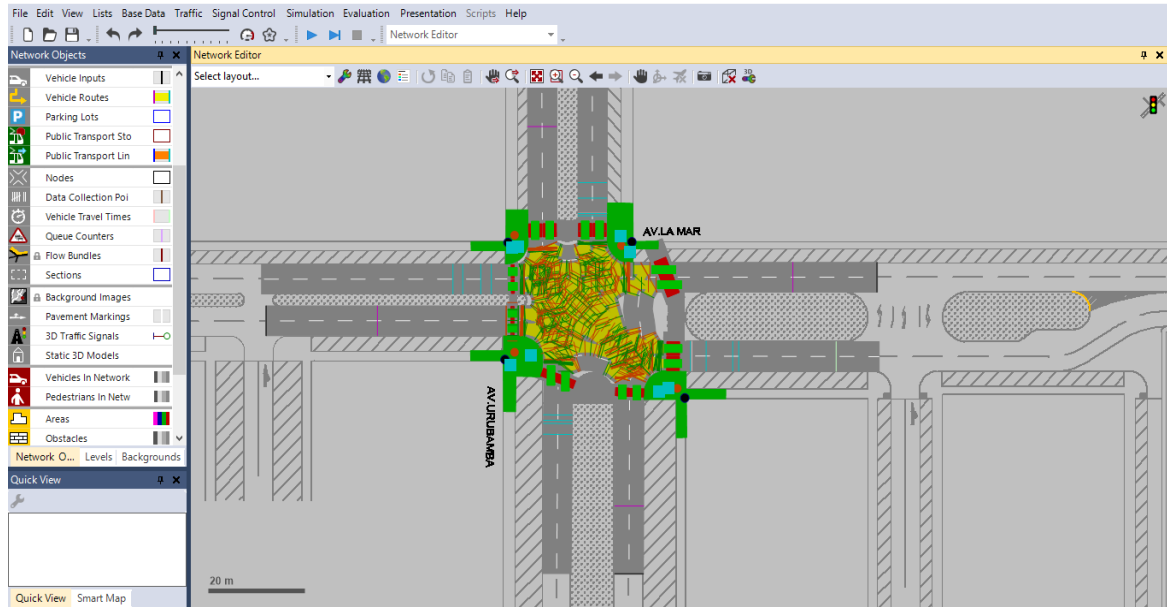


Figura 5.4: Áreas de conflicto y reglas de prioridad
Fuente: Propia

5.2 Verificación del modelo

La verificación del modelo se llevó de forma paralela a lo largo de todo el desarrollo del modelo. Uno de los errores más comunes es la de codificación de los números en el modelo, por lo cual se revisó de forma constante en cada proceso. Otro de los errores, es la superposición entre los vehículos en zonas de conflicto. Para su identificación rápida es hacer la corrida del modelo en 3D. En la siguiente imagen se muestra una las superposiciones identificadas que fueron solucionadas con reglas de prioridad.

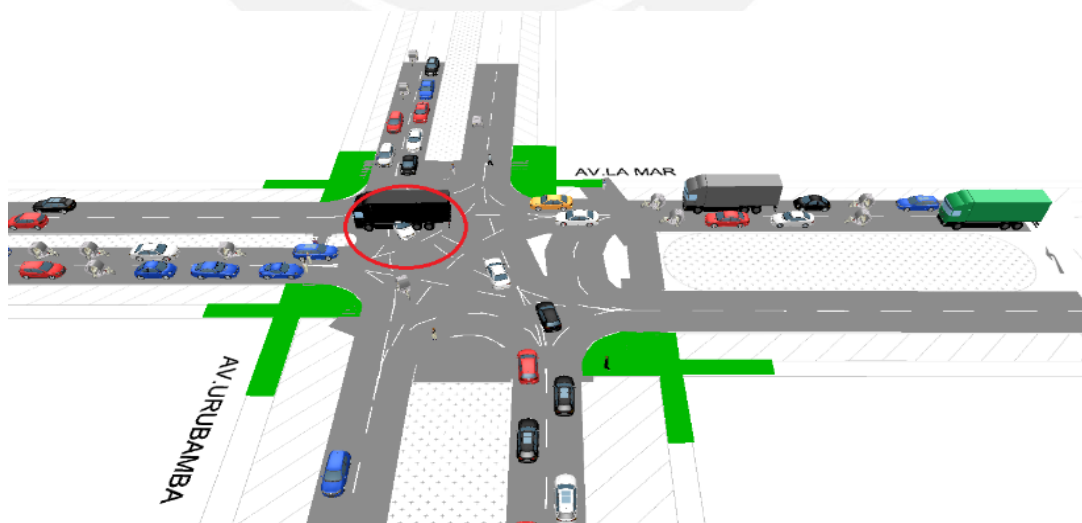


Figura 5.5: Superposición de dos diferentes vehículos

Fuente: Propia

5.3 Calibración del modelo

Esta actividad nos permite variar parámetros globales para acercarnos a las condiciones locales de la zona de estudio. Por un lado, para la calibración vehicular se usó como variables de calibración los tiempos de viajes en dos tramos distintos. Por otro lado, para la calibración peatonal se usó dos cruceos y tiempos de viajes como parámetros de calibración. En el proceso de calibración vehicular y peatonal se usaron 30 muestras de campo en cada tramo de estudio. Asimismo, la calibración se realizó mediante la hipótesis nula y la herramienta de Stat Key, en la cual se usó una confiabilidad de 95 %.

5.3.1 Calibración vehicular

El proceso de calibración vehicular contempla la interacción de tres parámetros del modelo de Widemann. Por un lado, uno de los parámetros más influyentes en la calibración vehicular es el ax, el cual indica la distancia promedio entre vehículos. Además, el ax es un indicador de la agresividad del manejo del conductor, a menor valor de ax mayor agresividad. En la intersección se midió esta distancia obteniendo un valor promedio de 0.30 metros, el cual es número muy por debajo del valor predeterminado. Por otro lado, los otros dos parámetros que permiten ajustar la calibración son el bx add y bx mult. En la siguiente imagen se muestra los parámetros globales como resultado de la calibración del modelo.

Tabla 5.6: Valores de los parámetros de calibración vehicular

Fuente: Propia

ax :Distancia promedio entre vehículos	0.3m
bx add: parte aditiva de distancia deseada por seguridad	1.8
bx mult: parte multiplicativa de la distancia deseada por seguridad	3

En las siguientes líneas se muestra un cuadro comparativo, del tramo 1 ubicado en la avenida La Mar, de los tiempos de viaje recolectados en campo y los proporcionados por Vissim. Asimismo, se presentan el gráfico de diferencia de medias de campo con el del modelo usando el programa de Stat key, en el cual se muestra que la diferencia de medias entre el modelo y lo medido en campo se encuentra en el rango de aceptación.

Tabla 5.7: Cuadro de evaluación vehicular del tramo 1 para la calibración

Fuente: Propia

	Campo	Vissim
Promedio	5.58	5.33
Des. Estándar	0.75	0.10
Error	0.56	0.53
$t_{\alpha/2}$	2.0452	2.0452
Número min	7.50	0.15
Número tomado	30	30

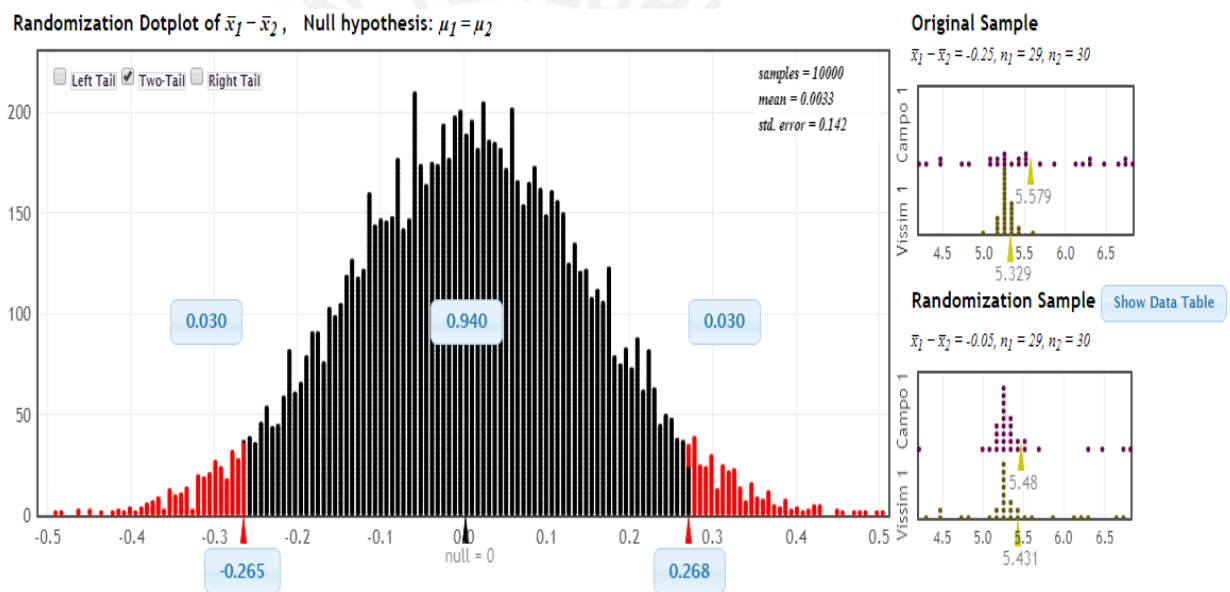


Figura 5.6: Gráfico de Randomization test para la calibración vehicular del tramo 1

Fuente: <http://www.lock5stat.com/StatKey/> (2018)

5.3.2 Calibración peatonal

La calibración peatonal se realizó en dos cruces usando como datos de entrada los tiempos de viajes de campo y los de la simulación. El programa de simulación presenta seis parámetros para la calibración del modelo. En el proyecto solo se modificaron solo dos de estos parámetros, el tiempo de reacción de los peatones (τ) y el factor de anisotropía (λ). En la siguiente tabla se muestran los valores adoptados en los parámetros de calibración del modelo.

Tabla 5.8: Valores de la calibración peatonal

Fuente: Propia

Tau (τ)	0.3
Landa (λ)	0.4

A continuación, se presentan un cuadro comparativo entre los valores de campo y los del modelo. Asimismo, se muestra la diferencia de medias entre las mediciones de campo y del modelo usando la herramienta Stat key, en el cual se muestra que la diferencia de medias se encuentra en el rango de aceptación.

Tabla 5.9: Cuadro de evaluación vehicular del cruce 1 para la calibración

Fuente: Propia

	Campo	Vissim
Promedio	4.02	3.81
Des. Estándar	0.75	0.33
Error	0.40	0.38
$t \alpha / 2$	2.0452	2.0452
Número min	14.52	3.18
Número tomado	29	30

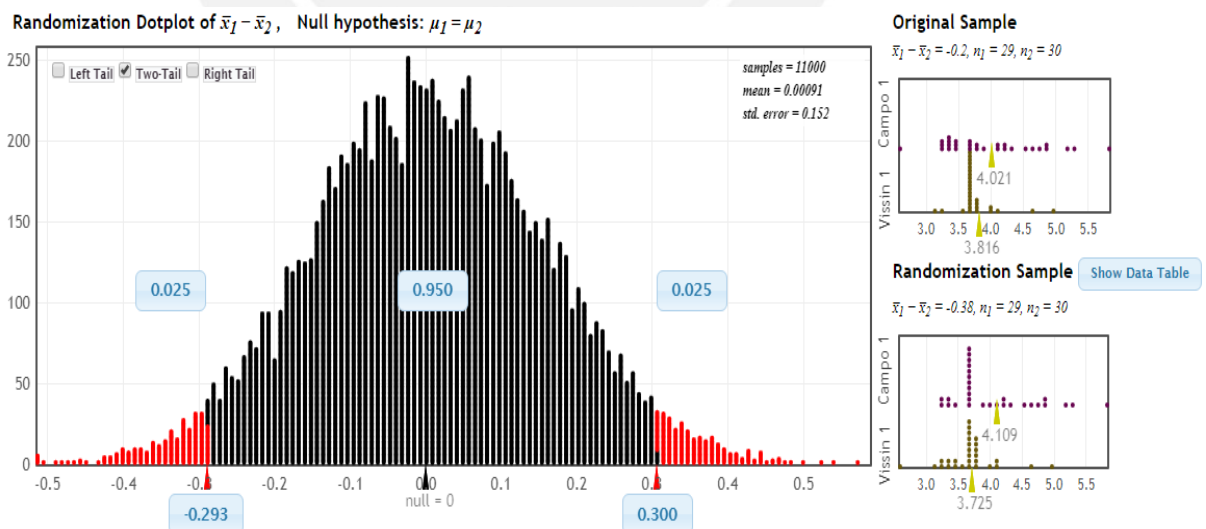


Figura 5.7: Gráfico de Randomization test para la calibración peatonal del cruce 1

Fuente: <http://www.lock5stat.com/StatKey/> (2018)

5.4 Validación del modelo

El proceso de validación se realizó de forma similar a la calibración, en el cual se usó como parámetro de validación el tiempo de viaje. Para realizar la validación del modelo se codificaron nuevos datos de demanda vehicular y peatonal en el programa, y se usaron tiempos de viajes distintos a la de la calibración. En esta actividad se verifica que, sin la necesidad de realizar ningún ajuste de los parámetros, los resultados del modelo sean semejantes a lo de campo. La validación se realizó planteando la hipótesis nula y la herramienta randomization test, con un nivel de confiabilidad del 95%.

5.4.1 Validación vehicular

La validación vehicular se realizó en dos tramos, uno de ellos en la avenida La Mar y el otro en la avenida Urubamba. En la validación se usaron treinta de datos de tiempo de viaje tanto de campo como del modelo. A continuación, se muestra un cuadro comparativo de lo medido en campo y el resultado del modelo. Además, se muestra que la diferencia de las medianas de los tiempos de viaje de campo y lo del modelo se encuentra en el rango de aceptación de la hipótesis nula.

Tabla 5.10: Cuadro de evaluación vehicular del tramo 1 para la validación

Fuente: Propia

	Validación	
	Campo	Vissin
Promedio	5.51	5.30
Des. Estándar	0.71	0.09
Error	0.55	0.53
$t_{\alpha/2}$	2.0452	2.0425
Numero min	6.91	0.12
Numero tomado	30	30

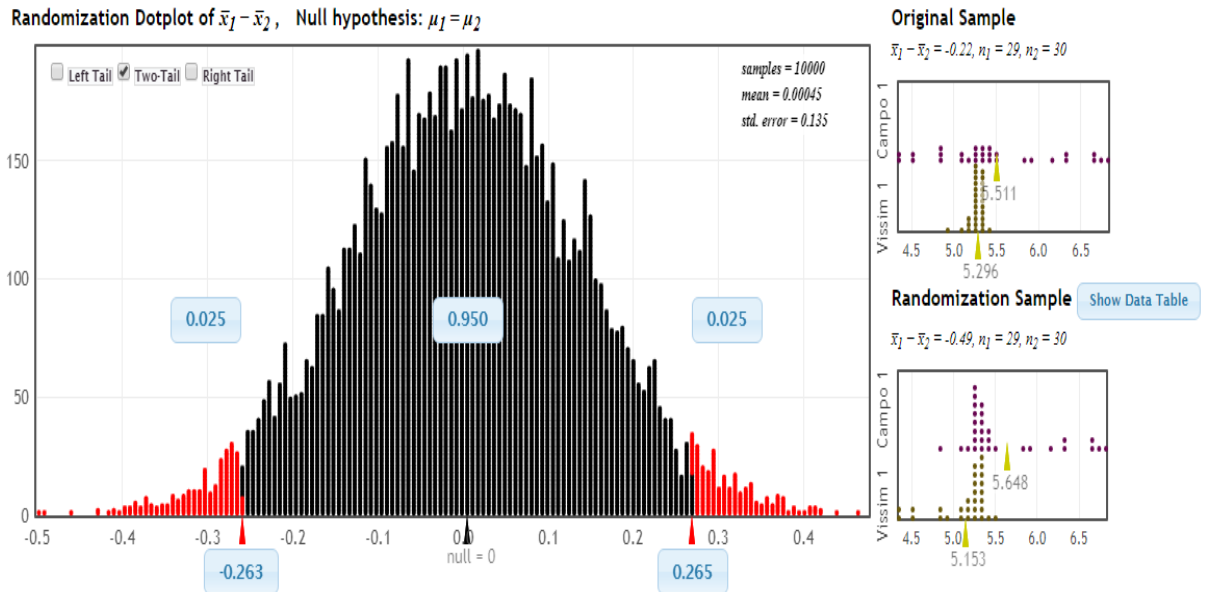


Figura 5.8: Gráfico de Randomization test para la validación vehicular del tramo 1

Fuente: <http://www.lock5stat.com/StatKey/> (2018)

5.4.2 Validación peatonal

La validación peatonal se realizó en dos cruces, para lo cual se usó como parámetro de validación el tiempo de viaje peatonal. En la validación se consideraron treinta datos tanto del modelo como de lo recolectado en campo. En las siguientes líneas se muestra un cuadro comparativo de los datos recolectados en campo y del resultado del modelo. Así mismo, se muestra que la diferencia de las medianas medidas de los tiempos de viaje de campo y lo del modelo se encuentra en el rango de aceptación de la hipótesis nula.

Tabla 5.11: Cuadro de evaluación peatonal del cruce 1 para la validación

Fuente: Propia

	Validación	
	Campo	Vissin
Promedio	3.66	3.85
Des. Estándar	0.53	0.44
Error	0.37	0.39
$t_{\alpha/2}$	2.0452	2.0425
Numero min	8.80	5.40
Numero tomado	30	30

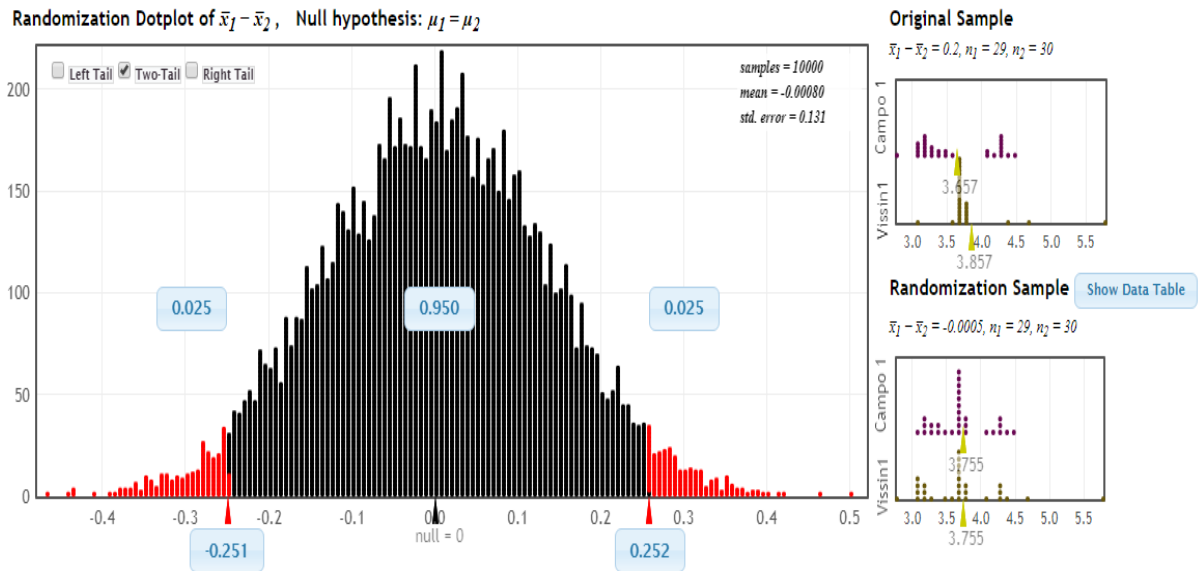


Figura 5.9: Gráfico de Randomization test para la validación peatonal del cruce 1

Fuente: <http://www.lock5stat.com/StatKey/> (2018)



CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTAS DE MEJORA

6.1 Evaluación del escenario actual

El motivo de desarrollo, calibración y validación del modelo es poder extraer información que nos permita hacer un análisis de la circulación actual de los diferentes usuarios de la intersección e identificar los problemas que estos presentan. Con los problemas identificados se presentarán las propuestas de mejoras que incluyan al peatón y los diferentes modos de transporte. La evaluación de la intersección mediante el modelo se realizó mediante los parámetros de eficiencia, para lo cual es necesario definir la demanda de vehicular y peatonal. En las siguientes tablas se muestran los volúmenes vehiculares y peatonales recolectados para la calibración y validación.

Tabla 6.1: Volúmenes vehiculares de calibración y validación

Fuente: Propia

	Calibración (veh/h)	Validación (veh/h)
La Mar Este	392	386
La Mar Oeste	815	801
Urubamba Sur	608	562
Urubamba Norte	343	358
Volumen Total	2158	2107

Tabla 6.2: Volúmenes peatonales de calibración y validación

Fuente: Propia

	Calibración (peatón/h)	Validación (peatón/h)
La Mar Este	120	120
La Mar Oeste	235	275
Urubamba Sur	150	155
Urubamba Norte	135	140
Volumen Total	640	690

En las tablas anteriores se muestra que la demanda vehicular y peatonal usada para la calibración y validación presentan poca diferencia, por lo cual la evaluación de la

intersección se puede efectuar con cualquiera de los dos aforos. Para la evaluación del escenario actual del proyecto se trabajó con los aforos correspondientes a la calibración. En las siguientes líneas se presentan y analizan los parámetros de eficiencia vehicular y peatonal obtenida de las múltiples corridas del modelo.

6.1.1 Evaluación vehicular

- **Longitud de cola**

Uno de los parámetros de eficiencia vehicular que nos indica el tráfico presente en cada una de las calles que concurren a la intersección, es la longitud de cola vehicular. Las mediciones de longitud de cola se realizaron en las cuatro calles de entrada vehicular a la intersección. En el siguiente gráfico se muestran los valores de longitud de cola vehicular promedio obtenidos del modelo.

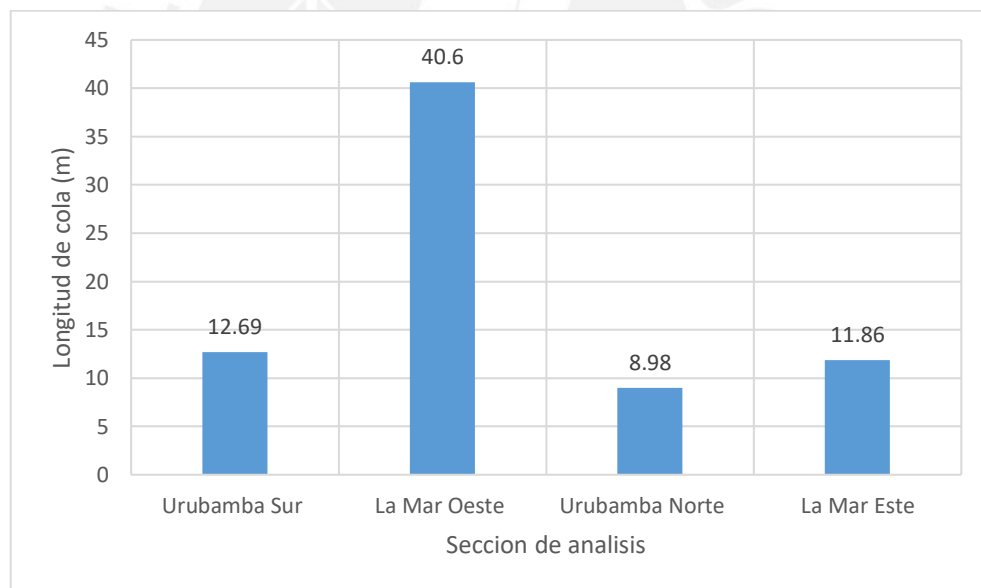


Figura 6.1: Longitudes de colas vehiculares del escenario actual

Fuente: Propia

En el gráfico anterior, se muestra que la vía de ingreso La Mar con dirección Oeste a Este presenta la mayor aglomeración de vehículos. En esta vía la longitud promedio registrada en el modelo es de 40.6m, lo cual equivale a 6 hasta 7 vehículos. La aglomeración vehicular en esta vía de ingreso a la intersección se debe a dos principales causas. Por un

lado, esta vía de ingreso es la que mayor demanda vehicular registra según el aforo vehicular realizado en campo. Por otro lado, en la composición vehicular de esta vía existen camiones de transporte de carga. Estos vehículos hacen que el flujo de tránsito vehicular disminuya, ya que las dimensiones y la falta de control de tráfico impiden un flujo continuo vehicular. En el caso de las otras tres vías de ingreso, se muestran que las longitudes de colas son aceptables, ya que estas vías no superan más de dos vehículos aglomerados.

- **Velocidad de viaje**

La velocidad de viaje vehicular promedio de la red extraída del modelo es de 9.15 km/h. Este valor de velocidad es muy bajo en comparación con otras intersecciones urbanas. La baja velocidad con que conducen los vehículos es porque en esta intersección no existen ningún control de tráfico vehicular y al mal diseño geométrico que esta intersección presenta. Por un lado, los vehículos particulares sobre todo optan por conducir con baja velocidad, por el desorden, la obstaculización entre vehículos y paraderos improvisados de los microbuses. Por otro lado, tanto en la avenida La Mar como en la avenida Urubamba el eje de la calzada se encuentra desalineada, lo cual hace que los vehículos tengan que hacer un mayor recorrido y girar en plena intersección.

- **Demora de viaje**

Este parámetro nos indica la demora promedio de viaje por vehículos, para lo cual se consideran los vehículos que están y dejaron la red en el tiempo de simulación o corrida del modelo. La demora de viaje se genera porque los vehículos no llegan a transitar con la velocidad deseada, lo cual genera tiempos de viajes extras por las interferencias encontradas en la intersección. Los valores de tiempo de viaje promedios extraídos del modelo fueron de 70.13 segundos. Como el valor de la demora de viaje es elevado para una intersección urbana, se infiere que el funcionamiento de la intersección es inadecuado.

6.1.2 Evaluación peatonal

- **Densidad promedio**

Este parámetro nos muestra la relación de peatones en la red con respecto al área destinada al uso de tránsito peatonal. La densidad peatonal extraída del modelo es de 0.22 peatones/m². La magnitud anterior nos indica que a nivel de toda la red el área para uso peatonal es bastante suficiente.

- **Observación directa de la intersección**

En esta sección se presentan los problemas identificados para los peatones. En primer lugar, los cruces peatonales que se encuentran en la intersección se encuentran desalineados, lo cual hace que el peatón recorra mayor longitud y corra mayor riesgo de un accidente. Además, en la avenida La Mar no cuenta con la señalización del cruce, lo cual ocasiona que el peatón cruce de manera temeraria sorteando a los vehículos. En segundo lugar, las rampas de los cruces no tienen un ancho e inclinación adecuado para el tránsito de las personas discapacitadas. Los anchos de las rampas son de 1m y cuentan con una inclinación de 15%. En tercer lugar, las dimensiones y el diseño de las islas de refugio son inadecuadas. En cruce de la avenida La Mar Oeste y la avenida Urubamba tiene una dimensión de 1 m. Además, en la avenida Urubamba Este no existe una isla de refugio para los peatones, en su lugar de la isla este espacio es usado para el estacionamiento para vehiculos. Finalmente, en esta intersección no presenta ningún control de tránsito vehicular y peatonal. Esto generar que los peatones tengan que cruzar de manera temeraria y expongan sus vidas. En la siguiente imagen se muestra y enumera los problemas identificados en la intersección.

Tabla 6.3: Lista de problemas identificados para los peatones

Fuente: Propia

1	Cruceros desalineados
2	Falta de señalización de los cruces
3	Inclinación y ancho de las rampas inadecuadas
4	Diseño y ancho inadecuado de las islas de refugio
5	Falta de isla de refugio
6	Inexistencia de control de tráfico vehicular y peatonal



Figura 6.2: Identificación y enumeración de problemas encontrados para los peatones

Fuente: Propia

6.2 Propuesta de mejora

Los resultados de la evaluación y observación directa de los usuarios de la intersección muestran que esta no cuenta con un diseño adecuado. Por ello, en esta sección se presenta un rediseño de la intersección que sea segura, flexible, multimodal y accesible para las personas más vulnerables.

- **Dimensionamiento de las veredas y carriles**

El ancho de las aceras y carriles delimitan la geometría de la intersección, por ello estos se deben definir en conjunto con los demás elementos de la red. Por un lado, en el área de estudio los carriles cuentan con un ancho de 3 metros en todas las calzadas que conforman la intersección. El valor del ancho que recomienda la guía NACTO (2013) en el ancho de los carriles de la vía urbana es de 3 metros, ya que al darle mayor valor al ancho de las vías se estaría aumentando la longitud del cruce e incentivando a que el vehículo transite con mayores velocidades. Por ello, en el rediseño de la intersección se mantiene este valor de la dimensión del carril. Por otro lado, las aceras son espacios públicos que sirven para el tránsito y acceso a la ciudad. Las aceras deben promover y alentar la caminata, para ello estas deben ser seguras, accesibles y bien mantenidas. En el proyecto de estudio, los anchos de las aceras varían entre 1.5 y 2.4 metros. En la guía NACTO (2013) se recomienda un ancho mínimo efectivo de la acera de 2 metros. En la intersección existen mucho comercio y en la mayoría de las viviendas se colocan letreros que reducen el ancho

efectivo de la tránsito peatonal. Por ello, en el rediseño se opta por tomar un valor de 3 metros.

- **Alineamiento de cruces y ejes de las vías.**

El diseño de las intersecciones debe ser lo más seguras y eficientes, ya que en este espacio convergen los vehículo y peatones. Por ello, el diseño de las intersecciones debe ser lo más compacto, ya que estos disminuyen el tránsito en las zonas de conflicto y aumentan la visibilidad de todos los usuarios. En el proyecto de estudio los ejes de las vías están desalineadas en ambas avenidas que conforman la intersección, lo cual genera espacios de pavimentos adicionales que alientan al conductor a aumentar la velocidad y cometer errores de conducción. Asimismo, el hecho que las vías estén desalineadas hacen que los peatones recorran mayor longitud en la zona de conflicto, ya que los cruces peatonales se encuentran desalineados por este mal diseño que presenta la intersección. Debido, a los problemas identificados en el rediseño se procedió a linear los ejes de las vías y los cruces. Además, la ubicación de los cruces fue tal que lleguen de manera perpendicular a los martillos y faciliten el tránsito normal de las personas más vulnerables como los niños, ancianos o personas discapacitadas.

- **Modificación de rampas peatonales e islas de seguridad**

El diseño de la intersección deberá ser inclusiva, por lo cual en la propuesta de mejora el ancho de las rampas y la inclinación fueron pensadas para el tránsito de un peatón con sillas de ruedas. Por un lado, los anchos de las rampas medidas en el campo son de 1 metro, lo cual es valor inadecuado que no permite el tránsito en doble sentido de una persona en silla de ruedas y otra persona sin discapacidad. En el caso del flujo de doble sentido descrito en el caso anterior, el ancho mínimo que debería de tener debería de ser de 1.5 metros. Por otro lado, la pendiente de las rampas que se registraron en la visitan tiene 15% de inclinación, lo cual es un mayor al 10% exigido por la norma A.120. En el rediseño de la intersección se planteó una rampa con un ancho de 3 metros y una inclinación de 10%.

Las islas de seguridad permiten reducir el tiempo exposición del peatón en la zona de conflicto con los vehículos. La NACTO recomienda que las islas de seguridad sean a nivel

y que tengan un ancho de 3m. En la intersección existen dos islas de seguridad a nivel del pavimento, pero presentan un ancho de 1 metro. Además, en el cruce de la avenida La Mar Este no existe ninguna isla de seguridad y en su lugar se estacionan vehículos. La falta de isla de seguridad hace que el peatón cruce la vía esquivando los vehículos estacionados y reduce la visibilidad del peatón y el conductor. En la propuesta de rediseño se plantea hacer islas a nivel del pavimento con ancho de 3 metros e implementación de bolardos en ellas.

- **Implementación de control de tráfico y señalización**

La intersección actual no cuenta con un control de tráfico, por lo que el funcionamiento de la red no es nada eficiente y seguro tanto para los vehículos y peatones. La implementación de un control de tráfico mediante los semáforos permite reducir los conflictos entre vehículos y/o peatones, ya que separa temporalmente los movimientos. En la propuesta de mejora las fases consideradas para los vehículos y peatones son de dos para cada uno de los usuarios. El ciclo de semáforo adoptado debe ser el más corto posible, pero a la vez debe permitir que los peatones más vulnerables puedan cruzar el cruce de manera holgada. La duración del ciclo de semáforo adoptado para el proyecto es de 85 segundos. En la Figura 6.3: *Ciclo y fases de los semáforos* se muestra el ciclo y los tiempos de cada fase planteados para la propuesta de mejora.

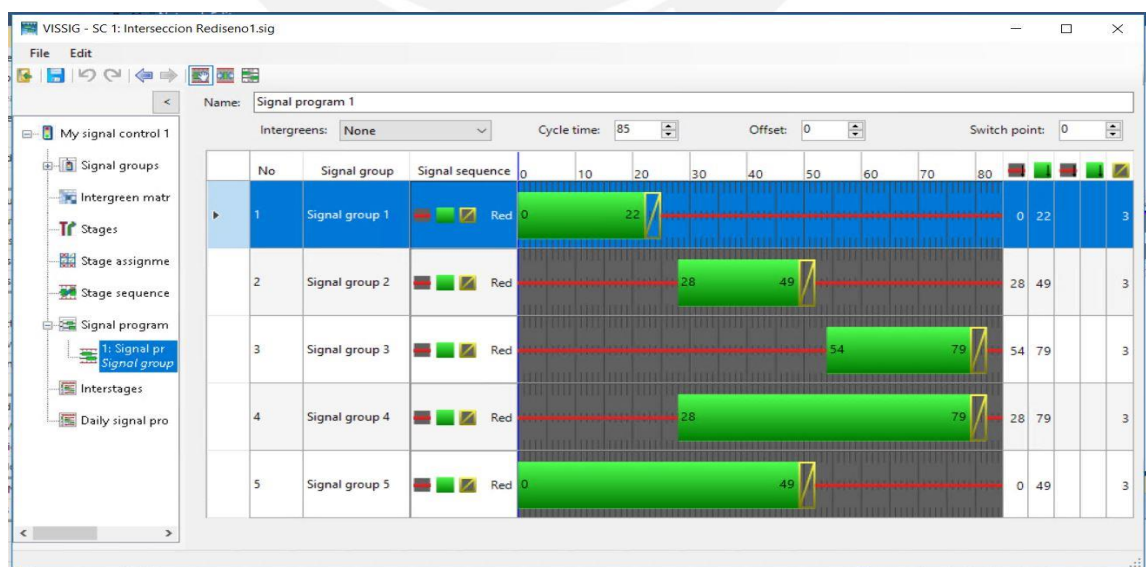


Figura 6.3: Ciclo y fases de los semáforos propuestos

Fuente: Propia

La señalización vial es medio de comunicación a través del cual se informa, regula y organiza el tránsito en una intersección. Las señalizaciones viales se pueden dividir en señales verticales y horizontales. En el proyecto se plantea implementar las siguientes señales verticales.



Figura 6.4: Señalización de reglamentación contempladas en el rediseño

Fuente: Propia



Figura 6.5: Señalización informativa contemplada en el rediseño

Fuente: Propia

Las señalizaciones horizontales se muestran en la superficie de las calzadas, mediante usos de pinturas o relieves. Las marcas horizontales planteadas para el rediseño de la intersección se mostrarán más adelante.

- **Implementación de paraderos de buses**

Actualmente, en la intersección no existe ningún paradero diseñado, lo que incentiva a los buses a estacionarse en áreas improvisados. La avenida Urubamba en ambas direcciones es la que registra la mayor circulación de buses, la cuales llegan con una frecuencia de 1 bus cada 3 minutos en la hora de la máxima demanda vehicular. Por ello, en la propuesta de rediseño se plantea la implementación de tres paraderos, dos en la avenida Urubamba y una en la avenida la Mar con dirección al norte. El ancho del carril para el paradero planteado es de 3 metros y a una distancia de 21 metros de la intersección, estos valores cumplen con los valores mínimos presentados en REDEVU. Es importante, verificar que

la longitud de alejamiento del paradero respecto a la intersección es adecuada mediante el modelo desarrollado.

- **Creación de giros solo a la izquierda**

Los giros a la izquierda son los principales problemas que ocasionan el congestión en las vías cuando estos no están separados en fases mediante los semáforos. En la avenida Urubamba con dirección hacia el Este , existe una cantidad considerable de vehículos que realizan esta maniobra de giro a la izquierda. Dentro de la composición de vehículos que realizan este giro, los cousters son los principales vehículos. Frente a ello se vio por conveniente la creación de un carril de giro que perite solo el giro al izquierda, con lo cual se mejora la fluidez y seguridad vial de los usuarios.

En las siguientes imágenes se presenta el plano de la situación actual y del rediseño.

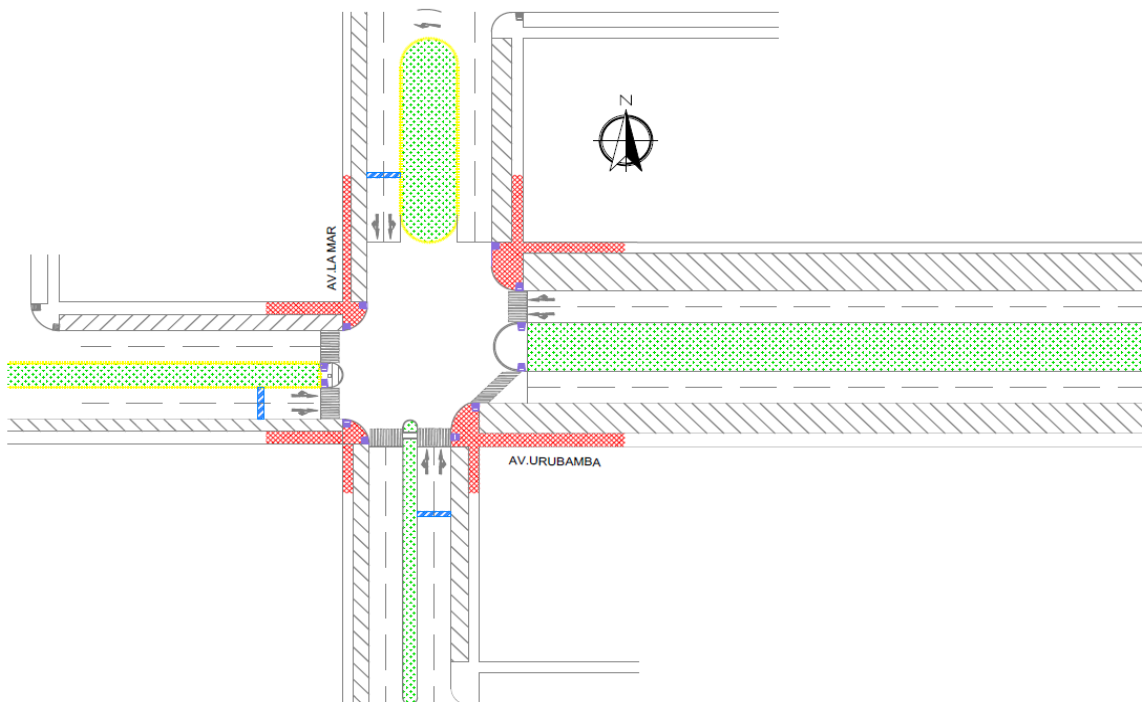


Figura 6.6:Plano de la intersección actual

Fuente: Propia

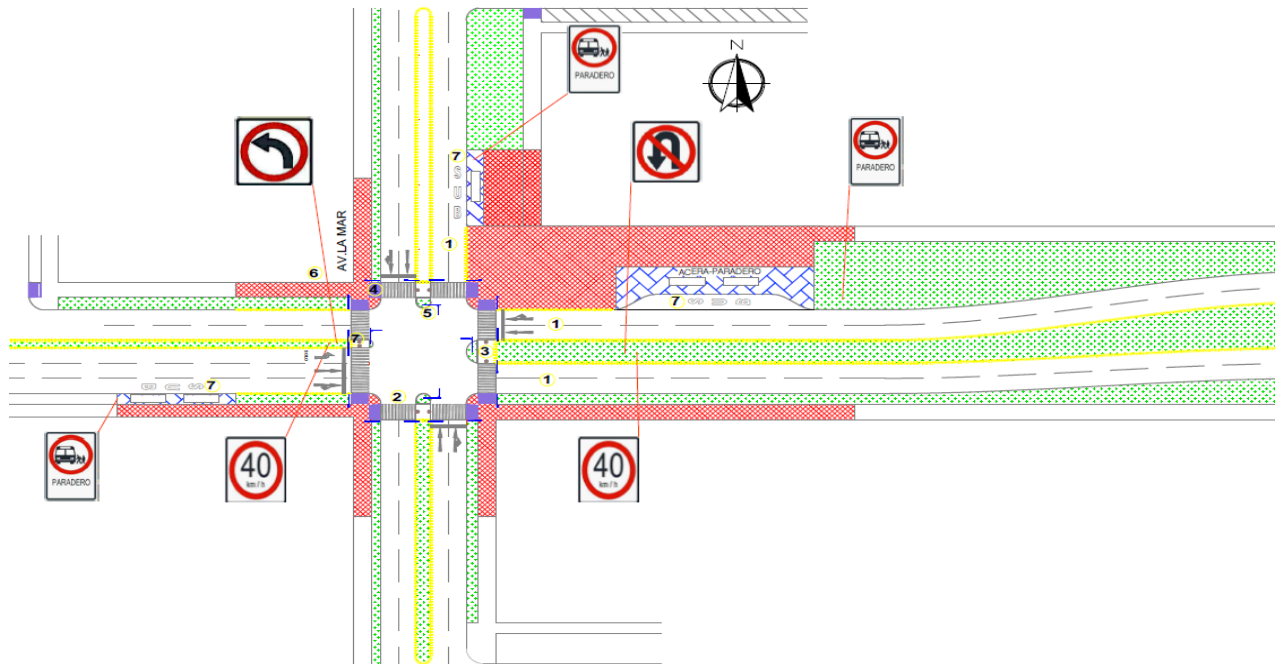


Figura 6.7: Plano de rediseño de la intersección

Fuente: Propia

Tabla 6.4: Lista de mejoras planteadas en el área de estudio

Fuente: Propia

CUADRO DE MEDIDAS DE MEJORA	
1	Cambio de eje de la calzada
2	Alineamiento de los crueros
3	Creación de islas de refugio a nivel de la superficie de la vía
4	Rediseño de las rampas
5	Implementación de semáforos peatonales y vehiculares
6	Ampliación de las aceras peatonales
7	Creación de paraderos de buses
8	Colocación de bolardos en la islas de refugio
9	Creación de carril de giro a la izquierda

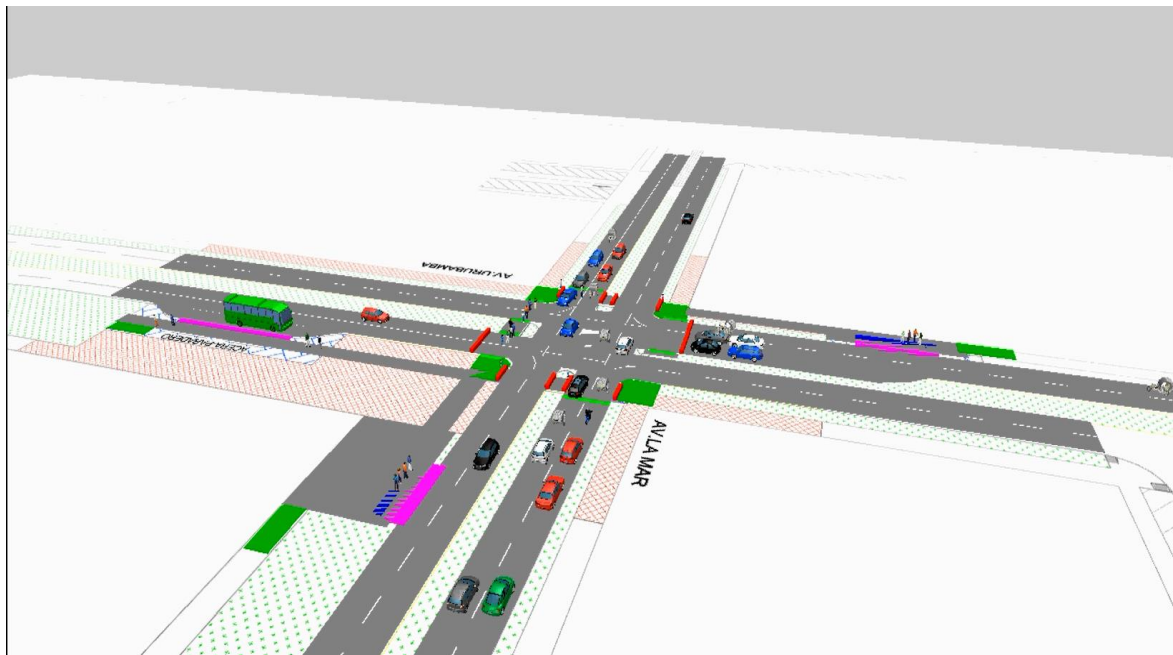


Figura 6.8: Modelo del rediseño de la intersección.

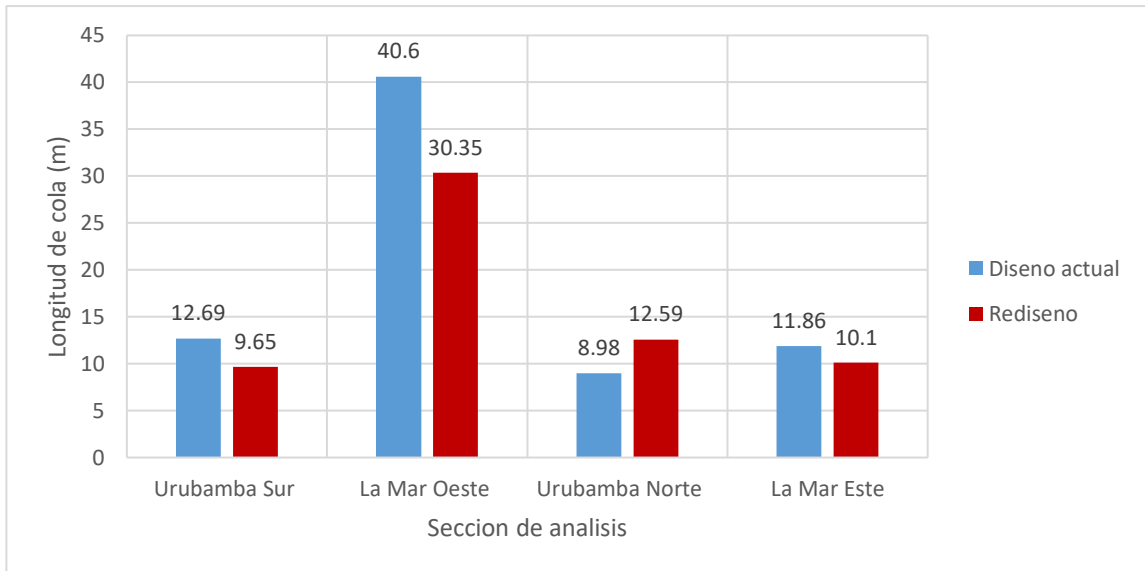
Fuente: Propia

6.3 Análisis estadístico de la propuesta de mejora

Con los problemas identificados y las propuestas de mejoras planteadas se modela el rediseño en el Vissim. El modelo del rediseño ya desarrollado se usó para evaluar cuantitativamente las mejoras que ofrece esta propuesta de mejora.

- **Longitud de cola**

Los resultados de la situación actual mostraron que la vía de ingreso ubicada en la avenida La Mar con dirección de flujo de Este a Oeste registran la mayor longitud de cola. Con la propuesta de rediseño se llegó a reducir este valor en un 25% del escenario actual. En el siguiente grafico se muestra la variación que ha experimento la longitud promedio de colas vehiculares en cada una de las vías de ingreso de la intersección.



La reducción de la longitud de cola que presenta a la vía de ingreso de avenida La Mar con dirección de Este a Oeste se evaluara estadísticamente. El análisis estadístico contempla el planeamiento de la hipótesis nula, alternativa y el uso de la herramienta randomization test. En la siguiente imagen se muestra el resultado del análisis estadístico.

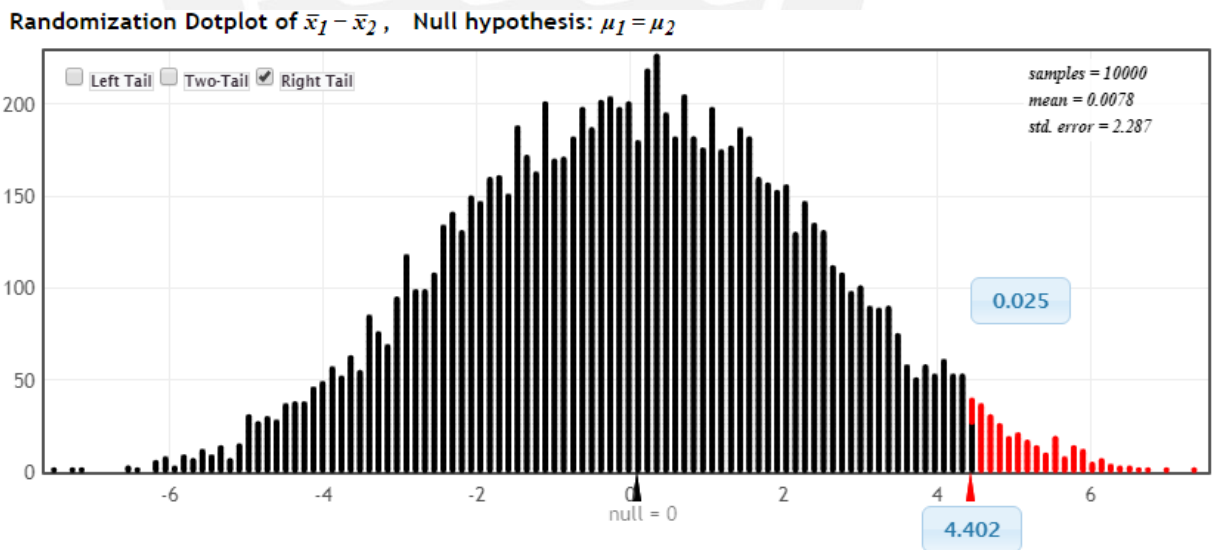


Figura 6.9: Análisis de reducción de la longitud de cola

Fuente: <http://www.lock5stat.com/StatKey/> (2018)

La diferencia de medias de longitud de colas del diseño actual respecto de la propuesta es de 9.14, con la cual se rechaza la hipótesis nula. Es decir, hay evidencia de que se redujo la longitud de cola con el rediseño planteado en la intersección.

- **Velocidad de viaje**

La velocidad promedio de viaje de la toda la red extraída del modelo de rediseño es de 14.46 km/h, lo cual es valor mayor a la de la situación actual. Este incremento de velocidad es indicador que la red es más eficiente. En la siguiente imagen se muestra los resultados de la evaluación estadística.

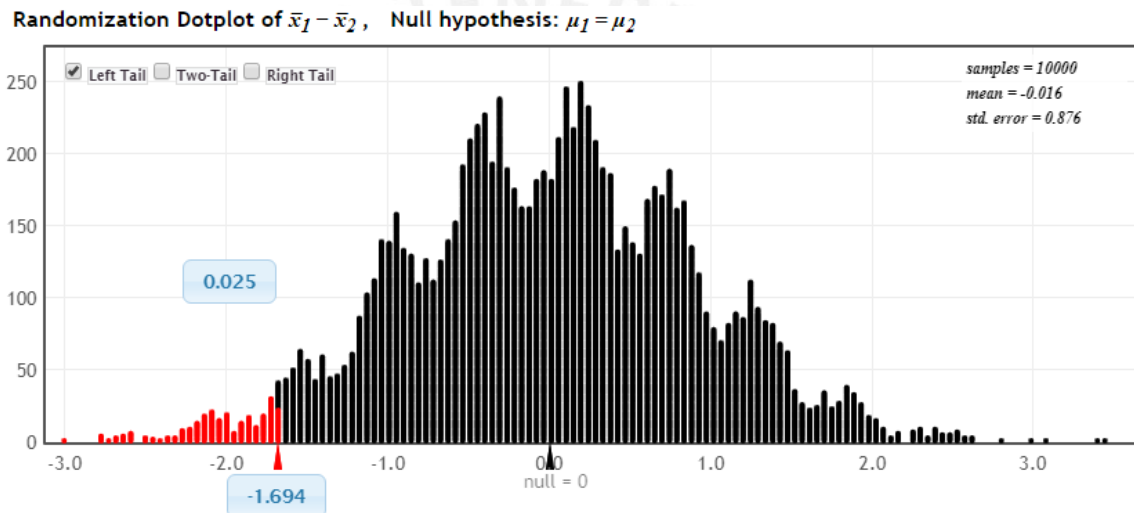


Figura 6.10: Análisis de la velocidad de viaje de la red

Fuente: <http://www.lock5stat.com/StatKey/> (2018)

La diferencia de medias de la velocidad de viaje en la situación actual respecto al rediseño es de -5.36, con la cual se rechaza la hipótesis nula. Es decir, hay evidencia de que la velocidad de viaje de la red en el rediseño se ha incrementado.

- **Demora de viaje**

El rediseño de la intersección muestra una reducción de 50 % en el tiempo demora de viaje en la red respecto a la situación actual. Esta reducción nos indica que la red presenta un mejor funcionamiento. En las siguientes imágenes se muestra el resultado de la evaluación estadística.

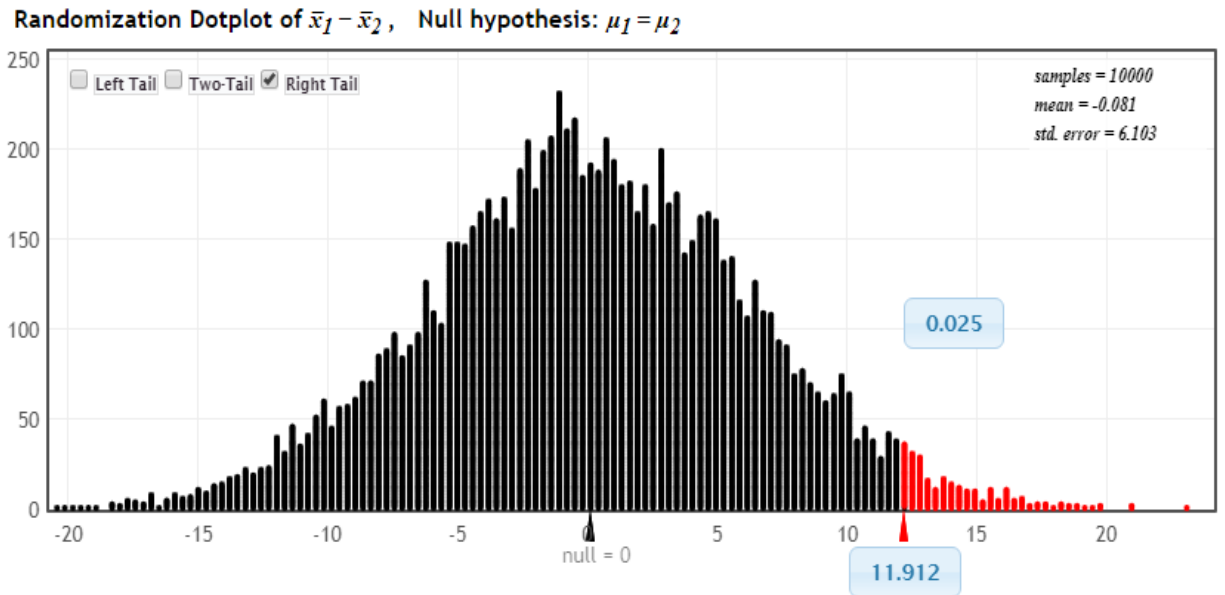


Figura 6.11: Analisis del demora del viaje en la red

Fuente: <http://www.lock5stat.com/StatKey/> (2018)

La diferencia de medias de tiempo de demora de viaje en la situación actual respecto al rediseño es de 35.51 segundos, con la cual se rechaza la hipótesis nula. Es decir, hay evidencia de que se redujo la demora de tiempo de viaje promedio en la red.

- **Tiempo de viaje peatonal**

Este parámetro nos indica el tiempo de viaje promedio que el peatón requiere para desplazarse en la red. El tiempo de viaje promedio el peatón extraído de la situación actual es de 53.16 segundos, mientras que en el del rediseño es de 32.14 segundos. La disminución del tiempo de viaje en la propuesta de mejora se debe a que en el rediseño las longitudes de desplazamiento en los cruceros son menores a la de la situación actual, lo cual se logró haciendo la intersección más compacta, cambiando el eje de la calzada y alineando los cruceros peatonales. Asimismo, al no contar con un control de tráfico vehicular ni peatonal, los peatones se demoran más para cruzar las intersecciones en diseño actual. En las siguientes imágenes se muestra el resultado de la evaluación estadística.

Randomization Dotplot of $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$, Null hypothesis: $\mu_1 = \mu_2$

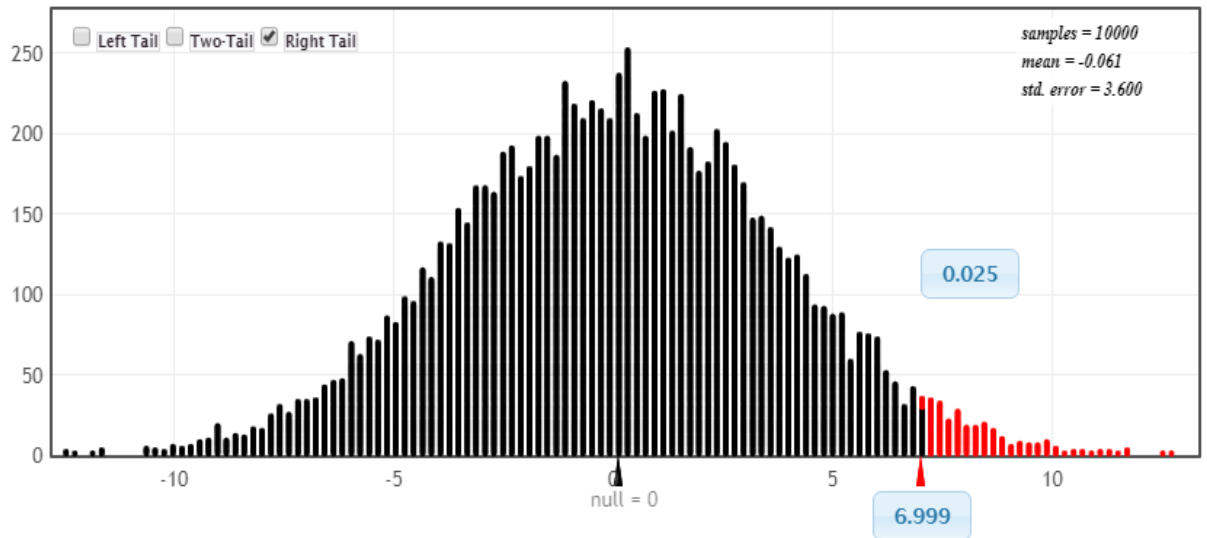


Figura 6.12: Análisis del tiempo de viaje peatonal

Fuente: <http://www.lock5stat.com/StatKey/> (2018)

La diferencia de medias del tiempo de viaje peatonal en la red de la situación actual respecto al rediseño es de 20.84 segundos, con lo cual se rechaza la hipótesis nula. Es decir, hay evidencia de que los tiempos de viajes que los peatones emplean para desplazarse en la red a disminuido.

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Las calles son el mayor espacio público que cuentan las ciudades metropolitanas y las intersecciones entre ellas son un punto crítico, ya que en ella converge los movimientos de vehículos, peatones y ciclistas. Por ello, en el presente trabajo se planteó realizar un rediseño de la intersección que sea segura, flexible, eficiente y accesible para las personas más vulnerables.

Por un lado, el diseño actual la intersección cuenta con exceso de pavimento para los vehículos en la zona de conflicto, lo que incrementa la inseguridad y los tiempos de viajes para los usuarios. Los espacios muertos que existen la intersección se lograron eliminar al alinear los ejes de las calzadas de la avenida Urubamba y La Mar. Por otro lado, el escenario actual no es nada inclusivo para los peatones más vulnerables, ya que los diseños de las rampas y las islas de refugio no reúnen las condiciones para el tránsito de las personas en silla de ruedas. El ancho que se adoptó para las rampas son de 3m con una inclinación de 10 %. Las islas de refugio planteadas en el rediseño cuentan con un ancho de 3m y son a nivel de la superficie del pavimento. En las islas de seguridad se implementó bolardos para impedir que vehículos motorizados empleen este espacio para el tránsito. Asimismo, con el fin de que los peatones estén expuesto el menor tiempo posibles en la zona de conflicto se optó por alienar los cruceros, de tal manera que estén lleguen de manera perpendicular los martillos de las aceras.

Por un lado, el ancho de las aceras en la intersección actual varía entre 1.5 y 2.4 metros, lo cual se ve reducido por los letreros y accesorios que en las fachadas de la vivienda se ubican. La zona de estudio tiene continua actividad comercial durante el día, por lo cual se adoptó aumentar el ancho de las aceras a 3 metros y crear un barreira de seguridad vial mediante la implementación de área verde. Por otro lado, la intersección actual no cuenta con paraderos de buses, lo que genera que estos vehículos se estacionen en áreas inadecuadas, que impiden el flujo continuo de los vehículos y reducen la visibilidad entres los usuarios. Por último, en la intersección actual no cuenta con un control de tráfico para los usuarios, lo que incrementa la posibilidad de accidentes entre vehículos y/o peatones.

Los múltiples conflictos que presentan la intersección entre los usuarios también hace que el flujo vehicular y peatonal no sea continuo. En la propuesta de mejora se plantea la implementación de semáforos de tiempos fijos. Las fases consideradas son dos con un ciclo de 60 segundos. Los semáforos permiten reducir los conflictos, ya que separa temporalmente los movimientos de los vehículos.

Las propuestas de mejoras planteadas en toda intersección se debe modelar antes de implementación física en el área de estudio. El uso de estos modelos permite evaluar cualitativamente las características que presenta intersección. En el proyecto, el modelado de intersección de la situación actual y del rediseño se realizó mediante los programas Vissim y Viswalk 8.0.

La propuesta de rediseño planteada muestra una mejora en el funcionamiento y eficiencia de la red. Por un lado, los beneficios que presentan los peatones es la reducción del tiempo de viaje que emplean para desplazarse a través de la red. En el rediseño los tiempos de viajes registrados se redujeron de 53.16 a 32.14 segundos. Por otro lado, los beneficios que muestran los vehículos son la reducción de la longitud de cola en la vía de ingreso más crítica, reducción de la demora del tiempo de viaje de la red y aumento de velocidad de viaje. Del resultado del modelo se muestra que la longitud de cola en la avenida La Mar con dirección de Este a Oeste se redujo de 40.6 a 30.35 metros. Asimismo, existe una reducción significativa en la demora del tiempo de viaje de la red de 70.13 a 34.62 segundos.

7.2 Recomendaciones

Se recomienda que el registro de las demandas vehiculares y peatonales se hagan mediante filmaciones para evitar posibles errores de codificaciones en el modelo, ya que estos modelos son muy sensibles a esta variable. Además, se sugiere hacer un levantamiento a detalle de la zona de estudio porque al igual que la demanda, los anchos y características geométricas de la intersección pueden modificar en gran medida los resultados que estos modelos nos entrega.

REFERENCIAS

De Porcellinis, S., Oliva, G., Panzieri, S., & Setola, R. (2009, March). A holistic-reductionistic approach for modeling interdependencies. In International Conference on Critical Infrastructure Protection (pp. 215-227). Springer, Berlin, Heidelberg.

Aquiles, G. (2016). Los sistemas y el enfoque sistémico.

Paez, F. E., Urriza, J. M., Orozco, J. D., & Buckle, C. (2011). Un modelo de eventos discretos para la simulación de sistemas de tiempo real. In XVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación.

Tarifa, E. E. (2001). Teoría de modelos y simulación. Facultad de Ingeniería, Universidad de Jujuy.

Dallos, J. J. L., López, G. M. A., & Galeano, L. M. L (2016). Estado del Arte para el Modelo Estocástico para la optimización de las operaciones en el sistema de transporte masivo Metrolínea en la ciudad de Bucaramanga1.

Burghout, W. (2004). Hybrid microscopic-mesoscopic traffic simulation (Doctoral dissertation, KTH).

FHWA - Federal Highway Administration (2004). Traffic Analysis Toolbox Volumen III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software.

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

Gallardo, J (2011). *Modelos de simulación*. [Fecha de consulta: 4 de mayo]. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/59825248/Modelos-de-simulacion>

Pimentel, J. (2014). *Modelo determinístico y probabilístico para la escala de medición de personas* [Fecha de consulta: 4 de mayo]. Recuperado de: <http://es.slideshare.net/angelfarrugia/deterministico-y-probabilistico-36982154>

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

Twarogowska, M., Goatin, P., & Duvigneau, R. (2014). Comparative study of macroscopic pedestrian models. *Transportation Research Procedia*, 2, 477-485.

“ITS and Traffic Management, ser”. Handbooks in Operations Research and Management Science. Vol. 14, Ch. 11, 2007, pp. 715–774.

Robles, D., Ñañez, P., & Quijano, N. (2009). Control y simulación de tráfico urbano en Colombia: Estado del arte. *Revista de ingeniería*, (29), 59-69.

PTV-Planung Transport Verkehr (2011). VISSIN 5.30-05 User Manual. Karlsruhe, Germany

Fernández, R. (2011). *Elementos de la Teoría del Tráfico Vehicular*. Santiago de Chile: Universidad los Andes.

Brackstone, M., & McDonald, M. (1999). Car-following: a historical review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2(4), 181-196.

Li, Y. & Sun, D. (2012). Microscopic car following model for the traffic flow: the state of the art. *Journal of Control Theory and Applications*, 10(2), 133-143

Dirk Helbing & Péter Molnár (1995). Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review E*, 51:4282–4286

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

NACTO., I. (2013). *Urban street design guide*. Island Press/Center for Resource Economics.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2009). *Recomendaciones para el diseño de elementos de infraestructura vial urbana*. Santiago de Chile

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2016). *Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras*. Lima

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2014). Norma A.120: *Accesibilidad para personas con discapacidad y de las personas adultas mayores*. Lima

Organización Mundial de la Salud (2014). OMS estima que 7 millones de muertes ocurren cada año debido a la contaminación atmosférica. Ginebra. [Fecha de consulta: 20 de setiembre].

Recuperado de:

https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=135&lang=es

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018). *Estadísticas Ambientales*. [Fecha de consulta: 20 de setiembre]. Recuperado de:

<https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/estadisticas-ambientales.pdf>

Mariana Alegre Escorza (2016). *Transporte Urbano: ¿Cómo resolver la movilidad en Lima y Callao?*. Lima. Recuperado de:

https://www.cies.org.pe/sites/default/files/investigaciones/dp_transporte_urbano_sep.pdf

Fundación Transitemos (2020). Ciudades mas seguras mediante el diseño. Lima.

Recuperado de:

<https://publications.wri.org/citiessafer/es/>

Organización Mundial de la Salud (2020). Las 10 principales causas de defunción.

Recuperado de:

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>

Observatorio Nacional de Seguridad Vial (2021). Boletín estadístico de siniestralidad vial, Primer semestre 2021. Recuperado de:

<https://www.onsv.gob.pe/boletin-estadistico-de-siniestralidad-vial-primer-semester-2021/>

Eduardo Alcántara Vasconcelos (2010). Análisis de la movilidad urbana Espacio, medio ambiente y equidad. Bogotá. Recuperado de:

https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/414/An%c3%a1lisis_de_la_movilidad_urbana._Espacio%2c_medio_ambiente_y_equidad.pdf?sequence=7&isAllowed=y

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Seguridad vial. Recuperado de:

<https://www.pvn.gob.pe/seguridad-vial/>

Fundación Transitemos (2017). Aspectos Negativos de la Congestión Vehicular Impacto social y económico. Lima

Fundación Transitemos (2018) . Transporte Urbano Lima Y Callao. Limas

Alberto Bull (2003). Congestión de Transito: El problema y como enfrentarlo. Santiago de Chile. Recuperado de:

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/27813/6/S0301049_es.pdf

Observatorio Ciudadano Lima Como Vamos (2018) . Encuesta Lima Como Vamos 2018: IX Informe de percepción sobre la calidad de vida en Lima Y Callao. Lima.

Recuperado de:

<http://www.limacomovamos.org/cm/wp-content/uploads/2018/12/EncuestaLimaComoVamos2018.pdf>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



ANÁLISIS Y REDISEÑO DE LA INTERSECCIÓN DE LA AVENIDA

LA MAR CON LA AVENIDA URUBAMBA

ANEXOS

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Jordy Walter Infanzon Molleda

ASESOR:

Félix Israel Cabrera Vega

Lima, setiembre de 2021

Tabla de contenido

ANEXO N°1 : LISTA DE CHEQUEO GENERAL	3
ANEXO N° 2: PLANO DEL DISEÑO ACTUAL	14
ANEXO N°3: PLANO DE REDISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL	15



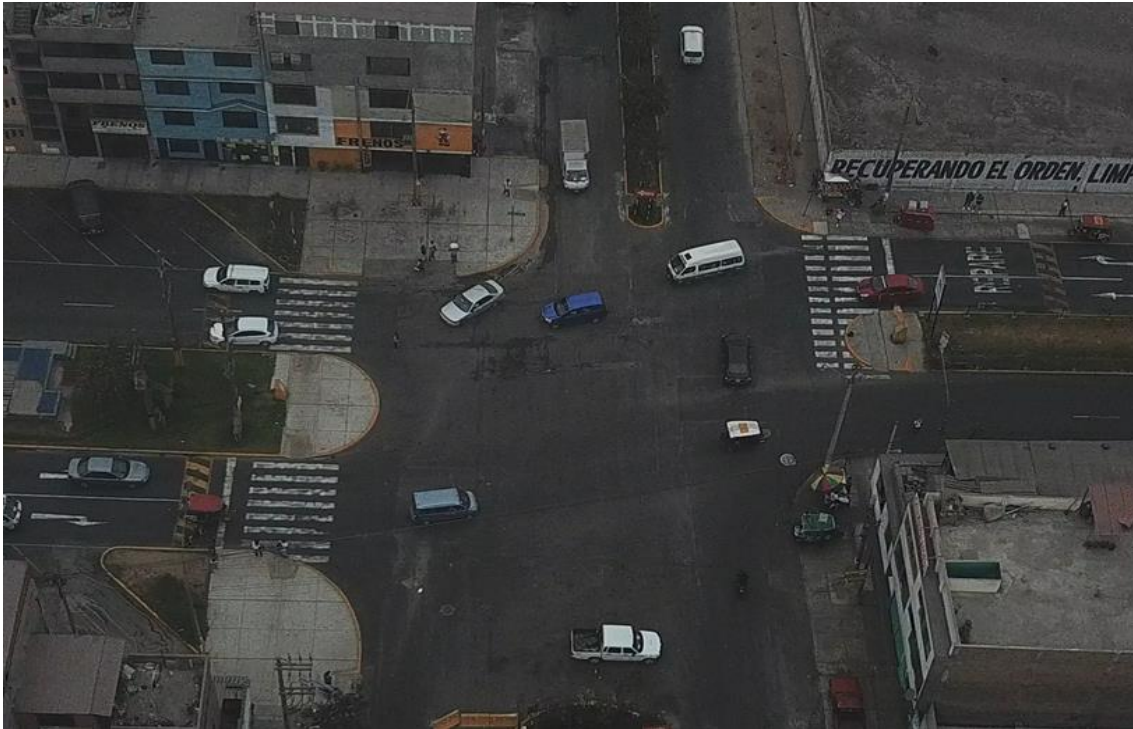
ANEXO N°1 : LISTA DE CHEQUEO GENERAL

LISTADA DE CHEQUEO GENERAL A LA INTERSECCION VIAL	
Ítems de evaluación	Descripción
Aspectos generales	En la intersección se puede observar una composición vehicular variada y cambiante. En horas de la madrugada, se registró un tránsito principalmente por vehículos pesados. Además, se visualizó que las medidas de gestión de tránsito, el diseño geométrico y las señalizaciones no eran eficientes. (Ver Foto 01 y 02)
Entorno de la vía	En la intersección existe áreas de llegada/salida de peatones que están obstaculizados por vehículos estacionados, lo cual genera inseguridad por la visibilidad. Además, en una de las esquinas existen un quiosco emolientero y vehículos estacionados que disminuyen visibilidad y el ancho del carril de los vehículos que giran a la izquierda. (Ver Foto 03,04 y 05)
Trabajos Temporales	A unos dos cuadras de zona de estudio se está ejecutando la Obra vial Línea 2 de Metro de Lima, es por ello que en la zona de estudio existen señalización vertical preventiva de obras temporales. Asimismo, la cercanía de la intersección a la zona de trabajo ha generado que algunos vehículos pesados transiten por la intersección en un horario fijo (menor demanda). (Ver Foto 06, 07)
Reductores de velocidad	En Los ingresos de la intersección se ha visualizado reductores de velocidad tipo resalto circular. Aparte de ello, se ha registrado un reductor mas en la avenida Urubamba con dirección hacia el sur, debido a que en esta vía existe estacionamientos.
Clasificación de las vías	La intersección se encuentra conformada por dos avenidas colectores. Estas vías no presentan una adecuada operatividad principalmente por una deficiente gestión del tránsito y mal diseño geométrico.
Alineamiento y sección transversal	Las avenidas no se encuentran alineadas horizontalmente, lo que obliga a que los vehículos tengan que realizar giros en una zona de conflicto de los diferentes usuarios. Estas maniobras generan inseguridad vial tanto para los vehículos como para los peatones. (Ver Foto 08)
Estado de los pavimentos	Las calzadas de ingreso de la avenida La Mar se encuentran deteriorados. La vía con dirección hacia el sur es la que presenta mayores irregularidades en la superficie de rodadura. Estas deformaciones generan inseguridad, ya que los vehículos pueden perder el control al pasar por ellos, sobre todo los de dos ruedas (ASV, 2003) (Ver Foto 09 y 10)

Islas peatonales	La intersección cuenta con tres problemas en relación a las islas peatonales. Uno de ellas, es que en la avenida La Mar no se ha terminado por definir ni delimitar la isla peatonal, lo que genera inseguridad a los peatones. Otro de los problemas, es que la vía La Mar cuenta con una isla peatonal de dimensiones muy reducidas, lo que obliga a que las personas crucen por encima del área verde. Finalmente, en la avenida Urubamba se observó que la isla peatonal no se encuentra alineada a el cruce y que presenta un mal diseño, es por ello que algunos peatones optan por cruzar la vía sin usar la isla de refugio. (Ver Foto 11, 12 y 13)
Señalización de tránsito	Tanto en la señalización vertical como horizontal en la zona de estudio presentan deficiencias. Por un lado, en uno de las vías de ingreso no se encontró el letrero regulador de tránsito, ceda el paso, ni el permitido estacionarse. Así mismo, no se observó la señalización preventiva de proximidad de reductor de velocidad. Por otro lado, en las calzadas de ingreso de la avenida La Mar, las demarcaciones horizontales se encontraban muy desgastadas. (Ver Foto 14 y 15)
Virajes del tránsito	En la intersección los vehículos realizan giros a la izquierda y en “u” de forma temeraria. Estos movimientos generan en la intersección congestión vehicular y inseguridad vial. (Ver Foto 16 y 17)
Regulación de tránsito	En la zona de estudio se observó una deficiente regulación de tránsito de vehículos y peatones. (Ver Foto 18)
Iluminación	La iluminación en la intersección cumple con lo básico. (Ver Foto 19)
Vallas metálicas	En la intersección existen cuatro medianas, de las cuales dos de ellas cuentan con rejas metálicas. Estos elementos están descuidadas, pero aún siguen cumpliendo su objetivo de canalizar el flujo por los cruces peatonales. (Ver Foto 20 y 21)
Rutas y puntos de cruce para peatones	La línea de deseo paso de los peatones es distinta a los alineamientos de los cruces peatonales. (Ver Foto 22 y 23)

Paraderos de transporte público

En la intersección no cuenta con paraderos de buses definidos. Sin embargo, se observó que en las esquinas de ingreso de la avenida Urubamba los microbuses se paran con regularidad para dejar o subir a los pasajeros. Esto genera inseguridad a los peatones que cruzan y congestionan la vía. (Ver Foto 24,25 y 26)



F01 01: Aspectos generales

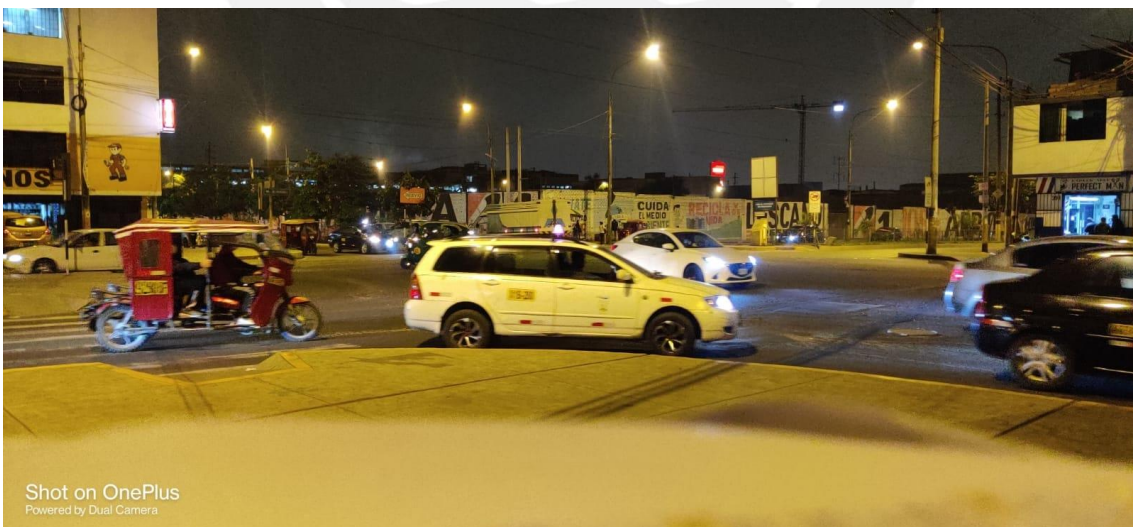


Foto 02: Aspectos generales



Shot on OnePlus
Powered by Dual Camera

Foto 03: Entorno de la vía



Shot on OnePlus
Powered by Dual Camera

Foto 04: Entorno de la vía



Shot on OnePlus
Powered by Dual Camera

Foto 05: Entorno de la vía



Foto 06: Trabajos Temporales



Foto 07: Trabajos Temporales

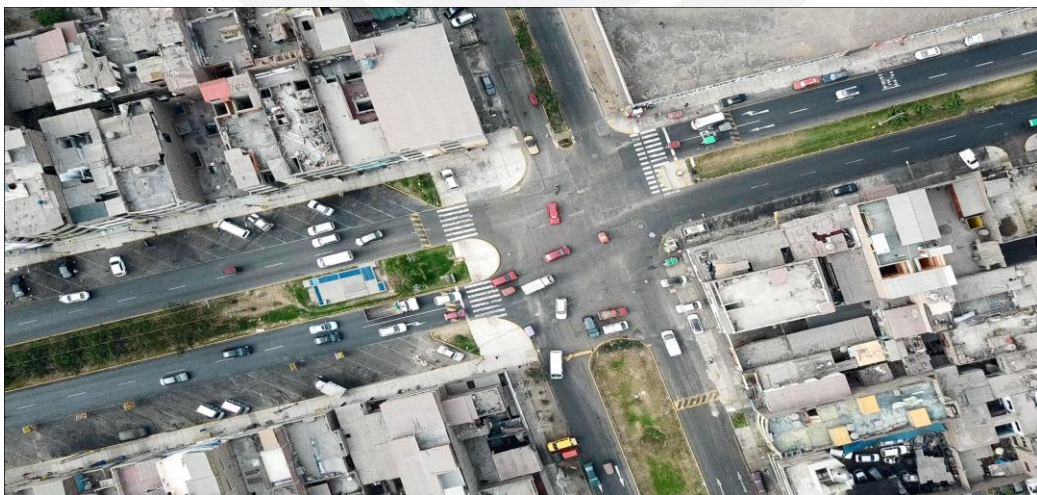


Foto 08: Alineamiento y sección transversal



Foto 09: Estado de los pavimentos



Foto 10: Estado de los pavimentos



Foto 11: Islas peatonales



Foto 12: Islas peatonales

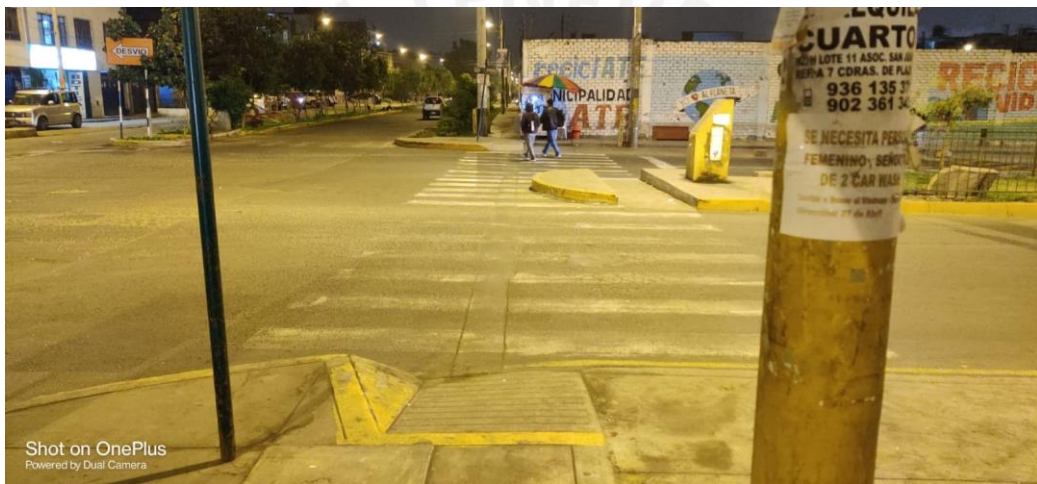


Foto 13: Islas peatonales

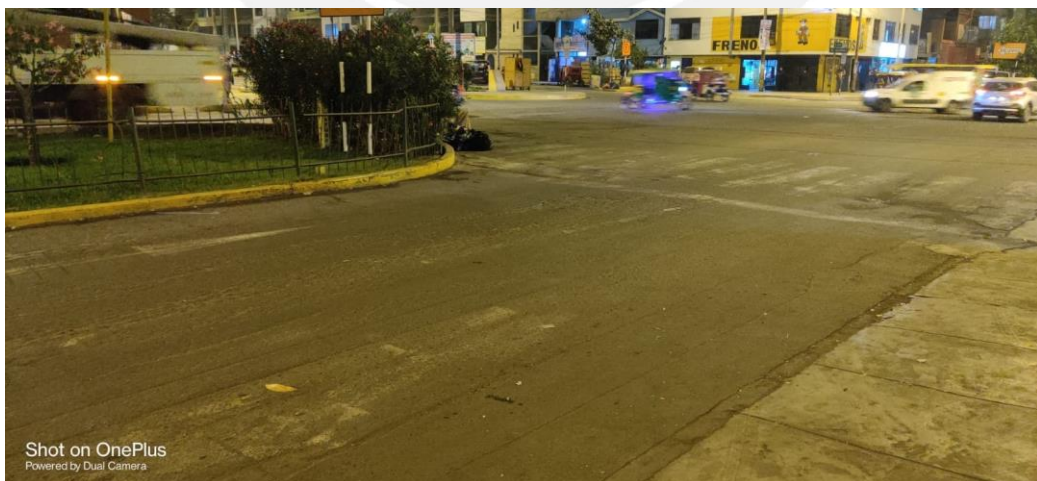


Foto 14: Señalización de tránsito



Foto 15: Señalización de tránsito



Foto 16: Virajes del tránsito



Foto 17: Virajes del tránsito



Foto 18: Regulación de tránsito

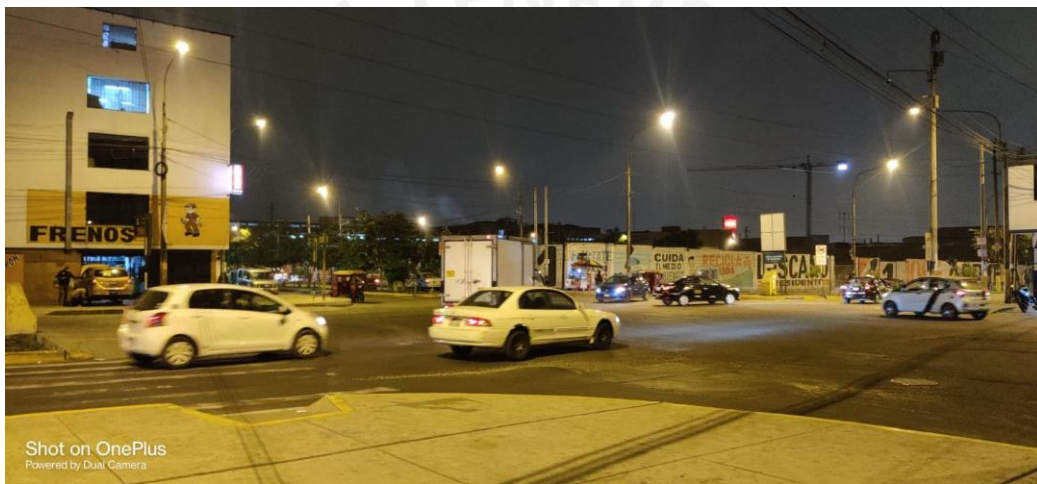


Foto 19: Iluminación

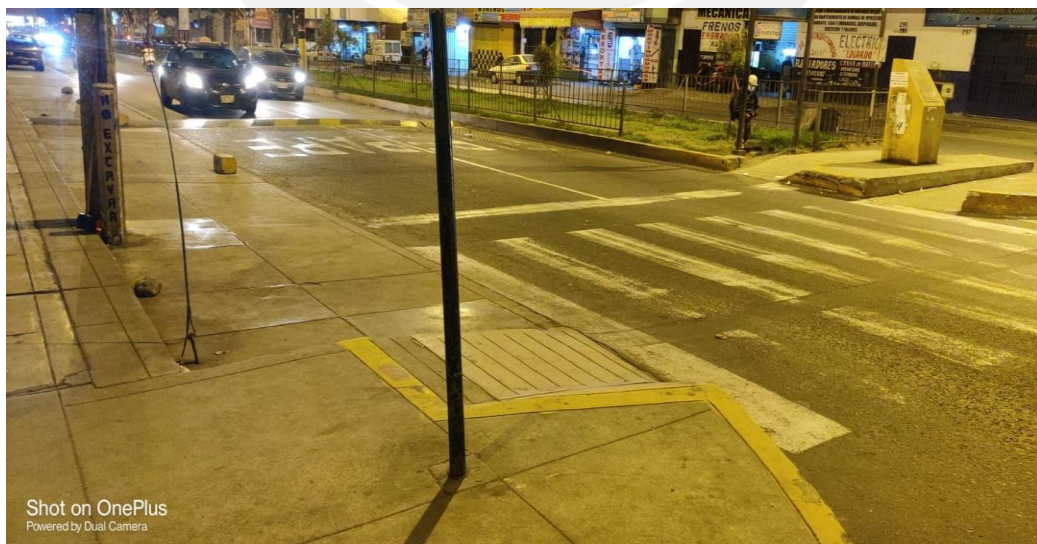


Foto 20: Vallas metálicas



Foto 21: Vallas metálicas



Foto 22: Rutas y puntos de cruce para peatones



Foto 23: Rutas y puntos de cruce para peatones



Foto 24: Paraderos de transporte público

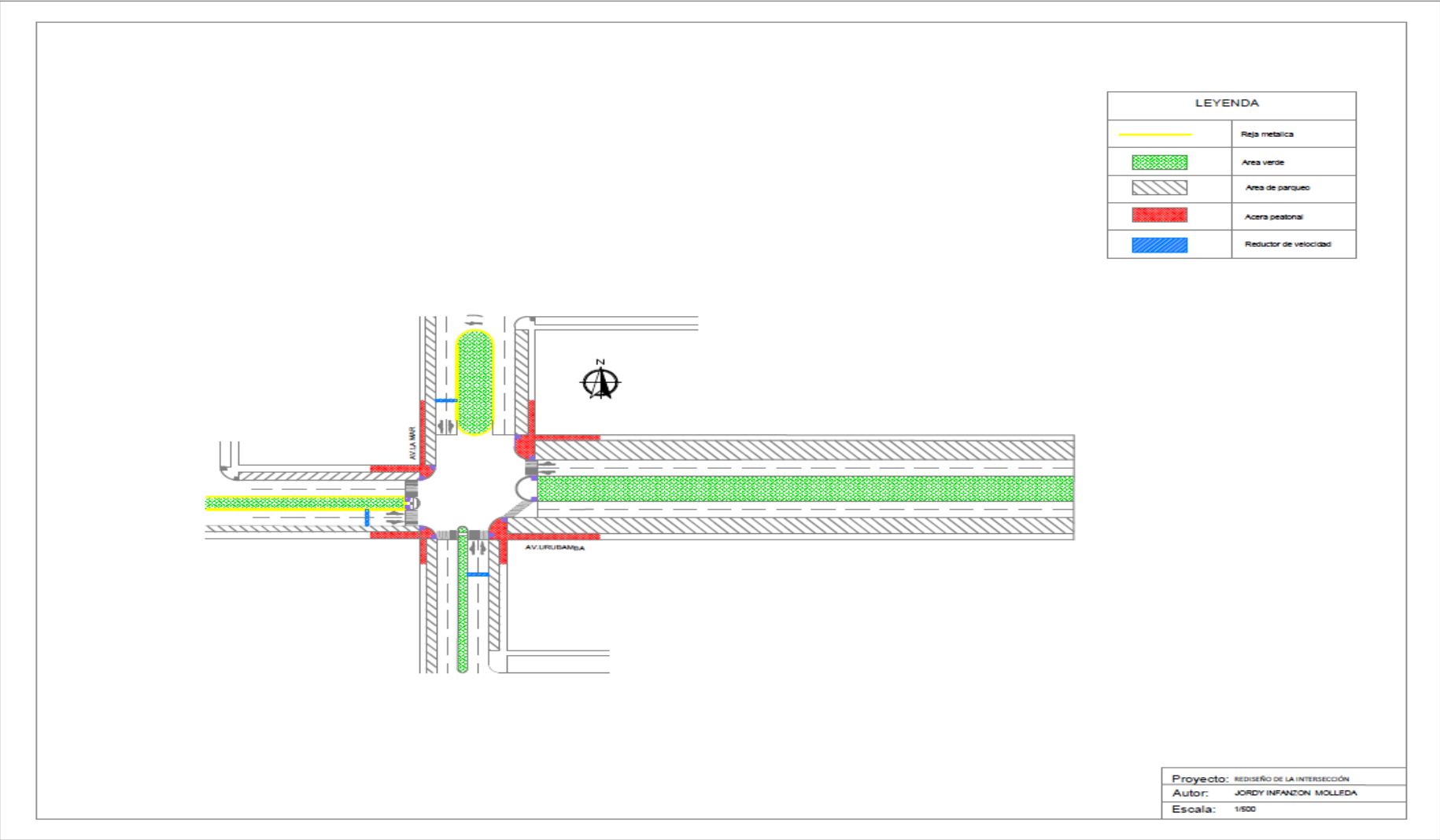


Foto 25: Paraderos de transporte público



Foto 26: Paraderos de transporte público

ANEXO N° 2: PLANO DEL DISEÑO ACTUAL



ANEXO N°3: PLANO DE REDISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL

