



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

CARRERA DE LOGÍSTICA Y TRANSPORTE

**Modelación, simulación y rediseño de intersecciones
conflictivas en travesías urbanas de Yantzaza**

Trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE

Autor: Estrada González, Carlos Andrés

Director: Palacios Ortega, Juan Carlos

LOJA

2025



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NC-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2025

Aprobación del director del trabajo de Integración Curricular

Loja, 14 de febrero de 2025

Magíster

Carolina del Carmen Parreño Bonilla

Director de la carrera de Logística y Transporte

Ciudad.-

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Integración Curricular denominado: Modelación, simulación y rediseño de intersecciones conflictivas en travesías urbanas de Yantzaza realizado por Carlos Andrés Estrada González ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Director: Palacios Ortega, Juan Carlos, Magíster

C.I.:

Correo electrónico: jcpalacios2@utpl.edu.ec

Declaración de auditoría y cesión de derechos

Yo, Carlos Andrés Estrada González, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Modelación, simulación y rediseño de intersecciones conflictivas en travesías urbanas de Yantzaza, de la Ingeniería en Logística y Transporte, específicamente de los contenidos comprendidos en: capítulo uno Marco Teórico, capítulo dos Marco Metodológico, capítulo tres Resultados, capítulo cuatro Discusión, Conclusión, Recomendaciones y Referencias, siendo Juan Carlos Palacios Ortega, director del presente trabajo; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. Eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual de este trabajo.

Que la presente obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTPL, que establece: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”, en tal virtud, cedo a favor de la Universidad Técnica Particular de Loja la titularidad de los derechos patrimoniales que me corresponden en calidad de autor/a, de forma incondicional, completa, exclusiva y por todo el tiempo de su vigencia.

La Universidad Técnica Particular de Loja queda facultada para ingresar el presente trabajo al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

.....

Autor: Carlos Andrés Estrada Gonzalez

C.I.: 1900506450

Correo electrónico: caestrada5@utpl.edu.ec

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres Carlos Estrada y Carmita González por su apoyo incondicional y por ser mi principal fuente de ánimo a lo largo de mi carrera universitaria. A mi hermano menor Martín Estrada con la esperanza de que este logro sea un ejemplo de que con constancia y esfuerzo es posible alcanzar cualquier meta que uno se proponga. Finalmente, a mi hija María Estrada quien ha sido mi mayor inspiración y motivación para completar este importante objetivo.

Agradecimiento

Agradezco de manera especial al profesor Juan Carlos Palacios Ortega por su invaluable guía y apoyo durante todo el proceso de realización de este trabajo. Su compromiso, paciencia y conocimientos fueron fundamentales para superar los desafíos que surgieron en cada etapa del proyecto. Su orientación contribuyó significativamente a mi formación profesional, por lo que siempre estaré profundamente agradecido.

Índice de contenido

Carátula	I
Aprobación del director del trabajo de Integración Curricular	II
Declaración de auditoría y cesión de derechos.....	III
Dedicatoria	V
Agradecimiento.....	VI
Índice de contenido	VII
Índice de figuras	XII
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Capítulo uno.....	5
Marco teórico	5
1.1 Travesías urbanas.....	5
1.1.1 <i>Características de travesías urbanas</i>	5
1.1.2 <i>Componentes de la travesía urbana</i>	5
1.1.2.1 Tramo previo	5
1.1.2.2 Tramo periurbano	5
1.1.2.3 Tramo urbano	6
1.2 Intersecciones conflictivas.....	6
1.2.1 <i>Definición de intersecciones conflictivas</i>	6
1.3 Tipos de conflictos en intersecciones urbanas	7
1.3.1 <i>Tipos de conflictos vehiculares</i>	7

1.4	Modelación y simulación del tráfico vehicular en intersecciones	9
1.4.1	<i>Modelado de tráfico</i>	9
1.4.2	<i>Simulación de tráfico</i>	9
1.4.3	<i>Principios básicos de la modelación del tráfico vehicular en intersecciones ..</i>	9
1.4.3.1	Fluidez del tráfico	9
1.4.3.2	Seguridad vial	10
1.4.4	<i>Métodos de simulación utilizados en el análisis de intersecciones</i>	10
1.4.4.1	Micro simulación.....	11
1.4.4.2	Meso simulación	11
1.4.4.3	Macro simulación.....	11
1.5	Herramientas de modelación.....	12
1.5.1	<i>AIMSUN.....</i>	12
1.6	Consideraciones en el diseño de intersecciones	12
1.6.1	<i>Cambios en la geometría vial</i>	12
1.6.2	<i>Visibilidad</i>	13
1.6.3	<i>Triángulos de visibilidad</i>	14
1.6.4	<i>Radio de giro</i>	16
1.7	Consideraciones de diseño para intersecciones urbanas	18
1.7.1	<i>Priorización de los movimientos.....</i>	18
1.7.2	<i>Consistencia con los volúmenes de tránsito</i>	18
1.7.3	<i>Sencillez y claridad</i>	18
1.7.4	<i>Perpendicularidad de las trayectorias</i>	19
	Capítulo dos	20

Marco metodológico	20
2.1 Área de estudio	20
2.2 Aforo vehicular	21
2.2.1 Tiempos y duración	21
2.2.2 Formato de registro	22
2.3 Tabulación de datos.....	23
2.3.1 Factor Hora de Máxima Demanda	23
2.3.2 Porcentajes de giro	24
2.3.3 Hora pico.....	24
2.4 Validación del modelo.....	25
2.5 Modelo de estado actual.....	25
2.6 Calibración del modelo	26
2.7 Simulación de propuesta de mejora	27
2.8 Diseño vial de la solución.....	27
Capítulo tres	29
Resultados	29
3.1 Diagnóstico de conflictos y puntos críticos.....	29
3.1.1 Diagnóstico de conflictos y puntos críticos en intersección de Piedra Lisa..	29
3.1.2 Diagnóstico de conflictos y puntos críticos en el redondel del terminal terrestre de Yantzaza	29
3.2 Aforo	30
3.2.1 Resultado de aforo vehicular de la intersección de Piedra Lisa.....	30
3.2.2 Resultado de aforo vehicular del redondel del terminal de Yantzaza.....	30

3.3	Factor hora de máxima demanda (FHMD)	31
3.3.1	<i>Resultado del FHMD en la intersección de Piedra Lisa</i>	31
3.3.2	<i>Resultado del FHMD en el redondel del terminal terrestre de la ciudad de Yantzaza</i>	31
3.4	Porcentajes de giro	32
3.4.1	<i>Resultado de porcentaje de giro de la intersección de Piedra Lisa</i>	32
3.4.2	<i>Resultado de porcentaje de giro del redondel del terminal terrestre de la ciudad de Yantzaza</i>	33
3.5	Hora pico.....	33
3.5.1	<i>Resultado de la hora pico de la intersección de Piedra Lisa</i>	33
3.5.2	<i>Resultado de hora pico de la intersección del redondel del terminal terrestre de la ciudad de Yantzaza</i>	34
3.6	Validación del modelo.....	35
3.6.1	<i>Validación de modelo de intersección de Piedra Liza</i>	35
3.6.2	<i>Validación del modelo del redondel del terminal terrestre de la ciudad de Yantzaza</i>	36
3.7	Resultados del modelado actual.....	36
3.7.1	<i>Resultados de la intersección de Piedra Liza</i>	36
3.7.2	<i>Resultado del redondel del terminal terrestre de Yantzaza</i>	40
3.8	Resultados de las propuestas de mejora	2
3.8.1	<i>Resultado de propuesta de mejora en intersección de Piedra Liza</i>	2
3.8.2	<i>Resultado de propuesta de mejora en redondel del terminal terrestre de Yantzaza</i>	1
	Capítulo cuatro.....	6

Discusión.....	6
4.1 Discusión de intersección de Piedra Liza	6
4.2 Discusión de redondel del terminal terrestre de Yantzaza.....	6
4.3 Discusión de comparación con otros proyectos relacionados con el tema	7
Conclusiones	9
Recomendaciones	11
Referencias	12

Índice de figuras

Figura 1 Componentes de una travesía urbana.....	6
Figura 2 Intersección en cruz con vías con un sentido de circulación.....	7
Figura 3 Intersección en cruz con vías en doble sentido de circulación.....	7
Figura 4 Puntos de conflicto de vehículos en vías unidireccionales.....	8
Figura 5 Puntos de conflicto vehículo-vehículo en intersección con vías en doble sentido.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6 Jerarquía de modelos de transporte.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7 Glorieta convencional con forma circular	13
Figura 8 Glorieta con forma elíptica	13
Figura 9 Triángulo de aproximación con visión a la derecha.....	15
Figura 10 Triángulo de aproximación con visión a la izquierda	15
Figura 11 Triángulo de partida con visión a la izquierda	16
Figura 12 Triángulo de partida con visión a la derecha	16
Figura 13 Radios mínimos y grados máximos de curvatura	18
Figura 14 Intersección del barrio Piedra Lisa	20
Figura 15 Redondel del terminal de Yantzaza.....	21
Figura 16 Evaluación general de simulación generada por Aimsun.....	27
Figura 17 Gáfica de hora pico en intersección de Piedra Lisa	34
Figura 18 Gráfica de hora pico del terminal terrestre de Yantzaza	35
Figura 19 Diseño de la intersección de Piedra Lisa en AutoCAD.....	36
Figura 20 Diseño de la intersección de Piedra Lisa en Aimsun	37
Figura 21 Diseño en 3D de la intersección de Piedra Lisa en Aimsun.....	37
Figura 22 Gráfica de velocidad de vehículos en intersección de Piedra Lisa generada por Aimsun.....	38
Figura 23 Gráfica de densidad de vehículos en intersección de Piedra Lisa, generada por Aimsun.....	38

Figura 24 Gráfica de flujo vehicular en intersección de Piedra Lisa generada por Aimsun	39
Figura 25 Gráfica de número total de paradas de los vehículos en la intersección de Piedra Lisa generada por Aimsun.	39
Figura 26 Trayectorias que siguen los vehículos que transitan por la intersección de Piedra Lisa en AutoCAD	40
Figura 27 Campo de visión de conductores que llegan a la intersección desde el centro de la ciudad de Yantzaza en AutoCAD	40
Figura 28 Diseño del redondel del terminal terrestre de Yantzaza en AutoCAD	41
Figura 29 Diseño del redondel del terminal terrestre de Yantzaza en Aimsun	41
Figura 30 Diseño en 3D del redondel del terminal terrestre de Yantzaza en Ainsum ..	42
Figura 31 Gráfica de velocidad de vehículos en redondel del terminal terrestre de Yantzaza, generada por Ainsum	42
Figura 32 Gráfica de densidad de vehículos en redondel del terminal terrestre de Yantzaza generada por Ainsum	43
Figura 33 Gráfica de flujo vehicular en redondel de terminal terrestre de Yantzaza, generada por Ainsum	43
Figura 34 Gráfica de número total de paradas de los vehículos en el redondel del terminal terrestre de Yantzaza, generada por Ainsum	1
Figura 35 Trayectorias que siguen los vehículos que transitan por el redondel del terminal terrestre de Yantzaza en AutoCAD	1
Figura 36 Diseño de propuesta de mejora para la intersección de Piedra Lisa en AutoCAD	2
Figura 37 Diseño de la propuesta de mejora de la intersección de Piedra Lisa en Ainsum	3
Figura 38 Diseño en 3D de la intersección de Piedra Lisa en Ainsum	3
Figura 39 Gráfica de velocidad de vehículos en intersección de Piedra Lisa con la propuesta de mejora, generada por Ainsum	4

Figura 40 Gráfica de densidad vehicular en intersección de Piedra Liza con propuesta de mejora, generada por Ainsum.....	4
Figura 41 Gráfica de flujo vehicular en intersección de Piedra Liza con propuesta de mejora, generada por Ainsum.....	5
Figura 42 Gráfica de número total de paradas de vehículos en intersección de Piedra Liza con propuesta de mejora, generada por Ainsum	5
Figura 43 Trayectorias que siguen los vehículos que transitan por la intersección de Piedra Lisa con propuesta de mejora en AutoCAD	6
Figura 44 Campo de visión de conductores que llegan a la intersección con propuesta de mejora desde el centro de la ciudad de Yantzaza en AutoCAD _{Error! Marcador no definido.}	
Figura 45 Diseño de redondel del terminal terrestre con propuesta de mejora en AutoCAD.....	1
Figura 46 Diseño del redondel del terminal terrestre de Yantzaza con propuesta de mejora en AutoCAD	2
Figura 47 Diseño en 3D del redondel del terminal terrestre de Yantzaza con propuesta de mejora en Aimsun.....	2
Figura 48 Gráfica de velocidad de vehículos en redondel del terminal terrestre de Yantzaza, generada por Aimsun	3
Figura 49 Gráfica de densidad de vehículos en redondel del terminal terrestre de Yantzaza generada por Aimsun	3
Figura 50 Gráfica de flujo vehicular en redondel de terminal terrestre de Yantzaza con propuesta de mejora, generada por Aimsun.....	4
Figura 51 Gráfica de número total de paradas de vehículos en el redondel del terminal terrestre de Yantzaza con propuesta de mejora, generada por Aimsun	4
Figura 52 Trayectorias que siguen los vehículos que transitan por el redondel del terminal terrestre de Yantzaza con propuesta de mejora, en AutoCAD.....	5

Resumen

El presente trabajo trata sobre el análisis, modelación, simulación y rediseño de dos intersecciones conflictivas de la ciudad de Yantzaza como la intersección de Piedra Lisa y el redondel del terminal terrestre de Yantzaza con el fin de mejorar la seguridad vial, facilitar la fluidez del tráfico y hacer eficiente el uso del espacio vial, esto se logró haciendo uso de software de tránsito que a través de ellos se lograron identificar problemáticas como falta de visibilidad, trayectorias conflictivas y diseño geométrico inoperante, como medidas de mejora se sugirió el cambio geométrico de las intersecciones para mejorar sus trayectorias, reducir la velocidad de los vehículos y hacer mejor uso del espacio vial. Estas medidas de mejora se validaron mediante la simulación del escenario para garantizar su viabilidad obteniendo resultados favorables como la reducción de velocidad, mayor concentración vehicular y un constante flujo vehicular, respaldando la efectividad de las propuestas de mejora. Este trabajo se enfoca en dar soluciones a intersecciones específicas, pero se puede replicar la metodología y el análisis para dar solución a otras intersecciones conflictivas de la ciudad.

Palabras clave: Rediseño de intersecciones, seguridad vial y simulación de tráfico.

Abstract

This work deals with the analysis, modeling, simulation and redesign of two conflictive intersections in the city of Yantzaza, such as the Piedra Lisa intersection and the traffic circle of the Yantzazaza land terminal, in order to improve road safety, facilitate traffic flow and make efficient use of road space, This was achieved by using traffic software to identify problems such as lack of visibility, conflicting trajectories and inoperative geometric design. As improvement measures, geometric changes were suggested for the intersections to improve their trajectories, reduce vehicle speeds and make better use of road space. These improvement measures were validated through the simulation of the scenario to guarantee their viability, obtaining favorable results such as speed reduction, higher vehicle concentration and a constant vehicular flow, supporting the effectiveness of the improvement proposals. This work focuses on providing solutions to specific intersections, but the methodology and analysis can be replicated to provide solutions to other conflictive intersections in the city.

Key words: Intersection redesign, Road safety and traffic simulation.

Introducción

El presente trabajo incluye el análisis, modelación, simulación y rediseño de dos intersecciones conflictivas de la ciudad de Yantzaza como la intersección del barrio Piedra Lisa y el redondel del terminal terrestre de Yantzaza con la finalidad de reducir los problemas que abarca la seguridad vial, el flujo vehicular y la inoperancia del espacio vial, para lograrlo se propuso como objetivo general realizar el rediseño de la intersección vía troncal amazónica y vía lateral de paso del barrio Piedra Lisa y glorieta del terminal de Yantzaza mediante modelación del escenario actual y simulación de escenarios para proponer soluciones que mejoren el tráfico vehicular y la seguridad vial. Para ello se plantearon cuatro objetivos específicos los cuales se basan en realizar aforos manuales en campo para determinar las características del flujo vehicular, modelar el escenario base de las intersecciones utilizando software especializado para diagnosticar su estado actual, simular posibles soluciones para identificar la más efectiva y finalmente diseñar las intersecciones viales con base en los resultados obtenidos, representando las propuestas en planos técnicos.

Como primer paso se evaluó los puntos críticos y los conflictos de ambas intersecciones mediante un diagnóstico inicial para identificar las problemáticas, seguidamente se recolectaron datos en campo por medio de aforo vehicular para posteriormente recrear el escenario con datos reales y que se asemeje lo máximo posible a su estado actual, a continuación se propuso mejoras geométricas y se implementa en los escenarios simulados con el fin de evaluar el impacto que generara en las intersecciones, por último se sugieren recomendaciones para la posible escalabilidad en otras intersecciones conflictivas.

La metodología utilizada se dividió en ocho pasos donde el primer paso consistió en la especificación del área de estudio, en el paso dos se hace la recolección de datos en campo mediante aforo vehicular, en el tercer paso se tabularon los datos obtenidos en campo, como cuarto paso se realizó la simulación de los escenarios que se estudiaron, como quinto paso se calibraron los modelos para que reflejen su comportamiento operativo real, en el sexto paso se validaron los modelos simulados para un mayor respaldo de los datos obtenidos, en el

séptimo paso se proponen y simulan propuestas de mejora y por último en el octavo paso se realiza el diseño vial de las soluciones propuestas.

El trabajo se compone de cuatro capítulos más las conclusiones y recomendaciones, en el primer capítulo se habla sobre el marco teórico donde se sustentan los conceptos necesarios para comprender el trabajo, en el segundo capítulo se aborda la metodología empleada para llevar a cabo el estudio, en el tercer capítulo se evidencian los resultados obtenidos en el estudio de las intersecciones conflictivas y en el cuarto capítulo se presenta la discusión de los resultados obtenidos y la comparación de este trabajo con otros trabajos con temas relacionados, por último se encuentran las conclusiones y recomendaciones.

Este trabajo es de gran valor para la sociedad en general ya que aporta al desarrollo de soluciones prácticas orientadas a mejorar la seguridad vial y la eficiencia de tránsito, además que la metodología empleada es replicable para el estudio de otras intersecciones conflictivas promoviendo una movilidad más sostenible. Por último, representa una oportunidad para la institución académica de consolidar su aporte en proyectos que combinan el conocimiento teórico con la solución de problemas reales fortaleciendo la relación entre la academia y la comunidad.

Capítulo uno

Marco teórico

1.1. Travesías urbanas

1.1.1. *Características de travesías urbanas*

Una travesía urbana es un tramo de carretera que se mezcla con el tráfico urbano y pasa a ser controlada por normas urbanas de circulación. (Fraile, 2014).

También, generan puntos conflictivos en la red de carreteras debido a factores como la contaminación, la inseguridad por accidentes y el congestionamiento, además, pueden dividir el entorno actuando como barreras entre barrios y dificultando la interacción entre pobladores. (Millan Rincon, 1990).

1.1.2. *Componentes de la travesía urbana*

La composición de una travesía urbana se la puede clasificar en tres partes, el previo, el periurbano y el urbano. Cada una tiene las siguientes características:

1.1.2.1. Tramo previo. Este tramo se localiza antes de la entrada principal del municipio, o en caso de que no exista una entrada claramente definida, se refiere a aquel con una edificabilidad inferior al 50%, quiere decir el límite máximo permitido por las normas urbanísticas para construir en un terreno, este tramo es el antecedente directo de la travesía en sí (Calderon & Ricci, 2010).

1.1.2.2. Tramo periurbano. Este tramo, situado dentro de la travesía, tiene una edificabilidad residencial inferior al 80%. En él, la presencia de edificaciones, calles y centros de atracción puede variar y no está claramente establecida (Calderon & Ricci, 2010).

1.1.2.3. Tramo urbano. Es el tramo que atraviesa el núcleo de la población y cuenta con una edificabilidad residencial superior al 80%. En este tramo, la presencia de edificaciones es más densa y la infraestructura urbana está más consolidada (Calderon & Ricci, 2010). En la Figura 1 se muestra cada componente de una travesía urbana.

Figura 1

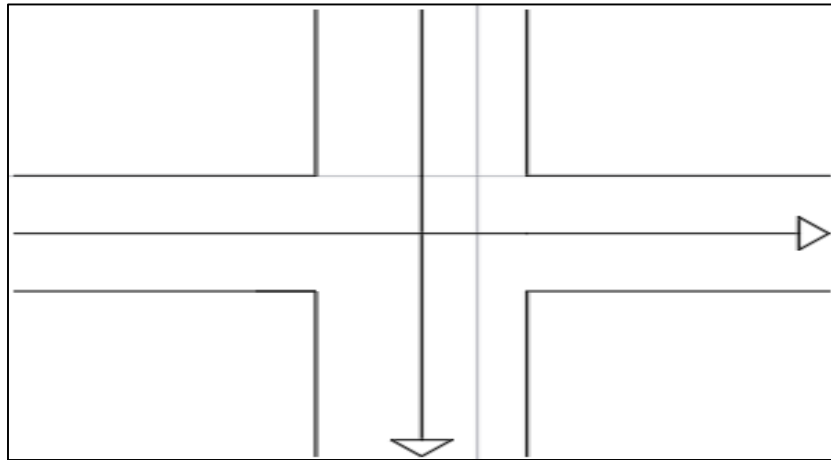
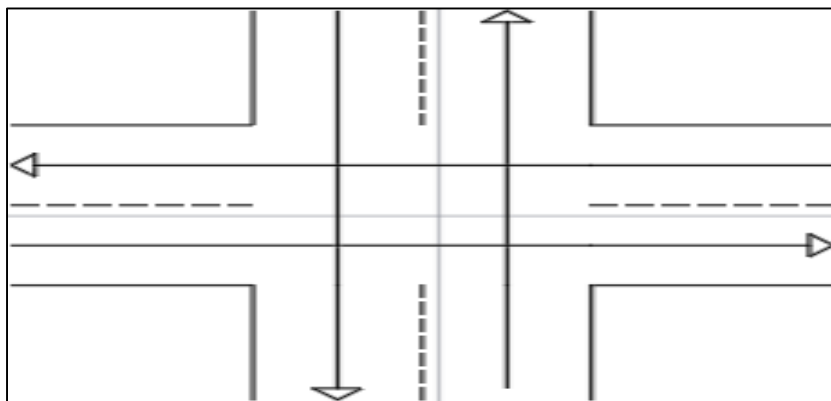
Componentes de una travesía urbana



1.2. Intersecciones conflictivas

1.2.1. Definición de intersecciones conflictivas

Una intersección conflictiva es aquella en la que se cruzan dos o más trayectorias de vehículos y peatones, a menudo tienen características geométricas que pueden aumentar el riesgo de accidentes como ángulos de giro cerrados, visibilidad reducida o falta de señalización adecuada (Díaz Ivorra et al., 2002). En la Figura 2 se muestra una intersección en cruz con un solo sentido de circulación y en la Figura 3 se muestra una intersección en cruz con vías de acceso con doble sentido.

Figura 2*Intersección en cruz con vías con un sentido de circulación***Figura 3***Intersección en cruz con vías en doble sentido de circulación*

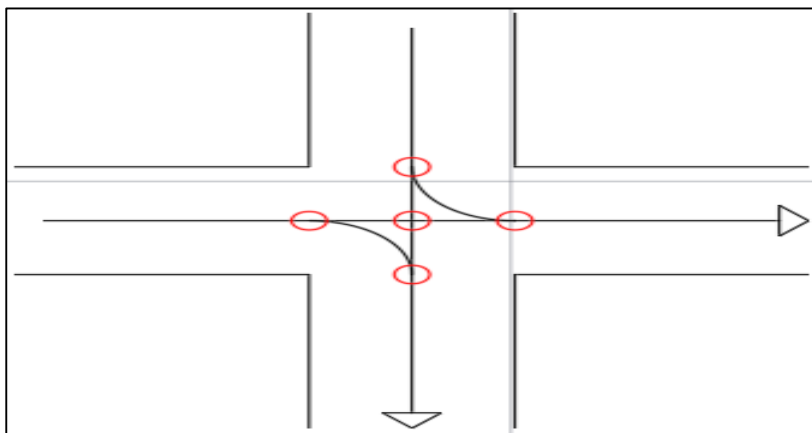
1.3. Tipos de conflictos en intersecciones urbanas

1.3.1. Tipos de conflictos vehiculares

Los conflictos vehiculares se dan cuando se combinan las trayectorias no previstas con la percepción del tiempo y el espacio por parte de los conductores, de esta manera se generan zonas de potencial conflicto con otros movimientos direccionales, lo que aumenta la probabilidad de que ocurran accidentes (Miramontes García et al., 2015). En la Figura 4 se muestra los puntos de conflictos vehículo-vehículo que se generan en intersecciones con vías unidireccionales.

Figura 4

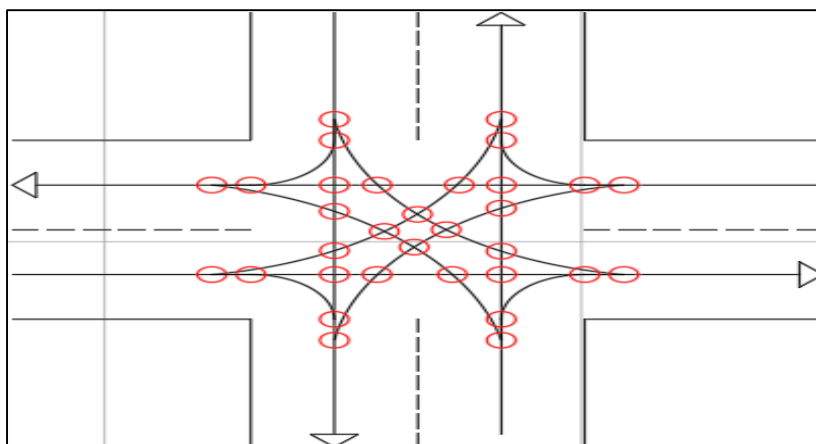
Puntos de conflicto de vehículos en vías unidireccionales



Los puntos de conflicto en intersecciones con vías bidireccionales son mucho más altos dando un valor de 32 puntos de conflicto, esto se debe al aumento de posibilidades de giro o seguir recto que ofrece la intersección. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra todos los puntos de conflicto que se generan en intersecciones con accesos bidireccionales.

Figura 5

Puntos de conflicto vehículo-vehículo en intersección con vías en doble sentido



1.4. Modelación y simulación del tráfico vehicular en intersecciones

1.4.1. Modelado de tráfico

El modelado de tráfico es una disciplina que se centra en la planificación y diseño de vías, con el objetivo de crear un vías seguras y accesibles para todos los usuarios de la vía pública (Díaz & Vazquez, 2000).

1.4.2. Simulación de tráfico

Una simulación del tráfico es una representación virtual de situaciones reales de tráfico donde se puede desarrollar modelos de intersecciones, carreteras y diversas infraestructuras y puntos de conexión del transporte (Díaz & Vazquez, 2000).

1.4.3. Principios básicos de la modelación del tráfico vehicular en intersecciones

Los principios básicos de la modelación sirven para mejorar diseños viales mediante el análisis de cómo los vehículos se comportan en intersecciones y rotondas, algunos de los principios básicos son el flujo vehicular y seguridad vial. A continuación, se detalla los principios básicos antes mencionados.

1.4.3.1. Fluidez del tráfico. El flujo vehicular hace referencia a la cantidad de vehículos que cruzan por un punto en específico de la carretera en un intervalo de tiempo. Para determinar la fluidez del tráfico en una vía se realiza el conteo de aforo vehicular dando como resultado el número de vehículos sobre el tiempo de operación (Martínez Guardado & Juárez Mejía, 2018).

En la Ecuación 1 se muestra la formula para calcular la fluidez del tráfico o tasa de flujo de tráfico.

Ecuación 1

Formula para determinar la fluidez del tráfico

$$q = \frac{N}{T}$$

Nota. Tomado de (Martínez Guardado & Juárez Mejía, 2018)

Donde:

q= tasa de flujo de tráfico, las unidades están dadas en Vehículo/hora.

N= Número de vehículos que cruzan por un punto de la vía, las unidades están dadas en vehículos.

T= El intervalo de tiempo de operación, las unidades están dadas en horas.

1.4.3.2. Seguridad vial. La seguridad vial se refiere a un proceso integral que implica la articulación y ejecución de políticas, estrategias, normas, procedimientos y actividades. Su propósito fundamental es proteger a los usuarios del sistema de tránsito y preservar el medio ambiente, todo ello en el marco del respeto a sus derechos fundamentales (Pratto Quintanilla & Flores Huerta, 2008).

1.4.4. Métodos de simulación utilizados en el análisis de intersecciones

Los métodos de simulación son la micro simulación, meso simulación y macro simulación que son técnicas utilizadas en ingeniería de tránsito para estudiar el comportamiento del tráfico a diferentes niveles de detalle.

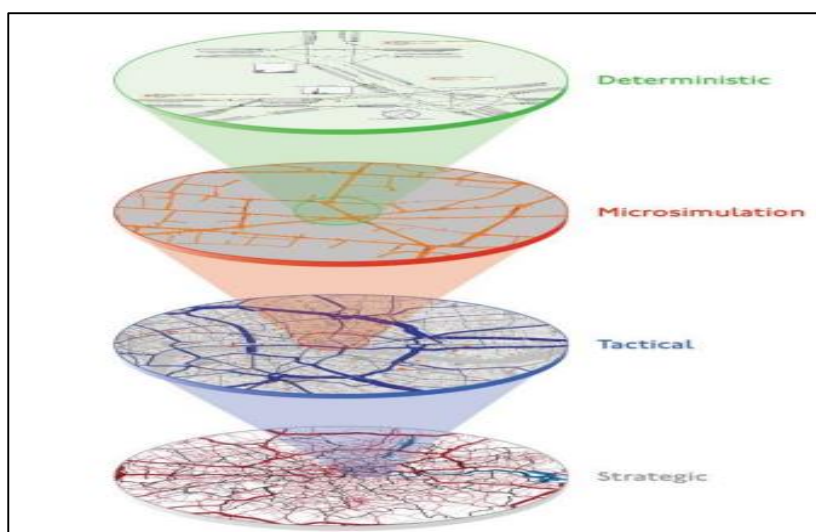
1.4.4.1. Micro simulación. Los modelos microscópicos de simulación en ingeniería de tránsito representa el comportamiento del tránsito a nivel individual, utilizando valores específicos como los de la velocidad, tiempos de viaje, flujo vehicular y la densidad para el estudio específico del sistema de transporte en un área específica. (Sanchez Cruz, 2019).

1.4.4.2. Meso simulación. Los modelos de meso simulación en ingeniería de tránsito se ubica entre la micro simulación y la macro simulación enfocándose en fenómenos de tráfico a una escala intermedia, permite analizar el tráfico en áreas más grandes que la micro simulación, pero con más detalle que la macro simulación. (Valladares Mejía, 2016).

1.4.4.3. Macro simulación. Los modelos macroscópicos de simulación en ingeniería de tránsito representan el comportamiento del transporte público y privado en redes viales a nivel global, utilizando valores promedio de velocidad, tiempo de viaje, flujo y densidad. Estos modelos simulan el flujo vehicular como un fluido continuo, ofreciendo una visión amplia para evaluar la implementación de nuevos sistemas de transporte. (Valladares Mejía, 2016). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la jerarquía de modelos del transporte.

Figura 6

Jerarquía de modelos de transporte



Nota. Tomado de (Beeston et al., 2021)

1.5. Herramientas de modelación

Se utilizan diversas herramientas para simular y modelar intersecciones conflictivas, como AIMSUN, las cuales se describen a continuación.

1.5.1. AIMSUN

Aimsun es una herramienta avanzada para modelar el tráfico vehicular, que permite generar la topología de la red vial y simular el comportamiento de los vehículos considerando características individuales y elementos como pendientes, semáforos y paradas. Utiliza una animación similar a la de los videojuegos para crear simulaciones virtuales, facilitando un análisis completo y rápido de la situación del tráfico. Ofrece una amplia gama de parámetros para caracterizar el tráfico, permitiendo obtener resultados detallados como flujos, velocidades, tiempos de viaje y colas de vehículos. (Bravo Narvaez, 2007).

1.6. Consideraciones en el diseño de intersecciones

Alguna de las técnicas de rediseño de intersecciones implica ajustes en la forma y disposición de elementos como modificar isletas para reducir la velocidad de los vehículos, también está la señalización que informa sobre características de la vía y posibles peligros y la visibilidad que debe ser óptima para evitar colisiones para lograrlo se debe diseñar los radios de giro considerando la velocidad de diseño y los tipos de vehículos que transitarán en la intersección.

1.6.1. Cambios en la geometría vial

La técnica de cambios en geometría vial consiste en modificar la forma y disposición de elementos en glorietas para mejorar la seguridad y eficiencia del tráfico, como transformar una isleta circular en elíptica para reducir la velocidad de los vehículos. Esto puede incluir ajustes en el diámetro exterior, la calzada anular y la forma de la isleta central para mejorar las trayectorias y la percepción de la glorieta. (Rubio Martín, 2017).

En la Figura 7 se muestra una glorieta con forma circular, mientras que en la Figura 8 se muestra la misma glorieta con un rediseño a forma elíptica.

Figura 7*Glorieta convencional con forma circular**Nota.* Tomado de (Rubio Martín, 2017)**Figura 8***Glorieta con forma elíptica**Nota.* Tomado de (Rubio Martín, 2017)**1.6.2. Visibilidad**

Una visibilidad adecuada es esencial para la seguridad vial ya que su ausencia puede dificultar la incorporación a la vía principal y provocar colisiones. Esto puede deberse al trazado de la vía o a obstáculos como vegetación, vallas, cercas o edificios. (LSP, 2014).

En el diseño de intersecciones, las distancias visuales mínimas seguras dependen de la velocidad y las distancias recorridas de los vehículos durante los tiempos de percepción,

reacción y frenado. El conductor debe tener una visión clara en la dirección de su marcha, al menos igual a la distancia de detención, para detectar a tiempo vehículos potencialmente conflictivos y poder detenerse o ajustar su velocidad para evitar colisiones. (Escuela de ingeniería de caminos de montaña, 2010).

Para determinar las distancias visuales en las intersecciones se basan en los mismos principios de la distancia de detención, donde los conductores deben tener una visión despejada de la intersección, incluidos los dispositivos de control de tránsito, y contar con longitudes adecuadas a lo largo del camino. (Escuela de ingeniería de caminos de montaña, 2010).

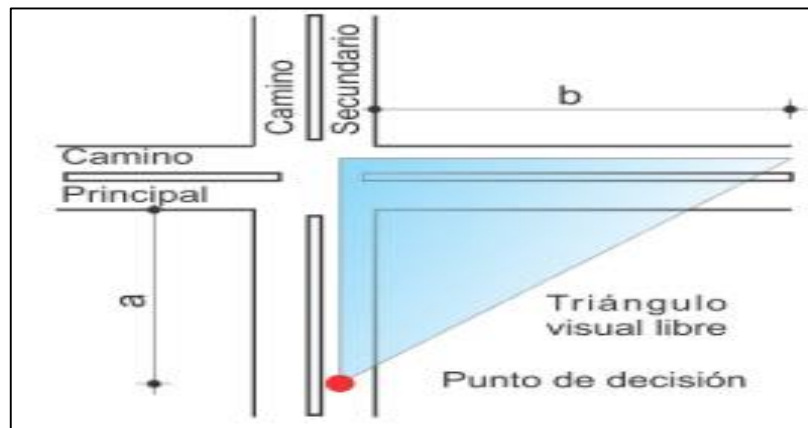
1.6.3. Triángulos de visibilidad

Cada cuadrante de una intersección debe contener un triángulo visual despejado y libre de obstrucciones requiriendo dos tipos de triángulos visuales como el de aproximación y de partida.

Triángulo de visión de aproximación, este triángulo debe tener catetos suficientemente largos en ambos caminos de la intersección, permitiendo a los conductores ver vehículos potencialmente conflictivos con suficiente antelación para reducir su velocidad o detenerse antes de ingresar a la intersección. (Escuela de ingeniería de caminos de montaña, 2010). En la Figura 9 se muestra el triángulo de aproximación con visión al lado derecho y en la Figura 10 se muestra el triángulo de aproximación con visión al lado izquierdo.

Figura 9

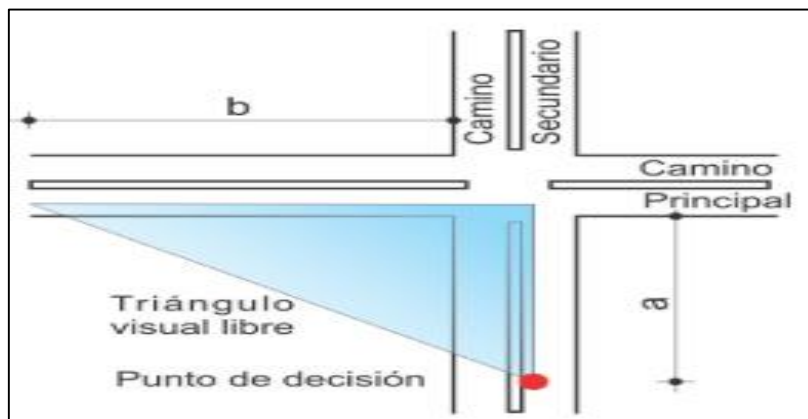
Triángulo de aproximación con visión a la derecha



Nota. Tomado de (Escuela de ingeniería de caminos de montaña, 2010)

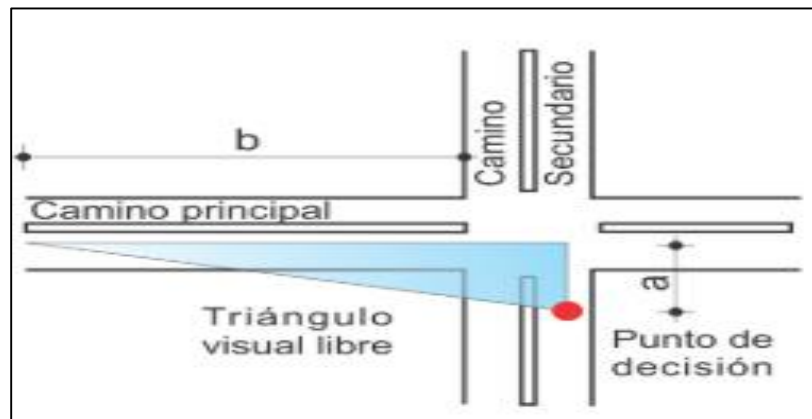
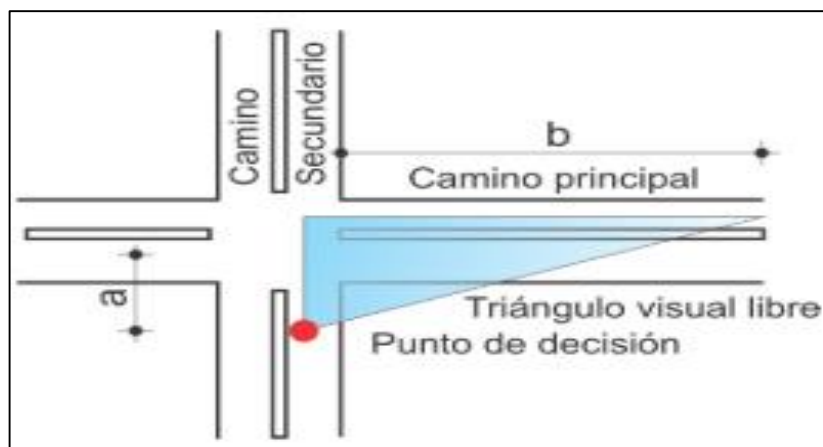
Figura 10

Triángulo de aproximación con visión a la izquierda



Nota. Tomado de (Escuela de ingeniería de caminos de montaña, 2010)

Triángulo de visión de partida, la línea visual del triángulo de partida debe garantizar que un vehículo en el camino principal tarde lo mismo o más tiempo en llegar al punto de conflicto que el conductor del vehículo en el camino secundario en realizar su maniobra de cruce o incorporación. (Escuela de ingeniería de caminos de montaña, 2010). En la Figura 11 se muestra el triángulo de partida con visión al lado izquierdo y en la Figura 12 se muestra el triángulo de partida con visión al lado derecho.

Figura 11*Triángulo de partida con visión a la izquierda**Nota.* Tomado de (Escuela de ingeniería de caminos de montaña, 2010)**Figura 12***Triángulo de partida con visión a la derecha**Nota.* Tomado de (Escuela de ingeniería de caminos de montaña, 2010)

1.6.4. Radio de giro

Los radios de giro, definidos por la velocidad de diseño, el tipo de vehículos y las condiciones de visibilidad, determinan el arco que un vehículo sigue al girar en una intersección. Su implementación requiere analizar la velocidad de diseño, considerando la máxima permitida y la segura para giros, además de las características de los vehículos que utilizarán la intersección. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

En la Ecuación 2

Fórmula para determinar el radio mínimo de giro se muestra la formula para calcular el radio mínimo de giro que debe tener una curva.

Ecuación 2

Fórmula para determinar el radio mínimo de giro

$$R_{mín} = \frac{V^2}{127(S_{máx} + Ft)}$$

Nota. Tomado de (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013)

donde:

Rmín= es el radio mínimo que debe tener la curva.

V= es la velocidad de proyecto de la vía.

Smax= es la sobreelevación máxima que debe tener la curva.

Ft= es el coeficiente de fricción lateral.

Existe una tabla elaborada con el método AASHTO que muestra los diferentes radios mínimos y grados máximos de curvatura adecuadas a diferentes velocidades de proyecto, en la Figura 13 se muestra dicha tabla.

Figura 13

Radio s mínimos y grados máximos de curvatura

Velocidad de proyecto v (km/h)	Coeficiente de fricci3n lateral f_t	Valores para proyecto							
		$S_{máx} = 0.12$		$S_{máx} = 0.10$		$S_{máx} = 0.08$		$S_{máx} = 0.06$	
		$R_{mín}$ (m)	$G_{20 máx}$ (°)	$R_{mín}$ (m)	$G_{20 máx}$ (°)	$R_{mín}$ (m)	$G_{20 máx}$ (°)	$R_{mín}$ (m)	$G_{20 máx}$ (°)
30	0.28	17.72	64.89	18.65	61.64	19.69	58.40	20.84	55.16
40	0.23	36.00	31.94	38.18	30.11	40.64	28.29	43.44	26.46
50	0.19	63.50	18.10	67.88	19.94	72.91	15.77	78.74	14.60
60	0.17	97.75	11.76	104.99	10.95	113.39	10.14	123.25	9.33
70	0.15	142.90	8.04	154.33	7.45	167.75	6.85	183.73	6.26
80	0.14	193.82	5.93	209.97	5.48	229.06	5.02	251.97	4.56
90	0.13	255.12	4.51	277.30	4.15	303.71	3.79	335.68	3.43
100	0.12	328.08	3.50	357.91	3.21	393.70	2.92	437.45	2.63
110	0.11	414.24	2.78	453.69	2.53	501.45	2.29	560.44	2.05
120	0.09	539.93	2.13	596.77	1.93	666.98	1.72	755.91	1.52
130	0.08	665.35	1.73	739.28	1.56	831.69	1.38	950.51	1.21

Nota. Tomado de (Cal y Mayor Reyes Spínola & Cárdenas Grisales, 2018)

1.7. Consideraciones de diseño para intersecciones urbanas

El diseño eficiente de intersecciones prioriza los movimientos principales, ajusta su tamaño al volumen de tráfico, facilita la navegaci3n y reduce áreas de conflicto con ángulos rectos, mejorando así la seguridad y fluidez del tráfico.

1.7.1. Priorizaci3n de los movimientos

Los movimientos principales deben recibir prioridad sobre los movimientos secundarios, para lograrlo es necesario restringir los movimientos secundarios mediante sealizaci3n adecuada, reducci3n del ancho de la vía e introducci3n de curvas de radio pequeño (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

1.7.2. Consistencia con los volúmenes de tránsito

El tamaño de la intersecci3n debe ser proporcional al volumen vehicular que transitar por la misma y su oferta vial debe ser capaz de cubrir la demanda vehicular que transitar por la intersecci3n (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

1.7.3. Sencillez y claridad

La intersecci3n debe ser fácil de atravesarla para eso es necesario garantizar la simplicidad en la disposici3n y la sealizaci3n de las vías y evitar que los conductores realicen

maniobras molestas o que tengan que recorrer tramos extensos (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

1.7.4. *Perpendicularidad de las trayectorias*

Lograr que la intersección forme ángulos rectos en la unión de sus vías genera menos áreas de conflicto reduciendo así la posibilidad de choques y facilitando las maniobras (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

Capítulo dos

Marco metodológico

2.1. Área de estudio

La zona de estudio se lo realizará en la ciudad de Yantzaza ciudad de la provincia de Zamora Chinchipe, el cual está ubicado en la parte sur del Ecuador. Esta ciudad cuenta con 18675 habitantes y se la considera como la capital económica de Zamora Chinchipe por sus actividades económicas como la ganadería, piscicultura, agricultura, criaderos de ranas comestibles y minería.

La ciudad de Yantzaza cuenta con varias intersecciones conflictivas de las cuales una de ellas es la intersección del barrio Piedra Lisa ubicada en el tramo periurbano de la ciudad la cual está conformada por la vía (1) troncal amazónica que dirige al tráfico vehicular desde el barrio Piedra Lisa al centro de la ciudad de Yantzaza y (2) el paso lateral de Yantzaza que es usado principalmente para evitar que los vehículos pesados y autobuses entren a la parte céntrica de Yantzaza. En la Figura 14 se muestra la intersección de Piedra lisa en vista satelital.

Figura 14

Intersección del barrio Piedra Lisa



Otro punto conflictivo es el redondel ubicado junto al terminal terrestre de la ciudad ubicado en el área urbana, en este punto convergen varias vías: (1) la avenida Rafael Pullaguari, que conecta los barrios Los Achos, Vista Hermosa y La Floresta con el redondel; (2) la avenida Yaguarzongo, que enlaza el barrio El Recreo con el redondel; (3) la avenida Carlos Calle, que proporciona acceso a las entradas y salidas hacia el paso lateral de Yantzaza y (4) la Troncal Amazónica, que conecta el centro de la ciudad con el redondel y en su otra entrada une el barrio Pitá con el redondel, además de funcionar como una travesía urbana al atravesar el centro de la ciudad. En la Figura 15 se muestra el redondel del terminal de Yantzaza con vista satelital.

Figura 15

Redondel del terminal de Yantzaza



2.2. Aforo vehicular

2.2.1. *Tiempos y duración*

Para la intersección del redondel del terminal de Yantzaza el conteo de aforo vehicular tendrá lugar los días martes, miércoles y jueves con una duración de 2 horas dividiendo este tiempo en períodos de 15 minutos y se realizará en el horario de 11:30 am a 1:30 pm, el objetivo es capturar las horas pico de una semana ordinaria lo que según la teoría es adecuado para obtener datos fiables y precisos.

Para la intersección de Piedra Lisa el conteo de aforo vehicular tendrá una duración de 2 horas dividiendo este tiempo en periodos de 15 minutos y se realizará en el horario de 5:30 pm a 7:30 pm del viernes, sábado y domingo de una semana ordinaria, al ser una intersección con vías diferentes a las de una intersección urbana el tratamiento es distinto según dice la teoría, por eso se elige otro horario y otros días para realizar el conteo de aforo vehicular.

2.2.2. Formato de registro

El formato permite conocer el volumen de tráfico en las intersecciones y clasificar los vehículos por tipo: taxi, automóvil, camión, autobús y motocicleta. Además, facilitará la identificación del factor hora de máxima demanda determinado a partir del volumen de vehículos contabilizado en intervalos de 15 minutos durante las 2 horas establecidas, el formato a utilizar se muestra en el anexo 1 y se utilizará para cada trayectoria de entrada y salida en las intersecciones, es decir:

Para la intersección del barrio Piedra Lisa se utilizarán los siguientes formatos:

- Paso lateral recto hacia la Troncal Amazónica.
- Troncal Amazónica con giro a la derecha hacia el paso lateral.
- Troncal Amazónica recto de norte a sur.
- Troncal Amazónica recto de sur a norte.

Para el redondel del terminal de Yantzaza se utilizarán los siguientes formatos:

- Troncal Amazónica (centro de la ciudad) hacia Av. Rafael Pullaguari.
- Troncal Amazónica (centro de la ciudad) hacia Troncal Amazónica (barrio Pitá).
- Troncal Amazónica (centro de la ciudad) hacia Av. Yaguarzongo.
- Troncal Amazónica (centro de la ciudad) hacia Av. Carlos Calle.
- Troncal Amazónica (centro de la ciudad) hacia Troncal Amazónica (centro de la ciudad).

- Av. Rafael Pullaguari hacia Troncal Amazónica (barrio Pitá).
- Av. Rafael Pullaguari hacia Av. Yaguarzongo.
- Av. Rafael Pullaguari hacia Av. Carlos Calle.
- Av. Rafael Pullaguari hacia Troncal Amazónica (centro de la ciudad).
- Av. Rafael Pullaguari hacia Av. Rafael Pullaguari
- Troncal Amazónica (barrio Pitá) hacia Av. Yaguarzongo.
- Troncal Amazónica (barrio Pitá) hacia Av. Carlos Calle.
- Troncal Amazónica (barrio Pitá) hacia Troncal Amazónica (centro de la ciudad).
- Troncal Amazónica (barrio Pitá) hacia Av. Rafael Pullaguari.
- Troncal Amazónica (barrio Pitá) hacia Troncal Amazónica (barrio Pitá).
- Av. Yaguarzongo hacia Av. Carlos Calle.
- Av. Yaguarzongo hacia Troncal Amazónica (centro de la ciudad).
- Av. Yaguarzongo hacia Av. Rafael Pullaguari.
- Av. Yaguarzongo hacia Troncal Amazónica (barrio Pitá).
- Av. Yaguarzongo hacia Av. Yaguarzongo.
- Av. Carlos Calle hacia Troncal Amazónica (centro de la ciudad).
- Av. Carlos Calle hacia Av. Rafael Pullaguari.
- Av. Carlos Calle hacia Troncal Amazónica (barrio Pitá).
- Av. Carlos Calle hacia Av. Yaguarzongo.
- Av. Carlos Calle hacia Av. Carlos Calle.

2.3. Tabulación de datos

2.3.1. Factor Hora de Máxima Demanda

Una vez se ha realizado el conteo vehicular en ambas intersecciones se elaborará una tabla en Excel para cada formato de conteo vehicular con todos los datos recaudado para determinas el factor hora de máxima demanda (FHMD), se utilizará la fórmula:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Qt \max)}$$

Donde:

FHMD: es el factor hora de máxima demanda.

VHMD: es el volumen hora de máxima demanda.

N: número de intervalos durante la hora de máxima demanda.

Q: es el volumen máximo.

t: la duración de los intervalos en minutos

Estos datos ayudaran a determinar si las intersecciones pueden manejar efectivamente el volumen máximo de tráfico sin congestionarse o para implementar mejoras en el diseño vial como el cambio geométrico de la intersección u otras medidas.

2.3.2. Porcentajes de giro

Los porcentajes de giro se obtendrán tomando cada trayectoria que pueden realizar los vehículos al entrar por una vía de la intersección y se lo divide por la suman del número total de vehículos que entran por una vía de la intersección, esto se realiza de igual manera en cada vía de entrada en la intersección. La fórmula que se va a utilizar es la siguiente:

$$\text{Porcentage de giro} = \frac{\text{Número de vehiculos que van por una trayectoria}}{\text{Total de vehiculos que ingresan por una vía}}$$

2.3.3. Hora pico

Para determinar la hora pico se tomará el volumen vehicular total que circuló por la intersección durante el período de conteo y se dividirá en intervalos de una hora, es decir, en la intersección del redondel del terminal de Yantzaza el conteo vehicular se realizará de 11:30 a.m. a 1:30 p.m. y se sumará el volumen vehicular que transitó por la intersección en los siguientes intervalos: de 11:30 a 12:30, de 11:45 a 12:45, de 12:00 a 1:00, de 12:15 a 1:15, y

de 12:30 a 1:30, con estos valores se determinará en cuál de estas horas hubo más presencia de vehículos identificando así la hora pico. Para la intersección del barrio de Piedra Lisa se realizará el mismo procedimiento bajo los parámetros de evaluación establecidos para esta intersección.

2.4. Validación del modelo

La validación de los modelos se realiza con la finalidad de respaldar que los resultados obtenidos reflejan las condiciones reales de las intersecciones estudiadas, de esta manera se afianza que los datos de la calibración de la simulación son confiables y permite evaluar con precisión las intersecciones.

Para poder validar los modelos el resultado debe resultar menor a 5.0 de caso contrario será necesario realizar ajustes hasta cumplir con la restricción.

Para realizar la validación se usará la siguiente formula:

$$GEH = \sqrt{\frac{(M - C)^2}{0,5(M + C)}}$$

Donde:

M: es el flujo simulado por el software Aimsun

C: es el tráfico contabilizados en el aforo vehicular

2.5. Modelo de estado actual

Para realizar el modelo actual de las intersecciones primero se graficará en AutoCAD usando imágenes de Google Earth, una vez hecho el grafico en AutoCAD se guarda el archivo en formato dxf para importar el documento al programa ainsum y así poder recrear el escenario en el programa de simulación vehicular.

Una vez que se ha creado el modelo de las intersecciones en Aimsun se generarán los estados de demanda para ubicar los volúmenes vehiculares obtenidos en el conteo de tráfico, posteriormente, se aplicarán los porcentajes de giro correspondientes. Todo esto se realizará para el horario de la hora pico determinada en la tabulación de datos.

2.6. Calibración del modelo

El programa Aimsun usa características predeterminadas para asignar capacidad de vías, la velocidad máxima de los vehículos, tipo de vía, la pendiente de la vía, número de carriles, el ancho de las vías, entre otras cosas. Para que el modelo de simulación sea lo más real posible es necesario modificar todas las características de la vía y colocar todos los datos que se recaudaron en campo, esto se realiza debido que el programa trabaja con datos donde las recomendaciones para el diseño de vías están hechas en condiciones óptimas, lo que en el entorno en el que se trabaja no ocurre por eso es necesaria la calibración del modelo.

Una vez calibrado el modelo, Aimsun muestra una evaluación general de la simulación la cual servirá para determinar tiempos de espera, colas que se genera, el flujo vehicular, número de paradas, la velocidad promedio de los vehículos, número de giros que se realizan, entre otras cosas. En la Figura 16 se muestra la evaluación general que genera Aimsun.

Figura 16

Evaluación general de simulación generada por Aimsun.

Serie Temporal	Valor	Desviación Estándar	Unidades
Cola Virtual Máxima - Car	1	ND	veh
Cola Virtual Media - Car	0	ND	veh
Contaje de Entrada - Car	483	ND	veh
Densidad - Car	1,40	ND	veh/km
Distancia Total de Viaje - Car	124,30	ND	km
Flujo - Car	482	ND	veh/h
Flujo de Entrada - Car	483	ND	veh/h
Giros Perdidos - Car	0	ND	
Número de Cambios de Carril - Car	53,97	ND	#/km
Número de Paradas - Car	0,35	ND	#/veh/km
Número Total de Cambios de Carril - Car	111	ND	
Número Total de Paradas - Car	342,02	ND	
Tiempo de Demora - Car	16,32	14,33	seg/km
Tiempo de Espera en Cola Virtual - Car	0,03	0,16	sec
Tiempo de Parada - Car	4,52	11,12	seg/km
Tiempo de Viaje - Car	84,25	15,40	seg/km

2.7. Simulación de propuesta de mejora

Se realizará propuestas como cambios en el diseño geométrico de las intersecciones, implementación de isletas canalizadoras, medianeras, instalación de señalética, presencia de infraestructura vial para la reducción de velocidad, entre otras cosas con la finalidad que el programa Aimsun arroje cambios positivos en la evaluación general de la simulación. Con la propuesta de mejora se pretende evaluar el impacto que pueda generar en los parámetros de la evaluación general que genera la aplicación y así elegir los escenarios donde se mejore la seguridad vial, el rango de visibilidad de los conductores, reducir la velocidad de los vehículos y evitar las infracciones de tránsito.

2.8. Diseño vial de la solución

Una vez se elige el mejor escenario para mejorar las intersecciones se realiza el diseño vial en AutoCAD siguiendo todos los criterios mínimos como ancho de vías, triángulos de visión, normativas para la implementación de señalética, radios de giro que indica la INEN

12 volumen 004 y otros documentos como el capítulo 5 de la normativa de diseño geométrico de carreteras o en el Highway Capacity Manual.

Capítulo tres

Resultados

3.1. Diagnóstico de conflictos y puntos críticos

3.1.1. *Diagnóstico de conflictos y puntos críticos en intersección de Piedra Lisa*

La intersección del Barrio Piedra Lisa presenta conflictos como la visibilidad limitada ya que los conductores que llegan a la intersección desde el centro de la ciudad no logran detectar si un vehículo se aproxima por el paso latera que es la vía que posee la preferencia de paso, aparte de esto las altas velocidades a las que llegan los vehículos agravan este problema ya que aumenta el riesgo de colisión y dificultan las maniobras seguras.

Por otra parte, las trayectorias cruzadas son otro punto crítico en esta intersección ya que los giros hacia el paso lateral desde la Troncal Amazónica junto con los movimientos rectos en ambas direcciones, generan un espacio con alta incidencia de conflictos vehiculares, esto se debe a la falta de demarcaciones claras y señalización adecuada, lo que provoca incertidumbre sobre las prioridades de paso.

El diseño actual de la intersección presenta grandes áreas de espacio vial sin utilizar lo que evidencia una falta de optimización en su distribución geométrica, esta configuración ineficiente contribuye a movimientos desordenados de los vehículos y a que desarrollen velocidades altas.

3.1.2. *Diagnóstico de conflictos y puntos críticos en el redondel del terminal terrestre de Yantzaza*

El redondel del terminal terrestre de Yantzaza en un nodo de distribución vehicular donde convergen múltiples vías principales de la ciudad, en este punto se generan conflictos como la invasión de líneas de parada por vehículos que siguen la trayectoria del centro de la ciudad hacia la Av. Yaguarzongo siendo afectados los vehículos que llegan al redondel desde el barrio Pitá. Además, la influencia del diseño del redondel sobre las trayectorias de los

vehículos es limitada lo que reduce su capacidad para organizar y canalizar eficientemente el tráfico.

Otro punto crítico identificado es la falta de elementos geométricos y de señalización que refuercen la seguridad vial puesto que la ausencia de elementos físicos que obliguen a los vehículos a reducir su velocidad al ingresar al redondel incrementa la probabilidad de colisiones especialmente en las trayectorias con giros más cerrados.

3.2. Aforo

3.2.1. Resultado de aforo vehicular de la intersección de Piedra Lisa

Después de realizar el aforo vehicular en la intersección de Piedra Lisa durante los días viernes, sábado y domingo, se identificó que el mayor flujo de vehículos ocurrió el sábado entre las 18:30 y las 19:30.

En ese periodo ingresaron un total de 513 vehículos a la intersección distribuidos de la siguiente manera:

- **Troncal Amazónica (del barrio Piedra Lisa a la intersección):** 271 vehículos.
- **Paso Lateral:** 70 vehículos.
- **Troncal Amazónica (del centro de la ciudad a la intersección):** 172 vehículos.

3.2.2. Resultado de aforo vehicular del redondel del terminal de Yantzaza

Tras realizar el aforo vehicular en la intersección del redondel de la terminal terrestre de Yantzaza durante los días martes, miércoles y jueves, se determinó que el mayor flujo vehicular ocurrió el jueves entre las 11:45 y las 12:45.

Durante ese periodo, ingresaron un total de 1,806 vehículos a la intersección distribuidos de la siguiente manera:

- **Troncal Amazónica (desde el centro de la ciudad hacia el redondel):** 590 vehículos.
- **Avenida Rafael Pullaguari:** 306 vehículos.
- **Troncal Amazónica (desde el barrio Pitá hacia el redondel):** 407 vehículos.
- **Avenida Yaguarzongo:** 157 vehículos.
- **Avenida Carlos Calle:** 346 vehículos.

3.3. Factor hora de máxima demanda (FHMD)

3.3.1. Resultado del FHMD en la intersección de Piedra Lisa

- **FHMD de Troncal Amazónica (del barrio Piedra Lisa a la intersección):** 0.93 que es lo mismo que 93%. Esto nos indica que durante el 93% de la hora en la que se trabajó el flujo vehicular fue uniforme y durante la otra fracción restante de tiempo el flujo vehicular fue disperso.
- **FHMD de Paso Lateral:** 0.88 que es lo mismo que 88%. Esto nos indica que durante el 88% de la hora en la que se trabajó el flujo vehicular fue uniforme y durante la otra fracción restante de tiempo el flujo vehicular fue disperso.
- **FHMD de Troncal Amazónica (del centro de la ciudad a la intersección):** 0.7 que es lo mismo que 70%. Esto nos indica que durante el 70% de la hora en la que se trabajó el flujo vehicular fue uniforme y durante la otra fracción restante de tiempo el flujo vehicular fue disperso.

3.3.2. Resultado del FHMD en el redondel del terminal terrestre de la ciudad de

Yantzaza

- **FHMD de Troncal Amazónica (desde el centro de la ciudad hacia el redondel):** 0.9 que es lo mismo que 90%. Esto nos indica que durante el 90% de la hora en la que se trabajó el flujo vehicular fue uniforme y durante la otra fracción restante de tiempo el flujo vehicular fue disperso.

- **Avenida Rafael Pullaguari:** 0.83 que es lo mismo que 83%. Esto nos indica que durante el 83% de la hora en la que se trabajó el flujo vehicular fue uniforme y durante la otra fracción restante de tiempo el flujo vehicular fue disperso.
- **Troncal Amazónica (desde el barrio Pitá hacia el redondel):** 0.8 que es lo mismo que 80%. Esto nos indica que durante el 80% de la hora en la que se trabajó el flujo vehicular fue uniforme y durante la otra fracción restante de tiempo el flujo vehicular fue disperso.
- **Avenida Yaguarzongo:** 0.71 que es lo mismo que 71%. Esto nos indica que durante el 71% de la hora en la que se trabajó el flujo vehicular fue uniforme y durante la otra fracción restante de tiempo el flujo vehicular fue disperso.
- **Avenida Carlos Calle:** 0.84 que es lo mismo que 84%. Esto nos indica que durante el 84% de la hora en la que se trabajó el flujo vehicular fue uniforme y durante la otra fracción restante de tiempo el flujo vehicular fue disperso.

3.4. Porcentajes de giro

3.4.1. Resultado de porcentaje de giro de la intersección de Piedra Lisa

- **Porcentaje de giro de Troncal Amazónica (del barrio Piedra Lisa a la intersección) con giro hacia el paso lateral de paso:** de los 271 vehículos que ingresan por la troncal amazónica por el barrio Piedra Lisa el 15% giran hacia el paso lateral de paso.
- **Porcentaje de giro de Troncal Amazónica (del barrio Piedra Lisa a la intersección) con giro hacia el paso lateral de paso:** de los 271 vehículos que ingresan por la troncal amazónica por el barrio Piedra Lisa el 85% siguen circulando por la Troncal Amazónica.

3.4.2. Resultado de porcentaje de giro del redondel del terminal terrestre de la ciudad de Yantzaza

Los vehículos que ingresaron por la Troncal Amazónica (desde el centro de la ciudad hacia el redondel) el 16% se dirigieron hacia Av. Rafael Pullaguari, el 49% se dirigieron hacia Troncal Amazónica (hacia el barrio pitá), el 18% hacia la Av. Carlos Calle y el 17% hacia la Av. Yaguarzongo.

Los vehículos que ingresaron por la Av. Rafael Pullaguari el 36% se dirigieron hacia Troncal Amazónica (hacia el centro de la ciudad), el 26% se dirigieron hacia la Av. Carlos Calle, el 12% hacia la Av. Yaguarzongo y el 25% hacia Troncal Amazónica (hacia el barrio Pitá).

Los vehículos que ingresaron por la Troncal Amazónica (desde el barrio Pitá hacia el redondel) el 11% se dirigieron hacia Av. Rafael Pullaguari, el 75% se dirigieron hacia Troncal Amazónica (centro de la ciudad), el 14% hacia la Av. Carlos Calle y el 0% hacia la Av. Yaguarzongo.

Los vehículos que ingresaron por la Av. Yaguarzongo el 22% se dirigieron hacia Troncal Amazónica (hacia el barrio Pitá), el 15% se dirigieron hacia Av. Rafael Pullaguari, el 38% hacia Troncal Amazónica (hacia el centro de la ciudad) y el 25% hacia la Av. Carlos Calle.

Los vehículos que ingresaron por la Av. Carlos Calle el 22% se dirigieron hacia la Av. Yaguarzongo, el 25% se dirigieron hacia la Troncal Amazónica (hacia el barrio Pitá), el 24% hacia Av. Rafael Pullaguari y el 29% hacia Troncal Amazónica (hacia el centro de la ciudad).

3.5. Hora pico

3.5.1. Resultado de la hora pico de la intersección de Piedra Lisa

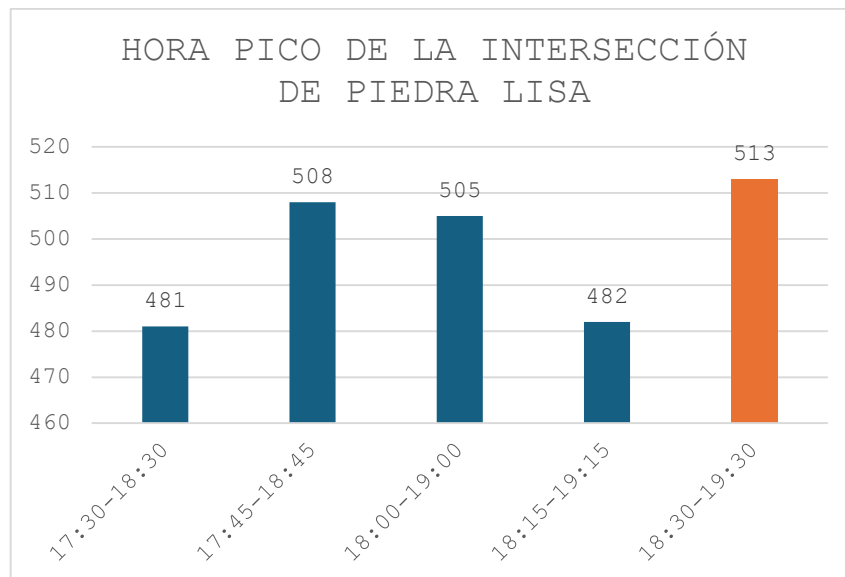
- 17:30 - 18:30= 481 vehículos
- 17:45 - 18:45= 508 vehículos

- 18:00 - 19:00= 505 vehículos
- 18:15 - 19:15= 482 vehículos
- 18:30 - 19:30= 513 vehículos

En la Figura 17 se muestra una gráfica la cual visualiza la hora pico de la intersección de Piedra Lisa en un tiempo de dos horas, obteniendo un resultado de que la hora pico es de 18:30 a 19:30 con un flujo vehicular de 513 veh/h.

Figura 17

Gáfica de hora pico en intersección de Piedra Lisa



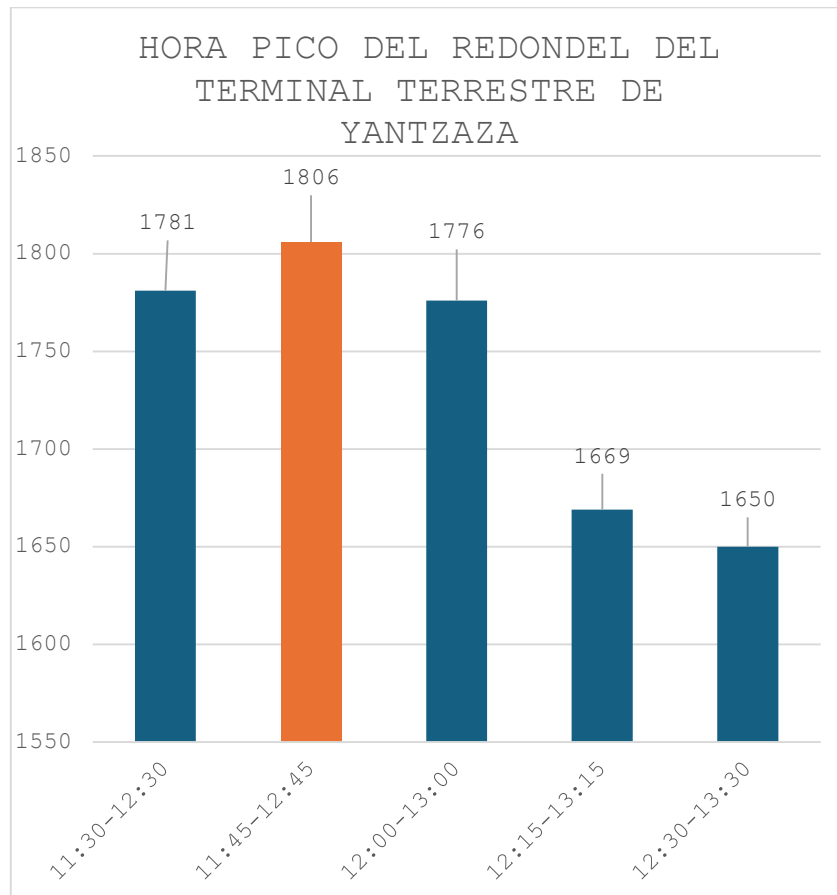
3.5.2. Resultado de hora pico de la intersección del redondel del terminal terrestre de la ciudad de Yantzaza

- 11:30 – 12:30= 1781
- 11:45 – 12:45= 1806
- 12:00 – 13:00= 1776
- 12:15 – 13:15= 1669
- 12:30 – 13:30= 1650

En la Figura 18 se muestra una gráfica la cual visualiza la hora pico del redondel del terminal terrestre de Yantzaza en un tiempo de dos horas, obteniendo un resultado de que la hora pico es de 11:45 a 12:45 con un flujo vehicular de 1806 veh/h.

Figura 18

Gráfica de hora pico del terminal terrestre de Yantzaza



3.6. Validación del modelo

3.6.1. Validación de modelo de intersección de Piedra Liza

Usando la fórmula para la validación del modelo en Aimsun, se obtuvo un GEH de 0,94 lo que indica una adecuada correspondencia entre vehículos observados y vehículos simulados.

3.6.2. Validación del modelo del redondel del terminal terrestre de la ciudad de Yantzaza

Usando la fórmula para la validación del modelo en Aimsun, se obtuvo un GEH de 0,47 lo que indica una adecuada correspondencia entre vehículos observados y vehículos simulados.

3.7. Resultados del modelado actual

3.7.1. Resultados de la intersección de Piedra Liza

En las siguientes figuras se muestra el resultado de diseñar la intersección de Piedra Liza en AutoCAD y Aimsun, de esta manera en la Figura 19 se muestra la intersección de Piedra Liza con una vista en planta diseñada en AutoCAD, posteriormente en la Figura 20 y Figura 21 se visualiza el resultado del diseño de la intersección en el software Aimsun con vista en planta y en 3D respectivamente.

Figura 19

Diseño de la intersección de Piedra Liza en AutoCAD

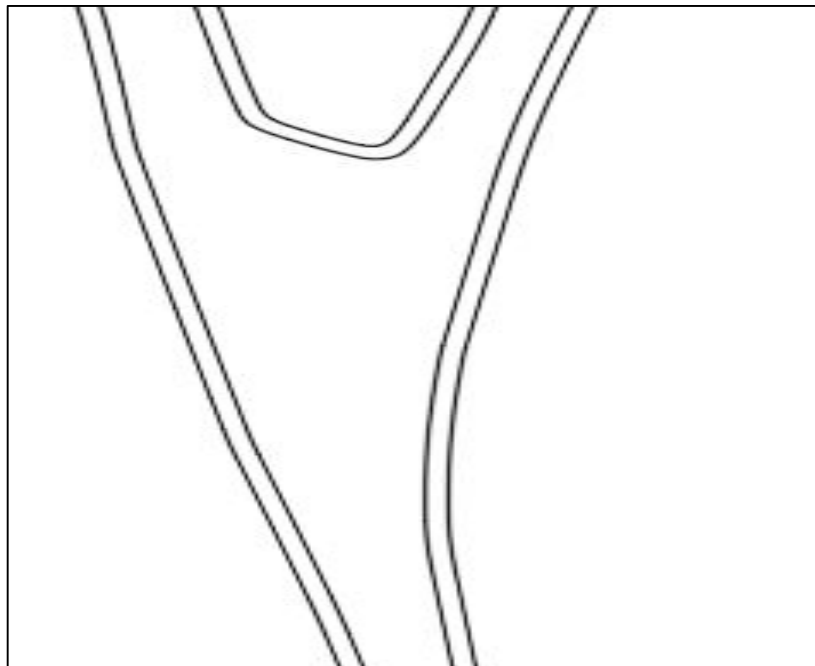
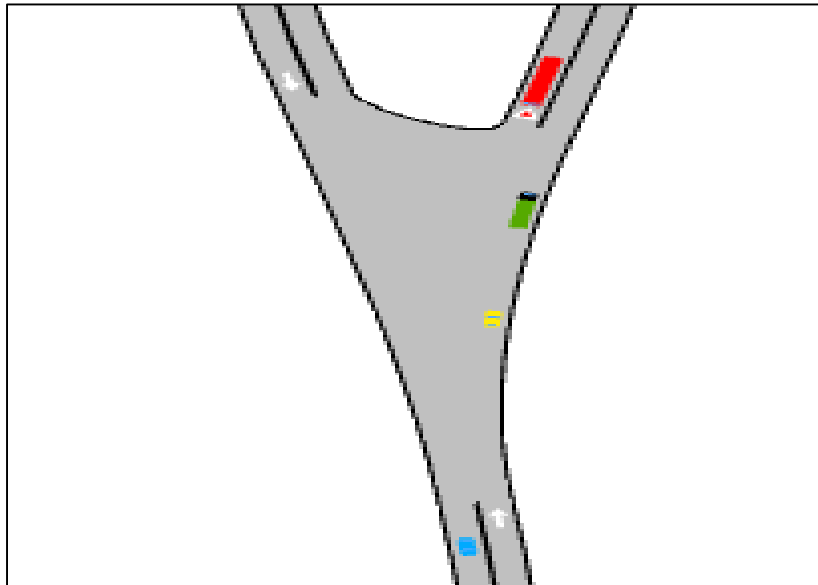


Figura 20

Diseño de la intersección de Piedra Lisa en Aimsun

**Figura 21**

Diseño en 3D de la intersección de Piedra Lisa en Aimsun



En las siguientes figuras se muestran los resultados de los indicadores de evaluación en la intersección de Piedra Lisa en su estado actual, de esta manera en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra las velocidades con las que circulan los vehículos por la intersección de Piedra Lisa con una media de 52,37km/h, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la densidad vehicular que tiene la intersección la cual es de 2,63 veh/km, en la Figura 24 se muestra el flujo vehicular que transita por la intersección siendo este una media de 492 veh/h y en la Figura 25 se muestra

el número de paradas que realizan los vehículos al cruzar por la intersección de Piedra Lisa el cual tiene una media de 11,8 paradas en una hora.

Figura 22

Gráfica de velocidad de vehículos en intersección de Piedra Lisa generada por Aimsun

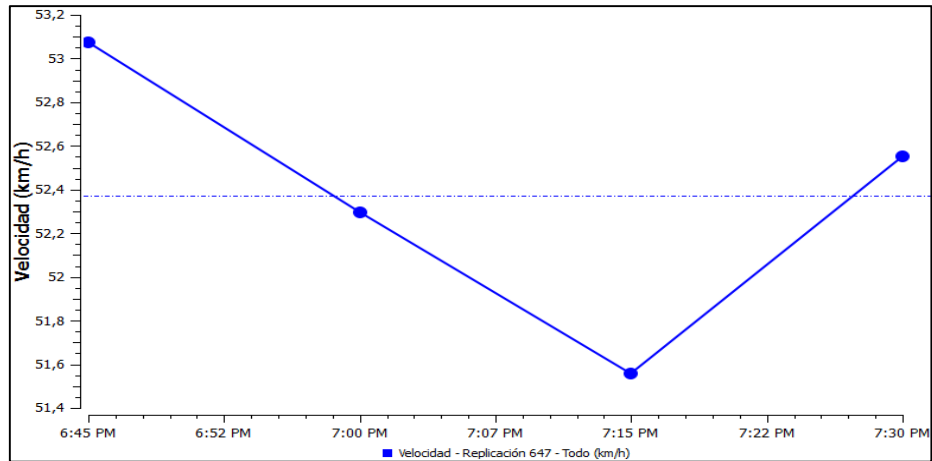


Figura 23

Gráfica de densidad de vehículos en intersección de Piedra Lisa, generada por Aimsun

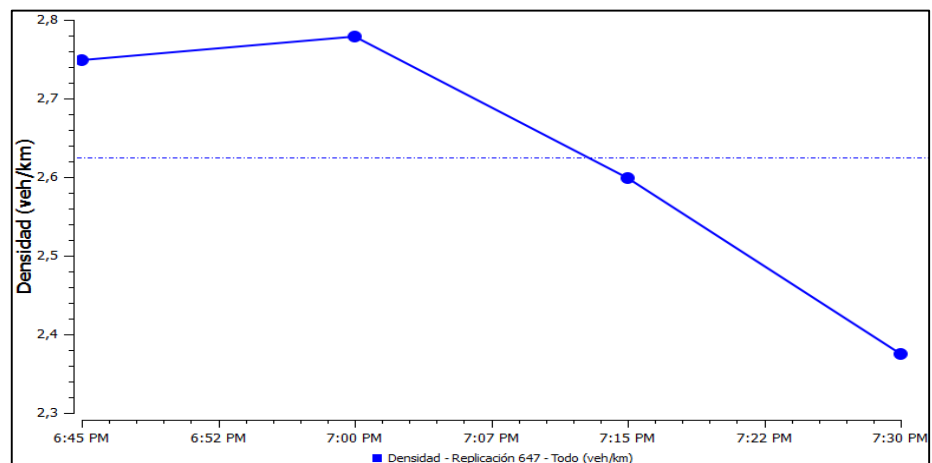
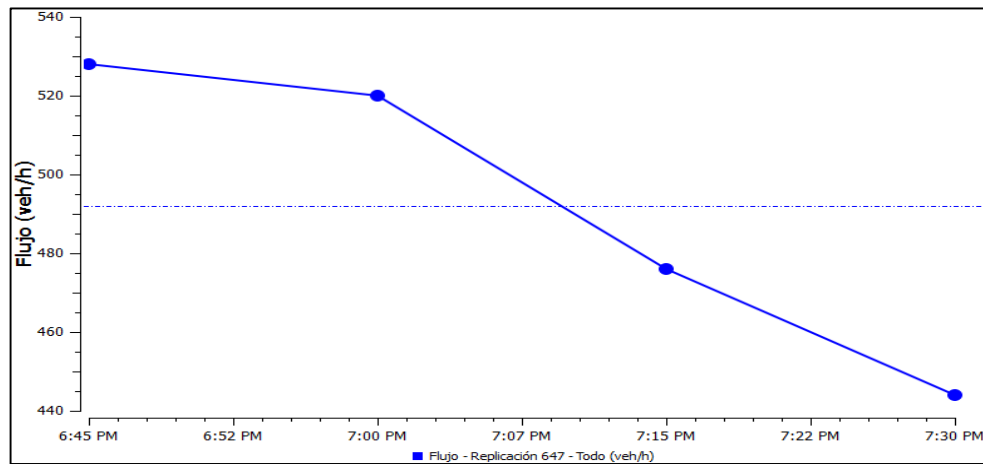
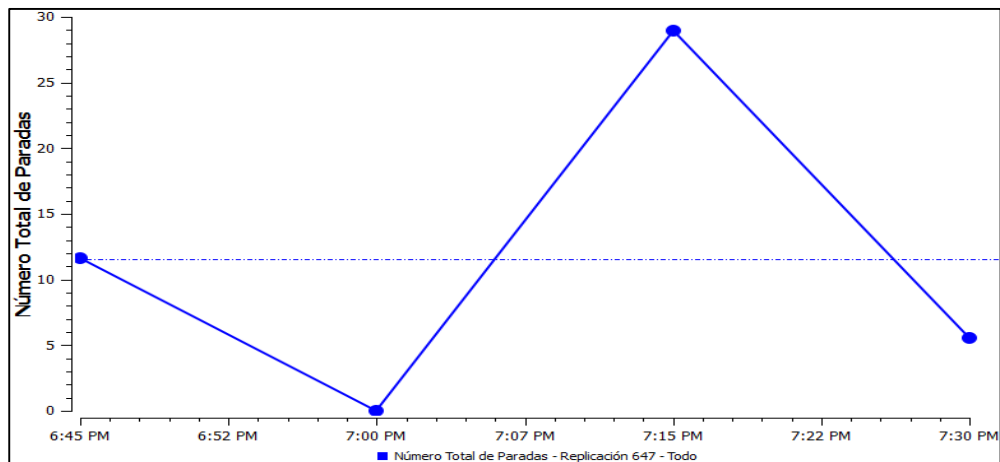


Figura 24

Gráfica de flujo vehicular en intersección de Piedra Lisa generada por Aimsun

**Figura 25**

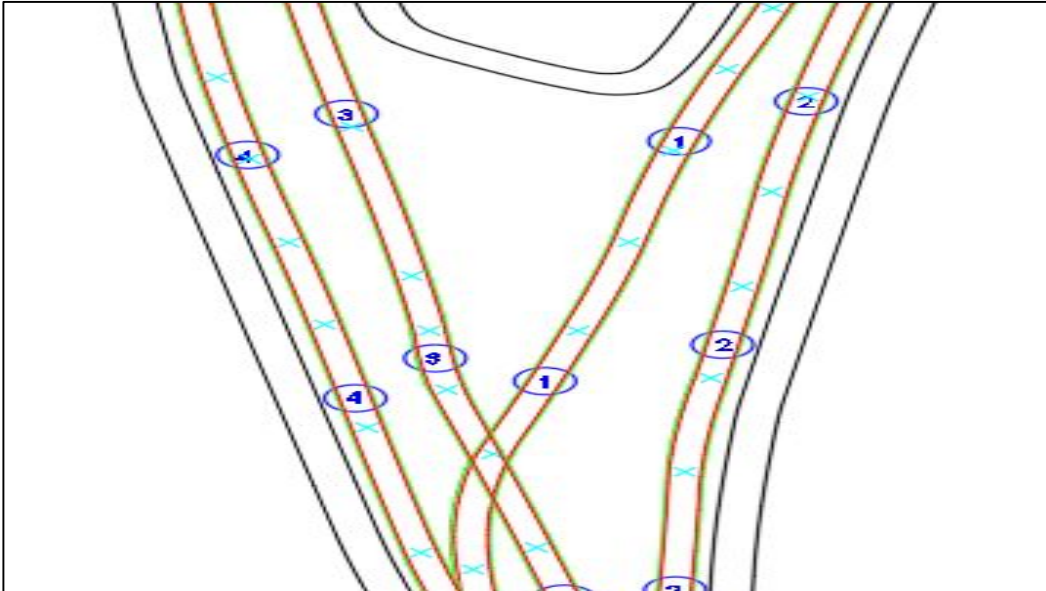
Gráfica de número total de paradas de los vehículos en la intersección de Piedra Lisa generada por Aimsun.



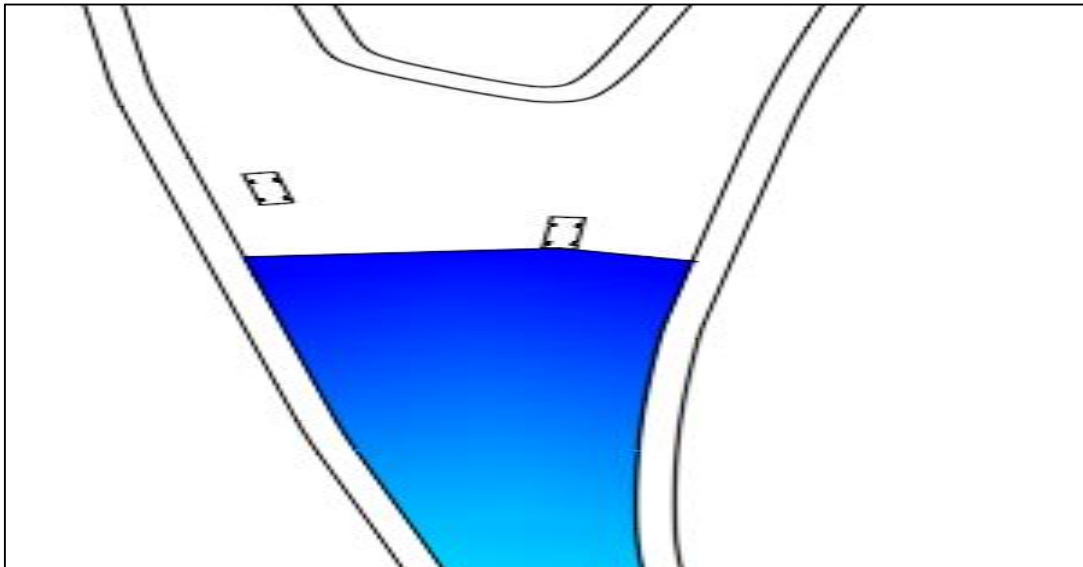
En la Figura 26 se muestra las trayectorias que siguen los vehículos al cruzar por la intersección de Piedra Lisa donde se puede evidenciar grandes áreas de la vía que no son utilizadas y en la Figura 27 se muestra el campo de visión que tienen los conductores que cruzan la intersección cuando llegan desde el centro de la ciudad, este campo de visión muestra que el conductor es incapaz de percibir que llega un vehículo desde el paso lateral para poder ceder el paso.

Figura 26

Trayectorias que siguen los vehículos que transitan por la intersección de Piedra Lisa en AutoCAD

**Figura 27**

Campo de visión de conductores que llegan a la intersección desde el centro de la ciudad de Yantzaza en AutoCAD



3.7.2. Resultado del redondel del terminal terrestre de Yantzaza

En las siguientes figuras se muestra el resultado de diseñar el redondel del terminal terrestre de Yantzaza en AutoCAD y Aimsun, de esta manera en la **¡Error! No se encuentra**

el origen de la referencia. se muestra el redondel del terminal terrestre de Yantzaza con una vista en planta diseñada en AutoCAD, posteriormente en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Figura 30 se visualiza el resultado del diseño del redondel en el software Aimsun con vista en planta y en 3D respectivamente.

Figura 28

Diseño del redondel del terminal terrestre de Yantzaza en AutoCAD

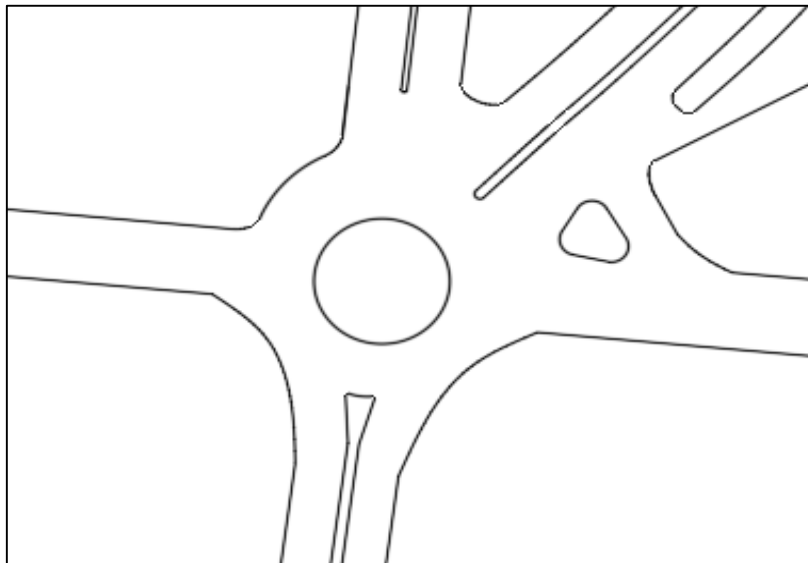


Figura 29

Diseño del redondel del terminal terrestre de Yantzaza en Aimsun

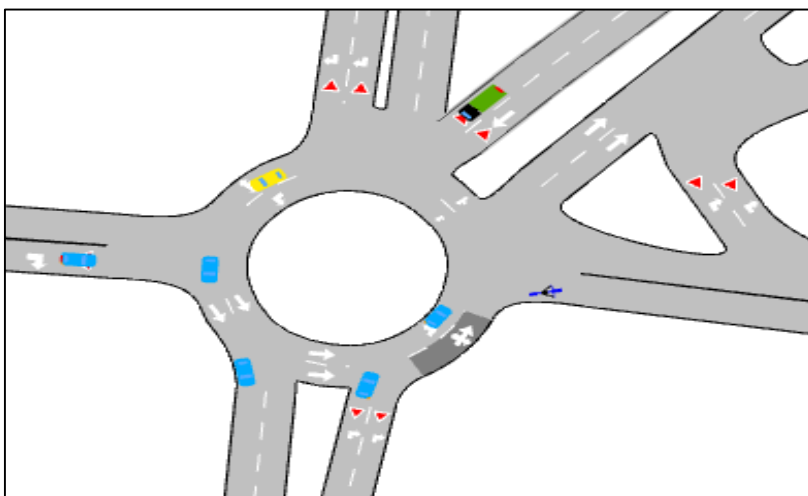


Figura 30

Diseño en 3D del redondel del terminal terrestre de Yantzaza en Ainsum



En las siguientes figuras se muestran los resultados de los indicadores de evaluación en el redondel del terminal terrestre de Yantzaza en su estado actual, de esta manera en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan las velocidades a las que circulan los vehículos que atraviesan el redondel obteniendo una media de 31,81 km/h, la Figura 32 muestra la densidad vehicular en dicho redondel siendo la media de 8,29 veh/km, mientras que la Figura 33 ilustra el flujo vehicular que lo transita siendo este una media de 1782 veh/h, por último, en la Figura 34 se detalla el número de paradas que realizan los vehículos al cruzarlo obteniendo una media de 1141 paradas durante una hora.

Figura 31

Gráfica de velocidad de vehículos en redondel del terminal terrestre de Yantzaza, generada por Ainsum

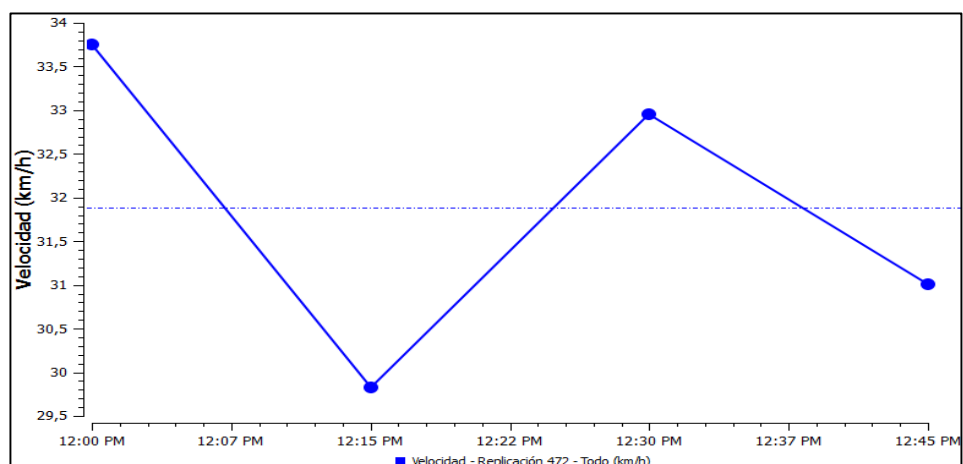
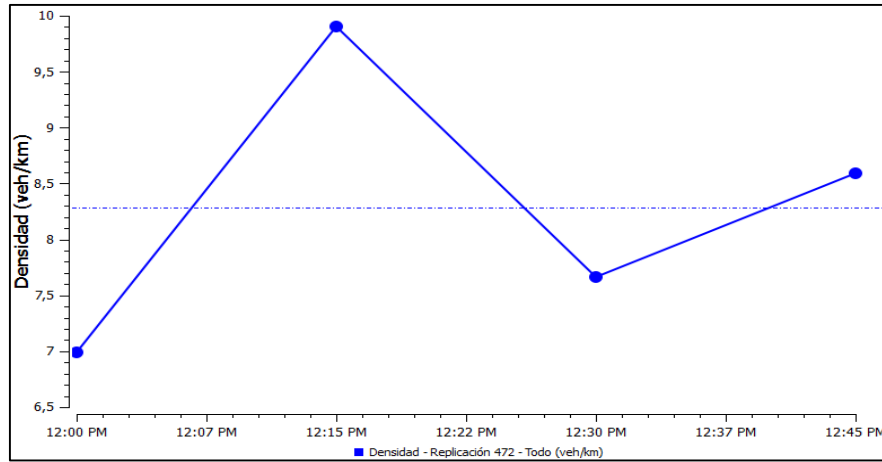


Figura 32

Gráfica de densidad de vehículos en redondel del terminal terrestre de Yantzaza generada por Ainsum

**Figura 33**

Gráfica de flujo vehicular en redondel de terminal terrestre de Yantzaza, generada por Ainsum

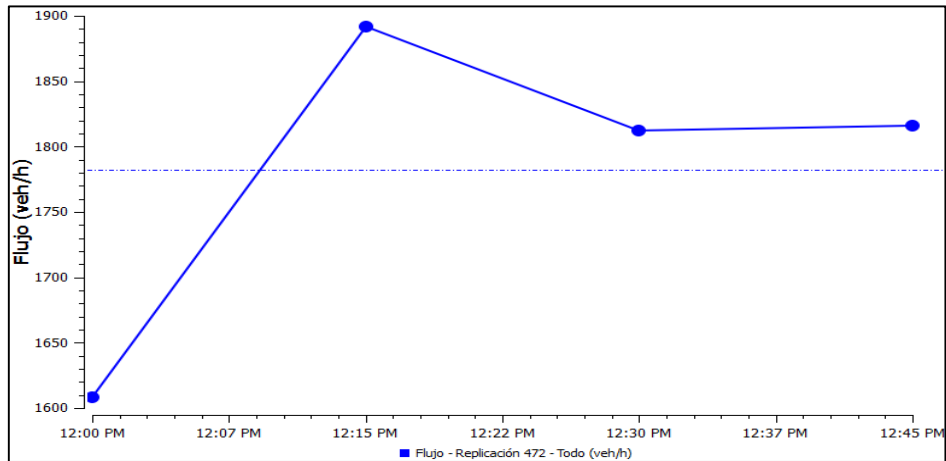
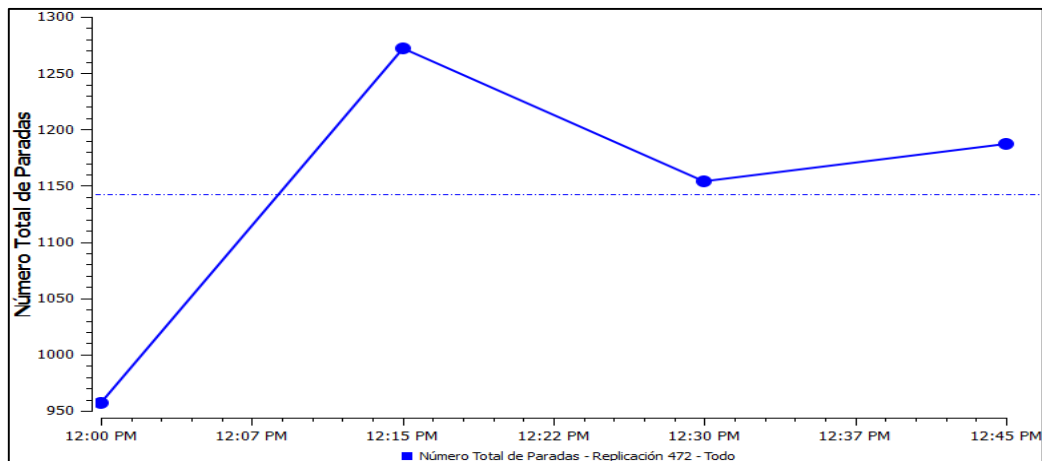


Figura 34

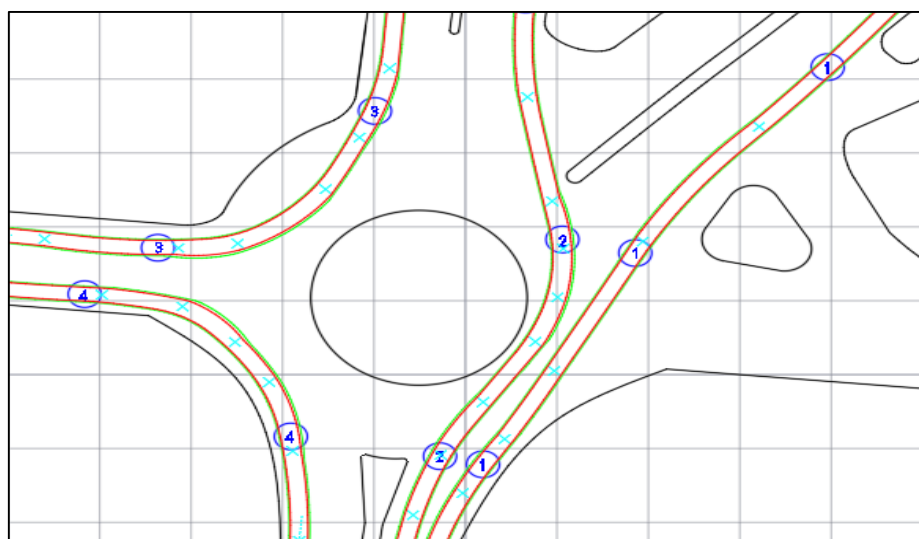
Gráfica de número total de paradas de los vehículos en el redondel del terminal terrestre de Yantzaza, generada por Ainum



En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra las trayectorias conflictivas que siguen los vehículos al cruzar por el redondel del terminal terrestre de Yantzaza, se puede observar que el redondel no tiene influencia en las trayectorias 1,3 y 4, por otro lado, la trayectoria 2 al salir del redondel hacia la Av. Yaguarzongo invade la línea de parada de los vehículos que llegan al redondel desde el barrio Pitá.

Figura 35

Trayectorias que siguen los vehículos que transitan por el redondel del terminal terrestre de Yantzaza en AutoCAD



3.8. Resultados de las propuestas de mejora

3.8.1. Resultado de propuesta de mejora en intersección de Piedra Lisa

En las siguientes figuras se muestra el resultado de diseñar la intersección de Piedra Lisa con la propuesta de mejora en AutoCAD y Aimsun, de esta manera en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta el diseño de la intersección de Piedra Lisa en vista en planta utilizando AutoCAD, destacando los elementos geométricos propuestos para optimizar el flujo vehicular y la seguridad vial, posteriormente, en las Figura 37 y Figura 38 muestran la representación del diseño en el software Aimsun con vistas en planta y en 3D respectivamente

Figura 36

Diseño de propuesta de mejora para la intersección de Piedra Lisa en AutoCAD

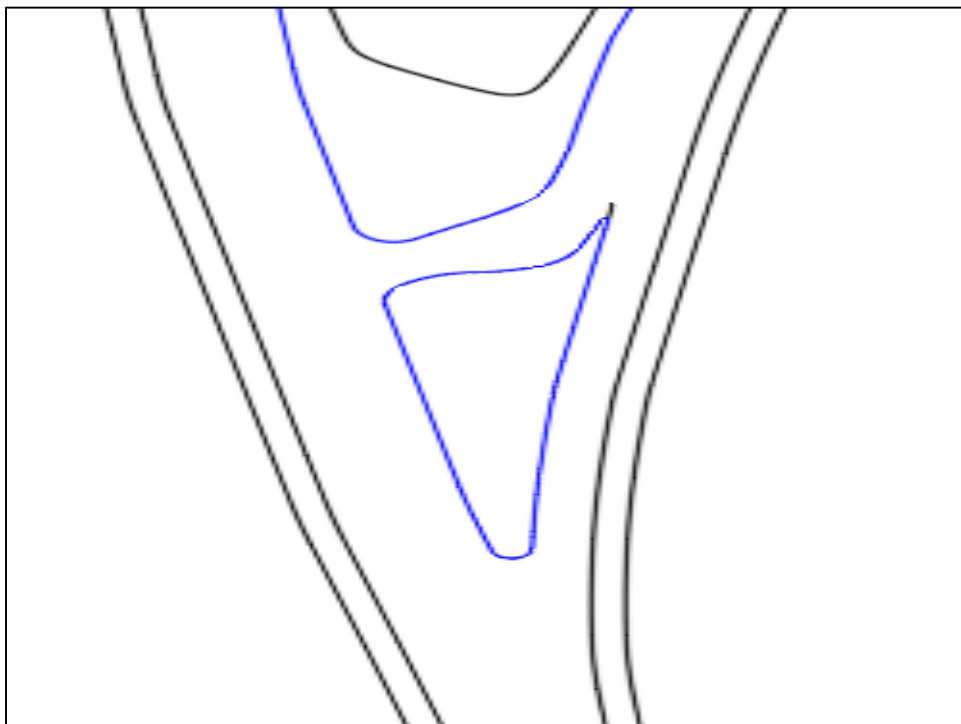
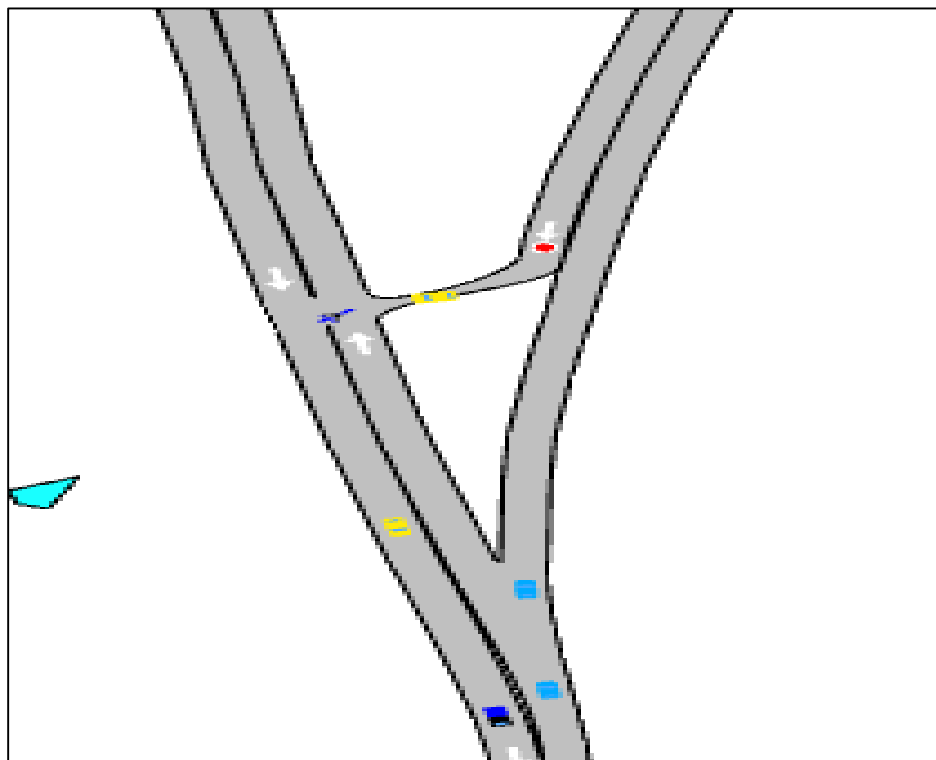


Figura 37

Diseño de la propuesta de mejora de la intersección de Piedra Liza en Ainum

**Figura 38**

Diseño en 3D de la intersección de Piedra Liza en Ainum



En las siguientes figuras se presentan los resultados de los indicadores de evaluación tras la implementación de la propuesta de mejora en la intersección de Piedra Liza, de esta manera en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Se muestra la velocidades con las que circulan los vehículos por la intersección resultando en una media de 37,54km/h,

en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la densidad vehicular que tiene la intersección obteniendo una media de 4,3 veh/km, en la Figura 41 se muestra el flujo vehicular que transita por la intersección siendo este una media de 518 veh/h y en la Figura 42 se muestra el número de paradas que realizan los vehículos al cruzar por la intersección el cual tiene una media de 236 paradas en una hora.

Figura 39

Gráfica de velocidad de vehículos en intersección de Piedra Liza con la propuesta de mejora, generada por Ainsum

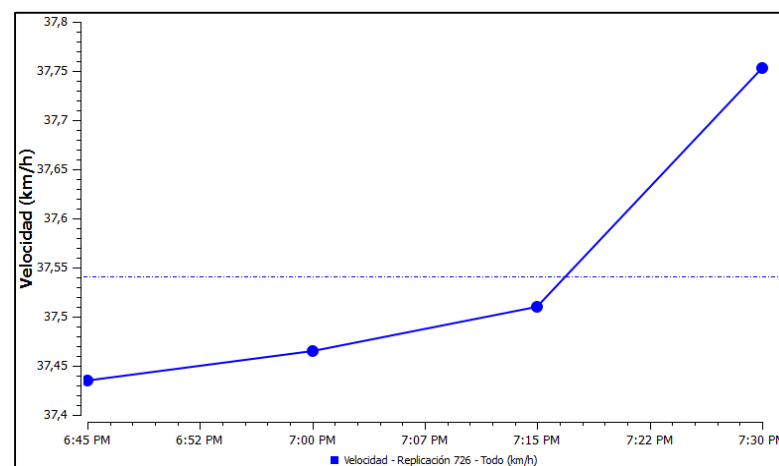


Figura 40

Gráfica de densidad vehicular en intersección de Piedra Liza con propuesta de mejora, generada por Ainsum

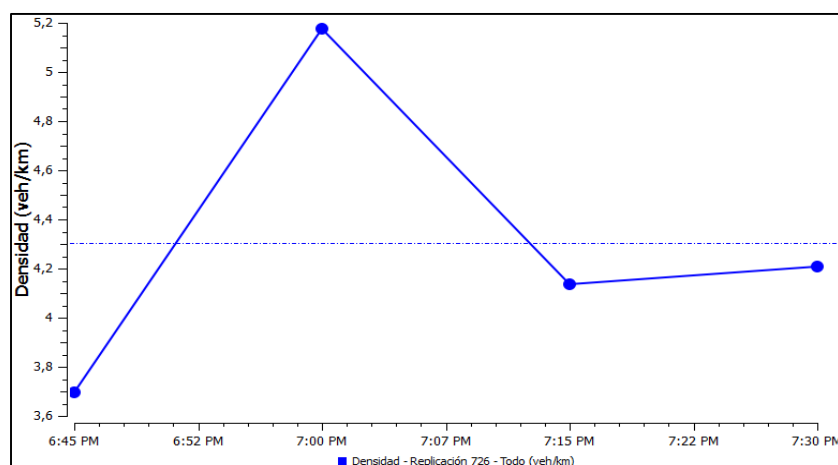
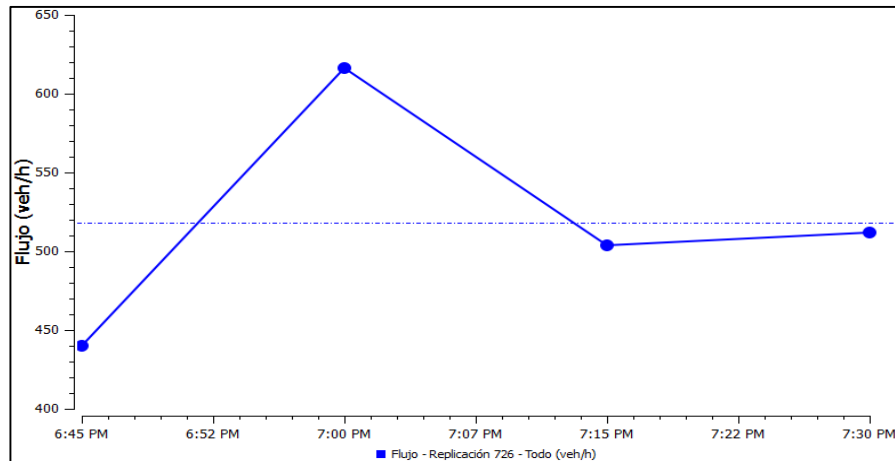
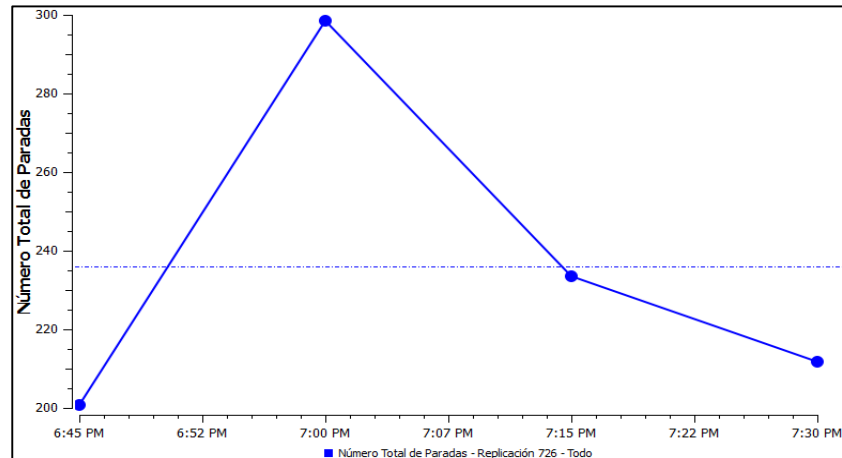


Figura 41

Gráfica de flujo vehicular en intersección de Piedra Liza con propuesta de mejora, generada por Ainsum

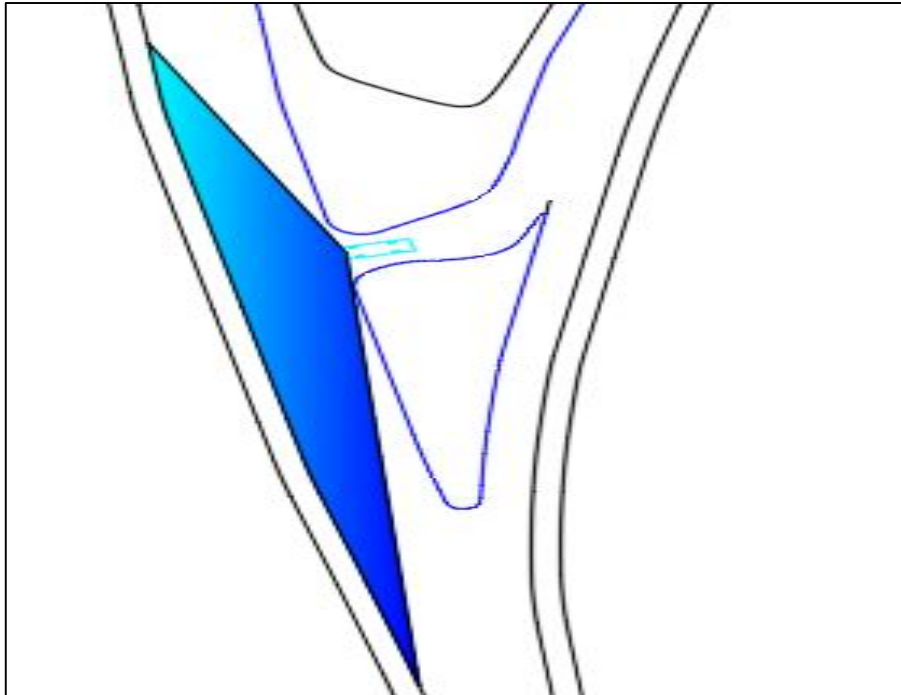
**Figura 42**

Gráfica de número total de paradas de vehículos en intersección de Piedra Liza con propuesta de mejora, generada por Ainsum



En la siguientes figuras se muestra como la propuesta de mejora cambia las trayectorias que siguen los vehículos al cruzar la intersección de Piedra Lisa y como cambia el campo de visión de los conductores que llegan desde el centro de la ciudad hacia la intersección, de esta manera en la Figura 43 se muestran la trayectorias de los vehículos y en la Figura 44

Campo de visión de conductores que llegan a la intersección con propuesta de mejora desde el centro de la ciudad de Yantzaza en AutoCAD



se muestra el campo de visión de los conductores con la nueva trayectoria.

Figura 43

Trayectorias que siguen los vehículos que transitan por la intersección de Piedra Lisa con propuesta de mejora en AutoCAD

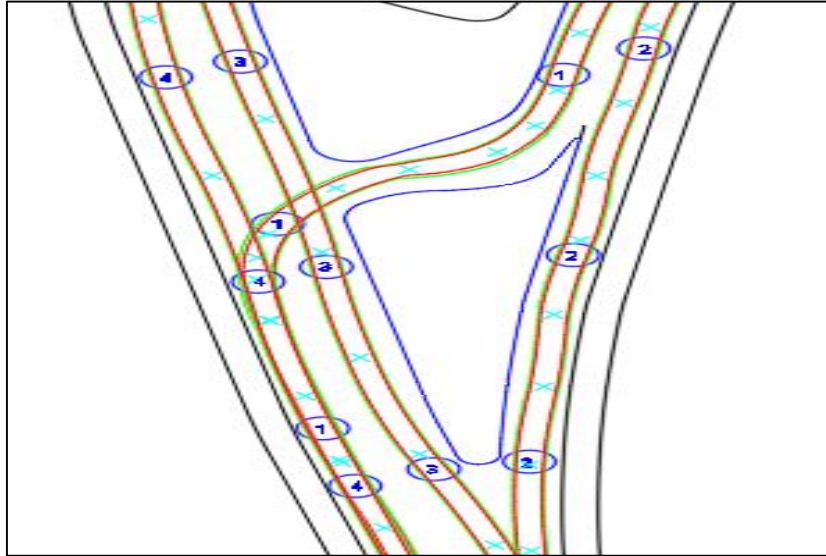
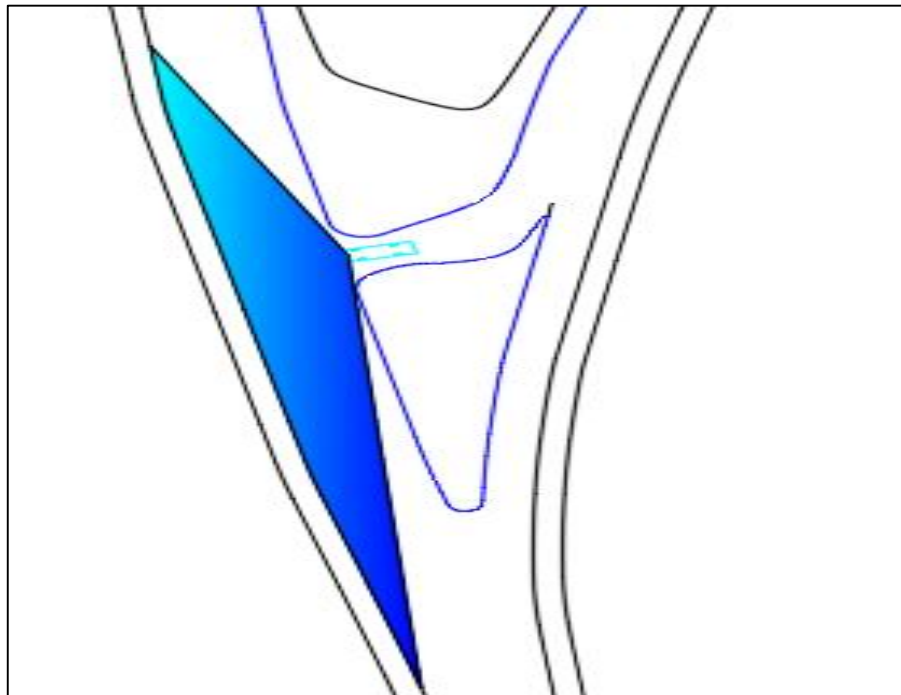


Figura 44

Campo de visión de conductores que llegan a la intersección con propuesta de mejora desde el centro de la ciudad de Yantzaza en AutoCAD



3.8.2. Resultado de propuesta de mejora en redondel del terminal terrestre de Yantzaza

En las siguientes figuras se muestra el resultado de diseñar el redondel del terminal terrestre de Yantzaza con la propuesta de mejora en AutoCAD y Aimsun, de esta manera en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el redondel del terminal terrestre de Yantzaza con una vista en planta diseñada en AutoCAD, posteriormente en la Figura 46 y Figura 47 se visualiza el resultado del diseño del redondel en el software Aimsun con vista en planta y en 3D respectivamente.

Figura 45

Diseño de redondel del terminal terrestre con propuesta de mejora en AutoCAD

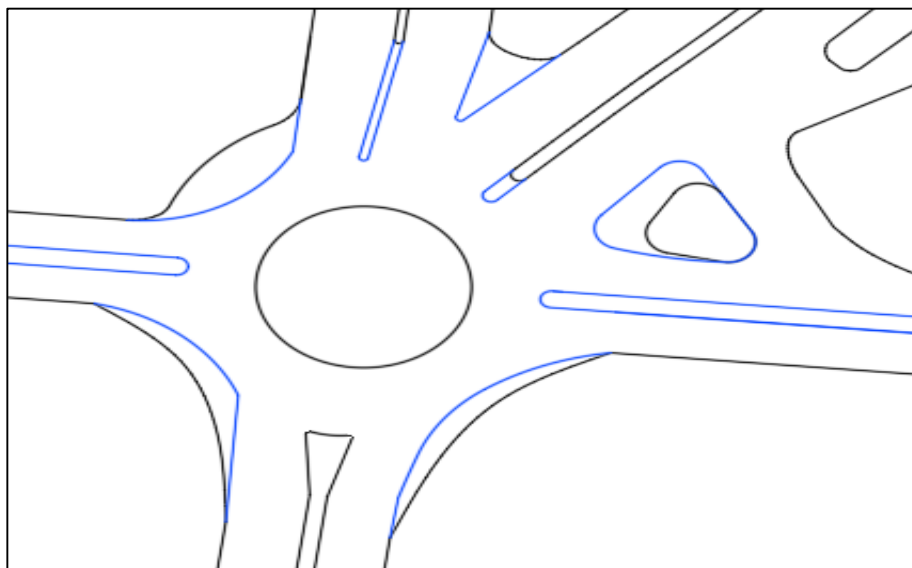
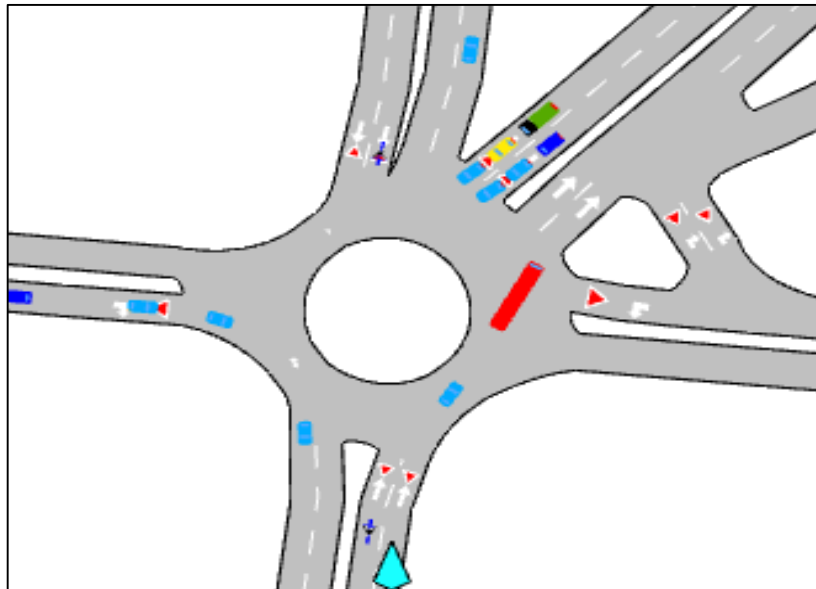


Figura 46

Diseño del redondel del terminal terrestre de Yantzaza con propuesta de mejora en AutoCAD

**Figura 47**

Diseño en 3D del redondel del terminal terrestre de Yantzaza con propuesta de mejora en Aimsun



En las siguientes figuras se muestran los resultados de los indicadores de evaluación en el redondel del terminal terrestre de Yantzaza con la propuesta de mejora, de esta manera en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan las velocidades a las que circulan los vehículos que atraviesan el redondel resultando en una media de 27,47 km/h,

la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la densidad vehicular en dicho redondel el cual tiene una media de 16,28 veh/km, mientras que la Figura 50 ilustra el flujo vehicular que lo transita siendo este una media de 1710 veh/h, por último, en la Figura 51 se detalla el número de paradas que realizan los vehículos al cruzarlo obteniendo una media de 1450 paradas durante una hora.

Figura 48

Gráfica de velocidad de vehículos en redondel del terminal terrestre de Yantzaza, generada por Aimsun

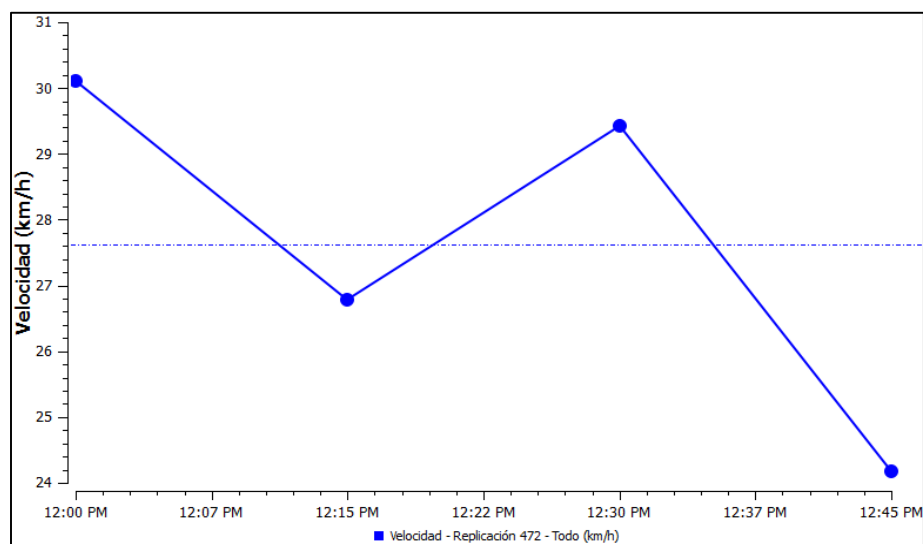
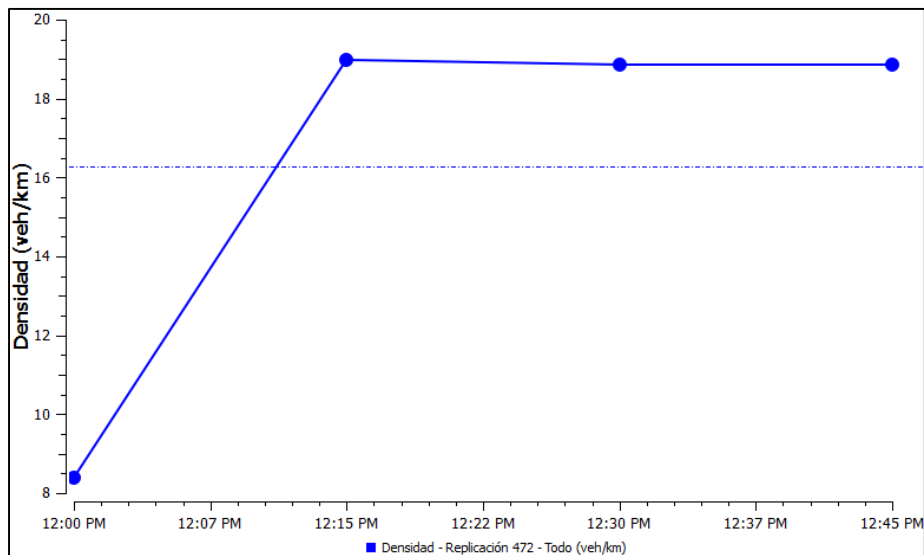
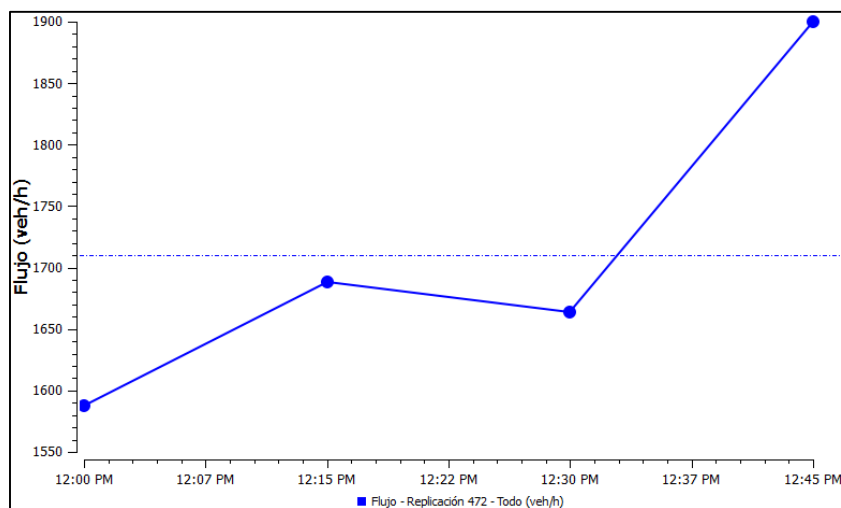


Figura 49

Gráfica de densidad de vehículos en redondel del terminal terrestre de Yantzaza generada por Aimsun

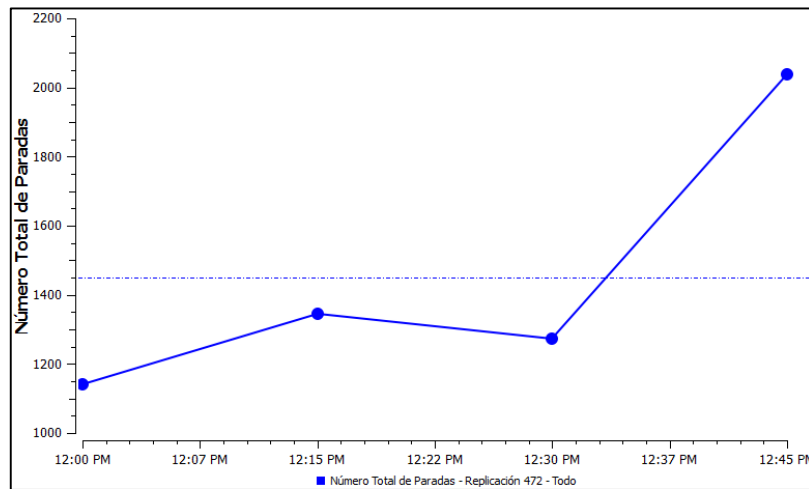
**Figura 50**

Gráfica de flujo vehicular en redondel de terminal terrestre de Yantzaza con propuesta de mejora, generada por Aimsun

**Figura 51**

Gráfica de número total de paradas de vehículos en el redondel del

terminal terrestre de Yantzaza con propuesta de mejora, generada por Aimsun

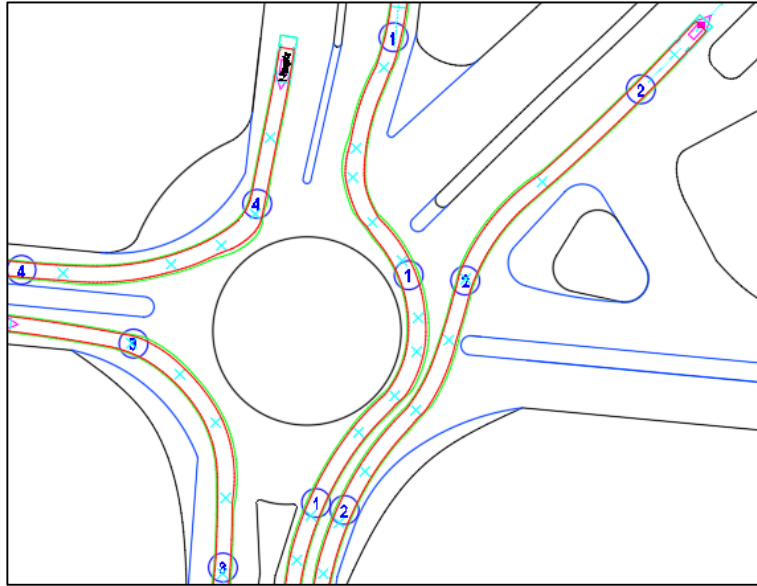


En la Figura 52 se muestra la mejora en las trayectorias que siguen los vehículos al cruzar por el redondel del terminal terrestre de Yantzaza, Se observa que el redondel influye en las trayectorias 2, 3 y 4, la trayectoria 2 no invade la línea de parada de los vehículos que llegan desde el barrio Pitá.

Figura 52

Trayectorias que siguen los vehículos que transitan por el

redondel del terminal terrestre de Yantzaza con propuesta de mejora, en AutoCAD



Capítulo cuatro

Discusión

4.1. Discusión de intersección de Piedra Liza

La intersección de Piedra Liza ubicada entre la Troncal Amazónica y el paso lateral de Yantzaza presentó en su diagnóstico inicial problemas críticos relacionados con la visibilidad limitada y el uso ineficiente del espacio vial. La falta de visibilidad, la falta de señalización adecuada y la alta velocidad (52,37 km/h) a la que transitan los vehículos aumentan los riesgos de colisión específicamente durante el horario pico de 18:30 a 19:30 cuando se registró un flujo de 513 vehículos.

La implementación de la propuesta de mejora tuvo una influencia significativa en los resultados ya que se muestra una reducción en la velocidad (37,54 km/h) de los vehículos y un aumento de la densidad vehicular a 4,3 vehículos/km lo que indica un mejor control del flujo vehicular. Además, el flujo vehicular incrementó a 518 vehículos/h reflejando una mejora en la capacidad operativa de la intersección, por otra parte, la visibilidad también mejoró notablemente minimizando los puntos de conflicto y aumentando la seguridad vial.

Desde una perspectiva de planificación urbana las soluciones aplicadas en Piedra Liza son escalables ya que elementos como las isletas canalizadoras pueden replicarse en otras intersecciones periurbanas de Yantzaza con características similares ya que esta estrategia no solo mejorará la seguridad vial, sino que también permitirá una optimización del espacio vial en zonas con flujos vehiculares elevados contribuyendo al desarrollo sostenible del sistema de transporte local.

4.2. Discusión de redondel del terminal terrestre de Yantzaza

El redondel del terminal terrestre de Yantzaza ubicado en un entorno urbano altamente concurrido registró un flujo vehicular máximo de 1806 vehículos durante su horario pico de 11:45 a 12:45. Esta intersección conecta varias vías clave lo que genera una alta densidad de tráfico y conflictos en las trayectorias vehiculares.

En el diagnóstico inicial se identificaron problemas como la invasión de líneas de parada y la limitada capacidad del diseño del redondel para organizar eficientemente las trayectorias de los vehículos y sus resultados mostraron que los vehículos circulan a una velocidad promedio de 31,81 km/h, existe una densidad de 8,29 vehículos/km y un flujo promedio de 1782 vehículos/h cifras que reflejan una alta capacidad operativa del redondel.

En la propuesta de mejora se abordó temas como cambios en la geometría del redondel dirigidas a mejorar las trayectorias vehiculares, logrando resultados como la disminución en la velocidad de los vehículos (27,47 km/h), un aumento en la densidad vehicular (16,28 veh/km) indicando una mayor capacidad del redondel para manejar el flujo vehicular. Estas mejoras promovieron una mejor organización del tránsito en el redondel y sirven como punto de referencia para la implementación de nuevos redondeles evitando la replicación de los problemas actuales del redondel.

4.3. Discusión de comparación con otros proyectos relacionados con el tema

Este trabajo comparte semejanzas con investigaciones de otros autores con temas similares tanto en términos de metodología como en resultados.

Un trabajo destacado es el de Paucar & Santos (2022), quienes realizaron el rediseño físico y operacional de la intersección Av. La Marina - Av. Escardó en Lima. Al igual que en este proyecto utilizaron herramientas de micro simulación para evaluar alternativas geométricas. Sin embargo, su enfoque incluyó soluciones específicas como intersecciones tipo MUT y RCUT mientras que el presente trabajo se centró en la implementación de isletas canalizadoras y ajustes geométricos más tradicionales. Ambos estudios coinciden en la validación de modelos y en el uso de simulaciones para medir indicadores como tiempos de viaje y reducción de colas logrando en ambos casos mejoras significativas en la eficiencia y seguridad vial.

Por otro lado, el trabajo de Acuña & Montoya (2024), en la rotonda La Fontana en el distrito de La Molina también guarda similitudes con el enfoque adoptado en este estudio,

utilizaron el manual NCHRP y el software VISSIM para evaluar deficiencias en el diseño existente y proponer un rediseño geométrico. Los resultados arrojaron que con la disminución de puntos de conflicto hubo una reducción en los tiempos de viaje de un 11% y un 27% mejoras que son comparables con los resultados obtenidos en el redondel del terminal terrestre de Yantzaza donde se logró una reducción de conflictos que mejora la operatividad del redondel y una mejor seguridad vial, una diferencia entre los dos trabajos está en que este trabajo propone soluciones escalables mientras que el estudio de La Fontana está enfocado específicamente en esa intersección.

Por último, el modelo propuesto por Rodríguez (2012), habla sobre la simulación de tráfico vehicular y peatonal utilizando CUDA, este trabajo aporta una perspectiva más tecnológica y contrasta con la metodología que se usa en este trabajo (intersecciones conflictivas de Yantzaza) ya que resalta la importancia del uso de tecnología como software de tránsito para obtener resultados más precisos y eficientes en los procesos de simulación.

Conclusiones

El presente estudio de modelación, simulación y rediseño de las intersecciones de Piedra Lisa y el redondel del terminal terrestre de Yantzaza ha permitido identificar y abordar problemáticas clave relacionadas con la seguridad vial, la fluidez del tránsito y el uso eficiente del espacio vial, por medio de un diagnóstico detallado se evidenciaron conflictos críticos como la visibilidad limitada, trayectorias cruzadas y diseños geométricos ineficientes que afectan la operación de estas intersecciones conflictivas en la ciudad de Yantzaza.

En el caso de la intersección de Piedra Lisa los problemas detectados mediante el diagnóstico inicial incluyeron la alta velocidad promedio de los vehículos y una geometría que generaba amplias áreas inutilizadas de esta manera la implementación de isletas canalizadoras y ajustes geométricos como parte de la propuesta de mejora logró resultados significativos como una reducción en la velocidad media, un incremento en la densidad vehicular y un aumento en el flujo vehicular, estas mejoras optimizaron la funcionalidad de la intersección y redujeron los riesgos asociados con los puntos de conflicto mejorando la experiencia y seguridad para los conductores.

Por otro lado, en el redondel del terminal terrestre de Yantzaza el diagnóstico inicial reveló problemas como la invasión de líneas de parada y la limitada influencia del diseño del redondel en las trayectorias vehiculares por eso la propuesta de mejora incluyó modificaciones geométricas orientadas a optimizar las trayectorias y reducir conflictos, como resultado se logró un incremento en la densidad lo que refleja un mayor control del tránsito y una organización más eficiente del tráfico sin afectar significativamente el flujo vehicular que se mantuvo en 1710 vehículos/h.

La validación de los modelos simulados aseguró que las mejoras propuestas estén respaldadas por análisis precisos y representativos de las condiciones reales, este proceso permitió garantizar la fiabilidad de los resultados y la aplicabilidad de las soluciones planteadas y de igual manera las intervenciones realizadas en ambas intersecciones son

escalables ya que los elementos implementados como las isletas canalizadoras y los ajustes geométricos pueden adaptarse fácilmente a otras intersecciones conflictivas de la ciudad.

Por último, este estudio resalta la importancia de combinar herramientas tecnológicas como software de tránsito con un enfoque analítico para identificar soluciones efectivas a problemas complejos de movilidad, las mejoras implementadas han demostrado ser eficaces en términos de seguridad y fluidez del tráfico y también representan un modelo sostenible para el desarrollo de la infraestructura vial en Yantzaza.

Recomendaciones

Se recomienda implementar tecnologías avanzadas para el registro del flujo vehicular como sensores de tráfico, estas herramientas pueden automatizar el proceso de aforo reduciendo el margen de error humano y permitiendo un análisis más detallado de los datos, también la integración de estas tecnologías con software de análisis facilitaría la obtención de patrones de tráfico y su interpretación.

Por el lado de la evaluación del flujo vehicular se recomienda extender los periodos a semanas, meses o incluso años para obtener una visión integral de las tendencias y variaciones estacionales en el tránsito, este análisis podría identificar patrones recurrentes como aumentos de tráfico en periodos festivos o vacaciones permitiendo ajustes en la planificación vial a largo plazo.

También se recomienda complementar las mejoras geométricas con una adecuada señalización tanto horizontal como vertical para guiar a los conductores y peatones de manera clara, así como también socializar a la ciudadanía de los cambios que se hicieron en las intersecciones para evitar confusiones y fomentar una correcta adaptación a la nueva dinámica vial.

Por último, se sugiere incorporar elementos como áreas verdes o arbolado en las isletas y zonas circundantes con el objetivo de embellecer el entorno urbano sin obstruir los campos de visión necesarios para que los conductores crucen la intersección de manera segura y dar zonas de resguardo para los peatones que desean cruzar por la intersección.

Referencias

- Acuña, G., & Montoya, L. (2024). *Propuesta de rediseño geométrico de la rotonda La Fontana en el distrito de La Molina para reducir los tiempos de viaje utilizando el manual NCHRP-REPORT 672* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/674561>
- Beeston, L., Blewitt, R., Bulmer, S., & Wilson, J. (2021). *Traffic Modelling Guidelines*. <https://content.tfl.gov.uk/traffic-modelling-guidelines.pdf>
- Bravo Narvaez, Y. L. (2007). *Análisis y control de tráfico vehicular en zonas críticas de la ciudad de Quito, mediante simulación*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19506/1/CD-1129.pdf>
- Cal y Mayor Reyes Spínola, R., & Cárdenas Grisales, J. (2018). *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones* (novena edición). Alfaomega Colombiana S.A.
- Calderon, J. I., & Ricci, I. L. (2010). *Travesías Urbanas Como Solución de Seguridad Vial*. <https://www.yumpu.com/es/document/view/52458581/travesias-urbanas-como-solucion-de-seguridad-vial-lemac>
- Díaz, A. R., & Vazquez, V. I. (2000). *Definición de extensiones a un lenguaje de microsimulación para tráfico urbano*. <https://cell-devs-02.sce.carleton.ca/publications/2000/DV00/DiazVazquez.pdf>
- Díaz Ivorra, M. del C., Díaz Ivorra, J. F., Ferreiro Prieto, I., Pérez Carrión, M. T., Serrano Cardona, M., Jover, R. T., Sentana Gadea, I., & Sentana Cremades, E. (2002). INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA EN LA DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONFLICTO EN UNA INTERSECCIÓN DE VIALES. *Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. <https://personal.ua.es/es/roberto-tomas/documentos/influencia-de-la-geometria-en-puntos-de-conflicto-de-intersecciones-ingegraf-badajoz.pdf>

- Escuela de ingeniería de caminos de montaña. (2010). *Normas y Recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial*.
https://docs.google.com/file/d/0BxLPNTrCi_7udndrdnJlbXJ6THc/edit?resourcekey=0-xFTQ8GTzKIVlacKwDk36wg
- Fraile, C. N. (2014, November 3). *Ni calle ni carretera, ¡travesía!*
<https://revista.dgt.es/es/reportajes/2014/11NOVIEMBRE/1103travesias.shtml>
- LSP. (2014). *Intersecciones. Percepción desde la vía secundaria Problema*.
<https://mediambient.gva.es/documents/20088661/73473702/06-Intersecciones.pdf/1758cda6-7ecb-4ff2-9d1a-a339b78aa2ad?t=1399298634966>
- Martínez Guardado, J. X., & Juárez Mejía, I. A. (2018). *MODELO MATEMÁTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA FLUIDEZ DEL TRÁFICO VEHICULAR EN LA INTERSECCIÓN ENTRE LAS CALLES SAN ANTONIO ABAD, BULEVAR DE LOS HÉROES, 25 AV. NORTE Y AUTOPIS- TA NORTE*. 20–21.
- Millan Rincon, J. (1990). LAS TRAVESIAS URBANAS EN LA RED PRINCIPAL DE CARRETERAS DE ANDALUCIA. *Revista de Estudios Andaluces*, 14, 93–111.
<https://doi.org/10.12795/rea.1990.i14.06>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). *VOLUMEN No 2 – LIBRO A NORMA PARA ESTUDIOS Y DISEÑOS VIALES*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf
- Miramontes García, E., Osiris, J., Bencomo, V., Alberto, M., & Esparza, R. (2015). *Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas*.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7129024.pdf>
- Paucar, J., & Santos, L. (2022). *Propuesta de rediseño físico y operacional de la intersección Av. La Marina-Av. Escardó en San Miguel para superar la ineficiencia funcional*. Universidad Peruana de Ciencias aplicadas.

- Pratto Quintanilla, R., & Flores Huerta, A. E. (2008). *GUÍA DE EDUCACIÓN EN SEGURIDAD VIAL*. <https://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/2215-1.pdf>
- Rodríguez, D. (2012). *Modelo para Micro-Simulación de Tráfico Vehicular y Peatonal Utilizando CUDA* [Universidad de los Andes]. <https://www.researchgate.net/publication/282329794>
- Rubio Martín, J. L. (2017). *OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE GLORIETAS MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS* [Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/45801/1/Juan_Luis_Rubio_Martin.pdf
- Sanchez Cruz, L. A. (2019). *EVALUACIÓN Y MEJORA DE TRES INTERSECCIONES DE LA AVENIDA CANADÁ UTILIZANDO HERRAMIENTA DE MICROSIMULACIÓN DE TRÁFICO*. file:///C:/Users/andre/Downloads/2019_Sanchez-Cruz.pdf
- Valladares Mejía, A. de J. (2016). *Comparación de un Enfoque Macroscópico y otro Microscópico al Estimar las Demoras por la Congestión Urbana*. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56211/472922.2016.pdf?sequence=2&isAllowed=y>