

CAPITULO I

INTRODUCCION

1 Introducción

Las rotondas consisten en empalmar los accesos o salidas sobre un anillo circular elíptico o similar, donde se transforman las maniobras de cruce en entrecruzamientos, haciendo que los vehículos den vueltas alrededor de una isla central, hasta llegar a la rama de salida pudiendo tranzarse en uno o más puntos con los flujos provenientes de otros ingresos y salidas, la preferencia de circulación corresponde al que viene por el anillo (desde la izquierda). Es una solución a base de bajas velocidades relativas y circulación continua de las corrientes vehiculares.

Las rotondas, al igual que muchos otros elementos de tránsito, son frecuentemente utilizados, sin embargo, son muy pocos los que se detienen a preguntarse sobre la verdadera efectividad o relevancia que la disposición que este objeto determinado pueda tener. De ahí resulta importante hacer un análisis global de cómo y por qué operan las rotondas, saber cuál es su origen, usos actuales y limitaciones.

1.1 Justificación

Debido al alto porcentaje de accidentes ocasionados en las intersecciones rotatorias, vemos con carácter de prioridad un análisis serio y completo del conjunto de los elementos y factores que ocasionan los mismos para poder luego plantear soluciones que vayan desde mejoras en el diseño de las intersecciones existentes, hasta plantear las futuras con la seguridad de su funcionalidad por un periodo considerable.

El ritmo del crecimiento desordenado del departamento ocasiona sectores que están poblados de centros llámense comerciales, recreativos, educativos e institucionales que acrecientan el tráfico con las consiguientes molestias para el usuario (conductor – peatón) sugiriendo puntos críticos que para su solución se hace imprescindible una modificación tanto física como de ordenamiento y señalización que nos permita mejorar el flujo vehicular en intersecciones rotatorias más conocidas como rotondas.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Situación problemática

Las condiciones de circulación, cantidad de peatones y los volúmenes de tráfico nos inducen a evaluar las rotondas de la ciudad de Tarija, su servicio en el descongestionamiento y la formación de colas en espera de atravesar la misma.

Dentro del sistema rotacional de circulación el funcionamiento de los semáforos se ve afectado de acuerdo al aumento de tráfico, la cantidad de vehículos congestionados en una rotonda, nos daría un diagnóstico del movimiento vehicular, para esto debemos tener un análisis comparativo de la influencia vehicular en cada rotonda, esto nos motiva a generar una simulación del volumen de tráfico influente en las rotondas para así evaluarlas y calibrarlas, es por esto que a nivel mundial se están utilizando programas numéricos utilizados para entre otros aspectos simular los comportamientos de las redes viales y optimizar las condiciones existentes en estas.

Con los modelos de simulación se pretende mejorar la movilidad vial de la ciudad de Tarija para esto es importante obtener una visualización y análisis de 30 rotondas de la ciudad de Tarija para ver si se ha mejorado el tránsito vehicular.

Mediante la simulación del tránsito vehicular con un software aplicado a cada una de las 30 rotondas, es posible generar alternativas de solución que mejoren la operación del tráfico vehicular en las mismas.

1.2.2 Problema

¿En qué medida la aplicación de modelos de simulación empleando un software como herramienta para el control de tráfico contribuirá a la solución vial en las rotondas de Tarija?

1.3 Objetivos de proyecto

1.3.1 Objetivo general:

Realizar la evaluación de la calibración de modelos de simulación en rotondas de la ciudad de Tarija utilizando un software que simule el comportamiento del tráfico de cada rotonda.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Analizar los parámetros de tráfico que intervienen en las rotondas.
- Realizar aforos vehiculares, con el fin de determinar el tránsito vehicular que se presenta en cada rotonda.
- Analizar los posibles modelos de simulación para las rotondas.
- Calibrar y verificar los modelos, para que la simulación refleje las condiciones reales en cada rotonda.
- Medir el comportamiento del tráfico en cada una de las rotondas.
- Obtener los resultados de los parámetros del comportamiento del tráfico en cada una de las rotondas estudiadas.
- Plantear posibles alternativas de mejoras del tránsito en rotondas que presenten deficiencias.

1.4 Diseño metodológico

La metodología de esta investigación, es de tipo aplicada y el diseño de la investigación es experimental.

La metodología de trabajo de la investigación es la siguiente:

1.4.1 Componentes

Unidades de estudio

La unidad de estudio comprende los volúmenes y velocidades de tráfico vehicular a partir de aforos manuales en cada rotonda.

Población

La ingeniera de tráfico en las rotondas de la ciudad de Tarija.

Muestra

El aforamiento de vehículos en cada punto de acceso de las rotondas estudiadas.

Muestreo

El comportamiento del tráfico simulado en 30 rotondas de la ciudad de Tarija.

1.4.2 Métodos y técnicas empleadas.

1.4.2.1 Método inductivo:

Es un método que se basa en la observación, el estudio y la experimentación de diversos sucesos reales para poder llegar a una conclusión que involucre a todos esos casos. La acumulación de datos que reafirmen nuestra postura es lo que hace al método inductivo.

Con este método realizaremos el análisis del comportamiento de los vehículos circulados en 30 rotondas y con los datos obtenidos calibraremos un modelo de simulación en cada rotonda.

Para los aforos de volúmenes y velocidades se emplearán técnicas y métodos recomendados por el manual HCM versión 1985, normas para el Diseño de Calles y Avenidas del Manual de diseño geométrico de la ABC 2007 y las de AASHTO 1994 (A'94).

Para los aforos de volúmenes se realizó con el método manual tomando en cuenta las diferentes variables como el tipo de vehículo (vehículos particulares, micros y camiones).

Para el aforo de velocidades, se utilizó el método del cronómetro haciéndose una medición por lo menos a 15 vehículos durante el periodo de 1 hora. Esta medición se hizo en una distancia de recorrido de 25 metros.

1.4.3 Técnicas empleadas

1.4.3.1 Instrumentos

Plano. - Para determinar las ubicaciones de los puntos de aforo.

Cámara fotográfica. – Instrumento que permitirá tomar fotografías de la zona de estudio.

Planilla de aforos. - Es donde se suministra toda la información general que se requiere.

Cronómetro. - Instrumento para controlar los intervalos de tiempo que recorre el vehículo en una distancia de 25 metros.

Cinta métrica. - Material que nos permite medir la longitud de un punto a otro punto.

Calculadora. - Instrumento que nos ayuda a realizar cálculos necesarios en los puntos de aforo.

Computadora. - Instrumento donde se realizará el contenido de este estudio además de procesar los datos obtenidos en campo y así hacer un análisis para obtener resultados más precisos.

1.4.4 Procedimiento para la toma de muestras

Los métodos utilizados para la toma de muestras de volúmenes y tiempos, se presentan a continuación.

Método manual para el aforo de volúmenes. - Este método considera que el conteo de vehículos es realizado de forma manual, por uno o varios observadores quienes en base a una planilla preestablecida realizan el conteo de vehículos en un punto de aforo definido y en tiempos determinados.

La ventaja de este método está en que el aforo se puede hacer más completo, tomando en cuenta distintas variables como ser el tipo de vehículo, su clasificación y las diferentes direcciones que tomen los mismos.

Método del cronómetro para aforos de tiempos para cálculo de velocidades. - Para este método se utiliza generalmente dos operadores, el primero en la entrada al tramo de

estudio provisto de algún dispositivo para dar una señal al otro operador en el momento que el vehículo ingrese. En ese momento el segundo operador accionará el cronómetro y tomará el tiempo en que el vehículo transite desde el punto de inicio al punto final del tramo.

1.4.5 Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

Tratamiento de los datos (empleo de la estadística). - Para el tratamiento de datos para el cálculo del TPH y la velocidad se utilizará según la norma AASHTO, el indicador estadístico como la media aritmética, la desviación estándar y los rangos de depuración, nos servirá para para obtener datos precisos y con mayor representatividad a la hora de realizar cálculos e interpretación de resultados.

Las ecuaciones de los indicadores estadísticos son las siguientes:

Media aritmética

$$x = \frac{\sum Xi}{N}$$

Donde:

X= Media aritmética

Xi= Valores de la variable X

N= Número de valores observados

Desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum(Xj - X)^2}{N - 1}}$$

Donde:

S= Desviación estándar

X= Media aritmética

Xj= Valores de la variable X

N= Número de valores observados

Rango de depuración óptima

$$X \pm \sigma$$

Donde:

X= Media aritmética

σ = Desviación estándar

1.4.6 Modelo de simulación Vissim:

Se trata de un elemento de simulación microscópica por el hecho de que a los elementos mínimos que lo componen se les asignan modelos de comportamiento individual y multimodal; porque permite modelar los distintos tipos de transporte y las interacciones entre ambos, siendo estos: vehículos (coches, camiones, autobuses, motocicletas, etc), peatones, transporte público y bicicletas.

Pudiendo caracterizar entre ellos los siguientes parámetros:

- Características técnicas de los vehículos:
- Longitud y tipo de vehículo (coche, camión, tranvía).
- Velocidad máxima.
- Aceleración y deceleración máxima en función de la velocidad.
- Comportamiento del vehículo teniendo en cuenta el vehículo precedente:
- Velocidad de circulación deseada.
- Umbrales de percepción de los conductores (habilidad para estimar las diferencias de espacio y velocidad con el resto de vehículos en función de la seguridad deseada y la percepción de riesgo).
- Aceleración en función de la velocidad deseada por el conductor y la velocidad a la que circula el vehículo en ese momento.

- Interacción con el resto de vehículos situados en el resto de carriles.
- Limitaciones por la existencia de vehículos delante, detrás en el carril en el que se encuentra el vehículo o en los contiguos.
- Limitaciones introducidas en el propio carril o en la próxima intersección.
- Limitaciones por la próxima señal.

1.4.6.1 Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información en el Vissim.

Tabla 1.1 Comparación de los modelos de tráfico: microscópico, mesoscópico y macroscópico.

	MODELO		
	MICROSCÓPICO	MESOSCÓPICO	MACROSCÓPICO
Cobertura geográfica	 Sub-área pequeña de la red	 red regional o área metropolitana	 red regional o área metropolitana
Demanda	Matriz O/D dinámica	Matriz O/D función del tiempo	Generalmente, matriz O/D estática
Control del tráfico	Hay que tener una señalización detallada y disponer de planes de funcionamiento	Señalización aproximada, pero es necesario disponer de planes de funcionamiento	No es necesaria la señalización ni información de tipo geométrico
Análisis	Comportamiento del modelo basado en algoritmos de seguimiento de vehículo y cambio de carril por vehículos individuales.	Comportamiento del modelo basado en algoritmos de seguimiento de vehículo y cambio de carril por vehículos individuales muy simplificado.	Situación de equilibrio basada en funciones de tipo volumen-demora.
Ventajas	Puede analizar estrategias operacionales como la coordinación de la señalización del tráfico.	Puede analizar, de forma dinámica, redes regionales.	Rápido y sencillo a nivel computacional. Permite analizar grandes áreas geográficas.
Limitaciones	Limitación en el alcance geográfico que puede abarcar, a causa de la complejidad computacional y de su calibración.	Tecnología muy nueva en el mundo de la simulación del tráfico.	No es sensible a estrategias operacionales ni capaz de analizar la desviación dinámica a nivel regional. Obtención de resultados poco fiable.

Fuente: Tesina Mariló Martin Gasulla

Según la tabla de comparación de los modelos de simulación de tráfico nuestro estudio de simulación será un **MODELO MICROSCÓPICO**.

1.5 Alcance:

En un estudio de 30 rotondas se realizará una evaluación, comparación y calibración del comportamiento del tráfico vial, aplicando modelos de simulación en los cuales con el

aforo de vehículos obtendremos datos de volúmenes de tráfico; con los datos proporcionados de cada rotonda simularemos el tráfico que pasa por cada una de ellas, sus velocidades, volúmenes de tráfico que intervienen.

El estudio del tráfico vehicular en la zona se apreciará por el comportamiento de los vehículos por medio de una modelación virtual, en la cual se mostrará los problemas que se pueden presentar en las vías de la zona en las horas picos de tráfico vehicular del día en donde los usuarios se dirigen a sus distintas actividades.

Los datos proporcionados en el estudio de campo, son la información básica que nos mostrará la situación actual y real de la congestión, por lo que, mediante la modelación virtual, se mostrará la distribución del tráfico vehicular.

Las alternativas de solución están previstas tomando en cuenta que el problema de tráfico vehicular es evidente, los cuales serán demostrados con resultados obtenidos de datos reales. Estas alternativas de solución pueden ser: modificaciones físicas a los accesos en la rotonda que en este caso viene a ser ampliación de ancho de calzada y aplicación de la educación vial direccionando el tráfico por carriles obligatorios.

CAPITULO II

INGENIERIA DE TRAFICO

2 Ingeniería de tráfico

2.1 Definición de una rotonda

Una glorieta o rotonda es toda aquella intersección dotada de un isla central y rodeada por una calzada circular con sentido de circulación antihorario en donde se encuentran con varias calles o avenidas. Este tipo de construcción vial se rige por una regla esencial, donde los vehículos que pretenden ingresar a la calzada circular deben ceder el paso a los que ya se encuentran dentro de ella. Las rotondas se generan, en algún lugar donde se encuentran dos o más vías y/o se produce congestión vehicular. La congestión se define como la condición en que existen muchos vehículos circulando, y cada uno de ellos avanza lenta e irregularmente.

La causa que genera la congestión se debe a la interferencia existente entre los vehículos en el flujo de tránsito. Los vehículos pueden circular a velocidades relativamente libres permitidos por los límites de velocidad (señales de tránsito), frecuencia de intersecciones, etc. Cuando el volumen flujo vehicular aumenta, cada vehículo adicional comienza a entorpecer el desplazamiento de los demás, produciéndose el fenómeno denominado “congestión”.

En Bolivia las experiencias con las rotondas no han sido de las mejores debido a que el diseño no ha sido el apropiado según a las demandas exigidas. Por el contrario, la experiencia internacional, mediante los estudios demuestran que al reemplazar una intersección conflictiva por una rotonda bien diseñada, disminuye en un 30 % los accidentes y en un 80 % los accidentes con lesionados y fallecidos (Ministerio de Transporte y telecomunicaciones, 2012).

2.2 Seguridad vial

La seguridad vial significa adoptar medidas más adecuadas para paliar o eliminar los problemas de inseguridad vial en carreteras y calles identificando los factores de riesgo que influyen en que se sufra un accidente como ser: velocidad excesiva, ingestión de alcohol, defectos de diseño trazado y mantenimiento de la vía pública, falta de visibilidad, etc.

Cualquier acción que tienda a reducir los accidentes de tránsito resulta ser una acción multifacética que debe incluir: una mejora en las características de la seguridad de los caminos (señalización, diseños de carreteras, calidad de las rutas, etc.), educación y capacitación de los conductores, seguridad en vehículos, contralor y sanciones estándares y campañas públicas. En consecuencia, el abordaje de esta problemática deberá estar a cargo de equipos profesionales y técnicos pluridisciplinarios.

La seguridad vial es una actividad multidisciplinaria, es por ello que la elaboración, implementación y seguimiento de un Programa de acción, requiere no sólo la consideración integral del problema sino también un marco de organicidad y participación conjunta del Estado, las Organizaciones no Gubernamentales, los sectores manufactureros del transporte, los operadores del mismo y los medios de comunicación, de forma tal de atacar el problema con una estrategia común, evitando el despilfarro de esfuerzos personales y medios materiales. La Educación Vial constituye por sí misma el punto de partida de un proceso de concientización de la población que comienza desde su desarrollo intelectual, creando paulatinamente las condiciones para una mejora progresiva de las conductas en el tránsito, y coadyuva a mitigar los graves problemas que se observan en los conductores y peatones por falta, entre otras cosas, de respeto a las normas. El proceso educativo que se pueda llevar a cabo en la escuela primaria, secundaria y también universitaria contribuirá a una toma de conciencia del significado y consecuencias de esas inconductas y de la responsabilidad que cada uno de nosotros debe asumir para consigo mismo, y sus semejantes.

2.3 Ventajas y desventajas de una rotonda

La rotonda tiene muchas ventajas, como por ejemplo el nivel de seguridad de este tipo de construcción vial es mayor al de una intersección normal, debido a que la velocidad de circulación en una rotonda es relativamente menor que en una intersección normal, el número y gravedad de los accidentes respecto de las intersecciones normales disminuye, pues se evita que los automóviles choquen en 90°, y demás no se permiten giros hacia la izquierda. La eficacia de una rotonda

bien construida reduce el tiempo de espera en la intersección, como también son el único tipo de intersección que soluciona satisfactoriamente el cruce de más de cuatro vías, para una intersección normal en horas punta, necesariamente se debe tener semáforos para controlar el tráfico, no así necesariamente la rotonda, por otra parte, los peatones tienen mayor seguridad en las rotondas pues existen islas deflectoras que permiten el paso, como también pasos sobre nivel. En el ámbito del medio ambiente se ve fortalecido ya que puede existir una intervención paisajística, principalmente en la isla central, por último, los costos en función del tamaño de la rotonda, puede resultar más barata que una intersección normal.

Si bien se han nombrado las ventajas de la rotonda, ahora se menciona algunas desventajas de esta, en una rotonda recién construida pueden ocurrir algunos accidentes, si bien, los conductores al no estar familiarizados, ni educados respecto a este tipo de intersección, pueden estar confundidos en la manera que se ingresa y circula en ella, con respecto a los peatones, estos se ven afectados, porque los conductores les pierden atención al estar preocupados del tráfico (entrada, circulación y salida), por lo tanto las personas no videntes o con poca visión tienen mayor inseguridad en los cruces de intersección habilitados, además, los cruces no destinados para los peatones se vuelven más peligrosos. Existe un aumento relativo de colisiones por la parte trasera del vehículo. La eficacia de la capacidad de una rotonda se ve amenazada cuando existe un flujo vehicular alto. Las rotondas ocupan mayor cantidad de suelo que una intersección normal, como consecuencia el coste de una rotonda puede resultar más caro que una intersección normal, en el caso de realizar una expropiación para desarrollar su construcción.

2.4 Tipos de rotonda

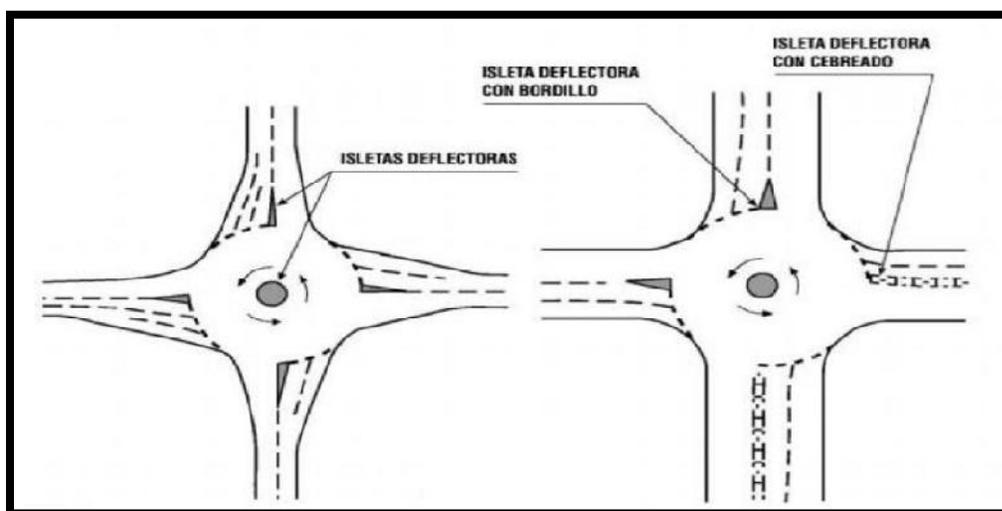
Las rotondas se pueden dividir principalmente en tres grupos: mini-rotondas, rotondas normales y rotondas dobles, las demás son variantes de estas, como: Intersección anular, rotonda desnivelada o semaforizada.

2.4.1 Mini-rotondas

Las mini-rotondas son elementos separadores de flujos, construidas en intersecciones, formando una isla central. Para ingresar a la mini-rotonda solo se debe mirar hacia la izquierda y ceder el paso a los vehículos que se encuentran dentro de ella. Este tipo de construcción vial, como se nombró anteriormente consta con una isla central pequeña, que no debe superar los 4 metros de diámetro y puede ser tan simple como un círculo pintado en la calzada, es por esto que son de bajo costo y además no requieren mantención.

La función principal de las mini-rotondas, es reducir los puntos de congestión que se producen en las intersecciones con viraje. También puede ser usada como moderador de la velocidad en vías largas y rectas con varias intersecciones similares.

Figura 2.1 Mini-rotonda



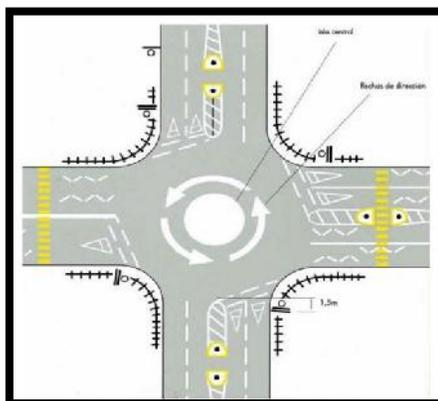
Fuente: Norma peruana

2.4.1.1 Elementos de una mini-rotonda

- **Isla Central:** Este elemento no debe ser mayor de 4 metros en su diámetro, y el mínimo de 1 metro.
- **Flechas de dirección:** Tres flechas blancas de dirección alrededor del círculo, deben estar desde su borde interior al borde de la isla a una distancia de

aproximadamente el doble del diámetro de la isla pero no inferior a 1,25 m ni mayor que 3,0 m. Por lo tanto el largo depende de la dimensión de la isla.

Figura 2.2 Elementos de una mini rotonda

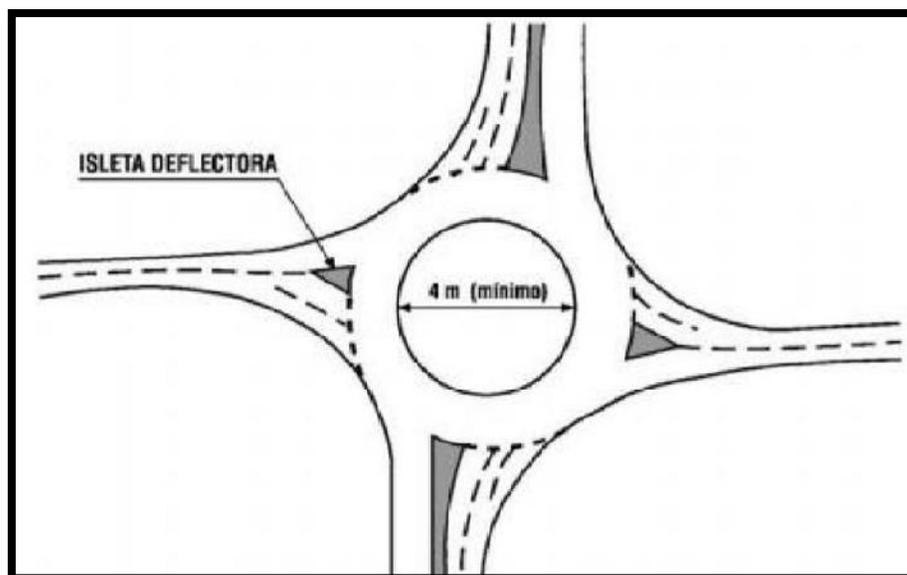


Fuente: Norma peruana

2.4.2 Rotondas normales

Este tipo de rotonda consta con una isla central delimitada por soleras y su diámetro debe ser mayor a 4 metros. Sus entradas son abocinadas para permitir el ingreso de varios vehículos por varias vías. Este tipo de construcción vial recomienda tener 3 o 4 ramas ya que, si excede este número conviene la construcción de rotondas dobles.

Figura 2.3 Rotonda normal

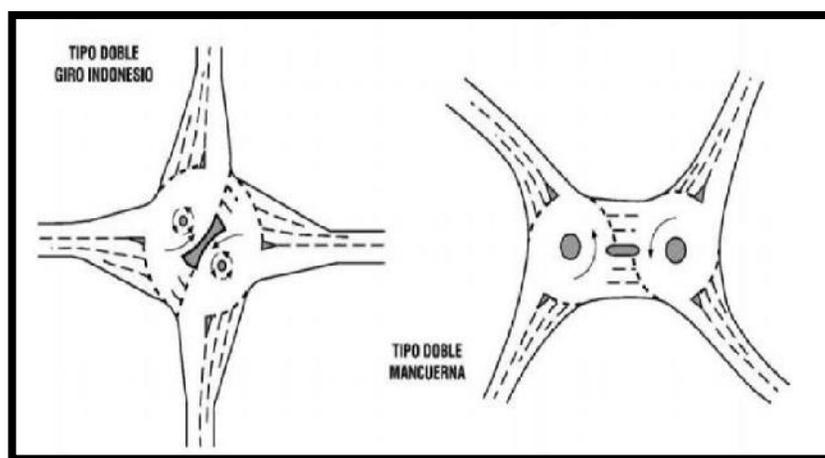


Fuente: Norma peruana

2.4.3 Rotondas dobles

Este tipo de rotonda está compuesta por dos rotondas normales o bien, dos mini rotondas, conectadas por un tramo de unión como también si están contiguas o por un islote alargado delimitado por soleras. Es recomendable su uso para resolver intersecciones asimétricas o de planta muy desviada, en las que intersecciones convencionales generan desvíos importantes para los accesos y las rotondas normales una excesiva ocupación. También son útiles con desnivelaciones, para unir carreteras separadas por obstáculos lineales, como ríos, carriles, autopistas. (Figura 2.4).

Figura 2.4 Rotondas dobles



Fuente: Norma peruana

2.4.4 Rotondas partidas

La glorieta partida es una intersección donde existe un anillo circular de sentido único de circulación que canaliza todos los movimientos de entrada y salida entre la vía principal y la vía secundaria, pero mantiene la continuidad de la vía principal, primando la continuación en la vía principal sobre el resto de movimientos.

Podemos llegar a la glorieta partida desde dos posiciones diferentes y dicha posición va a definir como debemos hacer las diferentes maniobras.

TIPO “A”: Cuando llegamos desde la avenida principal, encontrándonos media isleta a nuestra derecha y la otra a nuestra izquierda.

TIPO “B”: Cuando nos acercamos a la glorieta de manera que nos encontramos con media isleta justo delante de nosotros y la otra media isleta justo en la parte opuesta de la calzada. Rotondas semaforizadas

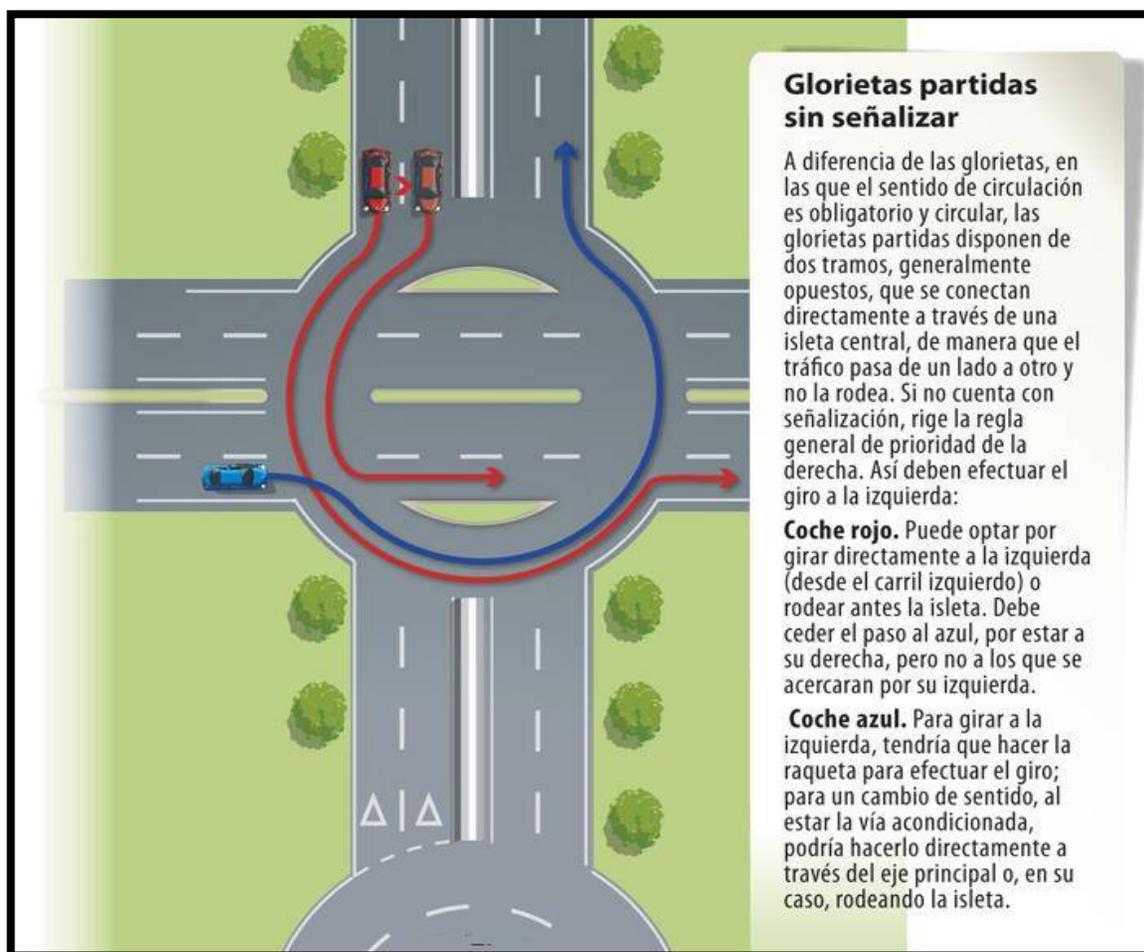
Este tipo de rotondas alivian difusiones de rotondas con exceso flujos o reparto desequilibrado de la demanda por rama. Los semáforos pueden colocarse en algunas de sus entradas o en todas ellas, y pueden funcionar continuamente o en los periodos donde ellos mejor sirvan a la regulación del dispositivo.

Figura 2.5 rotonda partida



Fuente: Norma peruana

Figura 2.6 rotondas partidas sin señalizar



Fuente: Norma peruana

Figura 2.7 giros indirectos y cambios de sentido



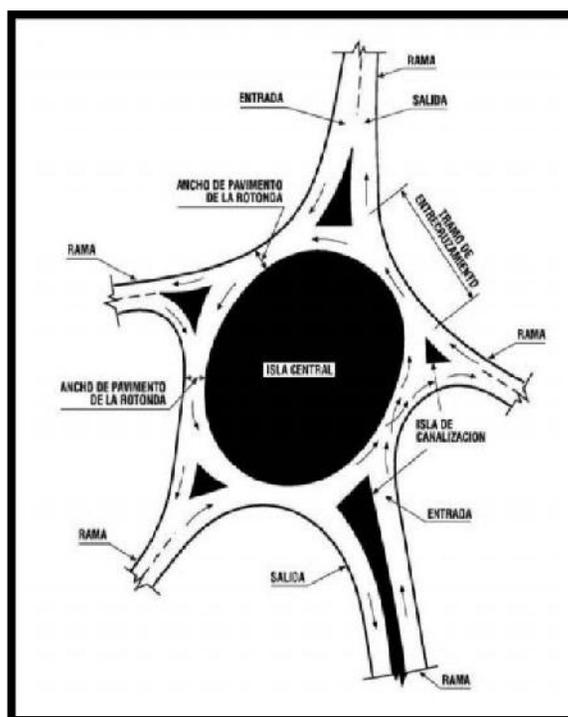
Fuente: Norma peruana

2.5 Elementos de diseño de una rotonda

2.5.1 Trazado en planta

Los aspectos geométricos relevantes de una rotonda normal son, el radio mínimo del borde externo debe ser, entre 6 y 100 m. con un mínimo de 20 m. si se prevé vehículos largos, el ángulo de entrada a la rotonda, debe estar comprendido en el rango de 20° a 60° , el radio mínimo de salida debe ser de 40 m. aprox. pero no menor a 20 m., debe existir abocinamiento de ramas de la entrada para proporcionar pistas adicionales.

Figura 2.8 factores relevantes para el diseño de una rotonda



Fuente: Norma Chilena

2.5.2 Carriles segregados para giros a la derecha

Si más de la mitad del flujo que ingresan a una rotonda por una de sus ramas sale por la siguiente, o si sucede lo mismo con más de 300 vehículos por hora en los períodos punta, se debe plantear el diseño de una pista anexa para que los vehículos se limiten a no ingresar a la rotonda, el ancho de estas pistas debe ser entre 3 m y 3,5 m. Esto no debe realizarse si la rama tiene menos de tres pistas, ni donde

existan accesos a la propiedad a lo largo de tales pistas segregadas (Ministerio de obras públicas, 2013).

2.5.3 Pendiente Longitudinal

Las rotondas se deben instalar en planos con pendientes no superiores a 3 %. Las pendientes longitudinales deben combinarse con las transversales para asegurar el drenaje superficial de la calzada. Los bordes de la rotonda deben tener como mínimo, una pendiente longitudinal de 0,65 % o bien un mínimo absoluto de 0,5 % (Ministerio de obras públicas, 2013).

2.5.4 Perfil Transversal

La pendiente transversal en la calzada anular de una rotonda debe ser mínimo de 2 %, para que así se pueda asegurar el drenaje superficial (Ministerio de obras públicas, 2013).

2.5.5 Tasa de Flujo o flujo (q)

Es la frecuencia a la cual pasan los vehículos por un punto o sección transversal de un carril o calzada. La tasa de flujo es pues, el número de vehículos (N), que pasan durante un intervalo de tiempo específico (T).

$$q = \frac{N}{T} = \left(\frac{\text{Vehículos}}{\text{Hora}} \right)$$

2.5.6 Isla Central

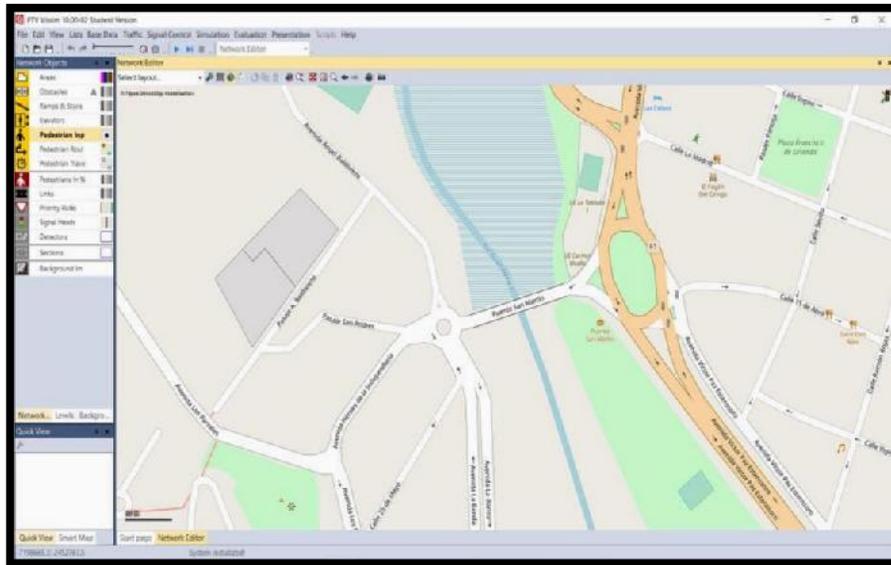
La isla central es la parte de la rotonda que está elevada en su centro, esta área es no transitable y típicamente es ajardinado para mejorar tanto la estética como también la visibilidad del conductor con el fin de facilitar el ingreso.

2.6 Manejo del software PTV Vissim para la modelación virtual

Los pasos a seguir para la realización de la modelación virtual se indicarán brevemente a continuación:

2.6.1 Identificación del área de estudio

Figura 2.6 Área de estudio

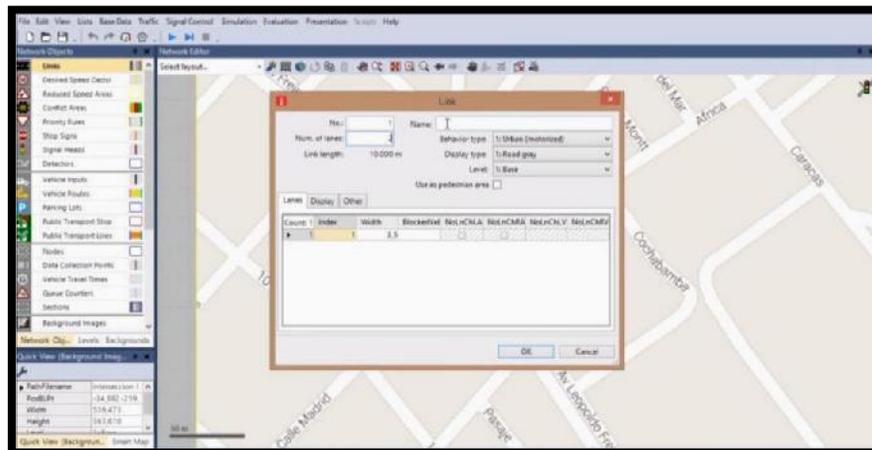


Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

Se puede identificar el área de estudio utilizando la vista satelital en planta que muestra el programa o también se puede importar una imagen extraída del Google Earth.

2.6.2 Dibujo de las vías en estudio

Figura 2.7 Dibujo de vías

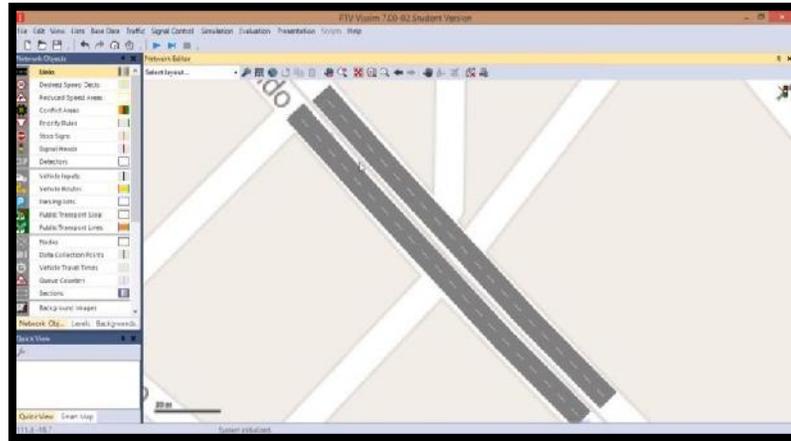


Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

Al dibujar una vía, podemos introducir como datos en el recuadro el número de carriles, el ancho de cada carril y darle el nombre a la calle o vía que estamos dibujando.

Teniendo esos datos introducidos, dibujamos la vía y se visualiza como se muestra a continuación.

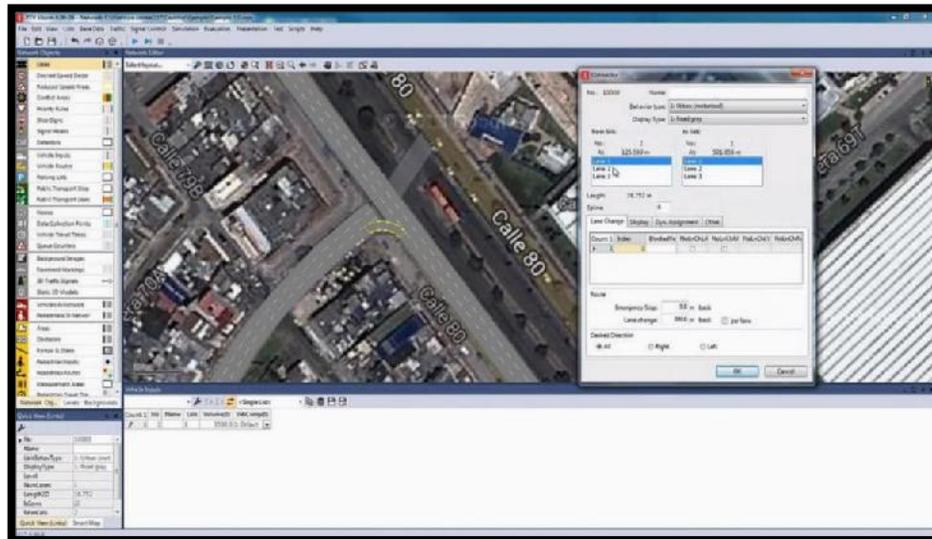
Figura 2.8 Trazo de vías



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

2.6.3 Unión de intersecciones

Figura 2.9 Intersecciones

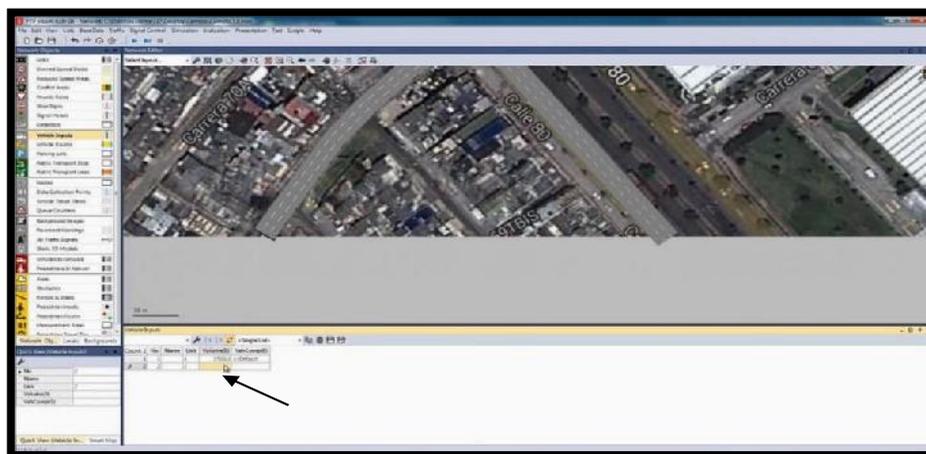


Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

Se deben unir las intersecciones correspondientes tomando en cuenta los carriles de giro.

2.6.4 Introducción de datos de volúmenes

Figura 2.10 Introducción de volúmenes



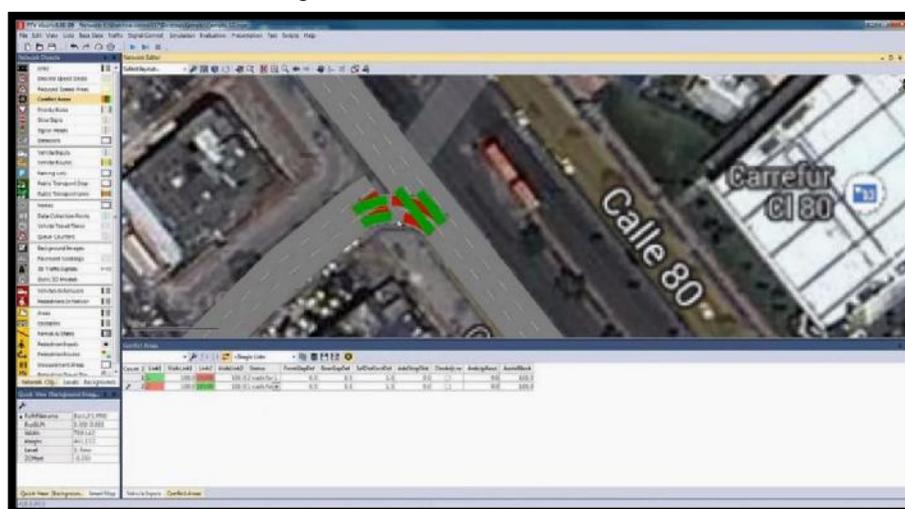
Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

Identificando los puntos de partida de las vías dibujadas, se introduce los datos de volúmenes procesados obtenidos de los aforos.

En los volúmenes también se identifican los porcentajes de cada tipo de vehículos existentes (vehículos particulares, micros y camiones).

2.6.5 Identificación de las áreas de conflicto

Figura 2.11 Áreas de conflicto

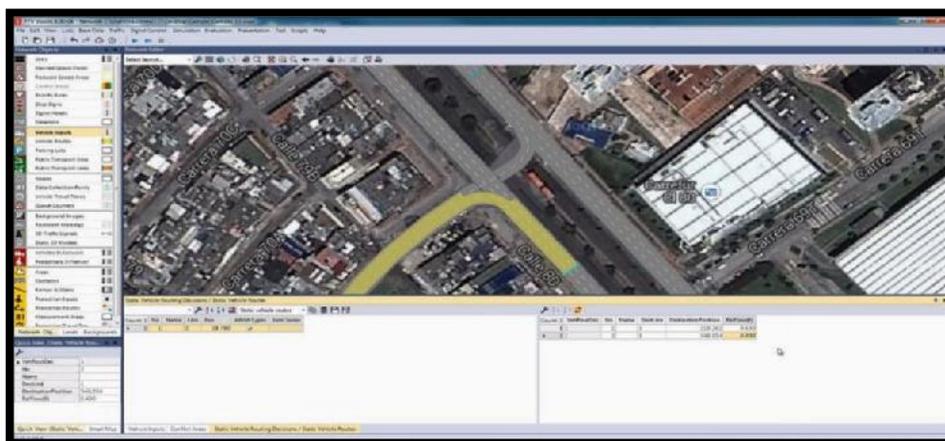


Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

Se identifican las posibles áreas de conflicto tomando en cuenta las áreas de espera existentes en las intersecciones de vías.

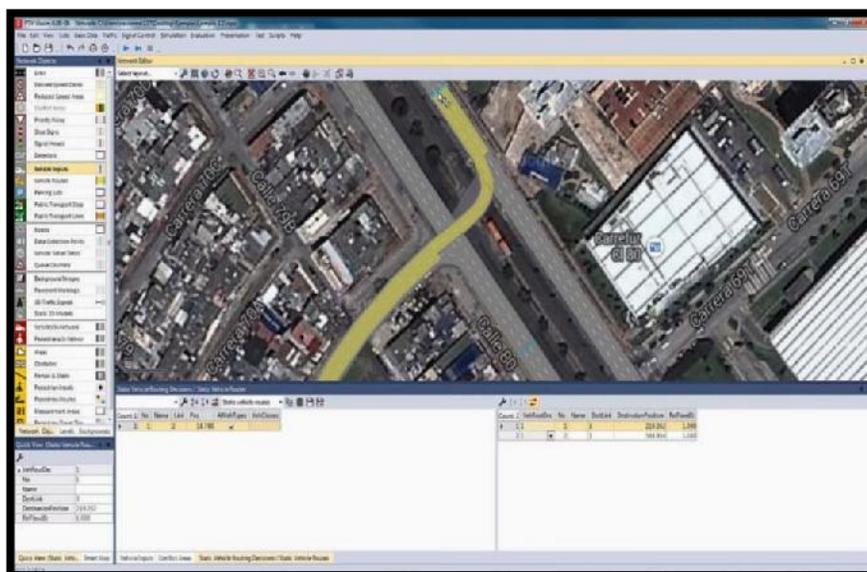
2.6.6 Rutas de circulación

Figura 2.12 Rutas de circulación



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

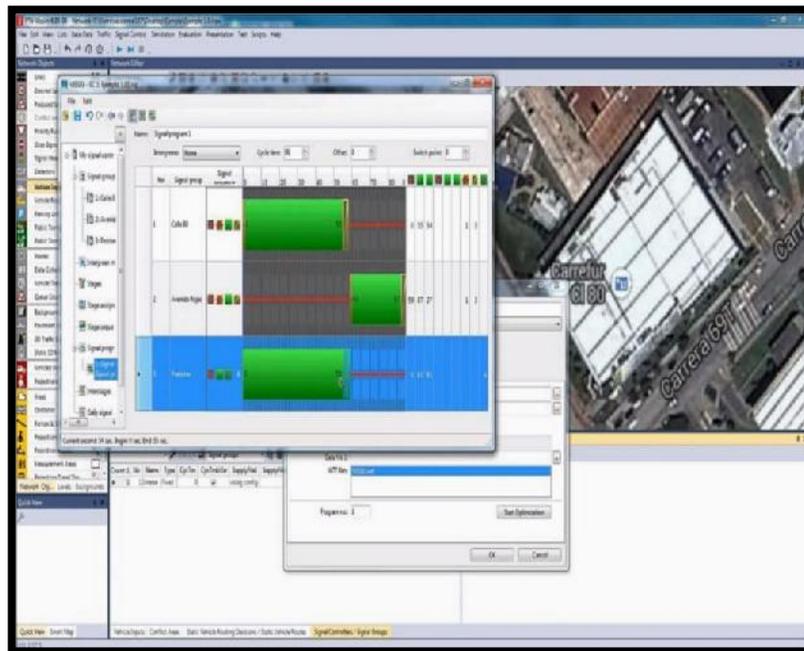
Figura 2.13 Rutas de circulación



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

Se identifican las rutas de decisión o de circulación las cuales tomarán los vehículos en circulación.

Figura 2.16 Tiempos de ciclo

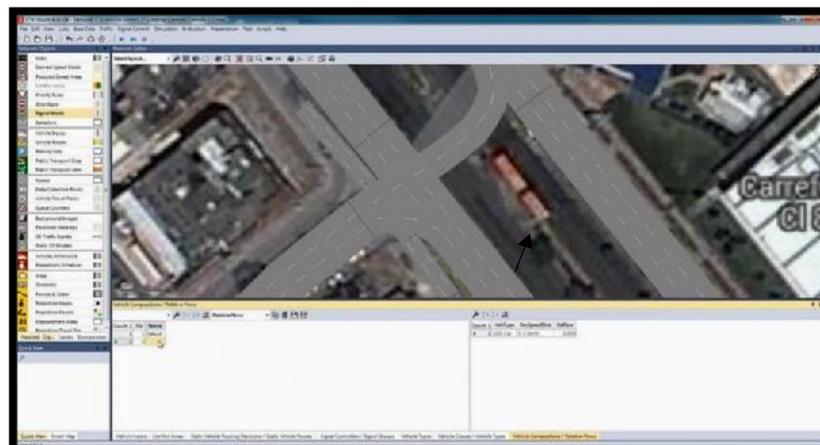


Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

En caso de que en la intersección exista semáforo, se ubican en la vía dibujada y se acomodan las barras como se muestra en la figura según los tiempos de cada color de los semáforos existentes.

2.6.8 Introducción de la velocidad de los vehículos

Figura 2.17 Introducción de velocidades



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

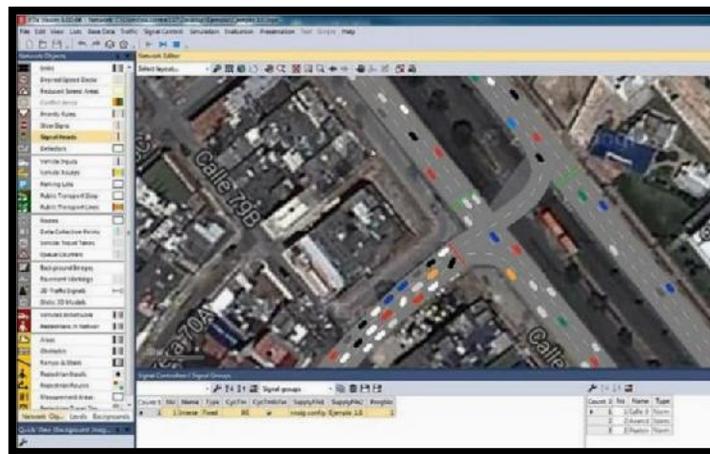
Se introducen tomando en cuenta al igual que los volúmenes, los puntos de inicio de cada vía, las velocidades obtenidas de los datos de aforo.

2.6.9 Modelación virtual

Con todos los datos ingresados, se procede a hacer la modelación haciendo las calibraciones correspondientes si es que así fuera necesario.

Esta modelación muestra como resultado la distribución del tráfico vehicular a partir de la introducción de datos reales obtenido de la aplicación práctica en campo.

Figura 2.18 Modelación



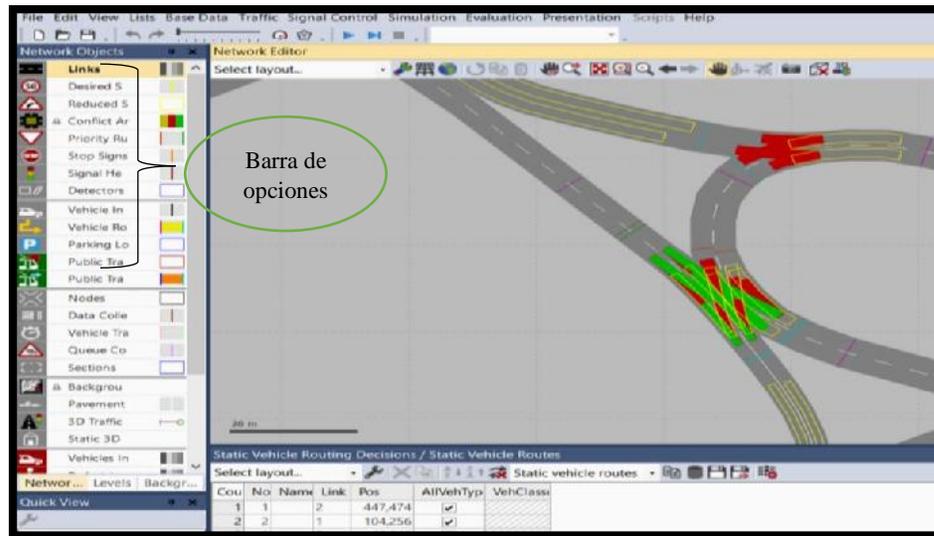
Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

2.6.10 Proceso de calibración

El proceso de calibración es muy importante y necesaria para poder demostrar de manera virtual la situación actual de la zona de estudio como también buscar un comportamiento del tráfico vehicular que se aproxime a lo que sucederá en el futuro.

Las herramientas utilizadas se muestran a continuación:

Figura 2.19 Calibración



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

- Primeramente, se deben identificar las rutas de decisión y añadir a los mismos los porcentajes de volúmenes de vehículos distribuidos en cada ruta.
- Luego se debe buscar el color de conflicto en cada intersección, verde para preferencia, amarillo de precaución y rojo de indeterminado. Estas modificaciones se hacen buscando un comportamiento adecuado en las intersecciones.
- También se añaden las velocidades en cada tramo, velocidades medidas y mostradas en nuestras tablas de aforo.
- Es importante buscar intersecciones de conflicto en las cuales no haya semáforo y señalar prioridades y paradas.
- En caso de que en algún punto de una vía haya un reductor de velocidad, colocar reducción de velocidad.

CAPITULO III

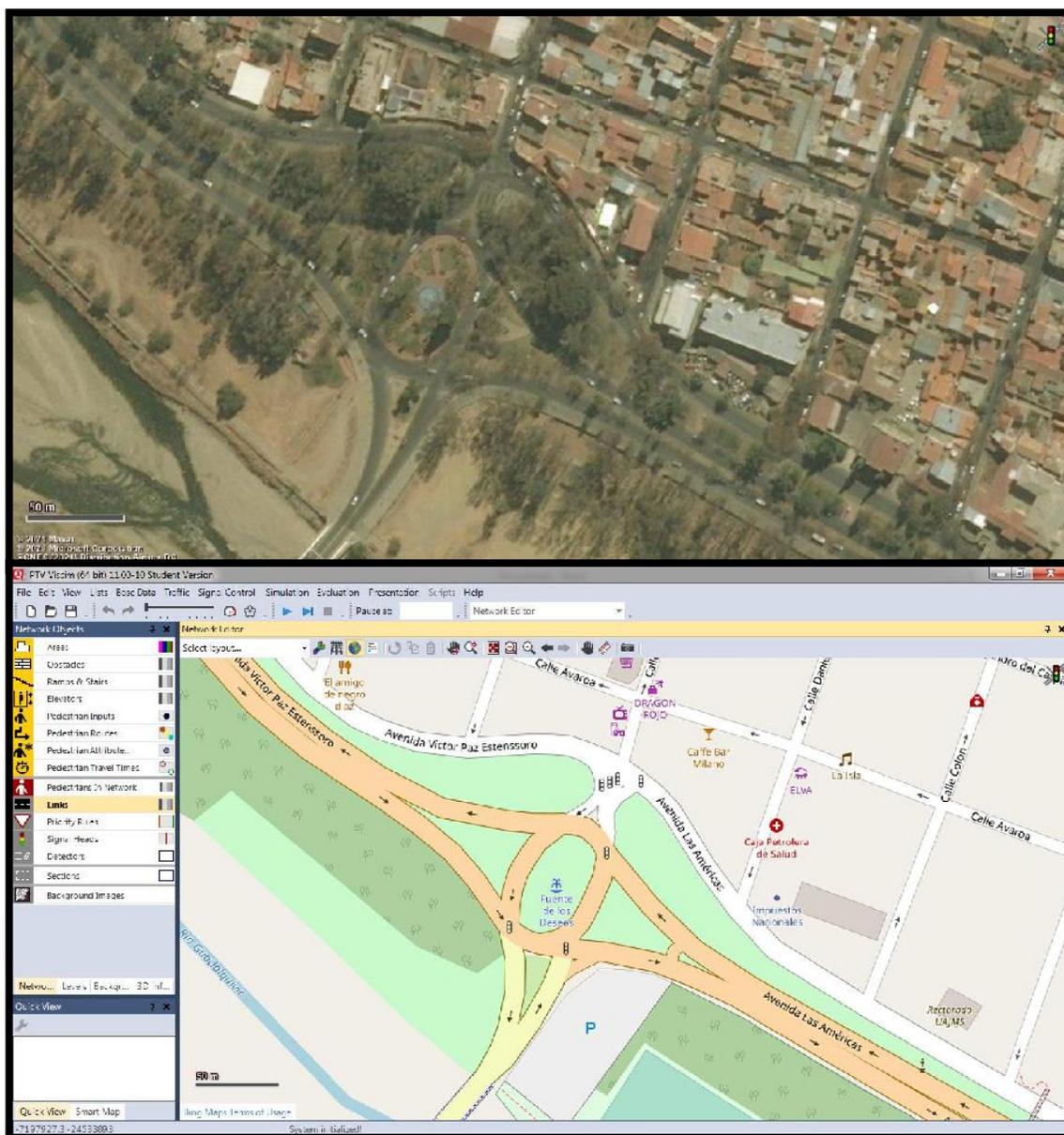
APLICACION PRACTICA

3 Aplicación práctica

3.1 Ubicación

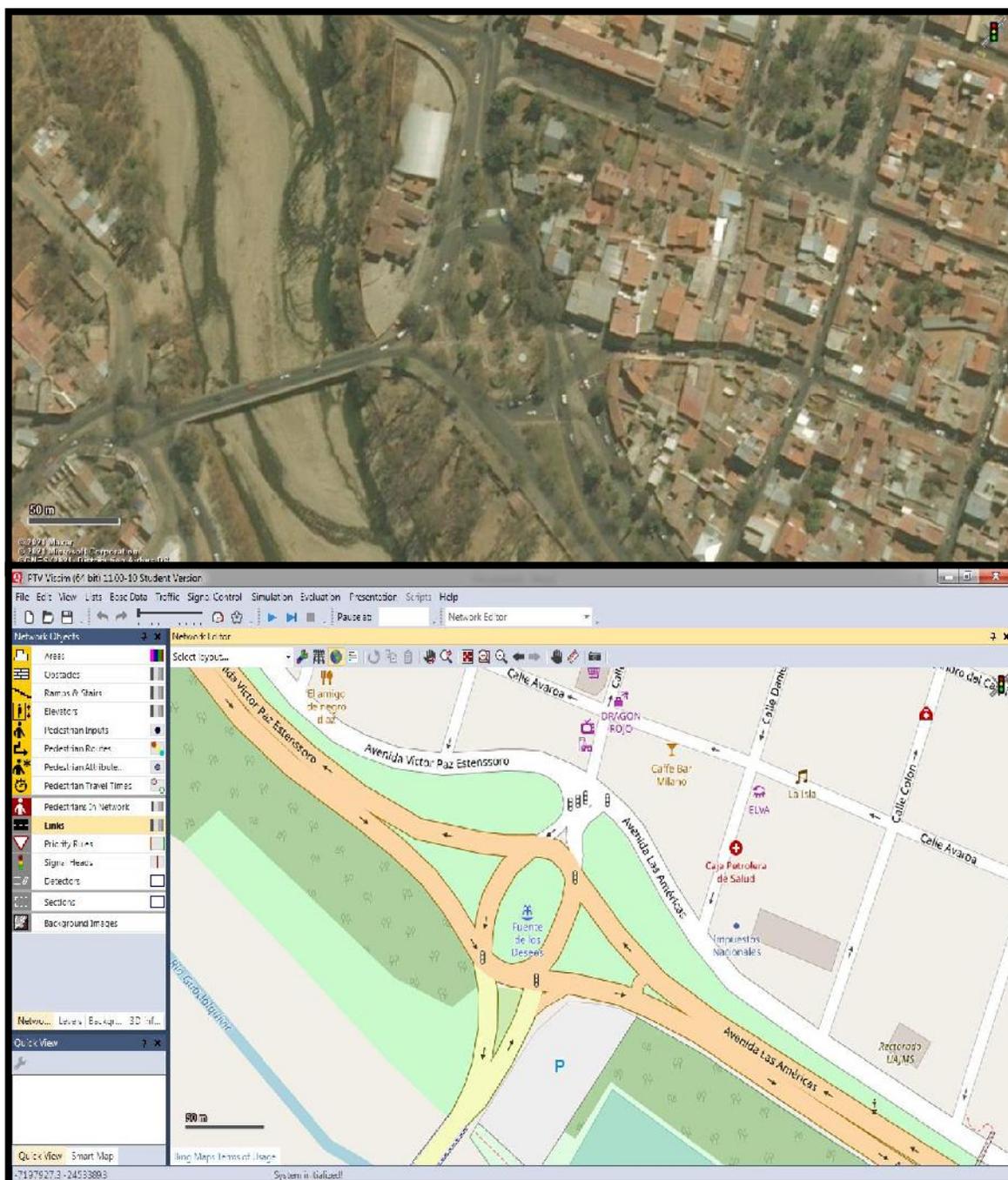
El estudio de tráfico vehicular fue realizado en 30 rotondas de la ciudad de Tarija tomando en cuenta todos los ingresos de cada rotonda y vinculando las rotondas de continuo uso tanto en entrada hacia el centro de la ciudad como salidas a las diferentes zonas de Tarija.

Figura 3.1 Rotonda fuente de los deseos



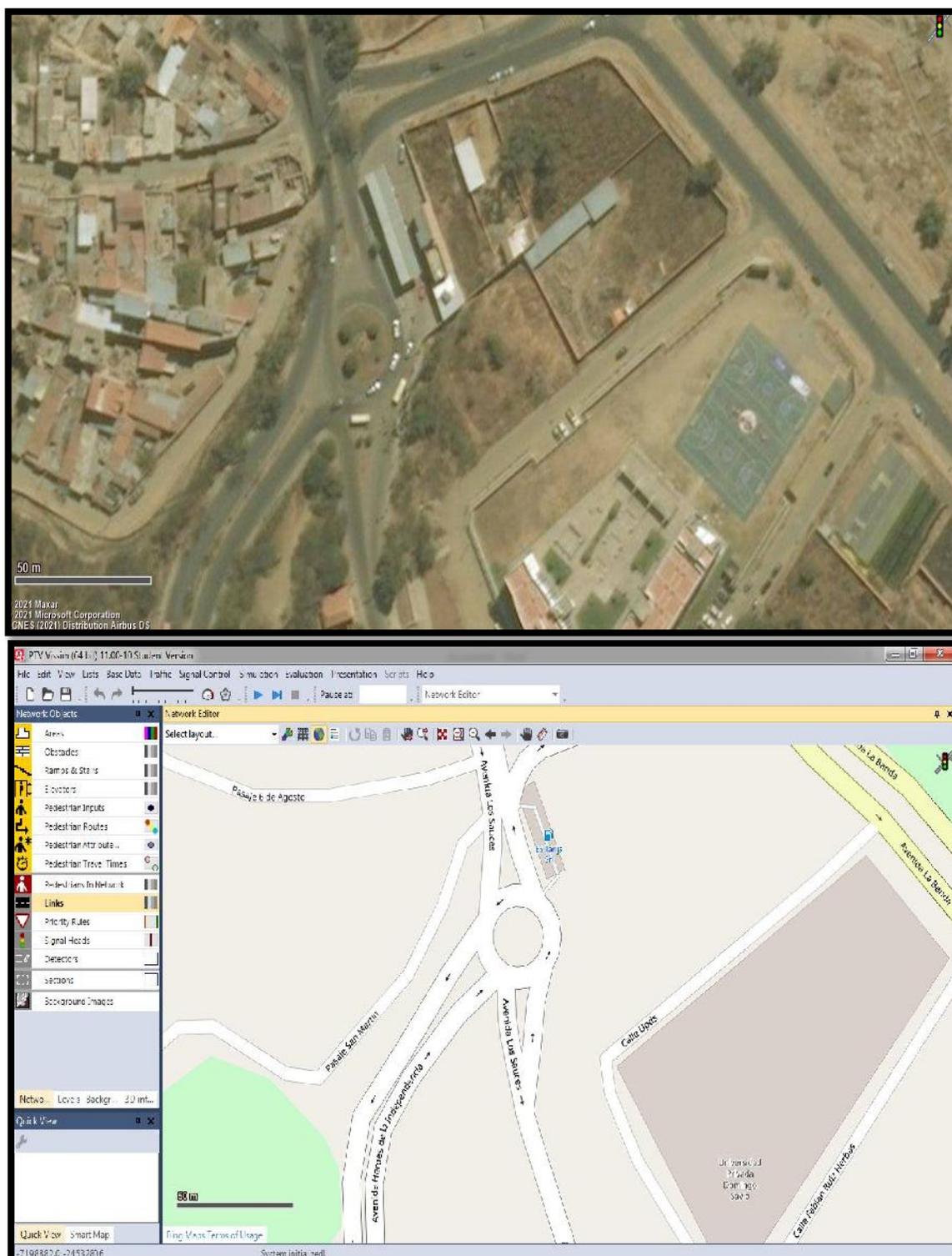
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.2 Rotonda puente san martín



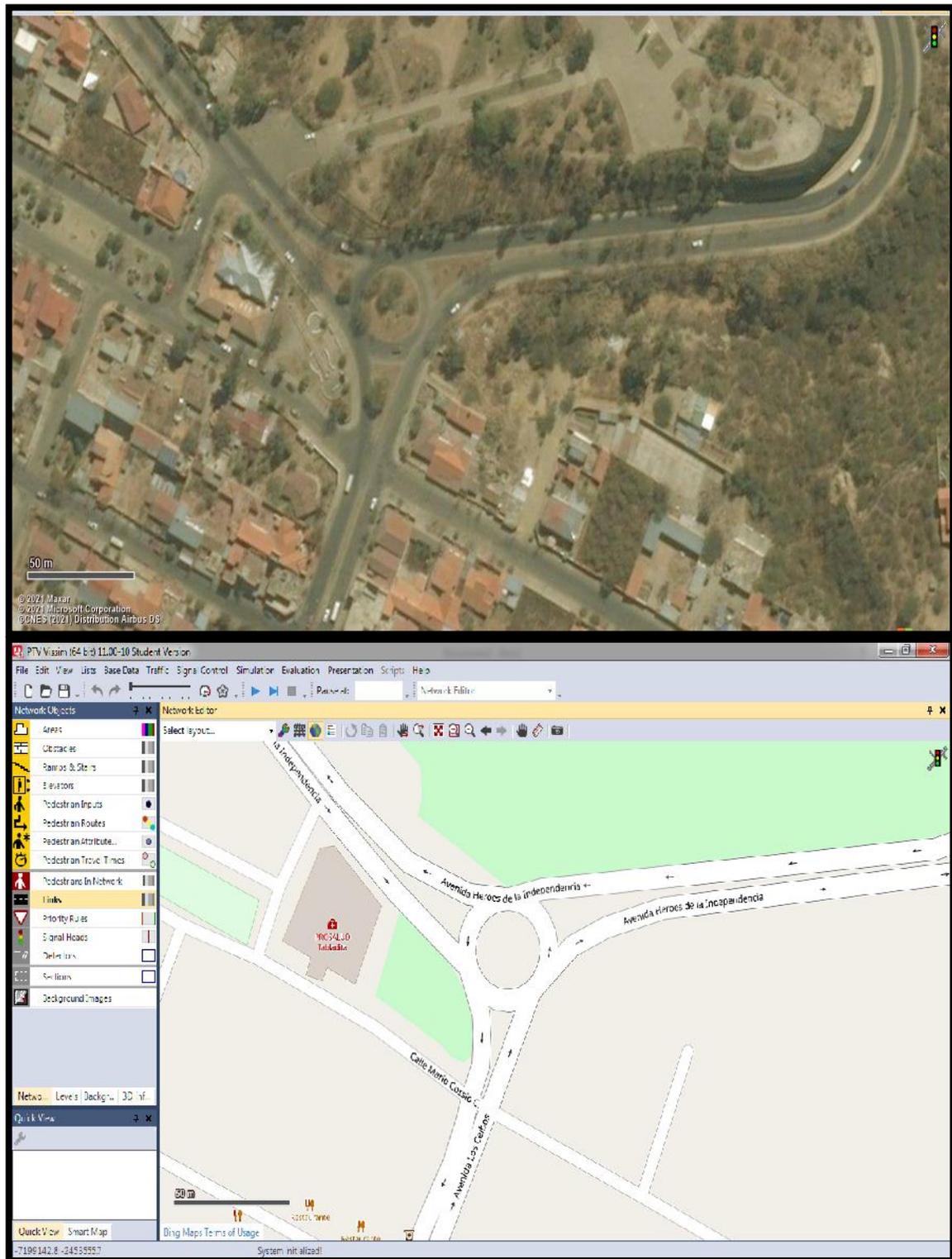
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.3 Rotonda domingo savio



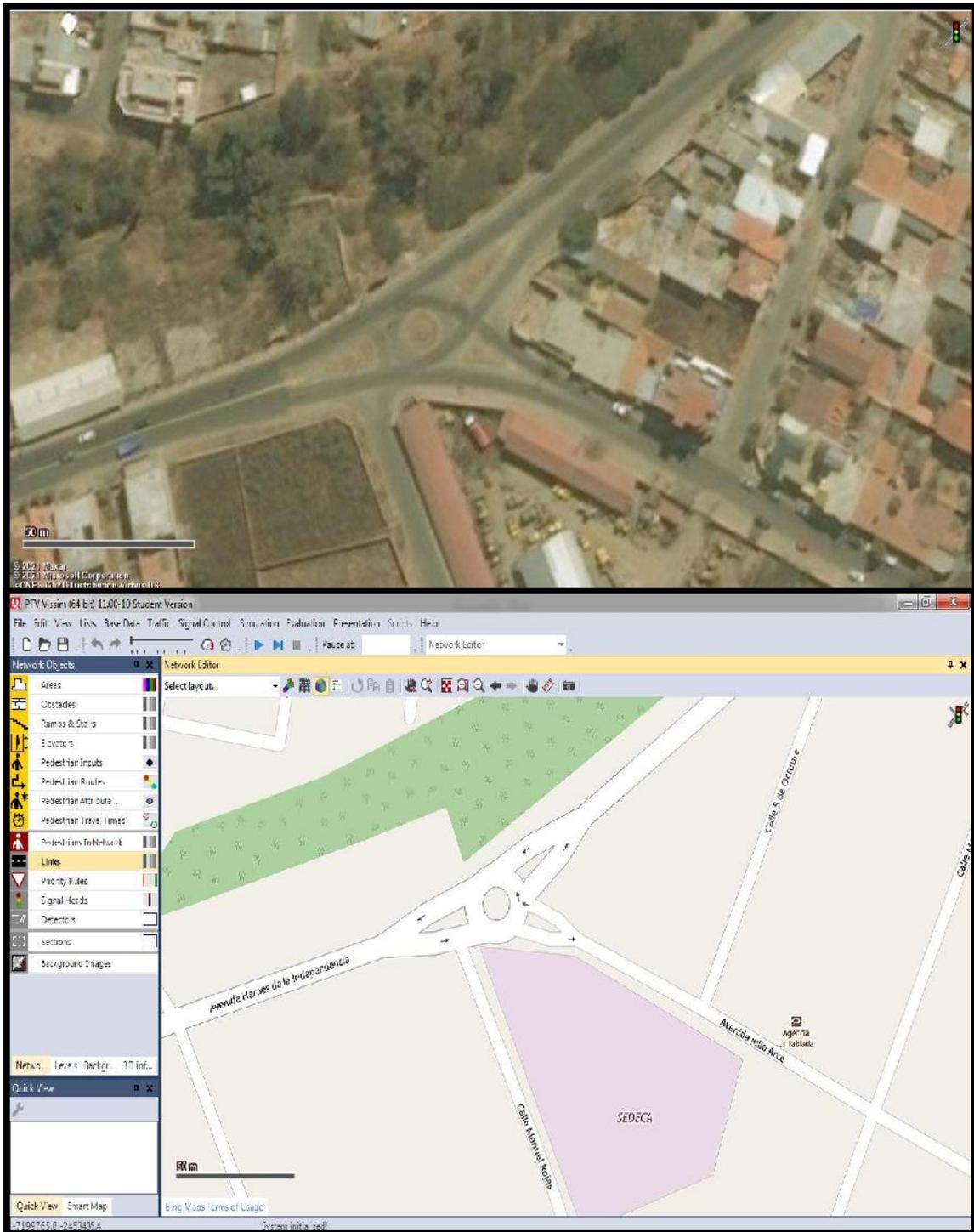
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.4 Rotonda tabladita



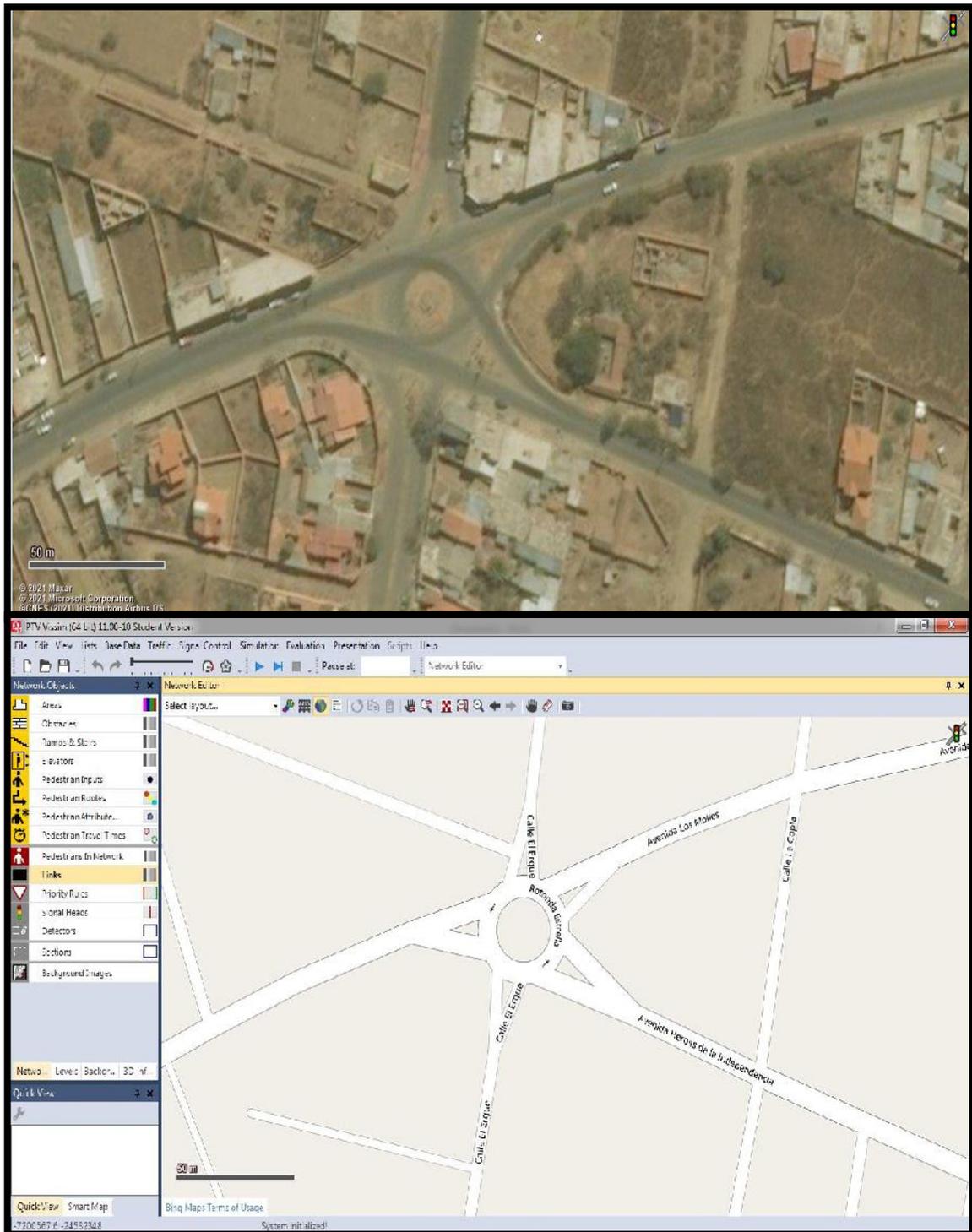
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.5 Rotonda sedeca



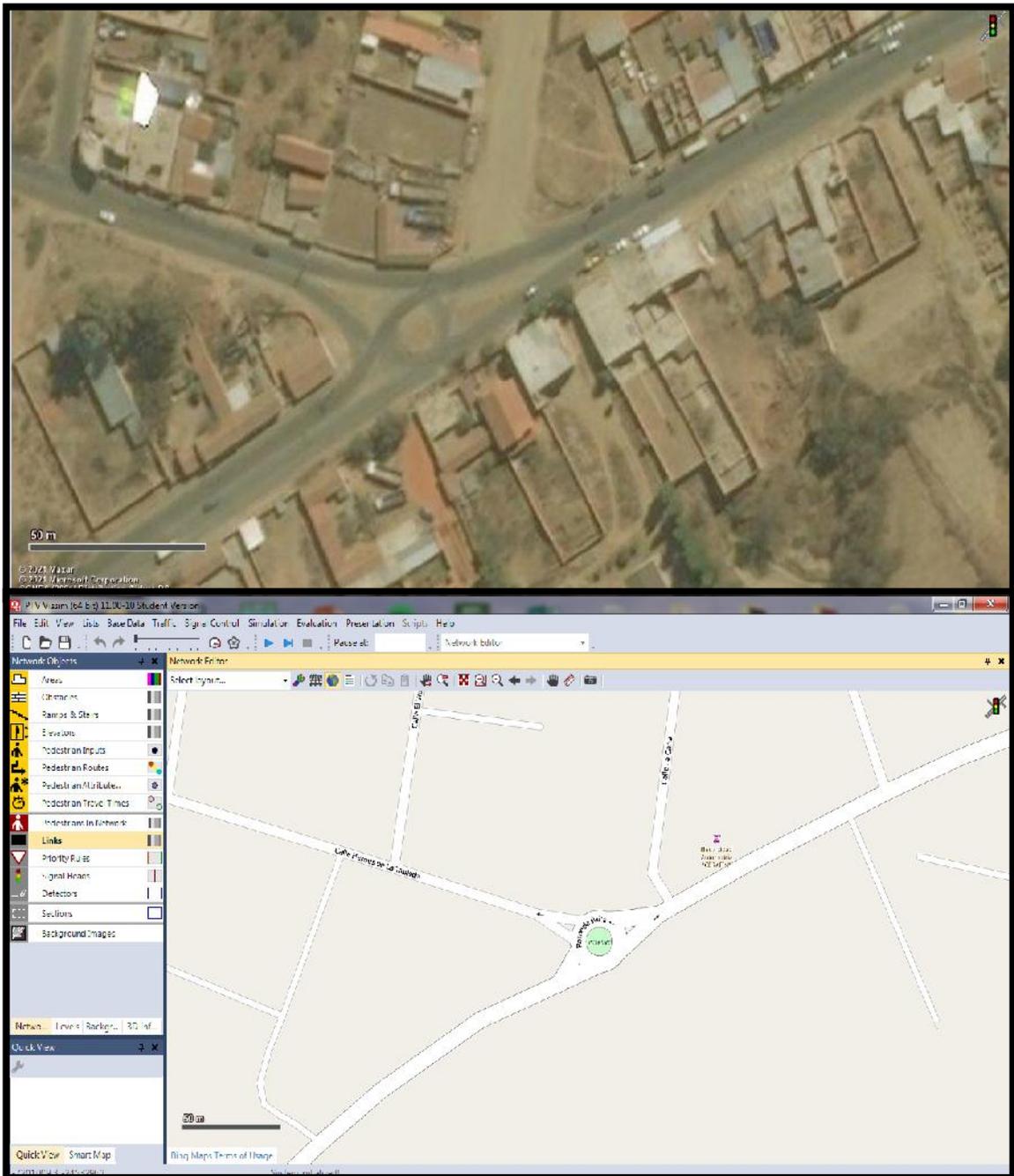
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.6 Rotonda estrella



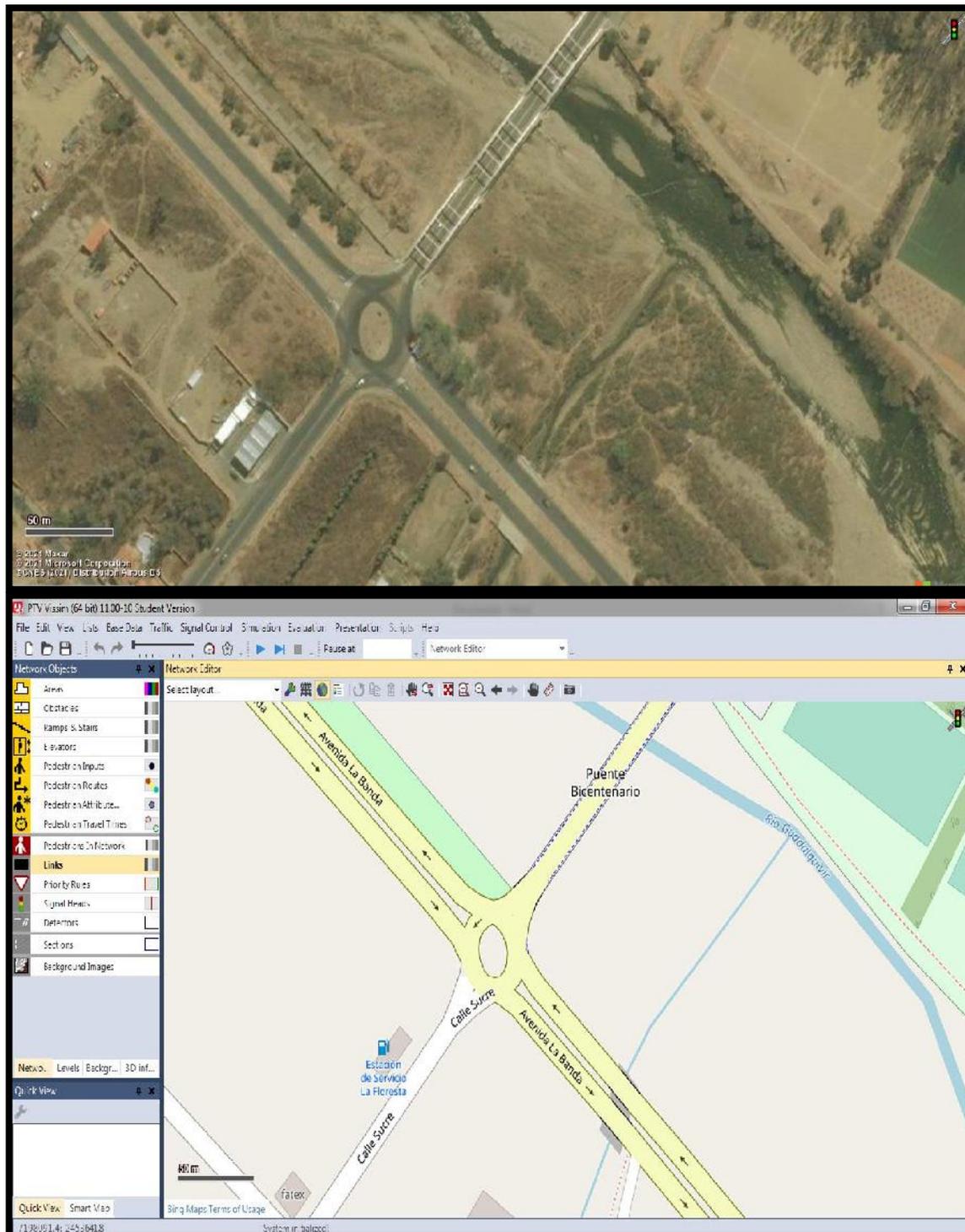
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.7 Rotonda paíta



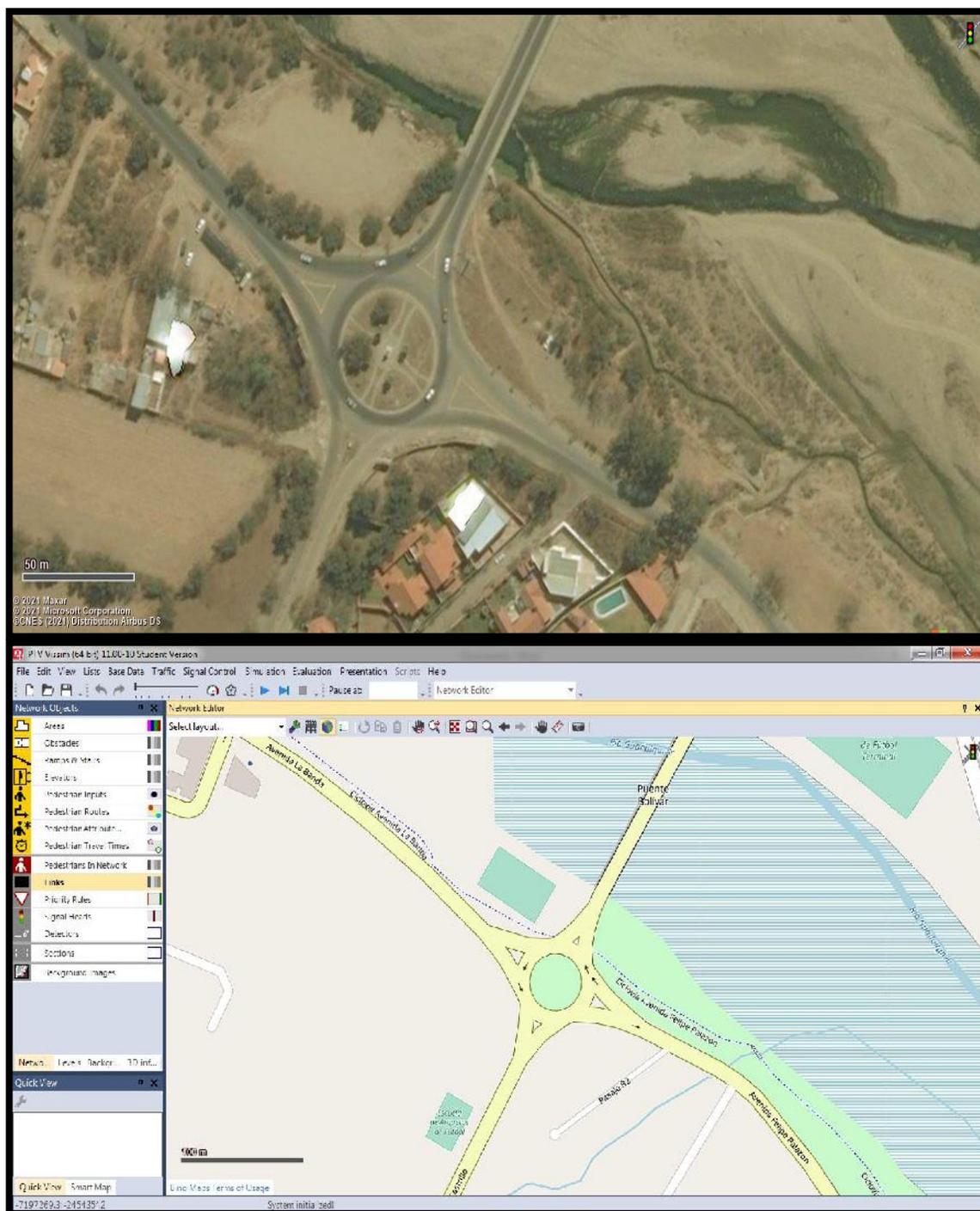
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.8 Rotonda puente bicentenario



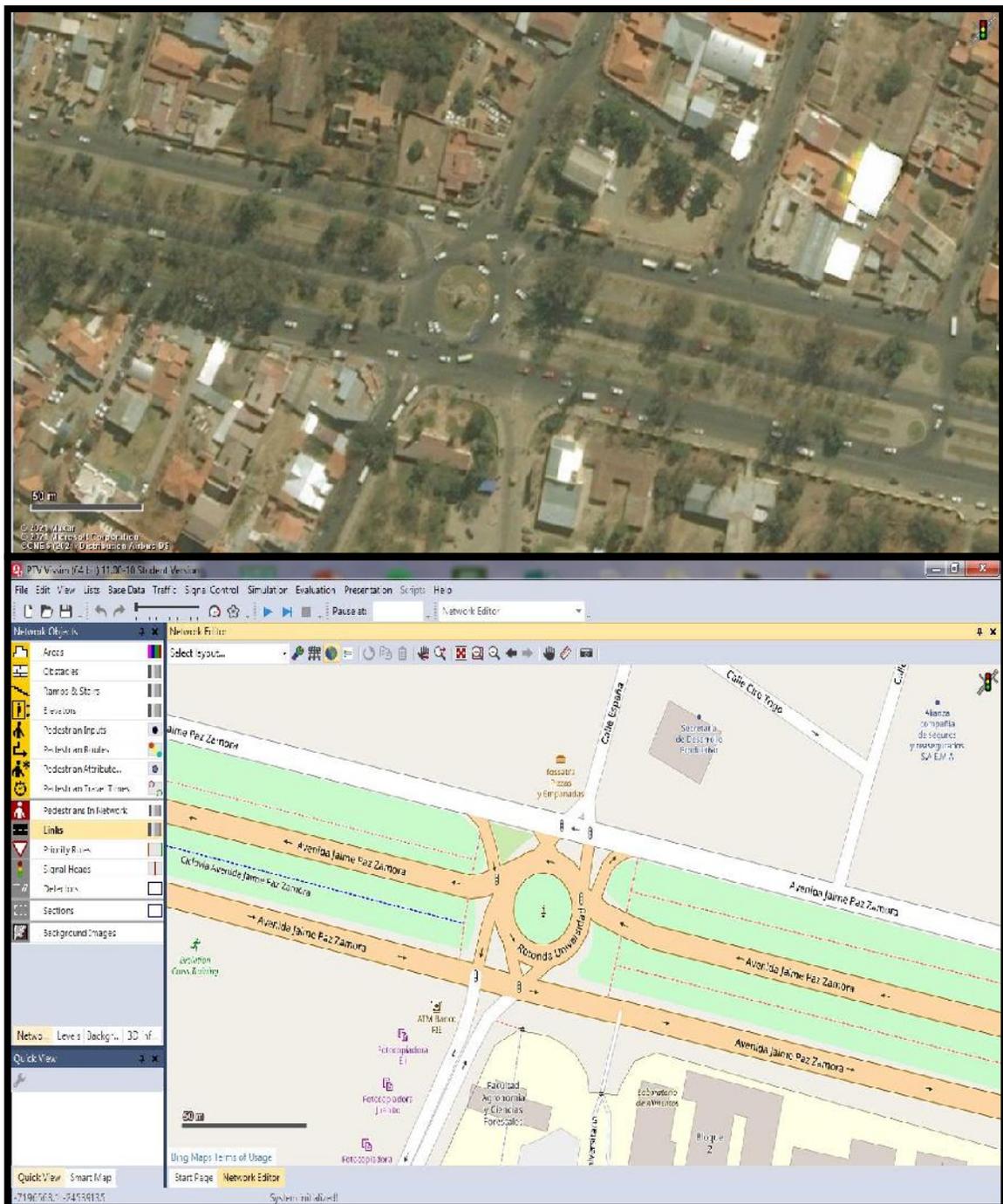
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.9 Rotonda puente bolívar



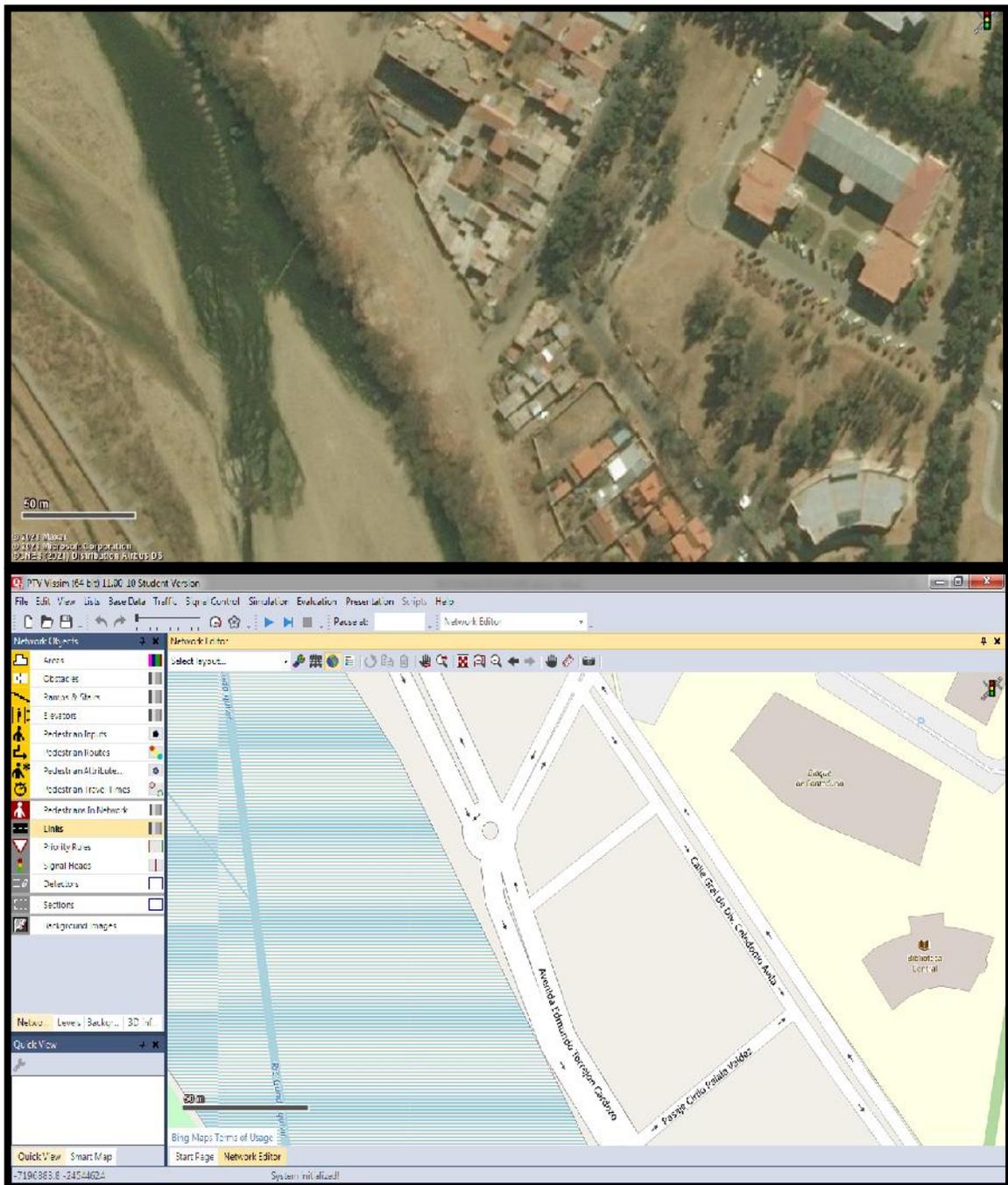
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.10 Rotonda universidad



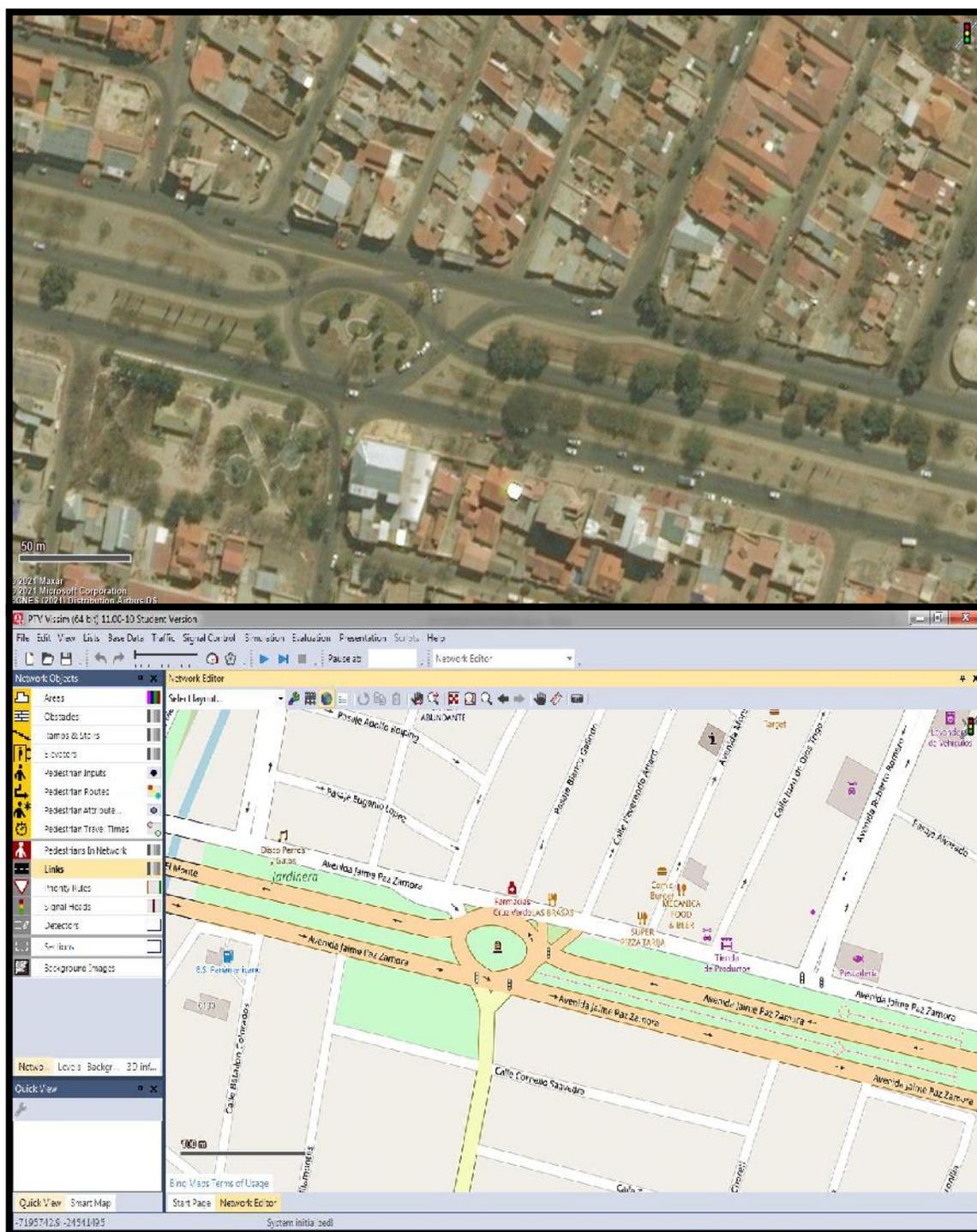
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.11 Rotonda Edmundo Torrejón



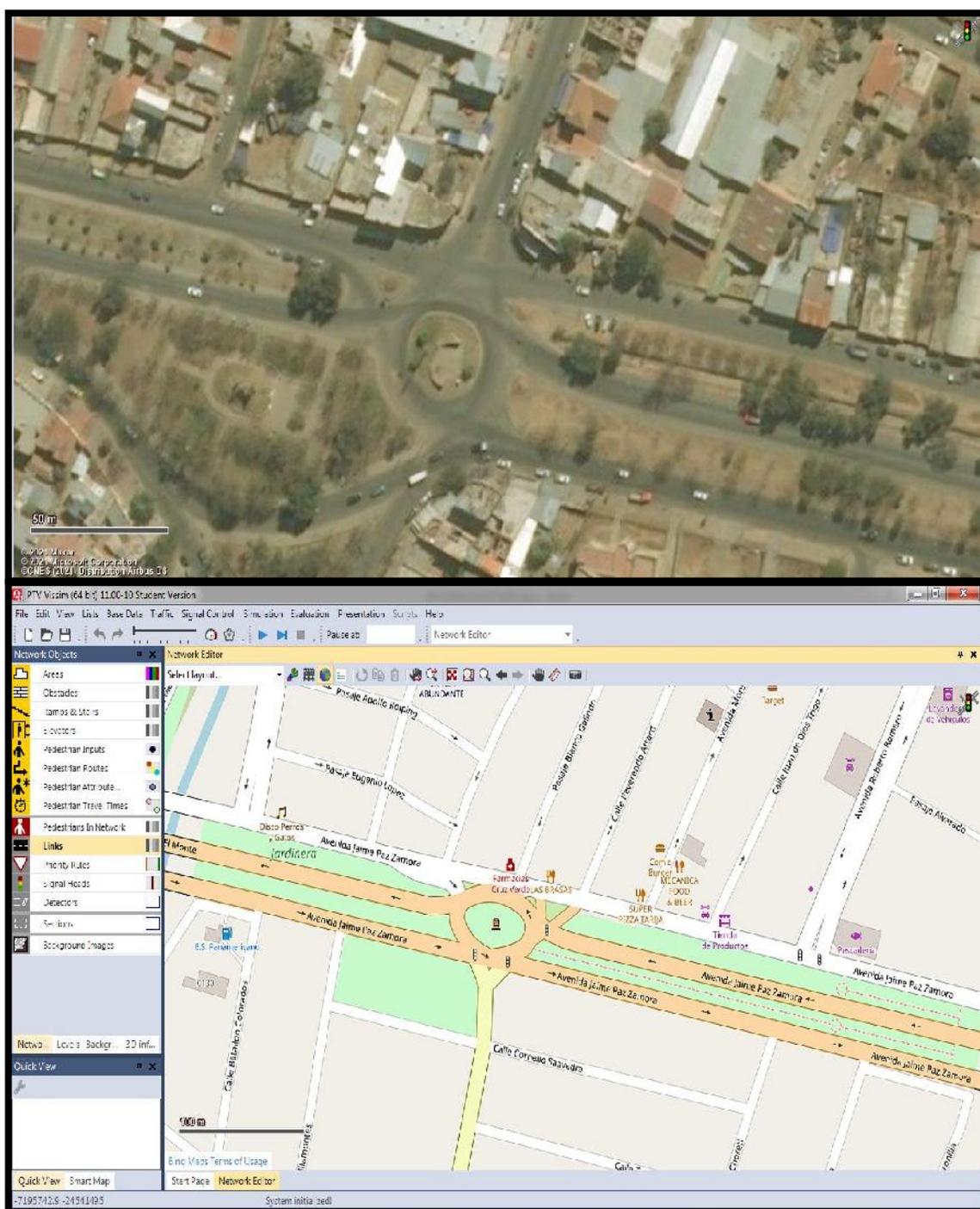
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.12 Rotonda San Gerónimo



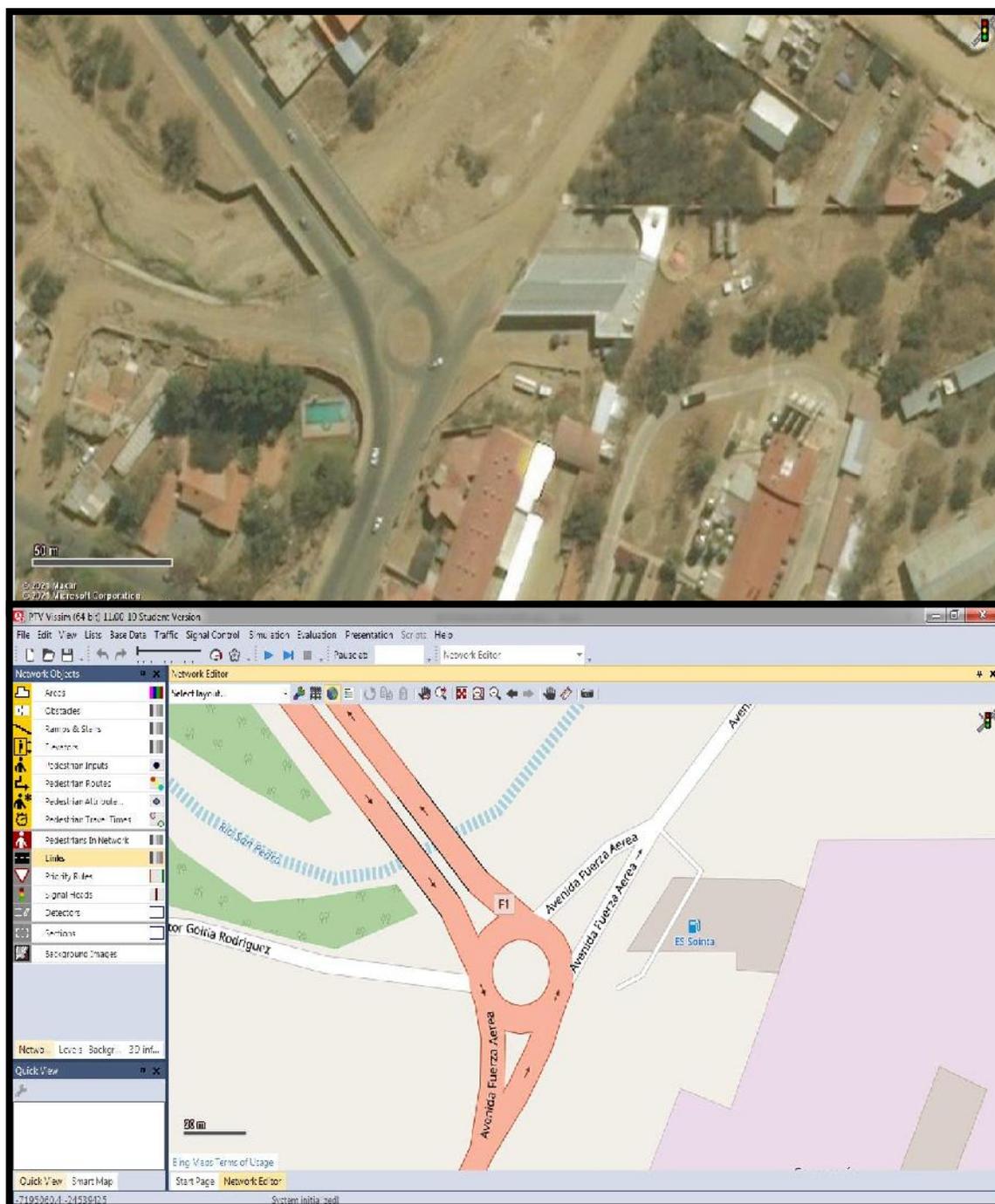
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.13 Rotonda aeropuerto



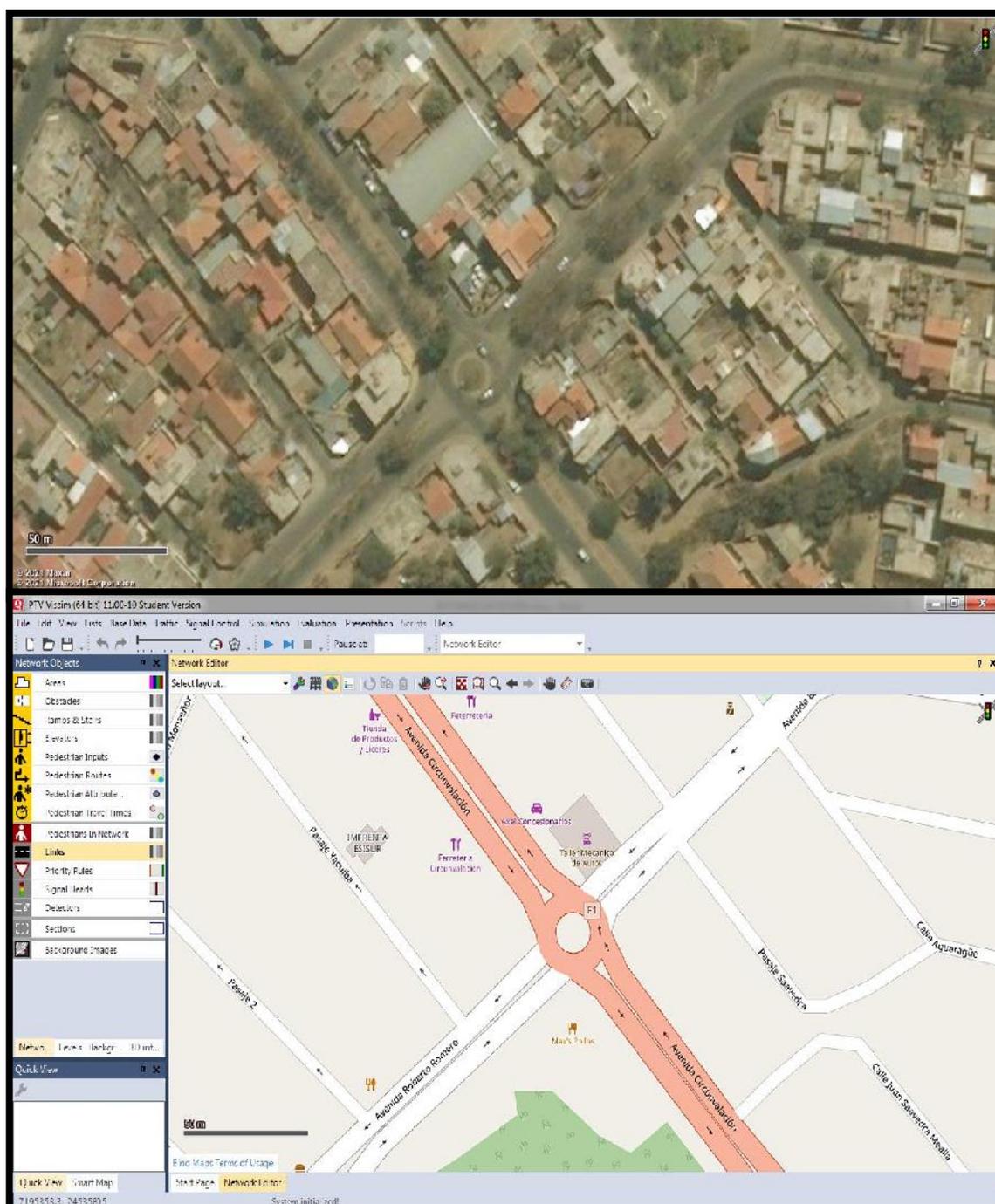
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.14 Rotonda inicio circunvalación



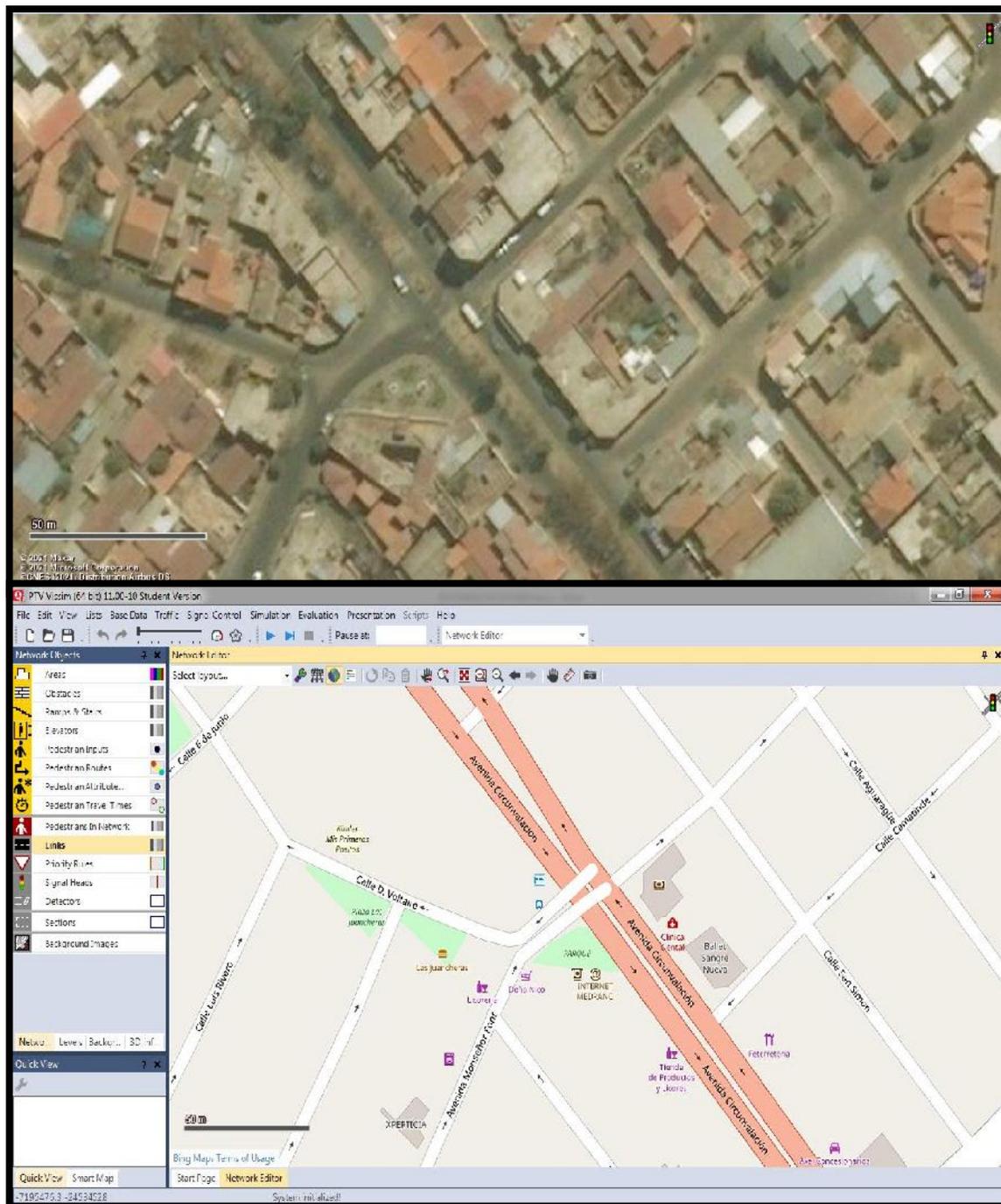
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.15 Rotonda Roberto Romero



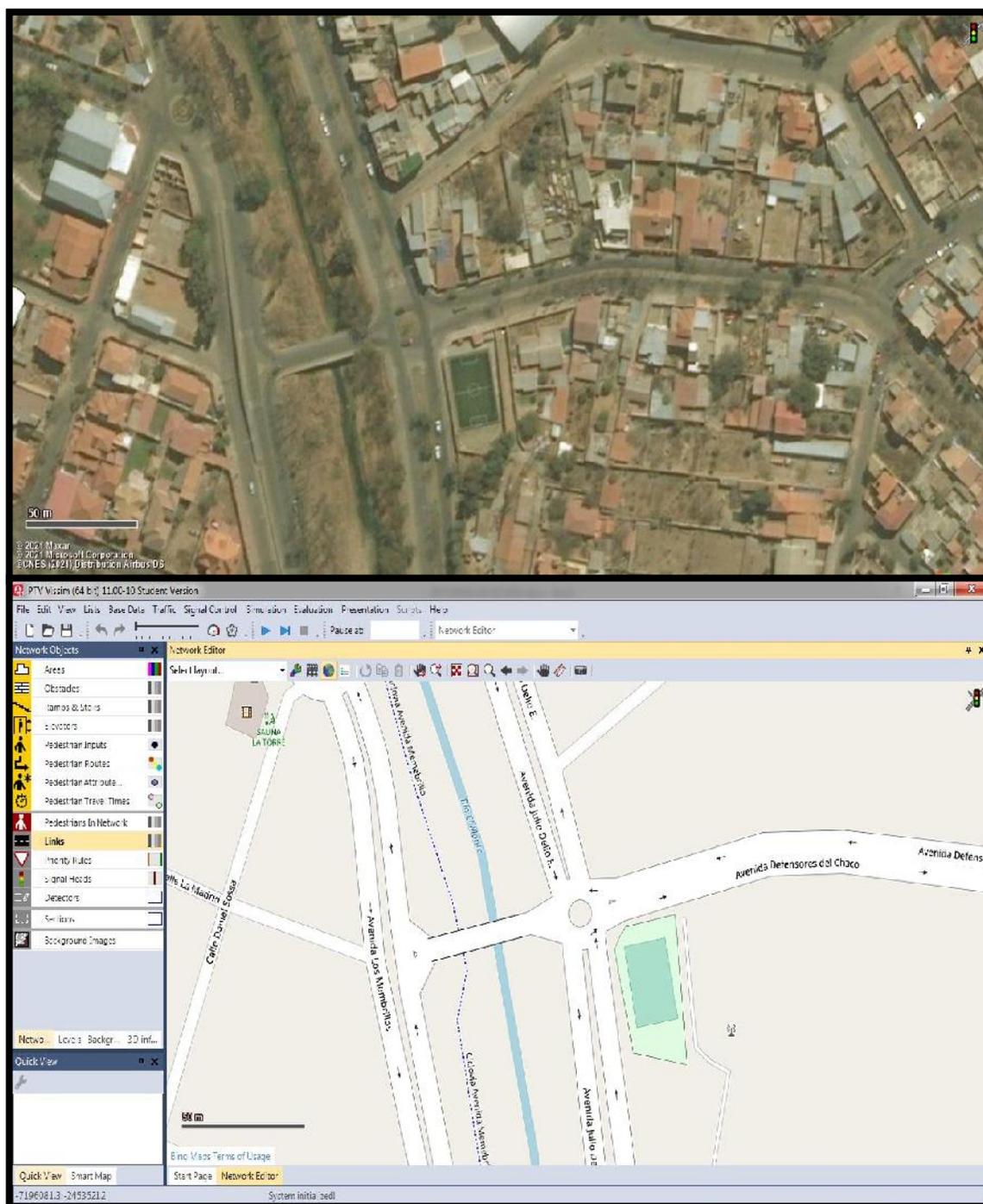
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.16 Rotonda Monseñor Font



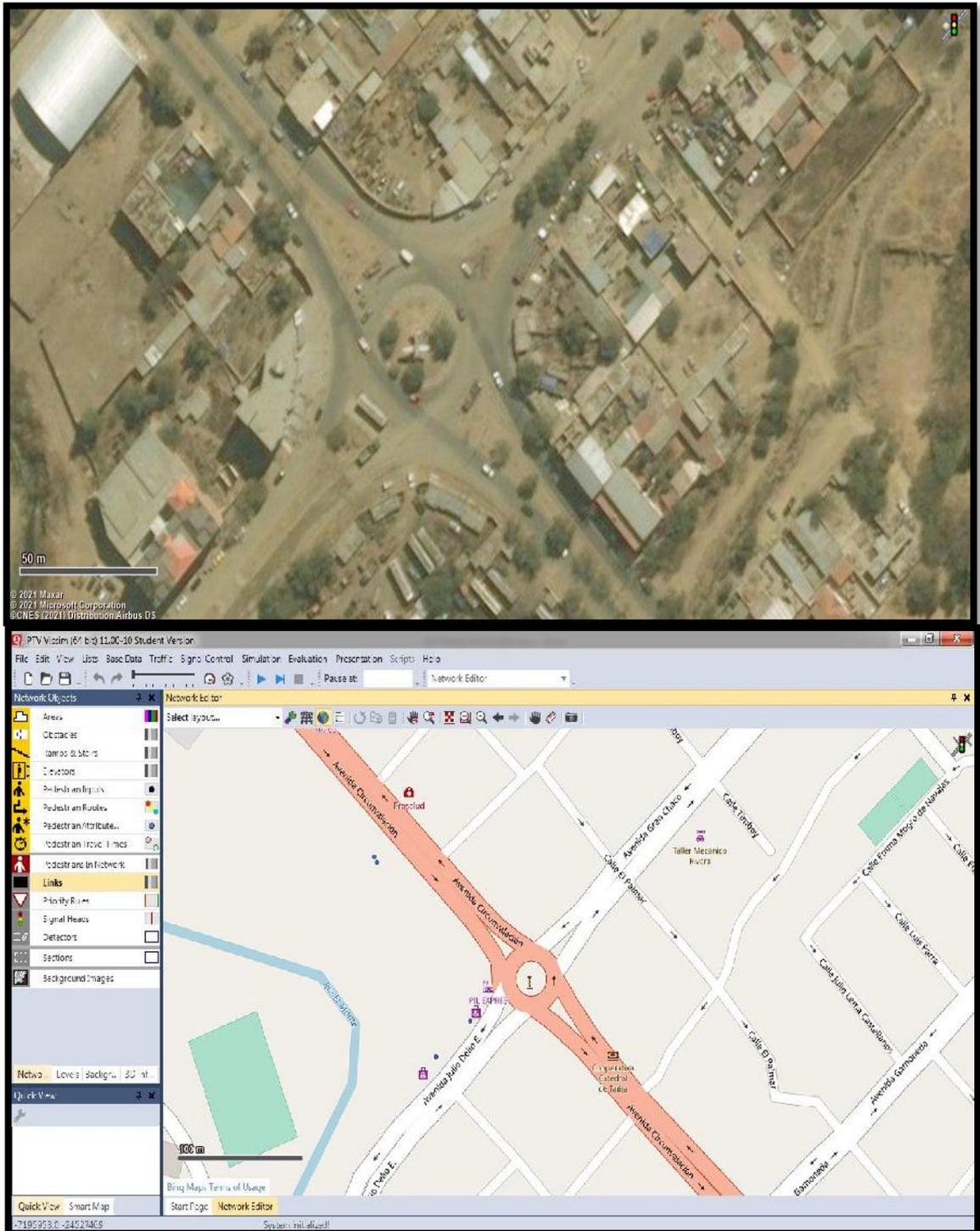
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.17 Rotonda Julio Delio Comidas



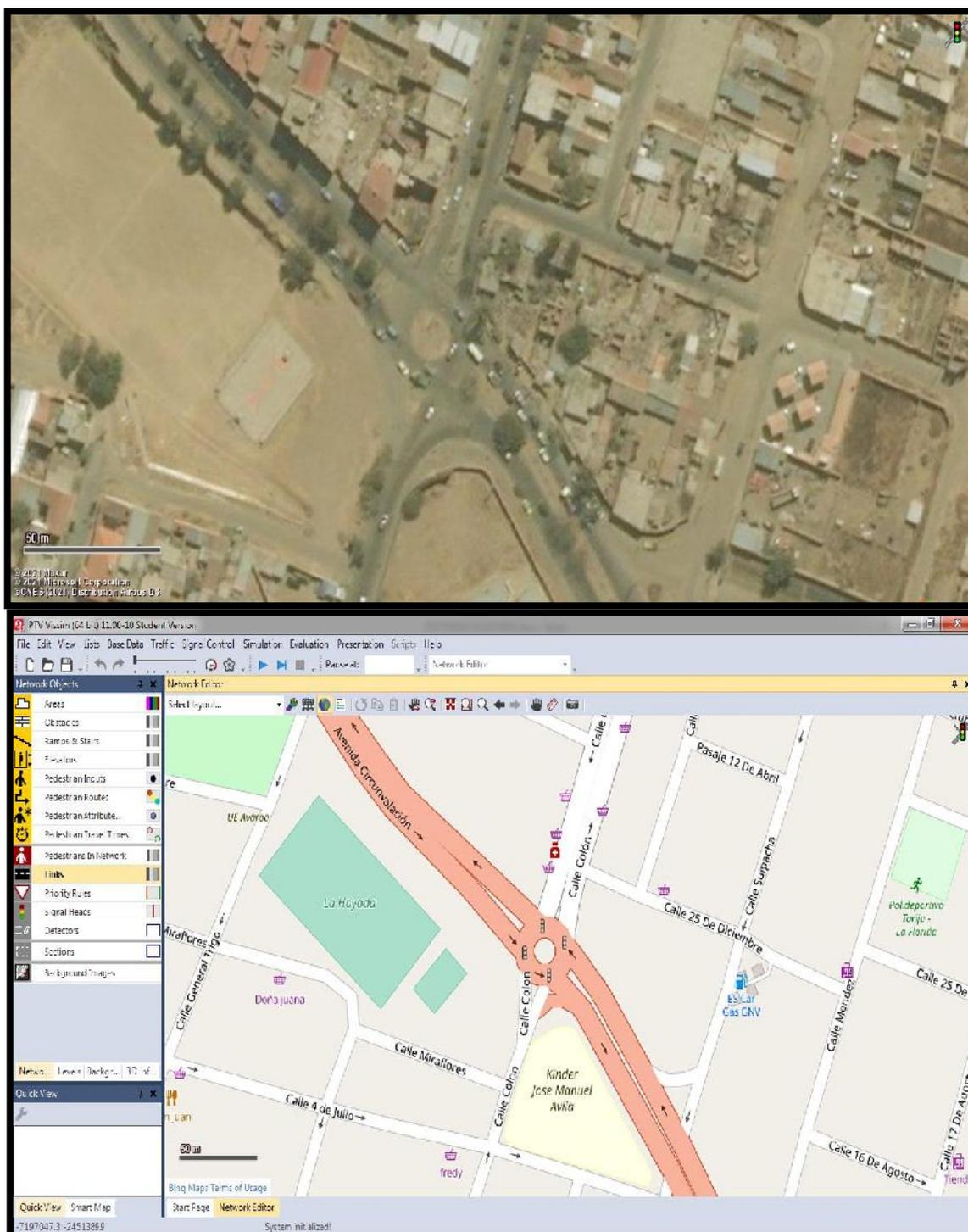
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.18 Rotonda El Avión



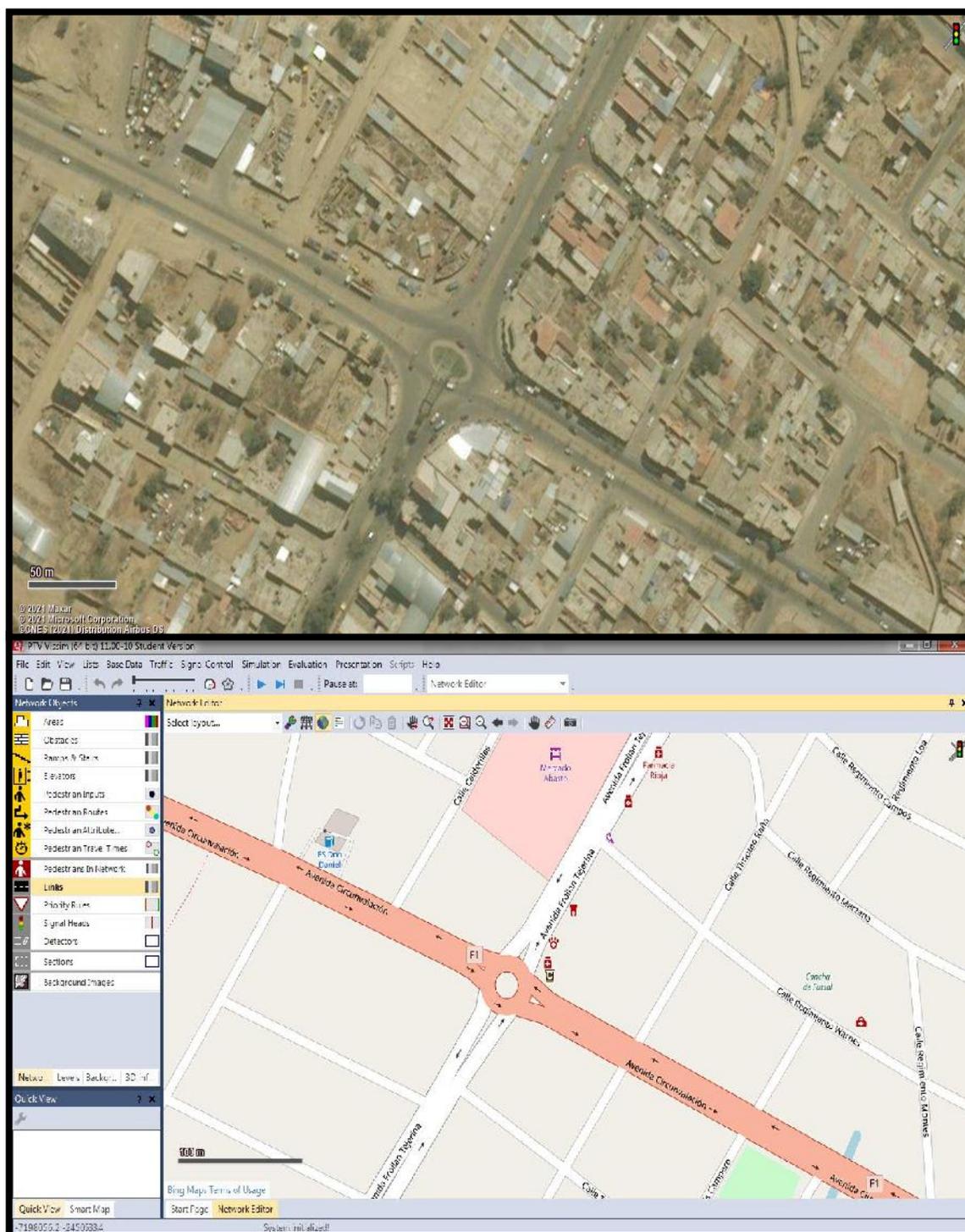
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.19 Rotonda La Hoyada



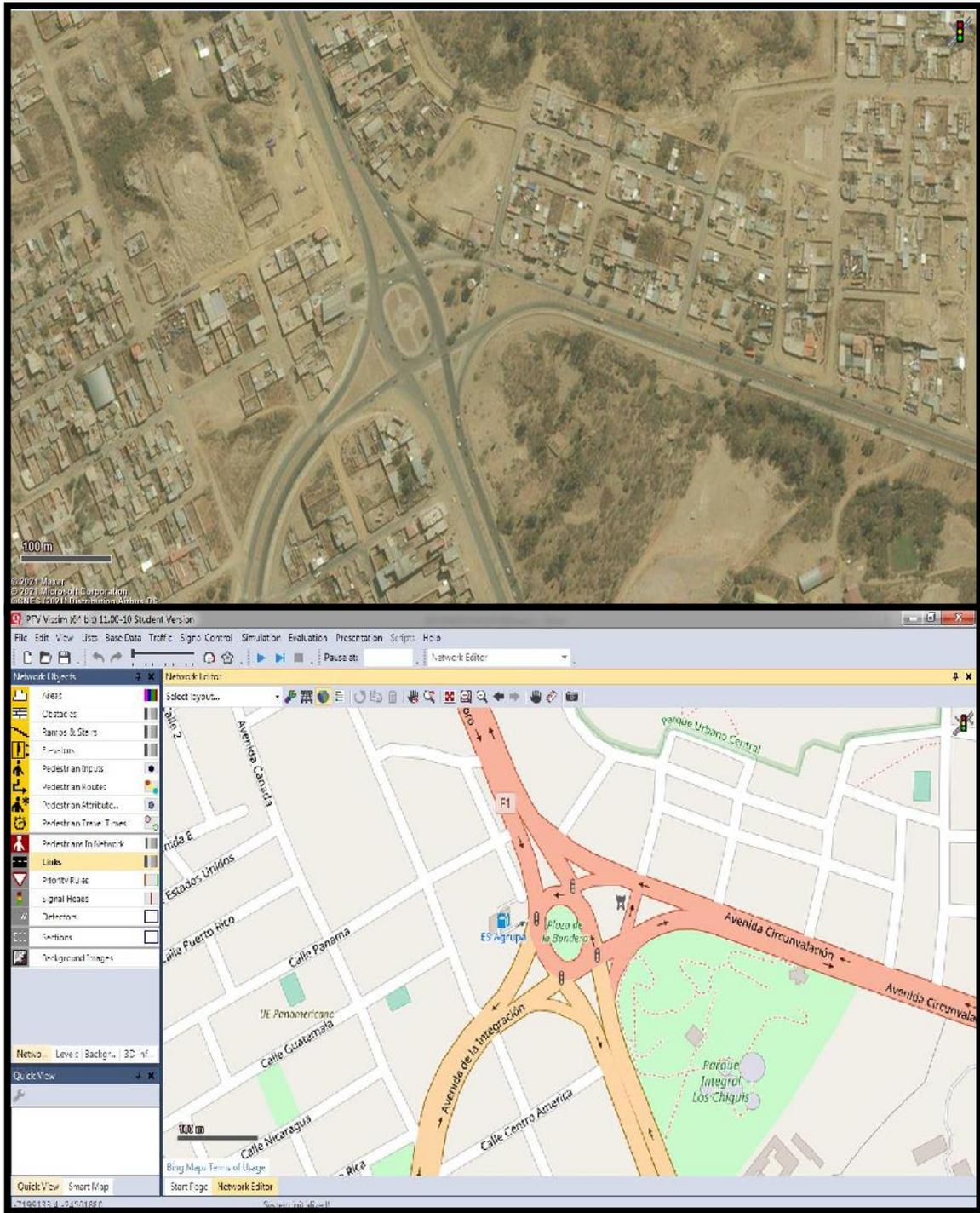
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.20 Rotonda la torre



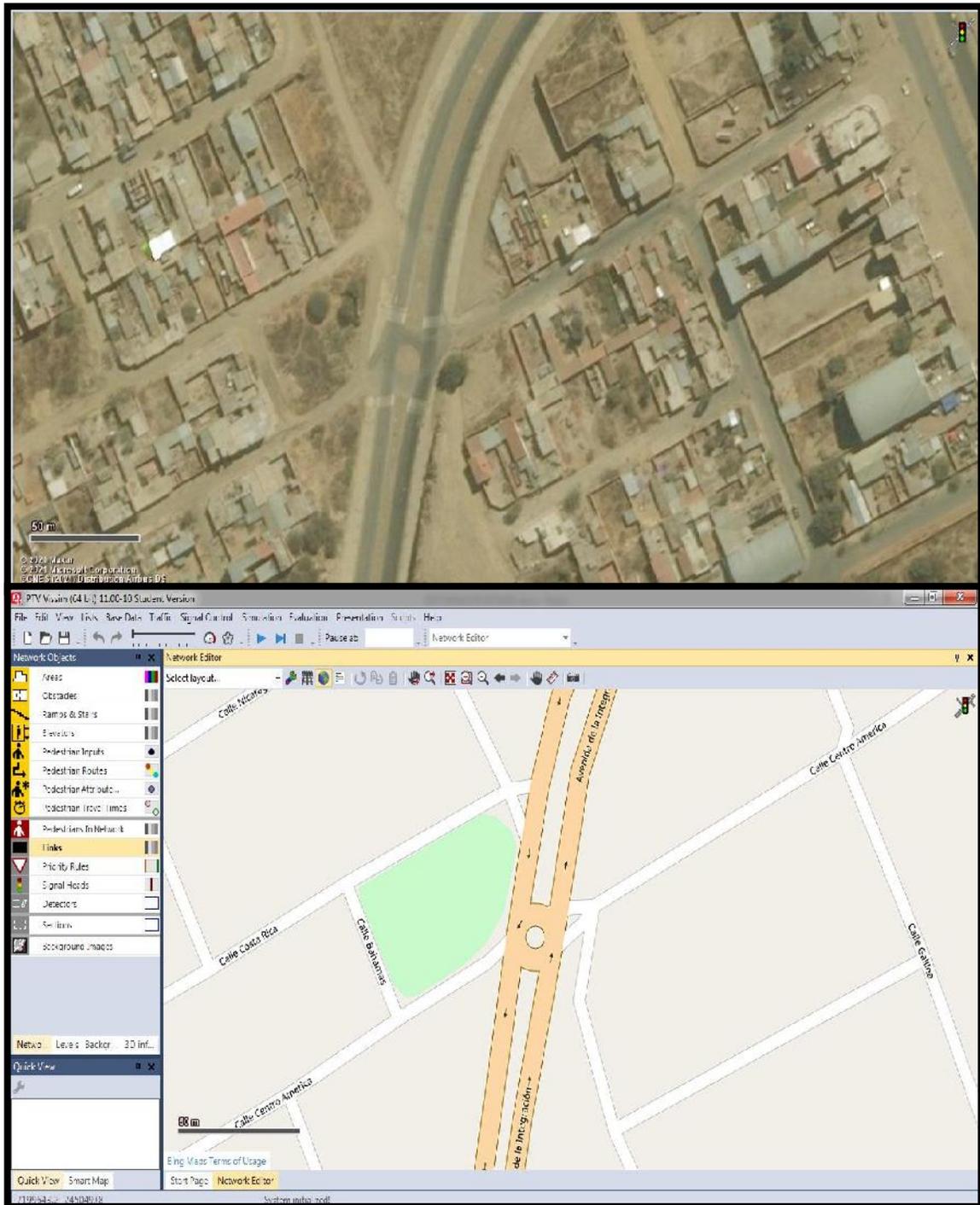
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.21 Rotonda mástil



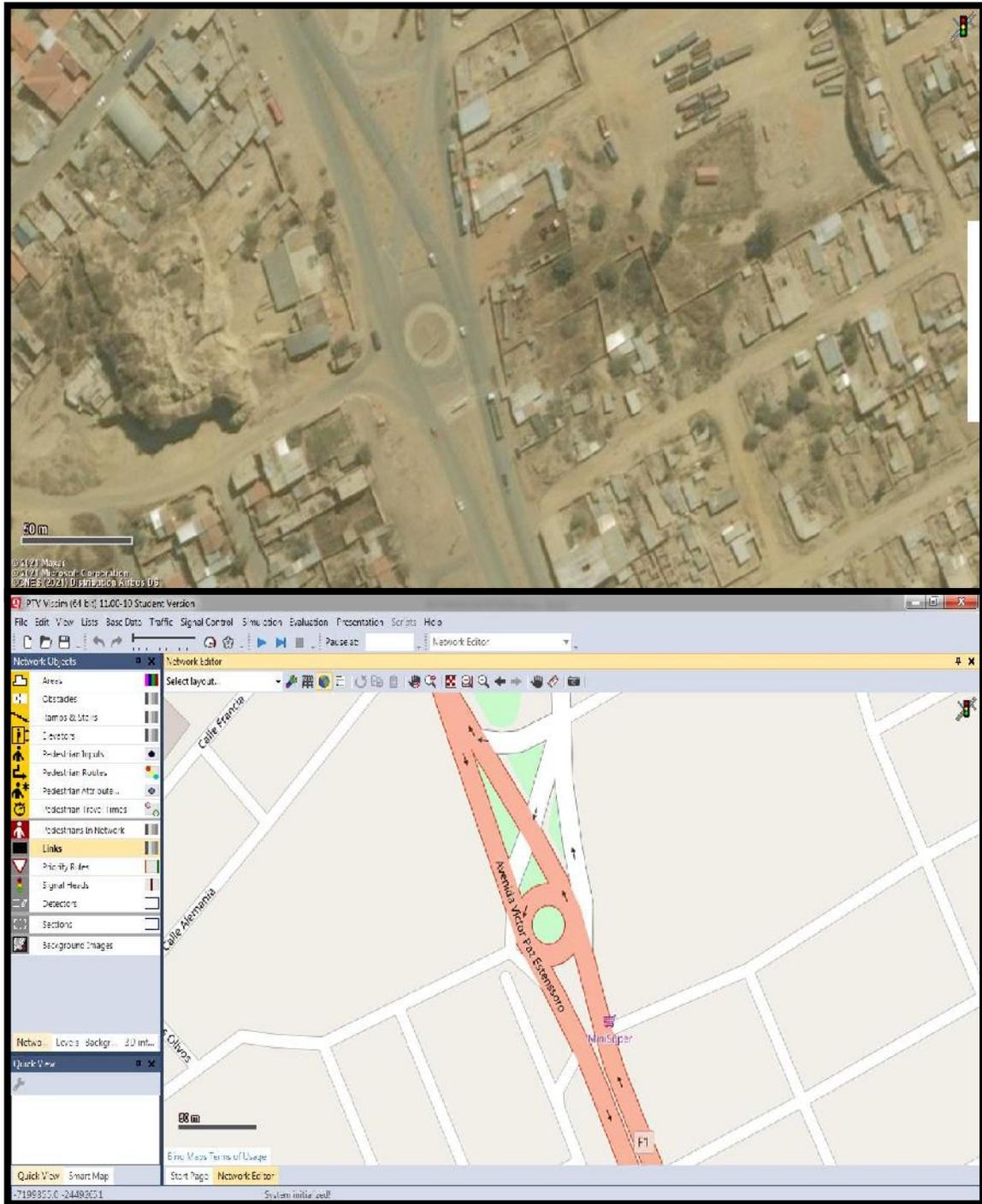
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.22 Rotonda integración



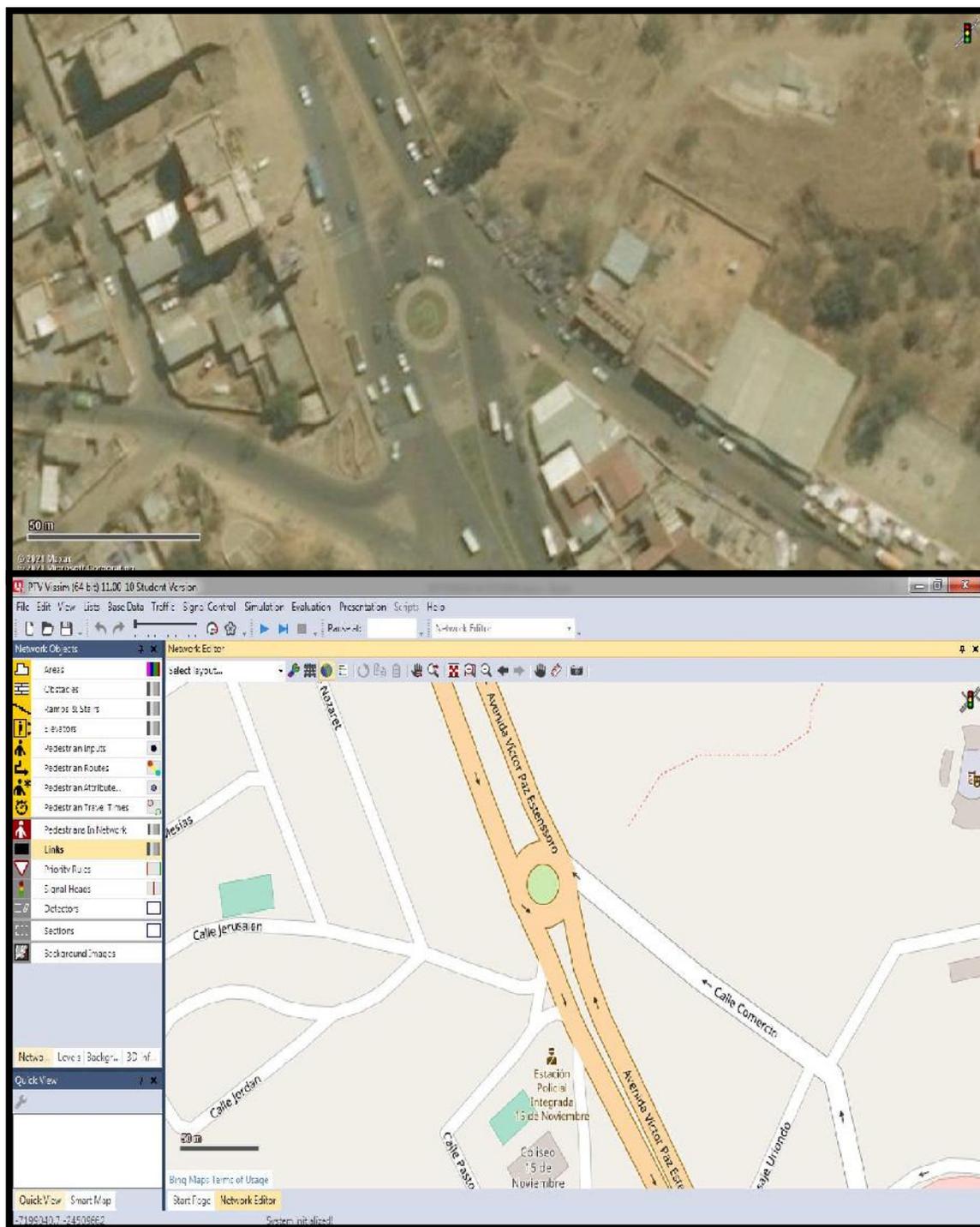
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.23 Rotonda parada del norte



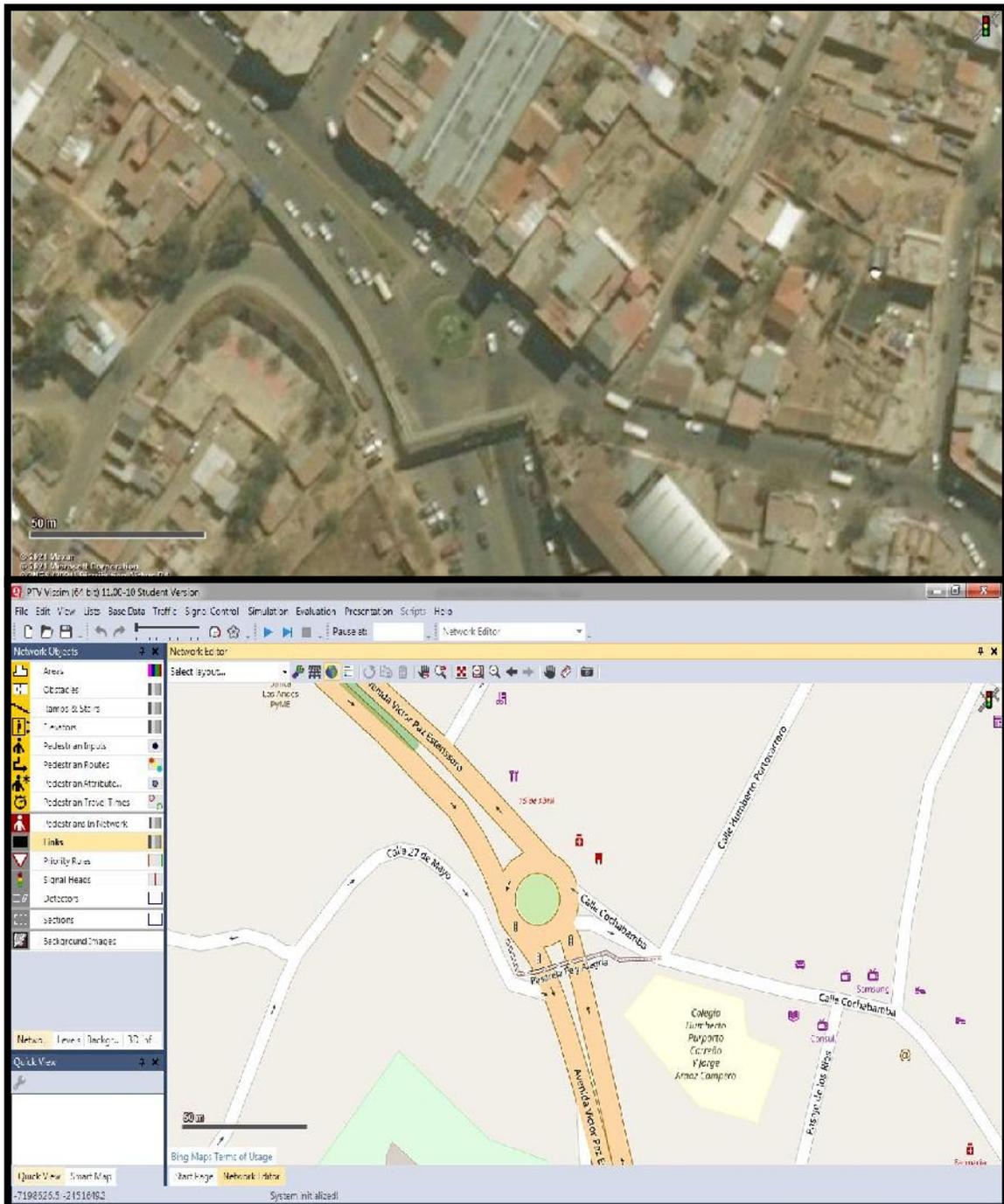
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.24 Rotonda 15 de noviembre



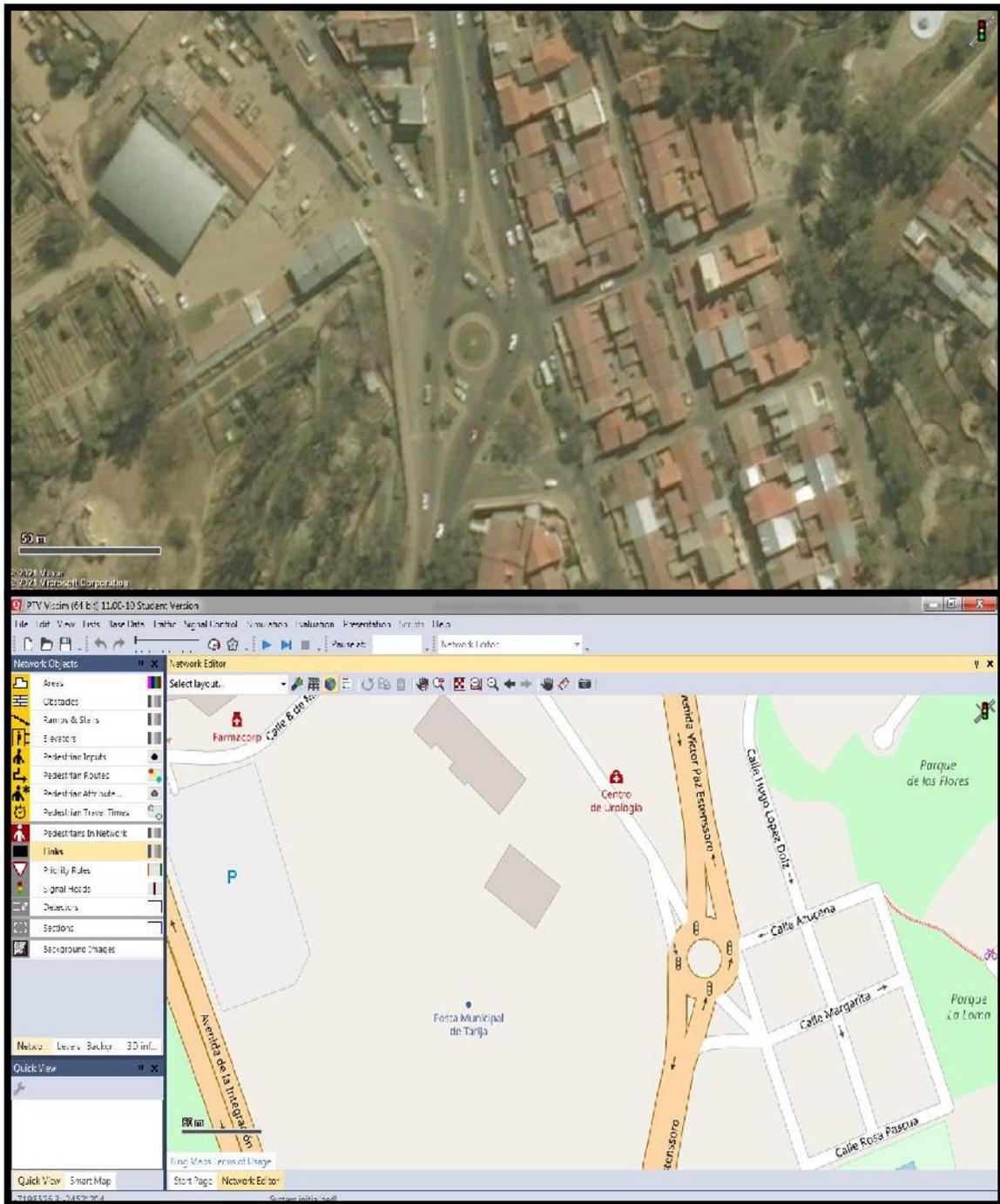
Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.25 Rotonda pasarela



Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

Figura 3.26 Rotonda Posta Municipal



Fuente: Imagen satelital y funcional Vissim

En estas zonas se pueden evidenciar el gran problema de congestión vehicular ya que no se cuenta con varias alternativas de circulación, además, que en cada rotonda se observan sus respectivos ingresos y salidas rebasados en su capacidad al crecimiento vehicular en nuestro departamento.

Para ello se busca solucionar el problema de la congestión vehicular evaluando los diversos comportamientos de tráfico que presenta cada rotonda para así poder tener un análisis amplio del comportamiento vehicular y poder generar alternativas y soluciones en su comportamiento general de las rotondas para que los mismos tengan mayor fluidez y evitar las demoras, ya que el crecimiento poblacional en la ciudad crece en gran magnitud.

3.2 Características del área de estudio

Las zonas de estudio de cada rotonda son provenientes de cada arteria conectora a los puntos de accesos de la ciudad generalmente las principales y cada una de ellas ayuda al ingreso y salida del destino deseado por el conductor.

En cuanto a la señalización, se observa que es escasa en señalización horizontal, donde no se tiene vías pintadas o con instrumentos necesarios para la señalización horizontal de las vías.

3.3 Parámetros de tráfico

Los parámetros de tráfico vehicular que fueron objeto de estudio son: volúmenes de tráfico vehicular y velocidad, cuyo desarrollo y proceso de estudio se indica a continuación:

3.3.1 Aforo de volúmenes

La toma de datos se muestra de manera detallada en las planillas de datos de aforo de volúmenes que se encuentran en **anexos**, para ello se utilizó el método manual y la norma AASTHO para el cálculo de los volúmenes.

Los volúmenes obtenidos y que son de mayor representatividad son los siguientes:

Tabla 3.3 Tabla de aforo

Rotonda Fuente de los deseos					
	Volumen 1	Volumen 2	Volumen 3	Volumen 4	Volumen 5
Lunes	897	416	445	470	1084
Martes	860	425	431	496	1092
Miercoles	880	477	457	510	1043
Jueves	914	480	496	535	1178
Viernes	943	480	496	535	1178
Sabado					
Domingo					
Aforo final	900	456	476	496	1132

Fuente: Elaboración propia

Nota. – Casillas en amarillo valores de volúmenes depurados.

Tabla 3.4 Volúmenes de finales (veh/hr)

Rotonda Fuente de los deseos (Veh/hora)					
	Volumen 1	Volumen 2	Volumen 3	Volumen 4	Volumen 5
Aforo final	900	456	476	496	1132

Fuente: Elaboración propia

c) Porcentajes de giro

Los porcentajes de giro están en función a las rutas de decisión que se muestra en el programa, para las cuales se tomó los puntos en las intersecciones donde existen giros.

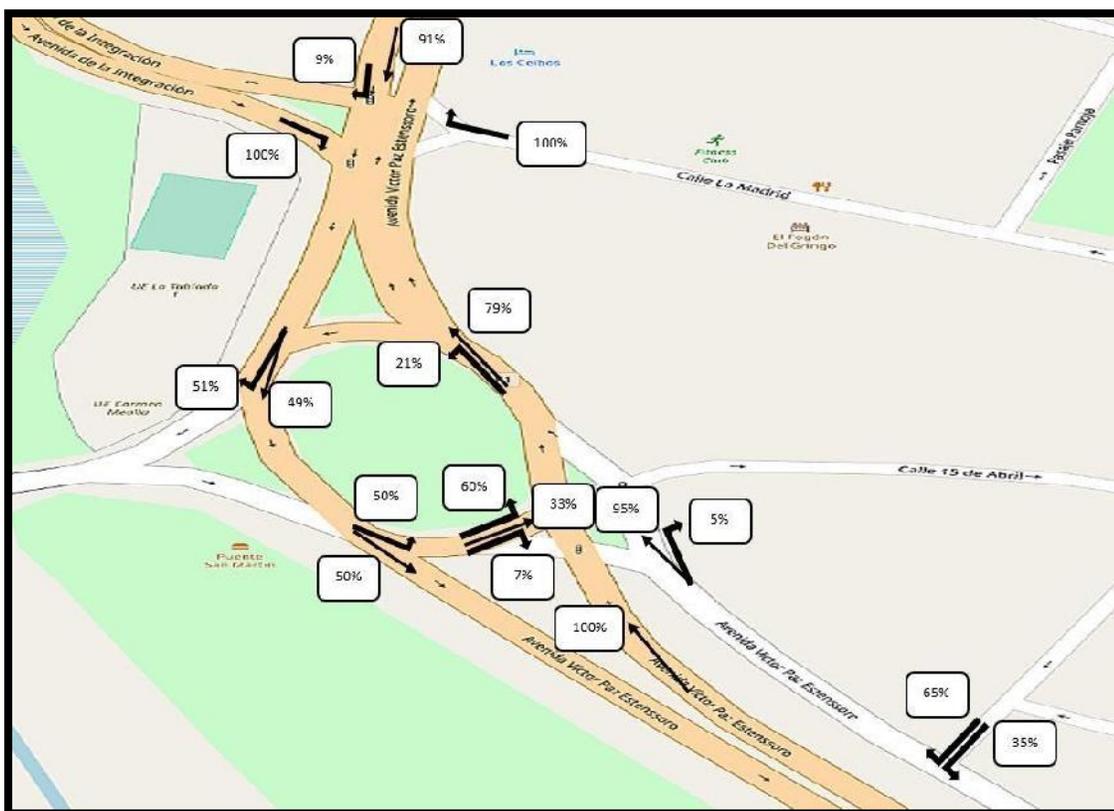
Los porcentajes de giro se muestran en los siguientes gráficos:

Tabla 3.5 Porcentajes de giro rotonda

Count: 3	VehRoutDec	No	Nom	Formula	DestLink	DestPos	RelFlow(0-MAX)
1	1	1			3: salida 1	18,177	0,400
2	1	2			5: salida 2	99,475	0,350
3	1	3			7: salida 3	60,407	0,250

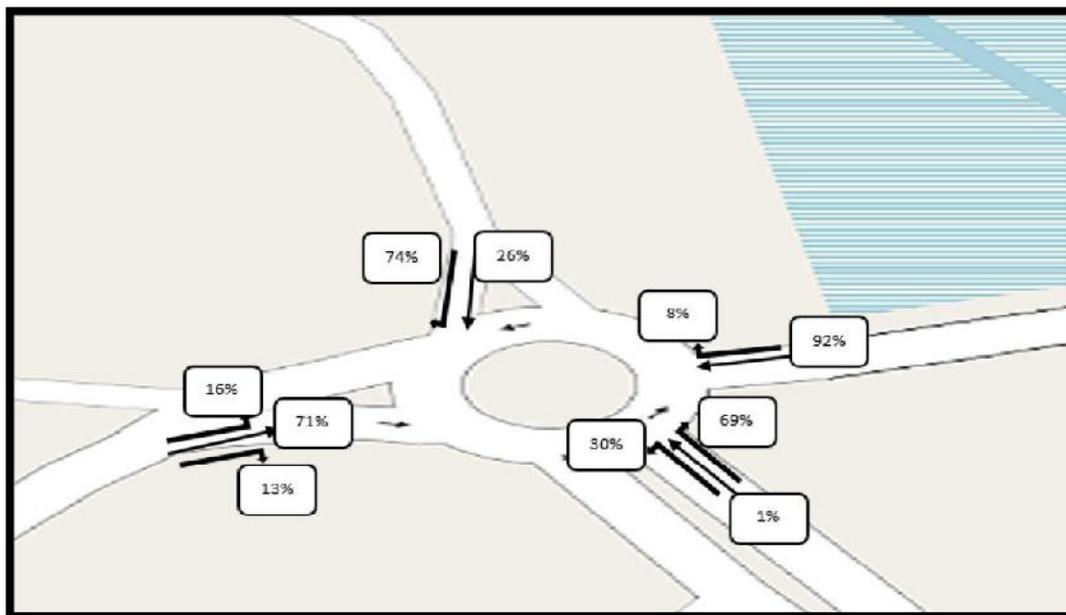
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.27 Porcentaje de giros



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

Figura 3.28 Porcentajes de giro rotonda



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

3.4 Velocidades

Las velocidades se tomaron en rangos de 20-30 y 40km/hr de acuerdo al programa los algoritmos y funciones probabilísticas, el programa maneja los rangos de velocidades en el proceso de simulación, no siendo necesario tener un valor promedio o velocidad de punto, sino que un intervalo entre el promedio.

Tabla 3.6 Velocidades (Km/h)

tabla de velocidades			
	Fuente de los deseos	Bicentenerio	Mastil
velocidad	30-40	30-40	30-40
tabla de velocidades			
	Monseñor Font	SEDECA	Aeropuerto
velocidad	30-40	30-40	30-40
tabla de velocidades			
	Tabladita	Puente Bolivar	Integracion
velocidad	30-40	30-40	30-40

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.7 Velocidades (Km/h)

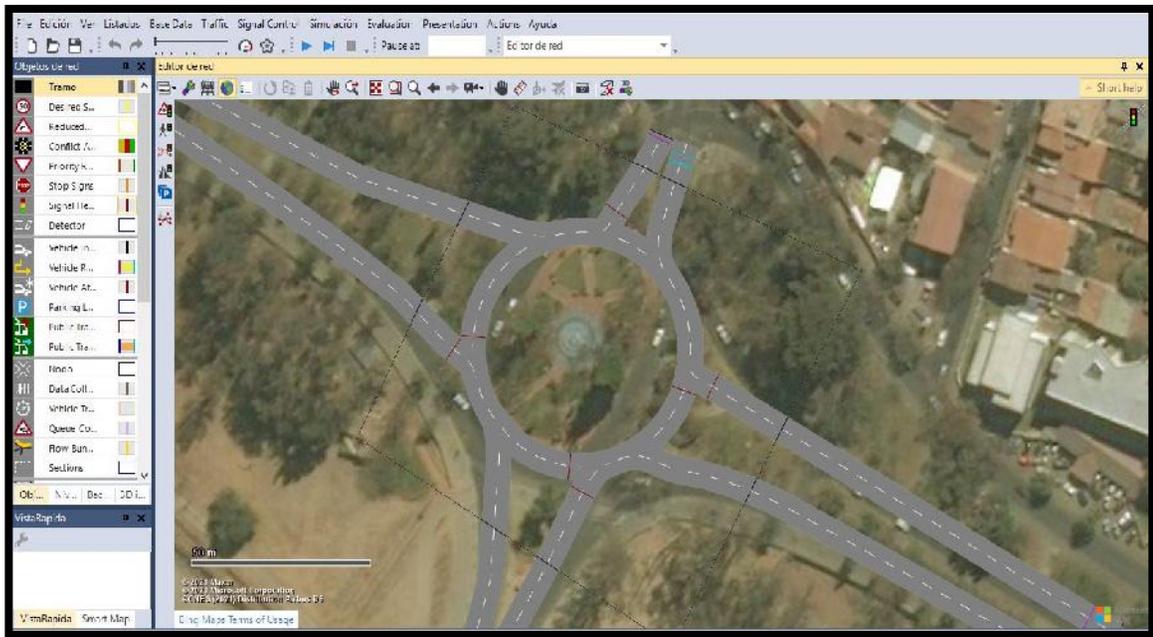
tabla de velocidades			
	La Torre	La Pasarela	Aranjuez
velocidad	30-40	30-40	30-40
tabla de velocidades			
	Julio Delio	San Geronimo	La Hoyada
velocidad	30-40	30-40	30-40

Fuente: Elaboración Propia

3.5 Análisis de la información

Para el análisis de la información, se comienza a diseñar las rotondas con enlaces de entrada y salida de las avenidas respectivas, luego se establece los parámetros de tráfico.

Figura 3.29 Diseño de rotonda puente san martín con el programa Vissim



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

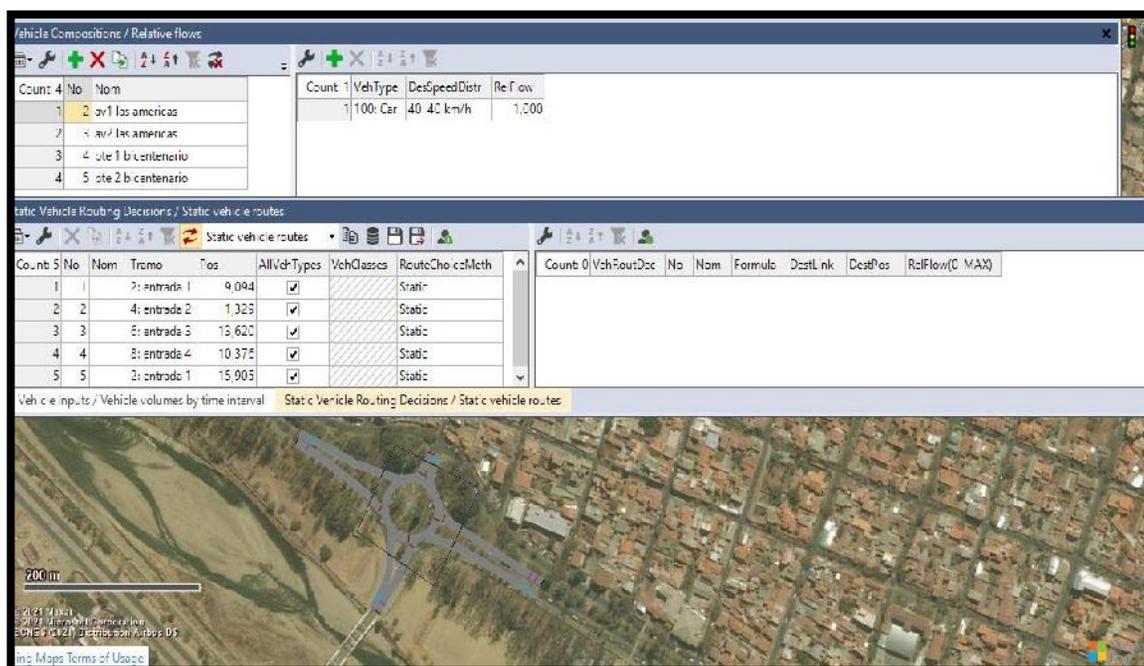
Se procede con la modelación virtual de los datos obtenidos e introducidos al programa y así conocer el comportamiento de la situación actual de cada rotonda.

Las modelaciones se encuentran en los **anexos** digitales. A continuación, se analizará en base a imágenes el comportamiento obtenido.

3.5.1 Análisis de la rotonda fuente de los deseos

Tomando en cuenta los parámetros de tráfico vehicular mediante la modelación se observa los niveles de servicio y el comportamiento del tráfico vehicular que describen lo mismo:

Figura 3.30 Parámetros



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

En esta modelación se puede evidenciar las colas de vehículos, el comportamiento del tráfico vehicular en horas pico de manera real y los niveles de servicio.

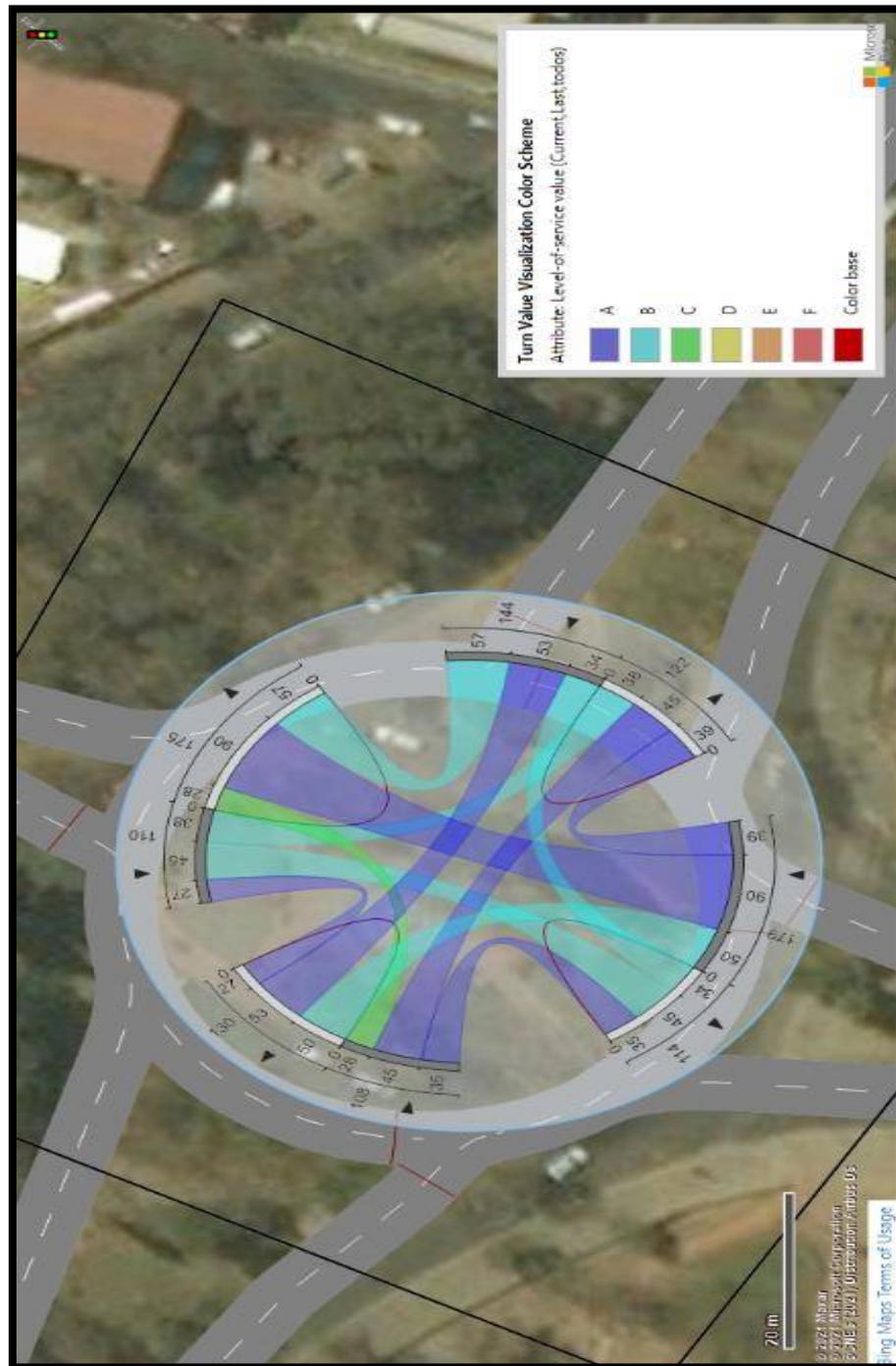
Figura 3.31 Simulación vehicular



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim

Los niveles de servicio están debidamente direccionados mediante colores y sus destinos de cada entrada a salida.

Figura 3.32 Nivel de servicio

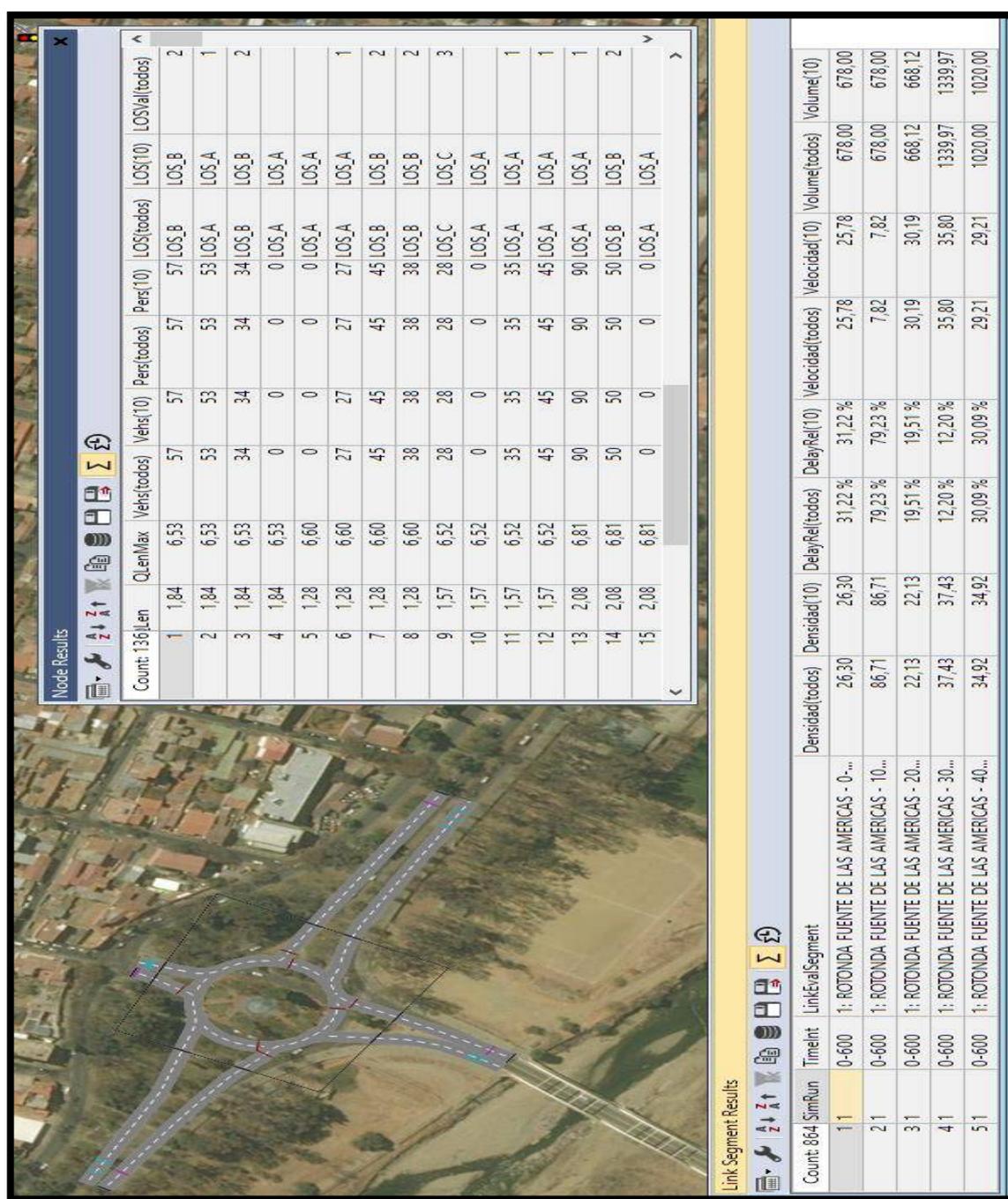


Fuente: PTV Vissim

3.6 Calibración

Una vez aplicado el modelo el programa nos entrega los valores de simulación en tiempo real y en segmentos de toda la rotonda generando volúmenes, velocidades y con ello la densidad vehicular; realizando una evaluación segmentada cada 10 metros.

Figura 3.33 Datos de la simulación en tiempo real



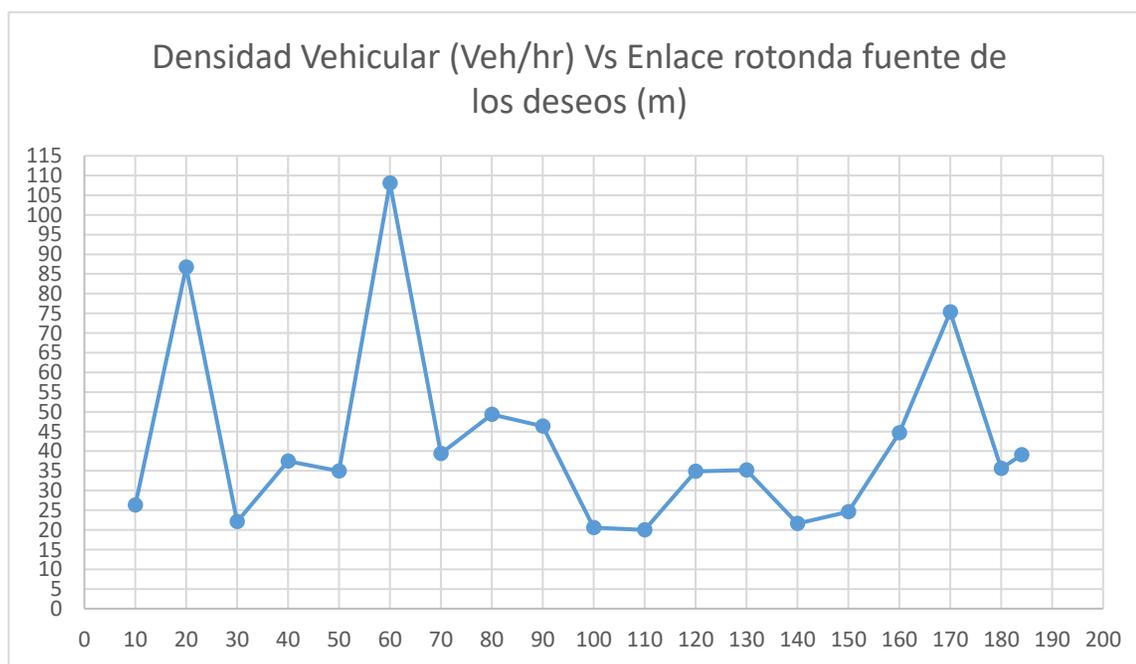
Fuente: PTV Vissim

Tabla 3.8 Densidad vehicular y demora relativa por tramos

Tramo (m)	Densidad Vehicular	Demora Relativa
10	26,3	31,22%
20	86,71	79,23%
30	22,13	19,51%
40	37,43	12,20%
50	34,92	30,09%
60	108,07	77,46%
70	39,42	18,59%
80	49,32	9,10%
90	46,36	3,27%
100	20,56	1,66%
110	20,01	1,65%
120	34,85	8,52%
130	35,16	7,18%
140	21,58	2,37%
150	24,63	14,86%
160	44,65	53,24%
170	75,32	72,40%
180	35,56	12,60%

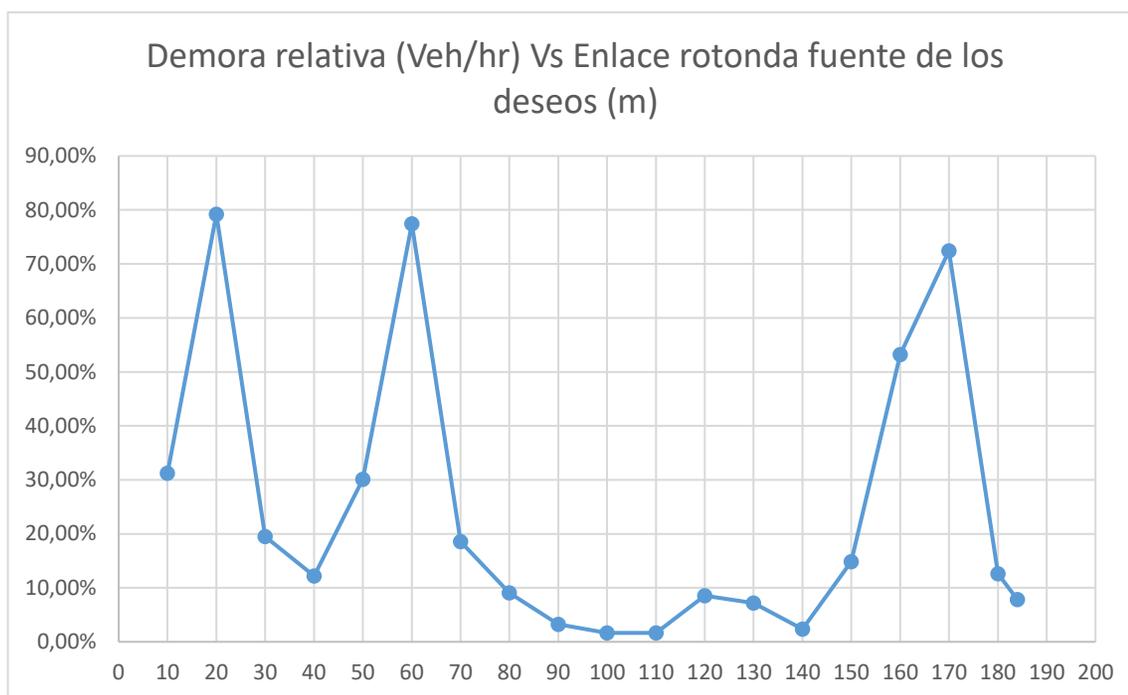
Con los datos de campo y aplicado al programa se calibro cada rotonda de manera que obtuvimos la densidad vehicular y la demora relativa.

Tabla 3.9 Densidad vehicular por segmento



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10 Demora relativa por segmento



Fuente: Elaboración propia

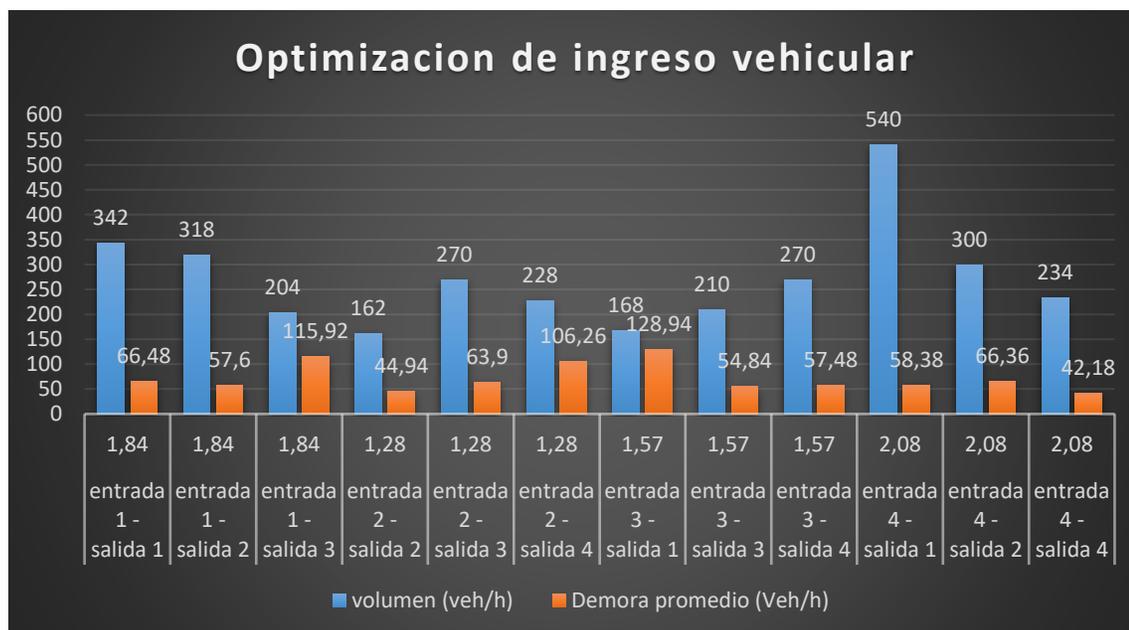
También se obtuvo la optimización del flujo vehicular respecto a cada entrada y salida de los enlaces que se distribuyen en las rotondas, mostrando la longitud promedio de cola y la demora promedio entre enlaces.

Tabla 3.11 Longitud de cola y demora promedio

Tramos	longitud de cola	vehiculos en 10 min	Demora promedio	volumen (veh/h)	Demora promedio (Veh/h)
entrada 1 - salida 1	1,84	57	11,08	342	66,48
entrada 1 - salida 2	1,84	53	9,6	318	57,6
entrada 1 - salida 3	1,84	34	19,32	204	115,92
entrada 2 - salida 2	1,28	27	7,49	162	44,94
entrada 2 - salida 3	1,28	45	10,65	270	63,9
entrada 2 - salida 4	1,28	38	17,71	228	106,26
entrada 3 - salida 1	1,57	28	21,49	168	128,94
entrada 3 - salida 3	1,57	35	9,14	210	54,84
entrada 3 - salida 4	1,57	45	9,58	270	57,48
entrada 4 - salida 1	2,08	90	9,73	540	58,38
entrada 4 - salida 2	2,08	50	11,06	300	66,36
entrada 4 - salida 4	2,08	39	7,03	234	42,18

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.12 Optimización del ingreso vehicular



Fuente: Elaboración propia

3.7 Análisis de alternativas para una mayor funcionalidad en las rotondas

Con la calibración de cada modelo se analizaron 2 alternativas para mejorar el funcionamiento de las 30 rotondas con las cuales se busca a futuro resolver el problema del tráfico vehicular. Las alternativas de solución planteadas son las siguientes:

a) Ampliación de ancho de calzada a las rotondas

Esta alternativa es planteada al observar que los niveles de servicio mejoran tomando en cuenta las dimensiones de los anchos de cada acceso o vías que componen la rotonda, es por eso que, al ampliar el ancho de calzada de los accesos de toda la rotonda, la distribución y circulación de los vehículos se verá mejorada al tener menos puntos de congestión los cuales se ven afectados por los anchos de carril que no son suficientes para una distribución de vehículos adecuada que permita una fluidez constante en el recorrido de los vehículos en todas las rotondas.

Actualmente se tiene que los anchos de calzadas de los accesos que componen las rotondas varían entre 6 a 9 metros. La ampliación será de 12 metros de manera uniforme en todas las rotondas.

b) Aplicación de la educación vial con tráfico direccionado

Esta alternativa de solución está enfocada en la educación vial para los conductores, los cuales deben tomar ciertos carriles de circulación obligatoria para poder circular de un punto a otro, tomando en cuenta que la principal causa de congestión vehicular se presenta en los puntos en los cuales los vehículos se ven forzados a hacer un cambio de carril. Al restringir ciertos movimientos o maniobras en puntos de conflicto en las rotondas, se facilita el recorrido y el ordenamiento de la cola de vehículos, los cuales deben tomar un carril obligatoriamente para la circulación. Esto evitará el cruce de carril por parte de los vehículos en los puntos donde se interceptan varios volúmenes de tráfico, los cuales, en la situación actual, se ven forzados a realizar maniobras inadecuadas que ocasionan congestionamiento y accidentes de tránsito por ser maniobras peligrosas por falta de dispositivos de control de tránsito y de conciencia por parte de los mismos conductores.

Una alternativa rápida para rotondas que no pueden ser ampliadas y que mejoren el tráfico son la modificación de los tiempos en los semáforos haciéndolos más corto su tiempo de demora en cada enlace.

3.8 Alternativa de propuesta geométrica y de tráfico en rotonda mástil

Se realizó un análisis geométrico y de tráfico en una rotonda aplicando un enlace de entrada y salida alterna, para poder evaluar el comportamiento de la rotonda y su mejora en el flujo vehicular dentro de la rotonda.

Cálculo de elementos geométricos curvas simples

Datos:

$$\begin{aligned} R \text{ (radio)} &= 145,87 \text{ m} \\ \Delta \text{ (ángulo)} &= 13,53 \text{ grados} \end{aligned}$$

$$T = R * \operatorname{tg} \left(\frac{\Delta}{2} \right) = 17,308 \text{ m}$$

$$E = T * \operatorname{tg} \left(\frac{\Delta}{2} \right) = 2,054 \text{ m}$$

$$L = 2 * R * \operatorname{sen} \left(\frac{\Delta}{2} \right) = 34,375 \text{ m}$$

$$= 1,016 \text{ m}$$

$$M = R * \left(1 - \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right) = 34,455 \text{ m}$$

$$L_e = \frac{\pi * R * \Delta}{180}$$

Resumen del cálculo de los elementos geométricos curvas simples							
Descripción	datos		T (m)	E (m)	L (m)	M (m)	Lc (m)
	R (m)	Delta (grados)					
Curva N°1	145,87	13,533	17,308	2,054	34,375	1,016	34,455
Curva N°2	37,29	24,634	8,142	1,778	15,909	0,858	16,032
Curva N°3	34,34	28,501	8,721	2,215	16,906	1,057	17,082
Curva N°4	29,02	31,984	8,317	2,384	15,990	1,123	16,200
Curva N°5	13,72	41,718	5,228	1,992	9,770	0,899	9,990
Curva N°6	32,16	18,735	5,305	0,875	10,469	0,429	10,516
Curva N°7	212,88	10,668	19,876	1,856	39,580	0,922	39,638
Curva N°8	4,42	128,402	9,144	18,915	7,959	2,496	9,905
Curva N°9	2,14	153,369	9,042	38,203	4,165	1,647	5,728
Curva N°10	17,54	21,186	3,280	0,613	6,449	0,299	6,486
Curva N°11	10,92	13,753	1,317	0,159	2,615	0,079	2,621

Cálculo de ancho de calzada entrada 1

Donde:

W_c = Ancho de calzada (en curva)

h = Huella normal en recta 2,59 m

R_g = Radio de la curva en el eje 200,02 m

L = Distancia entre ejes del vehículo 6,10 m

A = Saliente sobre el eje delantero 1,22 m

V = Velocidad de proyecto 25,00 Km/h

C = Separación lateral entre vehículos 0,60 m

n = Numero de vías 2,00

H_u = Huella de giro (en curva)

F_a = Saliente frontal del vehículo

Z = Factor de seguridad

$$H_u = h + R_g - \sqrt{R_g^2 - L^2} = 2,68$$

$$F_a = \sqrt{R_g^2 + A(2L + A)} - R_g = 0,4$$

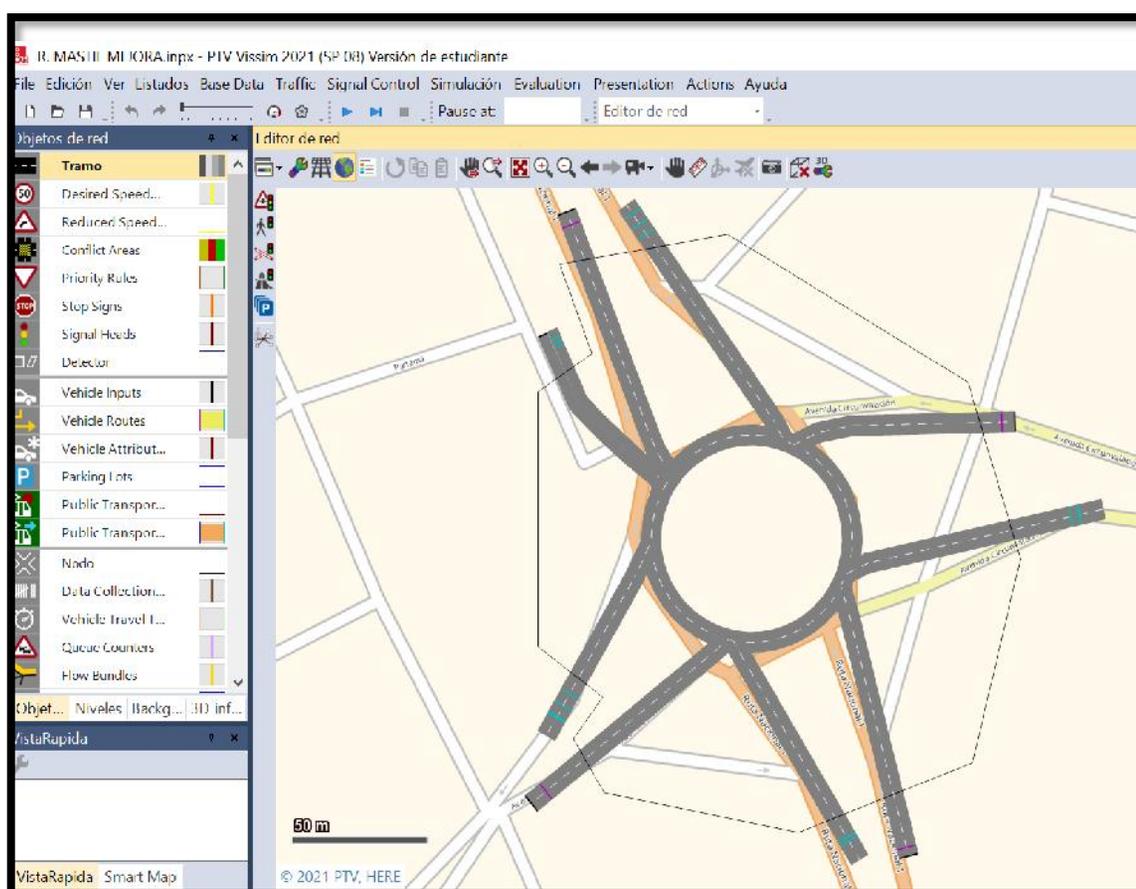
$$Z = \frac{0,1 * V}{\sqrt{R_g}} = 0,18$$

$$= 6,78$$

$$W_c = 2(H_u + C) + F_A + Z$$

Anchos de calzada de los accesos en el nudo						
Descripción	Radio	Hu	C	FA	Z	Wc
entrada 1	200,02	2,68	0,60	0,04	0,18	6,78
entrada 2	42,43	3,03	0,60	0,19	0,38	7,84
entrada 3	43,42	3,02	0,60	0,19	0,38	7,81
entrada 4	60,25	2,90	0,60	0,14	0,32	7,46
entrada 5	40,38	3,05	0,60	0,20	0,39	7,90

Figura 3.36 Optimización del ingreso vehicular



Fuente: Elaboración propia

Tramos	longitud de cola	vehículos en 10 min	Demora promedio	volumen (veh/h)	Demora promedio (seg)
entrada 1 - salida 1	0	126	1,01	756	6,05
entrada 1 - salida 2	0	22	1,72	132	10,34
entrada 1 - salida 3	0	0	0	0	0,00
entrada 1 - salida 4	0	44	1,98	264	11,86
entrada 1 - salida 5	0	15	1,76	90	0,00
entrada 2 - salida 1	0	15	1,59	90	9,54
entrada 2 - salida 2	0	39	0,87	234	5,20
entrada 2 - salida 3	0	33	1,32	198	7,90
entrada 2 - salida 4	0	61	1,10	366	6,57
entrada 2 - salida 5	0	0	0	0	0,00
entrada 3 - salida 1	0	31	1,25	186	7,50
entrada 3 - salida 2	0	0	0	0	0,00
entrada 3 - salida 3	0	27	0,27	162	1,63
entrada 3 - salida 4	0	6	4,28	36	25,70
entrada 3 - salida 5	0	9	1,53	54	9,20
entrada 4 - salida 1	0	0	0	0	0,00
entrada 4 - salida 2	0	31	1,61	186	9,65
entrada 4 - salida 3	0	8	1,80	48	10,82
entrada 4 - salida 4	0	51	1,52	306	1,00
entrada 4 - salida 5	0	6	0,36	36	2,15
entrada 5 - salida 1	0	0	0	0	1,00
entrada 5 - salida 2	0	0	0	0	0,00
entrada 5 - salida 3	0	0	0	0	0,00
entrada 5 - salida 4	0	45	0,93	270	5,57
entrada 5 - salida 5	0	0	0	0	0,00
promedio					5,27

Con los resultados obtenidos se observa que la demora promedio en la rotonda incrementa a 5.27 segundos es decir que la propuesta de aumentar un carril a la altura de la estación de servicio produce una mayor demora vehicular entre enlaces de entrada y salida de la rotonda. Presentando un nivel de servicio tipo B con buenas condiciones de flujo libre, velocidades de operación un poco restringidas, con interrupciones ligeras entre vehículos y es clasificado como una rotonda estable.

Figura 3.37 Optimización del ingreso vehicular

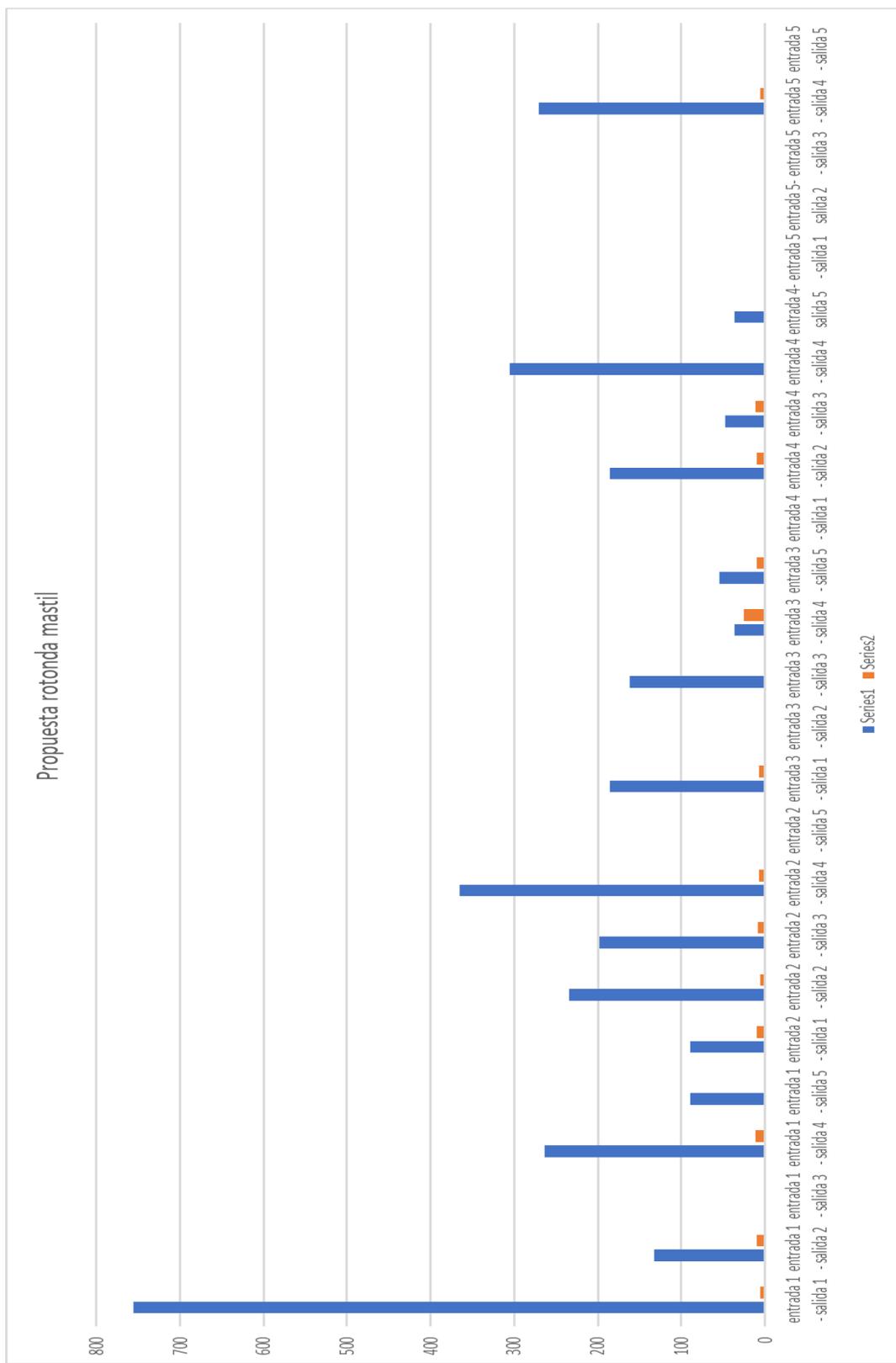


Tabla 3.13 Tabla de resultados

No.	Rotonda	Entradas	Densidad (veh/km)	Demora (seg)	Nivel de servicio	Longitud de cola (m)	Estado de la rotonda	Propuesta
1	Fuente de los deseos	4	108,70	72,40	F	2,08	Condiciones de flujo forzado, el volumen, el volumen de demanda es superior a la capacidad de la via, rompiendo la continuidad de flujo suelen formarse largas colas y operaciones dentro de estas se caracterizan por constantes detenciones y cortos avances extremadamente inestables.	Cambiar el ciclo de semaforos para reducir demoras y colas en la rotonda; tambien aumentar una educacion vial en rotondas de acuerdo al nivel de servicio
2	Universidad juan misael saracho	6	77,03	248,44	F	36,80	Condiciones de flujo forzado, el volumen, el volumen de demanda es superior a la capacidad de la via, rompiendo la continuidad de flujo suelen formarse largas colas y operaciones dentro de estas se caracterizan por constantes detenciones y cortos avances extremadamente inestables.	Cambiar el ciclo de semaforos para reducir demoras y colas en la rotonda; tambien aumentar una educacion vial en rotondas de acuerdo al nivel de servicio
3	Aeropuerto	6	57,55	2,63	A	0,00	Condiciones de circulacion a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
4	Aranjuez	4	33,57	18,22	C	33,53	Representa condiciones medias cuando el flujo es estable o empiezan a presentarse restricciones de geometría y pendientes, la velocidad y la maniobrabilidad están ya considerablemente condicionadas por el tráfico, se producen demoras de bajas magnitudes.	Rotonda estable
5	Domingo savio	3	44,52	1,46	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
6	Edmundo torreon	3	5,04	0,21	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
7	Estrella	5	29,98	1,21	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
8	Inicio de av. Circunvalacion	3	16,43	0,40	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
9	Mercado san martin	3	24,53	0,43	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
10	Paita	3	16,21	0,26	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14 Tabla de resultados

11	Puente bicentenario	4	34,42	1,46	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
12	Puente bolívar	4	32,78	1,17	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
13	Puente san martin	4	167,32	69,75	F	11,50	Condiciones de flujo forzado, el volumen, el volumen de demanda es superior a la capacidad de la vía, rompiendo la continuidad de flujo suelen formarse largas colas y operaciones dentro de estas se caracterizan por constantes detenciones y cortos avances extremadamente inestables.	Cambiar el ciclo de semáforos para reducir demoras y colas en la rotonda; también aumentar una educación vial en rotondas de acuerdo al nivel de servicio
14	Roberto romero	4	32,01	1,80	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
15	San geronimo	4	67,65	4,04	A	0,10	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
16	Sedeca	3	51,77	5,82	B	0,00	Aun se esta en el rango de flujo libre con velocidades de operación un poco restringidas por la aparición de vehículos, las interrupciones ligeras se absorben con facilidad. El grado de comodidad y convivencia es algo inferior a los del nivel de servicio A.	Rotonda estable
17	Tabladita	3	27,17	1,03	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
18	Monseñor font	3,00	6,65	0,07	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
19	Julio delio	4,00	17,90	0,27	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
20	El avion	4,00	28,75	0,69	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.15 Tabla de resultados

21	La hoyada	4,00	35,85	1,92	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
22	La torre	4,00	56,47	3,20	A	2,45	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
23	Mastil	4,00	73,88	2,66	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
24	Integración	3,00	24,40	1,06	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
25	Parada del norte	3,00	26,16	0,70	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
26	15 de noviembre	3,00	29,95	0,94	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
27	La pasarela	3,00	97,56	16,01	C	4,97	Representa condiciones medias cuando el flujo es estable o empiezan a presentarse restricciones de geometría y pendientes, la velocidad y la maniobrabilidad están ya considerablemente condicionadas por el tráfico, se producen demoras de bajas magnitudes.	Rotonda estable
28	Posta municipal	4,00	19,81	1,22	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
29	Integración 2	3,00	25,10	0,29	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
30	San jorge	5,00	25,20	0,70	A	0,00	Condiciones de circulación a flujo libre, bajos volúmenes de tránsito, altas velocidades, alta facilidad de maniobra. La única restricción de operación radica en las características geométricas de la vía.	Rotonda estable
	Propuesta de nueva salida en la rotonda mastil	5,00	83,25	5,27	B	0,00	Aun se está en el rango de flujo libre con velocidades de operación un poco restringidas por la aparición de vehículos, las interrupciones ligeras se absorben con facilidad. El grado de comodidad y convivencia es algo inferior a los del nivel de servicio A.	Rotonda estable

Fuente: Elaboración propia

3.9 Análisis de resultados

Para el análisis de los resultados correspondientes se logró evaluar todas las rotondas de manera detallada generando densidades vehiculares, demoras, longitud de cola, tramos segmentados, niveles de servicio, sistemas de semaforización, creando un modelo de simulación calibrado de acuerdo a los datos en campo para cada rotonda.

El valor de la densidad es máximo cuando todos los vehículos se encuentran detenidos en fila sin que existan vacíos entre ellos. En ese momento sería imposible el movimiento de los vehículos.

La densidad es directamente proporcional a la calidad de servicio, por esto es uno de sus indicadores debido a que al aumentar se le dificulta al conductor mantener la velocidad deseada y se ve obligado a realizar más maniobras, causando que se vuelva incómoda la conducción.

Entendiendo que una cola se forma a partir de la llegada de un segundo participante (vehículo) a la espera de ser atendido o de ingresar a una determinada rotonda. Estudiar la longitud de una cola nos permite identificar el nivel óptimo de atención y capacidad de cada rotonda, llegando al final a un equilibrio.

El tiempo de demora (medido en segundos) nos permite clasificar por nivel de servicio a la vía de acceso. Para la presente tesis, se obtuvo del programa PTV Vissim mostrados en las tablas 3.13, 3.14 y 3.15

Los valores representados en cada tabla gráfica nos muestran y comparan cada tramo de avance vehicular y toma de decisiones en cada enlace y giros de destino.

Los resultados muestran que al hacer ciertas modificaciones físicas a las rotondas o al tomar en cuenta la educación vial, el flujo vehicular mejora considerablemente, así mismo se demuestra que con poca inversión económica se logra tener alternativas de solución que sean viables al problema de tráfico vehicular en las rotondas, soluciones que no son definitivas, pero las mismas pueden dar una solución a corto plazo hasta hacer un estudio minucioso y una inversión que nos dé como resultado grandes estructuras y accesos por los cuales el tráfico vehicular en rotondas tenga más alternativas de circulación.

CAPITULO IV
CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

4 Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

- Se demuestró con los datos de campo y las modelaciones realizadas: la evaluación, la calibración, el comportamiento y la distribución del tráfico vehicular en las 30 rotondas.
- Entendiendo que una cola se forma a partir de la llegada de un segundo participante (vehículo) a la espera de ser atendido o de ingresar a una determinada rotonda. Estudiar la longitud de una cola nos permite identificar el nivel óptimo de atención y capacidad de cada rotonda, llegando al final a un equilibrio.
- En la propuesta de alternativa de rotonda el mástil con los resultados obtenidos se observa que la demora promedio en la rotonda incrementa a 5.27 segundos es decir que la propuesta de aumentar un carril a la altura de la estación de servicio produce una mayor demora vehicular entre enlaces de entrada y salida de la rotonda. Presentando un nivel de servicio tipo B con buenas condiciones de flujo libre, velocidades de operación un poco restringidas, con interrupciones ligeras entre vehículos y es clasificado como una rotonda estable.
- Las velocidades y volúmenes varían simultáneamente en cada tramo segmentado esto se debe a la simulación y que el programa maneja probabilidades constantemente para generar decisiones diferentes para cada vehículo haciendo un evento simulado en tiempo real.
- Las soluciones planteadas no son soluciones definitivas, pero son soluciones a corto plazo y de bajo costo que sirven para mejorar el problema del tráfico vehicular hasta tener un estudio de gran magnitud y así la ejecución de proyectos sea la solución definitiva.
- La toma de muestras de volumen, velocidad, fueron los datos necesarios para la realización de las modelaciones, demostrando de manera virtual, tanto la situación actual real, como la posible distribución de tráfico vehicular.

- Las velocidades tienen una variación en función de rangos posibles, ya que cada vehículo no va mantener aceleración constante.

4.2 Recomendaciones

- La importancia del manejo de programas informáticos es esencial para este tipo de estudios de aplicación, en los cuales se puede demostrar de manera virtual, la situación real en rotondas, intersecciones, calles, avenidas. y poder calibrarlo para posteriores diseños en base a datos obtenidos en campo.
- Se recomienda consultar distintas fuentes, tanto bibliográficas como en páginas web, sobre el desempeño funcional del tráfico ya que la población crece y con eso también crece el parque automotor en nuestro departamento.
- Para un procedimiento más preciso en la toma de datos, se sugiere tener un amplio número de aforadores, tomando en cuenta las características del área de estudio, en este caso, tomando en cuenta la gran cantidad de vehículos que circulan por cada rotonda y que sea simultaneo en cada punto de entrada a la rotonda..
- Para estudios de aplicación futuros basados en soluciones al tráfico vehicular, se deben considerar soluciones que mejoren de manera definitiva el problema, tomando en cuenta aspectos técnicos adecuados y que estén acordes a minimizar económicamente la implementación de las alternativas de solución planteadas.