

**CAPITULO I**  
**INTRODUCCION**

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

### 1.1. Antecedentes

En los últimos años, ha aparecido el problema grave del tránsito vehicular y se empieza a estudiar el aspecto funcional, que se necesita para un adecuado tránsito vehicular. Bajo el nombre de Ingeniería de Trafico nace una nueva rama que trata precisamente del aspecto funcional del camino, es necesario realizar un buen diseño de las calles, caminos, o avenidas ya que dentro de este puede ocurrir accidentes y congestionamientos.

Por ser una rama de la Ingeniería Civil, existen algunos países donde se ha estudiado más que otros, en los países subdesarrollados recién a partir de la década de los 60` recién hay un impulso, existiendo en nuestros tiempos todavía ciudades y países donde no se ha hecho uso de la Ingeniería de Trafico.

El puente que conecta a la ciudad de Tarija con la Zona Noroeste, más específicamente en la zona del barrio el Molino, la única vía que se tiene es el Puente San Martin, dicha estructura fue construida en el año 1950, fue construido con financiamiento de la República de Argentina, el puente ya cumplió con su vida útil, por lo que en el 2020 sufrió un colapso en su fundación y esta perjudico a varias personas, por lo que la Alcaldía tomo la decisión de desarrollar una estructura aguas abajo, denominado el puente 4 de Julio, este se encuentra a pocos metros del puente San Martin, el mismo que ayudara a disminuir el tráfico vehicular en la zona. Evitando así el colapso de dicho puente, para la ciudad de Tarija es un puente auténtico.

En este sentido el comportamiento del tráfico es una parte fundamental para estudiarlo, considerando que a la salida de los puentes se debe tomar en cuenta una rotonda, esta tiene la función de empalmar los accesos y 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

Las rotondas, al igual que muchos otros elementos de tránsito, son comúnmente utilizados, sin embargo, son muy pocos los que analizan la efectividad o relevancia que tiene la disposición entre ellos, es por ello que es importante realizar un análisis global de cómo

operan y por qué operan las rotondas, para saber cuál es su origen, usos actuales y limitaciones.

## **1.2. Introducción**

Actualmente el problema del tráfico es uno de los de mayor crecimiento, ya que con la revolución industrial ahora es posible reducir el costo de producción de los vehículos y asimismo reducir el precio de venta, popularizando su uso. En nuestros días ha crecido mucho el número de automóviles utilizados en el transporte diario de la población.

La necesidad de transporte ha incrementado la congestión vehicular en la ciudad de Tarija, mucho más, durante las horas pico de la mañana o de la tarde, asimismo se puede observar que en ciertos puntos de la red vehicular de la ciudad se tiene una congestión, lo cual produce costos a la sociedad como ser: los retrasos, incremento en el consumo de gasolina, contaminación al medio ambiente y afectación a la economía de la población. Todo ello afecta la vida diaria de las personas, provocando ellas estrés y forzando a cambiar su conducta de viaje.

Los modelos de simulación de tráfico, constituyen en la actualidad la herramienta más avanzada de representación de circulación vehicular en una red de transporte, se utilizan en la planificación y evaluación del sistema de tráfico, dando así un modelado de la conducta de cada vehículo y el flujo de tráfico producido en el área de estudio.

El excesivo tráfico vehicular en el puente San Martín ocasiona un caos vehicular en la zona, más aún en las horas pico, impidiendo que se tenga un flujo estable, es por ello que se realizara el estudio de tráfico, el cual consistirá en una encuesta a los conductores, sobre la habilitación del nuevo puente 4 de julio, asimismo se analizara el tráfico existente en la zona, y se desarrollara alternativas de tránsito que beneficien a los conductores, dándoles una mayor fluidez de tránsito vehicular.

Dentro del estudio de tráfico vehicular, se analizará las características y componentes del tránsito, como ser volumen, capacidad máxima de tráfico, tránsito, velocidad de tránsito, entre otros, estos son los requisitos básicos de evaluación para el análisis de tráfico vehicular, el resultado del estudio nos permite determinar el nivel de eficiencia y funcionalidad de la vía.

Se debe tomar en cuenta el comportamiento de los peatones y conductores, que es la parte primordial del sistema, de ahí que es necesario estudiarlo y analizarlo para poder controlarlo y guiarlo adecuadamente dentro del sistema de tráfico vehicular

Después del estudio realizado se procede a la simulación computarizada del tráfico vehicular en el puente 4 de Julio, es aquí donde se desarrollan y analizan las alternativas de tráfico vehicular, y se presentara la alternativa más favorable el cual permita un flujo de transito normal y estable.

### **1.3. Planteamiento del problema**

#### **1.3.1. Situación problémica**

Actualmente existe un crecimiento del parque automotor, lo que ocasiona un excesivo tráfico vehicular en los puentes, ya que la población transita desde la zona alta hasta el centro de la ciudad y viceversa, el acceso que actualmente transcurren es por el puente San Martin, el mismo que tiene 70 años desde su construcción, en junio del año 2020 sufrió un colapso, esto debido a los años que tiene y la socavación de la fundación, ello fue una problemática para la población ya que no podían transitar como habitualmente lo hacían, ocasionando así un caos vehicular y la desesperación de los conductores, choferes y particulares que toman esta ruta de acceso para llegar a su destino. Se puede observar que en las horas pico existe un considerable número de filas de autos, los mismos que compiten entre sí, para pasar por la rotonda que antecede el puente San Martin, al punto de raspase entre ellos, ya sea para tomar la ruta al puente San Martin, la avenida Integración o continuar la prolongación de la avenida Las Américas.

Además, se desplazó personal de tránsito para poner orden ante el caos vehicular ocasionado en la intersección, que se apodera tanto de los choferes como los pasajeros y vecinos del área circundante, cabe recalcar que en este sector no se puede estacionar o parar, debido al excesivo tráfico vehicular, considerando el colapso del puente San Martin, solo se permite el tránsito de vehículos livianos y medianos.

Una alternativa de solución ante el caos vehicular es la construcción del puente 4 de Julio, el mismo que estará ubicado a 2 cuadras del Puente San Martin, con la inauguración del

punto mencionado, se pretende disminuir el tráfico vehicular que circula por el puente San Martín.

### **1.3.2. Formulación del problema**

¿A través del estudio de tráfico y la simulación del comportamiento vehicular en el puente 4 de Julio, se podrá determinar las ventajas y desventajas a la circulación vehicular en el puente mencionado y las áreas adyacentes?

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivos General**

Analizar el comportamiento del tráfico vehicular a partir de un estudio y simulación, en el área circundante al puente 4 de Julio de la ciudad de Tarija, que nos permita plantear acciones de mejoramiento de la circulación vehicular en toda el área de estudio.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Analizar los aspectos relacionados con la ingeniería de tráfico y sus parámetros para estudiar el comportamiento de la circulación vehicular.
- Determinar las características físicas y de comportamiento de tráfico del área de proyecto.
- Elaborar encuestas del uso de la circulación del puente 4 de Julio, a los conductores que recorren por el área de estudio.
- Desarrollar un estudio de parámetros de tráfico vehicular, para determinar su comportamiento del tránsito vehicular.
- Proponer alternativas de circulación vehicular en el puente 4 de Julio y áreas circundantes.
- Elaborar una simulación mediante programa informático PVT Vissim, sobre la propuesta alternativa de circulación vehicular.
- Establecer un análisis de los resultados, conclusiones y recomendaciones del estudio realizado a la circulación vehicular en el puente 4 de Julio y áreas circundantes.

## **1.5. Justificación**

El exceso de tráfico vehicular circulante por el puente San Martín, nos lleva a la necesidad de la habilitación de una nueva vía de acceso, es por ello que se construyó el puente 4 de Julio, el cual pretende disminuir el flujo de tráfico vehicular en la zona; permitiendo la realización del estudio de tráfico, el cual nos ayudara a consolidar una idea clara de lo que sucederá con la habilitación del puente a futuro, ya que sería prioritario garantizar el flujo normal y seguro de los vehículos que ingresan y salen del puente, asimismo se complementara la información con la simulación del tránsito vehicular mediante un programa informático.

El diseño de un puente, debe basarse en diferentes estudios necesarios, uno de los estudios más importantes es el de tráfico, que debe realizarse para tener conocimiento del comportamiento de las vías de acceso ante la capacidad máxima de volumen y la densidad vehicular, que circulan por la vía (puente), así se podrá realizar un diseño adecuado y óptimo de la distribución de entrada y salida del flujo vehicular, presente en el puente.

El presente estudio de tráfico vehicular, beneficiara a los usuarios de la vía es decir a toda la población en general de la ciudad de Tarija, dándoles una alternativa de tránsito, evitando la congestión vehicular, el cual ocasiona la inseguridad al desplazarse y un gasto extra de combustible, mediante la simulación de tránsito vehicular se pretende realizar la distribución de tráfico de manera adecuada, considerando los volúmenes y la capacidad vehicular.

Mediante el estudio de tráfico, se podrá entender las características y el comportamiento vehicular actual, y a través de este se podrá realizar futuras predicciones de tráfico con la habilitación del nuevo puente vehicular, el cual se pondrá a prueba por tres (3) meses, una vez que se encuentre en servicio.

El presente proyecto tendrá un impacto académico, ya que se aplicará lo aprendido en la materia de Ingeniería de Tráfico, siendo este un proyecto de aplicación, que puede ser utilizado y puesto a prueba una vez que el puente 4 de Julio este en servicio.

## **1.6. Metodología**

### **1.6.1. Tipo de investigación o estudio**

El tipo de investigación será proyecto de grado aplicado a la práctica.

### **1.6.2. Población y muestra**

En unidad estudiaremos el **comportamiento vehicular** en las áreas urbanas.

La población será determinada por el comportamiento vehicular en las áreas urbanas de la ciudad de Tarija.

La muestra es el **comportamiento vehicular a través de la simulación en el puente 4 de julio de la ciudad de Tarija.**

### **1.6.3. Muestreo**

Dentro de nuestro muestreo se tomará en cuenta las 5 rotondas que nos brindara diferentes puntos de aforo, el cual nos ayudara a determinar el comportamiento vehicular en el Puente 4 de Julio, estos puntos estarán ubicados a la entrada y salida del puente San Martin, así también a la entrada y salida del Puente Bicentenario y en el Puente 4 de Julio, también habrá otros puntos extras para determinar el volumen de entrada y la dirección que toman estos vehículos.

El punto de aforo de las encuestas será antes de la rotonda del puente San Martin, sobre la calle 15 de abril, que es la conecta a la zona noroeste con el centro de la ciudad, se efectuará en tres (3) días, para los cuales serán dos (2) días hábiles en la semana y un (1) día inhábil, las encuestas se realizará tomando en cuenta las horas pico. Se utilizará una planilla de preguntas para que registrar los datos obtenidos.

En dichos puntos se procederá a la medición de los parámetros de tráfico como ser, volumen de tráfico, velocidad de punta, velocidad de recorrido, estacionamientos, todo esto se realizará por 3 días consecutivos y durante 2 semanas, para ello se considerará dos (2) días hábiles y un (1) día inhábil, estos parámetros serán medidos en las horas pico, durante la mañana y por la tarde. Estas mediciones serán desarrolladas mediante una planilla de registro, y con la ayuda de un cronometro.

#### 1.6.4. Métodos

Se aplicará el método inductivo que consiste en una estrategia de razonamiento que se basa en la inducción, para ello, procede a partir de premisas particulares para generar conclusiones generales.

En este sentido, el método inductivo opera realizando generalizaciones amplias apoyándose en observaciones específicas. Esto es así porque en el razonamiento inductivo las premisas son las que proporcionan la evidencia que dota de veracidad una conclusión.

Este método será aplicado en el proyecto, como tal, sigue una serie de pasos. Inicia con la observación del tránsito vehicular, para lo cual se registra, analiza los datos obtenidos. A continuación, se clasifica la información obtenida, hace generalizaciones, para deducir de todo lo anterior una explicación o teoría, y con ello, generar una conclusión general.

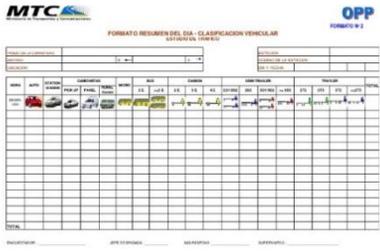
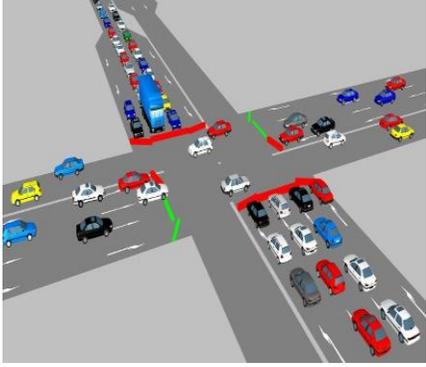
#### 1.6.5. Técnicas

La técnica que se utilizará para la recopilación de datos será mediante el método empírico de medición, que consistirá en la elaboración de encuestas, planillas de aforo y simulación de los datos obtenidos.

#### 1.6.6. Instrumentos

Para los recabar dicha información se necesitará los siguientes instrumentos que se muestran a continuación:

<b>Figura</b>	<b>Nombre</b>	<b>Concepto</b>
	Cronometro	El cronómetro en línea cuenta el tiempo que pasa, en milésimas de segundo, después de que haga clic en el botón "Iniciar". Se le permite añadir vueltas.

	<p>Cinta métrica</p>	<p>Una cinta métrica, un flexómetro o simplemente metro es un instrumento de medida que consiste en una cinta flexible graduada y que se puede enrollar, haciendo que el trabajo sea más fácil.</p>
	<p>Cámara Fotográfica o filmadora</p>	<p>Son cámaras que capturan el momento, y a su vez pueden grabar un suceso en un periodo de tiempo.</p>
	<p>Planilla de aforo</p>	<p>Estas planillas serán elaboradas de forma personalizada con el objetivo de registrar, el conteo de los vehículos de forma ordenada y eficiente</p>
	<p>Encuestas</p>	<p>Las encuestas serán elaboradas de forma resumida con el fin de que los encuestadores puedan responder de forma rápida y concisa.</p>
	<p>Simulador</p>	<p>Se utilizará un simulador vehicular con el fin de optimizar el tráfico en las ciudades, teniendo en cuenta las diferentes variables que influyen en el resultado final, y pudiendo observar el comportamiento tanto individualmente como integrados.</p>

## **1.7. Alcance del proyecto**

En el proyecto se analizará diferentes capítulos, en los cuales se analiza la metodología, introducción, parte teórica, parte práctica del proyecto, así también se observará el área de estudio y los parámetros de tráfico, en las conclusiones y recomendaciones se estudiará los datos obtenidos y una opción de tránsito.

En el capítulo I se desarrollará los antecedentes del área de estudio, además se tomará en cuenta la situación problemática, dando, así como resultado los objetivos del proyecto y la justificación, también se hará mención a la metodología utilizada y el alcance que tendrá el proyecto.

Dentro del capítulo II se analizará la parte teórica del proyecto, en el que se detallan los elementos del tránsito, parámetros de tráfico, sus características, capacidad y nivel de servicio, asimismo se tomara en cuenta la señalización vial, semaforización, intersecciones y la simulación.

En el capítulo III se realizará la aplicación práctica del proyecto, determinando la ubicación y características del área de estudio, como ser los puntos de aforo, las encuestas para determinar la aceptación o rechazo del puente 4 de Julio, con ello también se realizara el estudio de los parámetros de tráfico, como ser volumen, velocidad, estacionamiento, así también se realiza el procesamiento de datos para determinar la capacidad, el nivel de servicio, semaforización, como también el análisis del comportamiento vehicular mediante la simulación y por último el análisis de resultados, dando a conocer la situación con y sin proyecto.

Dentro del capítulo IV se refleja las conclusiones y recomendación que se obtuvo del análisis realizado en el proyecto, como también las recomendaciones que se deberán tomar en cuenta para su análisis.

**CAPITULO II**

**FUNDAMENTO TEORICO DEL TRAFICO**

**VEHICULAR**

## **CAPITULO II**

### **FUNDAMENTO TEORICO DEL TRAFICO VEHICULAR**

#### **2.1. Elementos del transito**

Existen 3 elementos básicos que componen la Ingeniería de tráfico que son:

- El usuario.
- El vehículo.
- La vía o vialidad.

##### **2.1.1. Usuario**

Es muy importante tener en cuenta el comportamiento del usuario para la planeación, estudio, proyecto y operación de un sistema de transporte automotor.

El usuario está relacionado con los peatones y conductores, que son los elementos principales a ser estudiados para mantener el orden y seguridad de las calles y carreteras.

##### **➤ El peatón**

El peatón es considerado a toda la población en general, son todas aquellas personas desde un año hasta cien años de edad.

En la mayoría de los casos las calles y carreteras son compartidos por los peatones y vehículos, excepto en la autopista el tráfico de los peatones es prohibido. Los accidentes sufridos por peatones se deben a que no respetan las zonas destinadas a ellos, ya sea por falta de conocimiento u otro factor. Por lo tanto, se deberá estudiar al peatón no solamente por ser víctima, sino porque también es una de las causas, para la cual es necesario conocer las características del movimiento de los peatones y la influencia que tienen ciertas características como ser la edad, sexo, motivo de recorrido, etc.

##### **➤ El conductor**

El conductor constituye el elemento de tránsito más importante, ya que el movimiento y calidad de circulación de los vehículos dependerá fundamentalmente de ellos para adaptarse a las características de la carretera y de la circulación.

Para el estudio de los conductores es necesario conocer el comportamiento o factores que influyen en sus condiciones físicas y psíquicas, sus conocimientos, su estado de ánimo, etc.

Se ha encontrado para el conductor un tiempo mínimo de reacción para actuar que se detallara a continuación:

- Para un vehículo sin movimiento un tiempo promedio de 0.25 seg., por ejemplo, el tiempo de reacción para arrancar el vehículo cuando el semáforo cambia de rojo a verde.
- Para un vehículo sin movimiento en semáforos aislados un tiempo de 0.25 seg.
- Para un vehículo en movimiento en semáforos aislados un tiempo de 0.83 seg.
- En algunos casos podría llegar hasta 2 o 3 seg. (Veizaga, 2006)

### **2.1.2. Vehículo**

En ciertos países, la incorporación de mayor cantidad de vehículos no solo ha mejorado el transporte, ya que también ha elevado el nivel económico general del país, por lo que se puede afirmar que la relación de habitantes por vehículo es un indicador para apreciar el progreso de un determinado territorio.

Por lo tanto, es indispensable que cada país mejore las condiciones del transporte para su progreso y de esta manera poder transportar los bienes de consumo desde las fuentes de producción hasta los mercados y de allí comercializarlo a la población.

Actualmente, es inevitable que aumente el número de vehículos cada año, lo que es deseable y conveniente, logrando así reducir más la actual relación de habitantes por vehículo.

Por lo tanto, el segundo elemento componente del tránsito, el vehículo, irremediamente va en aumento. (Veizaga, 2006)

#### **➤ Clasificación y características del vehículo de proyecto**

Vehículo de proyecto es aquel tipo de vehículo hipotético, cuyo peso, dimensiones y características de operación son utilizados para establecer los lineamientos que guiaran el proyecto geométrico de las carreteras, calles e intersecciones, tal que estas puedan acomodar vehículos de este tipo.

Los vehículos se clasifican en 2:

- Vehículos ligeros o livianos.

- Vehículos pesados (Camiones y autobuses).

➤ **Vehículos ligeros de proyecto**

Los vehículos ligeros de proyecto pueden ser utilizados en:

- Intersecciones menores en zonas residenciales donde el número de vehículos que realizan vueltas no es significativo.
- Intersecciones mayores que dispongan de carriles de estacionamiento y cruces peatonales demarcados, que obliguen el uso de radios pequeños en las esquinas aun aceptables.
- Áreas urbanas con intersecciones a nivel sobre calles arteriales, siempre que se disponga de carriles de cambio de velocidad y que las vueltas de camiones sean ocasionales.

➤ **Vehículos pesados de proyecto**

Los vehículos pesados de proyecto pueden ser utilizados en:

- Terminales de pasajeros y de cargas.
- Autopistas y arterias rápidas, siempre y cuando sea grande el número de movimientos de vueltas. (Veizaga, 2006)

➤ **Clasificación de vehículos según norma de diseño**

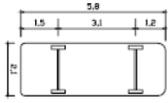
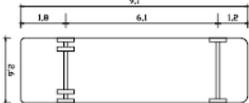
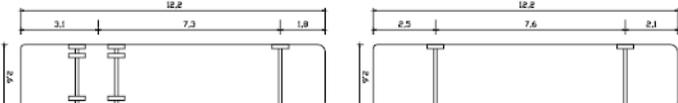
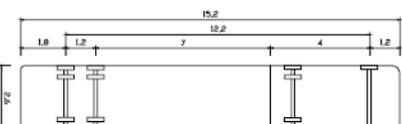
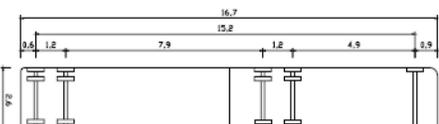
Según el servicio nacional de caminos (S.N.C.) los vehículos del país se clasifican en 4 grandes grupos detalladas en la tabla N° 1

**Tabla 1:** Clasificación de vehículos según el Servicio Nacional de Caminos

<b>Grupo de clasificación</b>	<b>Características del vehículo</b>	<b>Ancho total (m)</b>	<b>Largo total (m)</b>	<b>Radio mín. de la rueda externa delantera (m)</b>	<b>Radio mín. de la rueda interna trasera (m)</b>	<b>Detalles</b>
VP	Automóvil	2.10	5.80	7.30	4.70	Vehículos livianos como automóviles, camionetas, vagonetas, minibuses, etc.
CO	Automóvil y camiones	2.60	9.10	12.80	8.70	Vehículos comerciales de dos ejes, comprenden a camiones y autobuses comerciales
O	Autobuses interurbanos	2.60	12.20	12.80	7.10	Automóvil y camión de mayor dimensión. Los autobuses empleados para viajes de largas distancia y turismo Estos vehículos son de mayor longitud que las CO y puede contar con 3 ejes.
SR	Camión semi remolque	2.60	16.80	13.70	6.00	Vehículo comercial articulado.

Fuente: Servicio Nacional de Caminos (S.N.C.)

**Figura 1:** Esquema de vehículos según norma de diseño

AUTOMOVIL (VP)	
CAMION DE DOS EJES (CO)	
BUS INTERURBANO (O)	
CAMION SEMIREMOLQUE (SR)	
CAMION SEMIREMOLQUE (SR)	

Fuente: Servicio Nacional de Caminos (S.N.C.)

### 2.1.3. Vía o viabilidad

El tercer elemento fundamental del tráfico es la vialidad o la vía por el que se mueven los vehículos.

La vía es una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de toda una faja de terreno, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y en el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad. El elevado nivel de vida de un país se relaciona con un excelente sistema vial o viceversa.

#### ➤ Clasificación de las vías

Según (Veizaga, 2006), se clasifican en:

#### ➤ Según su competencia

- **Carreteras Nacionales**, son aquellas a cargo del Servicio Nacional de Caminos.
- **Carreteras Departamentales**, son aquella de propiedad de los departamentos y forman la red secundaria de carreteras.

- **Carreteras Veredales o Vecinales**, son aquellas vías a cargo del Servicio de Caminos Vecinales y forman la red terciaria de carreteras.

- **Carreteras Distritales y Municipales**, son aquellas vías urbanas y/o suburbanas y rurales a cargo del distrito o municipio.

➤ **Según sus características**

- **Autopistas**, es una vía de calzadas separadas cada una con dos o más carriles, con control total de accesos. Las entradas y salidas de las autopistas se realizan únicamente a través de intersecciones a desnivel comúnmente llamados distribuidores.

- **Carreteras multicarriles**, son carreteras divididas o no, con dos o más carriles por sentido, con control parcial de accesos. Las entradas y salidas se realizan a través de intersecciones a desnivel y a nivel.

- **Carreteras de dos carriles**, constan de una sola calzada de dos carriles, uno por cada sentido de circulación, con intersecciones a nivel y acceso directo desde sus márgenes.

➤ **Según el tipo de terreno**

- **Carreteras en terreno plano**, es la combinación de alineamientos horizontal y vertical, que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos livianos.

- **Carreteras en terreno ondulado**, es la combinación de alineamientos horizontal y vertical, que obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente por debajo de la de los vehículos livianos, sin ocasionar que aquellos operen a velocidades sostenidas en pendiente por un intervalo de tiempo largo.

- **Carreteras en terreno montañoso**, es la combinación de alineamientos horizontal y vertical, que obliga a los vehículos pesados a circular a velocidad sostenida en pendiente a lo largo de distancias considerables o durante intervalos frecuentes.

- **Carreteras en terreno escarpado**, es la combinación de alineamientos horizontal y vertical, que obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en pendiente que aquellas a la que operan en terreno montañoso, para distancias significativas o a intervalos muy frecuentes.

➤ **Según su función**

- **Carreteras principales o de primer orden**, son aquellas vías troncales, transversales y de accesos a capitales de departamento, que cumplen la función básica de integrar las principales zonas de producción y de consumo del país y de este con los demás países.

- **Carreteras secundarias o de segundo orden**, son aquellas vías que unen cabeceras municipales entre si y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una principal.

- **Carreteras terciarias o de tercer orden**, son aquellas vías de acceso que unen cabeceras municipales con sus veredas entre sí.

➤ **Según la velocidad de diseño**

La velocidad de diseño o velocidad de proyecto se define como la máxima velocidad segura y cómoda que puede ser mantenida en un tramo determinado de una vía, cuando las condiciones son tan favorables y que las características geométricas de la vía gobiernan la circulación. La velocidad de diseño define las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de control y seguridad.

En la tabla N° 2 se establecen los rangos de las velocidades de diseño que se debe utilizar en función del tipo de carretera según la definición legal y el tipo de terreno.

**Tabla 2:** Clasificación de las carreteras según la velocidad de diseño

Tipo de carretera	Tipo de terreno	Velocidad de diseño (km/h)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>Carretera principal de dos calzadas</b>	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
<b>Carretera principal de dos calzadas</b>	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
<b>Carretera principal de dos calzadas</b>	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
<b>Carretera principal</b>	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										

<b>de dos calzadas</b>	Escarpado										
------------------------	-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Diseño geométrico de carreteras de James Cárdenas

## 2.2. Parámetros de tráfico

Según (Jhonny, 2021), estos son los parámetros y se describe a continuación:

Dentro del parámetro del tráfico existen 3:

- Velocidad
- Volumen
- Densidad

### 2.2.1. Velocidad

Según (Jhonny, 2021).

Se define la velocidad como el espacio recorrido en un determinado tiempo. Cuando la velocidad es constante, queda definida como una función lineal de la distancia y el tiempo, siendo su fórmula:

**Ecuación 1:** Formula de velocidad

$$v = \frac{d}{t}$$

Donde:

v = Velocidad constante (km/h)

d = Distancia recorrida (km)

t = Tiempo de recorrido (h)

En este mismo concepto existen diferentes tipos de velocidad entre los cuales las más importantes son:

- a) Velocidad de punto
- b) Velocidad de recorrido total
- c) Velocidad de crucero
- d) Velocidad directriz

a) **Velocidad de punto**

Se define como velocidad de punto aquella que se obtiene en una sección de carretera o calle cuyo intervalo de distancia esta previamente definido, siendo usuales la utilización de distancias de 50, 75 y 100 metros.

Las características principales de este tipo de velocidad es que la distancia definida se toma al vehículo que va a recorrerla en un flujo libre sin interferencia de demoras.

La determinación de velocidades de punto dentro del estudio de ingeniería de tráfico nos permite definir las velocidades medias de circulación en zonas urbanas y las velocidades de circulación en carreteras.

Mayor uso en zonas urbanas cuyo estudio puede realizarse en áreas definidas en flujos direccionales o en todo el trazo urbano. (Jhonny, 2021)

b) **Velocidad de recorrido total**

La velocidad de recorrido total es aquella que se define como la distancia que se recorre en un tramo definido y el tiempo que se tarda en recorrer, tiempo que influye en la circulación y las demoras, normalmente la velocidad de recorrido total es un parámetro de la fluidez de tráfico, cuanto mayor la velocidad de recorrido total mayor la fluidez, cuanto menor la velocidad de recorrido total mayor el congestionamiento del tráfico.

El tiempo que se tarda en recorrer la distancia de recorrido total tiene dos componentes que son:

- \* El tiempo que se tarda en circulación propiamente dicho
- \* El tiempo de demoras donde el vehículo no está en movimiento.

c) **Velocidad de crucero**

Se denomina velocidad de crucero a la que se registra como la relación de una distancia de recorrido total sobre el tiempo de circulación del vehículo sin tomar en cuenta el tiempo de demoras, la relación que nos permite determinar la velocidad de crucero es la siguiente:

La relación que nos permite determinar la velocidad de crucero es la siguiente:

**Ecuación 2:** Formula velocidad de crucero

$$Vc = dR/(tc)$$

Donde:

dR=Distancia de recorrido

tc= Tiempo de circulación

#### d) **Velocidad directriz o de proyecto**

La velocidad de diseño de una vía será la máxima velocidad segura y cómoda que puede ser mantenida en una sección determinada de una vía según su trazado, cuando las condiciones son tan favorables, que las características geométricas del diseño de la vía.

#### **2.2.2. Densidad de trafico**

La densidad vehicular es el número de vehículos que ocupa cierta longitud dada de una carretera o carril y generalmente se expresa como vehículos por kilómetro (veh/km).

**Ecuación 3:** Formula de densidad de trafico

$$Densidad = volumen \left(\frac{veh}{h}\right) / velocidad \left(\frac{Km}{h}\right)$$

Se puede medir la densidad de tráfico de un tramo de una vía con la ayuda de una fotografía aérea, en la cual se contaría fácilmente las cantidades de vehículos; también es posible calcular la densidad en función de la intensidad y velocidad.

Está claro que cualquier tramo de vía tiene una densidad máxima, esta situación se da cuando los vehículos están totalmente varados y sin espacios de separación entre ellos; por lo tanto, si se tuviera en el tramo vehículos de una misma longitud, entonces, la densidad o concentración máxima se obtendría como el inverso de la longitud del vehículo.

#### **2.2.3. Volúmenes de transito**

Según (Jhonny, 2021):

Se define como volumen de tráfico a la cantidad de vehículos que circulan en una carretera o calle en un periodo de tiempo determinado que normalmente se toma un día o una hora dando origen a un nuevo concepto de transito diario y transito horario respectivamente.

#### **a) Transito Promedio Diario (TPD)**

Es la cantidad de vehículos que circulan por una sección en un periodo de tiempo definido de un día, recibe la denominación de promedio cuando se hace un estudio por un tiempo mayor a un mes donde se repiten necesariamente los mismos días y aún más cuando el estudio se va a realizar durante un periodo de un año o más, este valor viene a representar el TPD anual (TPDA).

#### **b) Transito Promedio Horario (TPH)**

La cantidad de vehículos que circulan por una carretera o calle en un espacio o tiempo determinado de una hora es el TPH, ese valor es mucho más sensible que el TPD, es decir el TPH nos puede dar valores de variación horaria donde se puede identificar las variaciones de volumen que se producen en cada hora a lo largo del día.

### **Composición del volumen de trafico**

Composición racional:

- Pesados (camiones)
- Medianos (camión de estacas, vagonetas, volquetas pequeñas, microbuses, etc.)
- Livianos (automóviles, jeep, camionetas,)

#### **2.2.4. Características de volumen de trafico**

Según (Jhonny, 2021).

Dado el carácter dinámico que presentan los volúmenes de tránsito, es necesario conocer las variaciones periódicas que tiene el mismo dentro de las horas de máxima demanda, en las horas del día, en los días de la semana y en los meses del año. Así mismo, se debe considerar las variaciones de los volúmenes de tránsito en función de su distribución por carriles, su distribución direccional, y su composición.

#### **a) Distribución y composición del volumen de tránsito**

La variación de los volúmenes de tránsito por carriles presenta las siguientes características:

- En vías urbanas de 3 o más carriles de operación en un sentido, la mayor velocidad y capacidad se desarrolla en el carril del medio, las paradas de autobuses y los giros a derecha e izquierda hacen que la circulación en los carriles laterales sea más lenta.
- En carreteras, el carril cercano a la faja separadora central es utilizado por vehículos más rápidos y para rebases, presenta mayores volúmenes de tráfico en el carril inmediato al acotamiento.
- En autopistas, se presentan mayores volúmenes en el carril cercano a la faja separadora central.

Se presenta variaciones de volumen respecto a la distribución direccional en calles que comunican el centro de una ciudad con la periferia, el flujo de tránsito es máximo hacia el centro en las mañanas y hacia la periferia en las tardes y noches.

En lo que respecta a la composición del tránsito, en un análisis de volúmenes se hace importante conocer la cantidad de automóviles, autobuses, camiones, etc., los mismos que se expresan en forma de porcentaje respecto al volumen total. (UMSS, 2006)

**b) Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda**

El valor obtenido de un volumen horario de máxima demanda, no necesariamente es constante a lo largo de toda la hora, existen periodos dentro de la hora donde las tasas de flujo son mayores a la de la hora misma.

Para hacer un análisis de las variaciones de volumen de tráfico en la hora de máxima demanda se utiliza el factor horario de máxima demanda que relaciona el volumen horario de máxima demanda con el flujo máximo. Su fórmula matemática es:

**Ecuación 4:** Formula variación de volumen de tránsito en la hora de máxima densidad

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

Donde:

FHMD = Factor Horario de Máxima Demanda

VHMD = Volumen Horario de Máxima Demanda

N = Número de periodos durante la hora de máxima demanda

q<sub>máx</sub> = Flujo máximo

### **c) Variación horaria del volumen de tránsito**

Es la variación que se presenta en los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día, esta variación depende del tipo de ruta y la actividad que prevalezca sobre la misma, como ser: rutas de tipo agrícola, comercial, turística, etc.

Un ejemplo de variaciones horarias se presenta en las ciudades, los volúmenes de tráfico son bajos en la madrugada, este se incrementa hasta un máximo entre las 07:30 y las 09:30 horas; luego baja para alcanzar otro máximo entre las 14:00 y las 15:00 horas; por último, alcanza un tercer máximo entre las 18:00 y las 20:00 horas para luego bajar nuevamente a un mínimo en la madrugada.

### **d) Variación diaria del volumen de tránsito**

En carreteras principales se presentan volúmenes estables de lunes a viernes, registrándose valores máximos durante los fines de semana ya que se añade la demanda de usuarios de tipo turístico y recreacional. Existe una notable variación en días de eventos especiales como ser: aniversarios regionales o estatales, navidad, fin de año, competiciones deportivas, etc.

### **e) Variación mensual del volumen de tránsito**

Los meses en que las vías presentan máximos volúmenes de tráfico son por lo general los meses de vacación escolar, meses de vacación de fin de año, mes de alguna festividad regional, etc. Por lo general estas variaciones se mantienen constantes año a año siempre que no se realice cambios importantes en el diseño de la vía, en los usos de la tierra, o se construyan vías alternas. (Jhonny, 2021)

## **2.3. Métodos de aforo de volumen**

### **➤ Método manual**

Este método de aforo consiste en el llenado de planillas elaboradas de acuerdo al tipo de datos a recabar en la vía, a cargo de una o varias personas.

Los tipos de datos pueden ser:

- Composición vehicular
- Flujo direccional y por carriles
- Volúmenes totales

El tiempo de aforo pueden ser periodos de una hora o menos, un día, un mes o un año.

➤ **Método mecánico**

Se realiza mediante dispositivos mecánicos instalados en la vía, estos dispositivos son:

- Detectores neumáticos: consiste en un tubo neumático colocado en forma transversal sobre la calzada que registra mediante impulsos causados por las ruedas de los vehículos el conteo de los ejes del mismo.
- Contacto eléctrico: consiste en una placa de acero recubierta por una capa de hule que contiene una tira de acero flexible, que al accionar de las ruedas del vehículo cierra circuito y procede al conteo respectivo, con este dispositivo se pueden realizar conteos por carril y sentido.
- Fotoeléctrico: consiste en una fuente emisora de luz colocada a un lado de la vía, realiza el conteo de vehículos cuando estos interfieren con la luz del dispositivo.
- Radar: lanza ondas que al ser interceptadas por un vehículo en movimiento cambian de frecuencia, realizando así el conteo.
- Fotografías: se toman fotografías del tramo y después se procede al conteo de vehículos.

➤ **Encuestas de origen y destino**

Se utilizan para recopilar datos sobre números y tipos de viajes incluyendo movimiento de vehículos y pasajeros, desde varias zonas de origen hacia zonas de destino. Se utiliza este tipo de encuestas para propósitos de planeación de mejoras o aperturas de vías. Se puede realizar este trabajo de distintas maneras:

- Encuestas a conductores de vehículos: se consulta a los conductores el origen y destino de su trayectoria
- Tarjetas postales a los conductores en movimiento: se entrega tarjetas a los conductores para que estos llenen los datos requeridos en la misma y la envíen a una casilla en particular.
- Placas de vehículos: se registra los números de placas entre dos a más puntos del área de estudio.
- Encuestas domiciliarias
- Encuestas a pasajeros de transporte público.

## **2.4. Capacidad y niveles de servicio**

La capacidad se define como el máximo número de vehículos que pueden circular por una vía en un periodo determinado bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control. Refleja la habilidad de la vía para acomodar una corriente de movimiento de vehículos.

El nivel de servicio es una medida de la calidad de fluidez.

La capacidad y nivel de servicio estimados son necesarios para la mayoría de las decisiones y acciones en la Ingeniería de Tráfico y Planes de transportación.

### **2.4.1. Capacidad vehicular**

Según (Jhonny, 2021):

Se define a la capacidad vehicular como la cantidad de vehículos que circule por una carretera en un tiempo determinado con características de circulación a partir de los niveles de servicio entendiéndose por estos a condiciones cualitativas en la circulación vehicular de una calle o carretera.

De acuerdo a los manuales de capacidad se ha visto por conveniente definir tres tipos de capacidad que son:

- a) Capacidad posible
- b) Capacidad practica
- c) Capacidad directriz

#### **➤ Capacidad practica o posible**

Definimos a este tipo de capacidad como la cantidad máxima de vehículos que pueden pasar por un punto o de un carril o vía durante 1 hora bajo condiciones ideales de tránsito y características físicas y geométricas.

#### **➤ Capacidad practica**

La capacidad practica es la cantidad de vehículos que pasan por un punto durante 1 hora sin que las condiciones de circulación originen demoras, peligros y restricciones intolerable en la maniobrabilidad de los vehículos por los conductores la medida de

intolerable resulta ser subjetiva y relativa, por lo tanto, dependerá de cada estudio o proyecto cuyas características particulares ayuden a definir hasta donde puede ser tolerable un tipo de circulación.

➤ **Capacidad directriz**

Para fines de diseño se ha establecido una definición de capacidad directriz a la cantidad de vehículos que pasan por un punto durante 1 hora teniéndose una condición de circulación correspondiente a un nivel de servicio C.

➤ **Tipos de vía para Capacidad Vehicular**

\* **Vías Interrumpidas**

\* **Vías Ininterrumpidas**

$C1 * C2 * C3$  = coeficientes de reducción de capacidad dados por el manual de capacidad

$$\text{Capacidad real} = \text{capacidad teórica} * C1 * C2 * C3$$

➤ **Vías interrumpidas:**

- \* Capacidad en accesos urbanos
- \* Capacidad en intersecciones semaforizadas
- \* Capacidad en ramales
- \* Capacidad en transporte publico
- \* Capacidad de peatones y bicicletas

➤ **Vías ininterrumpidas:**

- \* Capacidad en carreteras de dos carriles
- \* Capacidad en autopistas
- \* Capacidad en carreteras Multicarriles

 **Capacidad en vías interrumpidas**

A diferencia de lo que ocurre en las carreteras o vías ininterrumpidas, en calles urbanas se considera a las vías de carácter interrumpido debido a que en la circulación existen una serie de factores que producen paralización y demoras en la circulación haciéndose el tráfico interrumpido.

Entre esos factores los más importantes son:

- a) Semáforos en intersecciones a nivel
- b) Agentes de tránsito que guían la circulación en intersecciones
- c) Cruce de peatones
- d) Detención de vehículos por diferentes causas
- e) Detención de ómnibuses de transporte público para el ascenso o descenso de pasajeros

#### **Métodos de determinación de capacidad vehicular:**

\* Método HCM

\* Otros métodos

#### **Capacidad en vías interrumpidas por método HCM**

Capacidad real = cap. básica\* coef practico\* factores de reducción

Para este caso se determina primeramente la capacidad teórica en el ábaco correspondiente y se hacen las siguientes reducciones.

- a) Las capacidades prácticas en promedio son un 10% más bajas a los valores dados por el ábaco
- b) Sustraer un 1% por cada 1% que los ómnibuses y camiones pasen del 10% del número total de vehículos.
- c) Sustraer un 0.5% por cada 1% es que el tránsito que gira a la derecha pasa del 10% del tránsito total.

Sustraer un 1% por cada 1 % en que el tránsito que gira a la izquierda pasa del 10% del volumen total.

d) Por paradas de ómnibuses antes de la intersección restar el 10% por parada de ómnibuses después de la intersección, restar 5% en zonas centrales y 10% en zonas intermedias

e) Por estacionamientos permitidos restar 1.80 metros del ancho del acceso y luego hacer las correcciones ya indicadas. (Jhonny, 2021)

#### **2.4.2. Nivel de servicio**

El concepto de niveles de servicio utiliza medidas cualitativas que caracterizan tanto las condiciones de explotación del tráfico como su percepción por los conductores y pasajeros.

Los niveles de servicio caracterizan las condiciones en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, las interrupciones a la circulación, el confort y la conveniencia. Se define 6 niveles de servicio para los cuales se dispone de procedimientos y análisis. Esos niveles son de **A** hasta **F**. (Manual Geométrico INVIAS, 2008)

##### **➤ Nivel de servicio A**

Es aquel que por sus condiciones de circulación son de flujo libre, bajos volúmenes y altas velocidades hay poco o nada de limitación de maniobras por la presencia de otro vehículo, existiendo pocos o nulos retardos.

##### **➤ Nivel de servicio B**

Es aquel cuyas condiciones de circulación tiene un flujo estable en las que las velocidades empiezan a ser restringidas, pero con cierta libertad para definir su velocidad y su carril. Al existir un mayor volumen se hace algo más restringidas las maniobras de los vehículos.

##### **➤ Nivel de servicio C**

Corresponde a las condiciones de circulación aun en un flujo estable, pero con velocidades en maniobras que resultan más controladas por los mayores volúmenes, ya no existe

libertad para elegir la velocidad, cambiar carriles o realizar acciones de rebase. Sin embargo, se considera todavía en condiciones apropiadas de circulación y por ello se ha establecido que este nivel de servicio es el más adecuado y equilibrado para fines de diseño.

➤ **Nivel de servicio D**

Las condiciones de circulación se acercan a un flujo inestable, con velocidades de circulación bajas, las fluctuaciones de volúmenes son mayores y por tanto las restricciones de maniobras muy frecuentes.

➤ **Nivel de servicio E**

Las condiciones de tráfico prácticamente son inestables las velocidades de operación son bajas, los volúmenes ya están cerca de la capacidad de la carretera y calle y pueden existir demoras o paradas de duración pequeña.

➤ **Nivel de servicio F**

En este nivel las condiciones de circulación son de flujo forzado, velocidades bajas, detenciones frecuentes y mayores lapsos de tiempo considerándose a este nivel prácticamente de tráfico congestionado. (Jhonny, 2021)

- **Medidas de eficacia para el Nivel de Servicio**

**Tipo de estructura:**

Autopistas

Carreteras multicarriles

Carreteras de dos carriles

Intersecciones semaforizadas

Vías urbanas

Transporte

Peatones

## **Medida de eficacia**

Densidad vehicular

Densidad – velocidad libre

Demora en tiempo

Demora media en parada

Velocidad media de recorrido

Factor de carga(per/asiento)

Espacio (m<sup>2</sup>/peatón)

### **2.5. Señalización vial**

Según (Ronald, 2004):

El desarrollo general que ha experimentado nuestro país en los últimos años, significa un paso más hacia la vida moderna que detentan los países desarrollados. Uno de los factores importantes para el progreso es el transporte, tanto nacional como internacional, que vincula a los centros de desarrollo.

#### **2.5.1. Definición y función de la señalización vial**

Debido al constante incremento del parque vehicular en ciudades y carreteras es necesario adoptar algunos Sistemas de Control de Tráfico con el objeto: De reducir el número de accidentes.

- De mejorar la seguridad del usuario.
- De dar mayor comodidad al usuario.

El Servicio Nacional de Caminos, entidad gubernamental encargada de la red vial de Bolivia, tiene la responsabilidad de establecer el control del tráfico en dicha red. Es por eso que el SNC tomó la iniciativa de adoptar un sistema de control de tráfico comparable a los sistemas internacionales, creando una reglamentación para la Señalización Vial.

## 2.5.2. Señales

Según (Ronald, 2004):

Las señales son símbolos, figuras y palabras pintadas en tableros colocados en postes que transmiten un mensaje visual a los conductores de vehículos. En vías de dos sentidos, las señales están colocadas a la derecha del sentido de avance de los vehículos y de cara al conductor para ser visibles claramente, sin distraer su atención.

En vías de un solo sentido y con más de un carril, las señales están colocadas a la derecha e izquierda del pavimento y su significado es aplicable a los vehículos que circulan por dichos carriles.

Estas señales tienen la característica de ser visibles durante el día y por la reflexión de las luces de los vehículos, también durante la noche.

La señalización básicamente se divide en señalización vertical y horizontal.

**Señalización vertical.** - Es aquella que está colocada en postes verticales sobre la superficie del pavimento en lugares adecuadamente ubicados.

**Señalización horizontal.** - Consiste en marcas pintadas sobre la superficie del pavimento o con elementos que sobresalen muy poco de este pavimento.

### - **Ubicación longitudinal de las señales**

Las señales restrictivas se colocan antes del lugar donde empieza la prohibición o restricción, mínimo 60 metros. Las señales preventivas se colocan de acuerdo a la velocidad directriz del camino.

Las distancias que se recomiendan son:

- De 60 a 100 m. en caminos de velocidad baja hasta 60 Km./h.
- De 100 a 150 m. en caminos de velocidad media, de 60 a 100 Km./h.
- De 150 a 200 m. en caminos de velocidad alta, más de 100 Km./h.

Las señales informativas de servicio tienen las siguientes ubicaciones:

- A 5 Km., a 1 Km., a 500m., a 250 m. y en el lugar donde se encuentra el servicio.

### - **Ubicación lateral de las señales**

Las señales verticales se colocan fuera de los carriles de circulación, en vías de dos sentidos a la derecha del sentido de avance.

### **2.5.3. Marcas en el pavimento**

Según (Jhonny, 2021):

Las marcas son rayas, símbolos y letras pintadas sobre la superficie del pavimento y sobre obstáculos que sobresalen de la calzada; sirven para dirigir y orientar a los usuarios que transitan por calles y caminos. Estas marcas tienen la finalidad de indicar ciertos riesgos, peligros y prohibiciones, canalizar el tránsito y complementar las indicaciones de otras señales que controlan el tránsito. Sus características, al igual que las señales las hacen visibles durante el día y la noche, manteniéndose su significado igual en ambos casos.

#### **2.5.3.1. Clasificación**

Las marcas son de diferentes tipos y tienen diferentes significados; su clasificación es la siguiente:

- Líneas centrales
- Líneas limitadoras de la calzada
- Líneas separadoras de carriles
- Líneas canalizadoras
- Líneas de parada
- Líneas de cruces para peatones
- Líneas de aproximación a obstáculos
- Marcas de estacionamiento permitido
- Marcas de estacionamiento prohibido
- Marcas indicadoras de peligro
- Marcas limitadoras de isletas
- Postes delineadores

#### **2.5.3.2. Significado de formas y colores**

Según (Ronald, 2004): Las marcas se clasifican por su forma y color en tres grupos diferentes:

- Prohibición
- Indicación
- Peligro

Las rayas de color amarillo pintadas sobre el pavimento en forma continua, significan una **prohibición**; ningún vehículo deberá rebasar o cruzar estas rayas. Las rayas de color blanco pintadas sobre el pavimento en forma continua o discontinua significan una **indicación**. Los vehículos podrán rebasar o cruzar una raya discontinua en caso de adelantamiento o cambio de carril, debiendo abstenerse de rebasar o cruzar las rayas continuas, excepto cuando estas están colocadas a través de la calzada, indicando una precaución.

Las rayas de color blanco pintadas sobre el pavimento en forma oblicua significan **peligro**. Los vehículos podrán continuar su marcha, pero el conductor deberá tomar precaución para detectar el peligro existente que se aproxima.

#### **2.5.4. Línea en el pavimento**

##### **2.5.4.1. Líneas centrales**

Según (Ronald, 2004):

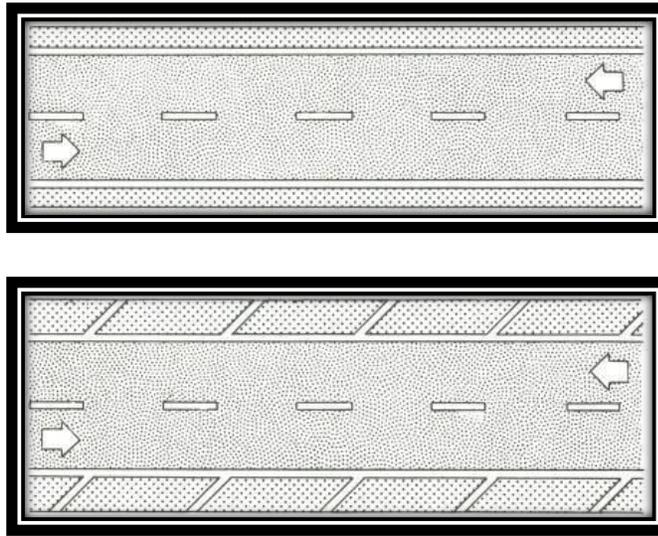
Las líneas centrales son aquellas que están pintadas a lo largo del pavimento de calles o caminos y sirven para separar las dos direcciones del tránsito en vías de doble sentido de circulación. Por su forma y color se clasifican en dos grupos:

- Líneas discontinuas (blancas)
- Líneas continuas (amarillas)

##### **2.5.4.2. Líneas limitadoras de calzada**

Las líneas blancas limitadoras de la calzada están pintadas en las orillas a lo largo del pavimento en forma continua y sirven para indicar al conductor el límite lateral del pavimento por donde su vehículo puede transitar. Durante la noche o en condiciones de visibilidad deficiente sirven de guía para delimitar el carril con mayor claridad.

**Imagen 1:** Diseño de las franjas limitadoras de calzada



Fuente: (Ronald, 2004)

#### **2.5.4.3. Líneas separadoras de carril**

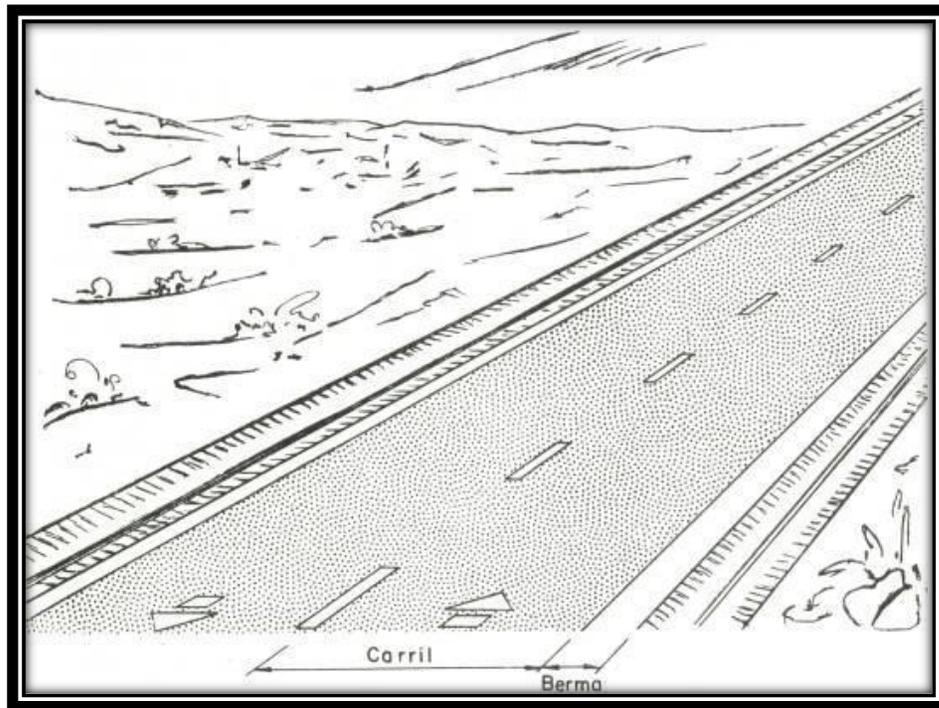
Según (Ronald, 2004):

Las líneas separadoras de carriles son aquellas que está pintada en la calzada a lo largo del pavimento en calles y caminos con dos o más carriles en un mismo sentido de circulación y sirven para separar los carriles entre sí. Por su forma se clasifican en dos grupos:

- Líneas continuas (blancas)
- Líneas discontinuas (blancas)

Las líneas continuas de color blanco que separan dos carriles significan que los vehículos no deberán cambiar de carril por encontrarse próximos a un peligro que requiere la atención plena del conductor, tal como un cruce de peatones, cruce de caminos, una canalización del tránsito, etc.

**Imagen 2:** Carril pintado con líneas discontinuas



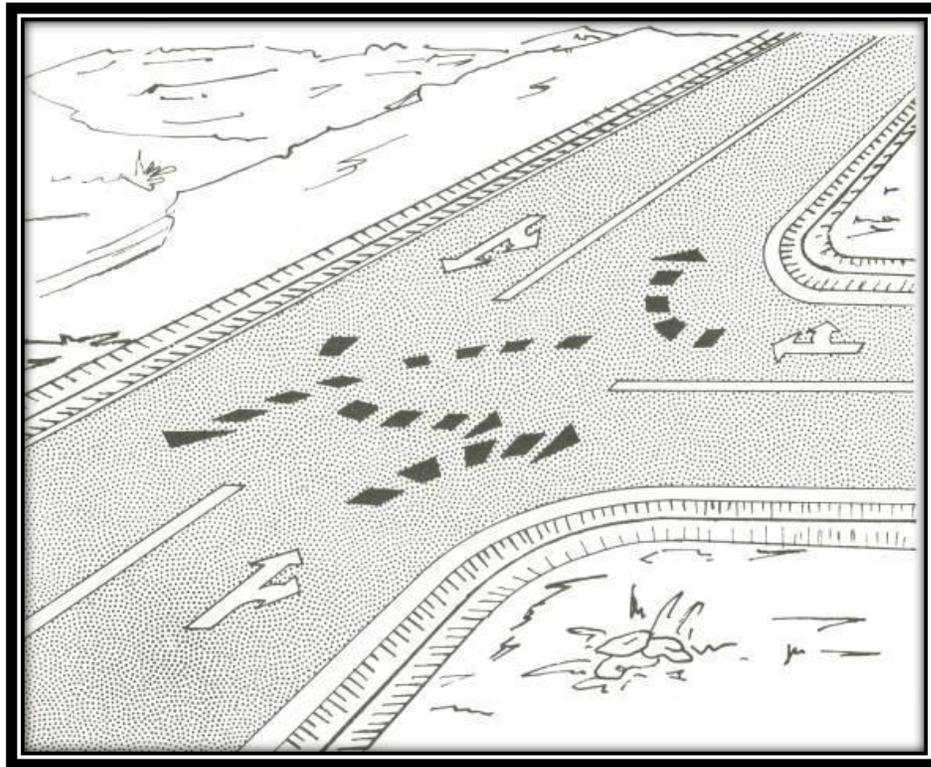
Fuente: (Ronald, 2004)

#### **2.5.4.4. Líneas canalizadoras**

Según (Ronald, 2004):

Las líneas canalizadoras son aquellas que están pintadas en la calzada a lo largo del pavimento en forma continua de color blanco, y sirven para canalizar el tránsito cuando existe una irregularidad en la distribución de los carriles, o cuando existen carriles adicionales exclusivamente utilizados para giros en las intersecciones. El conductor de un vehículo seleccionará el carril que le llevará a su destino y mantendrá su vehículo sin salirse del durante el tramo limitado por estas líneas canalizadoras.

**Imagen 3:** Ejemplo de líneas canalizadoras



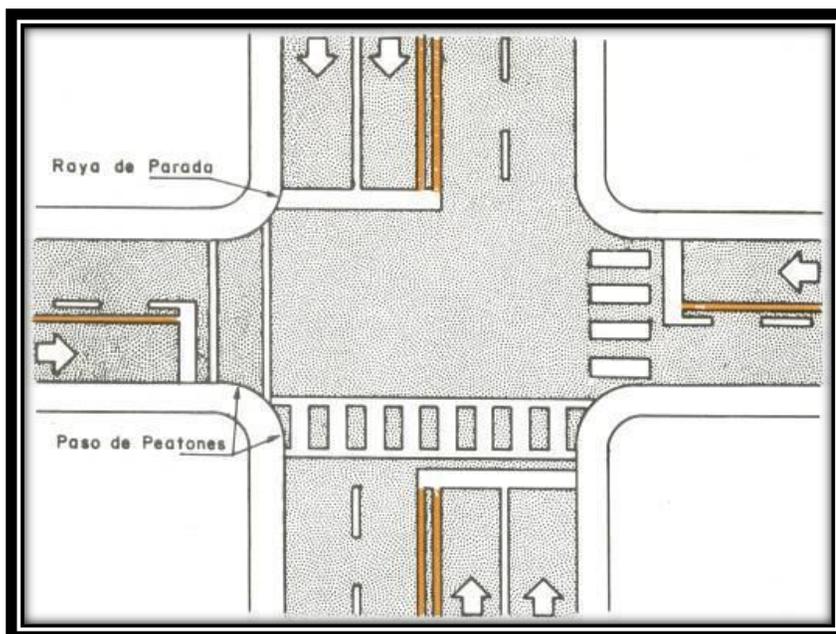
Fuente: (Ronald, 2004)

#### **2.5.4.5. Línea de parada**

Según (Ronald, 2004):

Las líneas blancas de parada son aquellas que están pintadas en la calzada en forma transversal, y sirven para indicar el lugar donde los vehículos deberán detenerse en el caso de una parada obligatoria anunciada por una señal de pare o por un semáforo.

**Imagen 4:** Ejemplo de línea de parada



Fuente: (Ronald, 2004)

#### **2.5.4.6. Línea de cruce de peatones**

Según (Ronald, 2004):

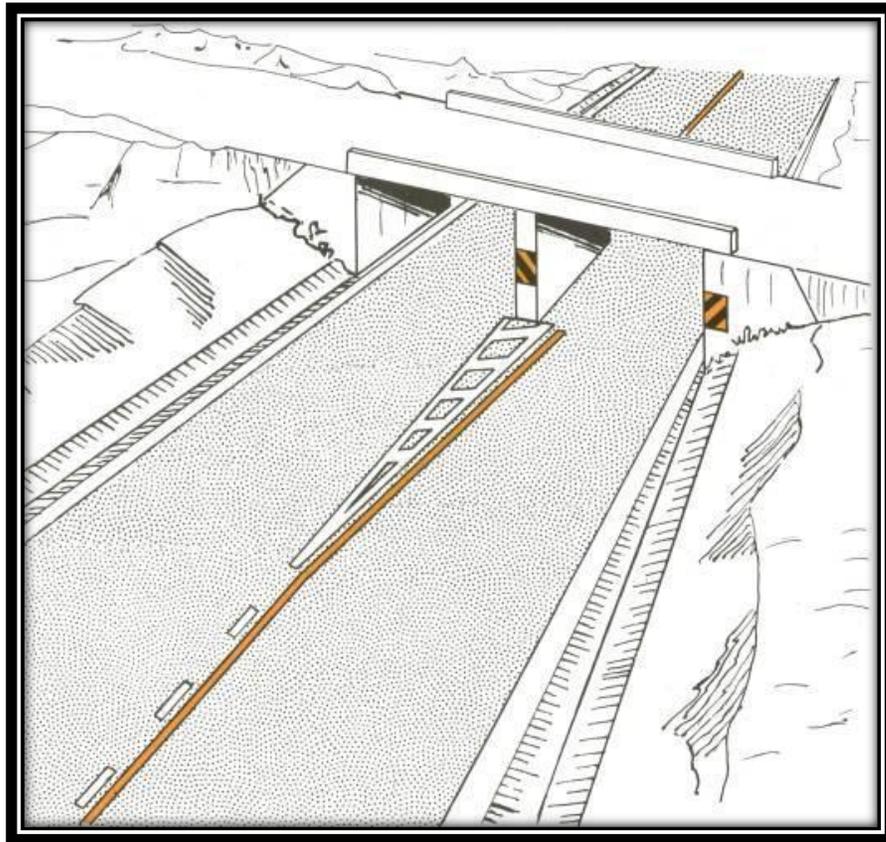
Las líneas blancas de cruces para peatones son aquellas que están pintadas en la calzada en forma transversal, y sirven para indicar el lugar destinado al cruce de peatones.

La zona destinada al cruce de peatones está limitada por dos rayas blancas que cruzan la calzada de lado a lado, o una serie de rayas juntas conocidas como “cebra” y una raya de parada que indica el lugar donde los vehículos deben detenerse para ceder el paso a los peatones.

#### **2.5.4.7. Línea de aproximación de obstáculos**

Según (Ronald, 2004): Las líneas blancas o amarillas de aproximación son aquellas que están pintadas en la calzada a lo largo del pavimento en forma continua de acuerdo a la ubicación del obstáculo. Sirven para anunciar la existencia de un peligro y al mismo tiempo canalizar el tránsito, desviándolo del obstáculo que representa un peligro. El conductor al encontrarse con estas rayas debe mantener su vehículo en el centro del carril y fuera de la demarcación que rodea al obstáculo.

**Imagen 5:** Ejemplo de líneas de aproximación

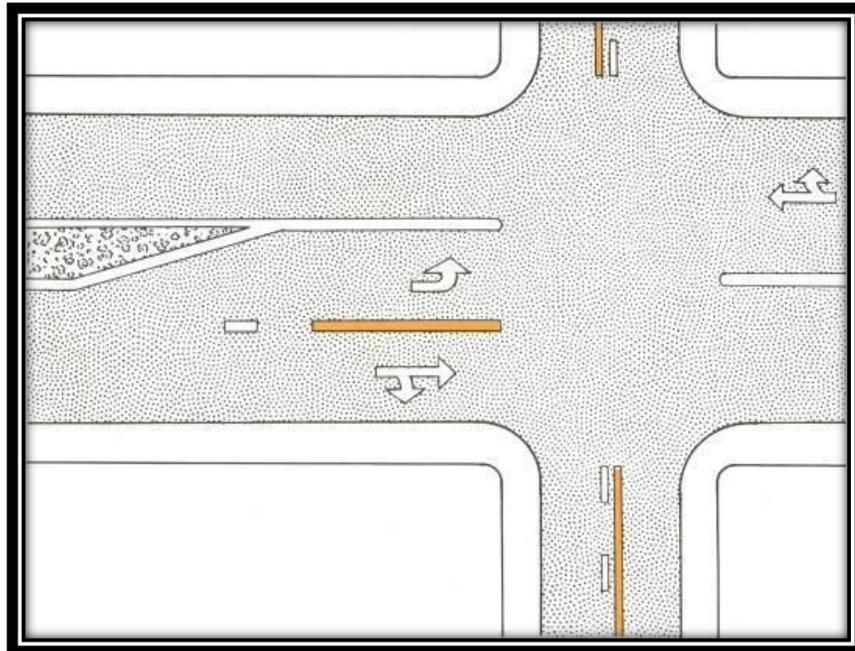


Fuente: (Ronald, 2004)

### **2.5.5. Marcas reguladoras para uso de carriles**

Según (Ronald, 2004): Las marcas que regulan el uso de los carriles son flechas o palabras pintadas sobre el carril correspondiente. Las marcas transmiten al conductor el destino o ciertas regulaciones o indicaciones aplicables exclusivamente a ese carril con el fin de que pueda decidir oportunamente que carril debe escoger.

**Imagen 6:** Ejemplo de marcas reguladoras para uso de carriles



Fuente: (Ronald, 2004)

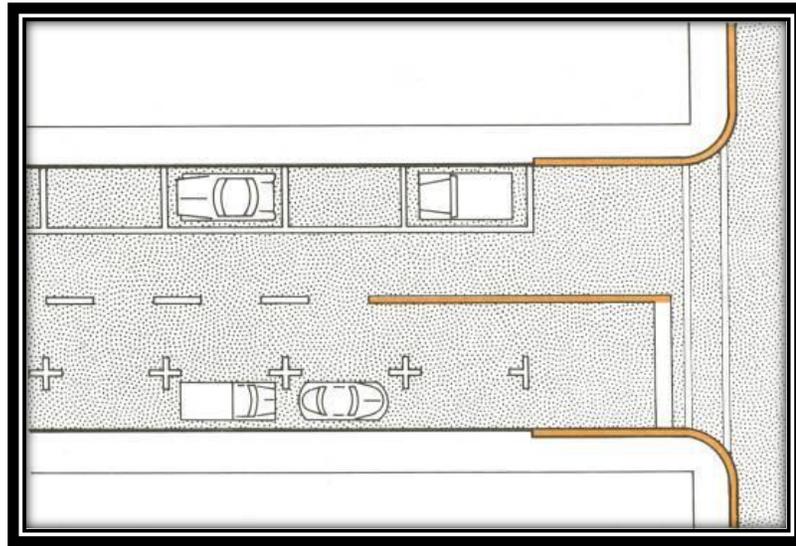
## **2.5.6. Marcas de estacionamiento**

### **2.5.6.1. Marca de estacionamiento permitido**

Según (Ronald, 2004):

Las marcas de estacionamiento permitido son aquellas que están pintadas de color blanco sobre la calzada; su objetivo es delimitar los espacios para cada vehículo en zonas donde el estacionamiento está permitido. Su forma y orientación indican el tipo de posición para el estacionamiento, ya sea en línea o en batería. Ningún vehículo deberá ocupar o invadir el espacio contiguo destinado al estacionamiento de otro vehículo.

**Imagen 7:** Ejemplo de marcas de estacionamiento permitido



Fuente: (Ronald, 2004)

### **2.5.6.2. Marca de estacionamiento no permitido**

Según (Ronald, 2004):

Las marcas amarillas de estacionamiento prohibido son aquellas que están pintadas sobre los bordillos de las calzadas, en el costado y parte superior de estos, formando una raya continua a lo largo de la zona donde el estacionamiento está prohibido en todo tiempo, tales como: entradas de vehículos, paradas de colectivos, zonas colindantes con esquinas y otras zonas donde se aplique esta prohibición.

## **2.6. SemafORIZACIÓN**

### **2.6.1. Definición y funciones de los semáforos**

Según (Veizaga, 2006):

Los semáforos son señales luminosas que controlan la circulación del tráfico y el paso de peatones que cruzan las calzadas. Los semáforos se encuentran principalmente en las intersecciones de calles en zonas urbanas, donde el continuo tránsito de vehículos y peatones debe ser coordinado.

La finalidad de los semáforos es detener y dar vía libre a vehículos y peatones a diferentes tiempos y en diferentes direcciones.

## 2.6.2. Componentes de los semáforos

Según (Veizaga, 2006):

La **cara** de un semáforo es el conjunto de unidades ópticas como ser: el lente, reflector, lámpara y porta lámpara. Por seguridad, se recomienda el uso de dos caras para cada acceso a la intersección, ya que uno de ellos podría ser tapado por un vehículo grande o por si se ha fundido alguna de las lámparas

El **lente** es la parte de la unidad óptica que por refracción dirige la luz proveniente de la lámpara y de su reflector en la dirección deseada. Se recomienda que la cara de un semáforo tenga por lo menos tres lentes: rojo, amarillo y verde.

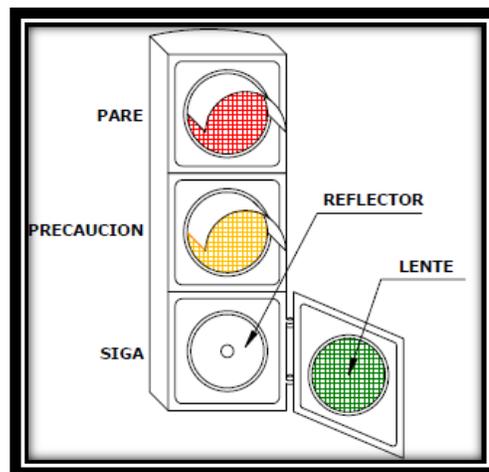
El color rojo significa que tanto los vehículos como los peatones que se encuentran frente a un semáforo con luz roja deberá detenerse. y esperar que la luz cambie a color verde antes de proseguir su marcha.

El color verde significa que tanto los vehículos como los peatones que se encuentran frente a un semáforo con luz verde pueden continuar su marcha sin detenerse.

El color amarillo significa precaución ya que la luz roja está a punto de encenderse y por lo tanto vehículos y peatones deberán detenerse. El conductor deberá detener su vehículo en forma suave evitando frenar bruscamente.

El **reflector**, es un aparato de forma cónica que lanza la luz de la lámpara o foco en una determinada dirección.

**Imagen 8:** Componentes de un semáforo



Fuente: Elementos de Ingeniería de tráfico, Universidad Politécnica de Madrid

### 2.6.3. Tipos de semáforos para tránsito de vehículos

Existen 3 tipos de semáforos:

- Semáforos de Tiempo Fijo.
- Semáforos Accionados por el Tráfico.
- Semáforos con Control Normalizado.

#### 2.6.3.1. Semáforos tiempos fijos

Según (Veizaga, 2006): Los semáforos fijos constan de una luz intermitente de color **amarillo** o de color **rojo**.

El color **amarillo** intermitente en una intersección o en un tramo de camino significa que los vehículos deberán circular con suma precaución.

El color **rojo** intermitente en una intersección significa que los vehículos deberán detenerse antes de entrar en la intersección o cruce de caminos y el conductor actuara igual que al encontrarse con una señal de PARE, esto es, cediendo el paso a los vehículos que se aproximan por ambos lados de la intersección.

Se utilizan en intersecciones donde el flujo de tránsito es relativamente estable, que no ocasionen demoras o congestionamientos excesivos. Por su sencillez este tipo de semáforos ha sido hasta ahora el más utilizado en las zonas urbanas, especialmente cuando se emplean varios semáforos próximos entre sí.

Los semáforos de tiempo fijo, tienen una coordinación más precisa con los semáforos adyacentes que, en el caso de semáforos accionados por el tránsito, por otro lado, no presentan detectores que informan sobre el número de vehículos que llegan por los accesos.

Finalmente, el costo del equipo de tiempo fijo es menor que la del equipo accionado por el tránsito y su conservación es más sencilla

#### 2.6.3.2. Semáforos variables

Estos semáforos reciben información del número de vehículos que llegan por los accesos a través de detectores que se instalan en dichos accesos. Teniendo en cuenta las intensidades de tráfico el regulador del semáforo decide si debe o no cambiar la fase. Existen limitaciones de duración máxima y mínima de cada fase para evitar largas esperas,

estas duraciones se adaptan automáticamente a las variaciones del tráfico a través del regulador.

Los semáforos accionados por el tráfico son ideales para intersecciones en carreteras. Los semáforos variables pueden ser simples o compuestos y sus luces cambian de color rojo a verde y de verde a amarillo y rojo.

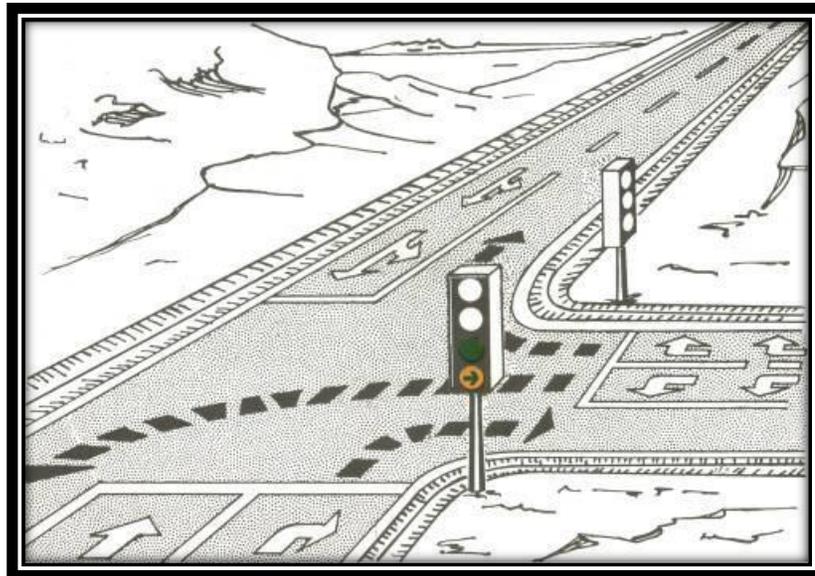
Los semáforos simples tienen solamente tres luces, de color rojo, amarillo y verde, cuyo significado se explicó anteriormente.

Los semáforos compuestos constan principalmente de un semáforo simple con luces adicionales consistentes en flechas de color verde que señalan direcciones diferentes.

Estas flechas tienen por objeto permitir el paso del tráfico en ciertas direcciones al mismo tiempo que la luz roja del semáforo está encendida. En este caso las flechas constituyen excepciones a la prohibición que señala la luz roja.

Los conductores de los vehículos que tengan vía libre mediante una luz o flecha verde y tengan que efectuar un giro en una intersección donde exista un paso para peatones, deberán dar paso a éstos mientras el semáforo de peatones indique paso libre. (Ronald, 2004)

**Imagen 9:** Ejemplo de semáforo variable



Fuente: (Ronald, 2004)

### 2.6.3.3. Semáforos para paso de peatones

Este tipo de semáforos reciben órdenes de un ordenador central, que es el encargado de controlar todos los semáforos de una zona. Este ordenador recibe información del tráfico por medio de detectores colocados en lugares estratégicos y decide lo que conviene realizar en cada momento. Estos semáforos son utilizados en grandes zonas urbanas.

**Imagen 10:** Semáforo para paso de peatones

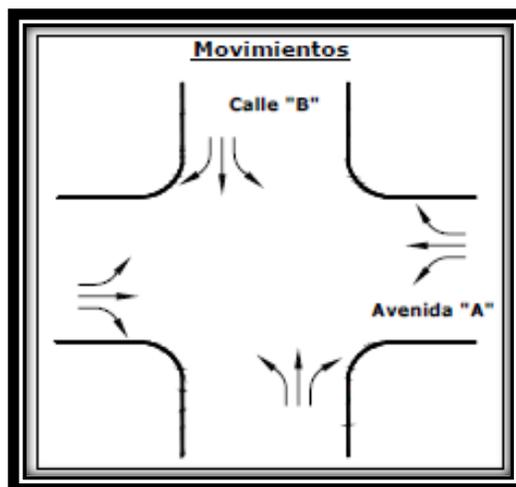


Fuente: (Ronald, 2004)

### 2.6.4. Parámetros de tiempos

- **Indicación de señal:** Se refiere al encendido de una de las luces del semáforo o una combinación de varias luces al mismo tiempo.
- **Ciclo o longitud de ciclo:** Tiempo necesario para que el disco indicador efectúe una revolución completa o secuencia completa de todas las indicaciones de señal del semáforo.
- **Movimiento:** Maniobra o conjunto de maniobras de un mismo acceso que tienen el derecho de paso simultáneamente y forman una misma fila.

**Imagen 11:** Grafica de los movimientos en una intersección con semáforos

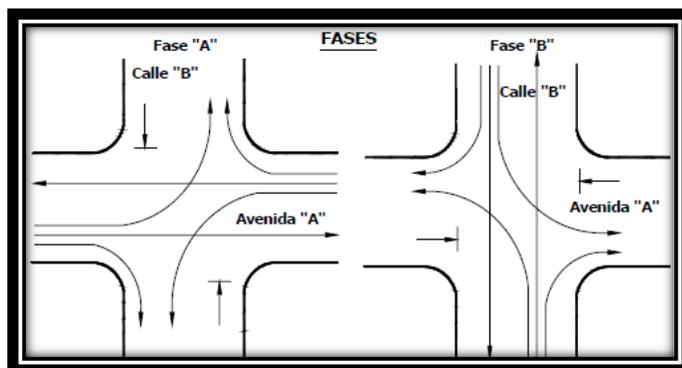


Fuente: Ingeniería de tránsito de Rafael Cal y Mayor R.

- **Intervalo:** Cualquiera de las diversas divisiones del ciclo, durante la cual no cambian las indicaciones de señal del semáforo.

- **Fase:** Es parte del ciclo asignada a cualquier combinación de uno o más movimientos que reciben simultáneamente el derecho de paso, durante uno o más intervalos. Es la selección y ordenamiento de movimientos simultáneos. Una fase puede significar un solo movimiento vehicular, un solo movimiento peatonal, o una combinación de movimientos vehiculares y peatonales. Una fase comienza con la pérdida del derecho de paso de los movimientos que entran en conflicto con los que lo ganan. Un movimiento pierde el derecho de paso en el momento de aparecer la indicación amarilla.

**Imagen 12:** Fases en una intersección con semáforos



Fuente: Ingeniería de tránsito de Rafael Cal y Mayor R.

- **Secuencia de fases:** Orden predeterminado en que ocurren las fases del ciclo.
- **Reparto:** Porcentaje de la longitud del ciclo asignado a cada una de las diversas fases.
- **Intervalo de despeje:** Tiempo de exposición en el intervalo amarillo del semáforo que sigue al intervalo verde. Es un aviso de precaución para pasar de una fase a la siguiente.
- **Intervalo todo rojo:** Tiempo de exposición de una indicación roja para todo el tránsito que se prepara a circular. Es utilizado en la fase que recibe el derecho de paso después del amarillo de la fase que lo pierde, con el fin de dar un tiempo adicional que permita a los vehículos, que pierden el derecho de paso, despejar la intersección antes de que los vehículos, que lo ganan, reciban verde. Se aplica sobre todo en aquellas intersecciones que sean excesivamente anchas. También puede ser utilizado para crear una fase exclusiva para peatones.
- **Intervalo de cambio de fase:** Intervalo que puede consistir solamente en un intervalo de cambio amarillo o que puede incluir un intervalo adicional de despeje todo rojo. (Veizaga, 2006)

## 2.7. Intersecciones

Según (Veizaga, 2006):

Un cruce de carretera es una zona donde se interceptan dos o más corrientes de tráfico.

Destacamos dos tipos generales, que son:

- Intersecciones a nivel
- Intersecciones a desnivel

En las intersecciones a nivel distinguimos las siguientes:

**Intersecciones simples**, aquellas en donde la importancia del tráfico no amerita ningún trabajo especial más que el de nivelar el terreno, redondear las esquinas y facilitar la visibilidad, para permitir que los vehículos pase de un lado a otro.

Cuando los volúmenes de tráfico y la importancia de los caminos lo ameritan, se hace uso de **intersecciones canalizadas**, que permitirán, como su nombre lo indica, canalizar el tráfico de manera que al usuario no se le presenten varias decisiones a un tiempo. Debidamente dotadas de señales convenientes, las intersecciones canalizadas pueden funcionar en condiciones óptimas y sin que al usuario se le presenten situaciones imprevistas; es decir, sin que se le presenten cambios bruscos.

Finalmente, cuando la intersección se complica porque concurren a ella tres o más caminos, la intersección puede dotarse de dispositivos de control que ordenen el movimiento vehicular por turnos y en función de los volúmenes de tráfico.

Todos los tipos anteriores, a nivel, pueden llegar a tener, en un momento dado, control por medio de agentes de tránsito o semáforos.

### 2.7.1. Intersección a nivel

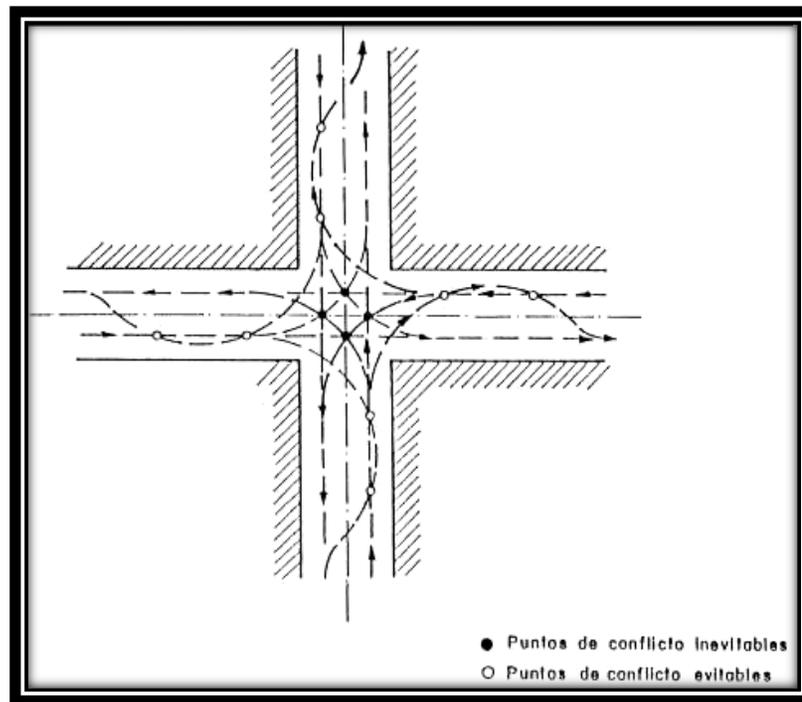
Según (Ronald, 2004):

El proyecto de estas intersecciones a nivel es especialmente importante porque la capacidad vial y la seguridad vial están limitadas en estos sectores.

El cruce de 2 o más corrientes de circulación es una zona peligrosa, es un lugar de conflicto para el tráfico vehicular. El riesgo de accidentes es mayor en estos sectores.

En primer término, deberá considerarse los radios de giro en las intersecciones a nivel en la Figura 2 se muestran esquemáticamente el problema de los radios de giro.

**Figura 2:** Puntos de conflicto en la intersección

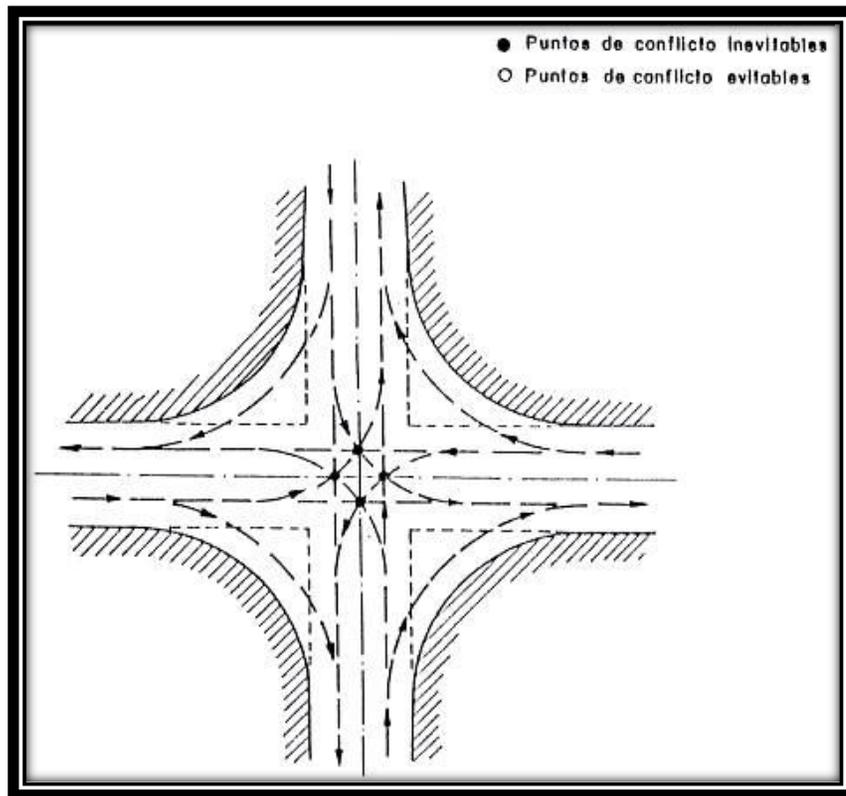


Fuente: (Ronald, 2004)

Cuando estos radios de giro son insuficientes o pequeños obligan al vehículo a invadir carriles que no le corresponden creando mayores puntos de conflicto, lo que puede observarse en la figura anterior.

Por el contrario, si los radios de giro son los adecuados, el número de puntos de conflicto disminuye permitiendo maniobras más cómodas a los vehículos, como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3:** Puntos de conflicto en la intersección



Fuente: (Ronald, 2004)

#### 2.7.1.1. Clasificación de las intersecciones a nivel

Según (Ronald, 2004): En el presente curso podemos clasificar las intersecciones a nivel de acuerdo a la configuración de las corrientes que se cruzan, en:

- Intersección Simple
- Intersección en forma de “T”
- Intersección en forma de “Y”
- Cruce de 4 ramales

- Intersecciones Rotatorias

### 2.7.1.2. Intersección simple

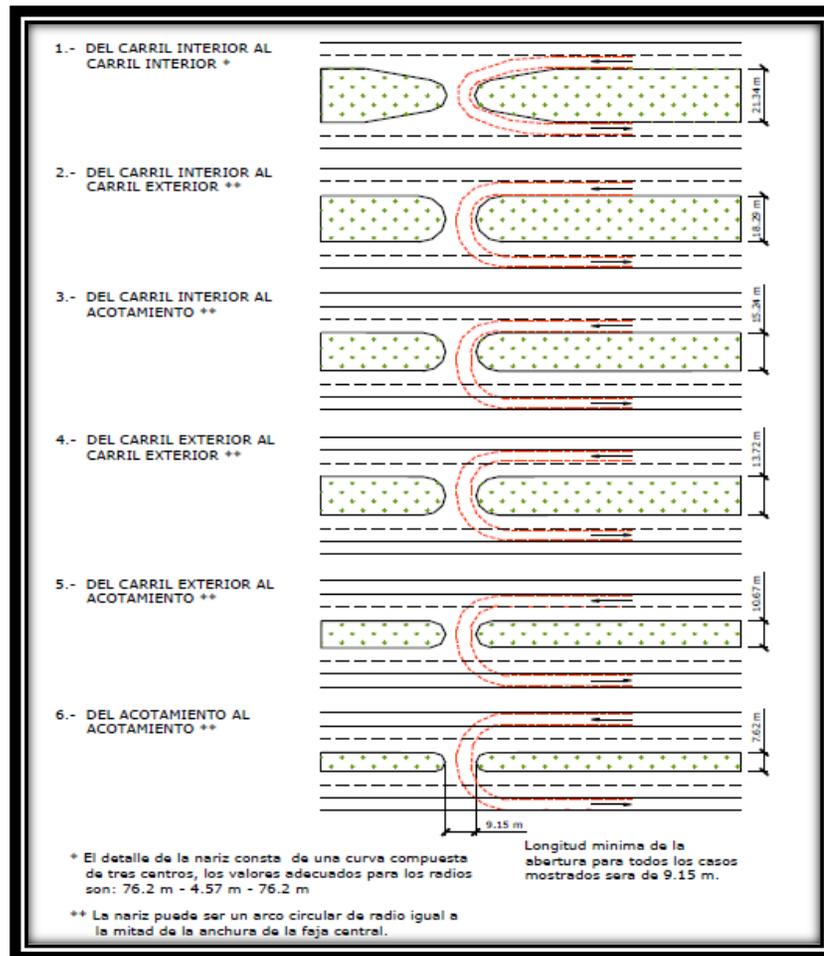
Según (Ronald, 2004):

La intersección simple de una carretera transversal de poco volumen de tráfico, es decir, caminos secundarios de poca importancia con un camino importante de fuerte volumen de tráfico se puede efectuar construyendo aberturas en el separador central.

Aunque esta solución no es recomendable por ser peligrosa para la seguridad del usuario puede utilizarse en caminos transversales de baja velocidad y poco volumen de tráfico.

Además, el proyecto debe permitir hacer la maniobra completa en “U”, excepto a los vehículos extraordinariamente largos. Las aberturas que se indican en la Figura 3, permiten dar la vuelta en “U” a los camiones y buses convencionales “CO” bolivianos.

**Figura 4:** Abertura en la faja central para el cruce de caminos transversales



Fuente: (Ronald, 2004)

### 2.7.1.3. Isleta de tránsito

Según (Ronald, 2004): En los cruces a nivel cuando los volúmenes de tráfico son relativamente elevados, es necesario construir algunos elementos físicos que facilitan las maniobras de los vehículos y por lo tanto colaboran en la seguridad del usuario.

Estos elementos físicos se denominan normalmente **isletas de tránsito** que tienen específicamente los siguientes objetivos:

- Se utilizan para encausar o canalizar las corrientes de tráfico.
- Reducir y separar los puntos o zonas de conflicto posibles.
- Procurar interferencias mínimas del tráfico de otras direcciones.
- Procurar maniobras y operaciones más seguras y fáciles.
- Lograr un movimiento ordenado del tráfico.
- Disuadir los movimientos prohibidos por la introducción de geometría adecuada que haga esos movimientos difíciles.
- Facilitar los movimientos permitidos por la introducción de geometría adecuada que estimule las operaciones correctas.
- Instalar refugios o espacios de seguridad para los vehículos que van a dar la vuelta que esperan una oportunidad para completar esa maniobra.
- Conseguir una mayor capacidad vehicular.
- En resumen, aumentar la seguridad y comodidad para el usuario.

Por su función las isletas de tránsito se pueden clasificar en:

- Isletas guadoras
- Isletas separadoras

**Isletas guadoras.** - Son aquellas que sirven para guiar a los conductores en las maniobras para dar vueltas. Eventualmente sirven también para dar protección a los peatones proporcionándoles un lugar de parada, esperando el paso de vehículos.

También sirven para la colocación de señales verticales y controles de tráfico tales como semáforos.

Normalmente son de forma triangular, y su diseño deberá efectuarse, de tal manera que la trayectoria que señalen sea evidente y no sea un conjunto confuso de isletas.

Las dimensiones mínimas de las isletas de tránsito guidoras son de 4.6 m<sup>2</sup> de superficie, de preferencia debe exceder de 7 m<sup>2</sup>. Los lados de las isletas guidoras, deben ser como mínimo de 2.50 m y de preferencia de 3.70 m.

**Isletas separadoras.** - Muchas veces en las intersecciones a nivel de las carreteras, una isleta separadora es aquella que se va abriendo gradualmente, sirve para alertar a los conductores sobre la presencia próxima de un cruce. También sirve para separar progresivamente un camino de una calzada en dos calzadas

#### 2.7.1.4. Carriles de aceleración y desaceleración

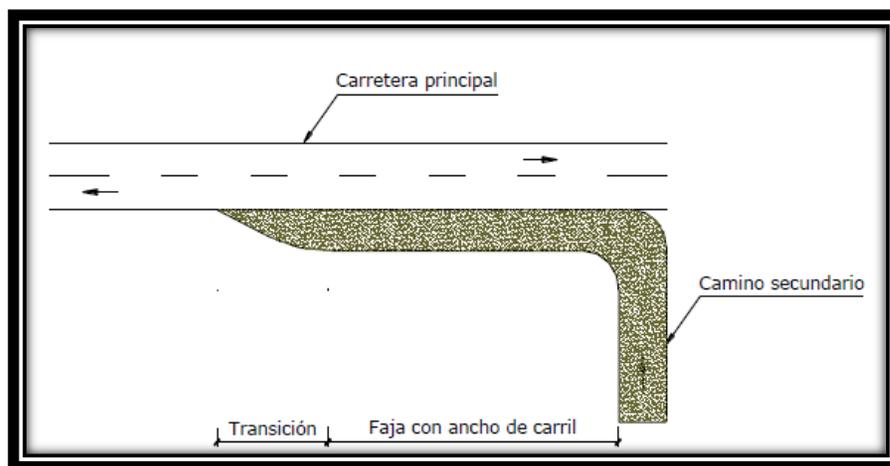
Según (Ronald, 2004):

En una carretera si se mantiene la velocidad directriz constante, significa lograr en ella el máximo de rendimiento. Por ello la incorporación o salida del tráfico deberá efectuarse en las máximas condiciones de seguridad e interfiriendo en lo mínimo posible el tráfico de la carretera principal.

Muchas veces para cumplir con esos fines se construyen carriles adicionales de aceleración y desaceleración.

**Carril de aceleración.** - Es aquel que se adiciona a un camino, con longitud suficiente para permitir al vehículo se incorpora, incrementar su velocidad de manera que puede introducirse a la corriente de tráfico.

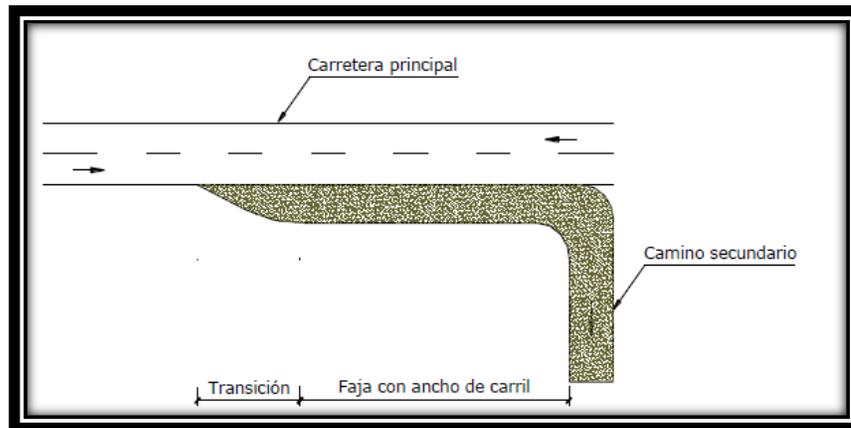
**Figura 5:** Carril de aceleración



Fuente: (Ronald, 2004)

**Carril de desaceleración.** - Es aquel que se adiciona a un camino, con longitud suficiente para permitir al vehículo que sale, reducir su velocidad gradualmente, hasta aquella que le permita tomar la salida sin riesgo alguno.

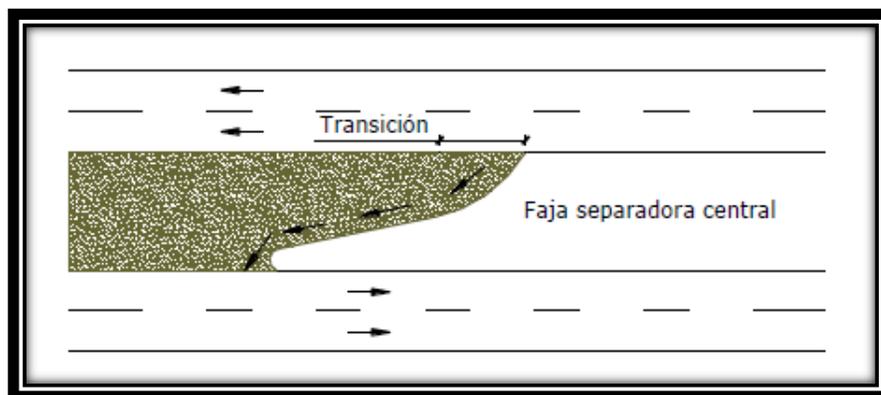
**Figura 6:** Carril por desaceleración



Fuente: (Ronald, 2004)

**Carril de refugio para dar vuelta a la izquierda.** - Es un carril adicional que se construye en la faja separadora central, con objeto de tener un carril de refugio para los vehículos que esperan la oportunidad para dar vuelta a la izquierda su función es análoga a los carriles de desaceleración.

**Figura 7:** Carril de refugio para dar vuelta a la izquierda



Fuente: (Ronald, 2004)

En la Tabla 3 y 4 se proporcionan las longitudes mínimas recomendables de los carriles de aceleración y desaceleración.

**Tabla 3:** Longitudes mínimas recomendables de los carriles de aceleración

Velocidad de proyecto en los carriles de tránsito directo o principal (km/h)	Velocidad media de cruce en los carriles de tránsito directo (km/h)	Longitud de transición (m)	Longitud total del carril incluyendo transición (m)					
			Velocidad de proyecto para la carretera secundaria (km/h)					
			PARE	16	32	48	64	80
48	43	36	76	53	38	-	-	-
54	55	46	107	76	61	46	-	-
80	64	54	122	91	76	61	55	-
96	72	60	137	107	91	76	69	61
113	79	66	152	122	99	84	76	69

Fuente: (Jones)

**Tabla 4:** Longitudes mínimas recomendables de los carriles de desalación

Velocidad de proyecto en los carriles de tránsito directo o principal (km/h)	Velocidad media de cruce en los carriles de tránsito directo (km/h)	Longitud de transición (m)	Longitud total del carril aceleración incluyendo transición (m)					
			Velocidad de proyecto para la carretera secundaria (km/h)					
			PARE	16	32	48	64	80
48	43	36	-	76	46	-	-	-
54	55	46	-	152	91	61	-	-
80	64	54	-	244	152	91	61	-
96	72	60	-	366	229	152	91	61
113	79	66	-	549	351	213	137	69

Fuente: (Jones)

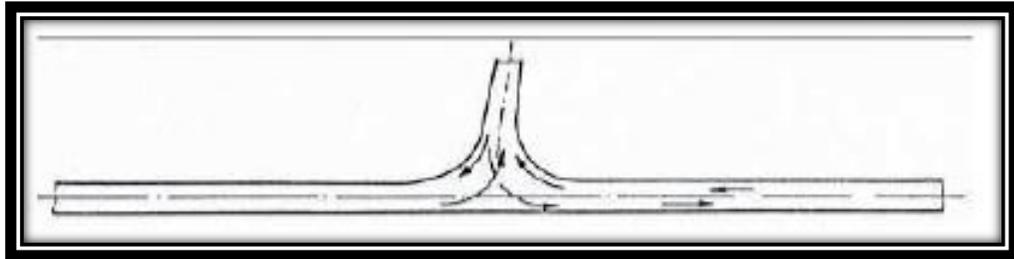
#### 2.7.1.5. Intersección a nivel en “T” o “Y”

Según (Ronald, 2004): Para volúmenes moderados de tráfico se tiene la intersección simple en “T”, una de las vías será la principal o de mayor volumen de tráfico, la otra será de menor volumen o camino secundario.

La intersección en “Y” se puede considerar como una forma especial de la intersección en “T” solo con un mayor esviaje. A continuación, se muestran cuatro esquemas de intersecciones en “T”.

**Esquema A (Sin carril adicional).** - Esquema simple y para volúmenes de tráfico bajos, donde el ancho de la carretera principal es constante. Los giros a la derecha no tienen mayores problemas en cambio los giros a la izquierda tienen problemas.

**Imagen 13:** Esquema A

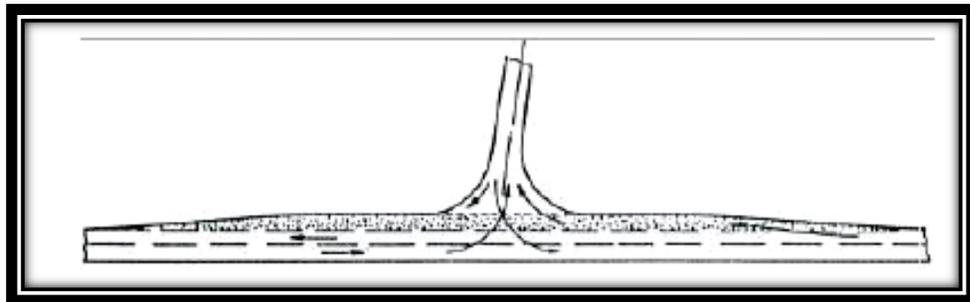


Fuente: (Ronald, 2004)

**Esquema B (Carril adicional en la zona adyacente al camino interceptado).** -

Esquema con carriles adyacentes de aceleración y desaceleración próximos al ramal secundario.

**Imagen 14:** Esquema B

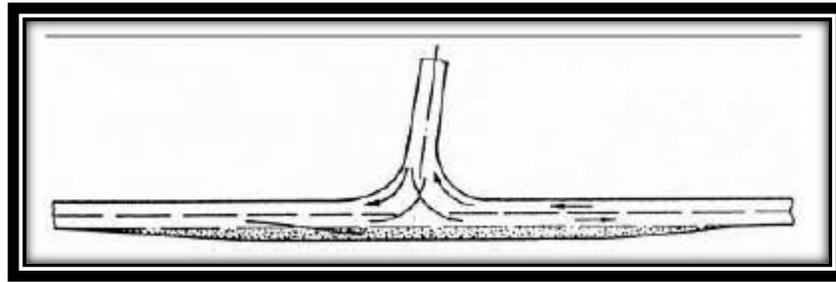


Fuente: (Ronald, 2004)

**Esquema C (Carril adicional en el lado opuesto del camino interceptado).** -

Esquema con carriles de aceleración y desaceleración ubicados en el lado opuesto del camino secundario.

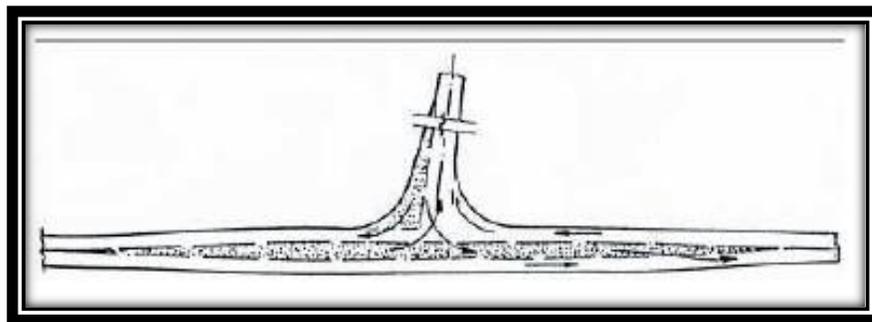
**Imagen 15:** Esquema C



Fuente: (Ronald, 2004)

**Esquema D (Carril adicionado en ambos lados del camino directo).** – Esquema con carriles adyacentes de aceleración y desaceleración ubicados en el centro de la calzada.

**Imagen 16:** Esquema D



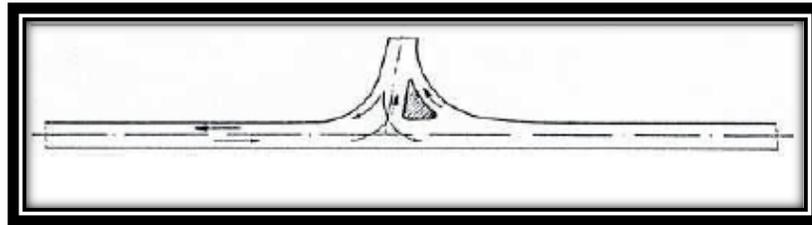
Fuente: (Ronald, 2004)

Las funciones son similares en los casos B, C y D. Sin embargo, los esquemas B y C resultan de la ampliación de la intersección del esquema A.

A continuación, se muestran 4 esquemas de intersecciones en “T” canalizadas:

**Esquema A (Con una isleta para giro).** - Ocupa un menor espacio para volúmenes moderados de tráfico, se tiene una isleta guidora, vueltas a la derecha cómodas, a la izquierda conflictivas.

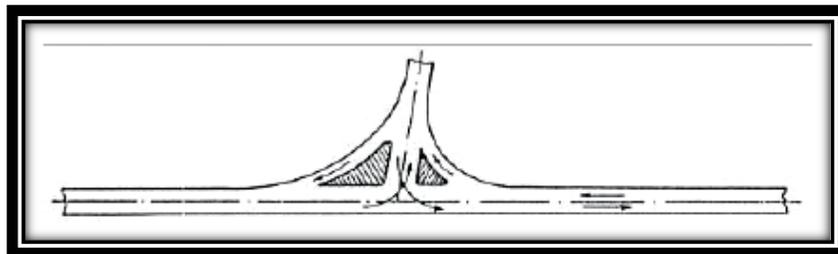
**Imagen 17:** Esquema A (Con isleta para giro)



Fuente: (Ronald, 2004)

**Esquema B (Con dos isletas para giros).** - Para mayores volúmenes de tráfico, tiene dos isletas guidoras, en esta intersección el vehículo que viene de la izquierda y quiere acceder al camino secundario tiene tendencia a tomar el carril superior en contra ruta, por ello este carril debe tener el ancho estrictamente necesario.

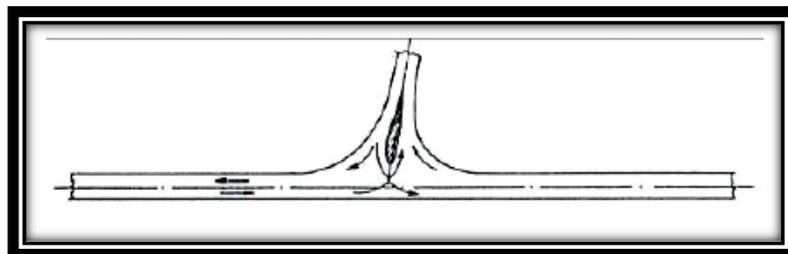
**Imagen 18:** Esquema B (Con dos isletas para giro)



Fuente: (Ronald, 2004)

**Esquema C (Con isleta separadora).** -Tiene una isleta separadora con los giros indicados, la nariz o vértice inferior de la isleta separadora deberá tener entre 2.50 m a 3.50 m del borde del carril más próximo, es un diseño simple y eficaz.

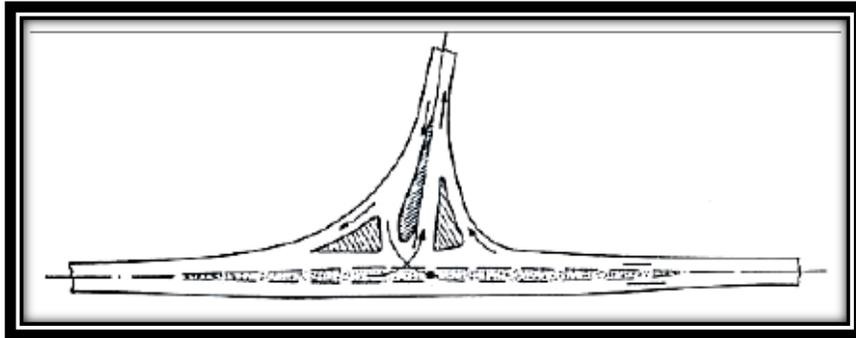
**Imagen 19:** Esquema C (Con isleta separadora)



Fuente: (Ronald, 2004)

**Esquema D (Con isleta separadora, guionadoras y carril adicional).** - Tiene isletas guionadoras y una isleta separadora, además carriles adicionales, sirve para un mayor volumen de tráfico. El carril de acceso separador también debe tener el ancho necesario; las marcas en el pavimento deben ser claras y precisas. (Ronald, 2004)

**Imagen 20:** Esquema D (Con isleta separadora, guionadoras y carril adicional)

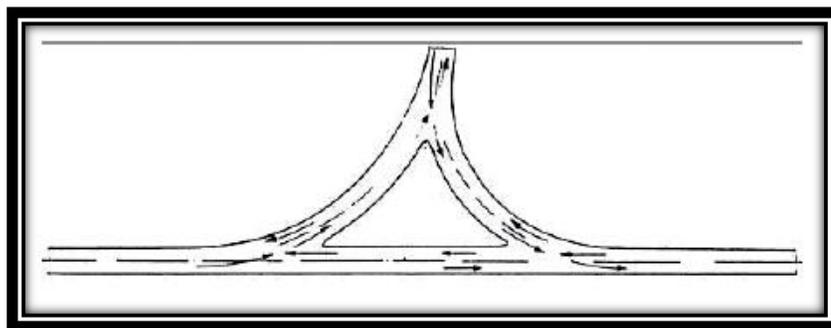


Fuente: (Ronald, 2004)

A continuación, se muestran 4 esquemas de intersecciones en “T” para mayores volúmenes de tráfico. Estos esquemas sirven en las calles de circulación de vehículos en uno y dos sentidos.

**Esquema A (No recomendable sin señalización).** - Tiene una isleta guionadora, los giros a la derecha son cómodos, los giros a la izquierda son conflictivos.

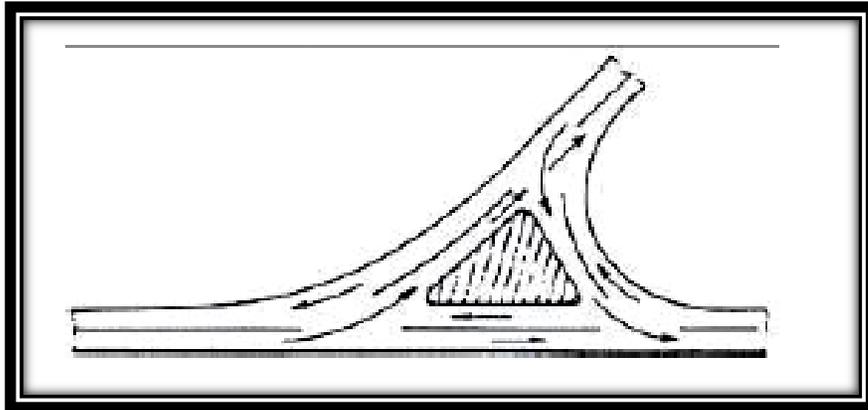
**Imagen 21:** Esquema A (No recomendable sin señalización)



Fuente: (Ronald, 2004)

**Esquema B (No recomendable sin señalización).** - Tiene una isleta guiadora, los giros a la derecha son cómodos, los giros a la izquierda son conflictivos y forma se asemeja a una “T” esviada.

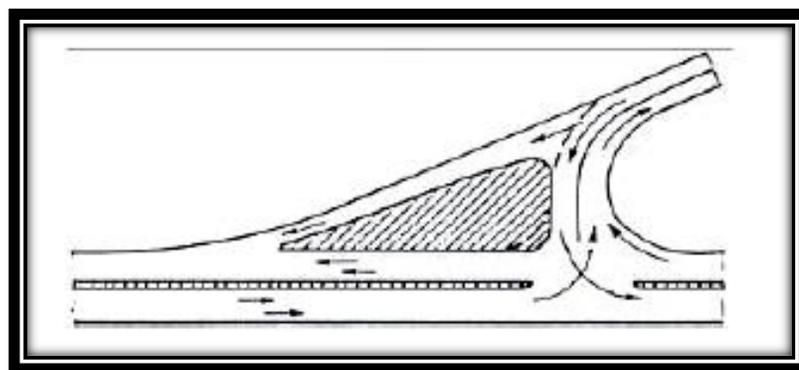
**Imagen 22:** Esquema B (No recomendable sin señalización)



Fuente: (Ronald, 2004)

**Esquema C (No recomendable sin señalización).** - Tiene una isleta guiadora, los giros a la derecha son cómodos, los giros a la izquierda son conflictivos y forma se asemeja a una “T” enviajada, el separador a la izquierda en el camino principal evita tomar el acceso superior en contra ruta.

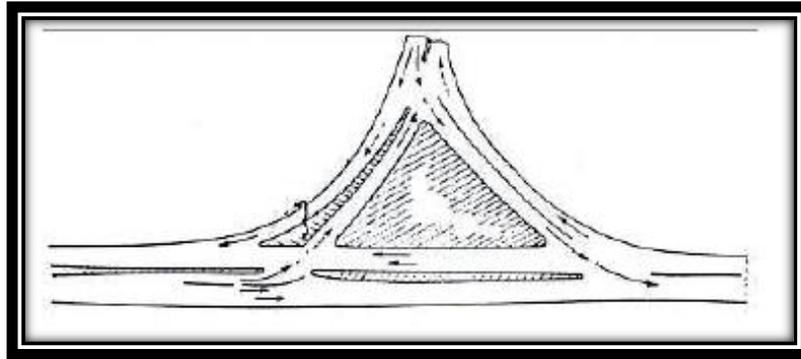
**Imagen 23:** Esquema C (No recomendable sin señalización)



Fuente: (Ronald, 2004)

**Esquema D (No recomendable sin señalización).** - Tiene una isleta guiadora y dos isletas separadoras, los giros a la izquierda son cómodos, los giros a la izquierda son conflictivos.

**Imagen 24:** Esquema D (No recomendable sin señalización)



Fuente: (Ronald, 2004)

#### **2.7.1.6. Cruce de 4 ramales**

Son aquellas intersecciones a nivel donde las vías de tráfico se cruzan transversalmente de un lado al otro de las vías totalmente, formando geoméricamente cuatro ramales.

Pueden ser ortogonales o encajadas. En las primeras el cruce se efectúa aproximadamente a  $90^\circ$  y en las segundas con ángulos diferentes a  $90^\circ$ . También pueden ser canalizadas o sin canalización según tengan isletas o no en la intersección.

A continuación, se muestran 4 esquemas de cruces de cuatro ramales sin canalización.

**Esquema A.-** Cruce de cuatro ramales sin canalización donde las curvas se han ampliado adecuadamente.

**Esquema B.-** Cruce de cuatro ramales sin canalización que tienen carriles de aceleración y desaceleración.

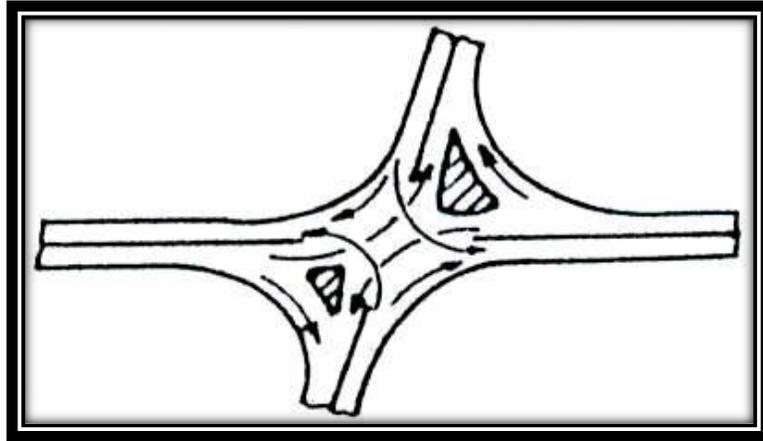
**Esquema C.-** Cruce de cuatro ramales sin canalización que tienen carriles de aceleración y desaceleración.

**Esquema D.-** Cruce de cuatro ramales sin canalización que tienen carriles de aceleración y desaceleración.

A continuación, se muestran 5 esquemas de cruces de cuatro ramales canalizados.

**Esquema A.-** Cruce de cuatro ramales con dos isletas guidoras de tráfico, vueltas a la derecha cómoda y a la izquierda conflictivas.

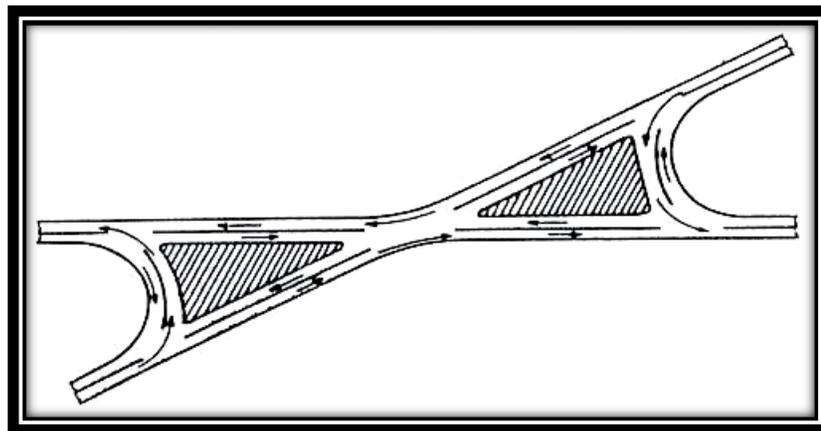
**Figura 8:** Esquema de 5 cruces y cuatro ramales canalizados



Fuente: (Ronald, 2004)

**Esquema B.-** Cruce de cuatro ramales con un mayor esviaje, sirve para mayores volúmenes y ocupa un espacio mayor.

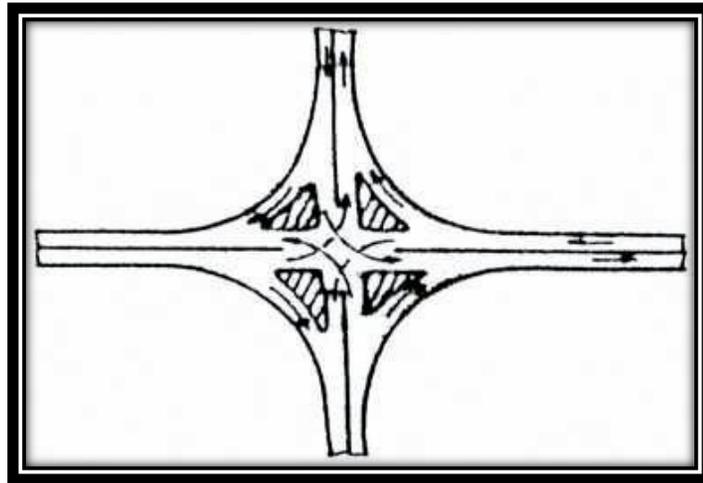
**Figura 9:** Esquema B



Fuente: (Ronald, 2004)

**Esquema C.-** Cruce de cuatro ramales con cuatro isletas guidoras, se utilizan sobre todo en zonas urbanas, donde las isletas guidoras sirven de espacios de refugio para los peatones.

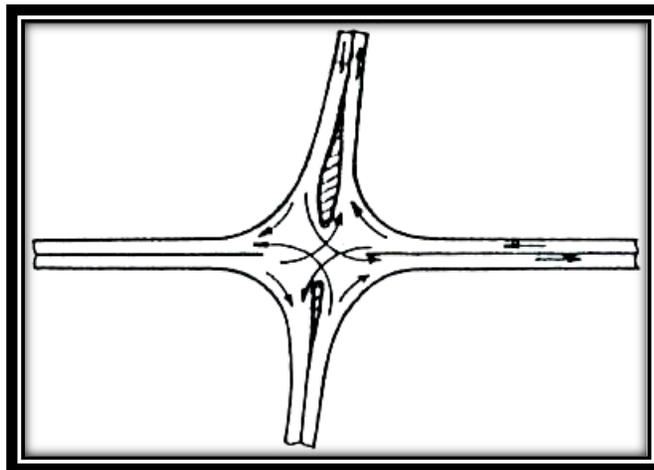
**Figura 10:** Esquema C



Fuente: (Ronald, 2004)

**Esquema D.-** Cruce de cuatro ramales con dos isletas separadoras en el camino secundario, diseño simple que funciona bien y ocupa un espacio menor.

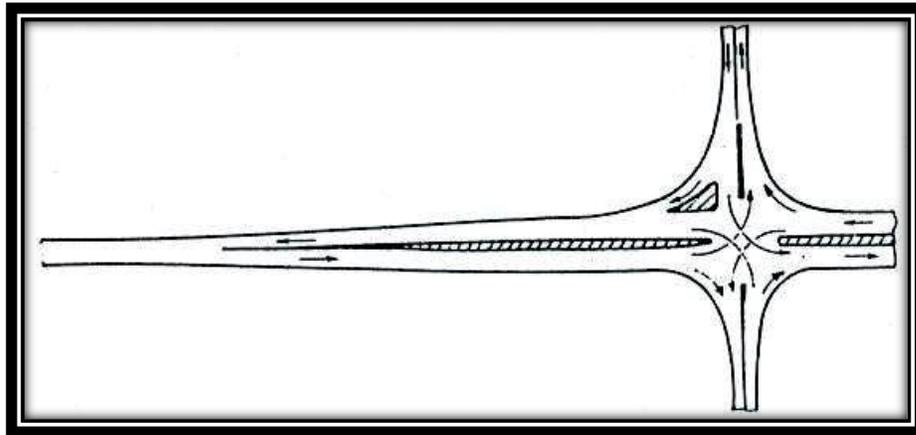
**Figura 11:** Esquema D



Fuente: (Ronald, 2004)

**Esquema E.-** Cruce de cuatro ramales, conveniente para caminos de dos carriles, con volumen de tráfico alto, en el cruce la calzada del camino principal de 2 carriles se convierte en un tramo de 4 carriles con una isleta separadora.

**Figura 12:** Esquema E



Fuente: (Ronald, 2004)

Los carriles adicionales se utilizan para cambios de velocidad de los vehículos que van a dar la vuelta.

#### **2.7.1.7. Intersección rotatoria**

Según (Ronald, 2004):

Podemos definir como intersecciones rotatorias aquellas que operan con circulación continua, en un sentido, alrededor de una isla central. En diferentes países reciben nombres distintos, tales como:

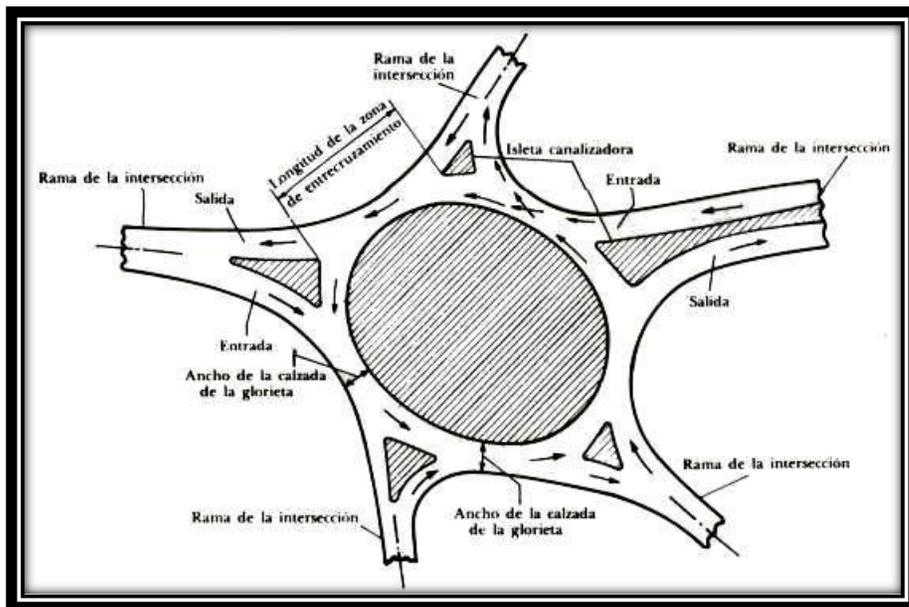
- Traffic circle Estados Unidos
- Round – About Inglaterra
- Redoma Venezuela
- Rond Point Argentina
- Place y Rond Point Francia
- Glorieta México y Colombia
- Rotonda Bolivia

Por falta de consistencia y justificación para los nombres anteriores, los ingenieros han aceptado como nombre apropiado el de Intersecciones Rotatorias, mismo que ya se ha ido generalizando en la literatura técnica.

Para conocer mejor este tipo de intersecciones es conveniente conocer las diferentes partes que la componen. A la parte central, generalmente con tratamiento de jardín, se le llama

isla central. A las pequeñas partes que se encuentran en la unión de la intersección con las calles que convergen, y generalmente son de forma triangular, se les llama isletas guidoras. Algunas de éstas pueden no ser apropiadamente isletas, sino formar parte de una faja separadora central de una calle convergente. A la distancia más corta entre dos isletas guidoras se le llama distancia de entrecruzamiento. La parte de arroyo de circulación alrededor de la isla central se denomina calzada de la intersección. A las calles que convergen en la intersección se les llama ramas. Una arteria que cruza una intersección rotatoria representara dos ramas. Cada calle convergente tiene una entrada y una salida de la intersección, a menos que sea de un solo sentido de circulación.

**Figura 13:** Términos empleados en el proyecto de rotondas



Fuente: (Ronald, 2004)

La mayor parte de las intersecciones rotatorias, tanto en Europa como en América, fueron concebidas y trazadas antes de la era del automóvil. Originalmente se les concibió como un motivo de ornato y de señorío. Además, no faltó quien les viera posibilidades como emplazamiento de artillería en casos de motines populares.

Fundamentalmente las intersecciones rotatorias han alojados monumentos (Arco del Triunfo, estatuas, obeliscos) o arbolado y jardinería para embellecimiento de la ciudad.

Ya en la época del vehículo motor se han vuelto a construir intersecciones rotatorias, en algunos casos con la idea de evitar maniobras de cruce directo y, en otros, para emplazar

algún monumento. Sin embargo, es conveniente citar lo que dice al respecto la publicación *Práctica Vial en los Estados Unidos de América\** al referirse a las intersecciones rotatorias. A través de ese libro la máxima autoridad vial en ese país manifestaba: “Debido a las superficies relativamente grandes que requieren su desarrollo; las distancias adicionales de recorrido en ellas; la necesaria reducción de velocidad para todos los vehículos que entran a ella y la limitada capacidad de las zonas de entrecruzamiento, ya no se proyectan intersecciones rotatorias, salvo en casos especiales”.

**Ventajas:**

- Permiten un flujo ordenado y continuo, con bajos volúmenes, sin demoras por paradas.
- Con un buen diseño los movimientos de entrecruzamiento reemplazan a las intersecciones simples a nivel, disminuyendo los conflictos. Las entradas y salidas se efectúan con movimientos convergentes y divergentes, en ángulos reducidos.
- La mayoría de los accidentes que ocurren son de menor envergadura, generalmente causando solo daños materiales.
- Se permiten todos los movimientos, aunque se requiere de distancias adicionales de recorrido para todos excepto para las vueltas a la derecha.
- Son especialmente indicadas para intersecciones de cinco o más ramas.
- Cuestan menos que un paso a desnivel con todas sus rampas en la misma superficie. Sin embargo, la capacidad de la intersección rotatoria generalmente será bastante más reducida.

**Desventajas:**

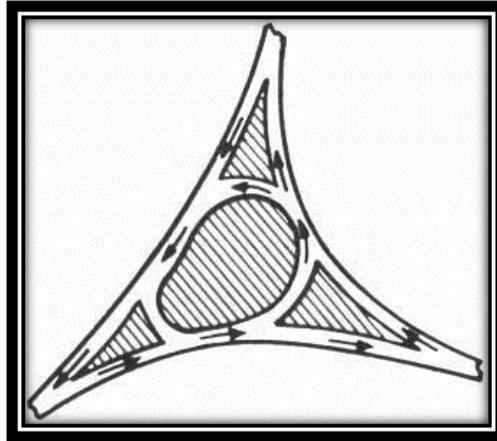
- Una intersección rotatoria no puede alojar más tráfico que una intersección canalizada bien proyectada. En muchos casos las intersecciones rotatorias han sido convertidas a intersecciones canalizadas, resultando en una mejor operación.
- La intersección rotatoria deja de operar satisfactoriamente cuando dos o más ramas, especialmente si tienen cuatro o más carriles, registran volúmenes de tráfico que se acercan a su capacidad, al mismo tiempo.
- Generalmente requieren mayor derecho de vía y longitud de calzada, costando más, que las otras intersecciones a nivel.
- La gran superficie requerida limita su uso en zonas de mucha construcción.

- Como generalmente se requiere de terreno plano, en condiciones de topografía irregular puede resultar poco práctico construirlas.
- No son convenientes en ubicaciones con altos volúmenes de tránsito de peatones. Para dar paso a éstos, se requiere violar el requisito de flujo continuo. En algunas de estas intersecciones se presentan muchos atropellamientos.
- Pueden llegar a tener grandes dimensiones cuando conectan arterias de alta velocidad, para poder proporcionar las distancias de entrecruzamiento entre las ramas, o bien donde hay más de 4 ramas. Las intersecciones rotatorias grandes significan mayores distancias de recorrido, que deben ponderarse contra las demoras en intersecciones canalizadas.
- Para una operación óptima se requiere de un señalamiento apropiado, efectivo día y noche. En señalamiento que evite confusiones a los usuarios no habituados es difícil de lograr.
- El costo de la iluminación y la jardinería deberá ponderarse contra lo que de ellas requiera una intersección canalizada. Podría agregarse que, si bien es cierto que resultan agradables cuando se les dota de plantas y flores, dando un toque de belleza a una ciudad, cuando se utilizan para ubicar en ellas monumentos o estatuas no se logran los propósitos de que las admire el público o sirvan como motivo educativo o turístico, ya que es difícil y peligroso para los peatones acercarse y los conductores están demasiado ocupados sorteando los peligros del tráfico para fijarse en ellos.

#### **2.7.1.8. Tipos de intersección rotatoria**

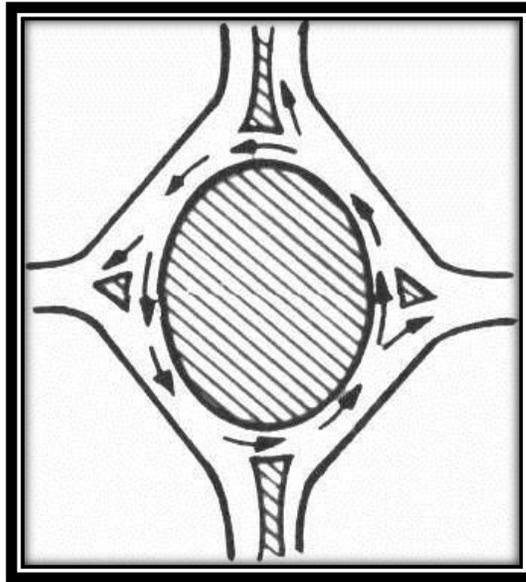
Se pueden encontrar intersecciones rotatorias de tres, cuatro o más ramas, simétricas y asimétricas, circulares o alongadas. Las anteriores condiciones físicas dependen del número y posición de las calles convergentes. Cuando, por necesidades del tráfico, una rotonda ha sido cortada, deja de tener movimiento continuo, como ya se dijo, y debe ser considerada como intersección canalizada.

**Figura 14:** Intersección rotatoria de tres ramas



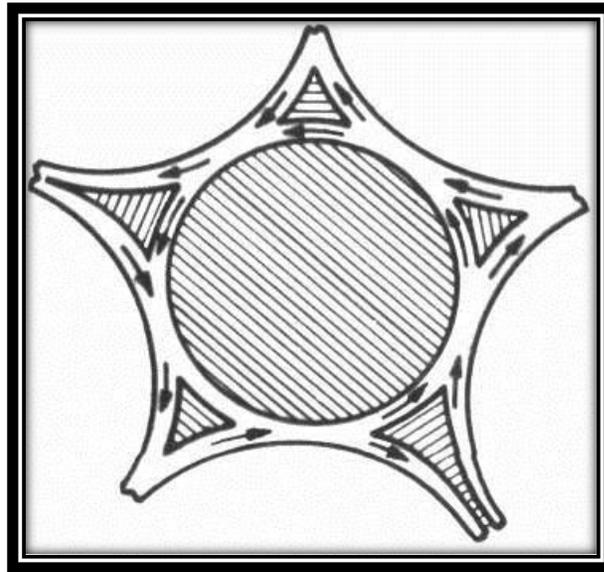
Fuente: (Ronald, 2004)

**Figura 15:** Intersección rotatoria de cuatro ramas



Fuente: (Ronald, 2004)

**Figura 16:** Intersección rotatoria de cinco ramas



Fuente: (Ronald, 2004)

El alineamiento de la calzada debe permitir los cruzamientos y las vueltas derechas sin curvas inversas forzadas. De no lograrse esto habrá zonas sin uso y la anchura efectiva será menor.

**Entradas y salidas.** - La operación de la intersección rotatoria depende en mucho del comportamiento de los conductores a la entrada y salida de la misma. La corriente que entra puede realizar su movimiento convergente con eficiencia y seguridad si su velocidad es aproximadamente igual a la de la calzada. Esto se logra reduciendo la velocidad de la corriente de llegada y proyectando los accesos para una velocidad semejante a la de la calzada.

Las salidas deben tener un diseño tan bueno como el de la calzada y, de ser posible, permitir una mejor velocidad de salida, para fomentar el desalojo de la calzada.

**Isletas guidoras.** - Estas isletas, que dividen las entradas de las salidas en las ramas, afectan directamente la operación de la calzada. Su correcto diseño determinará los ángulos de convergencia de las corrientes de entrada. Las isletas, las salidas y las entradas se proyectan simultáneamente. Las isletas deben tener dimensión suficiente y deben proyectarse adecuadamente a la trayectoria de los vehículos, así como para poder alojar señales, semáforos, postes de iluminación y para servir de refugio al peatón.

**Sobre – elevación del pavimento.** - En función de los radios y la velocidad de proyecto se deben proyectar las sobre - elevaciones del pavimento en las entradas, las salidas y en la calzada de la intersección rotatoria. Es difícil, en la práctica, lograr las sobre elevaciones necesaria debido a curvaturas encontradas, que obligan a la construcción de “lomos”, donde la sobre – elevación cambia de pendiente.

### **2.7.2. Intersección a desnivel**

Un paso a desnivel es un conjunto de ramales que se proyecta para facilitar el paso del tránsito entre unas carreteras que se cruzan en niveles diferentes. También puede ser la zona en la que dos o más carreteras se cruzan a distinto nivel para el desarrollo de todos los movimientos posibles de cambio de una carretera a otra, con el mínimo de puntos de conflicto posible. (Universidad Nacional de Colombia, 2005)

Los pasos desnivel se construyen para aumentar la capacidad o el nivel de servicio de intersecciones importantes, con altos volúmenes de tránsito y condiciones de seguridad insuficientes, así como para mantener las características funcionales de un itinerario sin intersecciones a nivel.

En general, una intersección solucionada a diferentes niveles requiere inversiones importantes, por lo que su diseño y construcción deben justificarse por razones como:

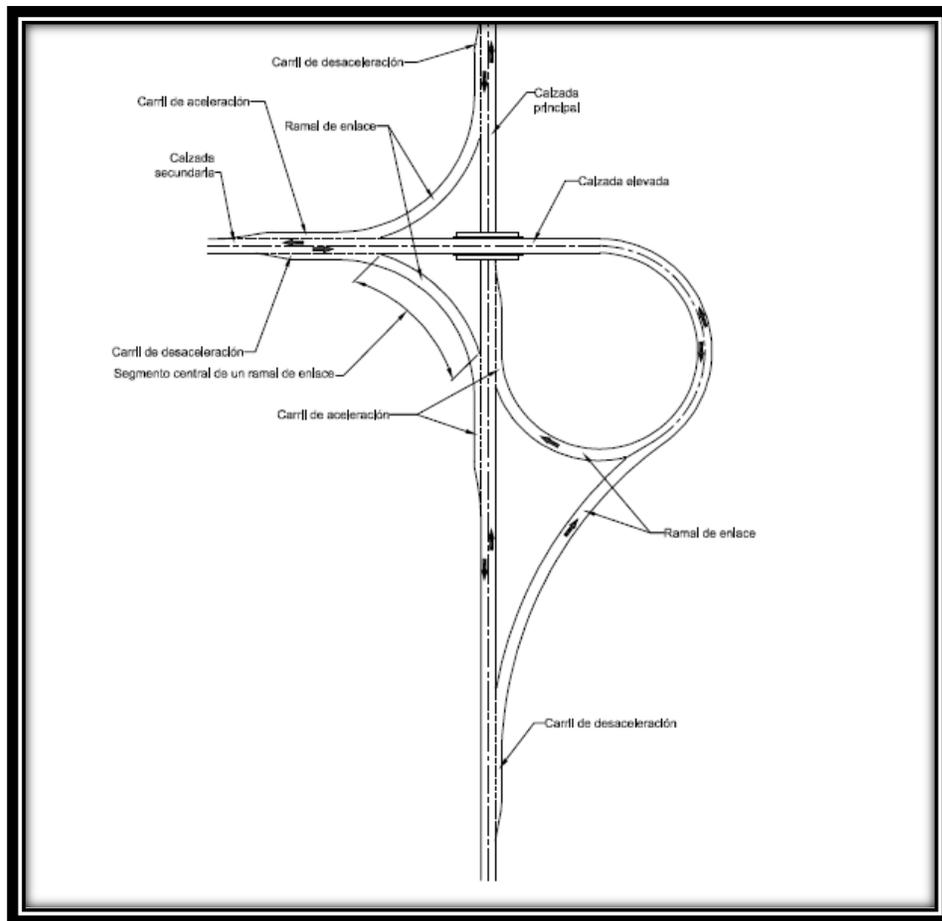
- **Funcionalidad:** Ciertas carreteras como autopistas y vías de primer orden, porque tienen limitación de accesos las primeras, o por la categoría y características que les atribuyen los planes viales nacionales, regionales o departamentales, requieren la construcción de intersecciones a desnivel.
- **Capacidad:** Si la capacidad es insuficiente en una intersección, una alternativa por considerar, en el estudio de factibilidad, es separar niveles, así haya alternativas posibles a nivel.
- **Seguridad:** Puede ser la seguridad, unida a otras razones, uno de los motivos para construir un enlace y no una intersección.
- **Factibilidad:** Por las elevadas inversiones que implica, en general, la construcción de una intersección a desnivel, es necesario el estudio de factibilidad, en el que debe analizarse, si a ello hubiere lugar, la construcción por etapas.

### 2.7.2.1. Tipos de intersecciones a desnivel

- **Intersección a desnivel tipo trompeta**

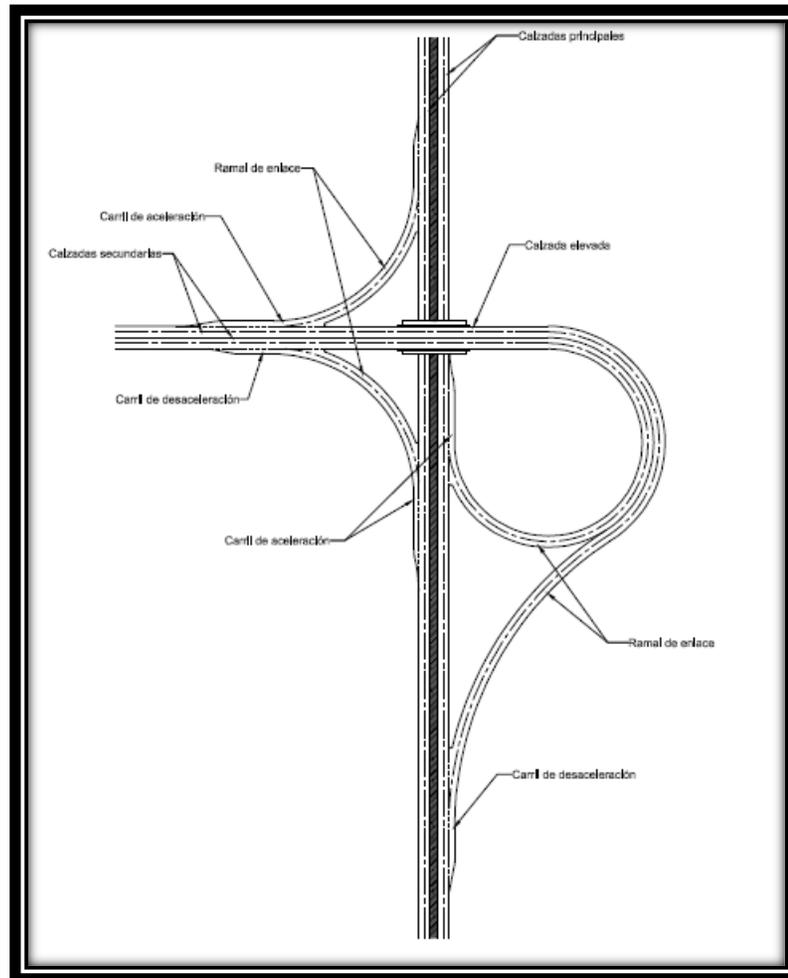
Esta es la principal intersección de tres ramales en la que los giros a la derecha y a la izquierda se resuelven por medio de ramales directos, semi directos y vías de enlace, es aconsejable para conectar una carretera transversal a una principal. (Manual Geometrico INVIAS, 2008)

**Figura 17:** Esquema Base Intersección a Desnivel Tipo “Trompeta” en carreteras no divididas



Fuente: (Manual Geometrico INVIAS, 2008)

**Figura 18:** Esquema Base Intersección a Desnivel Tipo “Trompeta” en Carreteras Divididas

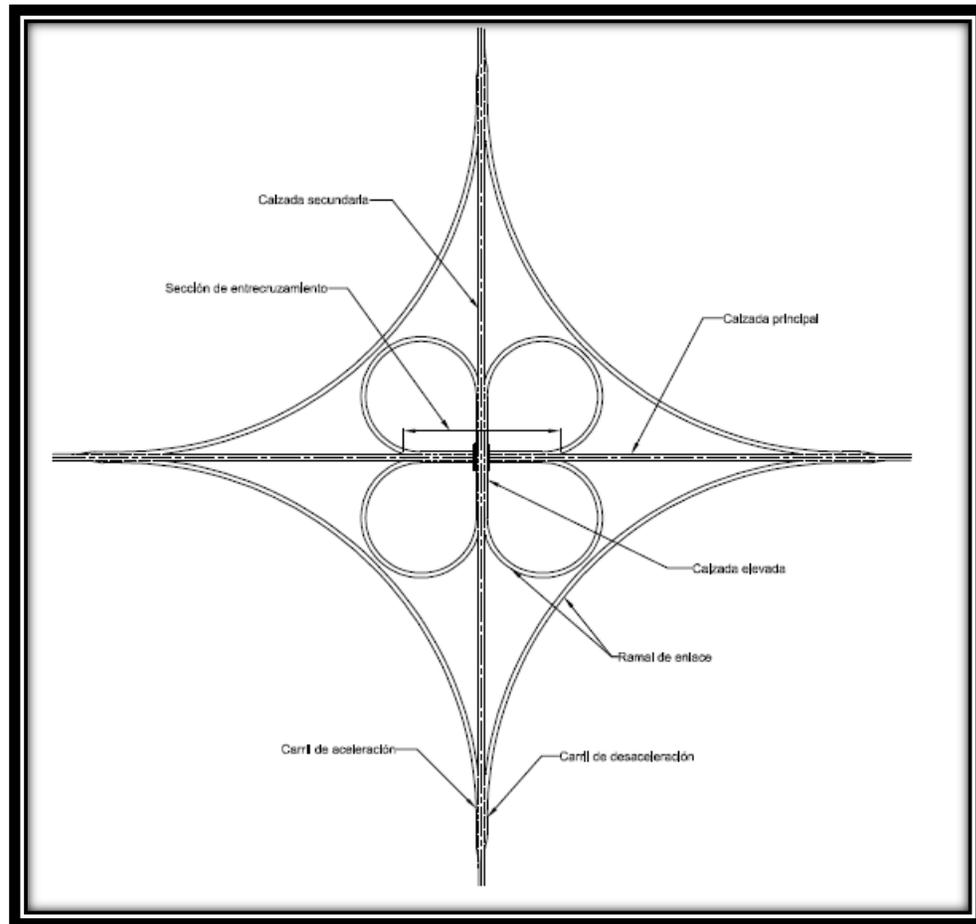


Fuente: (Manual Geometrico INVIAS, 2008)

- **Intersección a desnivel tipo trébol**

Son aptos para vías de importancia (autopistas, vías de primer orden) por la considerable área que ocupan. Son intersecciones de cuatro ramales y triple circulación, requieren una sola estructura y todos los giros a la izquierda se resuelven por medio de vías de enlace y los giros a la derecha mediante ramales directos. (Manual Geometrico INVIAS, 2008)

**Figura 19:** Esquema Base Intersección a Desnivel Tipo “Trébol” en carreteras no divididas

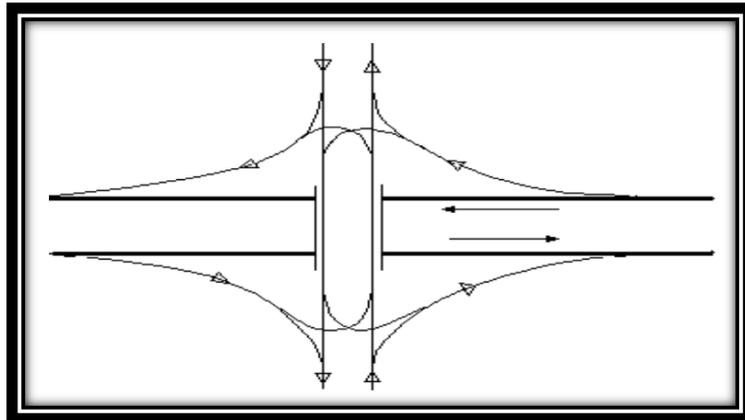


Fuente: (Manual Geometrico INVIAS, 2008)

- **Intersección a desnivel tipo diamante**

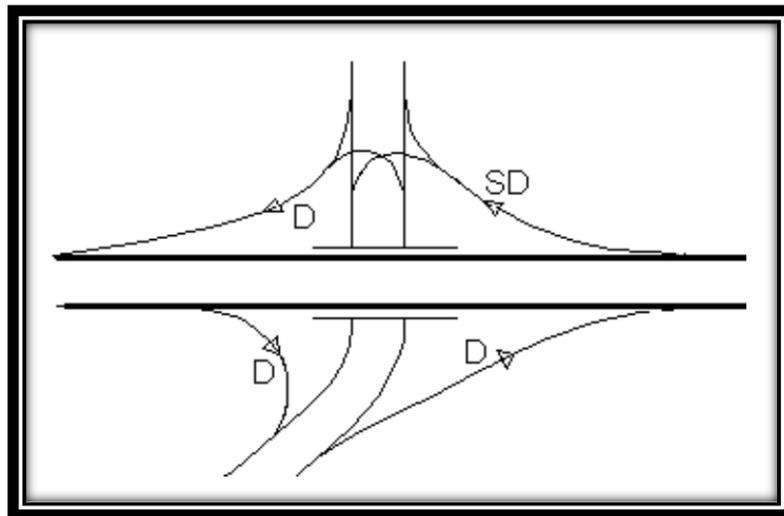
Se usa tanto en vías urbanas como en vías rurales. Se trata de una intersección de cuatro ramales con condición de parada, en el que todos los giros a la izquierda se resuelven con intersecciones. Este tipo de intersección puede disponer también de estructuras adicionales para reducir el número de puntos de conflicto de las intersecciones a nivel en la carretera secundaria. Normalmente es preferible que la vía principal ocupe el nivel inferior, con cuya disposición las vías de enlace son más cortas por ser la pendiente favorable para la aceleración y desaceleración de los vehículos que entran y salen.

**Figura 20:** Intersección en Diamante Elemental



Fuente: (Universidad Nacional de Colombia, 2005)

**Figura 21:** Intersección tipo Diamante en Vías Rurales

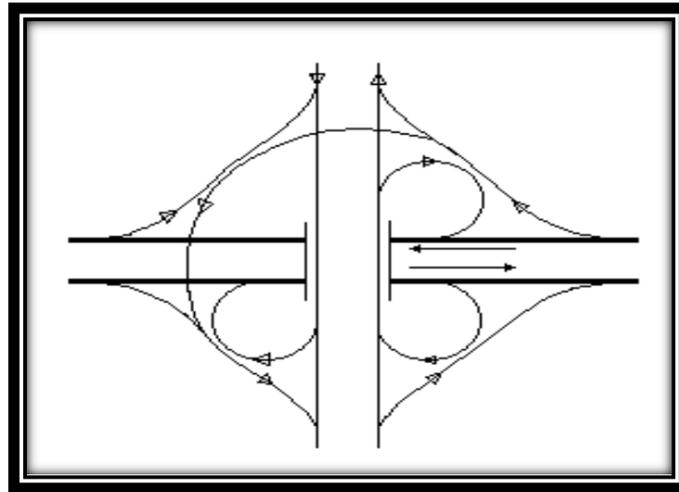


Fuente: (Universidad Nacional de Colombia, 2005)

- **Intersección a desnivel direccional**

Se utilizan cuando una autopista se cruza con otra o se une a ella. En estos casos la velocidad de proyecto es alta en toda su longitud, con rampas y enlaces curvos de radios grandes; por lo que el área que ocupan es grande.

**Figura 22:** Intersección a Desnivel Direccional



Fuente: (Universidad Nacional de Colombia, 2005)

## **2.8. Simulación**

### **2.8.1. Modelo PTV VISSIM**

Según (MANUAL, 2018): Vissim es un software de simulación, diseñada para simular a nivel microscópico el tránsito de manera multimodal, es decir que se puede simular la interacción de los distintos modos de transporte que intervienen.

En el presente caso se utiliza el modelo de simulación a nivel microscópico, es decir que podemos ver en detalle cada vehículo, observando que ruta elige cada uno, si realizan cambios de carril, la separación entre ellos, etc.

El software permite representar los detalles de la infraestructura de la red analizada, es decir número de carriles, ancho, pendiente, curvaturas, etc. Otra de las virtudes de este software es que nos permite trabajar sobre una imagen de fondo que puede ser importada de algún sistema de información geográfica como Google Maps o Google Earth o bien trabajar sobre el mapa que trae incorporado el programa.

Respecto a la variable tráfico, el modelo nos permite ingresar el volumen horario, la composición (por defecto el software tiene una composición preestablecida que contempla un cierto porcentaje de vehículos pesados y livianos) y la velocidad promedio. Una vez definida la infraestructura y la variable tráfico, podemos asignar el porcentaje que corresponde a cada ruta, las prioridades, el rango de aceleración y desaceleración.

El simulador permite recrear medidas de control de tránsito como son las señales de Stop o los semáforos; respecto a los semáforos el programa permite recrear el grupo de semáforos aplicado en la realidad, con su respectivo ciclo y reparto de verde.

Por último, podemos mencionar que las herramientas de evaluación del simulador permiten ver una amplia variedad de resultados, por lo que el usuario debe configurar para obtener los resultados que le sean útiles, durante la configuración podemos pedir que nos devuelva algunas variables puntuales o pedir una evaluación integral con la función nodo. Luego de configurar la evaluación le damos iniciar a la simulación y obtendremos los datos de la corrida que luego deben ser procesados para hacer un análisis final.

#### **2.8.1.1. Modelo de flujo de tráfico y control de semáforos**

Vissim se basa en un modelo de flujo de tráfico y control de semáforos, donde hay un intercambio de información entre el flujo de tránsito y el estado de la señalización.

El modelo de flujo de tránsito se desarrolla sobre el modo de seguimiento de un vehículo y un modelo de cambio de carril.

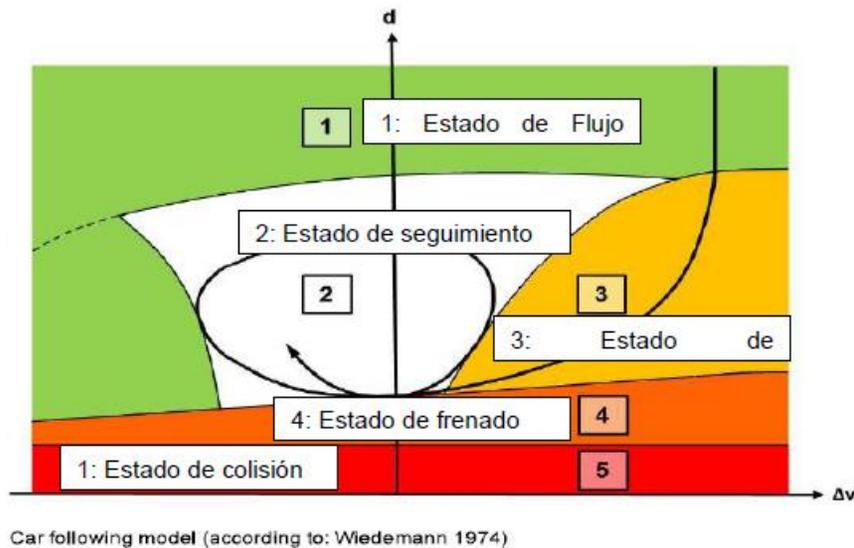
La simulación se puede visualizar como una animación (si es a nivel microscópico). En la simulación podemos visualizar y extraer parámetros importantes como ser distribución de los tiempos de viaje, la distribución de demora diferenciada por grupo de usuarios. (MANUAL, 2018)

#### **2.8.2. Principios de operación del programa de seguimiento**

Para que la simulación representada por el programa sea representativa de la realidad, es necesario que el flujo de tráfico sea de calidad. Es por esta cuestión que Vissim se destaca respecto de simulaciones más simples, en los que el modelo de seguimiento propuesto tiene velocidades casi constantes y el modelo de seguimiento es determinístico. El modelo en que se basa Vissim tiene una percepción psicofísica, este modelo fue desarrollado por Wiedemann en 1974. Este modelo contempla la variabilidad del comportamiento del conductor respecto a cómo se conduce si este circula a una determinada velocidad y se acerca a otro conductor que circula a una velocidad inferior al mismo y como se dan esos cambios de aceleración, desaceleración, cambio de carril. El conductor constantemente

está ajustando el estado aceleración y desaceleración cuando se encuentra con otros vehículos para alcanzar la velocidad deseada. (MANUAL, 2018)

**Figura 23:** Modelo de seguimiento de Wiedemann 74



Fuente: Manual de usuario PTV Vissim 11.

El modelo de seguimiento de vehículos se calibra con las mediciones de los ensayos realizados por el instituto de estudios de transporte, en el instituto Karlsruhe de tecnología en Alemania.

La aceleración de los vehículos en el modelo se ajusta según las siguientes situaciones de seguimiento:

- Si la distancia de seguridad deseada se encuentra en el rango de lo que el conductor del vehículo considera al límite de su seguridad, el conductor se conducirá a la misma velocidad que el vehículo precedente.
- Si la distancia de seguridad es un 10% mayor de lo que estima, la velocidad del conductor será un valor interpolado entre la velocidad deseada y la real del vehículo precedente.
- Si la distancia de seguridad es mayor a un 10%, entonces el vehículo se toma la libertad de acelerar hasta alcanzar la velocidad deseada.

En el modelo, el conductor tiene en consideración los vehículos adyacentes a él (si la red está representada por dos o más carriles en una misma calle), además de los anteriores y el precedente sobre su carril. En este modelo el conductor incrementa su atención 100m antes de una señal de semáforo. (MANUAL, 2018)

### **2.8.3. Definición de los parámetros de comportamiento del conductor**

Los parámetros que podemos configurar para ajustar en el modelo de comportamiento de conductor en el programa son los siguientes:

- Seguimiento
- Modelo de seguimiento de automóviles sin interacción o acorde al modelo Wiedemann 74 o 99.
- Comportamiento lateral
- Comportamiento de cambio de carril.
- Comportamiento ante los semáforos.
- Parámetros para la simulación mesoscópica (no utilizados en este trabajo).

El modelo de flujo de tráfico de Wiedemann se basa en asumir que hay básicamente cuatro estados de conducción diferentes:

- Conducción sin influencia: El vehículo no está influido por ningún vehículo delantero.
- Acercamiento: El vehículo está conscientemente influido por el vehículo de adelante, dado que el conductor percibe un vehículo más lento.
- Seguimiento: El vehículo está un proceso de seguimiento, siendo influenciado por el vehículo de adelante en forma no consciente.
- Frenado de emergencia: El vehículo queda a una distancia de separación menor a la deseada y debe frenar para evitar la colisión (Manual de usuario PTV Vissim 2011, pág. 286)

En cada estado de conducción la aceleración resulta de cómo interactúan con el vehículo precedente, la diferencia de velocidad entre la deseada y la real, las características del vehículo y del conductor. El pasar de un estado de conducción a otro dependen del umbral de percepción del conductor, este umbral se describe en el modelo como una función de la distancia y la diferencia de velocidad, a su vez esta percepción es variable en todos y cada uno de los conductores. En esto radica la ventaja del modelo psicofísico del Wiedemann 74, ya que tiene en cuenta estas variabilidades.

#### **2.8.4. Definición de los parámetros de modelo Wiedemann 74**

Los siguientes parámetros están disponibles en el modelo:

- Distancia de detención promedio (ax): define la distancia promedio entre dos vehículos.
- Parte aditiva de la distancia de seguridad (bx add ) : Valor usado para el cálculo de la distancia de seguridad deseada d.
- Parte multiplicativa de la distancia de seguridad (bx mult ) : valor usado para el cálculo de la distancia de seguridad deseada d. (Manual de usuario PTV Vissim 2011, pág. 295)

La distancia de seguridad d se calcula como:

$$d = ax + bx$$

Donde:

Ax= Distancia de detención  $bx = (bx\ add + bx\ mult * z) * \sqrt{v}$

V= Velocidad del vehículo [m/s]

Z= Es un valor cuyo rango esta entre [0,1]. Este se distribuye alrededor de 0.5 con un desvío estándar de 0.15

**CAPITULO III**  
**APLICACIÓN PRACTICA SOBRE LA**  
**CIRCULACIÓN VEHICULAR Y SIMULACIÓN**  
**DEL PUENTE 4 DE JULIO**

## CAPITULO III

### APLICACIÓN PRACTICA SOBRE LA CIRCULACIÓN VEHICULAR Y SIMULACIÓN DEL PUENTE 4 DE JULIO

#### 3.1. Enfoque de la aplicación

La evaluación del comportamiento vehicular y la simulación del puente 4 de Julio, cuenta con un estudio de tráfico que engloba a 5 rotondas, que se encuentran en el área de estudio, en 2 (dos) rotondas cuentan con semáforos, estas tienen diferente tiempo de ciclo y las restantes 3 no cuentan con semaforización, ya que el volumen de tráfico es menor. El método que se utilizó para determinar la capacidad y en nivel de servicio, es el método HCM, para vías urbanas.

El comportamiento del tráfico vehicular depende netamente del conductor y como este transita por la ciudad, esto lo convierte en variable ya que es impredecible conocer el rumbo que tomara el conductor, asimismo existe una variedad de vehículos tanto particulares como públicos.

#### 3.1.1. Ubicación de los tramos de aplicación

Se encuentra ubicado en el departamento de Tarija provincia (Cercado); el tramo de estudio está en la Avenida Víctor Paz Estensoro (Av. Las Américas) y Avenida La Banda, en esta área de estudio se encuentra ubicado las 5 rotondas.

Las coordenadas UTM, de las rotondas son:

<b>Nro.</b>	<b>Detalle</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
1	Rotonda San Martin	319735.00 m E	7617896.00 m S
2	Rotonda Parada San Andrés	319552.00 m E	7617854.00 m S
3	Rotonda Plaza de la Juventud (Fuente de los Deseos)	319611.00 m E	7617566.00 m S
4	Rotonda Avenida La Banda	320283.00 m E	7617351.00 m S

5	Rotonda Mercado San Martin	320126.00 m E	7617099.00 m S
---	----------------------------	---------------	----------------

**Imagen 25:** Plano del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

### **3.2. Características físicas y operacionales del área de estudio**

El área de estudio está conformada por las 5 rotondas, desde el Puente San Martin hasta el Puente Bicentenario, está comprendido por 3 vías, Av. Víctor Paz Estensoro, Av. La Banda, y la Calle Hermanos Uriondo, 2 de ellas cuentan con semaforización y es de diferente tiempo de ciclo de fase y se dará continuación sus característica físicas y operacionales.

- Rotonda San Martin (Av. Víctor Paz Estensoro y calle 15 de abril)

Es una intersección rotatoria con una (1) isla central ovalada con dimensiones de (74x34 metros), con tres (3) isletas direccionales, con cuatro (4) ramales de ingreso (1,2,3,4) cada una con diferentes anchos de carril, con pendientes de bajada y subida entre 1.94% y -3.98%.

Cada ingreso tiene su giros derechos e izquierdos y de frente, no cuenta con estacionamiento, pero si con parada vehículo liviano y de poco flujo peatonal por cada

acceso, tiene un porcentaje de vehículos de 1% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda.

Tiene 3 accesos con semáforos, con un ciclo de 44 seg., un tiempo de verde de 20 seg., un tiempo de rojo de 20 seg., y tiempo amarillo de 2 seg., un acceso no se encuentra con semáforo, sin embargo, es el que tiene más volumen de tráfico de toda la intersección, este punto se encuentra ubicado a la bajada del mercado Campesino.

- Rotonda parada San Andrés (Salida del Puente San Martin y Avenida Héroes de la independencia)

Es una intersección rotatoria con una isla central circular de diámetro de 13 metros, con tres (3) isletas direccionales con seis (ramales), 3 de ellos son ramales de ingreso (1,2,3) cada una con diferentes anchos de carril de 3.6 hasta 4.8 metros, con pendientes de subida y bajada entre 1.1 % y -5.2%.

Tres (3) de sus ingresos tienen giro izquierdo de frente y giro derecho, y el flujo peatonal es bajo para cada acceso, con un porcentaje de vehículo pesado de 0.5% y 1% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda.

No cuenta con semaforización, cuenta con paradas de vehículo liviano y mediano público (Micros y taxis), el mismo que transita diariamente por dicha rotonda, tanto de entrada como salida de la misma, esta rotonda es concurrida ya que en la misma se encuentran varios negocios de agencia de bebidas.

- Rotonda mercado San Martin (Salida Puente 4 de Julio y Av. La Banda)

Es una intersección rotatoria con una isla central circular de 15 metros de diámetro, con tres (3) acceso de ingreso, esta rotonda es la salida del puente 4 de Julio, por lo que se plantea utilizar esta rotonda como acceso al puente, cuenta con cuatro (4) isletas direccionales, y seis (6) ramales, con diferentes anchos de carril desde 3.8 hasta 5.2 metros, con pendiente de subida y bajada de 1.1% y -2%

Dos (2) de sus ingresos tienen su giro izquierdo de frente y giro derecho, un (1) ingreso solo tiene giro izquierdo, debido a la ubicación, no cuenta con semaforización, cuenta con

un flujo de peatones alto en una de las vías, ya que en este Mercado se encuentran oficinas Públicas.

- Rotonda Plaza de la Juventud (Fuente de los Deseos, ingreso al puente Bicentenario)

Es una intersección rotatoria con una isla central ovalada de dimensiones 35x65 metros, y cuatros isletas direccionales con cuatro (4) ramales de ingreso (1,2,3,4), cada una con diferentes anchos de carril de 3.6 hasta 5.2 metros, con pendientes de bajada y subida entre 0.86% y -2.7%.

Cuatro (4) ingresos tienen su giro izquierdo y de frente, no cuentan con estacionamiento y en es de poco flujo peatonal, sin embargo, en festividades Patrióticas, este flujo peatonal aumenta, el porcentaje de vehículos pesados es de 0.8% y 1% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda.

Todos sus accesos cuentan con semáforo, con un tiempo ciclo de 59 seg.

- Rotonda Av. La Banda (Salida del Puente Bicentenario, y la Avenida la Banda)

Esta es una intersección rotatoria central con una isla ovalada de dimensiones 28x16 metros y con 3 isletas direccionales, con 3 ramales de ingreso (1,2,3,), cada una de ellas con diferentes anchos de carril desde 3.6 hasta 5.2 metros, con pendientes de bajada y subida de 0.50% y -5.4%.

Las tres (3) intersecciones cuentan con giro izquierdo de frente y giro derecho, un ingreso tiene estacionamiento, y es de poco flujo peatonal por cada acceso, no cuenta con semaforización, esta rotonda es conector con la zona noroeste de ciudad, como ser los barrios Senac, Tabladita, Catedral, etc.

### **3.3. Encuesta de transporte vial**

Para el presente proyecto es necesario conocer la opinión de las personas, que transitan diariamente por el puente San Martín, para así poder predecir el comportamiento que tendrán, y como se llegaría a utilizar el puente 4 de Julio, es por ello que se realizaron las encuestas a los conductores que transitan por la calle 15 de abril, dicha calle es el acceso

al centro de la ciudad, lo cual transitan vehículos cotidianamente tanto públicos como privado, por ello se desarrolló las encuestas de forma aleatoria.

### 3.3.1. Determinación de la muestra

Para la muestra de los vehículos, se tomó como población a los vehículos que transitan por la calle 15 de abril, el número de vehículos es de 273 veh/hora, mediante este dato se procedió a utilizar la siguiente formula de muestra finita:

**Ecuación 5:** Determinación de la muestra

$$n = \frac{N * \sigma^2 * Z^2}{(N - 1) * e^2 + \sigma^2 * Z^2}$$

Donde:

N = Tamaño de la población

$\sigma$  = Desviación estándar de la población

Z = Valor obtenido de la distribución normal para un nivel de confiabilidad del 95%

e= Limite aceptable del error muestral

n esperado= Tamaño Mínimo de la población objetivo esperado para un nivel de confianza del 95%

#### Cálculo de la muestra

Datos:

N = 273

$\sigma = 0.5$

Z = 1.96

e= 0.05

$$n = \frac{273 * 0.5^2 * 1.96^2}{(273 - 1) * 0.05^2 + 0.5^2 * 1.96^2}$$

n = 159.83  $\approx$  160 encuestas

La muestra de encuestas nos da un valor de 160 encuestas, de las cuales se optó por realizarla de forma aleatoria, para lo cual se desarrolló la encuesta a 30 vehículos, una muestra representativa considerando el número de vehículos que transitan por la zona, así también cabe recalcar que fueron 6 preguntas, y estas preguntas nos permitirán establecer un panorama sobre el comportamiento del tráfico, considerando que nuestro proyecto es un estudio de tráfico.

### 3.3.2. Respuestas de las encuestas

A continuación, se muestra las encuestas realizadas a los conductores y cuál es su opinión respecto a la utilización del puente 4 de Julio.

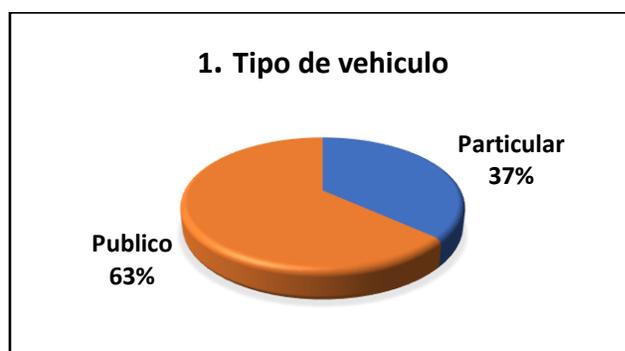
#### 1. Tipo de vehículo

**Tabla 5:** Pregunta 1: Tipo de vehículo

Detalle	Respuesta	Porcentaje
Particular	11	37
Publico	19	63
Total	30	100

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 1:** Respuesta pregunta 1: Tipo de vehículo



Fuente: Elaboración propia

### Interpretación:

Dentro de la encuesta del tipo de vehículo se obtuvo que un 63% de los vehículos es públicos, y el restante 37% es particular, por lo que nos indica que el mayor tráfico por esta calle es público, tomando en cuenta que los micros pasan diariamente por esta calle, transportando grupos de personas desde la zona noroeste hasta la zona central de la ciudad de Tarija.

### 2. ¿Con que frecuencia recorre por el puente San Martin?

**Tabla 6:** Respuesta Pregunta 2

Detalle	Respuesta	Porcentaje
Todos los días	21	70
Una vez por semana	4	13
Poco	3	10
Nada	2	7
Total	30	100

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 2:** Gráficos de resultados de la Pregunta 2



Fuente: Elaboración propia

### Interpretación:

En la encuesta nos da como resultado que los vehículos recorren todos los días por el puente San Martin, dando, así como resultado de un 70%, los que recorren una vez por

semana un 13%, los que recorren poco y nada un 10 y 7% respectivamente, esto nos indica la frecuencia de concurrencia por el puente San Martin.

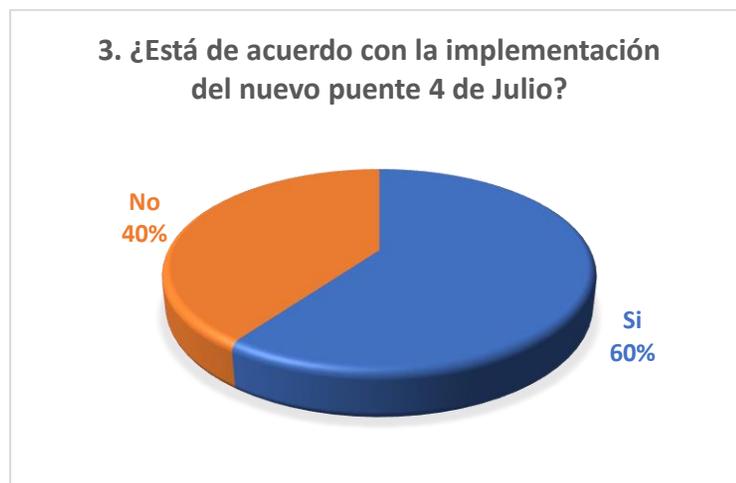
**3. ¿Está de acuerdo con la implementación del nuevo puente 4 de Julio?**

**Tabla 7:** Respuestas pregunta 3

Detalle	Respuesta	Porcentaje
Si	18	60
No	12	40
Total	30	100

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3:** Gráfico de resultado pregunta 3



Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

En esta pregunta podemos observar que un 60% de la población de estudio si está de acuerdo con la implementación del puente 4 de Julio, los cuales conforman un 60% y un 40% que no se encuentra de acuerdo. Ello significa que todavía no se encuentra consolidada su respuesta debido a que aún no utiliza dicho puente, sin embargo, la respuesta es favorable para nuestro estudio.

#### 4. ¿Con que frecuencia usaría el puente 4 de Julio?

**Tabla 8:** Respuesta de pregunta 4

Detalle	Respuesta	Porcentaje
Todos los días	18	60
Una vez por semana	4	13
Poco	2	7
Nada	6	20
Total	30	100

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 4:** Gráfico de respuesta pregunta 4



Fuente: Elaboración propia

#### **Interpretación:**

Esta pregunta es fundamental para nuestro estudio, ya que nos indica si la población utilizara este puente, por lo que tenemos un 60% que respondieron que lo utilizaran todos los días, ello por la necesidad que tienen de transportación de una zona a otra, además es muy necesario para ellos porque el recorrido será en menor tiempo, debido a que no existirá mucha aglomeración.

**5. ¿Si se llegaría a habilitar el puente 4 de Julio usted dejaría de utilizar el puente San Martin?**

**Tabla 9:** Respuesta de pregunta 5

Detalle	Respuesta	Porcentaje
Si	18	60
No	12	40
Total	30	100

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 5:** Grafica de resultados pregunta 5



Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

Esta pregunta también es considerada como importante, ya que nos interesa saber la opinión de la población, sobre cómo será el tráfico en el Puente San Martín, para así tomar decisiones posteriores para dejar dicho puente como un acceso peatonal, y que todo este tráfico pase por el Puente 4 de Julio. Se obtuvo como resultado que un 60% dejaría de utilizar este puente y se adecuaría a transitar por el nuevo Puente 4 de Julio, el restante 40%, no dejaría de utilizar el puente, ya que le favorece en su tránsito diario.

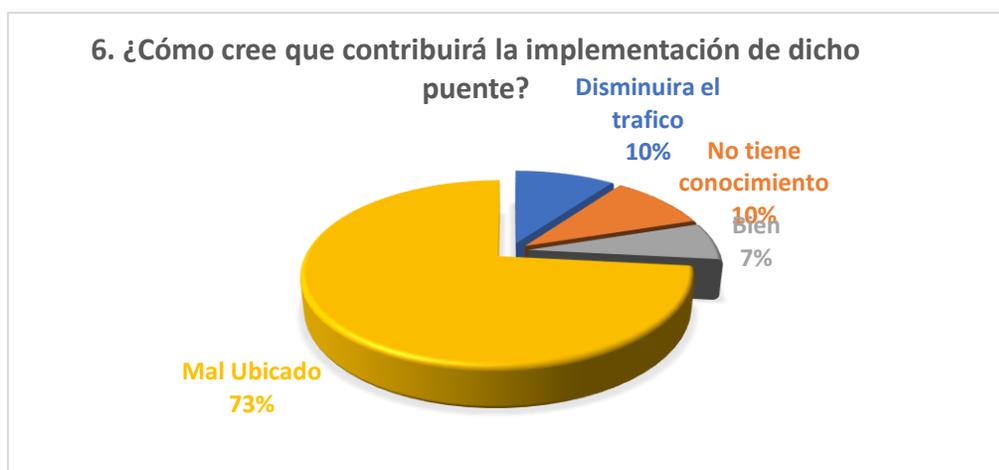
6. ¿Cómo cree que contribuirá la implementación de dicho puente?

Tabla 10: Resultado de Pregunta 6

Detalle	Respuesta	Porcentaje
Disminuirá el trafico	3	10
No tiene conocimiento	3	10
Bien	2	7
Mal Ubicado	22	73
Total	30	100

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6: Gráfico de resultados pregunta 6



Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

Esta es una pregunta abierta, lo cual nos ayudó a conocer la opinión de la población respecto al puente, se obtuvo como resultado que un 73% menciona que el puente se encuentra mal ubicado, sin embargo, utilizara dicho puente, y esperan que solucionen adecuadamente este tema, para que el transito sea eficiente y descongestione el tráfico vehicular en el puente San Martin como se quiere lograr.

Dichas encuestas realizadas nos brindan, un panorama sobre el comportamiento del tráfico que se tendrá en la zona, ya que el volumen es variable e impredecible.

### **3.4. Medición de volúmenes, velocidades en el área de estudio**

Con el propósito de conocer la demanda actual, se realizó la medición de volúmenes y velocidades, en el área de estudio que está comprendido desde el puente San Martín hasta el Puente Bicentenario, y el mismo comprende 5 rotondas que serán estudiadas. La rotonda más importante y la que nos determinara todo el estudio de tráfico es la rotonda San Martín, es la que estudiaremos a más profundidad, sin dejar de lado el estudio de volúmenes de las otras rotondas.

Los aforos de volúmenes se realizaron en las horas pico, tres (3) horas por día, dos (2) días hábiles y un (1) día no hábil durante dos (2) semanas, el tiempo de aforo según la norma de la ASSTHO, es de un mes, sin embargo, por motivo académico se optó el aforo de dos (2) semanas. Lo que nos permite conocer el movimiento vehicular en cada rotonda con sus accesos con el tipo de vehículo pesado, mediano y liviano, y su clasificación público o privado según corresponde

#### **3.4.1. Procedimiento**

El primer paso para sacar volúmenes y velocidades fue obtener la hora más congestionada, en las horas pico donde se realizó un aforo durante un día, desde las 6:00 a.m. hasta las 22:00 p.m. en la rotonda más crítica (Rotonda San Martín), al ingreso del puente San Martín.

Para el procedimiento de volúmenes:

Con las horas picos ya definidas se procedió a realizar el aforo de volúmenes en las 3 horas correspondientes de cada día, dos días hábiles y un día no hábil (11:00-12:00, 15:00-16:00, 18:00-19:00), ubicándose en cada acceso de la rotonda anotando la clasificación correspondiente

Para el procedimiento de velocidades:

Para sacar la velocidad de punta se analizó los dos (2) puntos más críticos de los accesos de la rotonda San Martín, donde se midió una distancia pasando la rotonda se marcó los 25 metros, y se comenzó a cronometrar los tiempos que tardan en pasar cada 5 vehículos el vehicular en dicha distancia marcada, durante las mismas horas ya mencionadas

Para sacar la velocidad de recorrido se tomó en cuenta 2 tramo que conectan la zona central con la zona noroeste, el primer tramo inicia al ingreso del puente San Martín, y recorre hasta el Mirador Héroes de la Independencia, el segundo tramo inicia a la entrada del Puente Bicentenario, hasta terminación de la calle Zulema Bass Wener de Ruiz y Av. José María Avilés

### 3.4.2. Aforos

La aforación se hizo de forma manual, tanto para volúmenes y velocidades, con personal adecuado ya que el conteo será complicado y moroso.

El proceso de aforo manual lo hizo un observador que anota los vehículos que pasan por la vía designada en los puntos de observación más clara en los accesos de entrada y salida de la rotonda, en una planilla de aforo se realizó la clasificación de los vehículos en pesado, mediano, liviano y particular y público, según corresponde.

### 3.4.3. Resultados

#### 3.4.3.1. Resultado horas pico

La variación diaria, se realizó tomando en cuenta las horas pico, para lo cual se efectuó la medición del día miércoles, desde las 6:00 de la mañana hasta las 22:00 p.m., esto con el fin de obtener las horas de mayor congestión vehicular que nos ayudaran a realizar el aforo de volumen y velocidad, para ello se tabuló la siguiente tabla y gráfica, que representa los volúmenes cada hora:

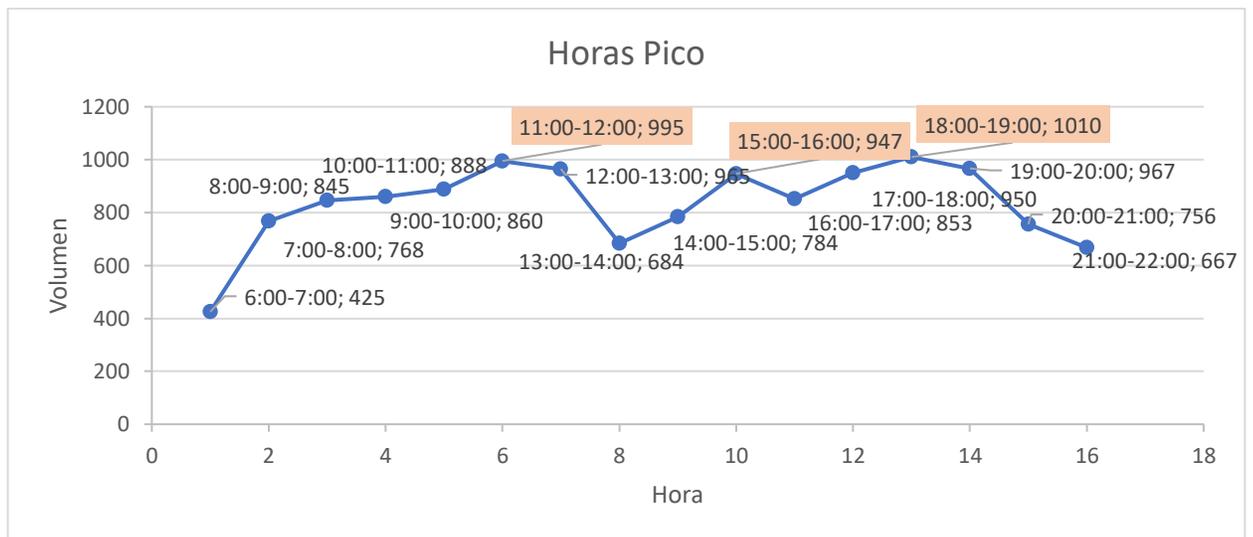
**Tabla 11:** Detalle de horas pico

<b>Horas</b>	<b>Volumen</b>
6:00-7:00	425
7:00-8:00	768
8:00-9:00	845
9:00-10:00	860
10:00-11:00	888
11:00-12:00	995
12:00-13:00	965

13:00-14:00	684
14:00-15:00	784
15:00-16:00	947
16:00-17:00	853
17:00-18:00	950
18:00-19:00	1010
19:00-20:00	967
20:00-21:00	756
21:00-22:00	667

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 7:** Gráfico de dispersión de las horas pico



Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

Esta grafica nos muestra el flujo de tráfico en un día hábil, y como este puede variar dependiendo las horas que se tome la medición, de los cuales se consideró 3 horas pico que ayudara en el estudio de tráfico, estas horas son:

11:00-12:00 con un volumen de 995 veh. /hora

15:00-16:00 con un volumen de 947 veh. /hora

18:00-19:00 con un volumen de 1010 veh/hora

Estos datos pueden variar dependiendo del movimiento vehicular que exista, este aforo se realizó a la entrada del puente San Martin.

### **3.4.3.2. Resultados volúmenes de trafico**

#### **- Corrección de volúmenes**

La corrección de volúmenes se realizó con el fin de obtener un valor promedio, para optar al momento de hablar de volúmenes y capacidades, para ello se utilizaron los volúmenes totales de los aforos, así también para el cálculo se aplicó la desviación media y se utilizó los volúmenes que se encuentran en el rango, los volúmenes que se salían del rango fueron depreciados y posteriormente eliminados, con nuestros volúmenes ya establecidos se desarrolló la media aritmética entre los volúmenes para determinar el volumen medio que pasa por ese punto de aforo. Ver Anexo 4 Corrección de volúmenes, en este anexo se encuentra la corrección de volúmenes que se llevó a cabo.

#### **- Volúmenes corregidos**

Los volúmenes que se muestran a continuación, son los volúmenes afectados por un análisis de corrección, y después se determinó la media aritmética de los 3 volúmenes para determinar un solo volumen para los accesos.

- Rotonda San Martin (Av. Víctor Paz Estensoro y calle 15 de Abril)

Punto 1= 902 veh/hr

Punto 2= 733 veh/hr

Punto 3= 844 veh/hr

Punto 4= 641 veh/hr

Punto 5= 54 veh/hr

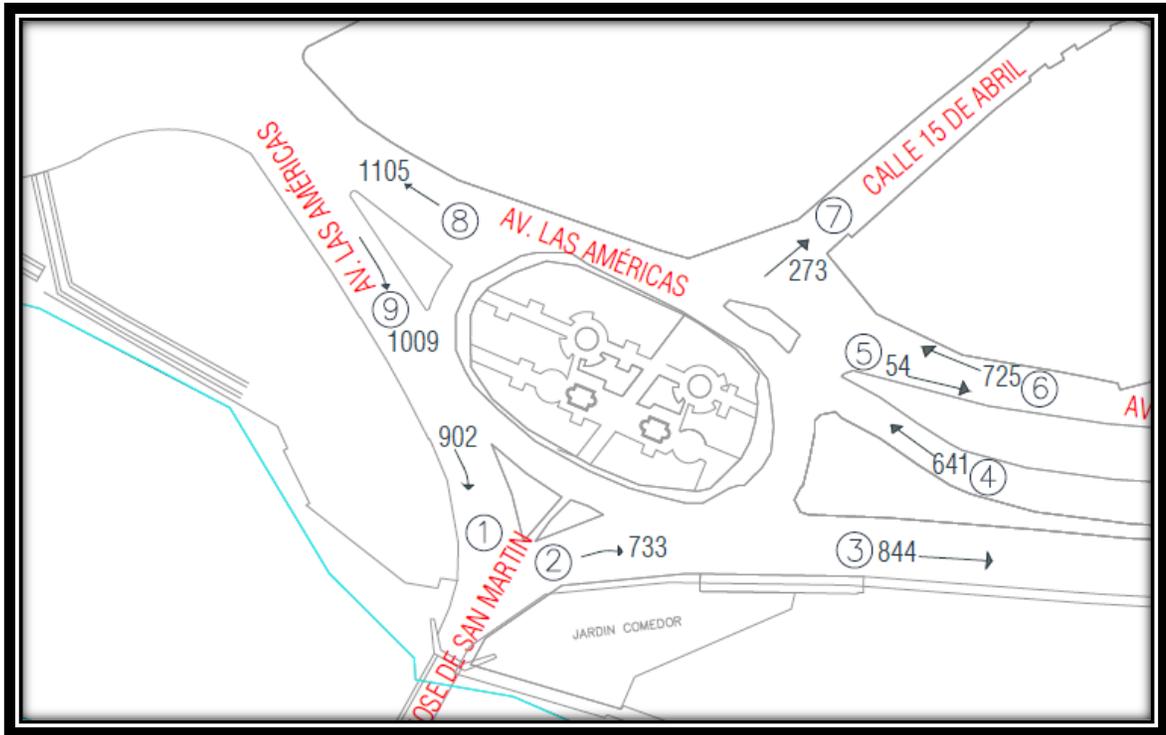
Punto 6= 725 veh/hr

Punto 7= 273veh/hr

Punto 8= 1105 veh/hr

Punto 9= 1009 veh/hr

**Imagen 26:** Volúmenes Rotonda San Martin



Fuente: Elaboración propia

- Rotonda parada San Andrés (Salida del Puente San Martín y Avenida Héroes de la independencia)

Punto 1= 902 veh/hr

Punto 2= 733 veh/hr

Punto 3= 354 veh/hr

Punto 4= 70veh/hr

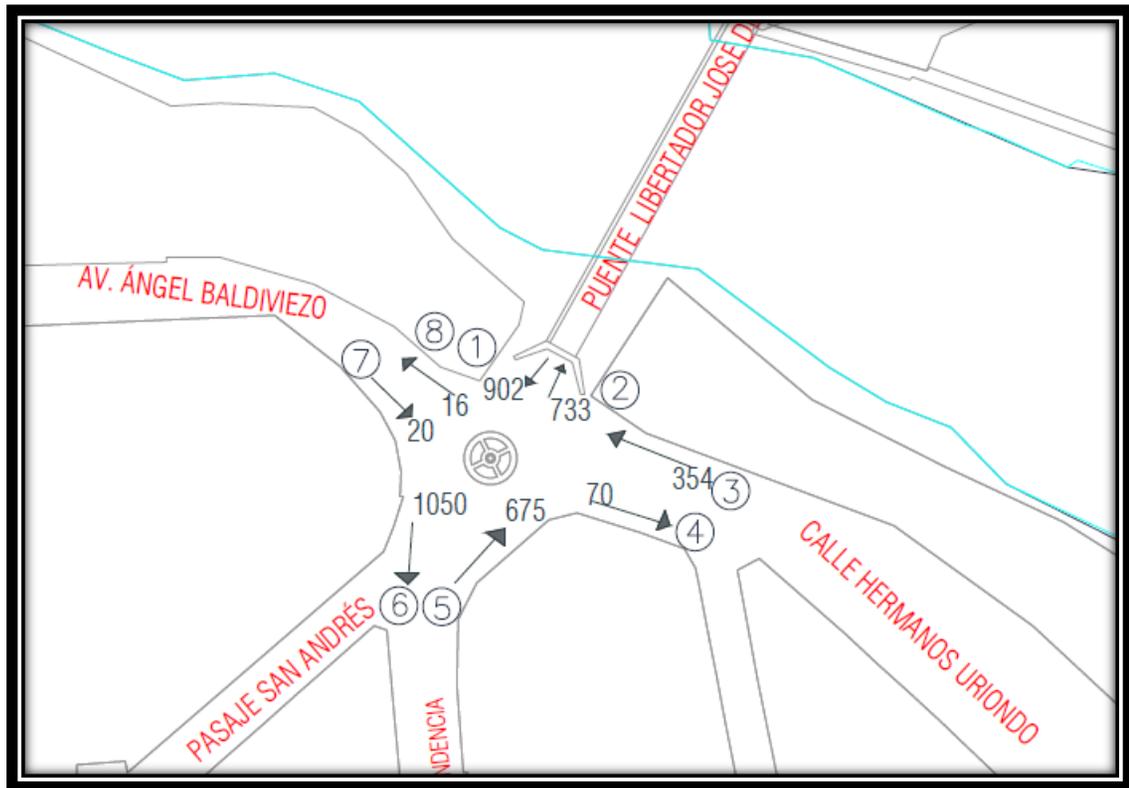
Punto 5= 675 veh/hr

Punto 6= 1050 veh/hr

Punto 7= 20 veh/hr

Punto 8= 16 veh/hr

**Imagen 27:** Volúmenes Rotonda Parada San Andrés



Fuente: Elaboración propia

- Rotonda mercado San Martin (Salida Puente 4 de Julio y Av. La Banda)

Punto 1= 338 veh/hr

Punto 2= 559 veh/hr

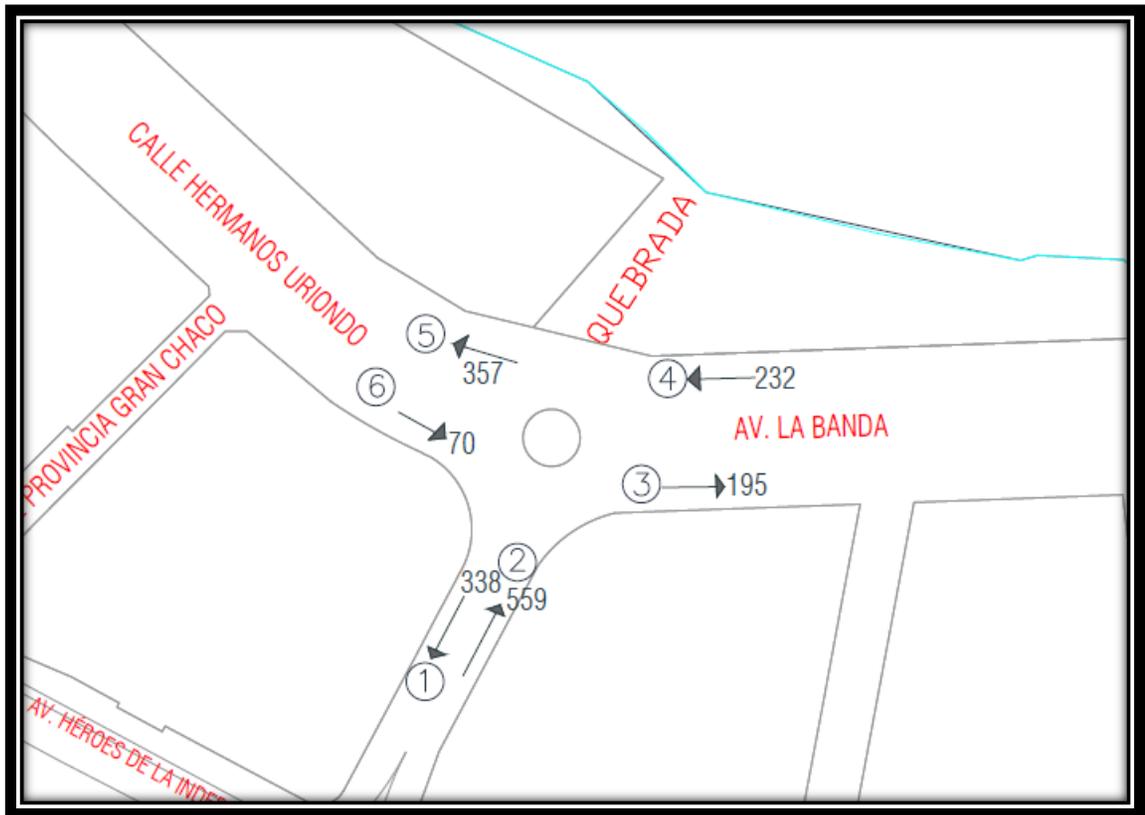
Punto 3= 195 veh/hr

Punto 4= 232 veh/hr

Punto 5= 357 veh/hr

Punto 6= 70 veh/hr

**Imagen 28:** Volúmenes rotonda mercado San Martín



Fuente: Elaboración propia

- Rotonda Plaza de la Juventud (Fuente de los Deseos, ingreso al puente Bicentenario)

Punto 1= 654 veh/hr

Punto 2= 690 veh/hr

Punto 3= 1078 veh/hr

Punto 4= 817 veh/hr

Punto 5= 275 veh/hr

Punto 6= 856 veh/hr

Punto 7= 286 veh/hr

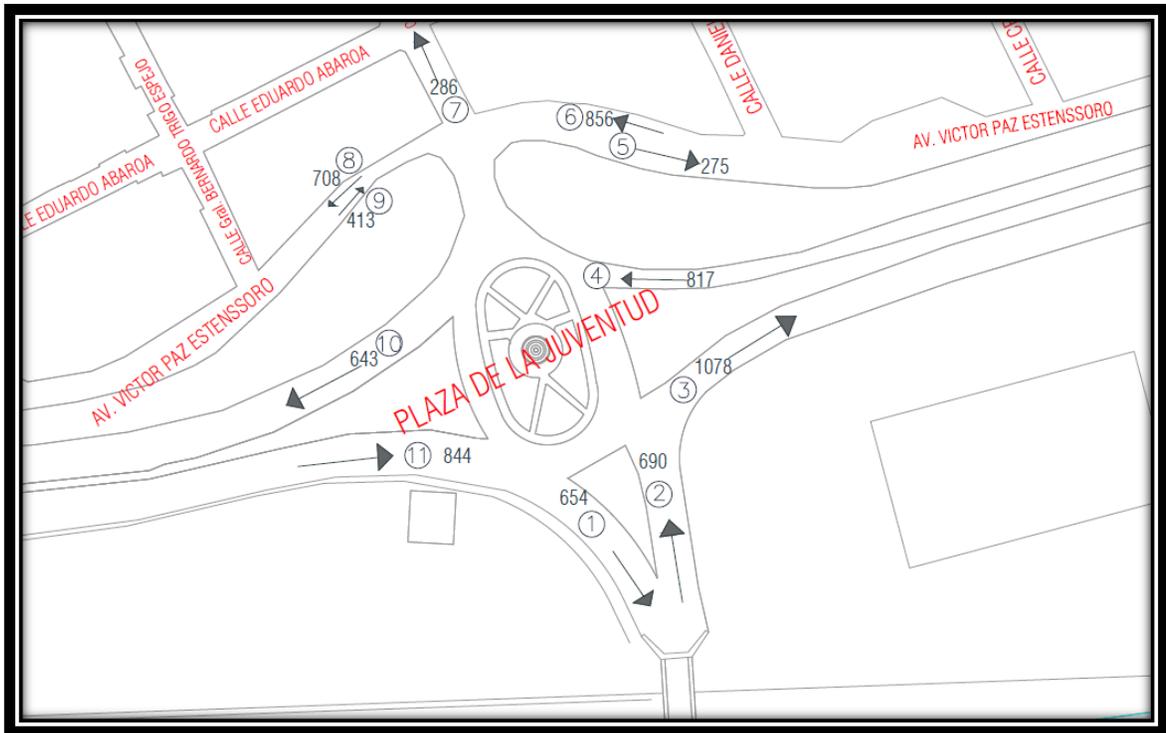
Punto 8= 708 veh/hr

Punto 9= 413 veh/hr

Punto 10= 643 veh/hr

Punto 11= 844 veh/hr

**Imagen 29:** Volúmenes rotonda Plaza de la Juventud



Fuente: Elaboración propia

- Rotonda Av. La Banda (Salida del Puente Bicentenario, y la Avenida la Banda)

Punto 1= 654 veh/hr

Punto 2= 690 veh/hr

Punto 3= 509 veh/hr

Punto 4= 229 veh/hr

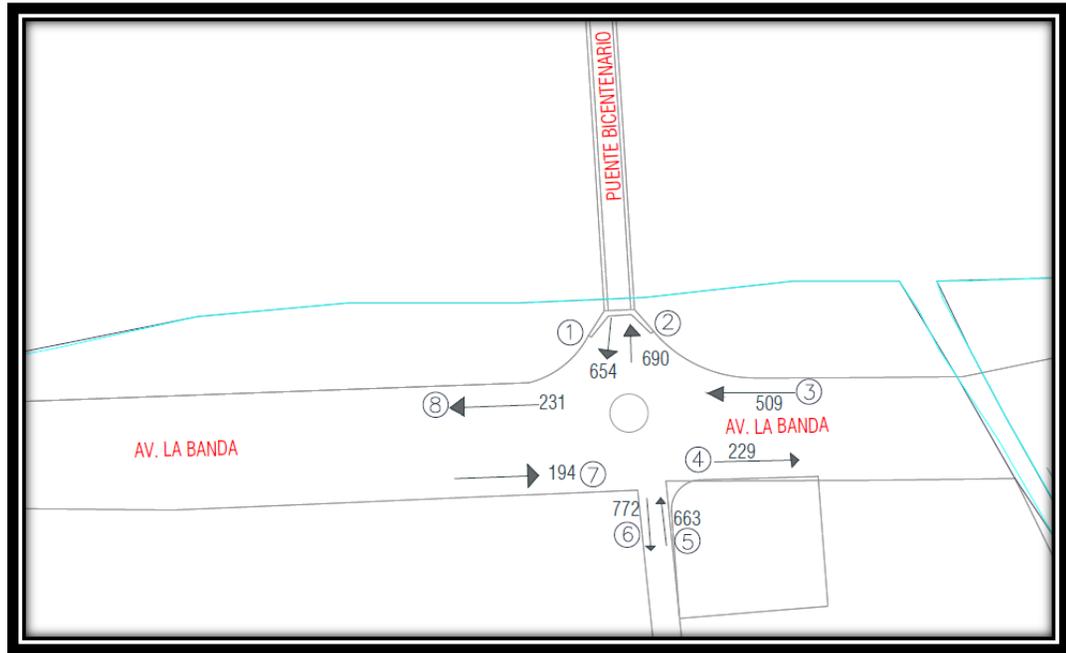
Punto 5= 663 veh/hr

Punto 6= 772 veh/hr

Punto 7= 194 veh/hr

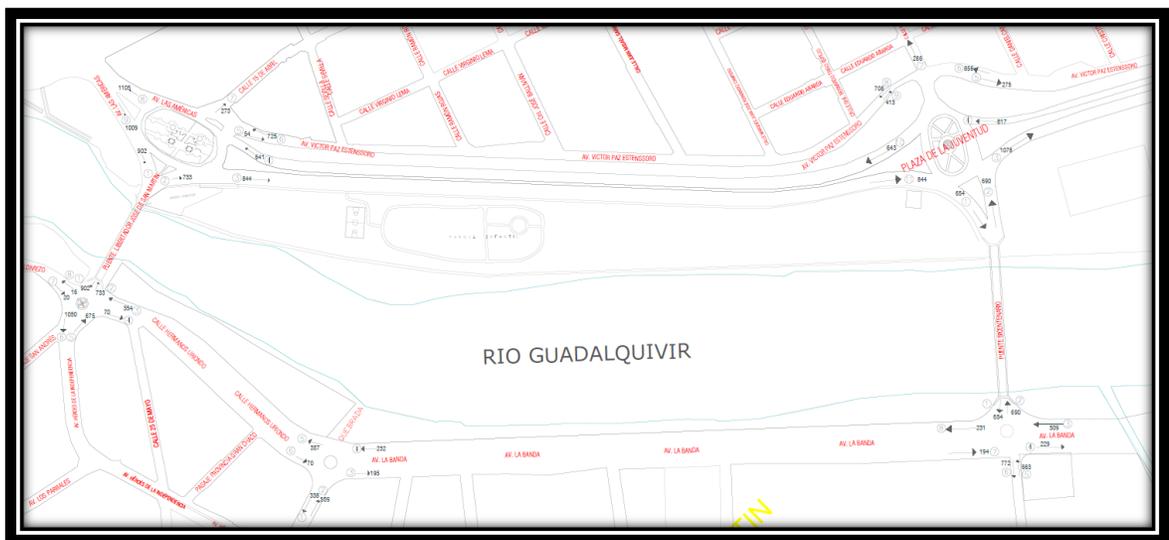
Punto 8= 231 veh/hr

**Imagen 30:** Volúmenes Rotonda Av. La Banda



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 31:** Volúmenes totales



Fuente: Elaboración propia

### 3.4.4. Resultados de velocidad

La velocidad se define a la relación que existe entre una distancia que se recorre y el tiempo en que se tarda en recorrer, en este mismo concepto existen diferentes tipos de velocidades, para nuestro estudio se tomó en cuenta la velocidad de punta, velocidad de recorrido y velocidad de crucero.

#### 3.4.4.1. Velocidad de punta

La velocidad de punta es aquella que se obtiene en una sección de calle, cuyo intervalo de distancia está definida por 25 metros, el punto de aforo de esta velocidad se encuentra ubicada, antes de la intersección en la avenida de acceso al puente 4 de Julio, para lo cual se tomó el aforo cada 5 vehículos. Está definida por la siguiente ecuación:

**Ecuación 6:** Ecuación de velocidad de punta

$$V = \frac{d}{t}$$

Donde:

d= Distancia recorrida

t = Tiempo de circulación

**Tabla 12:** Cuadro de resultados de velocidad

Hora	Distancia (metros)	Tiempo promedio(seg.)	Velocidad (km/h)
11:00-12:00	25	4.31	21.08
15:00-16:00	25	5.01	18.78
18:00-19:00	25	3.48	26.49
<b>Promedio Velocidad (km/h)</b>			22

Fuente: Elaboración propia

La velocidad de punta adoptada es de 22 km/h, para el área de estudio.

### 3.4.4.2. Velocidad de recorrido

La velocidad de recorrido es aquella que se define como la distancia que recorre un tramo definido y el tiempo que tarda en recorrer, tiempo que influye en la circulación y las demoras, es un parámetro que define la fluidez del tráfico, mientras menor velocidad mayor el congestionamiento vehicular, es por eso que definimos 2 tramos, está dado por la siguiente ecuación:

**Ecuación 7:** Ecuación de velocidad de recorrido

$$V_r = \frac{dR}{t_c + t_d}$$

Donde:

dR= Distancia recorrida

t<sub>c</sub> = Tiempo de circulación

t<sub>d</sub> = Tiempo de demoras

- Tramo 1 (Ingreso al puente San Martín hasta Mirador Héroes de la Independencia)

Este tramo tiene 1035 metros de recorrido, se aforo 2 días hábiles y un día no hábil, por 2 semanas, en la hora de mayor tráfico de 18:00-19:00.

**Tabla 13:** Resultados velocidad de recorrido Tramo 1

<b>Tramo puente San Martín hasta Mirador Héroes de la Independencia</b>					
<b>Hora</b>	<b>Distancia (metros)</b>	<b>Tiempo circulación (min)</b>	<b>Tiempo demora (seg)</b>	<b>Tiempo de ciclo (min)</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>
18:00-19:00	1035	2.25	13.25	2.51	25.77
18:00-19:00	1035	2.49	30.5	3.19	19.47
18:00-19:00	1035	2.08	5.1	2.59	23.98

<b>Promedio velocidad (km/h)</b>			23.07
----------------------------------	--	--	-------

Fuente: Elaboración propia

- Tramo 2 (Ingreso al puente Bicentenario hasta la terminación de la calle Zulema Bass Wener de Ruiz y la Av. José María Avilés)

Este tramo tiene 1511 metros de recorrido, se aforo 2 días hábiles y un día no hábil, por 2 semanas, en la hora de mayor tráfico de 18:00-19:00.

**Tabla 14:** Resultados velocidad de recorrido Tramo 2

<b>Tramo puente San Martín hasta Mirador Héroes de la Independencia</b>					
<b>Hora</b>	<b>Distancia (metros)</b>	<b>Tiempo circulación (min)</b>	<b>Tiempo demora (seg)</b>	<b>Tiempo de ciclo (min)</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>
18:00-19:00	1511	2.50	30.03	3.22	19.29
18:00-19:00	1511	2.22	1.32	3.14	19.78
18:00-19:00	1511	2.10	25.18	2.36	26.31
<b>Promedio velocidad (km/h)</b>					23.07

Fuente: Elaboración propia

#### 3.4.4.3. Velocidad de crucero

La velocidad de crucero a la que se registra como la relación de una distancia de recorrido total sobre el tiempo de circulación sin tomar en cuenta las demoras, la ecuación es la siguiente

**Ecuación 8:** Ecuación de velocidad de crucero

$$V_r = \frac{dR}{t_c}$$

Donde:

dR= Distancia recorrida

tc = Tiempo de circulación

- Tramo 1 (Ingreso al puente San Martín hasta Mirador Héroes de la Independencia)

Este tramo tiene 1035 metros de recorrido, se aforo 2 días hábiles y un día no hábil, por 2 semanas, en la hora de mayor tráfico de 18:00-19:00.

**Tabla 15:** Resultados Velocidad de cruceo Tramo 1

<b>Tramo puente San Martín hasta Mirador Héroes de la Independencia</b>			
<b>Hora</b>	<b>Distancia (metros)</b>	<b>Tiempo circulación (min)</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>
18:00-19:00	1035	2.25	27.60
18:00-19:00	1035	2.49	24.94
18:00-19:00	1035	2.08	29.86
<b>Promedio velocidad (km/h)</b>			27.47

Fuente: Elaboración propia

- Tramo 2 (Ingreso al Puente Bicentenario hasta la terminación de la calle Zulema Bass Wener de Ruiz y la Av. José María Avilés)

Este tramo tiene 1511 metros de recorrido, se aforo 2 días hábiles y un día no hábil, por 2 semanas, en la hora de mayor tráfico de 18:00-19:00.

**Tabla 16:** Resultados Velocidad de cruceo Tramo 2

<b>Tramo Puente San Martín hasta Mirador Héroes de la Independencia</b>			
<b>Hora</b>	<b>Distancia (metros)</b>	<b>Tiempo Circulación (min)</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>
18:00-19:00	1511	2.50	27.60
18:00-19:00	1511	2.22	24.94
18:00-19:00	1511	2.10	29.86
<b>Promedio velocidad (km/h)</b>			27.46

Fuente: Elaboración propia

### **3.4.5. Medición de los tiempos de ciclo y fases en semáforos**

En nuestra área de estudio solo 2 rotondas cuentan con un sistema de semaforización.

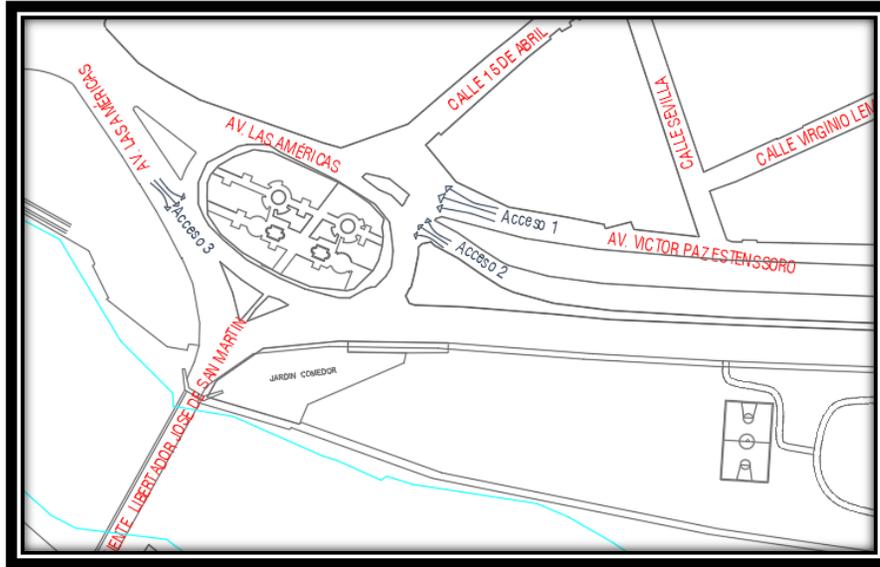
#### **3.4.5.1. Procedimiento**

Al analizar estas rotondas se procedió a anotar los tiempos de ciclo y de fase de cada una de ellas, ya que algunas tienen temporizador y otras se les hizo con cronometro.

### 3.4.5.2. Resultados

- Rotonda San Martín (Av. Víctor Paz Estenssoro y Calle 15 de abril)

**Imagen 32:** Imagen del plano de acceso de la rotonda San Martín



Fuente: Elaboración Propia

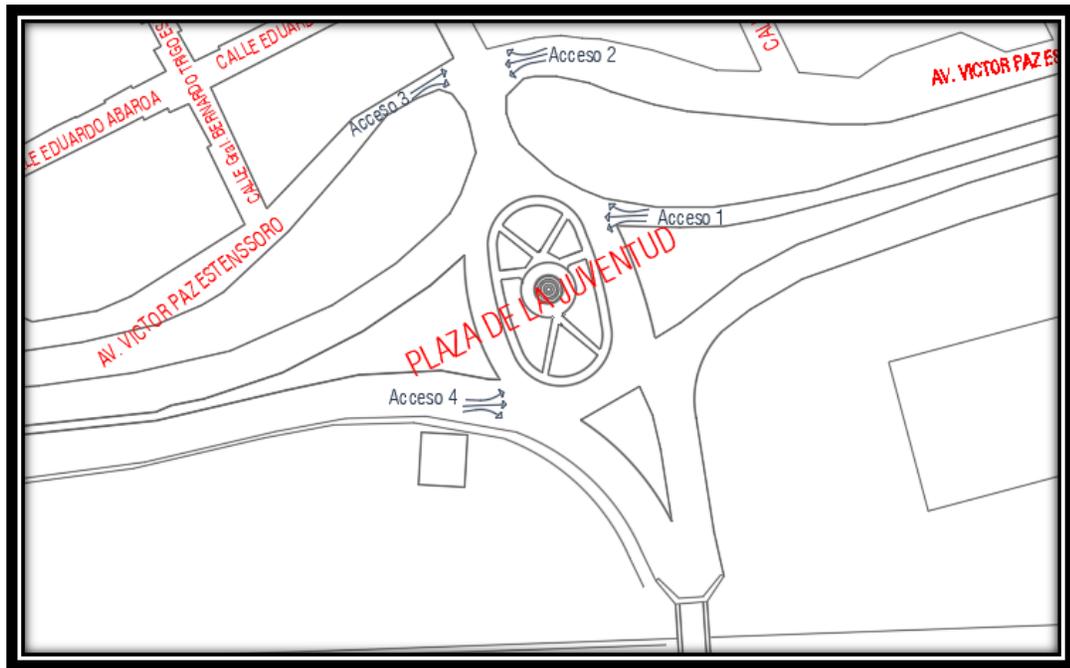
**Tabla 17:** Tiempos de ciclo y tiempo de fase en la rotonda San Martín

Acceso	Tiempo en segundos				
	Amarillo de ida	Amarillo de vuelta	Rojo	Verde	Ciclo
Acceso 1	2	2	35	18	57
Acceso 2	2	2	41	12	57
Acceso 3	2	2	35	18	57

Fuente: Elaboración Propia

- Rotonda Plaza Juventud (Ingreso al puente Bicentenario, Rotonda Fuente de Los Deseos)

**Imagen 33:** Imagen del plano de acceso de la rotonda Plaza Juventud



Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 18:** Tiempos de ciclo y tiempo de fase en la rotonda Plaza Juventud

Acceso	Tiempo en segundos				
	Amarillo de ida	Amarillo de vuelta	Rojo	Verde	Ciclo
Acceso 1	2	2	23	32	59
Acceso 2	2	2	23	32	59
Acceso 3	2	2	32	23	59
Acceso 4	2	2	32	23	59

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.6. Determinación de la capacidad vehicular y nivel de servicio

El método que se utilizara para determinar la capacidad en vías interrumpidas y accesos urbanos, es mediante el Método HCM, en la circulación de esta vía, existen una serie de factores que producen paralización y demoras en la circulación haciéndose el tráfico interrumpido.

#### 3.4.6.1. Procedimiento

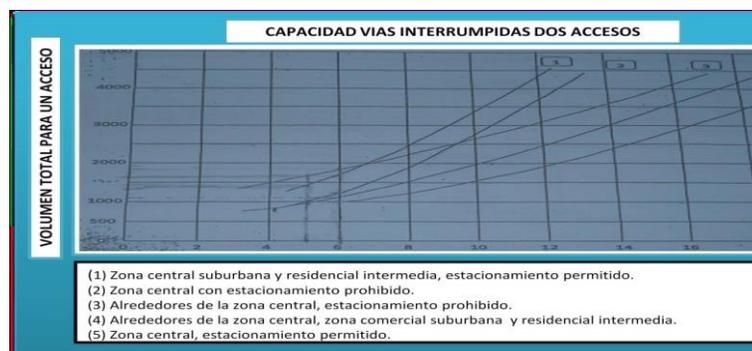
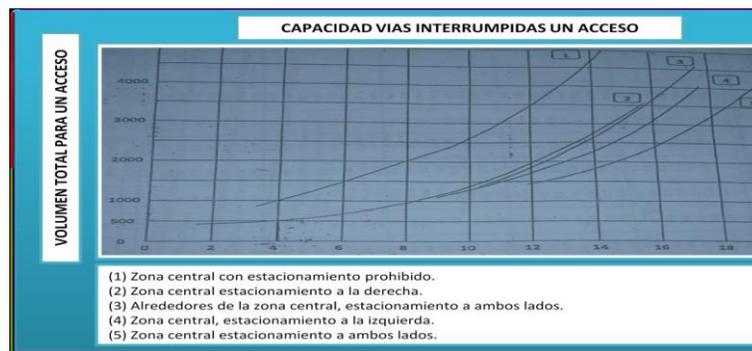
Este método tiene la siguiente ecuación:

$$\text{Cap. real} = \text{Cap. basica} * \text{coef. practico} * \text{factores de reduccion}$$

**Paso 1:** Registramos los volúmenes vehiculares, colocando el sentido del flujo (derecho, de frente, izquierdo)

**Paso 2:** Determinamos la capacidad básica, tomando en cuenta los datos de la zona de la vía, las características del área y el ancho de acceso. Este dato se determina del ábaco.

**Imagen 34:** Abaco para determinar la Capacidad Básica



Fuente: Elaboración propia

**Paso 3:** Tomando en cuenta el comportamiento de la vía, determinamos los coeficiente o factores de corrección aplicando lo siguiente:

Para este caso se determina primeramente la capacidad teórica en el ábaco correspondiente y se hacen las siguientes reducciones.

a) Las capacidades prácticas en promedio son un 10% más bajas a los valores dados por el ábaco

b) Sustraer un 1% por cada 1% que los ómnibus son y camiones pasen del 10% del número total de vehículos.

c) Sustraer un 0.5% por cada 1% es que el transito que gira a la derecha pasa del 10% del tránsito total.

Sustraer un 1% por cada 1 % en que el transito que gira a la izquierda pasa del 10% del volumen total.

d) Por paradas de ómnibuses antes de la intersección restar el 10% por parada de ómnibuses después de la intersección, restar 5% en zonas centrales y 10% en zonas intermedias

e) Por estacionamientos permitidos restar 1.80 metros del ancho del acceso y luego hacer las correcciones ya indicadas.

**Paso 4:** Seguidamente se aplica la siguiente formula, y esta sería la capacidad real del acceso

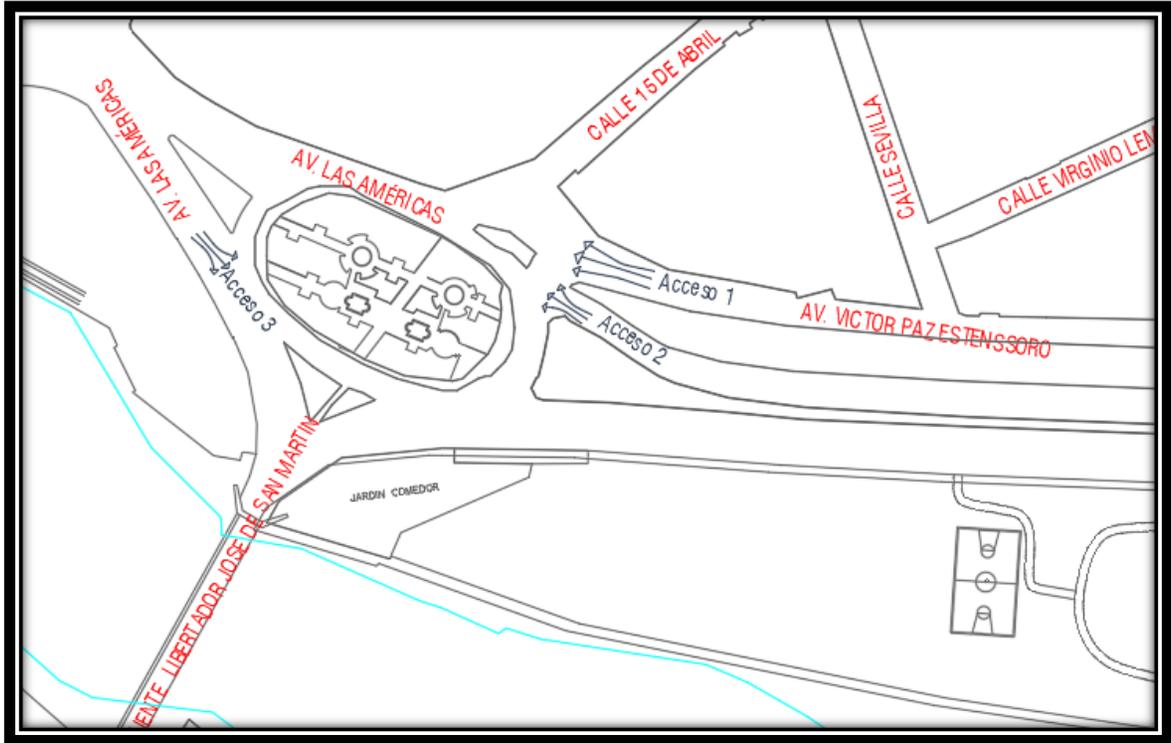
$$\text{Cap. Real} = \text{Cap. basica} * \text{coef. practico} * \text{factores de reduccion}$$

El Coeficiente Practico es 0.9 por el método correspondiente.

### 3.4.6.2. Resultados capacidad y nivel de servicio

- **Rotonda San Martin**

**Imagen 35:** Imagen del plano de acceso de la rotonda San Martin



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 19:** Tabla de capacidad básica

<b>Accesos</b>	<b>Número de carriles</b>	<b>Ancho de carril</b>	<b>Zona con estacionamiento</b>
Acceso 1	2	4.5	No
Acceso 2	1	3.60	No
Acceso 3	1	4.5	No

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20:** Tabla de capacidad real

Accesos	Cap. básica	% de movimiento de volumen			% VP	Factor de reducción			Coef. practico	Cap. real (veh/hr)
		GI	F	GD		Fvp	Fgd	Fgi		
Acceso 1	1650	15	70	15	0	1	0.975	0.975	0.90	1448
Acceso 2	950	10	89	1	4	1	1	1	0.90	855
Acceso 3	1200	5	70	25	4	1	0.90	1	0.90	972

Fuente: Elaboración propia

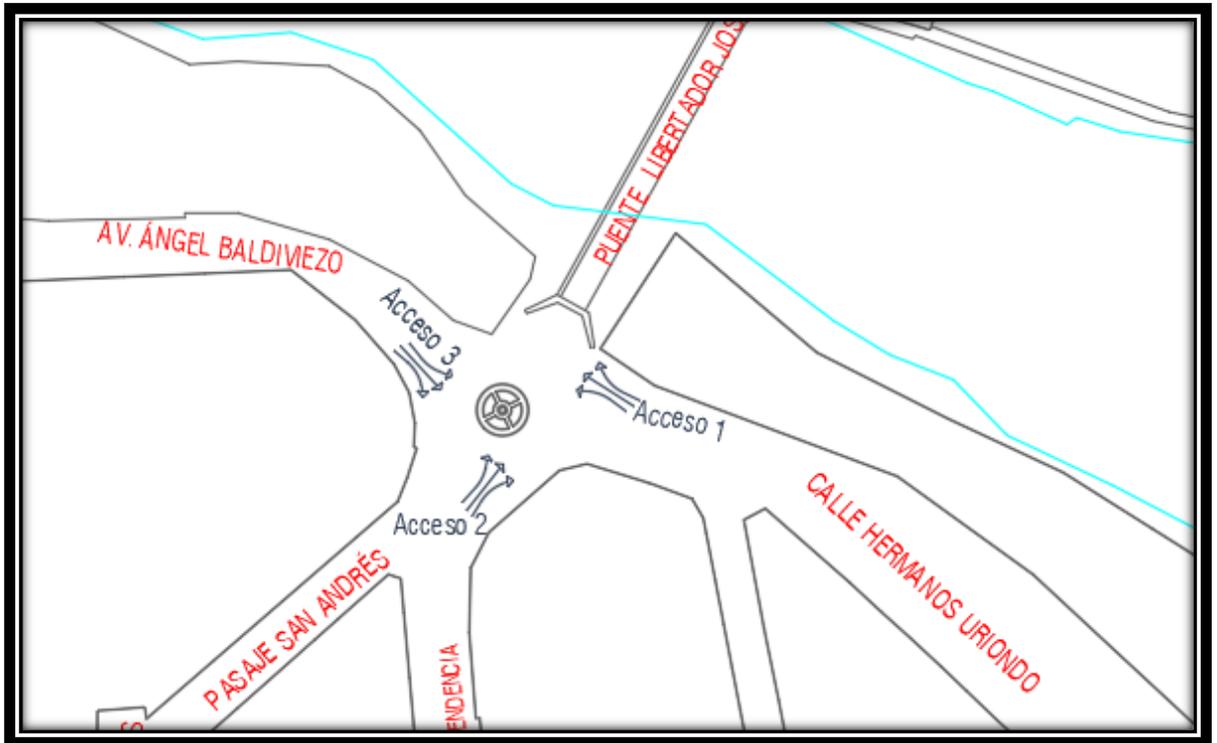
**Tabla 21:** Tabla de nivel de servicio

Acceso	Volumen "V" (veh/h)	Capacidad real "C" (veh/hora)	V/C	Nivel de Servicio
Acceso 1	725	1448	0.50	Nivel C
Acceso 2	641	855	0.75	Nivel D
Acceso 3	1009	972	1.03	Nivel E

Fuente: Elaboración propia

- **Rotonda Parada San Andrés**

**Imagen 36:** Imagen del plano de acceso de la rotonda San Andrés



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22:** Tabla de capacidad básica

<b>Accesos</b>	<b>Número de carriles</b>	<b>Ancho de carril</b>	<b>Zona con estacionamiento</b>
Acceso 1	1	3.60	No
Acceso 2	1	3.30	No
Acceso 3	1	4.80	SI

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 23:** Tabla de capacidad real

Accesos	Cap. básica	% de movimiento de volumen			% VP	Factor de reducción			Coef. practico	Cap. real (veh/hr)
		GI	F	GD		Fvp	Fgd	Fgi		
Acceso 1	1700	18	2	85	0	1	0.65	0.92	0.90	915
Acceso 2	1100	0	94	6	1	1	1	1	0.90	990
Acceso 3	950	1	89	10	0	1	1	1	0.90	855

Fuente: Elaboración propia

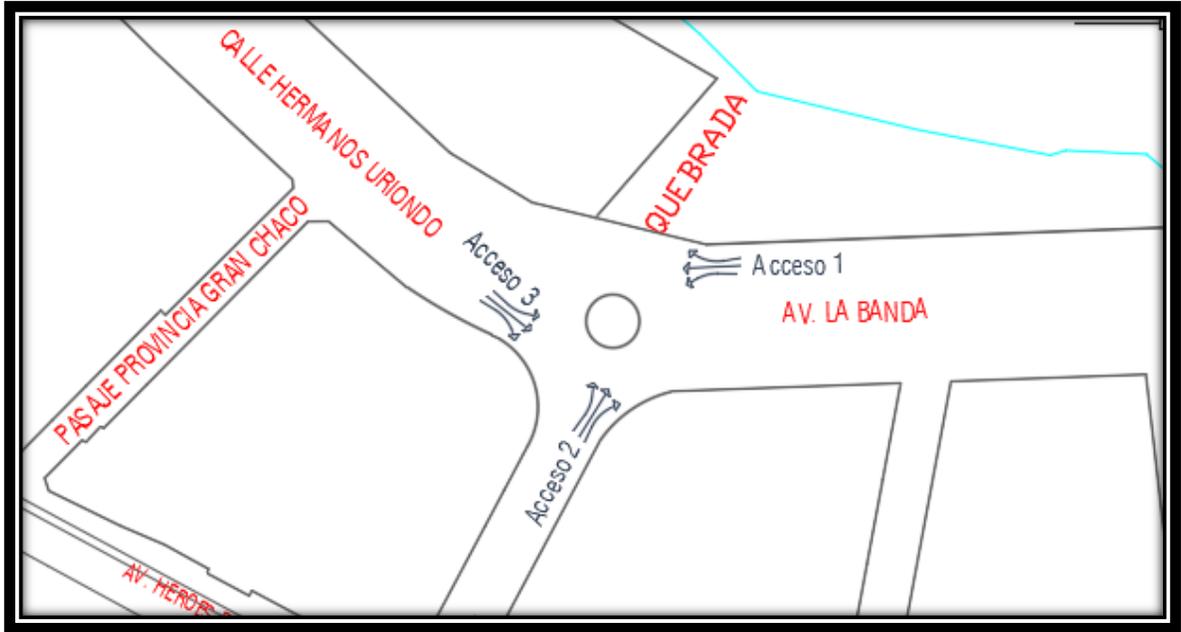
**Tabla 24:** Tabla de nivel de servicio

Acceso	Volumen "V" (veh/h)	Capacidad real "C" (veh/hora)	V/C	Nivel de servicio
Acceso 1	354	915	0.38	Nivel C
Acceso 2	675	990	0.68	Nivel D
Acceso 3	20	885	0.02	Nivel A

Fuente: Elaboración propia

- **Rotonda mercado San Martín**

**Imagen 37:** Imagen del plano de acceso de la rotonda mercado San Martín



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 25:** Tabla de capacidad básica

<b>Accesos</b>	<b>Número de carriles</b>	<b>Ancho de carril</b>	<b>Zona con estacionamiento</b>
Acceso 1	1	3.30	Si
Acceso 2	1	3.10	Si
Acceso 3	1	3.60	Si

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 26:** Tabla de capacidad real

Accesos	Cap. Básica	% de movimiento de volumen			% VP	Factor de Reducción			Coef. practico	Cap. Real (veh/hr)
		GI	F	GD		Fvp	Fgd	Fgi		
Acceso 1	900	35	65	0	0	1	1	0.75	0.90	608
Acceso 2	800	5	45	60	0	1	0.75	1	0.90	540
Acceso 3	950	1	75	24	0	1	0.975	1	0.90	834

Fuente: Elaboración propia

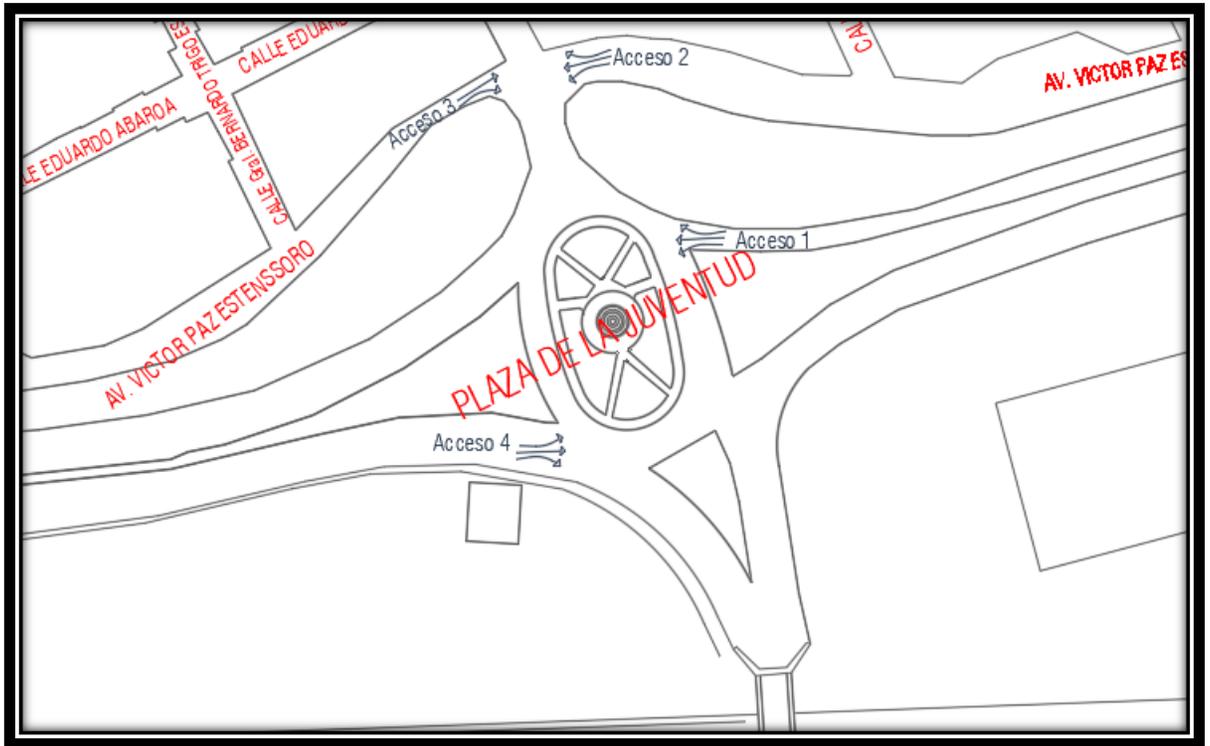
**Tabla 27:** Tabla de nivel de servicio

Acceso	Volumen "V" (veh/h)	Capacidad real "C" (veh/hora)	V/C	Nivel de servicio
Acceso 1	232	608	0.38	Nivel D
Acceso 2	559	540	1.03	Nivel E
Acceso 3	70	834	0.08	Nivel A

Fuente: Elaboración propia

- **Rotonda Plaza de la Juventud**

**Imagen 38:** Imagen del plano de acceso de la rotonda Plaza Juventud



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 28:** Tabla de capacidad básica

<b>Accesos</b>	<b>Número de carriles</b>	<b>Ancho de carril</b>	<b>Zona con estacionamiento</b>
Acceso 1	1	3.60	No
Acceso 2	2	4.5	No
Acceso 3	2	4.5	No
Acceso 4	1	3.80	Si

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 29:** Tabla de capacidad real

Accesos	Cap. básica	% de movimiento de volumen			% VP	Factor de reducción			Coef. practico	Cap. real (veh/hr)
		GI	F	GD		Fvp	Fgd	Fgi		
Acceso 1	1900	10	60	30	4	1	0.9	1	0.90	1539
Acceso 2	2400	59	40	1	0	1	1	0.75	0.90	1630
Acceso 3	2400	0	0	100	0	1	0.55	1	0.90	1188
Acceso 4	1800	15	80	5	0	1	0.975	1	0.9	1580

Fuente: Elaboración Propia

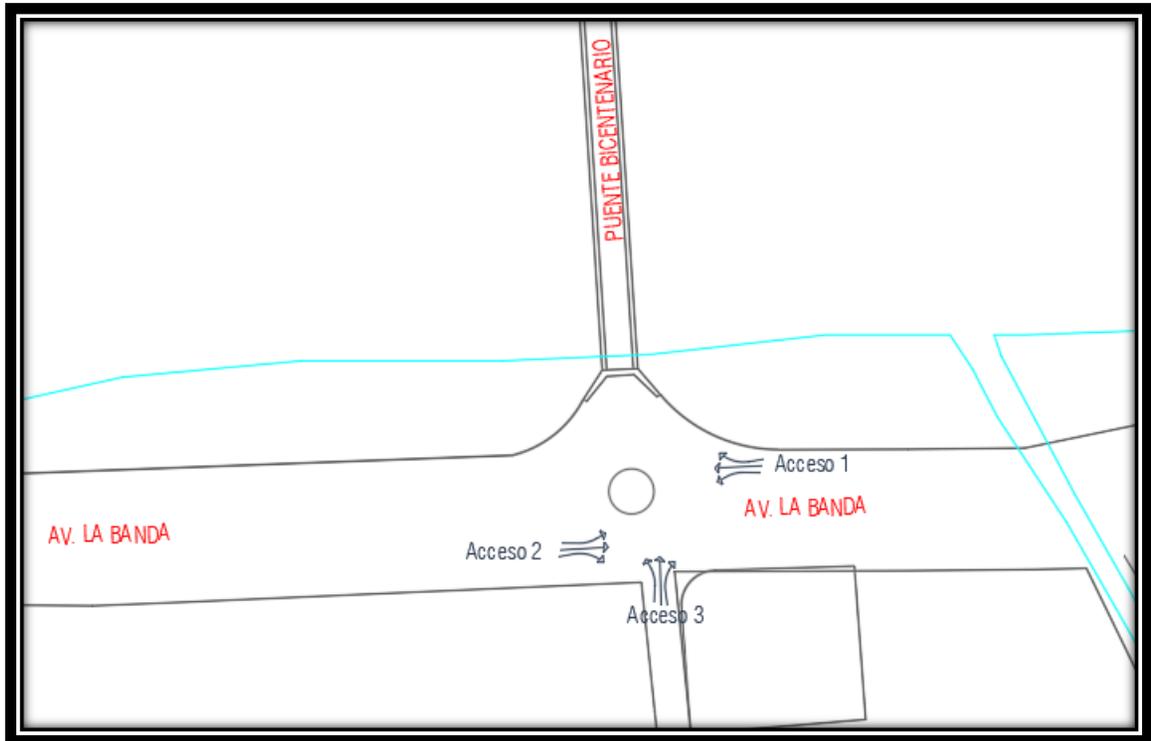
**Tabla 30:** Tabla de nivel de servicio

Acceso	Volumen "V" (veh/h)	Capacidad real "C" (veh/hora)	V/C	Nivel de servicio
Acceso 1	817	1539	0.53	Nivel D
Acceso 2	856	1630	0.53	Nivel D
Acceso 3	413	1188	0.35	Nivel C
Acceso 4	418	1580	0.26	Nivel B

Fuente: Elaboración propia

- **Rotonda Av. La Banda**

**Imagen 39:** Imagen del plano de acceso de la rotonda Av. La Banda



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 31:** Tabla de capacidad básica

<b>Accesos</b>	<b>Número de carriles</b>	<b>Ancho de carril</b>	<b>Zona con estacionamiento</b>
Acceso 1	1	4.50	Si
Acceso 2	1	3.30	Si
Acceso 3	2	7.20	Si

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 32:** Tabla de capacidad real

Accesos	Cap. básica	% de movimiento de volumen			% VP	Factor de reducción			Coef. practico	Cap. Real (veh/hr)
		GI	F	GD		Fvp	Fgd	Fgi		
Acceso 1	1100	10	57	33	0	1	0.885	1	0.90	876
Acceso 2	600	5	83	12	1	1	1	0.97	0.90	524
Acceso 3	2500	13	82	5	0	1	0.99	1	0.90	2180

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 33:** Tabla de nivel de servicio

Acceso	Volumen "V" (veh/h)	Capacidad real "C" (veh/hora)	V/C	Nivel de servicio
Acceso 1	509	876	0.58	Nivel D
Acceso 2	194	524	0.37	Nivel C
Acceso 3	663	2180	0.30	Nivel C

Fuente: Elaboración propia

### 3.5. Volúmenes y nivel de servicio futuros

Para analizar el comportamiento de tráfico en un tiempo futuro, es decir en 10 años, se realizó una predicción sobre el volumen actual, aplicando la siguiente formula:

**Ecuación 9:** Ecuación de volumen futuro

$$V_f = V_a * \left(1 + \left(\frac{i}{100}\right)^T\right)$$

Donde:

V<sub>f</sub>= Volumen futuro

V<sub>a</sub>= Volumen actual

i = Índice de crecimiento (1.5)

T= Tiempo en años

Con este dato de volumen futuro, podemos calcular el nivel de servicio futuro que se tendrá, tomando en cuenta la capacidad actual, ya que esta se mantiene constante.

- **Rotonda San Martin**

**Tabla 34:** Tabla de nivel de servicio futuro

<b>Acceso</b>	<b>Capacidad real "C" (veh/hora)</b>	<b>Volumen "V" (veh/h)</b>	<b>Volumen futuro "Vf" (veh/h)</b>	<b>Vf/C</b>	<b>Nivel de servicio actual</b>	<b>Nivel de servicio futuro</b>
Acceso 1	1448	725	842	0.58	Nivel C	Nivel D
Acceso 2	855	641	734	0.85	Nivel D	Nivel E
Acceso 3	972	1009	1170	1.20	Nivel E	Nivel F

Fuente: Elaboración propia

- **Rotonda parada San Andrés**

**Tabla 35:** Tabla de nivel de servicio futuro

<b>Acceso</b>	<b>Capacidad real “C” (veh/hora)</b>	<b>Volumen “V” (veh/h)</b>	<b>Volumen futuro “Vf” (veh/h)</b>	<b>Vf/C</b>	<b>Nivel de servicio actual</b>	<b>Nivel de servicio futuro</b>
Acceso 1	995	354	411	0.41	Nivel C	Nivel C
Acceso 2	990	675	784	0.80	Nivel D	Nivel E
Acceso 3	855	20	23	0.02	Nivel A	Nivel A

Fuente: Elaboración propia

- **Rotonda mercado San Martin**

**Tabla 36:** Tabla de nivel de servicio futuro

<b>Acceso</b>	<b>Capacidad real “C” (veh/hora)</b>	<b>Volumen “V” (veh/h)</b>	<b>Volumen futuro “Vf” (veh/h)</b>	<b>Vf/C</b>	<b>Nivel de servicio actual</b>	<b>Nivel de servicio futuro</b>
Acceso 1	608	232	270	0.44	Nivel C	Nivel C
Acceso 2	540	559	649	1.20	Nivel E	Nivel F
Acceso 3	834	70	81	0.09	Nivel A	Nivel A

Fuente: Elaboración propia

- **Rotonda Plaza de la Juventud**

**Tabla 37:** Tabla de nivel de servicio futuro

Acceso	Capacidad real "C" (veh/hora)	Volumen "V" (veh/h)	Volumen futuro "Vf" (veh/h)	Vf/C	Nivel de servicio actual	Nivel de servicio futuro
Acceso 1	1539	817	949	0.61	Nivel D	Nivel D
Acceso 2	1630	856	994	0.61	Nivel D	Nivel D
Acceso 3	1188	413	479	0.40	Nivel C	Nivel C
Acceso 4	1580	418	485	0.30	Nivel B	Nivel C

Fuente: Elaboración propia

- **Rotonda Av. La Banda**

**Tabla 38:** Tabla de nivel de servicio futuro

Acceso	Capacidad real "C" (veh/hora)	Volumen "V" (veh/h)	Volumen futuro "Vf" (veh/h)	Vf/C	Nivel de servicio actual	Nivel de servicio futuro
Acceso 1	876	509	590	0.67	Nivel D	Nivel E
Acceso 2	524	194	225	0.43	Nivel C	Nivel C
Acceso 3	2180	663	769	0.35	Nivel C	Nivel C

Fuente: Elaboración propia

### 3.6. Análisis de Resultados

La relación de nivel de servicio aceptado en nuestro estudio es hasta el nivel F, donde se tiene un retraso de 45 a 60 segundos por vehículo, ya que se tiene un número significativo de vehículos parados.

- **Rotonda San Martín**

Con los resultados, esta rotonda tiene un acceso que no cumple con la relación de  $v/c$ , donde son mayores a 1, y el valor aceptable de dicha relación es menor a 1, lo que significa que se encuentra congestionada, dando como resultado velocidades inferiores a la velocidad de diseño, y el flujo es muy irregular. Se puede observar la formación de largas colas y paradas constantes, avances cortos. También condiciones sumamente adversas de la vía pueden hacer que se alcancen velocidades e irregularidades en el movimiento de los vehículos.

Realizando la comparación entre un nivel de servicio actual, con un nivel de servicio a futuro, nos damos cuenta que la congestión vehicular será aún mayor, es por ello que necesitamos nuevos accesos de tránsito.

**Tabla 39:** Tabla de nivel de servicio futuro

<b>Acceso</b>	<b>Volumen “V” (veh/h)</b>	<b>V/C “Actual”</b>	<b>Volumen Futuro “Vf” (veh/h)</b>	<b>Vf/C “Futuro”</b>	<b>Nivel de Servicio Actual</b>	<b>Nivel de Servicio Futuro</b>
Acceso 1	725	0.50	842	0.58	Nivel C	Nivel D
Acceso 2	641	0.75	734	0.85	Nivel D	Nivel E
Acceso 3	1009	1.03	1170	1.20	Nivel E	Nivel F

Fuente: Elaboración propia

El nivel de servicio actual en esta rotonda está entre nivel C y E, e indica la aceptación de las demoras de los conductores, donde el flujo todavía es estable y se presenta restricciones de geometría y pendiente, pero se encuentran cerca de ocasionar congestión vehicular.

El acceso 1 y 2 cuentan con semáforo, y se encuentran en un nivel C y D.

El nivel de servicio futuro en esta rotonda está entre el nivel D y F, ello significa que en estas condiciones es imposible adelantar, por lo que los niveles de libertad y comodidad son bajos, la circulación es inestable, ya que tiene perturbaciones al tránsito que causan congestión vehicular.

- **Rotonda parada San Andrés**

En esta rotonda la relación v/c son menores a 1, ello quiere decir que la demanda actual no excede la capacidad, sin embargo, el acceso 2 es la que tiene mayor porcentaje de relación, por lo que esta vía puede ser problemática, dicho acceso conecta la zona Noroeste con el Puente San Martín.

Esta rotonda no cuenta con un sistema de semaforización por lo que no se vio necesario. Considerando el volumen de tráfico que transita por la intersección rotatoria.

**Tabla 40:** Tabla de nivel de servicio futuro

<b>Acceso</b>	<b>Volumen “V” (veh/h)</b>	<b>V/C</b>	<b>Volumen futuro “Vf” (veh/h)</b>	<b>Vf/C</b>	<b>Nivel de servicio actual</b>	<b>Nivel de servicio futuro</b>
Acceso 1	354	0.38	411	0.41	Nivel C	Nivel C
Acceso 2	675	0.68	784	0.80	Nivel D	Nivel E
Acceso 3	20	0.02	23	0.02	Nivel A	Nivel A

Fuente: Elaboración propia

El nivel de servicio actual que tiene esta rotonda esta entre el nivel de servicio de A y D, lo que significa que representa condiciones medias cuando el flujo es estable o empiezan a presentarse restricciones de geometría y pendiente.

El nivel de servicio a futuro que tiene esta rotonda esta entre el nivel de servicio A y E, lo que significa que en un acceso el flujo es libre y las condiciones son adecuadas, sin embargo, considerando el otro extremo nos muestra un flujo conflictivo, donde tiene velocidades bajas y es imposible adelantar, por lo que los niveles de libertad y comodidad son bajas, la circulación es inestable causando congestiones vehiculares.

- **Rotonda mercado San Martín**

Con los resultados obtenidos en el nivel de servicio podemos decir que dos (2) de los accesos cumplen con la relación v/c, donde la demanda actual no excede la capacidad, sin

embargo, el acceso 2, la relación  $v/c$  es mayor a 1, lo que significa que el volumen de demanda es superior a la capacidad de la vía y se rompe la continuidad del flujo.

**Tabla 41:** Tabla de Nivel de servicio Futuro

<b>Acceso</b>	<b>Volumen “V” (veh/h)</b>	<b>V/C</b>	<b>Volumen Futuro “Vf” (veh/h)</b>	<b>Vf/C</b>	<b>Nivel de Servicio Actual</b>	<b>Nivel de Servicio Futuro</b>
Acceso 1	232	0.38	270	0.44	Nivel C	Nivel C
Acceso 2	559	1.03	649	1.20	Nivel E	Nivel F
Acceso 3	70	0.08	81	0.09	Nivel A	Nivel A

Fuente: Elaboración Propia

El nivel de servicio actual podemos observar que en el acceso 3 tiene un nivel A, lo que significa que en esta vía el flujo es libre y las especificaciones geométricas son las adecuadas, pudiendo utilizar la velocidad que deseen, sin embargo, en el acceso 1 y 3 tienen un nivel de servicio C y E, lo que significa que el flujo es todavía estable y se presenta restricciones de geometría y pendiente, anulando así la libertad para cambio de velocidades dentro de la corriente vehicular.

El nivel de servicio futuro podemos observar que el acceso 1 se mantiene con un nivel de servicio A, lo que significa que se mantendrá un flujo estable, favoreciendo así a la libertad que tendrá el conductor, pudiendo utilizar varias velocidades. En cuanto al acceso 1 el nivel de servicio se mantiene en C, lo que nos indica que presenta condiciones medias cuando el flujo es estable, empiezan a presentarse restricciones geométricas y de pendiente, y la libertad para conducir se encuentra afectada. Para el acceso 3 podemos observar que el nivel de servicio aumento a un nivel F, indicándonos una circulación congestionada, cuando el volumen de la demanda es superior a la capacidad de la vía y esta rompe la continuidad del flujo, cuando esto sucede las velocidades son inferiores a la velocidad de capacidad y el flujo es irregular, este nivel de servicio es el más crítico por lo que se recomienda aliviar la congestión vehicular de la zona.

- **Rotonda Plaza de la Juventud**

En esta rotonda los resultados de la relación v/c son menores a 1, ello quiere decir que sus movimientos están adecuados y los tiempos de semáforo en los accesos cumplen con la distribución de verde.

**Tabla 42:** Tabla de Nivel de servicio Futuro

<b>Acceso</b>	<b>Volumen “V” (veh/h)</b>	<b>V/C</b>	<b>Volumen Futuro “Vf” (veh/h)</b>	<b>Vf/C</b>	<b>Nivel de Servicio Actual</b>	<b>Nivel de Servicio Futuro</b>
Acceso 1	817	0.53	949	0.61	Nivel D	Nivel D
Acceso 2	856	0.53	994	0.61	Nivel D	Nivel D
Acceso 3	413	0.35	479	0.40	Nivel C	Nivel C
Acceso 4	418	0.26	485	0.30	Nivel B	Nivel C

Fuente: Elaboración propia

El nivel de servicio actual se encuentra entre B y D, lo que significa que el nivel B, empiezan a aparecer restricciones al flujo libre o las especificaciones geométricas reducen algo de velocidad, la libertad para conducir facilita la maniobra dentro de una corriente vehicularse ven disminuidas, al ocurrir ligeras interferencias con otros vehículos o existir condiciones de vía que ofrecen pocas restricciones. El nivel de servicio D es el otro caso extremo e indica que el flujo todavía es estable y se presenta restricciones de geometría y pendiente, no existe la libertad para conducir con la velocidad deseada dentro de la corriente vehicular se ve afectada por presentar interferencias tolerables con otros vehículos, deficiencias de la vía que son aceptables.

El nivel de servicio futuro en el acceso 4 aumenta, pasando a un nivel de servicio C, lo que significa que las condiciones medias cuando el flujo es estable y empieza a presentarse restricciones de geometría y pendiente, la libertad para conducir puede verse afectada por las interferencias tolerables de otros vehículos, deficiencias de la vía que son en general aceptables, sin embargo, los otros accesos permanecen con el mismo nivel de servicio, lo

que significa que en 10 años estas vías seguirán siendo estables y se tendrá un flujo similar al actual, esto es ventajoso ya que el sistema semafórico se mantendrá a un futuro.

- **Rotonda Av. La Banda**

Esta rotonda cumple con la relación v/c menor a 1 en todos sus accesos, por lo que indica que se tiene un adecuado tránsito vehicular, indicando que la demanda actual no excede la capacidad, por lo que sus valores son aceptables.

**Tabla 43:** Tabla de nivel de servicio futuro

<b>Acceso</b>	<b>Volumen “V” (veh/h)</b>	<b>V/C</b>	<b>Volumen Futuro “Vf” (veh/h)</b>	<b>Vf/C</b>	<b>Nivel de Servicio Actual</b>	<b>Nivel de Servicio Futuro</b>
Acceso 1	509	0.58	590	0.67	Nivel D	Nivel E
Acceso 2	194	0.37	225	0.43	Nivel C	Nivel C
Acceso 3	663	0.30	769	0.35	Nivel C	Nivel C

Fuente: Elaboración propia

El nivel de servicio actual que se tiene en la intersección circular esta entre en nivel de servicio C y D, lo que significa que el nivel de servicio C, presenta aun el flujo es estable y se presenta restricciones de geometría y pendiente, no existe la libertad para conducir con diferentes velocidades por lo que se ve afectada al presentarse interferencias tolerables con otros vehículos, las deficiencias de las vías son en general aceptables y el nivel de servicio D, nos indica que el flujo todavía es estable pero no existe la libertad para conducir con la velocidad deseada dentro de la corriente vehicular, al ocurrir interferencias frecuentes con otros vehículos, el nivel de libertad y comodidad que tiene el conductor es deficiente.

El nivel de servicio futuro, se mantiene en 2 accesos, y aumenta en el acceso 1 lo que significa que la circulación a capacidad cuando las velocidades son bajas, pero el tránsito fluye sin interrupciones, en esta condición es prácticamente imposible adelantar, por lo

que los niveles de libertad y comodidad son muy bajos, la circulación a capacidad es muy inestable.

### **3.7. Análisis de comportamiento por simulación**

#### **3.7.1. Simulación del área de estudio**

##### **3.7.1.1. Armado del modelo de simulación**

El software utilizado para el modelado y evaluación de la intersección fue PTV Vissim 2022, versión estudiantil.

La estructura de simulación se esquematiza en la siguiente figura, el cual nos muestra el esquema de trabajo del simulador.

**Figura 24:** Esquema de trabajo con el simulador



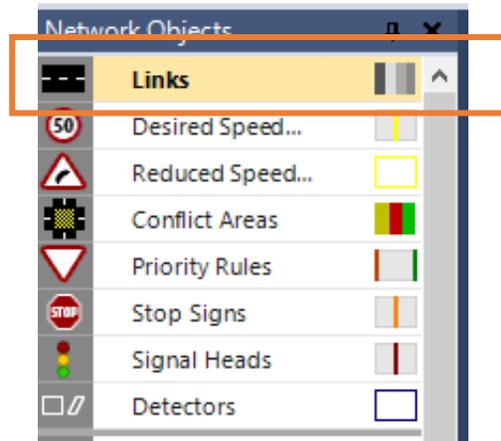
Fuente: Elaboración propia

El mismo se debe retroalimentar para lograr los resultados más próximos a la realidad, y así poder confiar luego en los resultados de las simulaciones de las alternativas propuestas, a continuación, se describe los pasos para el armado del modelo.

#### **A. Red**

Con los datos relevados en campo comenzaremos a recrear la red a través de links. Para generar la red usamos la herramienta “Links” del menú de “Network Objects”. La figura 25 ilustra la herramienta dentro del Network Objects.

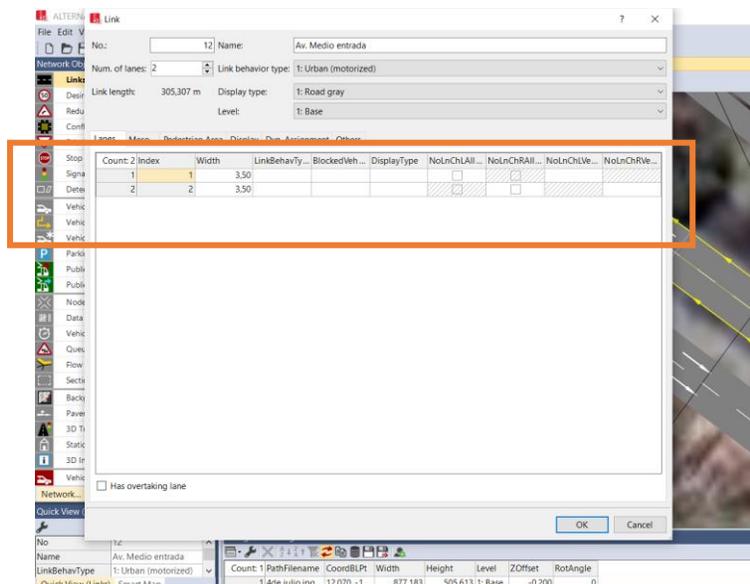
**Figura 25:** Captura de pantalla Vissim 2022, network objects



Fuente: Elaboración propia

Cuando se crean los links especificamos el número de carriles, ancho de los mismos y a través de los conectores vamos conectando con otros links y de esta forma podemos recrear la red lo más cercada a la realidad. En la figura 25 se ilustra la ventana emergente que aparece cuando se traza un nuevo link.

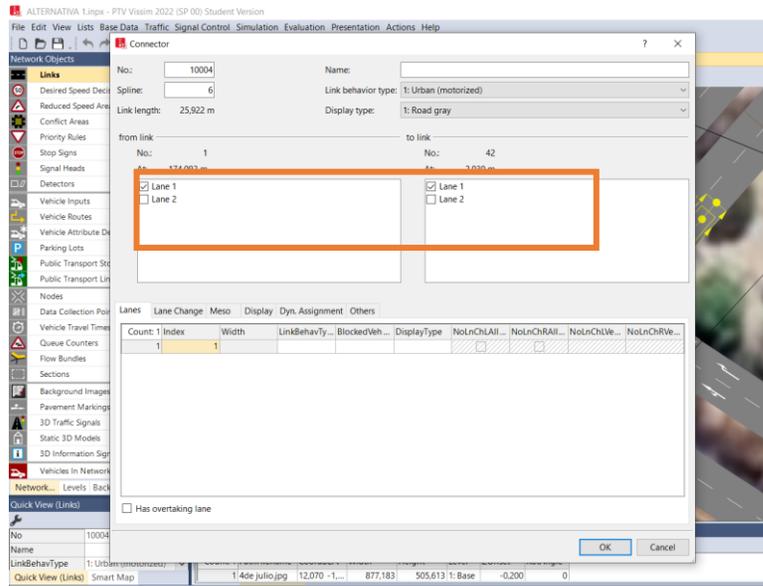
**Figura 26:** Captura de pantalla Vissim 2022, atributos de las calles



Fuente: Elaboración propia

En los atributos marcados de la figura 26 podremos especificar las restricciones de giro en determinados carriles y sobre todo los vehículos o algunas clases. En nuestro caso no utilizamos estos parámetros, ya que no era necesario aplicarlo.

**Figura 27:** Captura de pantalla Vissim 2022, atributos de conectores



Fuente: Elaboración propia

En los atributos marcados de la figura 27, aparece cuando se crea los conectores, podemos seleccionar o corregir desde que carriles se quiere hacer la conexión que se desea en las opciones “from link” y “to link”.

Usamos la siguiente imagen satelital figura 28, como base para recrear la misma.

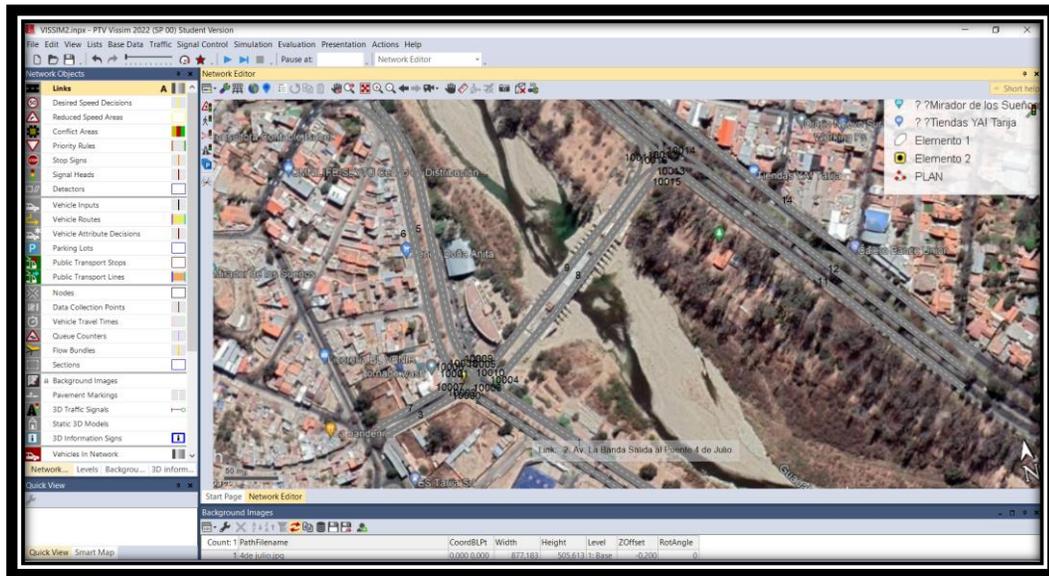
**Figura 28:** Captura de pantalla de Google Earth, fondo de la intersección.



Fuente: Elaboración propia

A continuación, una imagen recreada para simular la intersección. (Figura 29)

**Figura 29:** Captura de pantalla Vissim 2022, Red recreada en Vissim



Fuente: Elaboración propia

Los links generados se ven en la siguiente figura 30:

**Figura 30:** Captura de pantalla Vissim 2022, lista de las calles generadas en Vissim

Count	No	Name	LinkBehavType	DisplayType	Level	N	Count
1	1	Av. La Banda Ingreso al Puente 4 de Julio	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
2	2	Av. La Banda Salida al Puente 4 de Julio	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
3	3	Ingreso Calle S/N	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
4	4	Rot. Mercado San Martin	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
5	5	Calle Humberto Salida	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
6	6	Calle Humberto Entrada	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
7	7	Calle s/n Salida	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
8	8	Calle s/n Salida	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
9	9	Calle s/n Salida	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
10	10	Av. Pasteles	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
11	11	Av. Pasteles salida puente	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
12	12	Av. Medio entrada	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
13	13	Av. Medio salida	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
14	14	Av. Carril Taxitrufi ida	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
15	15	Avv. Carril Taxi Trufi Vuelta	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
16	16	cebra 1	4: Footpath (no interaction)	1: Road gray	1: Base		
17	17	cebra 1	4: Footpath (no interaction)	1: Road gray	1: Base		
18	18	cebra 2	4: Footpath (no interaction)	1: Road gray	1: Base		
19	19	cebra 3	4: Footpath (no interaction)	1: Road gray	1: Base		
20	20	cebra 3	4: Footpath (no interaction)	1: Road gray	1: Base		
21	21	cebra 4	4: Footpath (no interaction)	1: Road gray	1: Base		
22	24	Terraplen entrada	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
23	26	Terraplen entrada	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
24	28	Terraplen salida	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
25	42	Terraplen entrada	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
26	10000		1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		
27	10001		1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: Base		

Fuente: Elaboración propia

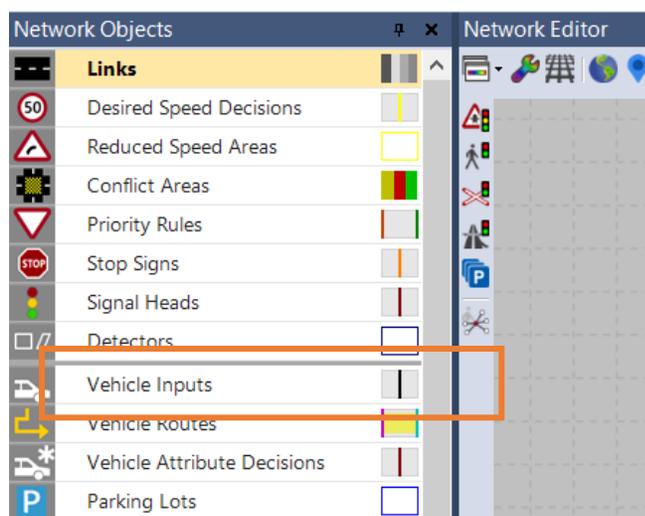
## B. Transito

Luego de crear la red del modelo se procede a cargar los datos de tránsito, es decir el volumen horario, la composición por calle, las rutas y el porcentaje total de los movimientos correspondientes a cada ruta.

Esto se debe realizar de la siguiente forma:

- 1) Ingresar al comando “Vehicle input” del menú “Network Objects” (Figura 31)

**Figura 31:** Captura de pantalla Vissim 2022, Network Objects



Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se ingresa el volumen horario de cada calle haciendo click en el inicio del link correspondiente. La figura 32 muestra el input ingresado en cada calle.

**Figura 32:** Captura de pantalla Vissim 2022, Volúmenes horarios ingresados

Count: 7	No	Name	Link	Volume(0-MAX)	VehComp(0-MAX)
1	1		1: Av. La Banda Ingreso al Puente 4 de Julio	354,0	2: Av. La Banda Ingreso
2	2		3: Ingreso Calle S/N	675,0	3: calle sin nombre ingreso
3	3		6: Calle Humberto Entrada	70,0	4: Calle Humberto Ingreso
4	4		10: Av. Pasteles	1009,0	0: av. Pasteles ingreso
5	5		15: Av. Carril Taxi Trufi Vuelta	54,0	5: Carril Taxitrufi vuelta
6	6		14: Av. Carril Taxitrufi ida	725,0	4: Carril Taxi trufi ida
7	7		12: Av. Medio entrada	643,0	2: Av. Carril del medio Ingreso

Fuente: Elaboración propia

- 2) Agregamos los vehículos, de acuerdo al conteo vehicular, para lo cual utilizamos vehículos livianos (autos), transporte público, (Buses), Vehículos pesados (Camiones).

**Figura 33:** Captura de pantalla Vissim 2022, Categorías de tipos de vehículos

Count: 17	No	Name
1	2	Av. La Banda Ingreso
2	3	Calle s/n Ingreso
3	4	Calle Humberto Ingreso
4	5	Av. La Banda Salida
5	6	Calle s/n salida
6	7	Calle Humberto salida
7	8	Ingreso Puente
8	9	Salida Puente
9	10	Av. Pasteles ingreso
10	11	Av. pasteles Salida
11	12	Av. Carril del medio Ingreso
12	13	Av. Carril del medio Salida
13	14	Carril Taxi trufi ida
14	15	Carril Taxitrufi vuelta
15	16	Curva entrada
16	17	Curva salida
17	18	paso a desnivel

Count: 3	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	100: Car	25: 25 km/h	0,940
2	200: HGV	25: 25 km/h	0,010
3	300: Bus	25: 25 km/h	0,050

Fuente: Elaboración propia

En el menú de “Trafic”, “Vehicle composition” se ingresa la composición vehicular de cada calle y luego se vuelve al comando “Vehicle Routes” y se asegura que cada input tenga la composición correcta. (Figura 33).

En este punto, se designa la velocidad deseada, en nuestro modelo se adoptó la velocidad de 25 km/h, debido a que la velocidad de cálculo fue de 22 km/h, por lo que los 25 km/h están dentro del rango para trabajar con esa velocidad.

3) En la figura 34, observamos la tabla que se genera cuando designamos las rutas, y en la figura 35, se muestra una de las rutas sobre el ingreso al puente 4 de Julio.

**Figura 34:** Captura de pantalla Vissim 2022, Rutas de decisión y el porcentaje de vehículos que toma esta ruta

Count	No	Name	Link	Pos	AllVehTypes
1	1		1: Av. La Banda Ingreso al Puente 4 de Jul	8,426	✓
2	2		6: Calle Humberto Entrada	56,034	✓
3	3		3: Ingreso Calle S/N	3,019	✓
4	5		10: Av. Pasteles	33,018	✓
5	6		12: Av. Medio entrada	7,289	✓
6	7		14: Av. Carril Taxitrufi ida	8,171	✓
7	8		15: Av. Carril Taxi Trufi Vuelta	7,013	✓

Count	VehRoutDec	No	Name	Formula	DestLink	DestPos	RelFlow(0-MAX)
1	1	2			5: Calle...	192,147	0,020
2	1	3			7: Calle...	68,161	0,180
3	1	7			11: Av....	237,006	0,200
4	1	8			13: Av....	109,217	0,600

Fuente: Elaboración propia

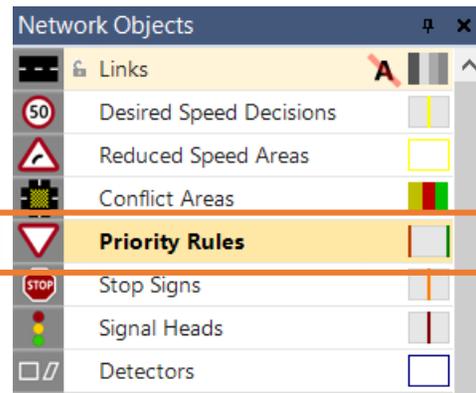
**Figura 35:** Captura de pantalla Vissim 2022, una ruta de decisión, ingreso al puente 4 de Julio.



Fuente: Elaboración propia

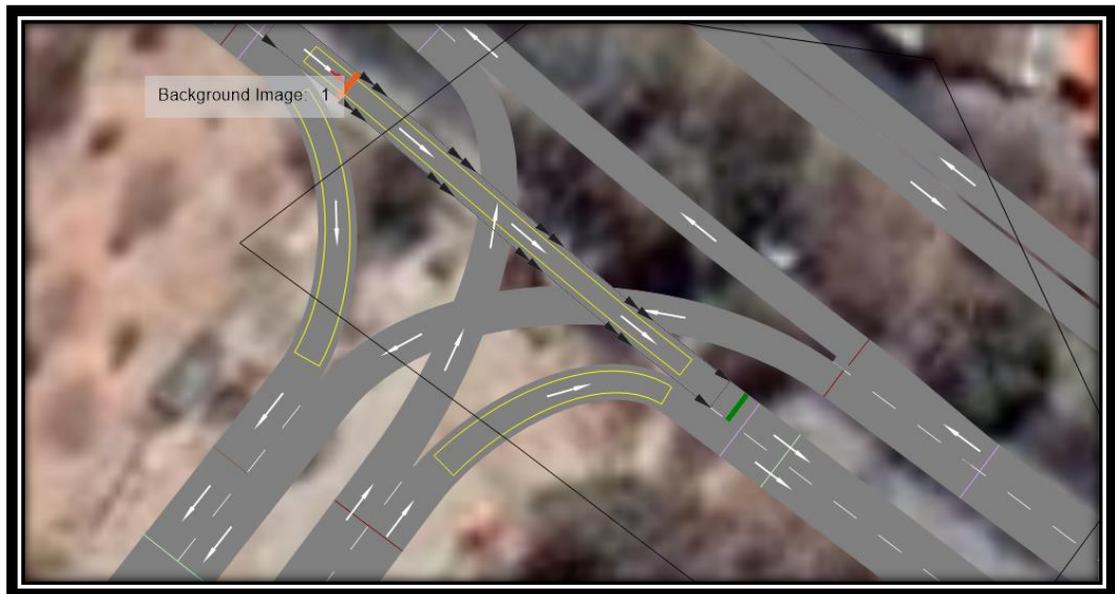
- 4) Con la herramienta “Priority Rules” se define la prioridad de paso por una calle sobre otra. En este caso la prioridad se tomó en cuenta en la rotonda, y a la salida del puente 4 de Julio.

**Figura 36:** Captura de pantalla Vissim 2022, Network Objects



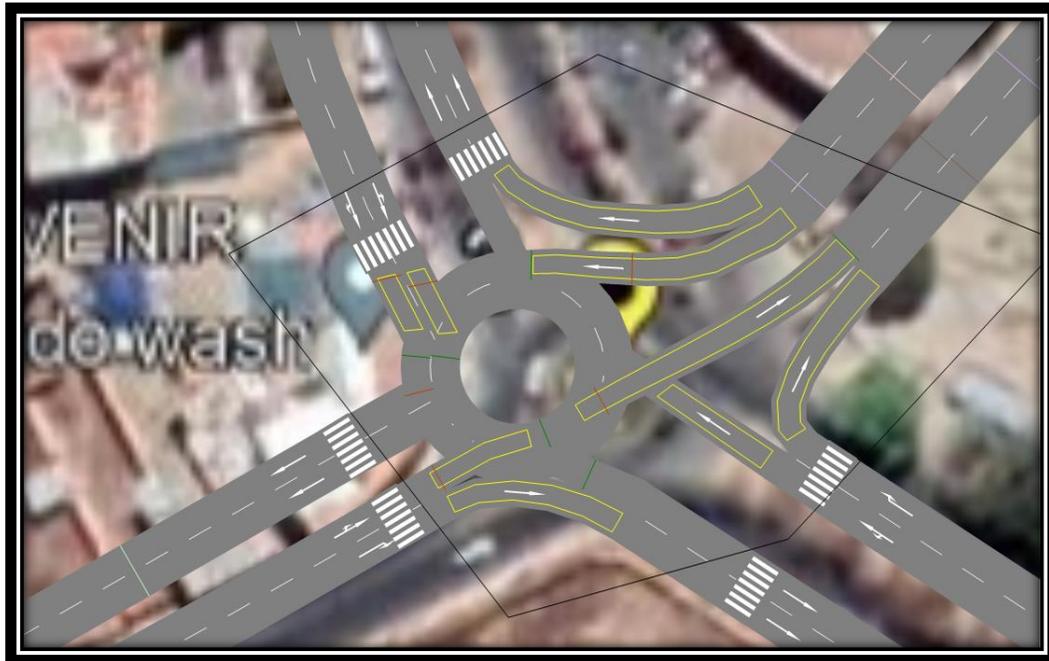
Fuente: Elaboración propia

**Figura 37:** Captura de pantalla Vissim 2022, detalle de donde se aplica las rutas de prioridad, salida del puente 4 de Julio.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 38:** Captura de pantalla Vissim 2022, detalle de donde se aplica la ruta de prioridad, en la rotonda al ingreso del puente 4 de Julio.



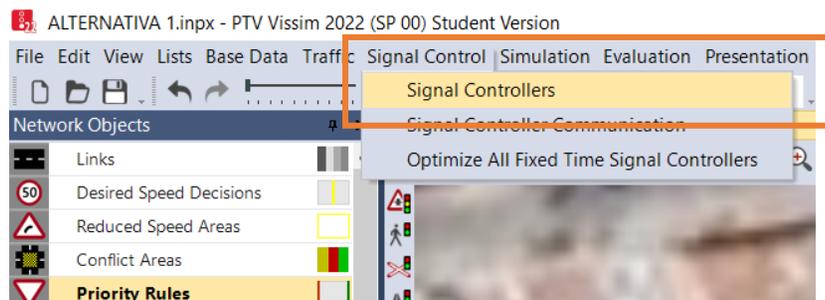
Fuente: Elaboración propia

### C. Control

Dentro del control ingresamos la semaforización que regula la intersección de la siguiente forma:

- 1) En el menú “Signal Control”, seleccionamos “Signal Controllers” (figura 39) generamos el grupo de señales con la representación que se utiliza (rojo, verde, amarillo)

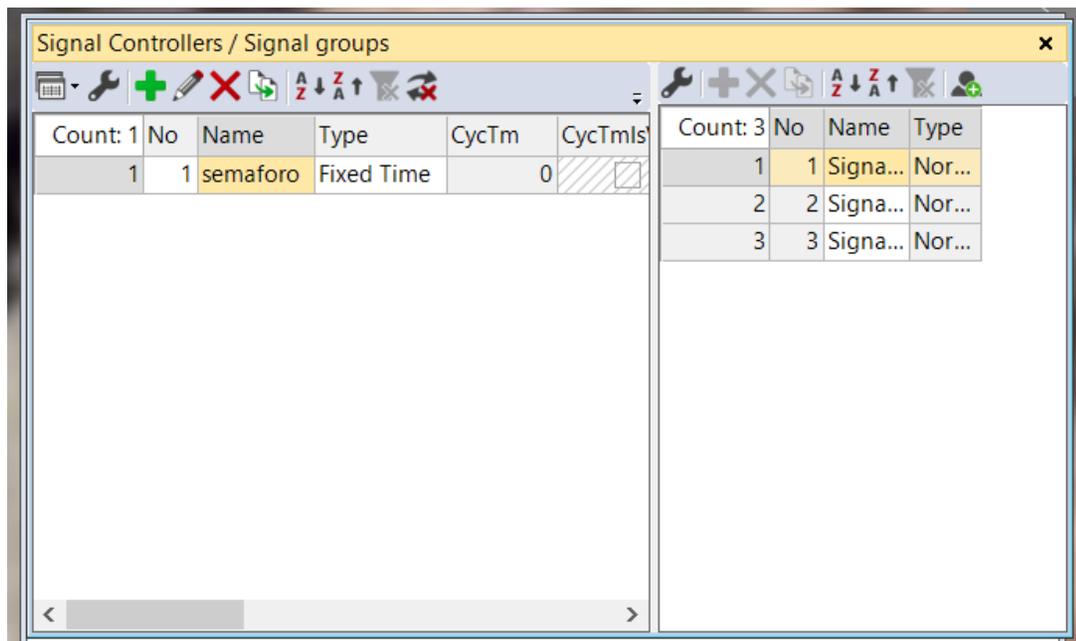
**Figura 39:** Captura de pantalla Vissim 2022, menú Signal Controllers



Fuente: Elaboración propia

2) Luego de esta selección se despliega una lista donde podemos agregar los grupos de semáforos que necesitamos como observamos en la figura 40

**Figura 40:** Captura de pantalla, ventana de edición de semáforos

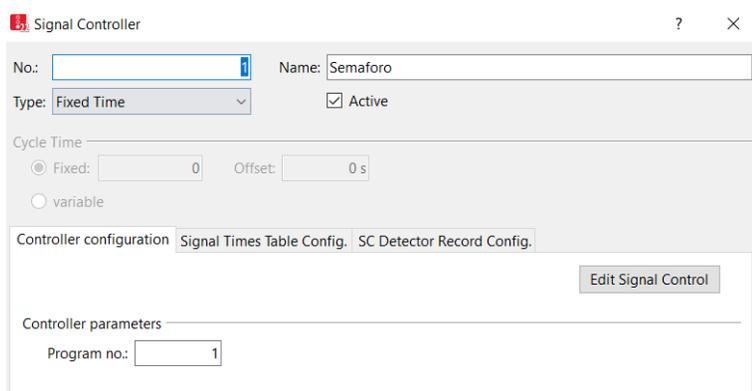


Fuente: Elaboración propia

Cuando agregamos un semáforo de tiempo fijo, nos aparece la ventana para configurar el archivo que la contiene. Es muy importante asegurarnos de generar un archivo independiente para cada grupo de semáforos a fin de que Vissim no sobre escriba el mismo archivo.

Cuando hacemos click en el botón "Edit. Signal Control" aparece otra ventana emergente donde configuramos nuestro grupo de semáforos (Figura 41).

**Figura 41:** Captura de pantalla Vissim 2022, Ventana de creación de archivos

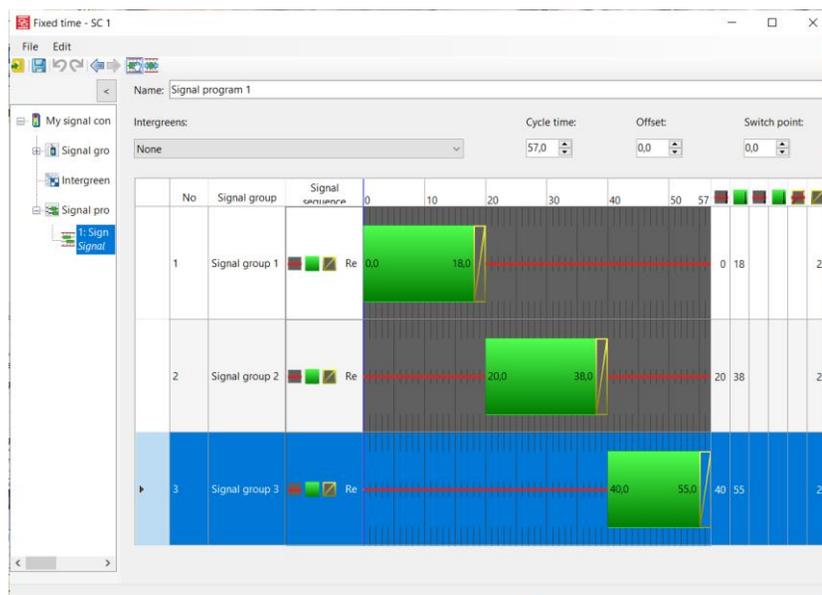


Fuente: Elaboración propia

Luego en la opción “Signal Program” configuramos el ciclo de nuestro grupo de semáforos y la secuencia de la señal del semáforo, en nuestro caso configuramos con la secuencia observada en campo ROJO-VERDE-AMARILLO.

Una vez configuradas estas opciones realizamos el reparto de verde moviendo las barras según las observaciones de campo, es decir acomodado las barras según las fases. En la figura 42, se muestra la configuración final de los semáforos.

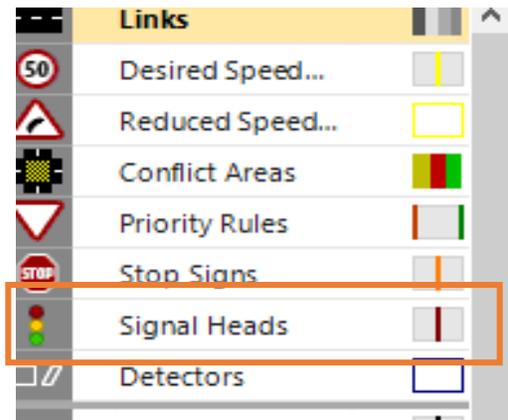
**Figura 42:** Reparto de verde de los semáforos en la intersección



Fuente: Elaboración propia

3) Una vez generado el “Signal Program” con el comando “Signal Head” (Figura 43) se van ingresando los semáforos carril por carril en cada calle

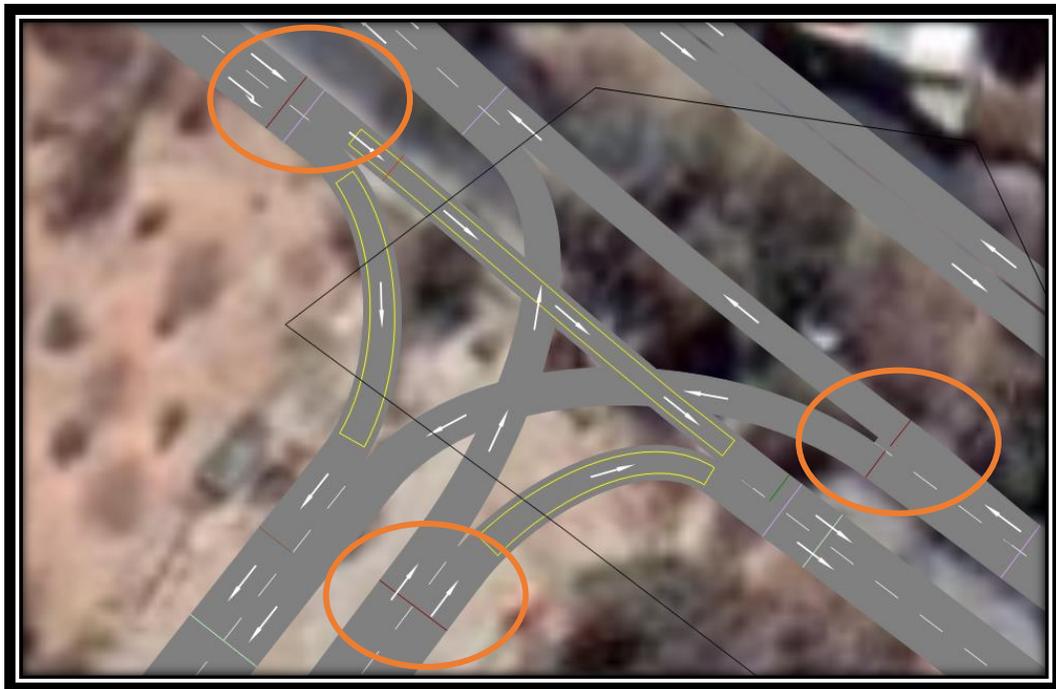
**Figura 43:** Captura de pantalla Vissim, Network Objects



Fuente: Elaboración propia

La figura 44, muestra cómo están ubicados los grupos de semáforos en la red del simulador.

**Figura 44:** Captura de pantalla Vissim 2022, designación de semáforos.



Fuente: Elaboración propia

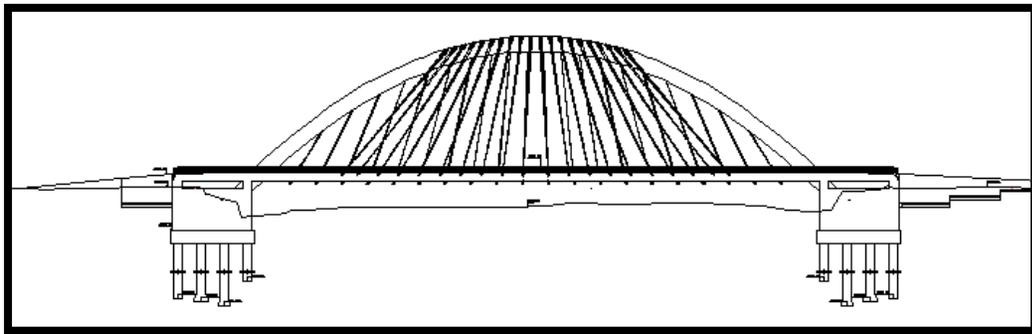
### 3.7.2. Diseño del puente 4 de Julio

#### Vista lateral del puente 4 de Julio

En la siguiente imagen se puede notar la vista lateral del puente, y sus accesos.

El puente tendrá una longitud de 139.79 metros, es un puente en cargo de hormigón pretensado con sección cajón y cuenta solo con dos apoyos laterales como se muestra en la siguiente imagen:

**Imagen 40:** Vista Lateral del puente 4 de julio

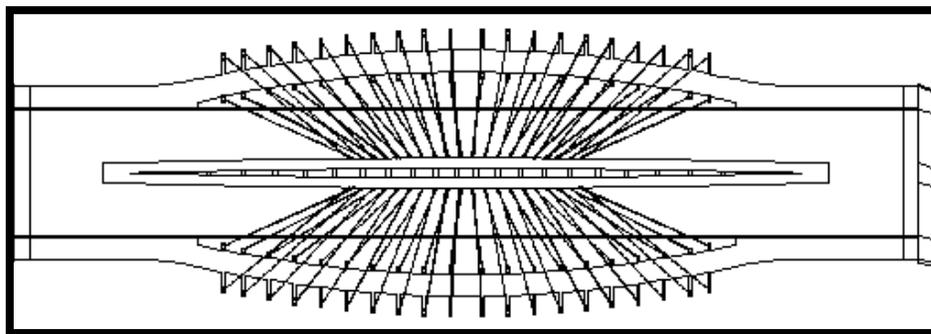


Fuente: Diseño de preinversión del puente 4 de julio, 2017

#### Vista en planta del Puente 4 Julio

En la siguiente imagen podemos ver la vista en planta del puente 4 de julio. El puente cuenta con 4 vías, ciclovías y aceras peatonales en ambos lados separadas del puente como se muestra en la siguiente imagen

**Imagen 41:** Vista Lateral del puente 4 de julio

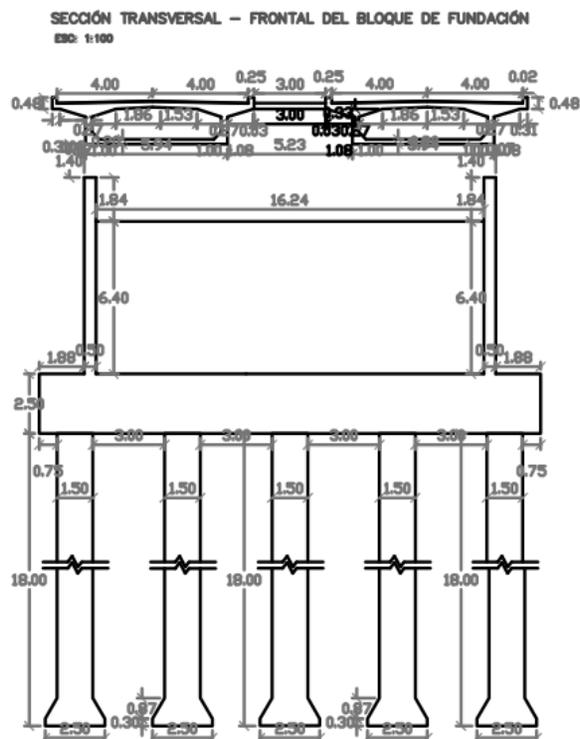


Fuente: Diseño de preinversión del puente 4 de julio, 2017

## Vista transversal del bloque de fundación

La sección transversal que se muestra es frontal del bloque de fundación, la misma que muestra las dimensiones y alturas correspondientes a la construcción del puente 4 de Julio.

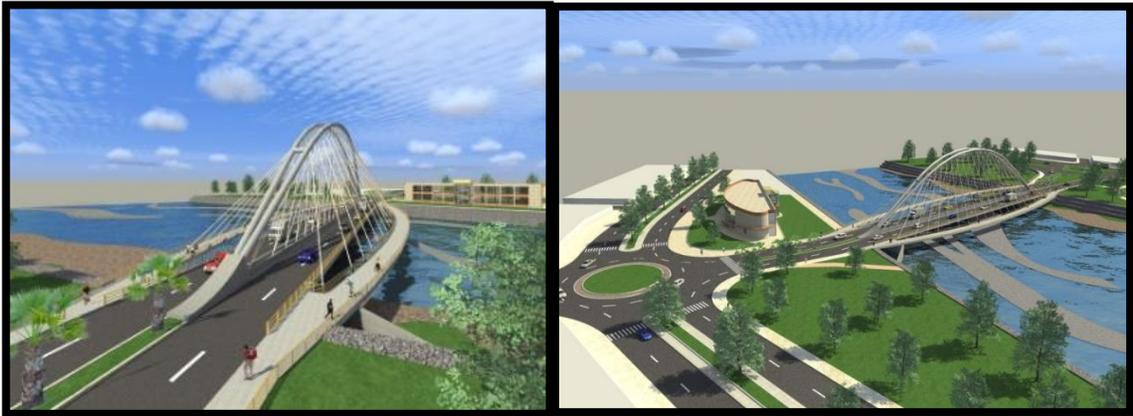
**Imagen 42:** Sección transversal del bloque de fundación del puente 4 de Julio



Fuente: Diseño de preinversión del puente 4 de julio, 2017

El tipo de fundación que se utilizara es con pilotes, ya que debido a la magnitud del puente y los estudios de suelo realizado, con este tipo de fundacion se llega a extractos resistentes de suelo

**Fotografía 1:** Diseño 3D del puente 4 de Julio



Fuente: Diseño de preinversión del puente 4 de Julio, 2017

### **3.7.3. Simulación del tránsito actual en el puente San Martín**

El exceso de tráfico vehicular circulante por el puente San Martín, nos lleva a la necesidad de la habilitación de una nueva vía de acceso, es por ello que se construyó el puente 4 de Julio, el cual pretende disminuir el flujo de tráfico vehicular en la zona, el cual nos ayudara a consolidar una idea clara de lo que sucederá con la habilitación del puente a futuro, ya que sería prioritario garantizar el flujo normal y seguro de los vehículos que ingresan y salen del puente.

Se cargo el programa con los datos del puente San Martín, para poder observar y analizar las entradas y salidas del mismo, y como incide el tráfico en este lugar.

Así también poder realizar una comparación a cerca de la influencia del tránsito vehicular, donde los conductores tratan de movilizarse desde la zona alta hacia el centro de la ciudad. A continuación, se muestra la simulación elaborada en el programa Vissim:

**Imagen 43:** Captura de pantalla de la red del puente San Martin



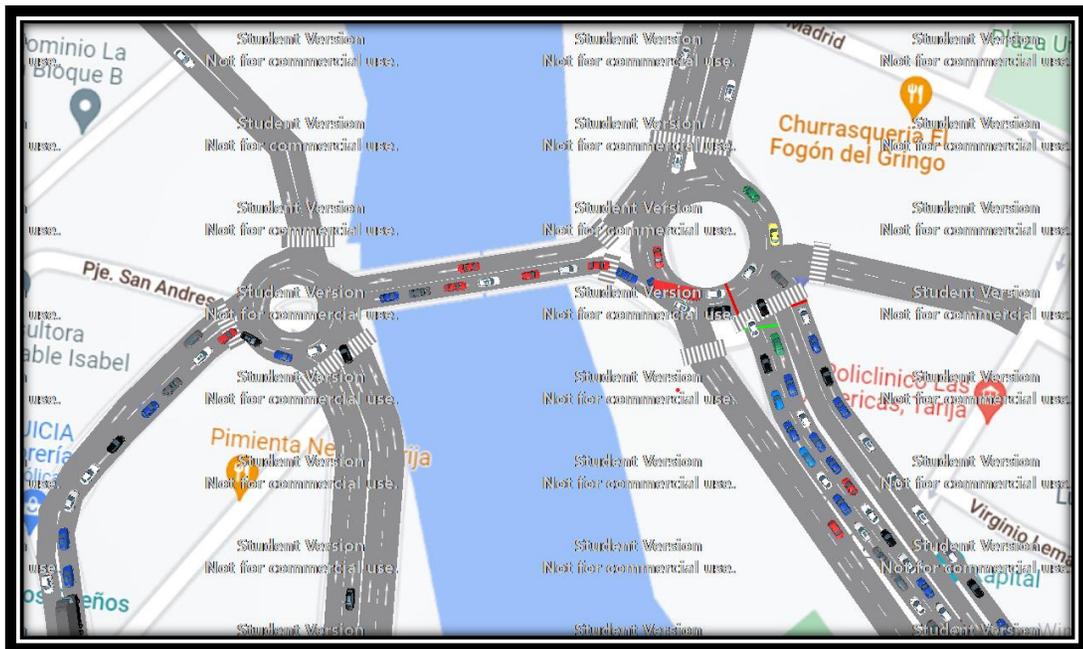
Fuente: Elaboración propia

Dentro del programa nos muestra las colas del tránsito vehicular, que se encuentra en diferentes accesos, de los cuales se puede observar que ello causa obstrucción vehicular. Evitando un flujo estable de tránsito.

Al momento de cargar el programa se puede observar que se modelo, las 2 rotondas de ingreso y salida de los vehículos, así también las avenidas principales de ingresos y salida, y las calles que se encuentran en funcionamiento, se modelo el sistema de semáforos, y se replicó el funcionamiento de entrada y salida en el puente San Martin.

En la siguiente imagen se puede observar las colas producidas, en los accesos, ello es una réplica de lo que actualmente se observa en el puente San Martin. Estas colas ocasionan demoras y estrés vehicular, por lo que los conductores suelen molestarse por lo ocurrido en dicho puente. Ello causa la necesidad de implementar el puente 4 de Julio, para que el mismo descongestione el tráfico vehicular.

**Imagen 44:** Captura de pantalla de Vissim, simulación de vehículos



Fuente: Elaboración propia

### 3.7.4. Evaluación de alternativas

Una vez cargado el modelo y una pre configuración de variables mencionadas, se corrió el modelo y analizo el comportamiento de tráfico vehicular en el puente 4 de Julio, los volúmenes adoptados para el modelo del puente fueron tomados del puente San Martin, el cual se encuentra en funcionamiento, asimismo se tomó en cuenta los giros derecha, izquierda, frente, los tiempos de semáforos, la velocidad, y las rutas de prioridad.

Para lo cual se desarrolló las siguientes alternativas de modelación:

#### 3.7.4.1. Alternativa 1

Dentro de la alternativa 1 se realizó el siguiente modelado:

Existen 2 accesos al puente, el primer acceso es la rotonda del Mercado San Martin, el otro acceso es la alternativa de transito planteada, que en nuestro caso es una intersección simple en “T”, una de las vías será la principal o de mayor volumen de tráfico (Ruta Nacional) y la otro será de menor volumen (Puente 4 de Julio).

Para la rotonda, se considera una intersección rotatoria con una isla circular central, de 15 metros de diámetro, con 4 ingresos, conecta la zona Noroeste con la zona central del departamento, se tomó en cuenta como acceso al puente 4 de Julio, dicho acceso no cuenta con un sistema de semaforización.

Para la conexión con el centro de la ciudad se tomó en cuenta una intersección en T, que sería un esquema simple y para volúmenes de tráfico bajo, donde el ancho de la carretera es constante. Los giros derecha no tiene mucho problema, pero los giros izquierda tienen problemas ya que estarán a la espera de un semáforo, el cual les indicara el tiempo de rojo, amarillo y verde, y el tiempo en el que se transitara, tiene un ciclo de 57 segundos, considerándose 3 semáforos distribuidos en los accesos directos, tomando en cuenta el volumen de tráfico que circula por el lugar.

Se optó por realizar esta alternativa, ya que es económica, eficiente y de bajo tiempo de ejecución, esta alternativa dará una solución inmediata al problema de tránsito vehicular, sin embargo debemos tomar en cuenta que no se consideró la avenida Víctor Paz para el ingreso directo, ya que con la apertura de esta vía ocurriría un caos vehicular, por lo que se optó que el tráfico se dirija a la rotonda del puente San Martín, y establezca su giro respectivo, ya que la rotonda se encuentra aproximadamente a 100 metros del puente 4 de Julio, esta distancia es corta a comparación con otros tramos, es por ello que las 2 avenidas que tienen acceso directo al puente es la de la Ruta Nacional.

Los vehículos que pasan por la avenida Víctor Paz Estenssoro, se mantendrán como doble vía, y su acceso al puente será dar la rotonda del puente San Martín, ya que se encuentra a 170 metros, ello para evitar la congestión vehicular, así también para mantener los accesos al centro de la ciudad, ya que si realizaríamos el ingreso al puente la ruta dejaría de ser doble vía, por lo que sería perjudicial para los conductores.

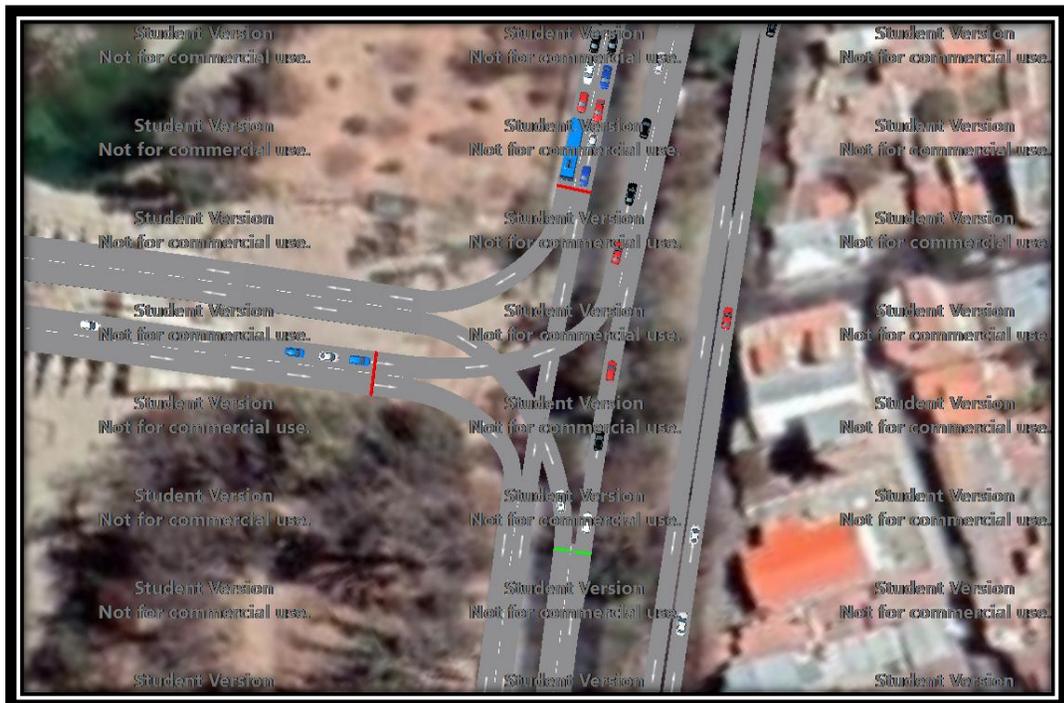
A continuación, se muestra el modelado de la Alternativa 1 que se realizó:

**Imagen 45:** Captura de pantalla, Alternativa 1



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 46:** Captura de pantalla, detalle del funcionamiento de la alternativa 1



Fuente: Elaboración propia

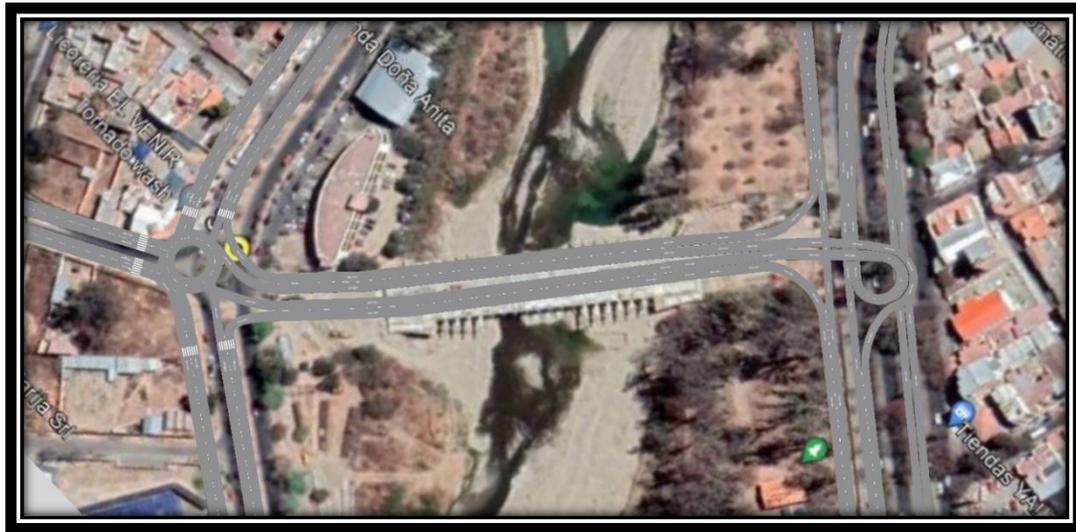
### **3.7.4.2. Alternativa 2**

Para la alternativa 2, se tomó en cuenta los 2 accesos al puente, el primer acceso es la rotonda del Mercado San Martín, el otro acceso es un paso a desnivel tipo trompeta que conecta el ingreso y salida hacia la Ruta Nacional, el mismo cumple con las condiciones de diseño establecido en el (Manual Geométrico INVIAS, 2008),

La alternativa del comportamiento de tráfico planteada está enfocada en el acceso 2, que consiste en un paso a desnivel tipo trompeta, el cual tiene 3 ramales en que los giros a la derecha e izquierda se resuelven por medio de los ramales directos, semi directos y vías de enlace, el cual tiene un carril de desaceleración por la que ingresan los vehículos, en nuestro caso el carril de desaceleración es el carril del medio por el cual los vehículos se dirigen de la zona sur al norte, ellos tienen 2 opciones, la primera es ingresar al puente mediante el paso a desnivel y la segunda continuar su camino recto dirigiéndose al Mercado Campesino, la ventaja de este acceso es que no tiene sistema de semáforos y el flujo vehicular es más estable y libre, lo cual los vehículos pueden tomar la velocidad que desean. Tenemos también el carril de aceleración, este carril está ubicado a la salida del puente 4 de Julio, y conecta directamente con el Carril del Medio, esta vía es circular, y esta de bajada, mediante esta vía el flujo es más estable por lo que no tiene demoras ni interrupciones. También se tiene las vías directas las mismas que se encuentran a los costados de forma parabólica, estas tienen fácil acceso y salida del puente, por lo que su flujo es continuo y sin interrupciones.

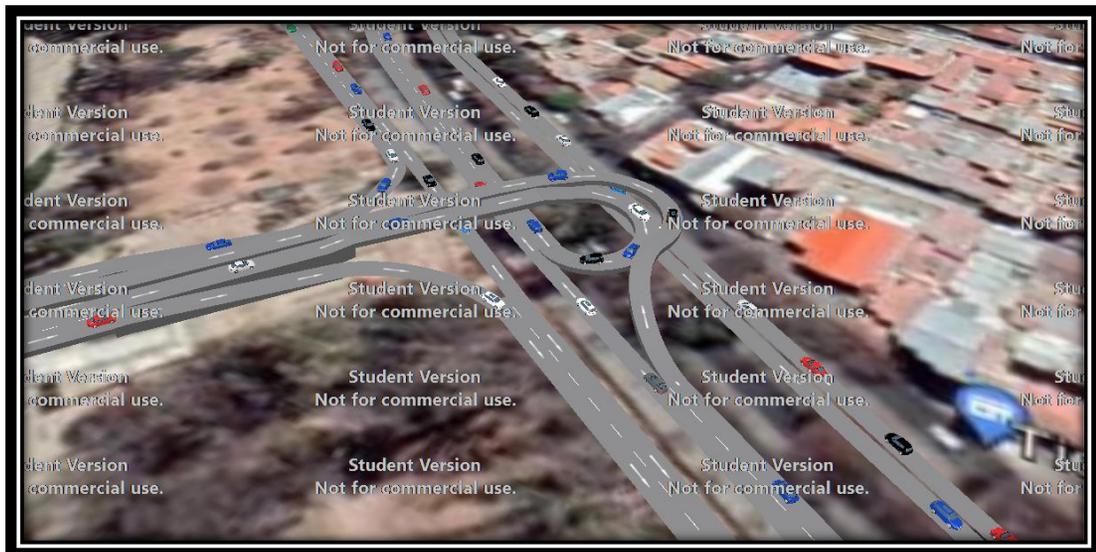
Los vehículos que pasan por la avenida Víctor Paz Estenssoro, se mantendrán como doble vía, y su acceso al puente será dar la rotonda del Puente San Martín, ya que se encuentra a 170 metros, ello para evitar la congestión vehicular, así también para mantener los accesos al centro de la ciudad, ya que si realizaríamos el ingreso al puente la ruta dejaría de ser doble vía, por lo que sería perjudicial para los conductores.

**Imagen 47:** Captura de pantalla, Alternativa 2



Fuente: Elaboración Propia

**Imagen 48:** Captura de pantalla, Detalle de la alternativa 2, paso a desnivel



Fuente: Elaboración Propia

Esta es la alternativa más costosa económicamente, sin embargo, es la más eficiente ya que el conductor no tendrá tiempos de demora, ya que no tendrá el sistema de semáforos y su flujo será más estable, permitiendo al conductor realizar las maniobras para acceder al puente 4 de Julio sin dificultad. Así también se puede observar que la avenida no tiene acceso al puente, pero si mantiene su doble vía y el acceso al centro de la ciudad.

### **3.7.5. Análisis de precios entre las alternativas presentadas**

#### **Alternativa 1**

Basándonos en proyectos ya ejecutados, y viendo la realidad que se tiene se analizó que la obra de apertura de los accesos costara entre 7 a 10 millones de bolivianos. Dicho monto se tomó como referencia el Puente Banegas, ubicado en la ciudad de Santa Cruz; el mismo que se está trabajando en señalización, desbroce mantenimiento de avenidas, asfaltado de los accesos.

En el proyecto de la alternativa 1 tenemos 220 metros de accesos en el puente. Con un ancho de carril de 4.5 metros, 2 carriles de ida y 2 de vuelta, con acceso a peatones y ciclistas. Se calcula un monto de 10 millones de bolivianos para los accesos al puente, considerando la señalización del mismo.

#### **Alternativa 2**

Para la alternativa 2, se tomó en cuenta 2 obras para tomar un precio referencial.

La primera obra es el Viaducto del Mercado Campesino, ubicado en la ciudad de Tarija, el mismo que tiene una longitud mayor a 120 metros y un ancho de seis metros, con un solo carril, y con una iluminación de pantallas led y paso peatonal, el proyecto tuvo un costo de 18 millones de bolivianos

La segunda obra o proyecto es el distribuidor vial Tintamayu, el mismo tiene una inversión de 50 millones de bolivianos, cuenta con un puente distribuidor vehicular de 300 metros, con dos carriles de ida y dos de vuelta para transporte pesado y liviano, cuenta con espacios para el peatón y ciclista, se talo algunos árboles y se reforestara la misma con áreas recreativas.

Tomando en cuenta que nuestro proyecto es un paso desnivel de 300 metros de largo y 4.5 ancho de carril, además se tiene terraplén para los accesos de 100 metros de largo y un ancho de carril de 4.5 metros, además se tiene 2 carriles de ida y 2 carriles de vuelta, con espacios para peatones y ciclistas. Se asemeja a la segunda obra que tiene un costo aproximado de 50 millones de bolivianos.

Como resultado del análisis de las 2 alternativas tenemos que la alternativa 2 es 5 veces mayor a la alternativa 1, por lo que resulta muy elevado su monto para su ejecución.

### 3.7.6. Cuadro de ventajas y desventajas de cada alternativa

En el siguiente cuadro mostraremos las ventajas y desventajas de las alternativas mencionadas, como un resumen del estudio.

**Cuadro 1:** Ventajas y desventajas de cada alternativa

	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Alternativa 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede resultar económico, debido a que no se debe implementar obras complementarias</li> <li>- Eficiente, al momento de mantener el orden en los vehículos</li> <li>- Bajo tiempo de ejecución, debido a que los accesos son terraplenes de fácil acceso</li> <li>- El tráfico se desenvuelve a una sola velocidad y de manera ordenada</li> <li>- Permite el flujo de tránsito en las calles menores o accesos al puente a través de arterias mayores y más congestionadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incrementa la demora del flujo vehicular, ya que existirá largas colas de tráfico</li> <li>- Produce molestias a los conductores por su facilidad de producir retrasos, y además crea una conducción agresiva e impaciente, debido al tiempo de espera.</li> <li>- Es susceptible a fallas por el suministro de energía</li> <li>- Puede aumentar la frecuencia de accidentes por intersecciones, en particular alcances o colisiones traseras.</li> <li>- Várias paradas para transitar por las vías.</li> </ul>

<b>Alternativa 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Provee mayor capacidad de tráfico, no hay que compartir el derecho de vía con otra.</li> <li>- Las vías que atraviesan conservan su capacidad de intercambio</li> <li>- Se mejora la seguridad de tráfico</li> <li>- No hay detenciones, existe una continuidad en el flujo de los vehículos</li> <li>- Se puede adaptar a construcciones por etapas o por módulos</li> <li>- El flujo de tránsito será estable y fluido</li> <li>- No existirá tiempo de demora en las intersecciones, ya que el nivel de servicio será un nivel A, considerando la capacidad vehicular y los parámetros establecidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El costo de implementación de un paso a desnivel es alto. Ya que necesita varios módulos para poder desarrollarse</li> <li>- Puede suscitar confusión en los conductores sino están familiarizados, o cuando el intercambio no se ha terminado</li> <li>- Los pasos inferiores no pueden desarrollarse por módulos, ya que son necesarios para el tránsito vehicular</li> <li>- Se distorsiona el alineamiento vertical en las vías que cruzan el intercambio. Hay que introducir curvas verticales fuertes lo que ocasiona un cambio en el diseño de la vía</li> </ul>
----------------------	--	--

Fuente: Elaboración Propia

**CAPITULO IV**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

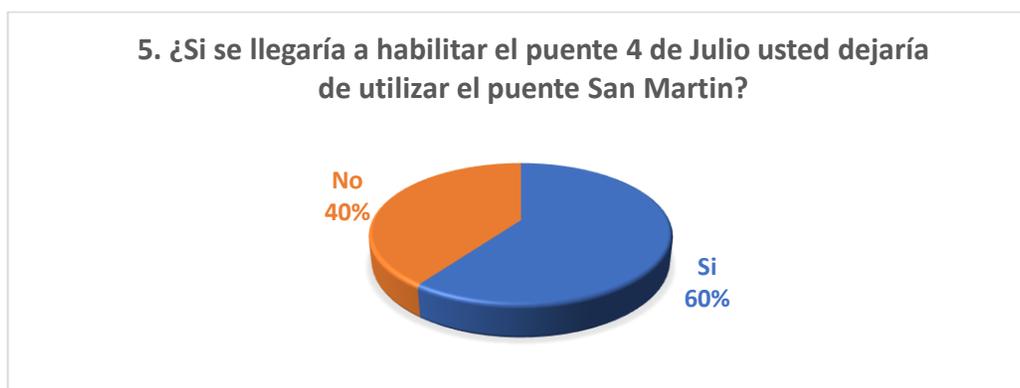
## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- Se logró analizar los aspectos relacionados con la ingeniería de tráfico, el cual nos ayudó a determinar los parámetros a estudiar para desarrollar el comportamiento de la circulación vehicular, así también se aplicó la metodología aplicada en los manuales de las vías, sirviendo como base para el desarrollo del estudio de tráfico y la simulación, con ello se pudo realizar las alternativas planteadas en la simulación, el cual nos ayudara a determinar el adecuado comportamiento de tráfico.
- Se realizó los aforos continuos diarios, concluyendo así que las horas pico son: 11:00-12:00, 15:00-16:00 y 18:00-19:00 influenciadas por las actividades económicas, educacionales y comerciales propias de la ciudad de Tarija. En dichas horas se realizó en aforo de volúmenes, y se concluye que la rotonda con mayor tráfico vehicular es la Rotonda del Puente San Martin, por lo que es necesario descongestionar el transito mediante el nuevo puente 4 de Julio, el volumen vehicular alcanzo a 1009 veh/h. También se desarrolló el aforo de velocidad en el área de estudio el cual nos dio como resultado 22 km/h. el comportamiento de tráfico vehicular en esta rotonda es caótica, ya que existe un flujo inestable de tráfico que dura pocos minutos, sin embargo, ocasiona una molestia por parte de los conductores y pasajeros, ya que todos desean transitar de una forma rápida.
- Se realizaron encuestas a los conductores que nos ayudaron a analizar la aceptación de la población ante el nuevo puente, las respuestas fueron que, si transitaran por el puente, aunque nos les parece adecuado la ubicación del mismo, por lo que considerando la opinión de los encuestados se puede desarrollar de mejor forma el análisis de las alternativas que se plantearon.

A continuación, se muestra el gráfico de resultados de la encuesta más relevante:



En el gráfico se muestra que un 60% de la población si utilizara el puente, es por ello que nuestro análisis es el correcto.

- Se realizó el análisis de los parámetros del estudio de tráfico, con los datos de aforos de volúmenes, ancho de carril, velocidad, longitud de bermas entre otros, se puede realizar el análisis de la Capacidad vehicular para cada acceso y así también se determinó el nivel de servicio actual y futuro para 10 años, los datos más representativos donde se realizó más énfasis fue en la rotonda del Puente San Martin, ya que en este lugar se presenta el mayor volumen de tráfico y por lo tanto el nivel de servicio es mayor a continuación se muestra el nivel de servicio actual y futuro de los accesos estudiados en el proyecto.

<b>Acceso</b>	<b>Volumen “V” (veh/h)</b>	<b>V/C “Actual”</b>	<b>Volumen Futuro “Vf” (veh/h)</b>	<b>Vf/C “Futuro”</b>	<b>Nivel de Servicio Actual</b>	<b>Nivel de Servicio Futuro</b>
Acceso 1	725	0.50	842	0.58	Nivel C	Nivel D
Acceso 2	641	0.75	734	0.85	Nivel D	Nivel E
Acceso 3	1009	1.03	1170	1.20	Nivel E	Nivel F

En la tabla podemos observar que el nivel de servicio es el más crítico por lo que nos indica que existe un problema de tránsito vehicular, que evita que el flujo sea estable, mediante el funcionamiento del nuevo puente, se pretende reducir la congestión vehicular que se tiene en dicho puente.

- Se realizó el análisis de las posibles alternativas, por lo que se tomó en cuenta 2 alternativas, la primera es la más económica pero menos eficiente un costo aproximado de 10 millones de bolivianos, ya que esta engloba un sistema de semáforos que permitirá acceder y salir del puente 4 de Julio, y la segunda es un paso a desnivel, la misma es más costosa económicamente pero eficiente en el tránsito vehicular, ya que evitara las colas y los tiempos de demora generados en el tránsito vehicular, con un costo aproximado de 50 millones de bolivianos.
- Mediante el programa de simulación se puede poner a prueba las alternativas, donde se observó que evidentemente la alternativa que genera menos cola es la alternativa 2, que consiste en un paso a desnivel por el cual los vehículos circulan eficientemente, para una mayor visualización se tiene el video en el cual nos muestra como recorren los vehículos por la zona, tomando en cuenta los volúmenes de aforo, la velocidad, y los parámetros básicos del área de estudio.
- Así también se realizó la simulación del puente San Martín con el objetivo de verificar los accesos de ingreso y salida, se puede evidenciar que evidentemente existe un congestionamiento vehicular y demoras en el tránsito.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Se recomienda que para los aforos se debe tener mucho cuidado, ya que al momento de contar puede haber distracciones lo que ocasionaría datos irreales en la medición.
- Se recomienda fomentar a la educación vial, ya sea por los medios de comunicación o redes sociales, para que no exista ese estrés vehicular en las horas pico.
- Se recomienda hacer cumplir las leyes de tránsito con mayor rigurosidad para que las alternativas propuestas tengan un efecto positivo al momento de utilizarlas.