

## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Como parte fundamental en el desarrollo de la infraestructura vial de la ciudad de Tarija , el gobierno autónomo municipal de la ciudad de Tarija (GAMT) ha incluido dentro de sus prioridades la denominada obra ,puente 4 de Julio , cuya finalidad ha sido integrar de manera rápida, económica y segura, los distritos 1,2,3,4,5,6 con el distrito 12 y 13 , así como proporcionar el desarrollo de las poblaciones intermedias e incluidas en la zona de influencia de la obra, la cual se ha venido desarrollando como tal, desde meses y hasta el momento aún se encuentra en ejecución la misma. Este es el caso del sector que comprende la conexión de la avenida Víctor Paz Estensoro y avenida la Banda con puente 4 de julio, la cual optimizara los flujos vehiculares provenientes del distrito de la zona céntrica de la ciudad y los barrios del margen derecho de la ribera del río Guadalquivir.

Es en este contexto, en el cual se enmarca el presente trabajo, siendo la base el diseño de la intersección vial del puente 4 de julio se desarrollarán las alternativas a nivel de pre-diseño tanto a nivel como a desnivel, con la filosofía de buscar una solución que combine acertadamente respuesta técnica a los requisitos de servicio de fluidez, agrado, y sobre todo seguridad, factiblemente económico y ajustándose a los requerimientos de las especificaciones.

#### **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Una intersección también conocida como cruce o nodo es el punto donde dos o más vías convergen o confluyen, son puntos críticos ya que los vehículos de los ascensos desean hacer el usos del mismo punto además en el mismo tiempo, por lo tanto, el diseñador puede minimizar o atenuar mediante un diseño especial y cuidadosos de toda la zona comprendida en la intersección, buscando una solución que combine acertadamente una respuesta técnica a los requisitos del servicio (fluidez, agrado y, sobre todo , seguridad ) con soluciones que se encuentre un equilibrio entre las necesidades de todos los grupos de usuarios viales (camiones, automóviles ,bicicletas y peatones ) ,que se encuentran dentro de la factibilidad económica y respecto a la estética ambiental.

El crecimiento poblacional en la ciudad de Tarija y la migración de personas hacia la ciudad, condujo a un aumento del parque automotor de una manera exponencial el cual

conlleva a conflictos de congestión vehicular en las principales accesos puentes de las ciudades de Tarija, el cual uno de ellos es el puente San Martín, que se encuentra totalmente congestionado , por cantidad de tráfico presente en las horas pico, es por lo cual se está construyendo el puente 4 de Julio ubicado a unos 200 metros ,por consiguiente , su función vial es la de descongestionar la mayor cantidad de vehículos en la Malla vial de la zona, es por eso que se hace importante realizar el diseño de los accesos ,lo cual permitirá la entrada y salida del puente en cuestión, de manera que el diseño debe facilitar la visibilidad y la predictibilidad para todos los usuarios ,creando un entorno que permita realizar movimientos complejos en forma segura , fácil e intuitiva.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1. Situación problemática**

Las intersecciones viales es el cruce de dos o más calles, caminos. Su principal función es que quienes las transitan puedan conectarse con otra vía y así llegar al destino, son de especial interés dentro del estudio de la ingeniería de tránsito, por ser los puntos que generan mayores retrasos dentro de la red vial.

La geometría como una técnica para realizar las intersecciones viales es muy eficiente, pero en el departamento de Tarija (municipio de Cercado) se tiene diferentes intersecciones que provocan congestionamientos de vehículos casi todos los días en horas pico, ocasionando incomodidad e inseguridad de los transeúntes que deben cruzar por dichas intersecciones. Tal es el caso en la zona del puente San Martín , se tiene un congestionamiento vehicular a falta de un buen criterio de diseño de la intersección vial, que no tiene en función óptimamente en las salidas y ingresos del puente San Martín y es por eso que la construcción un nuevo puente denominado puente 4 de julio.

No tener un diseño geométrico bien realizado, técnicamente para el acceso mediante una intersección vial al puente 4 de Julio, será catastrófico porque la función de puente no se verá reflejada positivamente de descongestionar del tránsito y seguirá siendo un punto crítico de incomodidad para vehículos y transeúntes, por seguir alterando más el tránsito. Como una solución es necesario realizar un diseño geométrico de la intersección vial que se dará en el puente 4 de julio, donde sea funcional, respeto al tráfico vehicular y de los transeúntes, de tal manera se terminen los congestionamientos y sea ejemplo de solución de diferentes intersecciones en el departamento de Tarija y así eliminar perjuicios a futuro.

Se pretende realizar el diseño de dos alternativas de solución, una intersección a nivel y otra a desnivel en el puente 4 de julio, que se encuentra a 200 m. del puente San Martín, pretendiendo solucionar el congestionamiento vehicular realizando un diseño eficiente técnico y económicamente factibles.

### **1.3.2. Delimitación temporal**

El fenómeno de congestionamiento vehicular, está ocurriendo en tiempo presente

### **1.3.3. Delimitación espacial**

**Área de trabajo;** Topografía, Tránsito vehicular y peatonal.

**Base de operaciones;** Puente 4 de Julio, en las intercesiones del a avenida Víctor Paz Estensoro y avenida la Banda.

**Aplicación;** Intersección vial, evitar el congestionamiento, flujo vehicular y peatonal

### **1.3.4. Formulación del problema**

¿Cómo el diseño geométrico técnico de una intersección vial solucionará los requisitos del servicio (fluidez, agrado y sobre todo seguridad) en el acceso al puente 4 de julio?

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Diseñar una intersección vial para el tránsito, que sirva como acceso al puente 4 de Julio, que garantice geoméricamente el uso de técnicas normadas, dando una solución que combine acertadamente una respuesta técnica a los requisitos de servicio (fluidez, agrado y, sobre todo, seguridad).

### **1.4.2. Objetivos específicos**

Realizar el levantamiento topográfico

Estimar el tráfico que circulara por el puente 4 de julio

Elaborar el diseño a nivel de las intersecciones

Diseñar las intersecciones a desnivel

Graficar los planos de proyecto.

Elaborar costos y presupuesto de las alternativas

Evaluar la relación beneficio costo de las alternativas

## **1.5. ALCANCE**

El alcance del **“DISEÑO GEOMÉTRICO TÉCNICO DE LA INTERSECCIÓN VIAL A NIVEL Y DESNIVEL PARA EL ACCESO AL PUENTE 4 DE JULIO”**

El trabajo abarcó el diseño y análisis a nivel de ingeniería vial, por lo concerniente, se detalla las actividades a continuación:

- Se da una descripción de la ubicación, importancia y descripción general del proyecto.
- Se ejecutó el estudio de tráfico vehicular donde se cuantificó, se clasificó los volúmenes, conociendo el comportamiento actual y su proyección.
- Se realizó el levantamiento topográfico del área de estudio, obtenido el modelo digital de terreno (MDT).
- Se procedió al dimensionamiento de la carpeta estructural de las intersecciones.
- Se efectuó el diseño geométrico y las alternativas de las intersecciones a nivel y desnivel (diseño geométrico de la planimetría, altimetría y sección transversal) de los accesos al puente 4 de julio.
- Se realizó una descripción específica de las alternativas a nivel y desnivel.
- Se cumplió con el análisis de costos de las propuestas seleccionadas.
- Procedió a la evolución beneficio costos de cada alternativa
- De todos los estudios realizados se procedió a la redacción de las conclusiones finales y se dio las recomendaciones respectivas de acuerdo a los objetivos planteados.

no se analizó el diseño estructural de la intersección a desnivel porque sale fuera del objetivo del presente trabajo.

El tipo de investigación es descriptiva, porque se realizará el levantamiento de datos de variable dependientes, y se describirá su funcionalidad que afecta a la intersección.

## **1.6. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

### **1.6.1. Hipótesis**

Al realizará un diseño geométrico como técnica para intersecciones viales a nivel y desnivel que mejorará la transitabilidad vehicular y peatonal en el puente 4 de Julio.

### **1.6.2. Identificación de variables**

Las variables identificadas son las siguientes:

**Variable independiente:** nivel de servicio

**Variable independiente:** volumen de tráfico

**Variable independiente:** capacidad vehicular

**Variable dependiente:** geometría de la intersección

## CAPÍTULO II

### RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN

#### 2.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO

Proyecto: “DISEÑO TÉCNICO DE INGENIERÍA DE LOS ACCESOS AL PUENTE 4 DE JULIO A NIVEL Y DESNIVEL”, se encuentra ubicado en el departamento de Tarija, provincia Cercado, entre el barrio San Martín y las Panosas. Entre las avenidas las Américas y Av. la Banda.

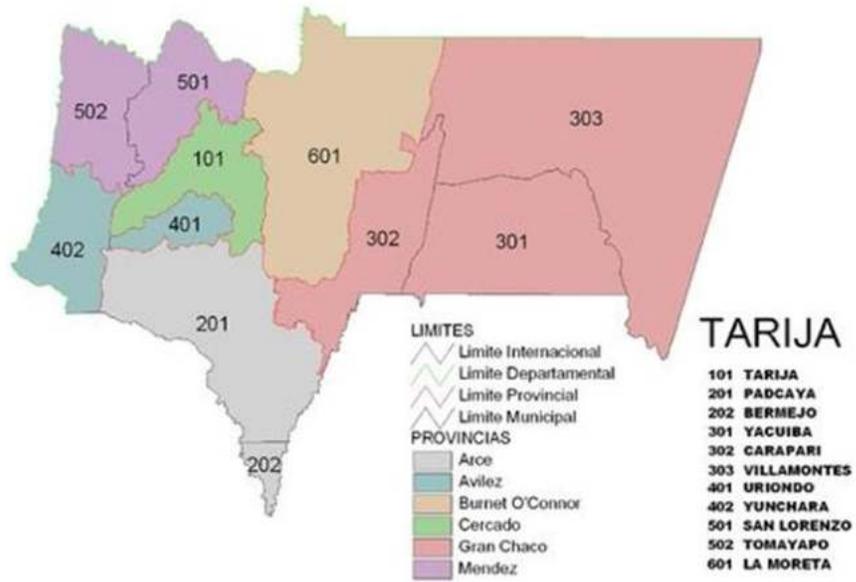
Sistema de coordenadas UTM Zona 20 sur, La figura 3, presenta la ubicación de los ingresos a la obra proyectada, La Tabla 1 presenta las coordenadas de los ingresos en la Zona (Norte-Este y Sur-Oeste) ingresos en el puente 4 de Julio.

*Figura 1. Mapa político de Bolivia -Tarija*



Fuente: latitud Bolivia,2021

Figura 2. Mapa político del departamento de Tarija



Fuente : UDAPA,2021

Figura 3.Ubicación del proyecto



Fuente: Google Eart,2021

*Tabla 1. Ubicación geográfica del proyecto*

Ingresos	E	N	Zona	Cota (m.s. n .m)
Ingresos SO	319646	7617567	20K	1870
Ingreso NO	319815	7617730	20K	1871

Fuente: Elaboración propia

## **2.2. ESTUDIO PREVIOS**

### **2.2.1. Estudio topográfico**

El levantamiento topográfico es la realización de un muestreo de puntos del terreno que sean representativos del relieve del terreno natural, es decir, la determinación de la posición respecto a un sistema de referencia de tres ejes ortogonales (x, y, cota en z) de aquellos puntos de importancia para el desarrollo del presente proyecto.

#### **2.2.1.1. Objetivos del estudio topográfico**

A los fines de este estudio, se buscaban principalmente tres resultados del relevamiento topográfico: un plano de hechos existentes, una red de puntos fijos y un MDT (modelo digital del terreno). Estos tres trabajos completos permiten:

- Conocer en detalle el entorno de la obra.
- Evaluar alternativas de trazado con conocimiento del terreno.
- Obtener planimetrías y altimetrías completas del proyecto.
- Obtener perfiles transversales del desarrollo de la obra.
- Conocer el macro drenaje del sector, mediante el conocimiento de las curvas de nivel que caracterizan el sector.
- Identificar líneas de agua de calles existentes, a fin de definir el micro drenaje.
- Permitir la georreferenciación del proyecto, atado a puntos fijos que faciliten el reconocimiento de puntos de interés para las tareas de construcción.
- Identificar puntos de control para el drenaje, etc.

#### **2.2.1.2. Ubicación del levantamiento topográfico**

Los tramos en estudio se encuentran ubicados en la provincia cercado del departamento de Tarija.

El tramo 1, Vía regional turística, corresponde a la avenida las Américas (lado Noreste) a la altura del puente 4 de julio, limitado desde el puente San Martín y 200 metros hasta la altura de la estación del comando general de la policía.

Tramo 2, (red de vías principales municipales), corresponde la avenida la Banda (lado Suroeste) desde el puente 4 de Julio hasta la altura de la universidad Privado Domingo Sabio (UPDS).

*Figura 4. Ubicación de la zona de estudio*



Fuente: Google Eart,2021

### **2.2.1.3. Equipos topográficos utilizados**

Los trabajos de topografía han sido realizados con la ayuda de los siguientes equipos y herramientas:(ver figura 5)

- 1 Estación Total marca Sokia SETSX
- 1 trípode
- 3 prismas
- 3 porta prismas
- Flexómetro
- Navegador GPS
- Navegador RTK

*Figura 5. Equipo topográfico utilizado*



Fuente: Elaboración propia

#### **2.2.1.4. Sistema de referencia utilizada**

El sistema de referencia utilizado es el Elipsoide de referencia WGS-84 Zona 20S en coordenadas UTM.

#### **2.2.1.5. Trabajo de campo**

Para el caso del proyecto de diseño de los ascensos al Puente 4 de Julio, el método utilizado para el relevamiento de datos fue el levantamiento topográfico terrestre. Esto se justifica por las características de la obra y su emplazamiento, por ser un proyecto en una vía principal de la ciudad de Tarija, ubicado en una zona altamente urbanizada. Todo esto implica que la observación en campo sea fundamental, por la gran cantidad de puntos de interés existentes.

Con la ayuda de GPS, ubicamos los sitios definidos durante las visitas de campo .

*Figura 6. Obtención de puntos B.M por medio del instrumento R.T.K (bm-1)*



Fuente: Elaboración propia

Se estableció una poligonal de cuyos vértices han sido colocados en puntos estratégicos de una buena visibilidad para el levantamiento topográfico y replanteo, del diseño del proyecto, se ha establecido una red de puntos de control BMs (ver tabla 2)

*Tabla 2. Puntos de control*

Nombre	Norte	Este	Elevación
BM-acceso	7617740,245	319822,148	1903,592
BM puente	7617682,321	319779,131	1906,601
BM-2	7617682,334	319779,147	1906,609
BM-2	7617739,576	319836,745	1904,216
BM-1	7617749,981	319856,084	1904,610

Fuente: Elaboración propia

A partir de los vértices de la poligonal se realizó un barrido taquimétrico de todos los detalles (calles, muros, aceras, veredas, árboles), ver figura 7, que dan una clara representación del terreno, la nube de punto obtenidas del levantamiento se encuentra en el anexo 3 .

*Figura 7. Levantamiento topográfico en zona de estudio*

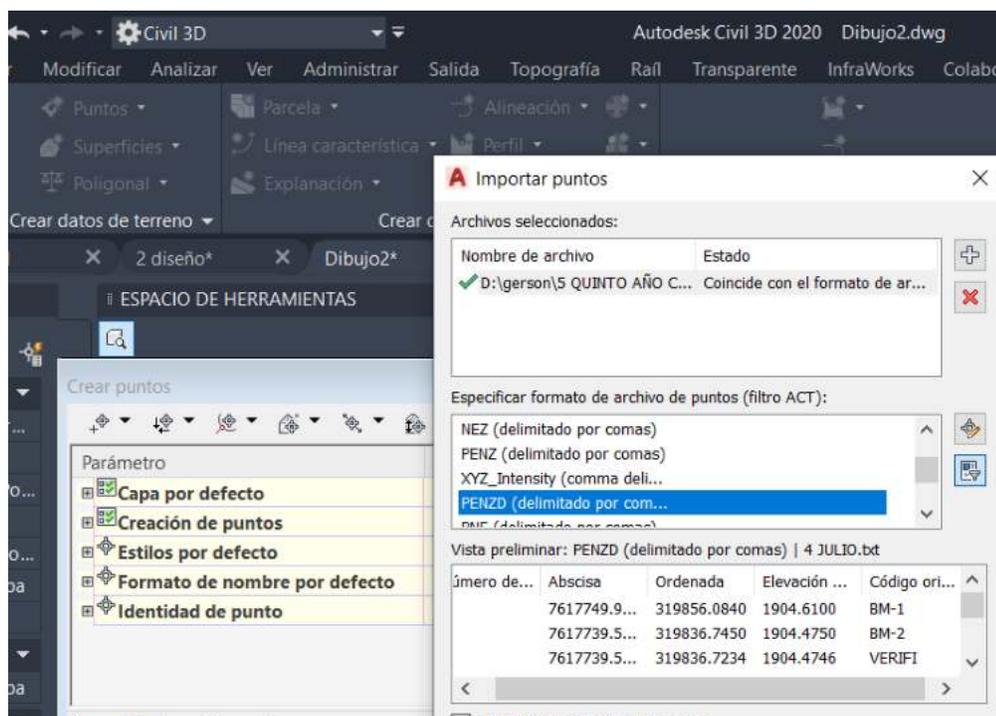


Fuente: Elaboración propia

#### **2.2.1.6. Trabajo en gabinete**

Todo el relevamiento se realizó con instrumentos digitales, (estación total), la misma que registra la información en una libreta electrónica que posteriormente fueron bajadas en forma directa a un ordenador computacional eliminando así los errores por transcripción. Luego se llevó el archivo a una hoja electrónica de cálculo (Excel 2016). Procedentemente al obtener la nube de puntos, se exporta esa información a el software Autodesk Civil 3D 2021, el proceso consiste en calcular las coordenadas (X, Y, Z) de cada punto relevado en campo, para generar una triangulación generando un Modelo Digital del Terreno, (MDT).

Figura 8.Importación de puntos al civil 3D



Fuente: Elaboración propia

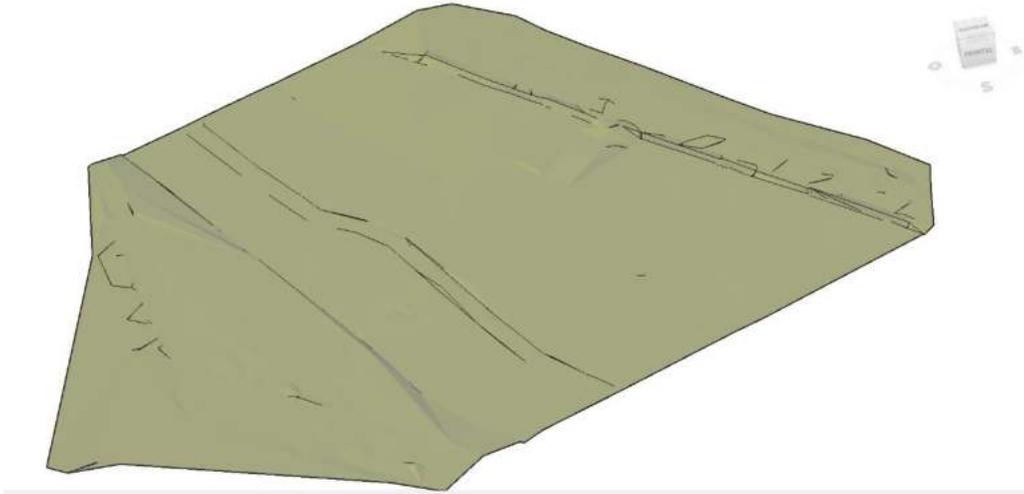
### 2.2.1.7. Modelos digitales de terreno (MDT)

Las relaciones de correspondencia con la realidad se establecen a través de vectores, coordenadas espaciales (X, Y, Z), ecuaciones, matrices y algoritmos matemáticos, que, al estar codificados en cifras, permiten su manejo y archivo en computadoras.

El MDT es el resultado final, englobando el Modelo Digital de Elevaciones (MDE), cuya variable principal es la cota, además de otras propiedades del terreno de importancia para el proyectista.

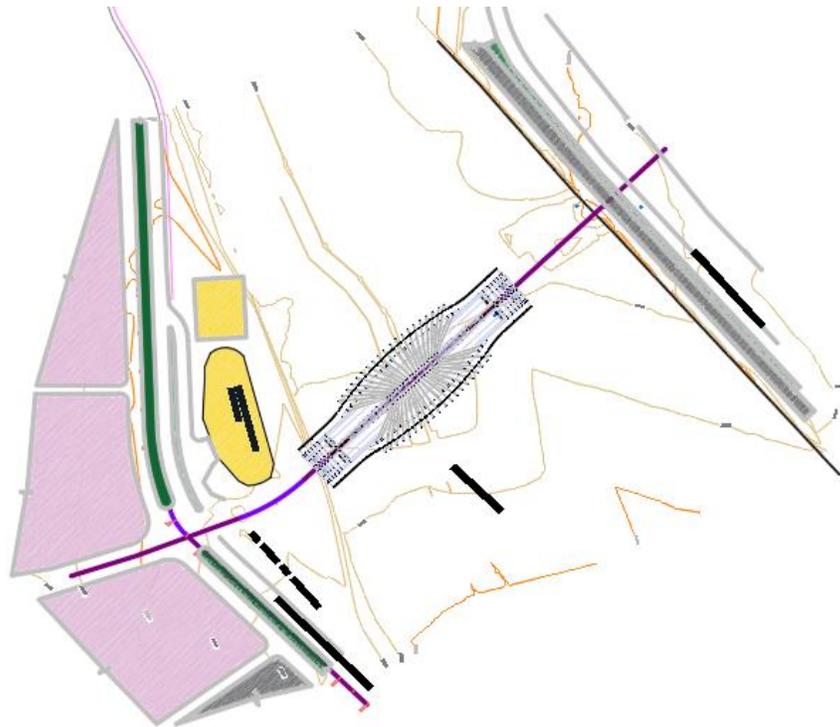
La captación de la información de la planimetría y altimetría, constituye el paso inicial en el proceso de construcción del MDT y MDE, e incluye la fase de transformación de la realidad geográfica a la estructura digital de datos manipulables por medios informáticos. Sin dudas la calidad del modelo dependerá del software utilizado, pero principalmente depende de la calidad y densidad de la captura de datos.

Figura 9. Modelo digital de elevaciones



Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Plano de curva de nivel



Fuente: Elaboración propia

El plano topográfico a mayor detalle se encuentra en el apéndice de planos.

### **2.2.1.8. Análisis de resultados**

#### **2.2.1.8.1. Características de relieve de la avenida las Américas (Noreste)**

Las características topográficas más relevantes de lugar, donde se pretende emplazar, está constituida por la avenida las Américas, la misma que consta de tres carriles principales y dos isletas longitudinales.

Los carriles centrales tienen dimensiones de ancho de vía variables, las mismas son: carril derecho 7.50(m.), carril central 7 (m) y carril a la izquierda 8 (m).

Las pendientes longitudinales de los carriles son los siguientes: carril a la derecha, (2.3%), carril central (2.75%) y carril a la izquierda (2.9 %)

La cota del tablero de puente es de 1906.601 msnm. en relación a la avenida las Américas, presenta un nivel de 1904.610 m. s. n. m., se presenta un desnivel de 1.9 m.

La vía está compuesta de dos isletas longitudinales de secciones de variables de 3 metros entre el carril izquierdo y derecho y de 11 metros entre el carril central y el derecho.

En el lado del carril derecho se presenta áreas privadas correspondiente a edificaciones, comercios restaurantes, discotecas, comando policial. también interceptándose con las siguientes calles: 15 de abril, Sevilla, Daniel Campos y Ballivián .

En el lado del carril de la izquierda colindando con la zona ribereña de río Guadalquivir, se presenta a 200 metros el puente San Martín que cuenta con dos carriles, colindando con una zona de comidas, el parque de los compadres y el parque de los changuitos y muro de roca longitudinal que separa el área pública de la recreacional.

El resultado final es el plano topográfico, el cual contiene las curvas de nivel, a cada metro, se mencionan los nombres de las calles y contiene vista al puente 4 de Julio y los perfiles longitudinales (ver anexo 4-Planos)

#### **2.2.1.8.2. Características de relieve de la avenida la Banda**

la Avenida la Banda cuenta con dos carriles de un ancho variable y una isleta central.

El ancho de carril a la derecha es de 8 metros, la isleta central de 6,7 m, y el carril de la izquierda de 7,9 metros.

Las pendientes longitudinales del carril de la derecha son de 1,75 % y del carril de la Izquierda 1,65 %.

A la altura del puente se cuenta con una intersección tipo mini glorieta el cual tiene una radio de 6 metros y se encuentra elevada a 20 centímetros respecto al pavimento.

A la salida del puente en dirección Nor-Este se encuentra colindado el mercado San Martín, un módulo dos niveles, que cuenta con una zona de estacionamiento de longitud 100 metros al ingreso del mercado, que a su vez cuenta en la planta baja con una zona de comidas y en parte superior se encuentra la dirección de ordenamiento territorial (DOT) en dirección sur este se encuentra la universidad Privada Domingo Sabio.

En el carril Derecha de la avenida la Banda colinda con el lado ribereño del río Guadalquivir, que posee un paseo peatonal con Jardíneras y áreas deportivas.

El carril izquierdo se interceptan con las calles: Héroes de la Independencia, calle 25 de mayo, pasaje provincia Gran Chaco, Fabián Ruiz Hervás.

### **2.2.2. Estudio de tráfico**

La información de volúmenes de tránsito es de gran utilidad en la planificación del transporte, diseño vial, operacional del tránsito e investigación, en el presente estudio se tomaron volúmenes clasificados (por tipo de vehículos) que nos permite realizar un análisis del comportamiento actual del tráfico vehicular de la zona estudiada.

#### **2.2.2.1. Variables de tráfico**

*Tabla 3. Variables a analizar*

N	Variable	Unidad	Definición
1	Volumen vehicular	Veh/ hrs.	Número de vehículos que pasan por una sección durante un período de tiempo específico.
2	Velocidad de circulación	(m/s)	Es el cociente entre la distancia recorrida en un tramo determinado y el tiempo que el vehículo está en movimiento.

Fuente: Elaboración propia

#### **2.2.2.2. Método de muestreo**

Con el propósito de conocer la demanda actual, se recopiló los volúmenes de tráfico y velocidad en las zonas cercanas al puente 4 de Julio, los volúmenes se aforaron en las horas pico, dos horas pico, dos días hábiles y un día no hábil durante cuatro semanas (un mes).

La clasificación de tipo de vehículos es de liviano, mediano y pesado correspondiente a la clasificación a asociación americana de oficiales de carreteras estatales y transportes (AASTHO,2004)

- Vehículos Livianos (automóviles, camionetas, jeep, vagonetas, otros livianos).
- Medianos (micro, 22 asientos, ómnibus,23-25 asientos, otros medianos).
- Pesados: pequeño de 6 Tn, medianos de (6 a 10 Tn), y tráiler de dos ejes.

### 2.2.2.3. Zona de aforo

Luego de la primera visita a la zona de estudio se pudo determinar que las estaciones de aforo, las cuales son las siguientes:

- La rotonda del puente San Martín, las Américas (lado Noreste)
- La rotonda de puente San Martín-Hermanos Uriondo (lado Suroeste)
- Mini rotonda Avenida La Banda -mercado San Martín
- Rotonda Héroes de la independencia-Av. los Sauces
- Calle Sevilla -avenidas las Américas
- Calle Ramón Rojas-avenida las Américas.

*Figura 11.Estaciones de aforo de tráfico*



Fuente: Google Eart Pro

#### **2.2.2.4. Planificación y ejecución del relevamiento de campo**

El trabajo se realizó en equipo , dada la complejidad de la intersección y la gran envergadura de la misma. Por lo que se requirió de organización previa y establecer códigos de trabajo para poder realizar el análisis de datos de manera prolija y ordenada.

Se determinó cuáles eran los datos a relevar y la forma de hacerlo. Los datos que relevamos fueron volumen, composición vehicular de todas las calles de la intersección en todos los sentidos y las velocidades de recorrido en las estaciones de aforo.

#### **2.2.2.5. Determinación de la hora pico**

Se procedió a relevar la fluctuación del tráfico durante un día (6am-10 pm), para obtener las dos horas de mayor flujo vehicular, en la rotonda de la salida del puente San Martín (lado Noreste), ya que es la que mayor volumen de tráfico presenta, teniendo como resultados las horas que se generan mayor flujo vehicular, 11 a.m. a 12 a.m. y de 6:00 pm a 19:00 p.m. Mismas que se adoptan como horas pico en presente proyecto. (ver anexo 2 , estudio de tráfico), estas dos horas pico reflejan la variabilidad, que normalmente era característico tener tres horas pico en relación otros proyectos realizados anteriormente, el proyecto es desarrollado en época de la pandemia de Covid-19 que generó a que se restrinja lugares de alta aglomeración de personas (transporte público , universidades, Colegios, Centros deportivos, etc).

#### **2.2.2.6. Determinación de los días a aforar**

Con las horas pico determinadas, se adopta como días de aforo 3 veces a la semana dos días hábiles (lunes y miércoles) y un día no hábil (sábado), durante un mes, obtenido un cronograma de aforos (ver Anexo 2 , estudio de tráfico)

#### **2.2.2.7. Ejecución del relevamiento en campo**

##### **2.2.2.7.1. Aforo vehicular**

El aforo se realizó de manera manual (método tradicional), a pesar de ser una persona realizando el trabajo, se necesitó colaboradores en la tarea de toma de datos de volumen y para medir las velocidades, de todas formas, se determinó que para realizar la toma de datos se hubiera necesitado por lo menos 5 personas más para poder realizar la toma de datos de manera simultánea, el aforo se realizó durante 15 minutos. Se empleó una planilla donde se clasificaba los movimientos (frente, giro izquierda, derecha) y el tipo de vehículo (liviano , mediano, pesado), (ver anexo 2 , estudio de tráfico).

Figura 12. Planilla de aforo

LUGAR		.....			
Fecha:		Estacion de Aforo:		SM1	
SENTIDO DE CIRCULACION	Hora:			SEMANA:	
	clase de vehiculo				
PRIVADO	GIRO IZQUIERDA 	Livianos	Medianos	Pesados	Total
	FRENTE 				
TOTAL					

Fuente: Elaboración propia

#### 2.2.2.7.2. Velocidad de recorrido

Se recolectaron los datos de distancia midiendo el tramo central de la avenida las Américas, por medio de una cinta métrica se marcó de 20 metros ,arriba de la intersección con la rotonda del puente San Martín, para eliminar el efecto de desaceleración que se produce al llegar a una intersección, para medir a los vehículos (livianos y pesados) en flujo libre, de ahí se marcó 25 metros, generando un tramo donde entre dos personas ,se colocaron a inicio y fin del tramo con cronómetros para determinar el tiempo de viaje , esos tiempos fueron registrados en una planilla de datos para su posterior análisis.(ver anexo 2 ,estudio de tráfico)

#### 2.2.2.8. Procesamiento de datos

Después que los datos han sido recolectados en campo, la información debe ser procesada para ser analizada, utilizando métodos estadísticos apropiados, de manera que las condiciones de tránsito prevalecientes sean reflejadas en el presente estudio.

La información recolectada está basada en el tiempo de ocurrencia de los eventos (como el paso de vehículos por una sección), y el arreglo de los valores (depuración), se define como una distribución basada en el tiempo de ocurrencia, cuyo objetivo es describir un conjunto de datos de una muestra utilizada, que incluye la tendencia central, la forma más común de describirla es la media aritmética

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$$

Donde:

X = Media aritmética

$\sum X_i$  = Sumatoria de la muestra aforada

N=Número de datos de la muestra.

Otro valor estadístico descriptivo es la variabilidad o dispersión de los datos de una muestra, la más importante es la desviación estándar:

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

Donde:

S = Desviación estándar

N = Número de datos de la muestra

$X_i$  = Muestra aforada

X = Media aritmética

Se convirtió los intervalos de tiempo de 15 minutos aforados, multiplicar por un factor de 4, para obtener tráfico promedio horario (TPH), para promediar las dos horas pico, para luego agruparlas en semanas.

Para obtener los valores representativos (volúmenes vehicular y velocidades de recorrido), se procedió a hacer la depuración de datos correspondiente del mes de aforo, con los valores de la media de cada semana y la desviación estándar, generando un rango de máximo y rango mínimo. Se sigue el mismo procedimiento para la determinación de la velocidad de recorrido.

Donde todo valor del conjunto de datos que se encuentre dentro del rango, era considerado valor verdadero, lo valores que se encontraron fuera del intervalo, eran depurados o descartados.

$$(S + \bar{X} \leq X \leq S - \bar{X} )$$

Donde:

X = Valor verdadero

S = Desviación estándar

X = Media aritmética

El tráfico actual de la zona en estudio, se encuentra en el anexo 2, estudio de tráfico.

### 2.2.2.9. Velocidad de recorrido

La velocidad de operación determinada es la velocidad media de desplazamiento que refleja la situación actual en el tramo de estudio. (Av. las Américas), ver tabla 4. (ver anexo2 , estudio de Tráfico)

*Tabla 4. Velocidades de recorrido del área de estudio*

Valor	Unidad	Valor	Unidad
6,999	m/s	25,197	km/h

Fuente: Elaboración propia

El presente estudio, se adopta como velocidad de proyecto 25 km/h

### 2.2.3. Pronóstico de tráfico vehicular futuro

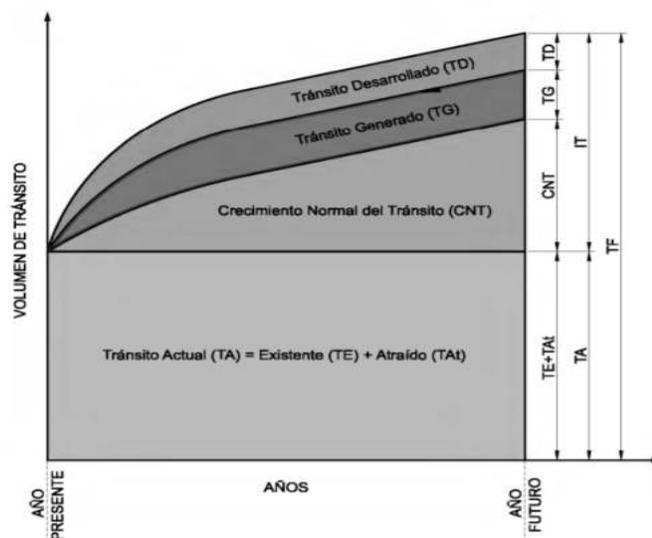
Los volúmenes de tránsito futuro TF, para efectos de proyecto se derivan a partir del tránsito actual TA, y del incremento del tránsito IT, esperado al final del período o año meta seleccionado. De acuerdo a esto, se puede plantear la siguiente expresión

$$TF=TA+IT$$

El incremento del tránsito IT, es el volumen de tránsito que se espera use la nueva carretera en el año futuro seleccionado como de proyecto. Este incremento se compone del crecimiento normal del tránsito CNT, del tránsito generado TG, y del tránsito desarrollado TD. que se expresa mediante la siguiente relación.

$$IT=CNT+TG+TD$$

Figura 13. Componente del tráfico futuro



Fuente: Cali y Mayor, (2018)

#### 2.2.4. Crecimiento normal de tránsito CNT.

Es el incremento del volumen de tránsito debido al aumento normal en el uso de los vehículos. El deseo de las personas por movilizarse, la flexibilidad ofrecida por el vehículo y la producción industrial de más vehículos cada día, hacen que esta componente del tránsito siga aumentando.

##### 2.2.4.1. Determinación de la tasa de crecimiento

Para la proyección del tráfico vehicular se utilizó la tasa de crecimiento del parque automotor, producción interna bruta (PIB) y la tasa de crecimiento poblacional.

Tabla 5. Tasa de crecimiento promedio

Factores	Local (%)	Nacional (%)
Parque automotor	3,509	4,751
Producción interna bruta	4,271	5,511
Crecimiento Poblacional	1,900	1,411
Promedio	3,231	3,881

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE)

Índice de crecimiento poblacional asumido es de un valor de 3.23 %.

La siguiente expresión lineal para el pronóstico del crecimiento normal del tránsito.

$$CNT = TPD \left(1 + \frac{i}{100}\right)^n$$

Donde

CNT = Crecimiento normal de tránsito

TPDA = Tránsito Promedio diario anual.

I = Tasa de crecimiento vehicular

N = Años de pronóstico

Los resultados de esta proyección se encuentran en el anexo 2, estudio de tráfico

### **2.2.5. Tránsito generado TG**

Consta de aquellos viajes vehiculares, distintos a los del transporte público, que no se realizarían si no se construye la nueva conexión. El tránsito generado se compone de tres categorías: el tránsito inducido, el tránsito convertido, y el tránsito trasladado.

Al tránsito generado se le asignan tasas de incremento entre el 5% y el 25% del tránsito actual, con un período de generación de uno o dos años después de que la carretera ha sido abierta al servicio.

En el presente proyecto, la implementación del puente 4 de julio, se acorta la distancia del tráfico en la zona sur oeste (ruta mínima) generando un tiempo de viaje más corto para el viaje que llega de esa dirección y el mismo puente tiene una mayor capacidad vehicular, por lo tanto, se asume un TG de 25 % respectó al tráfico Actual.

#### **2.2.5.1. tránsito inducido**

Nuevos viajes no realizados previamente por ningún modo de transporte

#### **2.2.5.2. Tránsito convertido**

Nuevos viajes que previamente se hacían masivamente en taxi, autobús, y que por razón de la nueva carretera se harían en vehículos particulares.

#### **2.2.5.3. Tránsito trasladado**

Consistente en viajes previamente hechos a destinos completamente diferentes, atribuibles a la atracción de la nueva carretera

### **2.2.6. Tránsito desarrollado TD**

Incremento del volumen de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacentes a la carretera.

Se asume un incremento de 3 % respecto al tráfico actual.

### **2.2.7. Período de proyección del tráfico futuro**

Para la proyección de tráfico, se usa un período de diseño de 20 años, estimar el tráfico más allá de este período, no se justifica, debido a que surgirá cambios, en la economía regional, la población, en el desarrollo de la región, que hacen que la variable de tráfico sea fluctuante y multivariables en relación al tiempo.

Para el proyecto definimos un período de diseño de:

$$N=20 \text{ años}$$

El pronóstico de tráfico futuro de la zona en estudio se encuentra en anexo 2 de estudio de tráfico.

### **2.2.8. Corrección de volúmenes de tráfico en época de pandemia**

El 11 de marzo del 2020 se confirma el primer caso de covid-19 en Bolivia ,a partir de ese momento comenzó una estrategia de medidas decretadas por el gobierno para controlar la propagación del virus, desde el inicio se plantearon diversas fases de restricciones y aperturas para el tránsito vial ,comercios y actividades sociales y masivas .con el tiempo, esas fases iniciales fueron modificadas por las autoridades de acuerdo con los efectos del virus en distintos momentos y lugares del territorio. El objetivo central era desincentivar las aglomeraciones y la movilidad de personas para reducir el contacto entre ellas.

El presente apartado se cuantifico la variación de tráfico vehicular por los efectos de la pandemia, realizando una comparación de datos previos (tesis de grado) y base de datos Google-informe de movilidad local. Para posteriormente realizar el ajuste al tráfico aforados.

#### **2.2.8.1. Informes de movilidad local**

Estos informes muestran las tendencias de movimiento a lo largo del tiempo ordenadas por zonas geográficas y clasificadas en diversas categorías de lugares, como tiendas y espacios de recreativos, supermercados y farmacias, parques, estaciones de transporte, lugares de trabajo y zonas residenciales.

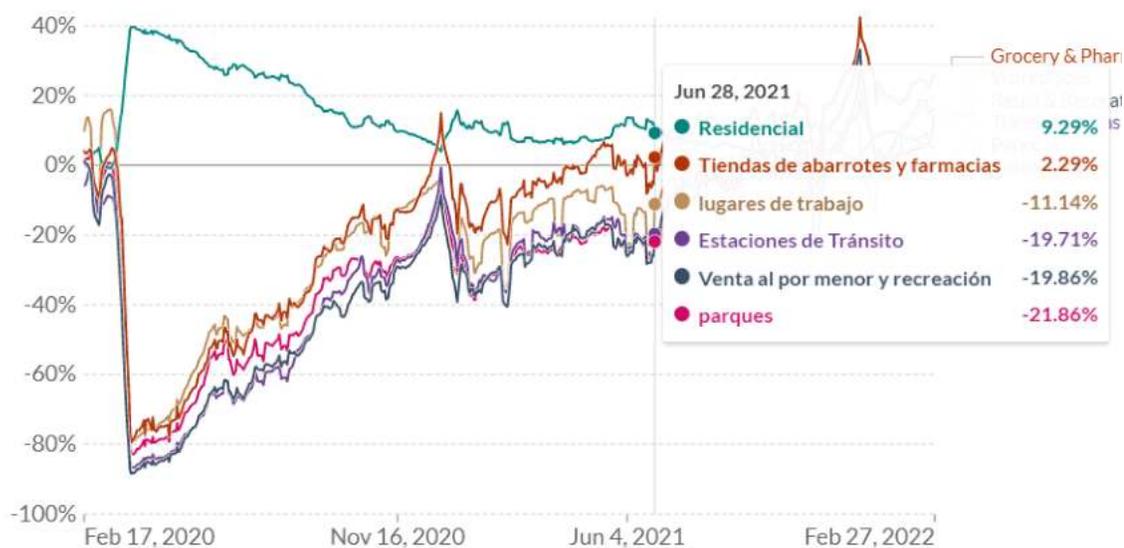
La información que contienen estos informes se crea a partir de conjuntos de datos agregados y anonimizados provenientes de usuarios que han activado el historial de ubicaciones por medio de GPS del teléfono móvil de Google.

Para realizar el ajuste porcentual de datos de tráfico vehicular se analizaron los valores de informe de movilidad local de Bolivia (población), luego se analizó la zona de estudio (Muestra) de la ciudad de Tarija y la provincia de Cercado.

### 2.2.8.1.1. Cambio porcentual de movilidad local en la ciudad de Bolivia

La siguiente figura se muestra la variación porcentual en relación al tiempo de transporte vehicular en el país de Bolivia, obtenida de Informe de movilidad de Google.

*figura 14. Cambio porcentual de movilidad local en Bolivia*

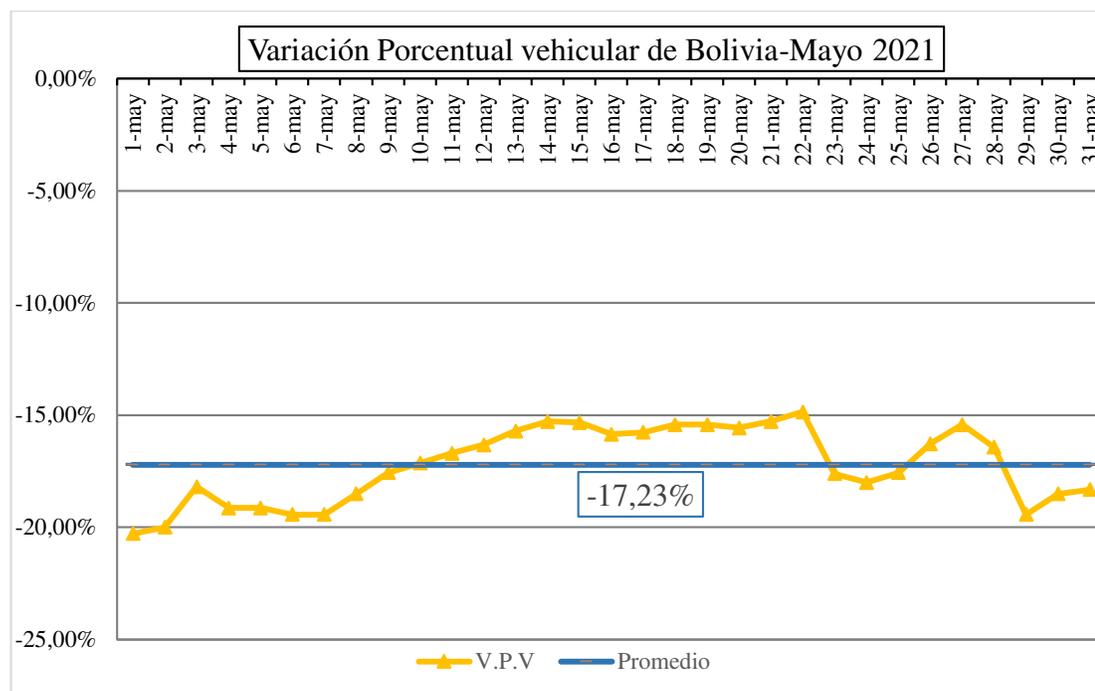


Fuente: Informe de la movilidad local -Google

De la figura anterior se puede observar que, en el mes de febrero del 2020, al inicio de la pandemia, el tráfico vehicular descendió a un promedio del 90% por las restricciones impuestas por el gobierno, luego se presenta subida escalonada de tráfico. Donde en el mes de diciembre del 2020 presenta un pico por las fiestas de fin de año. Para luego tener un descenso en los primeros trimestres del 2021 por la elevación de casos, para después presentar valores una subida, hasta alcanzar valores normales a partir en el mes de septiembre del 2021.

De los datos obtenidos del informe de movilidad local de Google. se obtendrá la variación porcentual del mes de mayo a nivel nacional, que el mes que se realizó el aforo vehicular.

figura 15. Variación porcentual vehicular-Bolivia-Mayo 2021



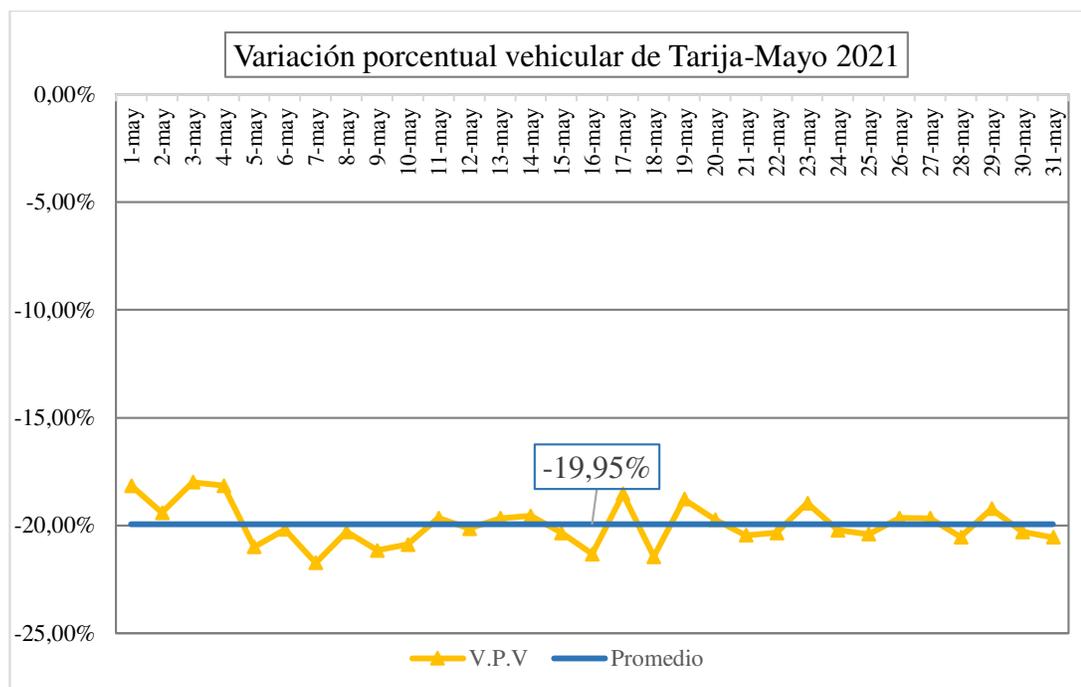
Fuente: Informe de movilidad local-Google

De los datos obtenidos de la variación porcentual vehicular, se obtiene un valor promedio mensual, de - 17.22 % por debajo del tráfico vehicular promedio

#### 2.2.8.2. Cambio porcentual de la movilidad local en el departamento de Tarija.

De los datos proporcionados del informe de movilidad local, se proporcionado por la empresa mundial de internet (Google), se obtiene la variación diaria porcentual del transporte Vehicular del departamento de Tarija representado en la siguiente figura.

figura 16. Variación porcentual vehicular del departamento de Tarija-Mayo 2021



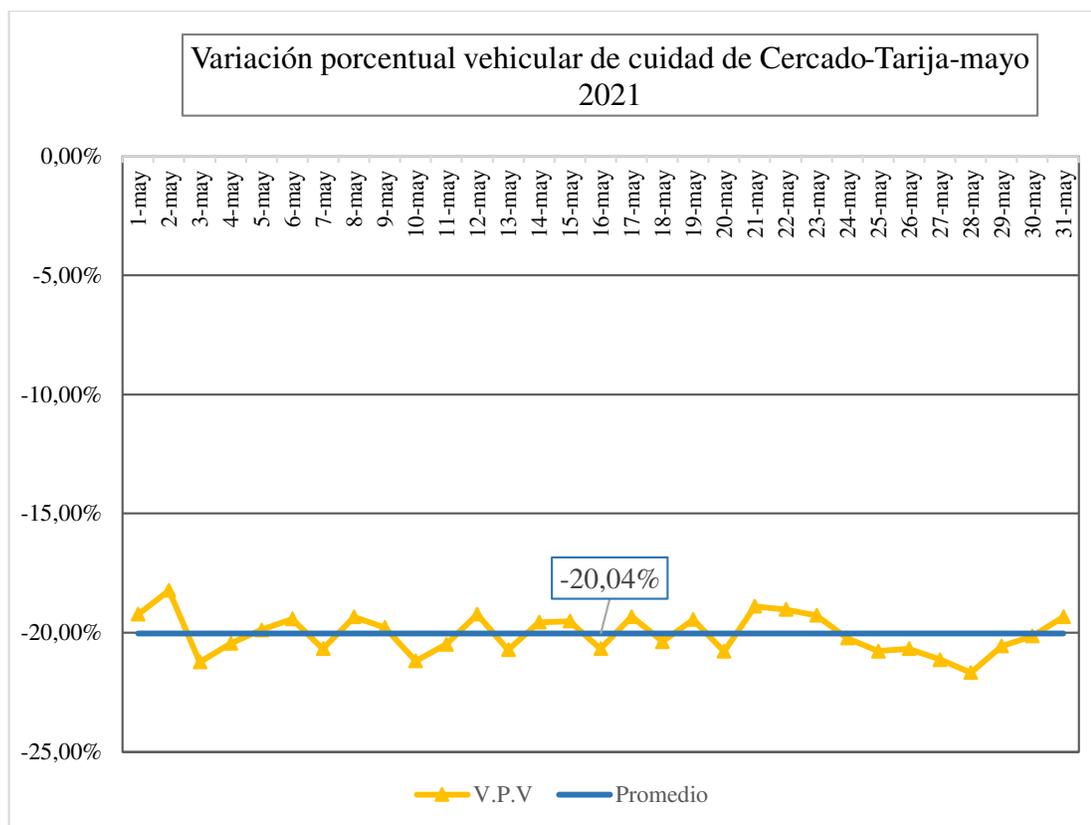
Fuente: Informe de movilidad local-Google

De los valores promedios diarios se obtiene el valor promedio que representara la variación porcentual de mes de mayo del 2021, con un valor por debajo del valor promedio de -19,95 %.

### 2.2.8.3. Cambio porcentual de la movilidad local de la provincia Cercado-Tarija

El procedimiento para obtener el cambio porcentual de tráfico vehicular para la provincia cercado de la ciudad de Tarija en igual a los dos anteriores apartados. Por los tanto en la siguiente figura se representa los datos obtenidos del informe de movilidad local de la empresa de internet Google.

figura 17. Variación porcentual vehicular de la provincia Cercado



Fuente: informe de movilidad local-Google

#### 2.2.8.4. Regresión matemática de las variaciones porcentuales de tráfico

Las regresiones matemáticas son ampliamente utilizadas para la estimación del tráfico futuro, en el presente acápite se utilizará una base histórica de datos de la tesis - evaluación de la capacidad vehicular y semaforica de la rotonda con flujo de tráfico -puente San Martin, la presente posee datos aforados en el periodo del 2016, mismo lugar donde en mayo del 2021, se adoptó como estación de aforo.

La metodología para obtener la variación porcentual vehicular, se tomó como fuente de datos, los aforos del 2016, (de la tesis mencionada anteriormente) por tener las mismas características geométricas y de ubicación donde, se seguirá el procedimiento secuencial descrito a continuación:

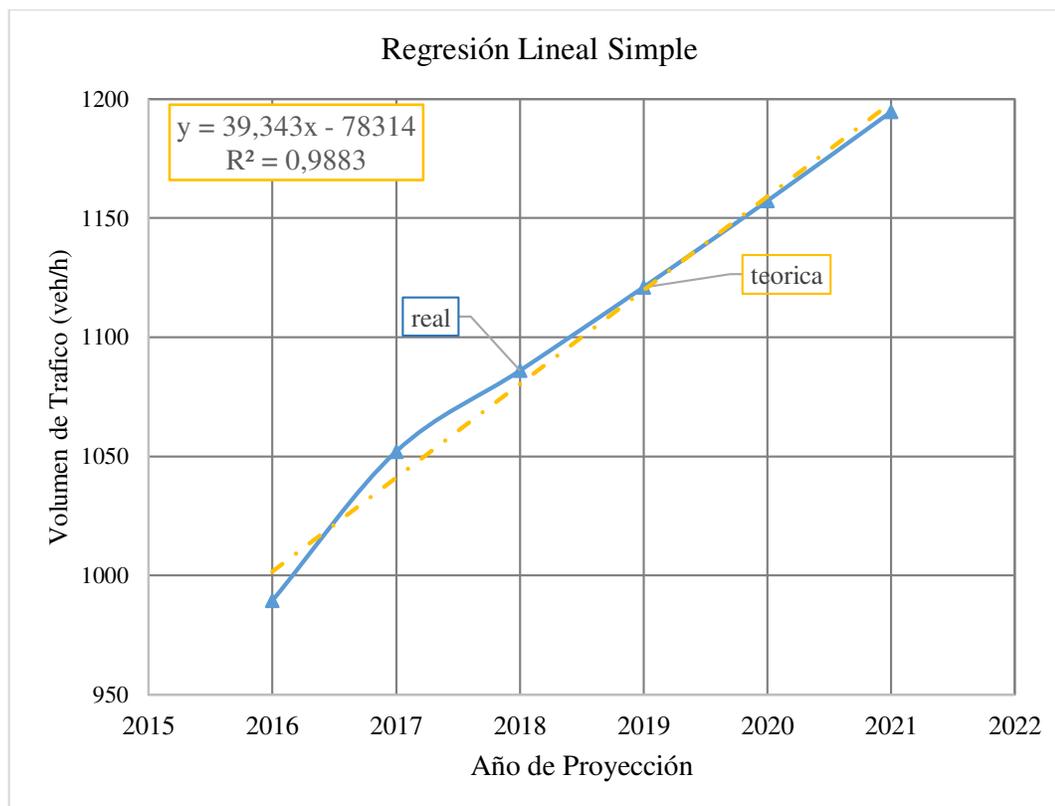
- 1) Recopilación de información de banco de datos históricos.
- 2) Depuración estadística de la base de datos histórico.
- 3) Regresión lineal tráfico futura, proyectado al periodo de aforo
- 4) Comparación de los valores proyectados y los datos aforados

### 5) Obtención de la variación porcentual de tráfico.

De la bibliografía consultada se puede concluir que los pronósticos mediante regresiones exponenciales, con el transcurrir de los años, tiende a ser más elevada, que en cualquiera de las demás regresiones. Por el contrario, los pronósticos mediante las regresiones potenciales y logarítmicas, tienden a ser más bajas. En la práctica se ha comprobado que los volúmenes de tráfico futuro, no tienden a ser tan altos y tampoco tiende a ser tan bajos, porque la regresión lineal es la que mejor se ajusta a su tendencia de crecimiento. (Cal y Mayor, 2018)

Por lo concerniente se aplicó una regresión lineal para la proyección del tráfico futuro de la base de datos histórico.

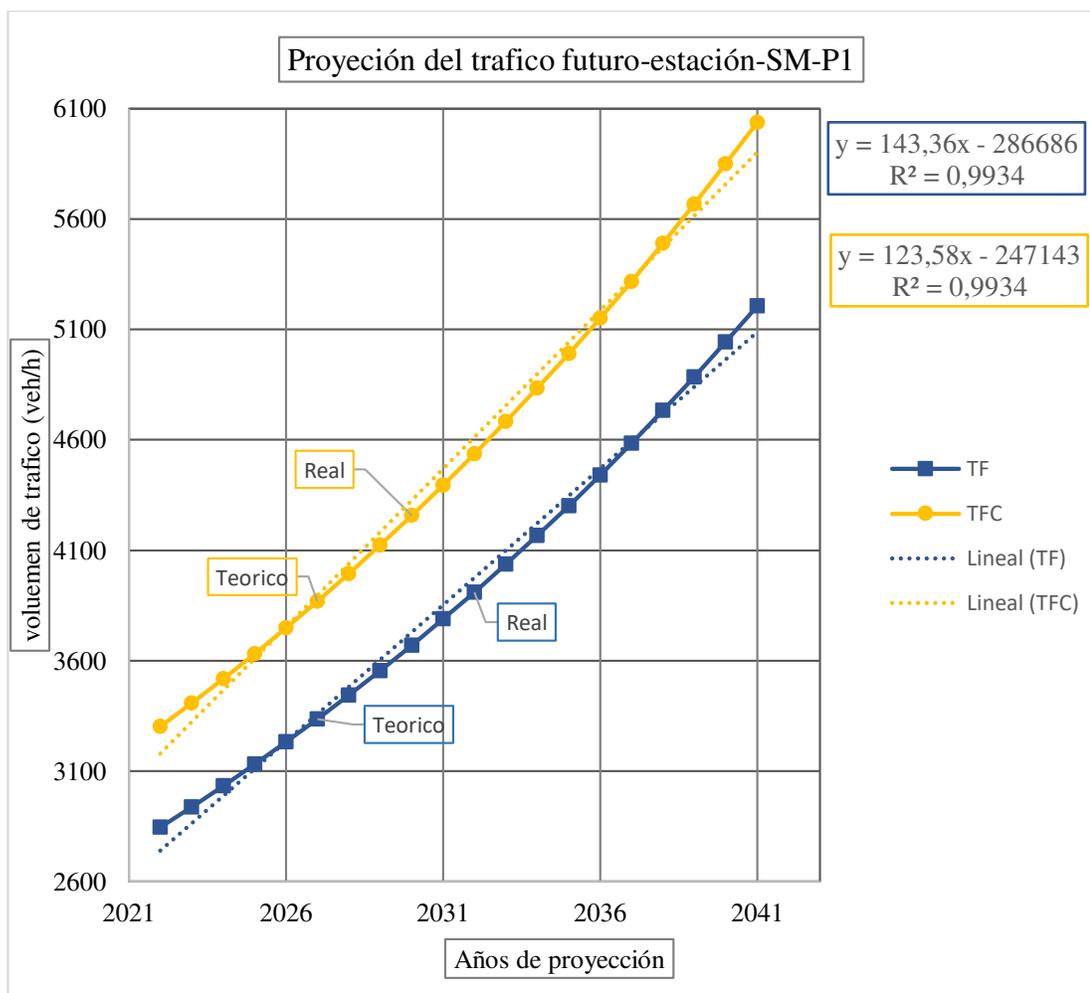
*figura 18. Regresión lineal simple -2016-2021*



Fuente: Elaboración propia

Obtenido el tráfico proyectado de la base histórica, proyectada al 2021, se realizó una comparación del tráfico futuro aforado de las 4 estaciones de la rotonda del puente San Martín en el 2021 con el tráfico futuro de la base histórica, que se presenta en la siguiente figura.

Figura 19. Proyección de tráfico futuro de datos aforados vs datos históricos



Fuente: Elaboración propia

Se concluye que de la figura 19, que el tráfico futuro proyectado de la base de datos histórico (línea amarilla) está por encima del tráfico futuro proyectado de datos aforados en el 2021, esta variación corresponde a los efectos de la pandemia del covid-19 donde en la fecha de aforamiento vehicular, estaba restringido los lugares de alta aglomeración (colegio, universidades, estadios, etc.) por lo cual, genera de una manera directa un descenso en el transporte móvil, por lo tanto analizado las 4 estaciones de aforo la variación porcentual de tráfico vehicular que presenta la zona de estudio, es 16% menor a los datos proyectados de tráfico de la base de datos histórico.

### 2.2.9. Variación vehicular porcentual del proyecto

De la fuente de datos de obtenida del informa de movilidad local de Google se concluye que la variación porcentual a nivel nacional, departamental y municipal son muy parecidos por las restricciones a causa de la pandemia del Covit -19, reflejando estos datos la coordinación inter- institucional para reducir las causas de contagio. En el siguiente cuadro se refleja los resultados de la variación Porcentual.

*Tabla 6. Variaciones porcentuales -nacional-departamental-municipal*

Nivel	Variación porcentual vehicular (%)
Nacional	-17,231
Departamental	-19,951
Municipal	-20,041
Promedio	-19,071
Desviación estándar	1,602

Fuente : Informe de Movilidad Urbana-Google

A partir de la regresión lineal de datos histórico, ampliamente utilizada para la proyección da tráfico futuro se evidencia que respecto a los datos aforados en relación a la proyección son de valor decreciente, causado por la pandemia, que causo un descenso en el uso de medios de transporte masivos.

Del informe de movilidad local y del uso de la regresión matemática lineal con datos históricos se adopta los valores de los datos de informe de movilidad local de Google , por las siguientes ventajas:

- Se utiliza una combinación de las señales de la aplicación y los GPS del teléfono celular donde está instalada la ampliación.
- El nuevo conjunto de datos de Google mide el número de visitantes en categorías específicas de ubicación de todos los días y compara este cambio con el día de referencia antes de la pandemia.
- Se tienen la variación porcentual para el mes del aforo realizado, (mayo 2021)

- Las aplicaciones móviles tienen antecedentes de uso con éxito para planificar obras viales e integrar los efectos que los datos móviles integran, en la toma de decisiones públicas.
- Se cuenta con valores de la variación porcentual vehicular a nivel nacional, departamental y municipal, teniendo variación de mensual de volumen de tránsito, (ver figura 15,16 y 17). del 2021.

Vale indicar que esas mediciones no son representación perfecta de la realidad; es decir, no representan un censo de la movilidad personal. No obstante, dado el uso masivo de tecnología celular en el país, constituye una herramienta más robusta disponible hasta el momento para medir los fenómenos en estudio.

Por lo anterior mencionado se adopta un valor porcentual vehicular para la zona del proyecto de 19.5 %, valor que será multiplicado por los volúmenes aforados, obtenido un volumen vehicular corregido.

#### **2.2.10. Ajuste y expansión de volúmenes de tránsito**

Por el tiempo limitado del presente proyecto, no se dispone de información de volúmenes a través de periodos largos como, por ejemplo, un año. Por lo tanto, es necesario contar con estaciones maestras de aforo permanente o periódico, que permite determinar factores de expansión y ajuste aplicables a otros lugares que tengan comportamiento similar y en los cuales se efectuara aforos periódicos cortos.

Los aforos continuos proporcionan información muy importante con respecto a los patrones de variaciones horarias, diarias, periódicas o anual del volumen de tránsito.

El tránsito tiende a tener variaciones cíclicas predecibles, por lo que, a través de una clasificación adecuada de las vialidades y los aforos, es posibles establecer el patrón básico de variaciones del volumen de tránsito para cada tipo de carretera o calle. Más aún, si bien los valores de los volúmenes específicos para determinados periodos (minutos, horas, días) pueden llegar a ser bastante diferentes de un lugar a otro, su proporción en el tiempo con respecto a los totales o promedios, es en muchos casos, constantes o consistentes. Estas propiedades, son las que sustentan el uso del factor de expansión y ajuste en la estimación de volúmenes para otros lugares y otros periodos de tiempo.

### **2.2.10.1. Ajuste de volúmenes de tránsito a nivel urbano**

Se trata de producir datos que definan los patrones de flujo en toda una red urbana durante un intervalo común de tiempo. Generalmente no es posible aforar en todos los tramos al mismo tiempo, debido a limitaciones personales, recursos y equipos. Para tal efecto se utiliza la técnica de muestreo, mediante la definición de estaciones maestras. Para tal control, en las cuales se afora durante períodos largos, para monitorear las variaciones del flujo, para de esta manera ajustar los aforos en las demás estaciones (de cobertura o no maestra) donde se han tomado periodos cortos.

De lo anterior mencionado, se adopta como estación maestra, intersección del puente San Martin lado Sureste, entre la avenida las Américas y la calle 15 de abril, bajos los siguientes criterios:

- La estación San Martin, posee la mayor cantidad de flujo vehicular en relación a las demás estaciones de aforo.
- Se realizó el aforo vehicular en un periodo de 24 horas para conocer la fluctuación de la variación vehicular.
- La rotonda del puente San Martin, posee diferentes estudios de capacidad, congestión, demanda vehicular, previos a la realización del presente proyecto.
- La rotonda de puente San Martin, lado surestes, se encuentra a una distancia de 200 metros a los ascensos al puente 4 de julio.

Del estudio realizado las primeras 24 horas (ver anexo2-estudio de tráfico), para determinar las horas de mayor flujo vehicular, se obtiene la variación porcentual de la estación, rotonda San Martin.

Tabla 7. Transito horario-estación –rotonda del puente San Martin

Horas	Movimiento 1	Movimiento 2	Movimiento 3	Movimiento 4
6:00-7:00	1185	500	612	633
7:00-8:00	1901	607	712	1014
8:00-9:00	1934	845	889	1032
9:00-10:00	1986	856	1025	1060
10:00-11:00	2121	900	1094	1132
11:00-12:00	2256	980	1164	1204
12:00-13:00	1979	860	1021	1056
13:00-14:00	1527	646	788	900
14:00-15:00	1763	687	910	941
15:00-16:00	2063	802	966	1101
16:00-17:00	2038	897	1051	1088
17:00-18:00	2184	956	1127	1166
18:00-19:00	2296	1004	1168	1240
19:00-20:00	1759	712	895	950
20:00-21:00	1552	615	789	838
21:00-22:00	937	422	477	506
T.D	29481	12289	14688	15861

Fuente: Elaboración propia

Como se planteó anteriormente, los volúmenes horarios se pueden expresar como una proporción de los volúmenes diarios, de la siguiente manera.

$$(P_i)_M = \frac{(TH_i)_M}{(TD)_M}$$

Donde:

$(P_i)_M$  = Proporción del Volumen de tránsito de la hora i con respecto al volumen de tránsito diario en la estación maestra M.

$(TH)_M$  = Volumen de tránsito de la hora i en la estación maestra M.

$(TD)_m$  = Volumen de transito diario en la estación maestra.

En la siguiente tabla, se presenta la variación porcentual, obteniendo un valor promedio de los 4 movimientos de la estación maestra.

*Tabla 8. Proporción horaria de la estación maestra*

Proporción movimiento 1	Proporción movimiento 2	Proporción movimiento 3	Proporción movimiento 4	Promedio $Pi_M$	Horas
0,040	0,041	0,042	0,040	0,041	6:00-7:00
0,064	0,049	0,048	0,064	0,057	7:00-8:00
0,066	0,069	0,061	0,065	0,065	8:00-9:00
0,067	0,070	0,070	0,067	0,068	9:00-10:00
0,072	0,073	0,074	0,071	0,073	10:00-11:00
0,077	0,080	0,079	0,076	0,078	11:00-12:00
0,067	0,070	0,070	0,067	0,068	12:00-13:00
0,052	0,053	0,054	0,057	0,054	13:00-14:00
0,060	0,056	0,062	0,059	0,059	14:00-15:00
0,070	0,065	0,066	0,069	0,068	15:00-16:00
0,069	0,073	0,072	0,069	0,071	16:00-17:00
0,074	0,078	0,077	0,074	0,076	17:00-18:00
0,078	0,082	0,080	0,078	0,079	18:00-19:00
0,060	0,058	0,061	0,060	0,060	19:00-20:00
0,053	0,050	0,054	0,053	0,052	20:00-21:00
0,032	0,034	0,032	0,032	0,033	21:00-22:00

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el tráfico promedio diario, se tomará movimiento de mayor flujo vehicular. De los cuatro movimientos de la estación de aforo de la rotonda San Martin, el movimiento 1 es de mayor flujo vehicular en relación a los otros movimientos. Los aforos realizados en periodos de 15 minutos, es los diferentes ascensos de la estación maestra, se adopta como hora representativa de las (18:00 a 19:00) pm, por las siguientes justificaciones:

- Es la hora pico de mayor flujo en relación a la hora pico de 11:00 a 12 :00 Am
- En función a los efectos de la pandemia, es la hora en relación a estudios precedentes al proyecto, que no presento una fluctuación como hora pico en comparación a las otras horas de mayor flujo vehicular presente en el día.

El patrón se aplica a los volúmenes horarios aforados, aplicando la anterior ecuación, de la primera semana, el día lunes, movimiento 1, de las 18:00-19:00 Pm, se espera que el volumen horario ( $TH_{18-19}$ ) sea el 0,079 (7,9 %) de su volumen diario  $(TD)_1$ , esto es:

$$(TH_{18-19}) = 0,079 * (TD)_1$$

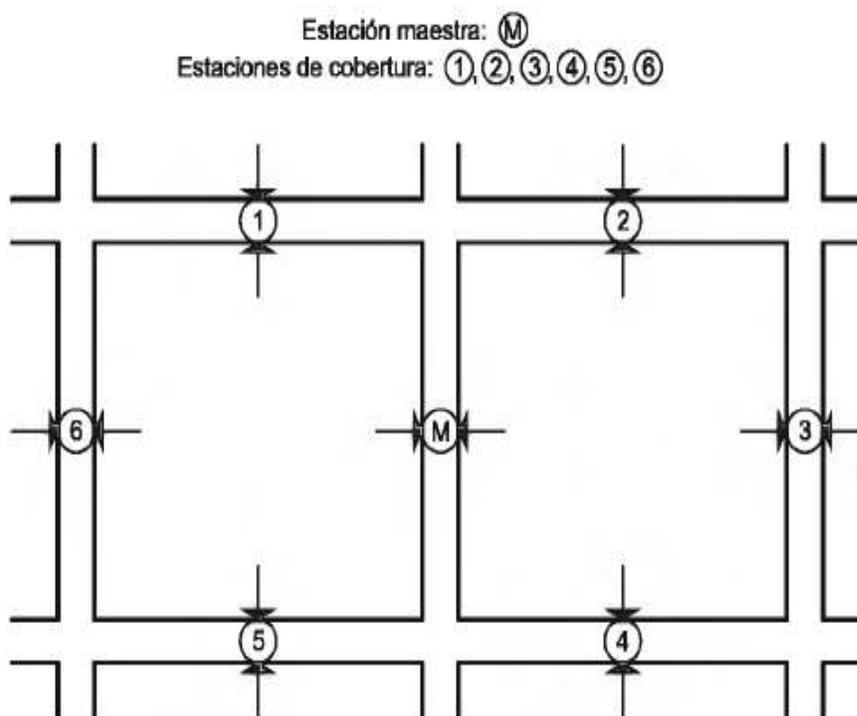
De donde:

$$(TD)_1 = \frac{(TH_{18-19})_1}{(P_{18-19})_M} = \frac{2457}{0.079} =$$

$$TD1 = 31101 \text{ vehículos mixtos / día}$$

Por lo tanto, el volumen de tránsito horario de cualquier hora  $TH_i$ , en la estación de cobertura se puede estimar en relación a una estación patrón.( ver figura 20).

*Figura 20. Estudio de volúmenes de tránsito en un red urbana*



Fuente: Cal y Mayor, 2019

De esta manera, en la tabla 9 se presenta la expansión de volúmenes de tránsito horario para todo el día de la estación de cobertura del movimiento, un día lunes de la primera semana.

Tabla 9. Expansión de volúmenes –movimiento 1, estación rotonda de San Martin

Expansión de volúmenes -San Martin- Lunes				
Semana 1	Estación maestra	Transito horario estación de cobertura		
Hora	Proporción horaria	volumen total	Giro derecha	Frente
6:00-7:00	0,041	1258	671	587
7:00-8:00	0,057	1752	934	818
8:00-9:00	0,065	2013	1073	940
9:00-10:00	0,068	2119	1130	989
10:00-11:00	0,073	2254	1201	1052
11:00-12:00	0,078	2412	1286	1126
12:00-13:00	0,068	2116	1128	988
13:00-14:00	0,054	1663	887	776
14:00-15:00	0,059	1835	978	857
15:00-16:00	0,068	2094	1116	978
16:00-17:00	0,071	2186	1165	1021
17:00-18:00	0,076	2340	1247	1092
18:00-19:00	0,079	2457	1310	1147
19:00-20:00	0,060	1846	984	862
20:00-21:00	0,052	1620	864	757
21:00-22:00	0,033	1011	539	472
Tráfico diario (TD)		30975	16512	14463

Fuente: Elaboración propia

Se realizó la expansión datos de la estación rotonda San Martin, de los 3 días aforados en una semana (lunes, miércoles, sábado), de las 4 semanas, mismo que se encuentra en el apéndice de anexos 2 estudio de tráfico.

### 2.2.11. Relación entre el tráfico promedio semanal y anual

El comportamiento de cualquier fenómeno o suceso estará naturalmente mucho mejor caracterizado cuando se analiza todo su universo, en este caso, el tamaño de su población está limitado en el espacio y en el tiempo, por las variaciones asociadas al mismo.

Con respecto a los volúmenes de tránsito, para obtener el tránsito promedio diario anual TPDA, es necesario disponer de un número total de vehículos que pasan durante un periodo de un año, por el punto o sección de referencia, mediante aforos continuos. Ya sea en periodos horarios, diarios, semanales o mensuales.

En el presente proyecto, por la limitación de tiempo, no se realizó el aforo durante un periodo de un año. En estas situaciones, muestra de los datos sujetas a las mismas técnicas de análisis permite generar el comportamiento de la población.

Por lo anterior, en los análisis de volúmenes de tránsito, la media poblacional o tránsito promedio diario anual TPDA, se estima con base en la media muestral o tránsito promedio diario mensual , TPDM ,según la expresión :

$$TPDA = TPDM \mp A$$

Donde:

A= Máxima diferencia entre TPDA y TPDM

Como se observa, el valor de A, sumando o restando del TPDM, define el intervalo de confianza dentro del cual se encuentra el TPDA. Para un determinado nivel de confiabilidad, el valor de A es:

$$A=KE$$

Donde:

K= Número de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confiabilidad deseada.

E= Error estándar de la media.

#### 2.2.11.1. Distribución normal

Estadísticamente se ha demostrado que la media de diferentes muestras, tomadas de la misma población, se distribuyen normalmente alrededor de la media poblacional con una desviación estándar equivalente al error estándar. Por lo tanto, también el error estándar de la media se puede escribir:

$$E=\sigma$$

Donde:

$\sigma$  = Estimador de la desviación estándar poblacional ( $\sigma$ ).

Una expresión para determinar el valor estimado de la desviación estándar poblacional  $\sigma$ , es la siguiente:

$$\hat{\sigma} = \frac{S}{\sqrt{n}} * \left( \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right)$$

Donde:

S = Desviación estándar de la distribución de los volúmenes de tránsito diarios o desviación estándar muestral .

n = Tamaño de la muestra, número de días del aforo.

N = Tamaño de la población, en número de días del aforo.

La desviación estándar muestral S, se calcula como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TPDM)^2}{n - 1}}$$

Donde:

TD i = Volumen de transito del día i

Finalmente, la relación entre los volúmenes de tránsito promedio diario anual y mensual es:

$$TPDM = TPDA \mp A$$

$$TPDA = TPDM \mp K * \hat{\sigma}$$

En la distribución normal, en la tabla siguiente, se presenta los niveles de confiabilidad correspondiente a los valores constante k.

Tabla 10. Constante correspondiente al nivel de confiabilidad.

Constante K	Nivel de confiabilidad (%)
1	68,3
1,5	89,6
1,64	90
1,96	95
2	95,5
2,5	98,8
2,58	99
3	99,7

Fuente: Cal y Mayor, 2019

De lo expuesto anteriormente se aplica, a los datos obtenidos durante 4 semanas de 2021, durante un mes de mayo, para obtener el TPDA. En la siguiente tabla se presenta el tráfico promedio semanal y mensual de los datos aforados.

#### 2.2.11.2. Transito promedio diario mensual y semanal

Tabla 11. Tránsito promedio semanal y mensual.

Transito promedio diario semana			
semana	volumen total	Giro derecha	Frente
1	38067	20848	17219
2	33827	16713	17114
3	32341	16150	16190
4	32602	16110	16492
TPDM	34209	17455	16754

Fuente: Elaboración propia

##### 2.2.11.2.1. Desviación estándar muestral

Se aplica al movimiento de mayor flujo de la estación maestra, en este caso giro derecha.

$$S = \sqrt{\frac{(20848 - 17455)^2 + (16713 - 17455)^2 + \dots + (16110 - 17455)^2}{4 - 1}}$$

$$S=2279.$$

### 2.2.11.2.2. Desviación estándar poblacional

De acuerdo a la siguiente expresión se tiene:

$$\hat{\sigma} = \frac{2279}{\sqrt{4}} * \sqrt{\frac{52 - 4}{52 - 1}}$$

$$\sigma = 1105$$

### 2.2.11.2.3. Intervalo de TPDA para una distribución normal.

Según la tabla 10, para el nivel de confianza de 90%,  $k=1,64$ . Entonces se puede obtener los siguientes valores.

$$TPDA = TPDM \mp k * \hat{\sigma} = 17455 \pm 1,64 * 1105$$

$$TPDA = 17455 \mp 1812 \text{ Vehículos mixtos / día}$$

Esto significa que el valor máximo que puede tomar TPDA es:

$$TPDA = 17455 + 1812 = 19267 \text{ Vehículos mixtos/ día}$$

Y el valor mínimo es:

$$TPDA = 1745 - 1812 = 15643$$

El intervalo de confianza de TPDA, se expresa de la siguiente manera:

$$19267 \text{ Vehículos mixtos / día} \leq TPDA \leq 15643 \text{ vehículos mixtos / día.}$$

*Tabla 12. Tabla de resultados TPDA -distribución normal*

Distribución normal			
Tráfico promedio diario anual (TPDA)			
valor	Movimiento		
	Total	Giro derecha	Frente
Máximo	36319	19268	17147
Mínimo	34209	17455	16754

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.11.3. Distribución T de student

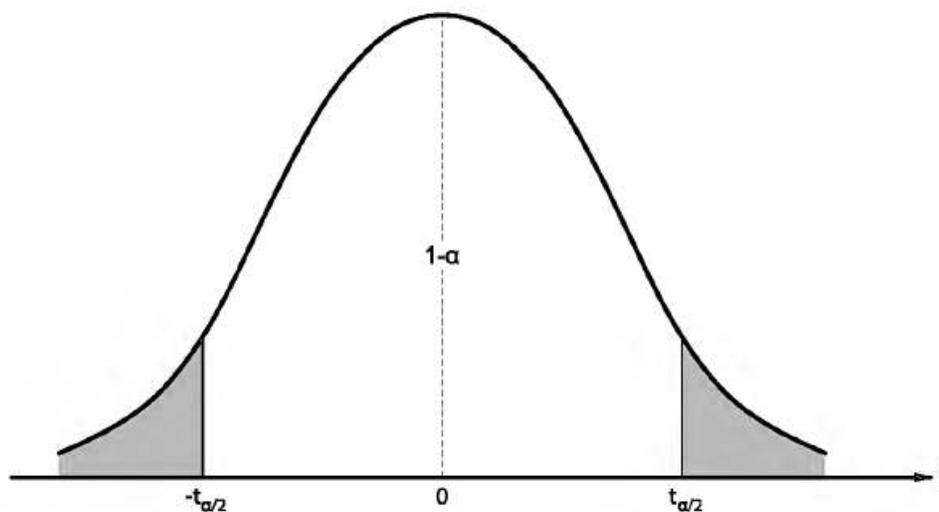
Otro enfoque en estudio de volúmenes de tránsito sobre una población normal, generalmente no se conoce ni su población ni su media poblacional  $\mu$  ( TPDA ) ni su varianza poblacional  $\sigma^2$  , Si TPDM y  $S^2$  son la media muestral y la varianza muestral insesgada respectivamente , es obtenida de una muestra aleatoria de tamaño  $n$  ( un mes) tomada de una población normal , se sabe que la estadística :

$$T = \frac{TPDM - TPDA}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

Tiene una distribución *t de Student* con  $n-1$  grados de libertad.  $T$  permite la construcción de un intervalo de confianza para el  $TPDA$ . De acuerdo con la figura 21, dado el coeficiente de confianza  $1-\alpha$ , es fácil obtener el valor de  $t_{\alpha/2}$  de una tabla de la distribución  $t$ .

$t_{\alpha/2}$  es el valor de la distribución con  $n-1$  grados de libertad, arriba del cual se obtiene un área de  $\alpha/2$ . Por la simetría de la curva, un área igual a  $\alpha/2$  caerá a la izquierda de  $-t_{\alpha/2}$ .

Figura 21. Propiedades de la simetría de la distribución *t de student*



Fuente: Cal y Mayor, 2019

De donde el intervalo de confianza para  $TPDA$  es :

$$TPDM - t_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{S}{\sqrt{n}} \leq TPDA \leq TPDM + t_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Donde:

$TPDM$  = Tráfico promedio diario mensual

$S$  = Desviación estándar muestra

$N$  = Tamaño de la muestra. semanas aforadas

Ahora, utilizando la estimación por intervalo, según la distribución *t de student*, se tiene:

$$1 - \alpha = 90$$

$$\alpha = 0,10$$

$$\frac{\alpha}{2} = 0,05$$

de la tabla de la distribución t de studen, para  $\alpha/2 = 0.05$  grados de libertad ,4-1=6, se tiene que:

$$t_{\alpha/2} = 2,3534$$

Por lo tanto el intervalo de confianza del TPDA para el moviente 1 de estación de aforo San Martin, movimiento giro a la derecha (por ser el moviente que mayor tráfico vehicular se presenta en la intersección) es las siguientes:

Se adopta el valor de la desviación estándar muestral del anterior ejemplo.

$$TPDM - t_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{n}} \leq TPDA \leq TPDM + t_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$17455 - 2,3534 * \frac{2279}{\sqrt{4}} \leq TPDA \leq 17455 + 2,3534 * \frac{2279}{\sqrt{4}}$$

$$14774 \leq TPDA \leq 20136$$

Se presenta en la tabla 13, el resumen de TPDA del movimiento 1 de la estación de aforo san Martin.

*Tabla 13. Resumen de resultados-TPDA- Distribución t de studen*

Distribución T de studen			
Tráfico promedio diario anual (TPDA)			
valor	Movimiento		
	Total	Giro derecha	Frente
Máximo	37330	20137	17045
Mínimo	31088	14774	16463

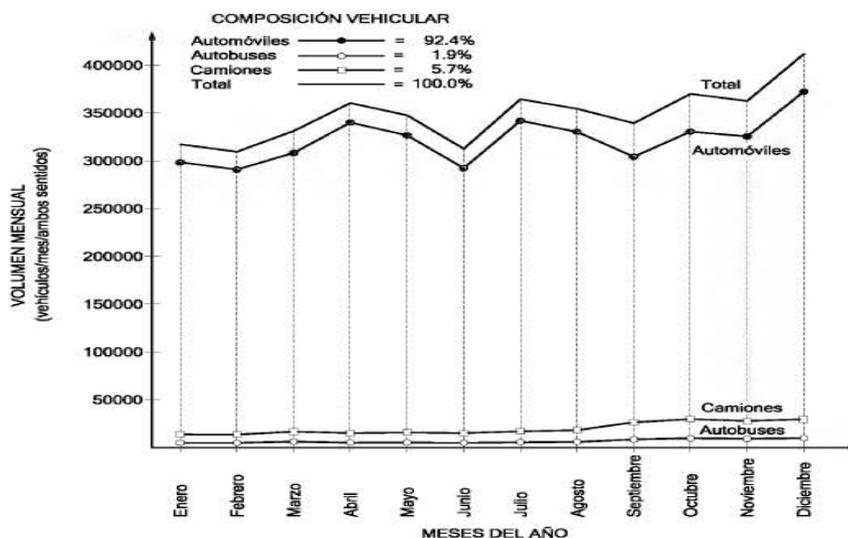
Fuente: Elaboración propia

### **2.2.12. Tráfico Promedio diario anual de diseño**

Hay meses que las calles y carreteras llevan mayores volúmenes que otros, presentando variaciones notables. Los más altos volúmenes de tránsito se registran en semana santa, en las vacaciones escolares y a fin de año por las fiestas y vacaciones navideñas del mes de diciembre. Por esta razón los volúmenes de tránsito promedio diarios que caracterizan cada mes son diferentes, dependiendo también, en cierta manera, de la categoría y del tipo de servicio que presten las calles y carreteras. Sin embargo, el patrón de variación de

cualquier vialidad no cambia grandemente de año a año, a menos que ocurran cambios importantes en su diseño.

Figura 22. Variación mensual del volumen de tránsito



Fuente: Ingeniería de Tránsito, Cal y mayor ,2019

De los dos anteriores acápites se puede observar, en la estimación del TPDA, el intervalo de confianza según la distribución t de studen es un poco mayor que la distribución normal.

Para el presente proyecto se adopta un valor promedio de los entre las distribuciones normales y de t de studen.

Tabla 14. Tráfico promedio diario anual –máximos y mínimos

Tráfico promedio diario anual (TPDA)			
valor	Movimiento		
	Total	Giro derecha	Frente
Máximo	36825	19702	17096
Mínimo	32649	16115	16609

Fuente: Elaboración propia

### **2.2.12.1. Análisis de resultados del estudio de tráfico**

- Se evidencia que en la avenida las Américas a la altura del puente San Martín se genera un congestionamiento vehicular, colas en las horas pico a determinadas horas.
- Si tiene un tráfico intenso en los tres ramales de las avenidas las Américas
- En el futuro próximo en relación al estudio de tráfico, se prevé que el crecimiento vehicular genera una mayor congestión y demoras de viajes, debiendo diseñarse intersecciones a distinto nivel.
- En la rotonda del lado Suroeste, el movimiento predominante es de puente San Martín-Avenidas Héroes de la Independencia. En relación a la calle Ángel Baldivieso y hermanos Uriondo, la relación es de 9 a 1.
- La mini Rotonda de la avenida la Banda-Mercado San Martín la que menor tráfico presenta y mayores velocidades de recorrido posee.

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO DE INGENIERÍA**

#### **3.1. DISEÑO PRELIMINAR DE ALTERNATIVAS A NIVEL Y DESNIVEL**

##### **3.1.1. Categoría vial**

La estructura vial como organizadora de la ciudad, nos permite reconocer su forma de crecimiento, generar economías externas, definir la calidad de la articulación interna, etc. Así mismo esta estructura vial forma parte y permite conectarnos con el sistema provincial, departamental y nacional. (plan municipal de ordenamiento territorial-GAMT,2010).

El plan municipal de ordenamiento territorial categoría a la avenida las Américas como red regional turística de responsabilidad municipal, modificando su uso, excluyendo el vehículo pesado, para permitir el recorrido de la ciudad con una visión turísticas. (plan municipal de ordenamiento territorial-GAMT,2010).

La avenida la Banda se encuentra categorizada como red de vías principales, sirviendo como enlace entre las diferentes zonas urbanas, principalmente de Sureste a Noreste. (plan municipal de ordenamiento territorial-GAMT,2010).

##### **3.1.2. Diseño de la intersección en función del (TMDA)**

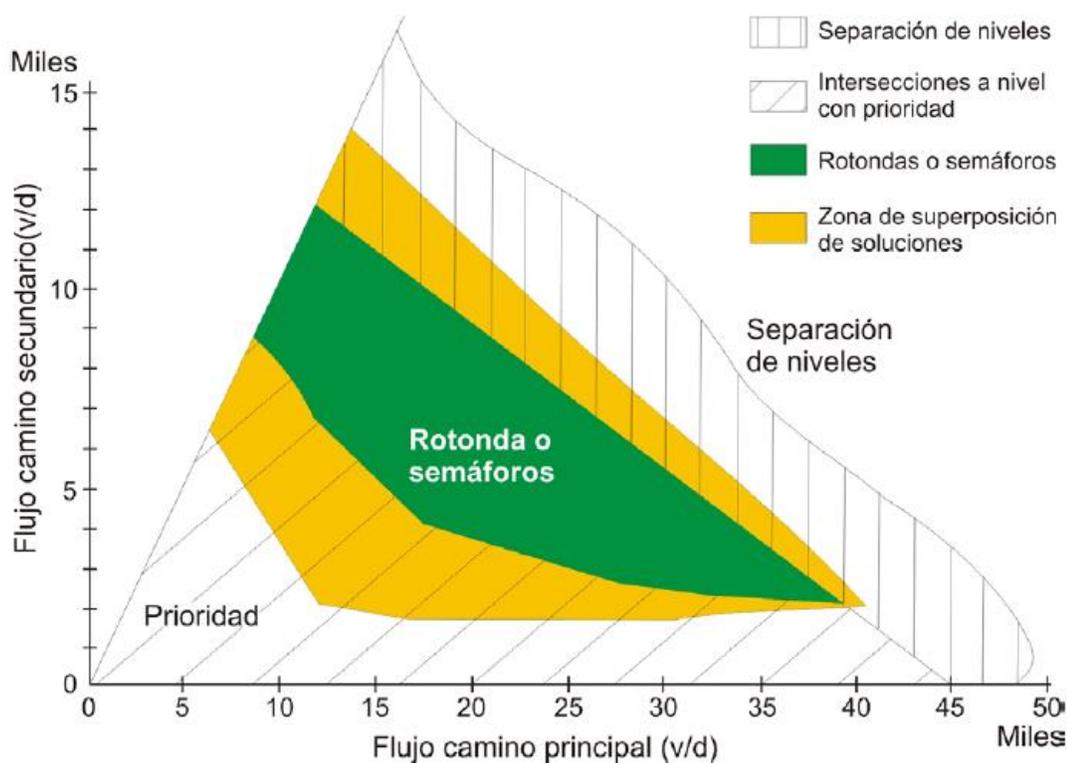
El puente 4 de julio, unas de sus funciones es descongestionar el puente san Martin, en relación a dos escenarios planteadas para la operación futura:

- El puente San Martin, por los años de servicio que tiene funcionara en un 30% del volumen tráfico actual, transfiriendo el 70% de su tráfico al puente 4 que posee mayor capacidad.
- Por la teoría de ruta mínima, una gran cantidad de vehículos pasaran por el puente 4 de julio.

De lo mencionado anterior mente, se toma como volúmenes para el diseño, el 70 % TMDA, de volumen vehicular al acceso a puente san Martin, pasara por el puente 4 de julio.

En función del TMDA de las vías que se intersectan, la siguiente figura, orienta la selección del tipo de intersección.

Figura 23. Tipo de intersección basado en el flujo de tránsito



Fuente: dirección nacional de vialidad, Argentina, 2018

En la intersección con el puente San Martín con las avenidas las Américas, (Lado Noroeste), la avenida las Américas tiene una mayor categoría, siendo este el flujo del camino principal y el flujo que ingresa y sale, del puente San Martín, secundario.

Del estudio de tráfico se tiene en promedio el flujo entre las avenidas las Américas y el puente San Martín:

- 51000 (vehículos mixtos / día)- Avenidas las Américas
- 34000 (Vehículos Mixtos / día)-Puente San Martín

Con estos datos se ingresando a la figura 23, indicando el tipo de intersección para el ingreso al puente 4 de julio por el lado Noroeste, es a niveles separados.

En la intersección del lado Suroeste, el flujo del vehículo que ingresan y salen del puente San Martín, tiene una mayor categoría vial que la avenida de los hermanos Uriondo, del estudio de tráfico se tiene el promedio del flujo en la intersección.

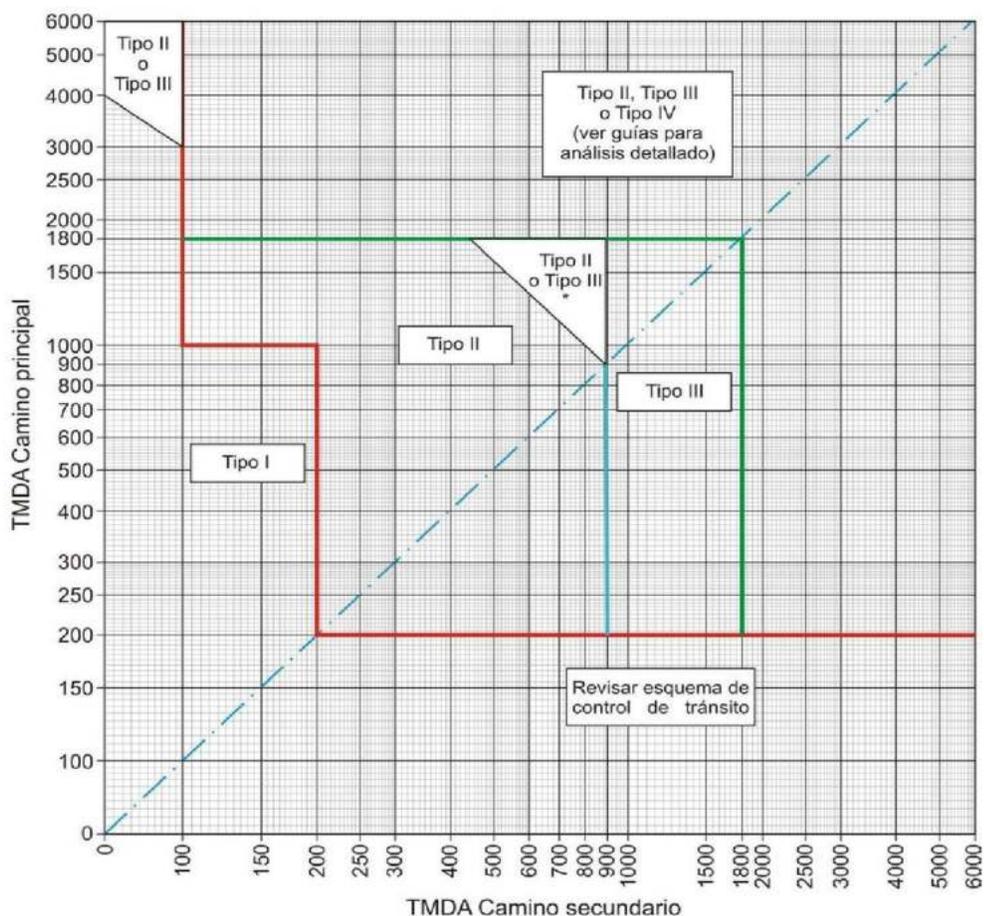
- 13000 (Vehículos Mixtos / Día)-Avenidas las Américas.
- 2000 (Vehículos Mixtos día)-Av. Hermanos Uriondo

Con T.M.D.A, de los dos flujos, ingresando a la figura 23, se tiene las siguientes soluciones para el acceso al puente 4 de julio por el lado Suroeste, en función del tráfico.

- Intersección a nivel con prioridad.
- Rotonda
- Intersección semaforizada

La Figura 24, permite seleccionar el tipo de intersección a nivel según los TMDA de ambos caminos (Fuente: *Highway Geometric Design Guide, Alberta Transportation,*

*Figura 24. Intersección en función de TPDA*



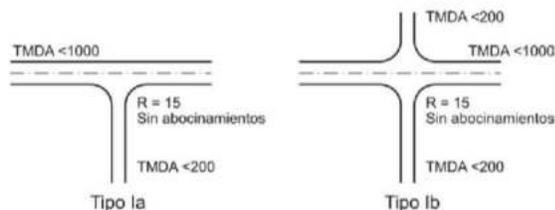
Fuente: *highway geometric design guide, Alberta transportation, 2007)*

Las categorías previstas son:

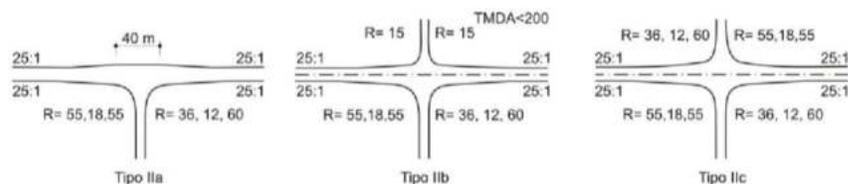
- Tipo I: con curva simples, sin abocinamiento
- Tipo II: con curvas simples o de tres centros, con abocinamiento
- Tipo III: ensanchadas (con carriles auxiliares para giros).
- Tipo IV: Canalizadas, con isletas y carriles auxiliares para giros

Figura 25. Tipo de intersección a nivel en función del TMDA

Tipo I: con curvas simples, sin abocinamientos



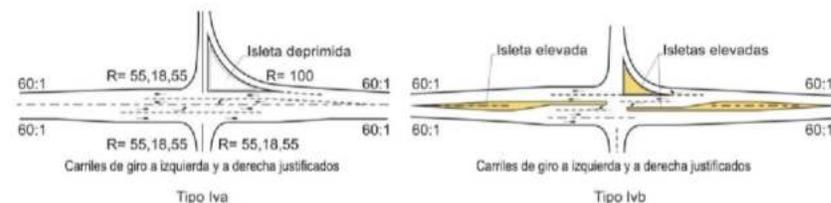
Tipo II: con curvas simples o de tres centros, con abocinamientos



Tipo III: ídem II, ensanchadas (con carriles auxiliares para giros)



Tipo IV: canalizada, con isletas y carriles auxiliares para giros



Fuente: *Highway Geometric Design Guide, Alberta Transportation, 2007*)

Por concerniente de la figura 24, el TPDA de las vías que intersectan al puente 4 de julio son mayores a los indicados en los ejes de los caminos secundario y primario de la figura 25, adoptando el tipo III y IV.

De lo indicado anteriormente la intersección a nivel de los accesos al puente 4 de julio, los carriles tienen ser ensanchados, canalizados, con isletas elevadas y carriles auxiliares de giro, (ver la figura 25).

### 3.1.3. Parámetros de diseño

#### 3.1.3.1. Vehículo de diseño

Las características físicas de los vehículos y la composición del tránsito son factores que controlan el diseño geométrico. Es necesario examinar todos los tipos de vehículos, agruparlos, y determinar los vehículos representativos en cada clase, para su uso en el diseño. Los vehículos tipo corresponden, al que tiene mayores dimensiones y mayores radios de giro mínimo que los similares de su clase.

Se seleccionó cuatro clases generales de vehículos:

- *Vehículos de pasajeros*: incluye los vehículos livianos (automóviles) y camiones livianos de reparto (furgonetas y camionetas).
- *Camiones*: incluye los camiones sin y con acoplado, semirremolques y semirremolques con acoplado.
- *Ómnibus*: incluyen los colectivos simples, micrómnibus, colectivos articulados, colectivos escolares, y similares.
- *Motocicletas, motonetas, bicicletas*.
- *Vehículos de recreación*: casa rodante, coche y remolque. Si bien en la bibliografía se mencionan y en este capítulo se brindan algunas características, no se propone su uso como vehículo de diseño.

Los que se consideran como vehículos estándar son los siguientes (AASHTO 2004):

- P: vehículo liviano de pasajeros .
- SU: camión de unidad única .
- City-bus: autobús urbano .
- Intercity-bus (bus-14): autobus inter-urbano.
- WB-12: semirremolque mediano .
- WB-15: semirremolque grande.
- WB-19: semirremolque especial (transporte de automóviles) .

##### 3.1.3.1.1. Elección del vehículo de diseño

El tamaño y maniobrabilidad de los vehículos es un factor que gobierna el diseño de las intersecciones, particularmente en soluciones canalizadas.

Al seleccionar un vehículo, debe evaluar cuidadosamente la composición del tránsito. Por ejemplo, si el tránsito que gira es casi todo de vehículos de pasajeros, puede resultar

muy costoso diseñar para camiones grandes. Sin embargo, el diseño debe permitir que un camión grande ocasionalmente gire mediante la ampliación de la curva y la invasión sobre otros carriles, sin molestar significativamente al tránsito.

Como mínimo, se utilizarán los siguientes vehículos tipo:

- WB-15 en todas las intersecciones sobre rutas nacionales, sea con otras rutas nacionales, con rutas provinciales y accesos a localidades (admitiendo su circulación con espacios laterales algo reducidos).
- SU: en intersecciones entre caminos locales de muy poco tránsito.

En el presente proyecto se adopta un camión WB-15, los criterios asumidos para esa elección son los siguientes:

- Al diseñar con un vehículo de diseño, semirremolque, si se cumple los parámetros mínimos de diseño, se cumple a la vez los parámetros de diseño de los vehículos más pequeños (P, SU, City bus).
- A pesar que las vías son de categoría turística y principal ,se observó que en el aforo vehicular se evidenció que existe transporte de alto tonelajes por parte de las entidades públicas y privadas (ver figura 26) , entre esta tenemos GAMT(gobierno municipal de Tarija), SEDECA (servicio municipal departamental de Camino ), EMAT, (empresa municipal de aseo Tarija), SETAR,(servicio eléctrico de Tarija),otros como vehículos de mantenimientos , grúas, transporte de maquinaria pesada, camiones hormigoneros, carros de bomberos ,cisternas de gas licuado para el abastecimiento de combustible, transporte de maquinaria industrial, etc. actualmente y en el futuro son necesarios para el mantenimiento de la ciudad y su desarrollo.

*Figura 26. Transporte de alto tonelaje en la zona del proyecto.*

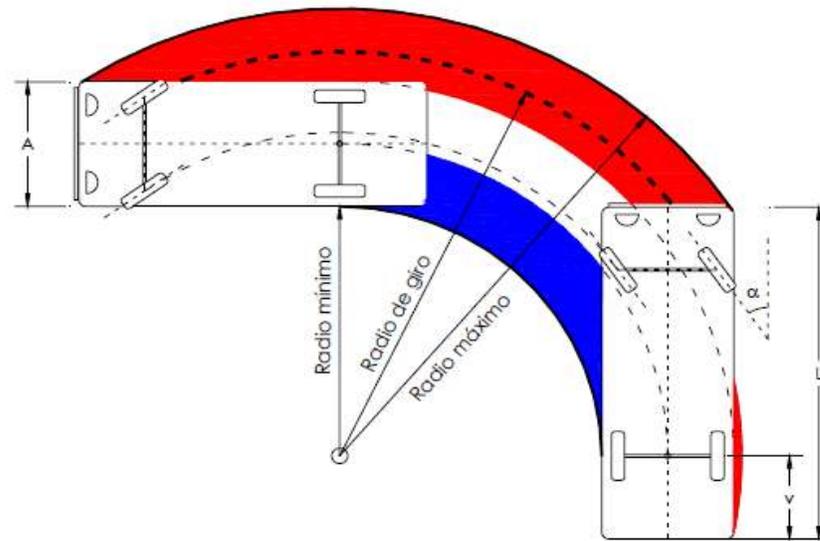


Fuente: Elaboración propia

#### **3.1.4. Mínimas trayectorias de giro de los vehículos de diseño**

Las dimensiones principales que afectan el diseño son el radio mínimo de giro, el ancho de la huella, la distancia entre ejes, y la trayectoria del neumático interior trasero. Los límites de las trayectorias de giro de los vehículos de diseño al realizar los giros más cerrados, están establecidos por la traza de la saliente frontal y la trayectoria de la rueda interior trasera. Este giro supone que la rueda frontal exterior sigue un arco circular, definiendo el radio de giro mínimo según es determinado por el mecanismo de manejo del vehículo.

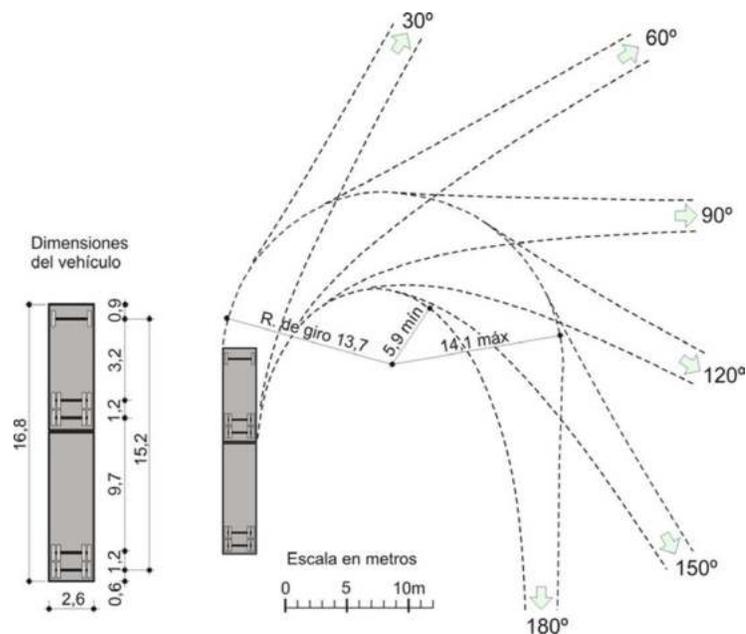
Figura 27. Radios de giro de un vehículo



Fuente: Bañon,2010

El radio mínimo de giro y las longitudes de transición se diseñó a giros realizados a 15 km/h de velocidad. Velocidades más altas alargan las curvas de transición y requieren radios mayores que los mínimos. Los radios de curvatura mínimas de las trayectorias de vehículo WB-15, se expresa en la figura 28.

Figura 28. Mínimas trayectorias de giro para el vehículo WB-15



Fuente: AASTHON,2011

### **3.1.5. Velocidad de diseño**

La velocidad es una de los más importantes factores a considerar por los conductores al seleccionar una alternativa de viaje o modos de transporte. El atractivo del valor de transporte es juzgado hoy en términos de tiempo, conveniencia y costo de operación, por pasar por la intersección.

#### **3.1.5.1. Velocidad de operación**

Velocidad a la cual se observa que los conductores operan sus vehículos durante condiciones favorables de: flujo libre, clima, visibilidad y calzada húmeda.

El estudio de tráfico se determinó que la velocidad de operación de la avenida las América y la avenida la Banda, es en promedio de 25 km/h por concerniente, se asume como velocidad de diseño.

### **3.1.6. Parámetros de diseño del alineamiento horizontal y vertical a nivel**

#### **3.1.7. Perfil longitudinal-intersecciones a nivel**

Las pendientes de los caminos que cruzan se diseñaron tan planas como fuere práctico en las secciones que se van a usar para almacenar vehículos detenidos, a veces se hace referencia como "plataformas de almacenamiento".

La pendiente longitudinal utilizada en las diferentes alternativas de diseño, como mínima es de 1% para garantizar el drenaje pluvial y máxima 3% por las siguientes consideraciones:

- La distancia de detención y aceleración para vehículos en pendientes de 3% o menos difiere poco de los correspondiente a la rasante horizontal.
- Pendientes más empinadas del 3% pueden necesitar cambios en varios elementos de diseño para mantener las operaciones equivalentes a los de los caminos de nivel. La mayoría de los conductores no son capaces de juzgar el efecto de pendientes pronunciadas, en detener o acelerar. Sus deducciones y reacciones normales pueden por lo tanto tener un error en un momento crítico.

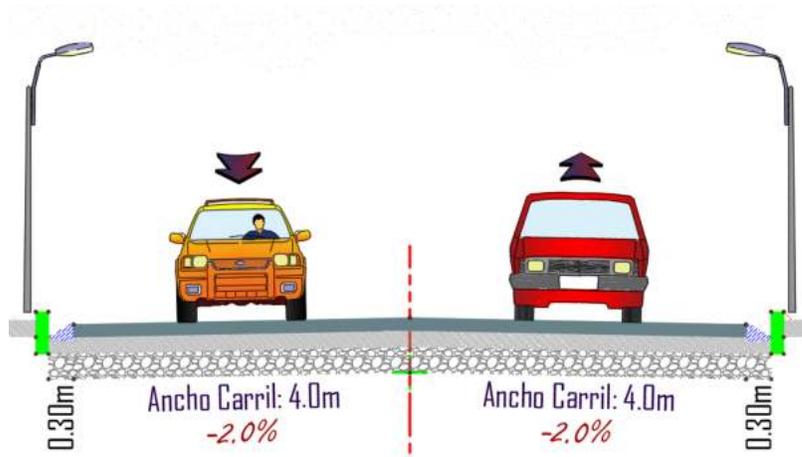
#### **3.1.8. Peralte de la intersección a nivel**

El peralte de las curvas de ingreso y salida del puente se consideró una tasa de 2% en consideración a un mínimo práctico para el drenaje efectivo de la superficie de rodamiento.

### 3.1.9. Ancho del carril de giro de la intersección a nivel

Por las composiciones vehiculares de la zona de estudio, se toma un ancho para el paso de vehículos pesados, por lo tanto, el ancho de carril es de 4 metros en zonas rectas y aumentando de dimensión en zonas curvas.

*Figura 29. Ancho del carril de giro en tramos rectos*



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.10. Parámetros de diseño del alineamiento horizontal y vertical a desnivel

#### 3.1.11. Alineamiento vertical.

Los pasos a desnivel presentan rampas de ingreso y de salida se tomó las siguientes consideraciones:

- A pendientes de ramas suaves, mayor longitud del ramal.
- La pendiente más empinada debe diseñarse para la parte central de la rama.
- Zonas de empalme o plataforma de almacenamiento en la intersección a nivel deben ser las más planas posibles.
- Las cortas pendientes de subida de 7 a 8 % permite una operación segura sin pérdida de la velocidad de los vehículos.
- Las cortas pendientes hasta un 5% no afectan la velocidad de los camiones y ómnibus.
- Las pendientes de ramas deben seguir las mismas guías para un pendiente de subida, sin embargo, puede superar en un valor de 2% más, con 8% como máximo aceptable.

- Las curvas verticales deben cumplir con el diseño para tener una distancia visual de detención.

Por lo mencionado anteriormente, en el presente proyecto se adoptó para el diseño pendiente entre 5,5% a 6%.

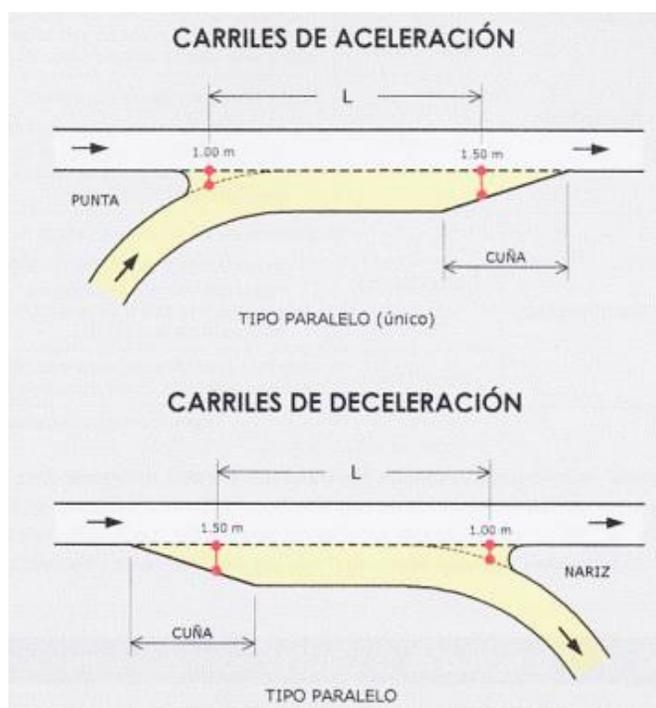
### 3.1.12. Sección transversal: ancho de calzada en ramas

Para elegir el ancho de carril se considera vehículo de diseño tipo. Se respetará lo indicado en el diseño a nivel. El ancho adoptado se aplica en toda la longitud del ramal. En las rampas de subida y bajada se usara un valor de 4,5 (m) , y las secciones curvas por el sobre ancho se tomó 5,5 (m) ,para poder albergar camiones de gran tamaño en momento que realicen el giro.

### 3.1.13. Carriles de cambio de velocidad

Normalmente, los vehículos tienen que desacelerar antes de salir de un tramo de camino a una vía de giro o a una rama; y tienen que acelerar al entrar otra vez en un tramo. (ver la siguiente figura)

*Figura 30. Partes de carril de aceleración y deceleración*



Fuente: dirección nacional de vialidad, Argentina, 2018

En general, hay que disponer carriles de cambio de velocidad donde se dé una de las circunstancias siguientes:

- la velocidad V85 del movimiento de paso es superior a 60 km/h
- la intensidad de circulación, tanto en movimiento de paso como de cualquier giro, superior a 200 vehículos por hora

De lo indicado anteriormente, del estudio de tráfico se obtuvo que el tráfico actual y futuro es mayor a 200 vehículos por hora y por la seguridad del tráfico que transita por los ramales adyacentes, se considera el diseño de carriles de cambio de velocidad.

Para el cálculo de la longitud de los carriles de aceleración y desaceleración se toma las siguientes expresiones:

$$L_{total} = \frac{V_f^2 + V_i^2}{25,9 * a} + 0,6L_{cuña}$$

Donde:

V f = Velocidad final, en la rampa de ingreso o salida.

V i = Velocidad de la vía de ingreso.

a = Aceleración o desaceleración.

Del estudio de tráfico se obtuvo que la velocidad de operación en la zona de estudio es de 25 Km/horas, y se toma para la velocidad de ingreso de 15 Km/ horas, según biografía norteamericana, entre las rampas de subida y de bajada características se usan diferentes tasas de cambio de velocidad de:

- Desaceleración: 2 m/s<sup>2</sup>
- Aceleración: 0,7 m/s<sup>2</sup>.

En su extremo contiguo a la calzada principal, ambos carriles deben tener una transición de ancho en forma de cuña triangular, cuya longitud se adoptó en 80 m para la desaceleración (tasa de abocinamiento de 1:22 para carril de 3,65 m), y en 110 m para la aceleración (tasa de abocinamiento de 1:30).

### **3.1.14. Estudio de las alternativas a nivel**

De las alternativas propuesta , se van a describir cada una de una forma detallada para posteriormente dar una valoración de una serie de aspectos.

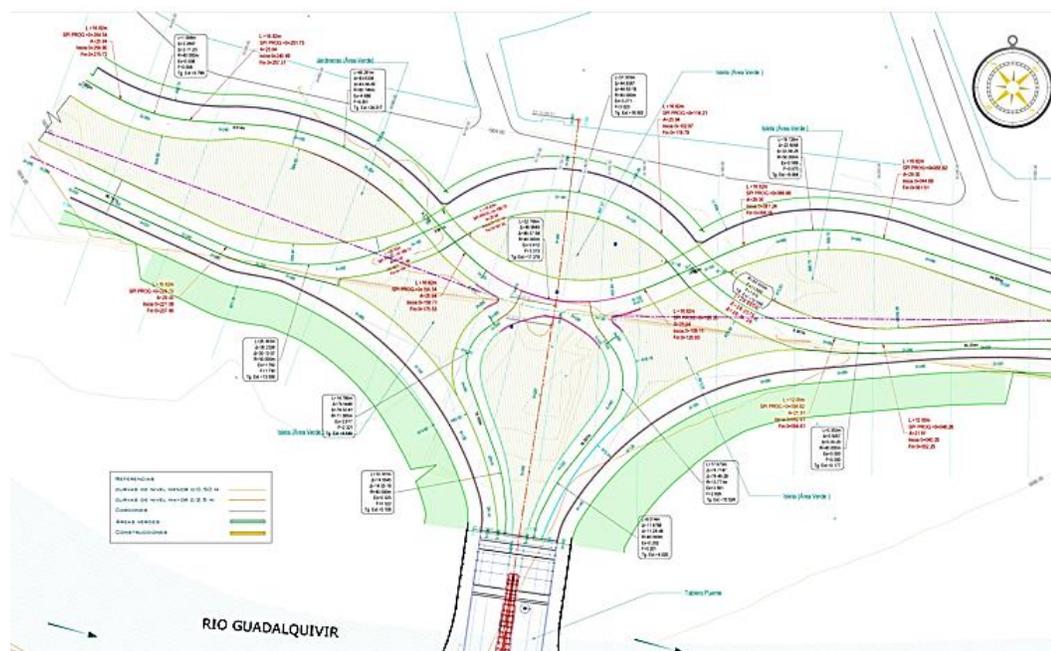
### **3.1.15. Alternativa A1-intersección diamante divergente**

El intercambio de diamantes divergentes (DDI) también se conoce como doble cruce de diamantes (DCD) y es una alternativa al intercambio de diamantes convencional u otras formas de intercambio alternativas. La principal diferencia entre un DDI y un intercambio

de diamantes convencional es el diseño de cruces direccionales a cada lado del intercambio. Esto elimina la necesidad de que los vehículos que giran a la izquierda crucen los caminos de los vehículos que se aproximan. Al cambiar el tráfico de la calle transversal al lado izquierdo de la calle entre las intersecciones cruzadas señalizadas, los vehículos en la intersección que giran a la izquierda para entrar o salir de las rampas no entran en conflicto con los vehículos que se aproximan desde otras direcciones.

Se ha demostrado que el diseño de DDI mejora las operaciones de los movimientos de giro hacia y desde las instalaciones de la vía principal y reduce significativamente la cantidad de puntos de conflicto entre vehículos en comparación con un intercambio de diamantes convencional. El DDI también reduce la gravedad de los conflictos, ya que se eliminan los conflictos entre los movimientos de giro a la izquierda y el movimiento de paso opuesto. Los conflictos restantes se reducen a conflictos de fusión para movimientos de giro y el conflicto de cruce de velocidad reducida de los dos movimientos de paso. Por concerniente en las siguientes figuras se presenta el diseño de la intersección diamante divergente para el acceso el puente 4 de julio que conectara a la avenida las Américas.

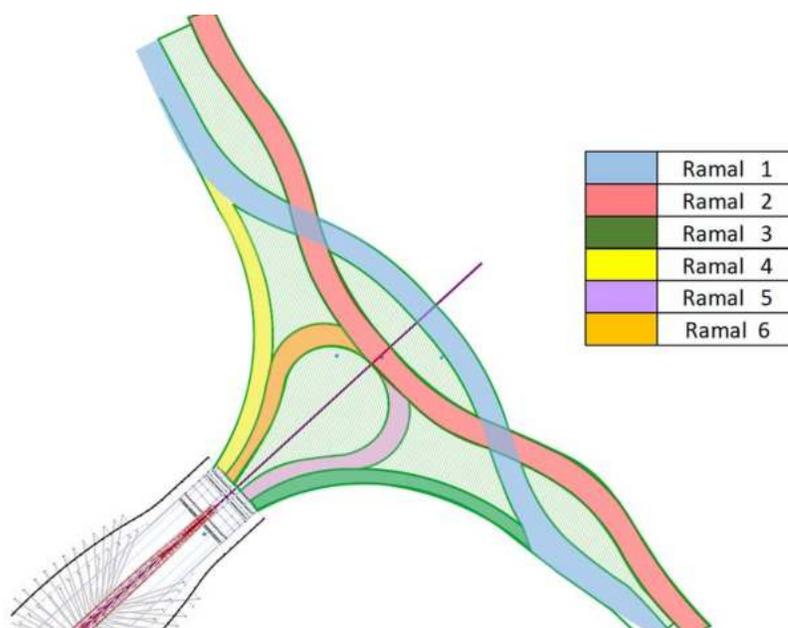
*Figura 31. Alternativas A1-intersección diamante divergentes*



Fuente: Elaboración propia

La intersección propuesta tiene las siguientes interconexiones (Ver figura 32).

*Figura 32. Interconexiones de la alternativa A-1*



Fuente: Elaboración propia

Para una mejor comprensión ,en la siguientes imágenes se demostrará como navegar en DDI

*Figura 33. Movimiento 1-DDI*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 1.**-permite el ingreso de la avenida las Américas todo vehículo que circule en la dirección de Noroeste a Sur este, pueden ingresar al puente 4 de julio girando a la derecha.

*Figura 34.Movimiento 2-DDI*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 2.-**Compuesta de 3 curvas circulares, comprende el carril de la derecha de la avenida las Américas en dirección Sureste, cruza a la izquierda al carril central, para luego girar al lado derecho para continuar su dirección por el carril de inicio favoreciendo al inicio los vehículos que ingresan a la derecha hacia el puente (ramal 4) y al final, la incorporación de los vehículos que salen a la derecha (ramal 3).

*Figura 35.Movimiento 3-DDI*



Fuente : Elaboración propia

**Movimiento 3.-** para continuar con todos los vehículos que siguen derecho por la avenidas las Américas, giran a la izquierda, pasando por la primer intersección para luego

girar a la derecha pasando por la segunda intersección entre los ramales 1 y 2 , para seguir su dirección Sur este a Noroeste

**Movimiento 4.**-permite el ingreso del carril central de las avenidas las Américas a todos los vehículos en dirección Sureste a Noroeste, hacia el puente 4 de julio, girando primeramente a la derecha para pasar por la primera intersección para luego ingresar al puente 4 de julio por el ramal 6.

*Figura 36.Movimiento 4 -DDI*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 5.**- donde los vehículos que salen del puente cuatro de Julio, girando al a izquierda, incorporándose al ramal 2, para luego girar a la derecha para ingresar en dirección al carril central, evitando los puntos de conflictos por giro a la izquierda.

**Movimiento 6.**- los vehículos que salen del puente 4 de julio por el carril de la derecha y tiene dirección Noroeste a Sur este, lo pueden hacer por el ramal 3 girando a la derecha, ingresando al ramal 1.

*Figura 37. Movimiento 6-DDI*



Fuente: Elaboración propia

### **3.1.16. Alternativa A2 de la intersección En T de verde continuo**

Es un diseño de intersección en la que la dirección de tráfico de una calle principal (el lado superior de la `T`) puede atravesar la intersección sin detenerse y la dirección principal de la calle opuesta es controlada normalmente por señales de tráfico.

Para su diseño debe cumplir las siguientes condiciones:

- En intersecciones de tres ramales
- En intersecciones con gran volumen de tránsito que avanza derecho en la calle principal.
- En intersecciones en las que el volumen de tráfico que gira a la izquierda tiene una intensidad entre moderada y baja.
- En intersecciones con un número limitado de pasos peatonales a lo largo de la calle principal o en que hay un lugar alternativo de cruce peatonal en las cercanías.

La intersección T de verde continuo es una alternativa a los accesos al puente 4 de julio desde la avenida las Américas, (ver la siguiente figura).

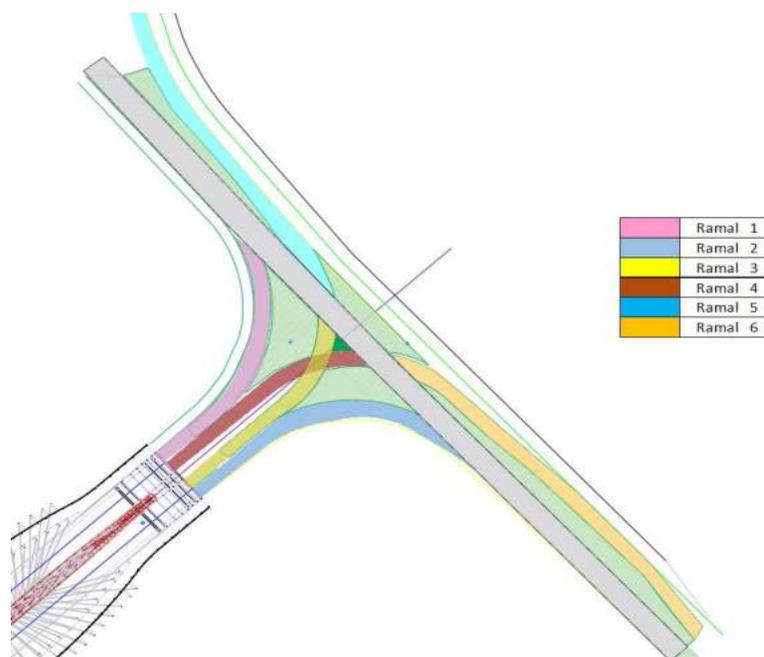
Figura 38. Intersección en T de verde continuo-alternativas A2



Fuente: Elaboración propia

La intersección propuesta tiene las siguientes interconexiones, (ver figura 39)

Figura 39. Interconexiones alternativas A2



Fuente: Elaboración propia

Para una mejor comprensión de la operación de la intersección, se demuestra como navegar por la intersección.

**Movimiento 1.**-desde la avenida la Américas, permite en ingreso de los vehículos en dirección Noreste en dirección sur este, girando a la derecha por el ramal 1, ingresando al puente 4 de julio.

*Figura 40.Movimiento 1de la intersección T verde continuo*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 2.**-el ramal 2 conduce a todo, el conjunto de vehículo que tiene un paso directo de dirección Noreste a Sureste. (ver la figura 41)

*Figura 41.Movimiento 2 de la intersección T verde continuo*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 3.**-permite la incorporación de los vehículos del carril central de las avenidas las Américas al puente 4 de julio mediante el enlace 4 girando a la derecha. (ver la figura 42)

*Figura 42.Movimiento 3 de la intersección T verde continuo*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 4 .-** para continuar derecho en la parte superior de la `T` se avanza a través de la intersección.(ver la figura 43)

*Figura 43.Movimiento 4 de la intersección T verde continuo*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 44. Movimiento 5 de la intersección T verde continuo*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 5.-** los vehículos que tienen como dirección Noroeste, por medio de una curva circulará simple de almacenamiento, y con la coordinación de semáforos sea almacenado en el ramal 5 para su incorporación al carril central de las avenidas las Américas. .(ver la figura 44)

**Movimiento 6.-** todos lo vehiculó que salen del puente 4 de julio y tienen la dirección Noroeste a Sureste, por el ramal 5, girando a la derecha para ingresar a la avenida a las Américas. (ver la figura 45)

*Figura 45. Movimiento 6 de la intersección T verde continuo*



Fuente: Elaboración propia

### **3.1.17. Alternativa A3-giro a la izquierda desplazado**

Es un diseño de la intersección en el que los vehículos que girarán a la izquierda cruzan al otro lado del tráfico opuesto que siguen derecho antes de llegar a la intersección principal.

En la intersección principales se producen simultáneamente las maniobras protegidas de giro a la izquierda y el avance del tráfico opuesto, que avanza derecho, para su implementación deben cumplir las siguientes condiciones:

- En intersecciones en que los volúmenes de tráfico en todas las direcciones tienen una intensidad entre moderada a alta.
- En intersecciones en las que los ramales opuestos tienen volúmenes similares de tráfico que avanza derecho.
- En intersecciones con gran volumen de tráfico que giran a la izquierda.
- En intersecciones con un número limitado de entradas o puntos de acceso cerca de la intersección.

La alternativa de la intersección giro a izquierda desplazado. DLT (Displaced left Turn) o intersección de flujo continuo CFI (continuous flow intersección) es una alternativa para el ingreso desde la avenida las américas al puente 4 de julio a nivel

*Figura 46. Intersección a nivel -DLT*



Fuente : Elaboración propia

Para una mejor comprensión a continuación, se presenta las siguientes imágenes, que demostrarán cómo será la navegación por la intersección DLT, desde sus distintos movimientos.

**Movimiento 1.-** permite que el conjunto de vehículos que se encuentran circulando por la avenida las américas en dirección Noroeste a Sureste y tiene la intención de ingresar al puente 4 de julio girando a la derecha cambiando su rumbo de viaje a Suroeste. (ver la figura 47).

*Figura 47. Movimientos 1-DLT*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 48. Movimiento 2-DLT*



Fuente : Elaboración propia

**Movimiento 2.-** el flujo vehicular que se desplaza de Sureste a Noreste por el carril central de la avenida alas Américas, puede ingresar el puente 4 de julio girando a la derecha para cambiar su dirección de viaje, ver la figura 48.

*Figura 49.Movimiento 3-DLT*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 3.-**El conjunto de vehículos que salen del carril de la izquierda de puente 4 de julio pueden ingresar al carril central de la avenida las Américas girando a la derecha para luego esperar por un ciclo semafórico, para cruzar el carril de la derecha de la avenida hasta una conexión con el carril central (ver la figura 49).

**Movimiento 4.-**Permite el cambio de dirección de los vehículos que salen el puente 4 de julio y tiene la ruta de viaje Noreste a Sureste, girando a la derecha mediante un ramal curvo que se conecta al carril de la derecha de la avenida las Américas (ver figura 50).

*Figura 50.Movimiento 4-DLT*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 51.Movimiento 5-DLT*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 5.**-Para seguir en dirección recta por el carril de la derecha de avenidas las Américas en dirección Noroeste Sur Este, (ver figura 51).

**Movimiento 6.**-para seguir en línea recta del carril central de las avenidas las Américas por el carril de la derecha en dirección Sureste a Noroeste., (ver la figura 52)

*Figura 52. Movimiento 6-DLT*



Fuente: Elaboración propia

### **3.1.18. Alternativa B1-rotonda**

Las rotondas son una forma altamente refinada de intersección circular, con diseño y características específicas de control de tránsito. Estas características incluyen el control de ceda el paso al tránsito entrante, las aproximaciones canalizadas, las curvaturas geométricas restrictivas y los anchos de calzada. Se diseñan para controlar la velocidad de viaje, facilitar el intercambio eficaz de los flujos de tránsito, y reducir al mínimo el número y gravedad de los choques y conflictos vehículo-vehículo.

La implementación de una rotonda es conveniente cuando:

- En intersecciones con alto volumen de tráfico que gira a la izquierda o en intersecciones que los volúmenes de cada ramal son similares.
- En intersecciones con choques frecuentes por causa de conflicto de trayectorias de los vehículos que siguen derecho y los que giran a la izquierda.
- En intersecciones con espacios limitados por la acumulación de vehículos.
- En intersecciones donde hay entradas limitadas.
- En lugares donde los vehículos de la intersección adyacentes no harán cola en la rotonda.

Figura 53. Intersección a nivel -rotonda



Fuente: Elaboración propia

La rotonda tiene la cualidad de permitir el cambio de dirección en los cuatro sentidos y con una isleta central que protege los giros a la izquierda, la intersección entre la avenida la banda y el puente 4 de julio tiene los siguientes movimientos permitidos.

Figura 54. Movimiento 1-rotonda



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 1.**-Para conjunto de vehículos que transitan en dirección Noreste a Sureste, por la avenida las Banda, girando a la derecha ingresan al puente 4 de julio.

**Movimiento 2.**-Para continuar el dirección recta, se tiene que ingresar la isleta circular , disminuyendo la velocidad ,siguiendo la curvatura de la isleta central ,para luego

incorporarse a la avenida , regresando a la dirección de trayectoria , antes de entrar a la rotonda, (ver la figura 55 ).

*Figura 55.Movimiento 2-rotonda*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 56.Movimiento 3-rotonda*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 3.-**Desde la avenida la Banda se puede girar a la izquierda con la protección de la isleta centra, reflectando la trayectoria alrededor de la Rotonda para ingresar al tercer ramal de la intersección ,(ver figura 56 ).

Los tres movimientos permitidos en la rotonda se repiten para los demás 4 ramales de la intersección.

### 3.1.19. Alternativa B2-rotonda partida

Una rotonda partida es un tipo de intersección Compuesta de una estructura vial de forma oval o circular cortada por una vía principal, en la que los vehículos que circulan por ella atraviesan directamente, pudiendo acceder también a los tramos de seguridad rodeándola parcialmente resto de los vehículos provenientes de los otros tramos pueden acceder a esa vía principal, así como continuar rodeándola parcialmente.

Para su implementación se tiene que tener las siguientes consideraciones:

- Donde exista una mayor categoría vial entre las intersecciones de los ramales.
- En relación a las vías que se intersectan, el volumen de tráfico de un ramal sea bastante mayor que el que lo intersecta.
- En intersecciones tipo rotonda, donde el ramal que presente mayor flujo tenga una mayor cola vehicular en relación a los otros ramales.

*Figura 57. Intersección rotonda partida*



Fuente: Elaboración propia

En la presente rotonda partida se puede realizar los siguientes movimientos.

**Movimiento 1.**-En una rotonda partida, el conjunto de vehículos que salen del puente 4 de julio y quieren seguir su dirección no tiene que realizar ningún giro, (ver figura 58)

*Figura 58.Movimiento 1-rotonda partida*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 2.**-El conjunto de vehículos que se encuentran en el carril de la avenida la Banda, y quieren mantener su dirección, tiene que reflejar su trayectoria por las isletas partidas curvas, (ver la figura 59)

**Movimiento 3.**-permite el giro a la derecha desde la vía que sale del puente 4 de julio e incorporarse a la avenida la Banda. (ver la figura 60).

*Figura 59. Movimiento 2-rotonda partida*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 60. Movimiento 3-rotonda partida*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 4.**-desde el carril de salida del puente 4 de julio, girando a la izquierda para cambiar de dirección, el cambio lo realizamos igual que en una rotonda común. Teniendo

en cuenta que, al no ser propiamente una rotonda, no se tiene la preferencia por transitar por la zona circular, (ver figura 61)

*Figura 61. Movimiento 4-rotonda partida*

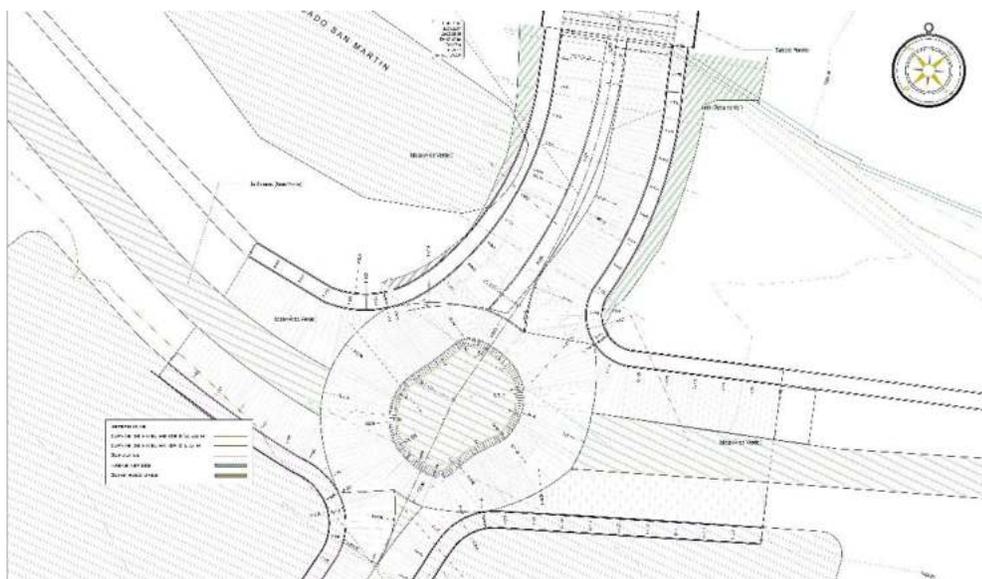


Fuente : Elaboración propia

### **3.1.20. Alternativa B3-turboglorieta**

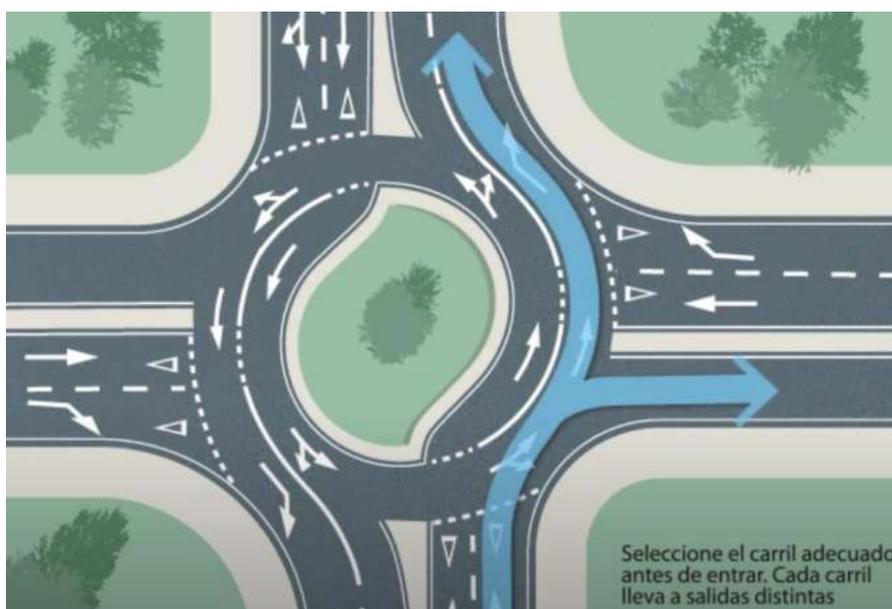
Una Turboglorieta es un tipo particular de glorieta donde los carriles están limitados por señales de tráfico físicas o virtuales por medio de bordillos, los cuales brindarán una guía en el camino que tendrá que seguir el conductor en el paso por la intersección. El resultado de que el diseño convencional sea modificado y se re diseñe la isleta central es que los automóviles son forzados a circular en trayectorias de tipo espiral de Arquímedes, por lo tanto, cada acceso está especializado en determinadas maniobras de giro, es por ello que los conductores tendrán que elegir el carril correcto en los accesos antes de entrar en la intersección y la calzada de circulación.

*Figura 62. Intersección a nivel-turboglorieta*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 63. Ramal 1-sentidos de giro permitido de giro*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 1:** El carril que sale del puente 4 de Julio puede girar a la derecha, ingresando a la avenida hermanos Uriondo o seguir en dirección recta, hacia la Calle 6 de agosto.

*Figura 64. Ramal 1 - segundo carril-giros permitidos*



**Movimiento 2.**-El segundo carril del ramal 1 permite el giro a la izquierda, ingresando la avenida la banda o cambiando su dirección 180°.

Los ramales 2,3,4 permiten todas las direcciones al igual que el ramal 1.

### **3.1.21. Alternativa C1-Intersección Giros en U elevados**

La alternativa C1 está compuesta por 4 curvas circulares simples 2 a nivel y dos de desnivel, para permitir al ingreso al puente 4 de julio (ver figura 65)

*Figura 65. Intersección a desnivel-alternativa giros en U elevados*



Fuente Elaboración propia

**Movimiento 1.**-La rampa que se encuentra en el carril de la derecha de las avenidas la Américas permite el ingreso del conjunto de vehículos que tiene como destino de viaje el ingreso al puente 4 de julio en dirección Suroeste, (ver figura 66).

**Movimiento 2.**-La rampa de salida del puente 4 de julio permite ingresar al carril central de la avenida las Américas, ( ver figura 67) .

**Movimiento 3 y 4 .**-La conexión de entrada y salida del carril de la izquierda de la avenida la Banda que permite el ingreso y salida desde el puente 4 de Julio a la avenida las Américas, (ver figura 68).

La intersección posee los siguientes parámetros de diseño:

- El galibo de diseño es de 5.5metros.
- La curva circular a desnivel tiene una longitud de 70 metros.

*Figura 66.Movimiento 1 de la intersección giros en U elevados*



Fuente Elaboración propia

Figura 67. Movimiento 2 de la intersección giros en U elevados



Fuente Elaboración propia

Figura 68. Movimiento 3 de la intersección giros en U elevados



Fuente Elaboración propia

### 3.1.22. Alternativas C2 a desnivel de la intersección tipo 3 niveles

Este tipo de intersección permite el ingreso al puente 4 de julio y salida mediante dos enlaces uno por encima del nivel de las avenidas las Américas y otro por debajo, desde el carril del central de la avenida, con una trayectoria Curvas

*Figura 69. Intersección tipo tres niveles*



Fuente: Elaboración propia

La siguiente alternativa a desnivel permite los siguientes movimientos:

**Movimiento 1.**-del carril de la derecha de la avenida la Américas se puede ingresar al puente 4 de Julio girando por la derecha, ver la figura 70.

*Figura 70. Movimiento 1 de la intersección tres niveles*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 71. Movimiento 2 de la intersección tres niveles*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 2.-** permite la salida del puente 4 de julio e ingresar al carril de la derecha de la avenida las Américas, ver figura 71

*Figura 72. Movimiento 3 de la intersección tres niveles*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 3.-** Es un enlace a desnivel por encima de la avenida las Américas y permite que los vehículos que salen del puente 4 de julio, ingresa al carril del medio de la avenida las Américas, separando los puntos de conflictos de las vías, ver figura 72.

**Movimiento 4.-** Del carril central de la avenida las Américas se puede ingresar al puente 4 de julio por un enlace por debajo del nivel de la avenida, en una trayectoria curva, ( ver figura 73 ).

**Movimiento 5.-** El conjunto de vehículo que quieren mantener su dirección de la avenida las Américas, lo pueden hacer por el carril de la izquierda. (figura 74 ).

**Movimiento 6.-** Por el carril del medio, para seguir a en dirección Sureste a Noroeste, se transita por el carril de la izquierda, (ver figura 75)

*Figura 73. Movimiento 4 de la intersección tres niveles*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 74. Movimiento 5 de la intersección tres niveles*



Fuente : Elaboración propia

*Figura 75. Movimiento 6 de la intersección tres niveles*



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.23. alternativas C3 a desnivel de la intersección semi-directa

La alternativa a desnivel planteada para conectar la avenida las Américas con el puente 4 de julio mediante 4 accesos ,2 a nivel y 2 a desnivel.

La intersección Semi-directa permite 6 movimientos, se menciona a continuación cada uno de ellos:

**Movimiento 1.**-De la avenida la Américas se puede ingresar al puente 4 de julio, girando por la derecha, por un enlace curvo (ver la figura 76).

**Movimiento 2.**-del carril central de la avenidas las Américas el conjunto de vehículos que tiene dirección Sureste a Noreste, y quieren ingresar al puente 4 de julio, lo pueden realizar mediante un rampa de acceso para pasar por un puente curvo, hasta el ingreso del puente 4 de julio , (ver figura 77)

*Figura 76.Movimiento 1 de la intersección semi-directa*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 77. Movimiento 2 de la intersección semi-directa*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 3.-** Para poder ingresar la avenidas las Américas desde el puente 4 de julio los vehículos, ingresar a un enlace por encima del nivel de la avenida, girando primeramente a la derecha para luego girar a la izquierda, bajando por un rampa de descenso hasta las avenidas las américas, (ver figura 78 ).

*Figura 78. Movimiento 3 de la intersección semi-directa*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 4.-** Del conjunto de vehículos que salen del puente 4 de julio, ingresan a la avenidas por medio de un ramal curvo, girando a la derecha, (ver figura 79 ).

*Figura 79. Movimiento 4 de la intersección semi-directa*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 5.**- Los vehículos que circulan por la avenida las Américas en dirección Noreste a Sureste y quieren mantener su sentido, por el carril de la izquierda de la avenida las Américas, (ver figura 80).

*Figura 80. Movimiento 5 de la intersección semi-directa*



Fuente: Elaboración propia

**Movimiento 6.**- Por el carril central de la avenida las Américas, los vehículos pueden circular en dirección Sureste a Noreste, (ver figura 81 )

Figura 81. Movimiento 6 de la intersección semi-directa



Fuente: Elaboración propia

### 3.2. DISEÑO DE LA CARPETA ESTRUCTURAL

El diseño de una estructura de pavimento es el procedimiento mediante el cual se definen los espesores de cada una de las capas que componen la estructura y se definen las especificaciones que deben cumplir estos materiales con el fin de que la estructura de pavimento conserve durante su periodo de diseño un **índice de servicio adecuado**.

Para poder definir estos espesores hay que tener en cuenta todas las variables que involucra el diseño de un pavimento, principalmente el tránsito que representa la carga, la sub rasante que representa la resistencia natural del terreno y todo el resto de propiedades de los materiales involucrados en la estructura de pavimentos.

Se adopta para el diseño, el método AASTHON- 93 es un método bastante popular a nivel internacional, a pesar de que en la actualidad no es el método y la técnica más moderna de diseño de pavimentos sí marcó una tendencia clave en el desarrollo de la ingeniería de pavimentos y tiene una gran importancia en nuestro medio y un gran valor histórico, de hecho, todavía se puede utilizar y muchos ingenieros lo utilizan para el pre - dimensionamiento de estructuras de pavimentos.

#### 3.2.1. Determinación de parámetro de confiabilidad

Para calcular, el nivel de confiabilidad (R) , se tiene considerar las categorías de las vías, por lo cual, la vías que se intersecan con los ascensos al puente 4 de julio ,son las avenidas las Américas ,con una categoría de red regional turística de primer importancia y la

avenida la Banda ,con la categoría con red vial principal, (plana de ordenamiento municipal ).

Las dos redes viales, entran a la categoría de Colectora, entonces el nivel de confiabilidad esta entre 80 y 95%, adoptamos un valor de 90%, por seguridad. (ver la siguiente tabla)

*Tabla 15. Nivel de confiabilidad en función del tipo de carretera*

Tipos de carreteras	Nivel de confiabilidad R (%)	
	Urbana	interurbana
Autopista y calle importante	85-90	80-99,9
Arteria principal	80-99,9	75-95
Colectora	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuentes: AASTHON ,1993.

para cada valor de confiabilidad, se puede escoger un valor del parámetro Zr.(ver la siguiente tabla).tenido un fractil de menos Zr=-1.28

*Tabla 16. Valores de fractil de distribución normal*

R (%)	50	70	75	80	85	90	92	94	95	98	99,99
Zr	0	-0,52	-0,67	-0,84	-1,04	-1,28	-1,41	-1,56	-1,65	-2,05	-3,75

Fuente: AASTHON, 1993

Al ser una pavimento nuevo y flexible el error normal combinado, es de (So= 0.45).

*Tabla 17. Error normal combinado*

Proyecto de pavimento	So	
	Flexible	Rígido
Construcción nueva	0,45	0,35
Sobrecarga	0,5	0,4

Fuente : AASTHON 1993

### 3.2.2. Cálculo del índice de servicio

Se calculó el índice de servicio , como sabemos el índice de servicio es igual al serviciabilidad inicial menos la serviciabilidad Final.

$$\Delta PSI = P_o - P_f$$

Donde:

Po= Serviabilidad inicial

Pf=Índice de serviabilidad final

El valor de la serviabilidad inicial generalmente se encuentra entre 4 -4.2 , se asume un valor de 4,2 , por la categoría de vía .

En base a la tabla 18 se definió la serviabilidad final de Pf=2

*Tabla 18.Serviabilidad final en función del tipo de vía*

Tipo de Vía	Serviabilidad final
Autopista	2,5-3,0
Carretera	2,0-2,5
Zonas industriales	
Pavimento urbano industrial	1,5-2,0
Pavimento urbano secundario	1,5-2,0

Fuente: AASTHON 1993

$$\Delta PSI = 4,2 - 2 = 2,2$$

### 3.2.3. Ejes equivalentes

En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El transito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos de cálculo, se los transforma en un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 kips . Se los denominara de aquí en adelante ESAL, que es la sigla en ingles de “Carga de eje equivalente simple” “equivalent single axle Load”.

#### 3.2.3.1. Factor de equivalencia de carga (F ec )

El concepto de convertir un tránsito mixto en un número de ESALs de 80 KN fue desarrollado en el Road Test de la AASHO, en este ensayo se cargaron pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas para analizar el daño producido. Así el factor equivalente de carga o Fec es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de Serviabilidad causada por una dada carga de un tipo de eje y la producida por el eje estándar de 80 KN en el mismo eje.

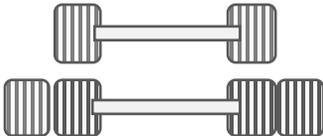
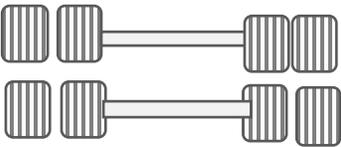
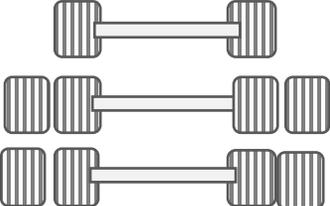
$$f_{ce} = \frac{\text{No. de ESALs de 80 KN que producen una pérdida de serviabilidad}}{\text{No. de ejes de x KN que producen la misma pérdida de serviabilidad}}$$

Del estudio de tráfico se tienen 3 categorías de vehículos:

- Vehículos Livianos (automóviles, camionetas, jeep, vagonetas, otros livianos).
- Medianos (microbuses, 10 asientos, micros, 25 asientos, otros medianos).
- Pesados: pequeño de 6 Tn, medianos de (6 a 10 Tn), y tráiler de dos ejes.

Se categoriza los tres tipos de vehículos aforados, en función de la configuración de ejes, (Ver la figura 42).

*Tabla 19. Configuración de ejes*

Conjunto de ejes	Nomenclatura	N de neumáticos	Grafico
Ejes simples (con rueda simple )	1RS	2	
Ejes simples (con rueda doble )	1RD	4	
Eje tándem ( 1 eje rueda simple +1 eje rueda doble )	1RS + 1RD	6	
Eje tándem ( 2 ejes de rueda doble )	2RD	8	
Ejes triden ( 1 rueda simple + 2 ejes rueda doble )	1RS + 2RD	10	

Fuentes: AASTHON ,1993

Del estudio de tráfico se conoce que la intersección que mayor flujo de tráfico presenta es la estación del rotonda San Martín entre la avenida las Américas lado Noreste.

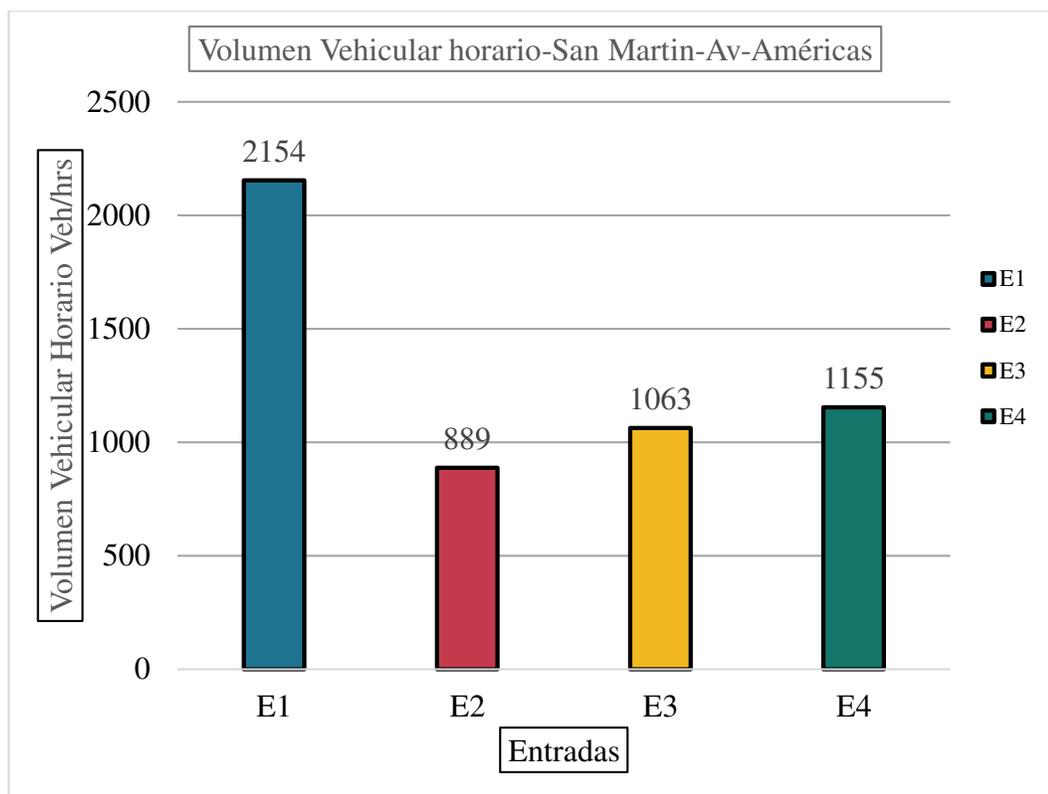
*Tabla 20. Volumen vehicular horarios mixto totales de la estación de aforo*

N	Estación de aforo	Abreviatura	Volúmenes (Veh /hr)
1	Rotonda del puente San Martín-Av. las Américas (lata Noreste )	SM-AV-A	5261
2	Micro rotonda del puente San Martín-Av. hermanos Uriondo ( lado Suroeste )	SM-H-U	1826
3	Micro rotonda Mercado San Martín-Av. la Banda	M-S-AV-B	1672
4	Rotonda Héroe de la Independencia-Av. los Sauces	AV-H-I-AV -S	1800
5	Intersección calle Ramón Rojas – Av. las Américas	C-R-R-AV-A	252
6	Intersección calle Sevilla – Av. las Américas	C-S-AV-A	268

Fuente: Elaboración propia

De los 4 Accesos de la estación San Martín- Av. las Américas, la entrada que presenta mayor flujo vehicular es la entrada 1, del cual se adoptara como base para el tráfico promedio horario, por ser la situación de mayor requerimiento (Ver las figura 82).

Figura 82. Volumen vehicular por entrada estación San Martin



Fuente: Elaboración propia

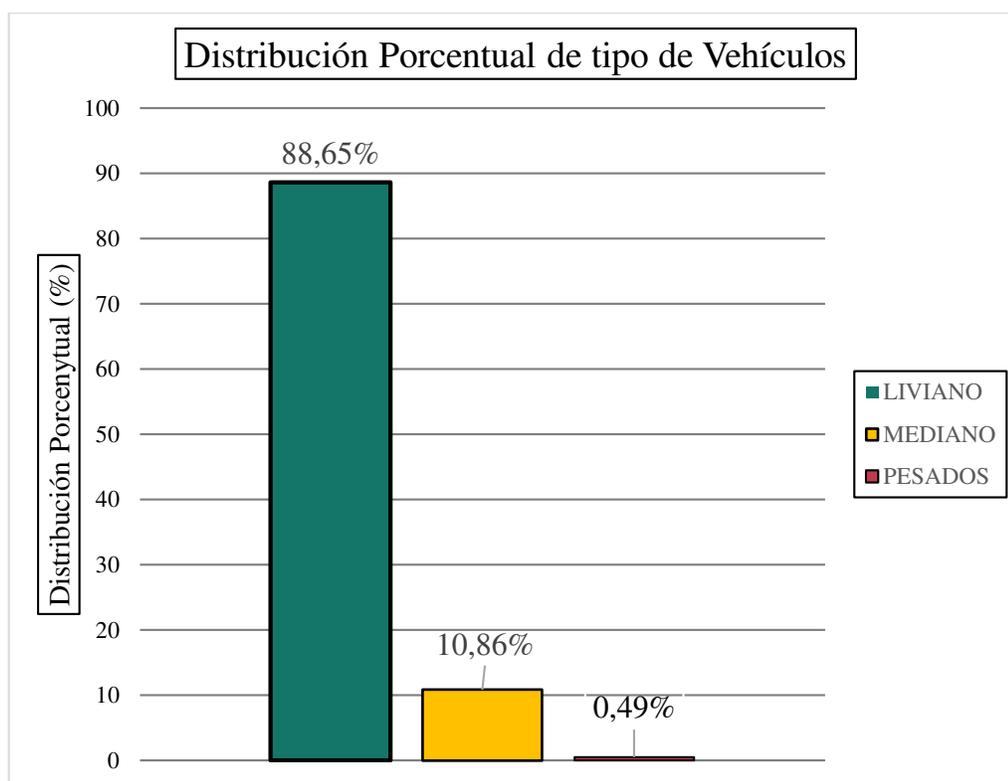
Figura 83. Entrada de la estación San Martin –Av. las Américas



Fuente : Google Earth Pro-2021

Una vez que se tiene la entrada de mayor flujo vehicular se presenta en la figura 84 su variación porcentual de los movimientos, del ingreso 1, en relación a los tipos de vehículos.

Figura 84. Distribución porcentual vehicular –entrada 1 –estación San Martín



Fuente: Elaboración propia

Del apartado 3.2.10 y 3.2.11, se obtuvo el tráfico promedio diario anual, para la estación adoptada para el diseño.

Tabla 21. Tráfico promedio mensual- estación 1- entrada 1

Tráfico promedio diario anual (TPDA)			
valor	Movimiento		
	Total	Giro derecha	Frente
Máximo	36825	19702	17096
Mínimo	32649	16115	16609

Fuente: Elaboración propia

Del promedio del tráfico promedio para un valor máximo, de los movimientos de giro a la derecha y de frente, y en relación a la variación porcentual vehicular de entrada 1, se presenta el TPDA en función del tipo de vehículo, (ver tabla 22).

Tabla 22. Tráfico promedio diario anual en función de tipos de vehículos

Vehículo	Distribución porcentual	TPDA
Livianos	0,886	16311
Medianos	0,109	1996
Pesados	0,005	90
Suma	100%	18400

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de los EE, se utilizarán las siguientes relaciones simplificadas, que resultaron de correlacionar los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO'93, para las diferentes configuraciones de ejes de vehículos pesados (buses y Camiones) y tipo de pavimento:

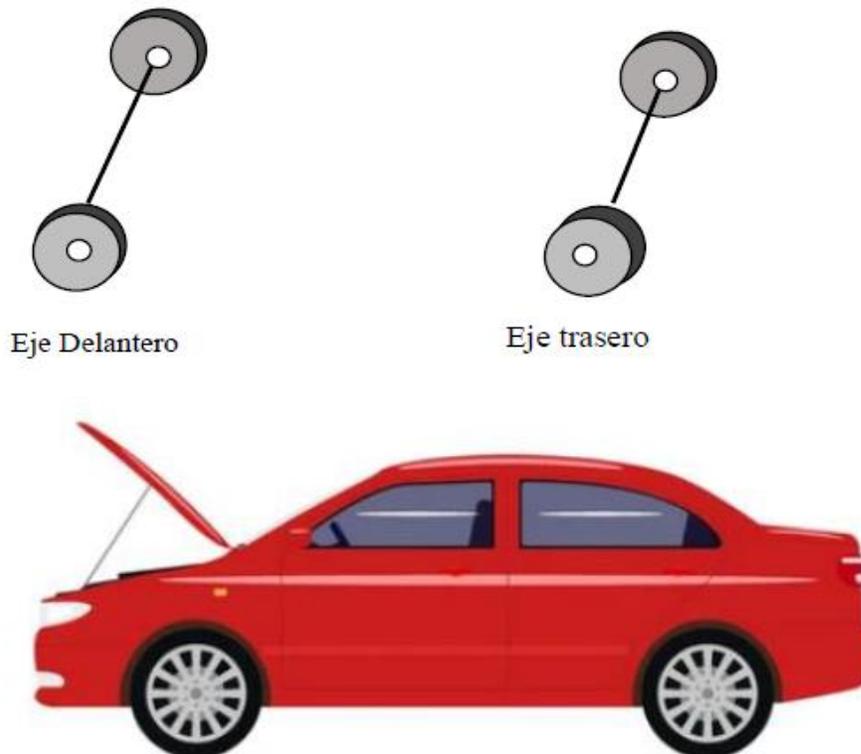
Tabla 23. Relación de carga por eje para determinar ejes equivalentes (EE)

Tipo de eje	Ejes Equivalentes
Ejes simples de ruedas simples (EE <sub>S1</sub> )	$EE_{S1} = (P/6,6)^4$
Ejes simples de doble rueda (EE <sub>S2</sub> )	$EE_{S2} = (P/8,2)^4$
Eje tándem ( 1 eje de rueda doble +eje rueda simple)(EE <sub>TA1</sub> )	$EE_{TA1} = (P/14,8)^4$
Eje tándem (2 ejes de ruedas dobles (EE <sub>TA2</sub> )	$EE_{TA2} = (P/15,1)^4$
Eje triden ( 2 ejes ruedas dobles +1 eje rueda simple )(EE <sub>TR1</sub> )	$EE_{TR1} = (P/20,7)^{3.9}$
Eje triden (3 ejes de ruedas dobles ) (EE <sub>TR2</sub> )	$EE_{TR2} = (P/21,8)^{3.9}$

Fuente: AASTHON,1993

La categoría de vehículos livianos (automóviles, camionetas, jeep, vagonetas, otros livianos) poseen, ejes simples de rueda simple, ( Ver figura 85).

Figura 85. Vehículos livianos



Fuente: Elaboración propia

Aplicando la relación propuesta por AASTHON 93, se tiene:

TPDA = 16311 vehículos livianos / día.

Carga vehicular en eje = 1 Ton)

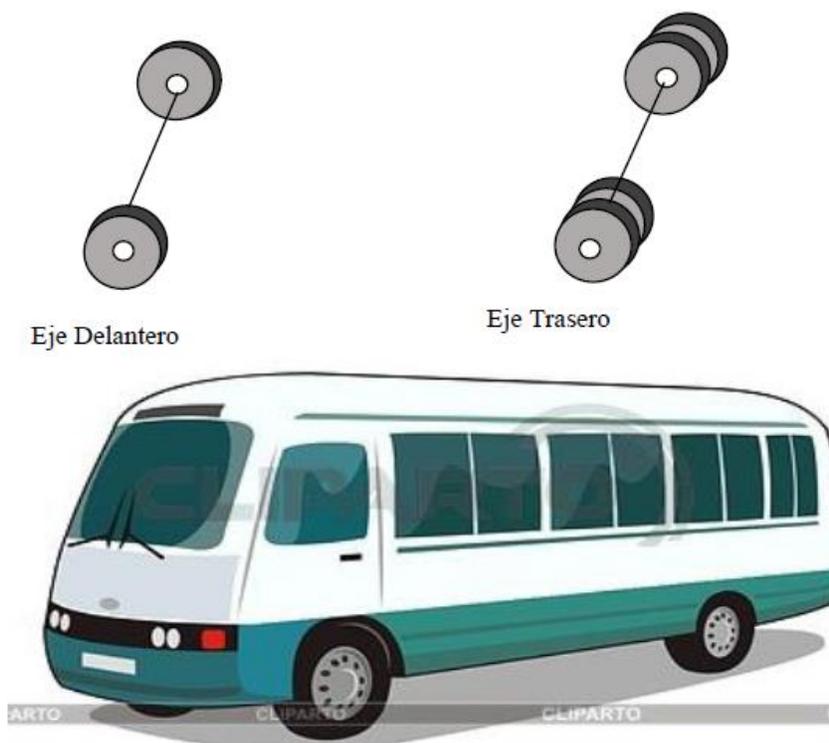
$$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6,6}\right)^4 = \left(\frac{1}{6,6}\right)^4 = 0,00527$$

Como resultado se tienen el factor de equivalencia para eje simple, que será aplicado al eje delantero y trasero.

Los vehículos Medianos (microbuses, 10 asientos, micros, 25 asientos, otros medianos).

Tiene un eje simple delantero y un eje doble en la parte posterior. (ver figura 86 )

Figura 86. Vehículos medianos



Fuente: Elaboración propia

De la tabla 23, se aplicará el mismo factor de equivalencia para un eje simple, para el eje delantero, del eje trasero de eje doble se presenta el cálculo correspondiente:

TPDA = 1996 vehículos Medianos / día.

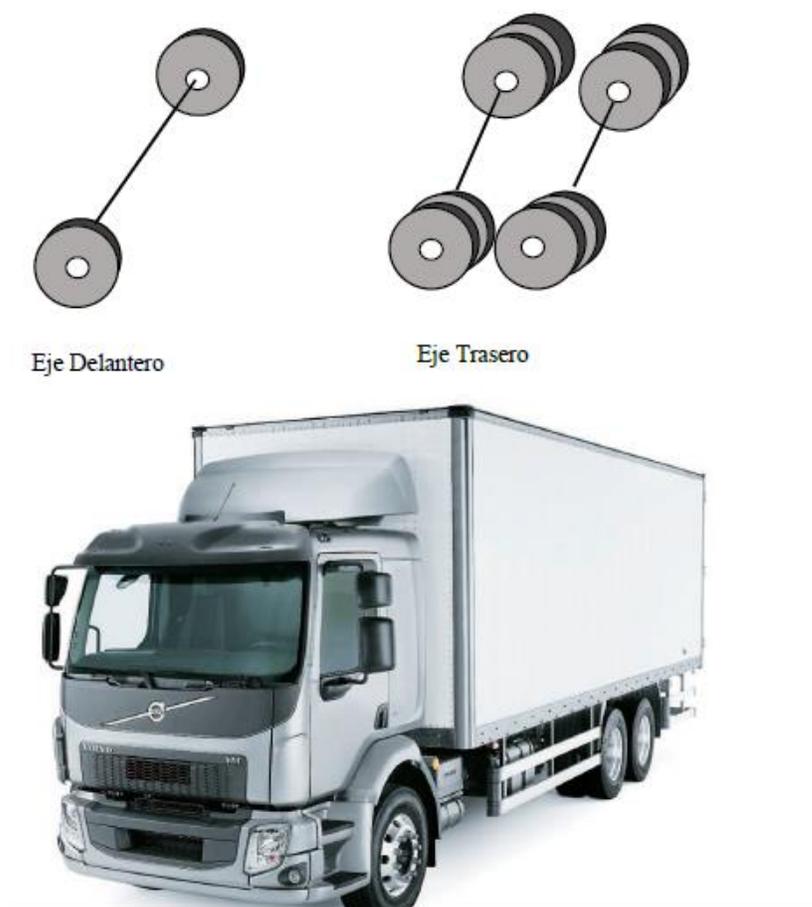
Carga vehicular = 10 Ton por eje.

$$EE_{S2} = \left(\frac{P}{8,2}\right)^4 = \left(\frac{10}{8,2}\right)^4 = 2,21$$

El factor de equivalencia para ejes simples dobles es de 2,21 , que se será multiplicado por el número de vehículos livianos para sacar los ejes equivalentes.

El tráfico vehículos pesados, se clasifica en función de sus ejes, el eje delantero como simple y el trasero como tándem dos ejes de doble rueda ( ver la figura 87 ).

Figura 87. Vehículos pesados



Fuente: Elaboración propia

Para los ejes equivalentes, se tomó el factor de equivalencia para el eje delantero, para el eje posterior se procederá a su cálculo:

TPDA =90 vehículos pesados / día

Carga Vehicular en eje =16 (Ton)

$$EE_{TA2} = \left(\frac{P}{15,1}\right)^{3,9} = \left(\frac{16}{15,1}\right)^{3,9} = 1,25$$

El factor equivalencia de carga de los diferentes tipos de ejes, cálculos se tiene que multiplicar con el tráfico, obteniendo el factor de equivalencia de TPDA.

En la presente tabla 24, se presenta el resumen de cálculo realizado.

Tabla 24. Obtención del factor de equivalencia TPDA

Símbolo	TPDA	Carga vehicular ejes en Ton	Factor de equivalencia de carga	F TPDA
Auto ,pick-.up, combi	16311	1	0,00	9
	16311	1	0,00	9
B3	1996	7	1,27	2526
	1996	10	2,21	4415
C4	90	7	1,27	114
	90	16	1,25	113
Suma				7185

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn, en el periodo de diseño, se usará la siguiente expresión por tipo de vehículo; el resultado final será la sumatoria de los diferentes tipos de vehículos pesados considerados:

$$ESALS = W18 = 365 * f_d * f_c [CL * F_{EC} + CP * F_{EC}] * F_{CA}$$

$$F.TPDA = [CL * F_{EC} + CP * F_{EC}]$$

Donde:

ESALS = Ejes equivalentes.

F d = Factor de dirección.

F c = Factor de carril.

CL = Camiones Livianos

F e c = Factor de equivalencia

CP = Camiones pesados

F c a = Factor de crecimiento acumulado

Factor de crecimiento acumulado

$$F_{CA} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

$N =$  Vida Útil del proyecto  $N = 20$  años

$I =$  Índice de crecimiento  $I = 3,23 \%$

$$F_{CA} = 27.51$$

De la siguiente tabla se obtiene los factores de dirección y carril.

*Tabla 25. Factor por número de carril y dirección*

Número de calzada	Número de sentido	Número de carriles por sentido	Factor direccional (f d)	Factor carril (f c)	Factor ponderado (fd*fc) para carril de diseño
1 calzada (para TPDA total de calzada)	1	1	1	1	1
	1	2	1	0,8	0,8
	1	3	1	0,6	0,6
	1	4	1	0,5	0,5
	2	1	0,5	1	0,5
	2	2	0,5	0,8	0,4
2 calzada ,con separador central ( para TPDA total de las dos calzadas	2	1	0,5	1	0,5
	2	2	0,50	0,8	0,8
	2	3	0,5	0,80	0,5
	2	4	0,5	0,8	0,4

Fuente: Elaboración propia

$$F_d * F_c = 0,8$$

Aplicado el factor obtenidos a nuestra formula

$$W18 = FTPDA * 365 * F_d * F_c = 7185 * 365 * 1 * 0,8 * 28$$

$$W18 = 58774138 = 58,7 \times 10^6 .$$

### 3.2.4. Calculo del módulo resiliente de sub rasante

De la inspección de la zona, por encontrarse en una zona cercana al rio Guadalquivir, se tiene la presencia en las primeras capas la presencia de material granular.

*Figura 88. Presencia de suelo granular en los acceso al puente 4 de julio*



Fuente: Elaboración Propia

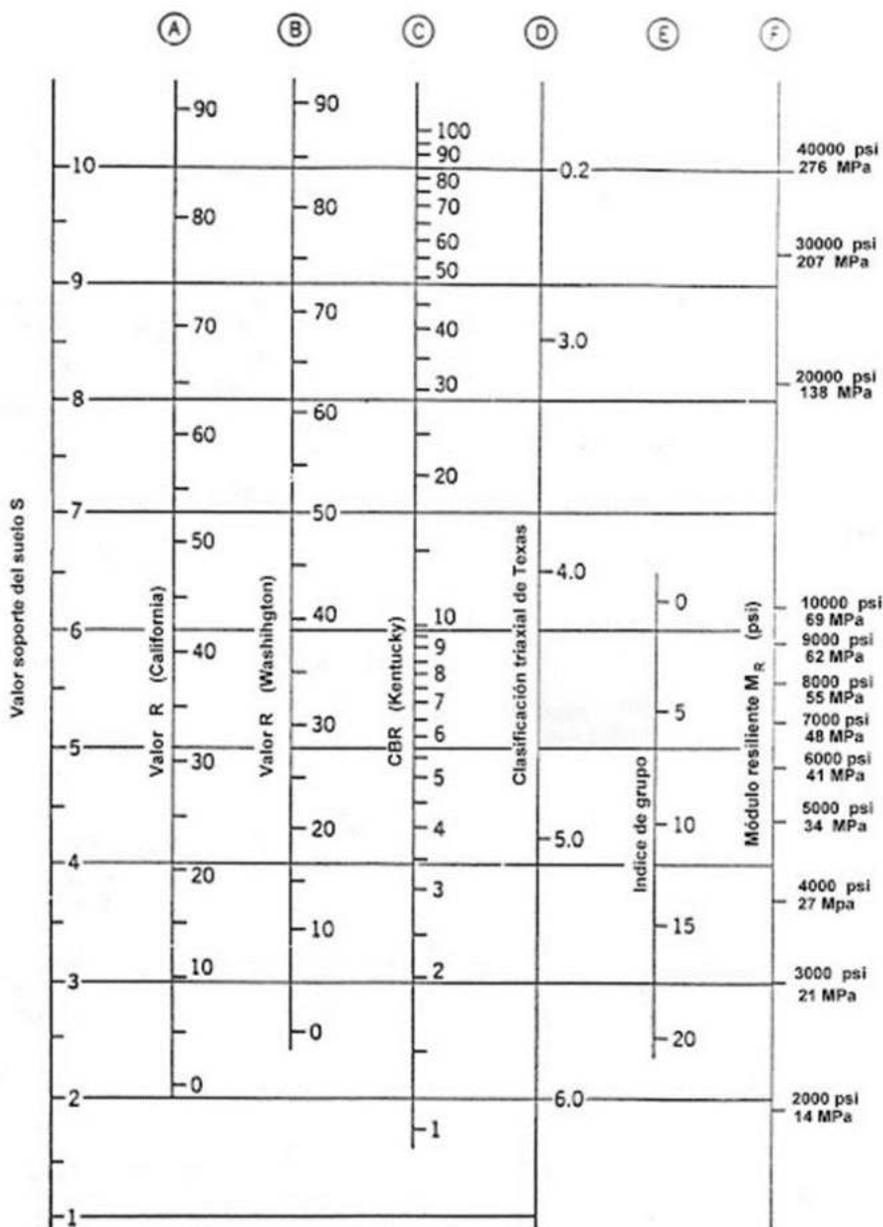
*Tabla 26. Características de los suelos*

Clasificación AASTHON	Descripción	Clasificación S.U	Densidad seca (Kg/ m3)	CBR (%)
Suelos granulares				
A-1-a Bien graduado	Grava	GW,GP	125-140	60-80
A-1-A ,mal graduado			120-130	35-60
A-1-b	Arena gruesa	SW	110-130	20-40
A-3	Arena fina	SP	105-120	15-25

Fuente: Baños,2010

Se adopta de la anterior tabla 26 un CBR de 70 %, dado que no siempre se tiene los equipos necesarios para obtener el módulo resiliente ,se aplica correlaciones entre modulo resiliente y el CBR ,ver la siguiente figura .

Figura 89. Corrección del módulo resiliente



Fuente: <https://libro-pavimentos.blogspot.com/>

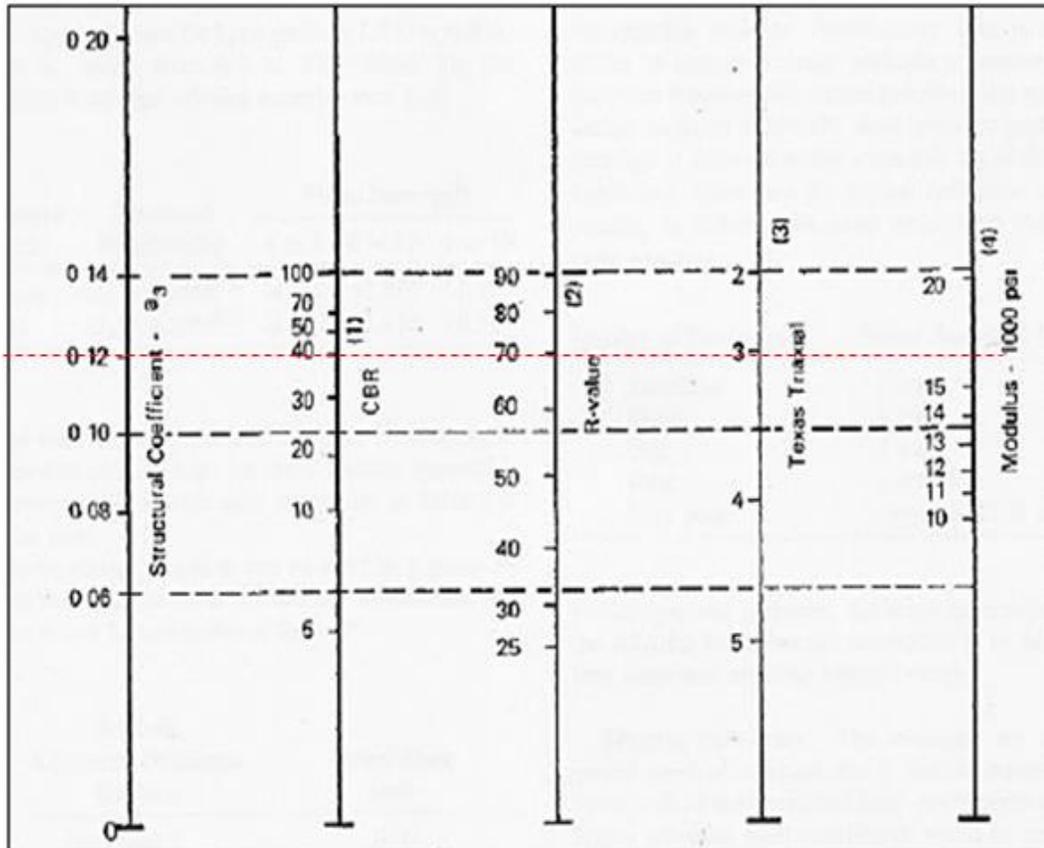
El módulo resiliente para la sub rasante es de  $M_r = 35000$  (Psi)

### 3.2.4.1. Módulo resiliente y el coeficiente estructural de la sub base y base.

Denomina capa intermedia y drenante de la estructura de pavimentos, su objetivo es captar parte del esfuerzo, para minimizar los esfuerzos que llegan a la sub rasante, el material seleccionado debe cumplir con un CBR mayor a 40 %. entonces podemos utilizar el siguiente monograma para encontrar el módulo resiliente y el coeficiente estructural.

Para la base, Por el número de ejes equivalentes de diseño, implica de acuerdo a la normativa AASTHON -93 ,se por lo menos CBR=95%.

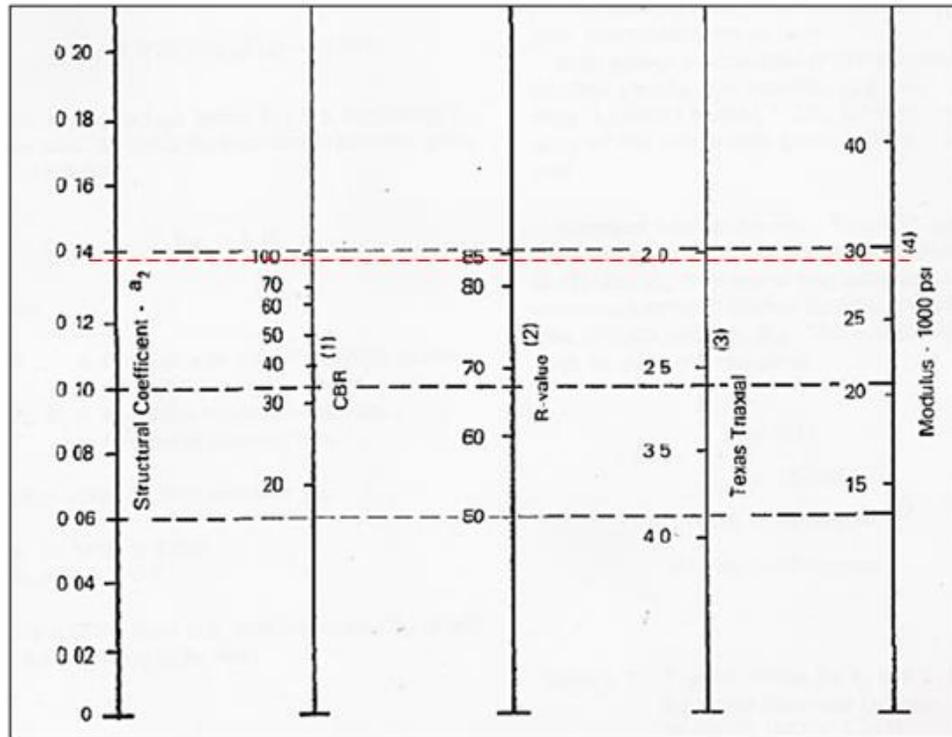
Figura 90. Gráfica para determinar el coeficiente estructural ( $a_3$ ) de la sub base



Fuente: AASTHON ,1993

$$a_3 = 0,12 \quad MR = 17000 \text{ psi}$$

Figura 91. Gráfica para determinar el coeficiente estructural ( $a_2$ ) de la base granular



Fuente: Guía de diseño de pavimentos AASTHON 93

$$a_2 = 0,138 \quad Mr = 30000 \text{ psi}$$

### 3.2.4.2. Cálculo del módulo resiliente de la mezcla asfáltica

Calculando la frecuencia de carga reemplazando la velocidad de proyecto de vehículos pesados, de 25 km/ hr.

$$f = \frac{V}{2\pi} = \frac{25}{2 * 3,1415} = 3,97 \text{ Hz} \approx 4 \text{ Hz}$$

De la tabla 27 , para espesores mínimos de pavimentos en función de ejes equivalentes se tomó el valor superior por tener  $W_{18}=58,7$  millones de eje equivalentes , por concierne se tomó un espesor de Asfalto de 4 pulgadas ( 10 cm ) .

Tabla 27. Espesores mínimos de pavimentos

W <sub>18</sub> (10 <sup>6</sup> )	Espesores mínimos en pulgadas	
	Capa asfáltica	Base granular
<0,05	-	4
0,05-0,15	2	4
0,15-0,50	2,5	4
0,50-2	3	6
2-7	3.5	6
>7	4	6

Fuente: AASTHON ,1993

Con la temperatura promedio del aire, en nuestro proyecto se tomó la temperatura de 20 ° C , obteniendo de la siguiente relación , la temperatura efectiva del Asfalto.

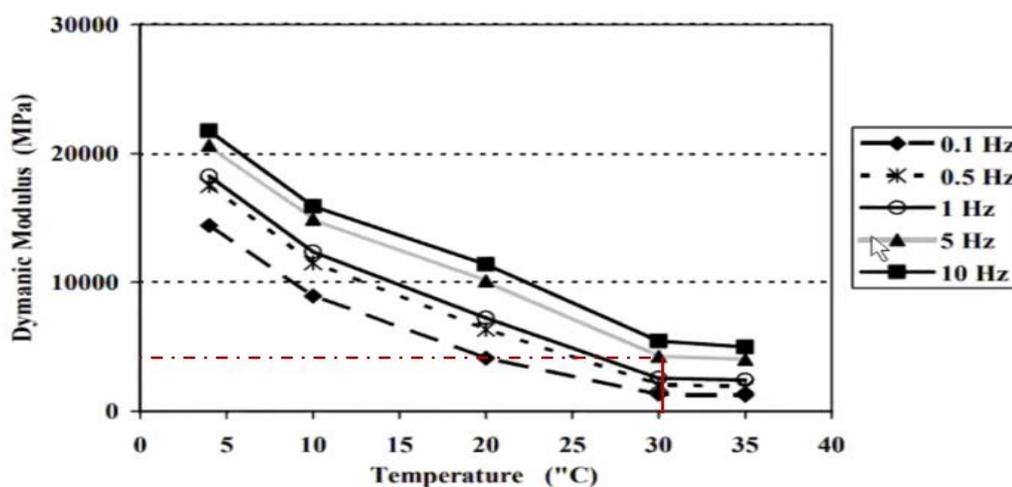
$$T_s = (-0,0093 * T_a^2 + 1,569 * T_a - 1,578)(-0,084 * \ln h_s + 1,55)$$

$$T_s = (-0,0093 * 20^2 + 1,569 * (20) - 1,578)(-0,084 * \ln(101,6) + 1,55)$$

$$T_s = 30,30 \approx 31^\circ\text{C}$$

De la frecuencia de carga y la temperatura del Asfalto se consigue el módulo resiliente del Asfalto ver la figura 92.

Figura 92. Variación del módulo resiliente-temperatura



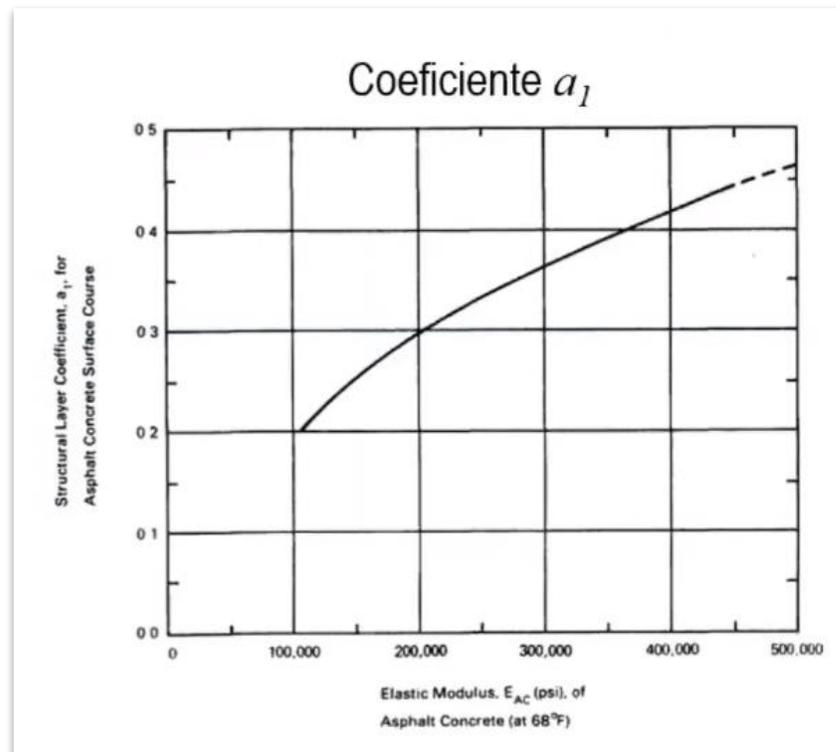
Fuente: AASTHON,1993

Con una frecuencia de 4 Hertz y una temperatura de 30 ° C, se consigue el siguiente módulo resiliente de la mezcla asfáltica:

$$M_r = 3530 \text{ (Mpa)} = 511983,2 \text{ (Psi)}$$

El coeficiente estructural  $a_1$  que es el que se requiere para conseguir el número estructural de la capa asfáltica se puede obtener mediante la siguiente figura o mediante esta ecuación, introduciendo simplemente el modulo resiliente en Psi y nos da el número estructural de la capa asfáltica.

*Figura 93. Relación del módulo resiliente con el número estructural*



Fuente: AASTHON,1993

$$a_1 = 0,194 \ln(E) - 1,9547$$

$$a_1 = 0,194 * \ln(51198.2) - 1,9547$$

$$a_1 = 0,46$$

### 3.2.4.3. Coeficientes de drenaje

Las capas de pavimento sobre todo la base y la sub base están expuestas a condiciones hidráulicas adversas, por lo cual se tiene que calificar el drenaje de acuerdo con el tiempo de evacuación del agua.

Tabla 28. Calidad de drenaje

Calidad de drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Fuente: AASTHON 1993

Tabla 29. Valores para corregir los coeficientes estructurales de la base y sub base

Calidad de drenaje	Término remoción de agua	% de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación			
		<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	2 horas	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Buena	1 día	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Aceptable	1 semana	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Pobre	1 mes	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy pobre	El agua no drena	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Fuente: AASTHON ,1993

Por las condiciones hidrológicas, propias de la zona se tienen presenta lluvias moderadas intensidad, a excepción del lluvias de alta intensidad que se presentan por fenómenos meteorológicos, donde los meses de mayor precipitación pluvia son de aproximadamente de 4 meses (noviembre, diciembre, enero y febrero) . Se estima que el tiempo de exposición a la humedad de los pavimentos se encuentra mayor al 25 %.

En base a lo anterior y teniendo en cuenta que la vía tendrá un buen sistema de drenaje pluvia, los coeficientes de drenaje son:

$$m_2 = 1,1$$

$$m_3 = 1,1$$

### 3.3. CALCULO DEL ESPESOR DE PAVIMENTOS

El numero estructural representa la capacidad estructural que tiene un pavimento en función del espesor de sus capas y la rigidez de cada una de ellas.

La presente ecuación representa el número estructural de cada una de la capa del pavimento, es decir cada una de las capas del pavimento requiere un número estructural para poder soportar adecuadamente las cargas de tránsito.

$$\log W_{18} = Z_R * S_o + 9,36 * \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log M_R - 8,07$$

Donde:

$$W_{18} = \text{Ejes equivalentes} = 58,7 \times 10^6$$

$$Z_o = \text{Abscisas correspondientes a un área de confiabilidad} = -1,28$$

$$S_o = \text{Error normal combinado} = 0,45$$

$$\Delta PSI = \text{Índice de Servicio} = 2,2$$

$$M_r = \text{Modulo resistente de la sub rasante} = 35000 \text{ psi}$$

Nótese que el número estructural aparece dos veces en la ecuación y es completamente imposible despejar analíticamente y entonces, nos toca remplazar todos los valores y utilizar un método iterativo para resolver la ecuación y conocer el número estructural.

$$SN = 3,57$$

#### 3.3.1. Espesores de carpeta estructural

Una vez que ya conocemos el número estructural, se procede a estructurar el pavimento conformado por las capas de sub base granular, base granular y carpeta asfáltica, mediante la siguiente expresión.

$$SN = a_1 h_1 + a_2 m_2 h_2 + a_3 m_3 h_3$$

El primer componente  $a_1 h_1$  representa el numero estructural de la capa asfáltica.  $a_2 m_2 h_2$  representa el número estructural de la base granular y  $a_3 m_3 h_3$  representa el

número estructural de la sub base granular .la sumatoria de los tres nos del el numero estructural proporción al pavimento

De la tabla de espesores mínimos se tiene un espesor de carpeta asfáltica  $e_1=10\text{cm}$  se conoce. que la relación entre el espesor de entre espesor de la capa base y sub base es la siguientes:

$$e_3 = 1,7 * e_2$$

Para obtener los espesores de las capas del pavimento, se procede a remplazar los valores obtenidos anteriormente.

$$SN = a_1 h_1 + a_2 m_2 h_2 + a_3 m_3 h_3$$

$$3.57 = 0,46 * 4 + 0,138 * 1,1 * e_2 + 0,12 * 1,1 * (1,7 * e_2$$

$$e_2 = 4,59 \text{ pulg} = 11,65 \text{ cm} \approx 12 \text{ cm} = 4,7 \text{ pulg}$$

$$e_3 = 1,7 * e_2 = 1,7 * 12 = 20,4 \approx 20,5 \text{ cm} = 8 \text{ pulg}$$

Con los espesores de las capas de pavimentos, obtenidas se puede determinar el número estructural corregido.

$$SN = 0,46 * 4 + 0,138 * 1,1 * 4,7 + 0,12 * 1,1 * 8$$

$$SN = 3,60$$

### 3.3.2. Espesores finales de pavimentos para los accesos al puente 4 de julio

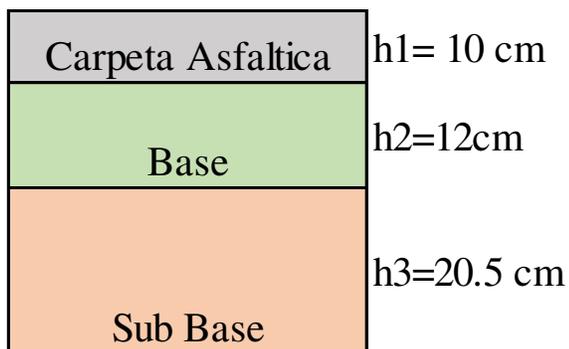
El pavimento ha sido diseñado para un periodo de 20 años. A continuación, se muestra la siguiente tabla con todos los parámetros de diseño requeridos para la estructuración del pavimento.

Tabla 30. Parámetros de diseño empleados en el diseño del pavimento

Parámetros de diseño			0-20 años	
Número de ejes equivalentes			58,7 E+06	
Módulo resiliente sub rasante, $M_r$ (psi)			35000	
Nivel de confianza, $R$ (%)			90%	
Factor de confiabilidad, $Z_r$			-1,282	
Desviación estándar, $S_o$			0,45	
Serviciabilidad inicial			4,2	
Serviciabilidad final			2	
$\Delta$ PSI			2,2	
Número estructural requerido			SN	3,57
Carpeta asfáltica	---	$a_1 = 0,44$	$h_1$ (cm.)	10
Base	$m_1 = 1.1$	$a_2 = 0,138$	$h_2$ (cm.)	12
Sub-base	$m_2 = 1.1$	$a_3 = 0,12$	$h_3$ (cm.)	20,5
Espesor total del pavimento			(cm.)	42,5
Número estructural propuesto			SN'	3,60

Fuente: Elaboración propia

Figura 94. Espesores de pavimento de proyecto



Fuente: Elaboración propia

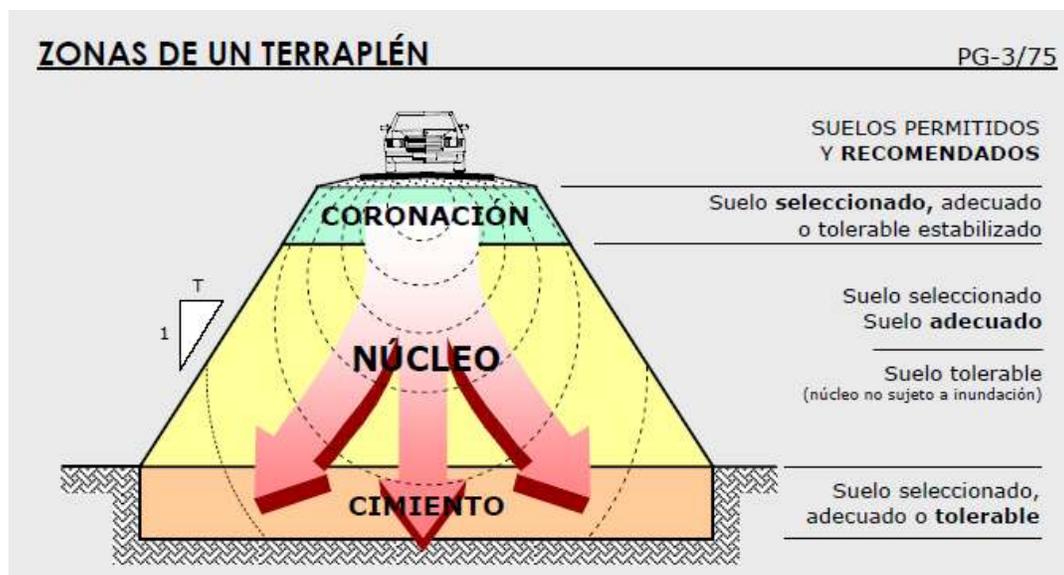
### 3.4. CONFORMACIÓN DE TERRAPLENES

Un aspecto importante a considerar en los terraplenes es su ejecución dada la doble función que desempeñan, por un lado materializa la geometría de la vía ; por otro ,sirve de estructura sustentable del firma, canalizando en su seno las tensiones generadas por el tráfico .Un terraplén correctamente ejecutado tendrá una menor probabilidad de sufrir deformaciones que pongan en peligro la funcionalidad de la vía a la sirve de apoyo.

Es lógico pensar que en un terraplén la distribución tensional de cada uno de sus puntos varia con la profundidad, debido sin duda a la progresiva disipación de las cargas del tráfico ocasionado por el aumento de la sección resistente. Este hecho se traduce en que la calidad exigible a un suelo decrece a medida que nos alejamos del firme sustentador del tráfico, foco generador de tensiones.

De todo lo dicho anteriormente, puede concluirse que para la construcción de terraplenes se establece un criterio selectivo de distribución, reservando los mejores materiales disponibles para las zonas más exigentes y los menos cálida para aquellas menos solicitantes .

*Figura 95.Zona distinguible de un terraplén*



Fuente: Bañon,2010.

No obstante, el suelo siempre debe cumplir dos condiciones esenciales para su utilización:

- Asegurar la estabilidad.

- Permitir el puesto en obra.

#### **3.4.1. Zonas de un terraplén**

El terraplén generalmente está constituido por tres partes corona, núcleo y cimienta a continuación se obtendrá el tipo de material por cada parte del terraplén.

#### **3.4.2. Cimiento de un terraplén**

El cimiento es la parte del terraplén situado por debajo de la superficie original del terreno, y que ha sido vaciado durante el proceso de desbroce o al hacer excavación adicional por presencia de material inadecuado. Esta capa es la más inferior de todas,

Por lo que está en contacto directo con el terreno natural.

Generalmente sus características mecánicas no tienen por qué ser muy elevadas, ya que las tensiones que llegan a ella son muy bajas al estar muy disipadas. No obstante, existe situaciones en las que es recomendable emplear materiales de buena calidad para mejorar las características resistentes del terreno.

La normativa permite el uso de suelos tolerables, adecuados y seleccionados en esa en este tipo de zonas, por lo mencionado se tomó como material de conformación limo arenoso.

#### **3.4.3. Núcleo del terraplén**

El núcleo conforma la parte central del terraplén, acaparando la mayor parte de su volumen y siendo el responsable directo de su geometría; es en esta zona donde se materializa tanto el talud que asegura su estabilidad como la altura necesaria para alcanzar la cota definitiva en proyecto.

Su construcción se realiza con materiales desechados para la elaboración de la coronación, aunque deben de cumplir una serie de características que hagan aceptables su comportamiento mecánico.

En este sentido la normativa, tipifica el empleo de suelos seleccionados y adecuados en esta zona del terraplén, adoptando un limo arenoso para la conformación de terraplén por sus cualidades mecánicas y de permeabilidad.

#### **3.4.4. Corona del terraplén**

La corona es la capa de terminación del terraplén, en la que se asentará el pavimento. estas cercanías con las cargas de tráfico implican que va a estar sometida a fuertes solicitaciones, Por lo que el material que la constituya debe tener una gran capacidad

resistente. Además, deberá ser lo más insensible al agua posible y presentar cierta estabilidad para el movimiento de la maquinaria sobre él, lo que facilitará la correcta colocación del pavimento.

De lo mencionado anteriormente se realizará la conformación de la corona con grava limpia (A-1-a).

### **3.5. MOVIMIENTOS DE TIERRA**

#### **3.5.1. Cuantificación del movimiento de tierra.**

Con el apoyo del software civil 3D (Versión 2021) de Autodesk, se obtienen las áreas que conforman las secciones de corte y relleno de la alternativa a nivel y desnivel bajo las siguientes condiciones.:

- Se tiene las secciones transversales en tramos rectos cada 20 metros
- Se tiene las secciones transversales en tramos curvos cada 10 metros

se procede a realizar la cubicación de las alternativas a nivel y desnivel

#### **3.5.2. Cubicaciones**

Es necesario una evaluación de los volúmenes de obra con la mayor precisión posible, para definir el número de máquinas a utilizar y el tiempo de trabajo, teniendo en cuenta los cambios de volúmenes que sufren durante su ejecución de la obra.

##### **3.5.2.1. Método de perfiles transversales**

Es el método más usado y está especialmente indicado en obras de desarrollo lineal como caminos, canales, etc. Este método se basa en la fórmula de Simpson para el cálculo del volumen del prisma.

El prisma es un cuerpo comprendido entre dos bases planas paralelas y su volumen es:

$$V_p = \frac{L * (A_1 + 4 * A_m + A_2)}{6}$$

Por lo cual.

$$A_m = \frac{1}{2} * (A_1 + A_2)$$

A final se tiene la siguiente expresión

$$V_p = \frac{1}{2} * (A_1 + A_2) * L$$

Donde:

V p= Volumen del prisma

$A_1 = \text{Área uno}$

$A_2 = \text{Área dos}$

$A_m = \text{Área promedio}$

Casos

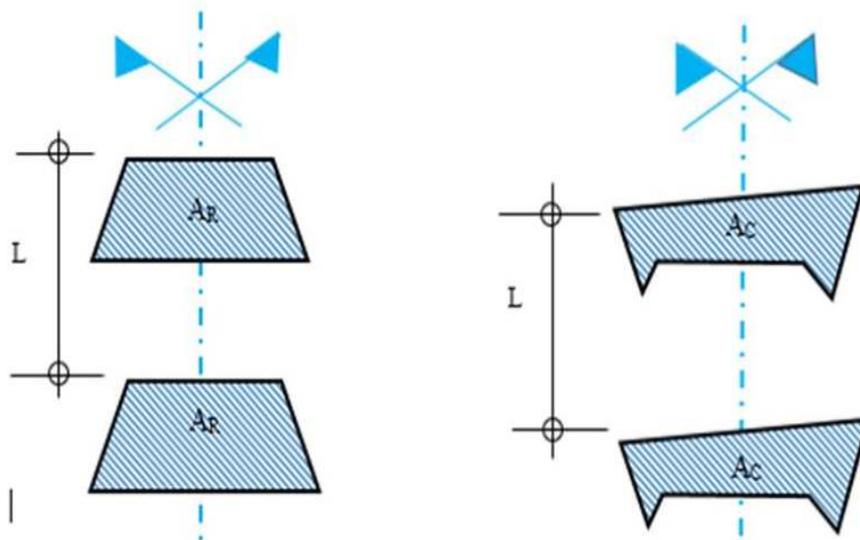
- 1er caso para Corte-Corte

$$V_C = \frac{(A_{C1} + A_{C2}) * L}{2}$$

- 2 do caso Relleno-Relleno

$$V_C = \frac{(A_{R1} + A_{R2}) * L}{2}$$

Figura 96. Cubicación de áreas de relleno y corte

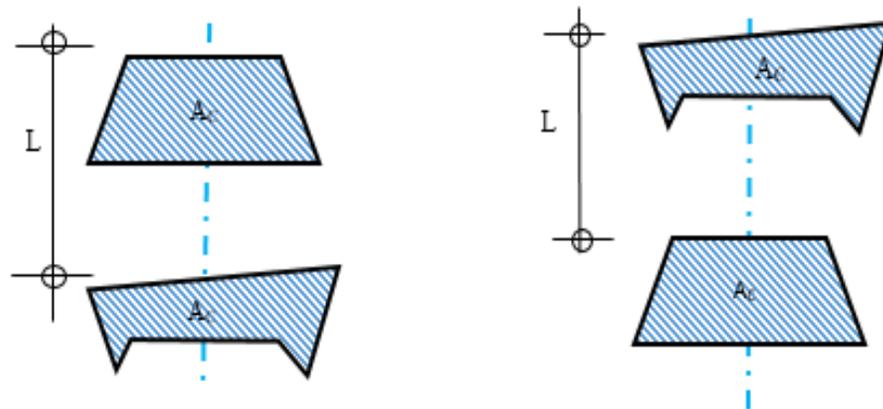


Fuente: Elaboración propia

- 3er y 4to caso Relleno-Corte o Corte-Relleno

$$V_C = \frac{(A_C)^2 * L}{2 * (A_C + A_R)}$$

Figura 97. Cubicación de áreas de relleno-corte o corte-relleno



Relleno -Corte o Corte -Relleno

Fuente: Elaboración propia

- 5to Mixtas

Separamos por los ejes X -Y paralelos al eje de la vía.

Izquierda de X : caso relleno corte  $V_{C1}$  y  $V_{R1}$

Entre X-Y: caso de relleno -relleno  $V_{R2}$

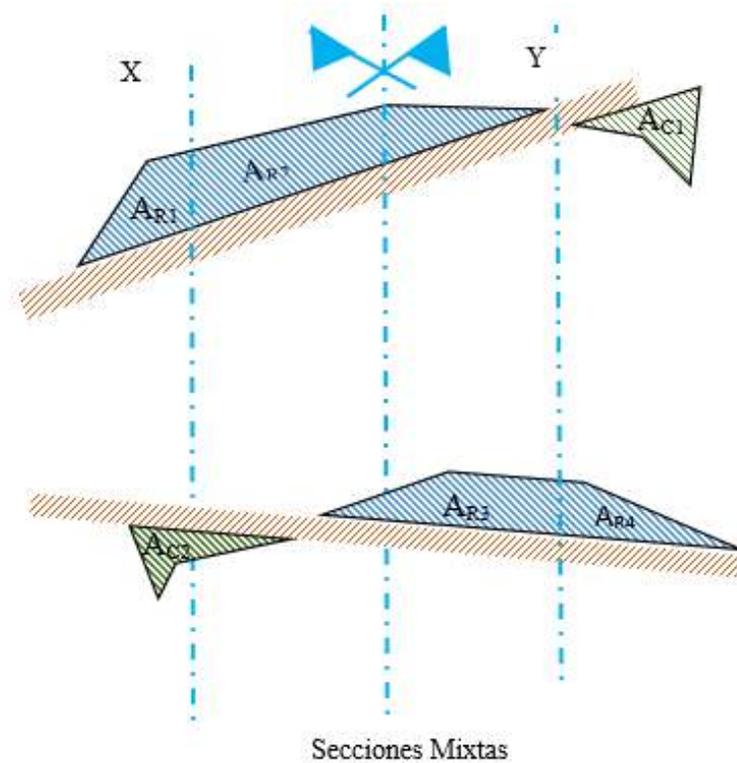
Derecha de Y: caso corte relleno:  $V_{C2}$  y  $C_{R3}$

$$V_C = V_{C1} + V_{C2}$$

$$V_R = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3}$$

Para el lado izquierdo como el derecho se tiene el volumen total de tierra que conforma el terraplén.

Figura 98. Cubicaciones de las secciones mixtas



Fuente: Elaboración propia

En los anexo de planos del proyecto se puede apreciar en detalle las secciones transversales de la intersecciones a nivel y desnivel, como las áreas de corte , relleno , ancho, bombeo, progresiva , por lo consiguiente en la siguientes acápite , se proceder era a cualificar los volúmenes para su conformación de sus geometrías.

La alternativa a desnivel como a nivel están conformadas por taludes es los accesos al puente 4 de julio y de secciones de corte en los tramos de ingresos, por lo cual con la las secciones transversales, se obtiene las áreas de relleno y corte, para el siguiente ejemplo de aplicación del método de perfiles transversales se toma un tramo de acceso al puente, de la alternativa a desnivel de la progresiva 0+200 a 0+220 , ver la figura 99.

Figura 99. Secciones de rellenos de la progresiva 0+200-0+220



Fuente: Elaboración propia

De la progresiva 0+200 se tiene una área de relleno de 22,91 m<sup>2</sup> y de la progresiva 0+220 de 24,88m<sup>2</sup>, la distancia entre secciones es de 20 metros, aplicando el método de secciones para su cubicación.

$$V = \frac{(22,91 + 24,88)}{2} * 20 = 477,9m^3$$

### 3.5.2.2. Evaluación de los volúmenes de trabajo

Es necesario efectuar una evaluación de los volúmenes de obra con la mayor precisión posible, para definir el número de máquinas y el tiempo de trabajo teniendo en cuenta los cambios de volúmenes que sufren los materiales durante la ejecución de la obra.

La alteración del porcentaje de vacíos existentes entre las partículas del suelo en su estado natural, producido por el esfuerzo mecánico sobre el terreno, dará lugar a diferentes volúmenes para el mismo peso de material.

El volumen de tierra, depende de las condiciones que se encuentre, ya sea en su estado natural (existente) , suelto ( después de ser excavados ) , o compactada mediante el uso de un esfuerzo mecánico.

Generalmente la productividad de la máquinas se expresa en función de tierra suelta, sin embargo los proyectos considerados para su evaluación económica, volúmenes en banco para los ítems de excavación o desmonte y volúmenes compactados para los terraplenes o rellenos.

- **Volumen es en Banco.** - Tal como se encuentra en la natural.
- **Volumen es Suelto.** - Medido luego que el suelo ha sido excavado manualmente o por equipo mecanizado.
- **Volúmenes compactados.** - que se miden después que el material ha sido compactado mediante la aplicación de un esfuerzo mecánico.

### 3.5.2.3. Factor volumétrico de conversión o factor de expansión

Es el resultado de la relación entre la densidad de la tierra suelta y a la densidad de la tierra en banco, o de la relación del volumen en banco y el volumen suelto.

$$F_V = \frac{d_s}{d_b} = \frac{m^3(b)}{m^3(s)}$$

$$m^3(banco) = m^3 * (suelto) * F_V$$

### 3.5.2.4. Factor de compresibilidad

Es el factor que relaciona el volumen de material compactado y el volumen en banco.

$$F_c = \frac{d_b}{d_c} = \frac{m^3}{m^3}$$

$$m^3 * (compactado) = \frac{m^3 * (banco)}{F_c}$$

Los factores de conversión pueden ser obtenidos en laboratorios, o copiados de biografía existente en el tema, donde es posible encontrar valores para diferentes materiales .

Figura 100. Extracción del banco de materiales-esponjamiento y compactación



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se presenta los valores de conversión para algunos materiales de su uso frecuente.

Tabla 31. Factores de conversión de los volúmenes de tierra

Tipo de suelo	Condición inicial	Condición de tierra para trabajar		
		Banco	Suelta	Compactada
Arena	Banco	1	1,11	0,95
	Suelta	0,9	1	0,86
	Compactada	1,05	1,17	1
Arcilla arenosa	Banco	1	1,25	0,9
	Suelta	0,8	1	0,72
	Compactada	1,11	1,39	1
Arcilla	Banco	1	1,43	0,9
	Suelta	0,7	1	0,63
	Compactada	1,11	1,59	1
Grava	Banco	1	1,13	1,03
	Suelta	0,88	1	0,91
	Compactada	0,97	1,1	1
Grava sólida o resistente	Banco	1	1,42	1,29
	Suelta	0,7	1	0,91
	Compactada	0,77	1,1	1

Fuente: Ayllon , 2019

De la tabla de factores de esponjamiento y compactación para el presente proyecto se adopta como factor de expansión 1.2 , para el material de corte, y para la conformación

de terraplenes, por ser un material conglomerado se adopta un coeficiente de compactación de 0.9 .

### 3.5.3. Curva masa

El movimiento de tierras es básicamente una operación en la que se retira material del punto alto y se deposita en los puntos bajos. El material de préstamo se utiliza para compensar cualquier déficit, mientras que el exceso de material cortado se desperdicia.

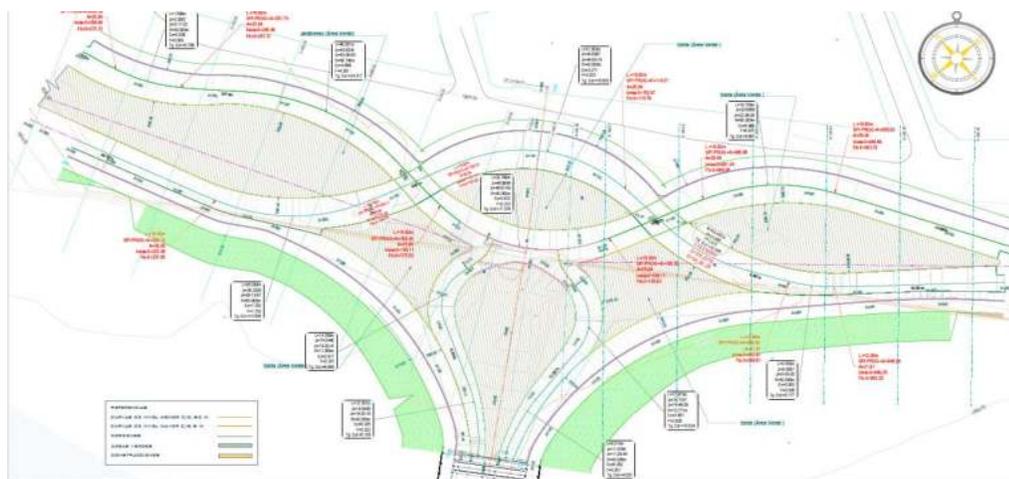
El diagrama de masas es un excelente método para analizar operaciones lineales de movimiento de tierras, es un medio gráfico par a medir distancias de acarreo en términos de volúmenes de movimiento de tierras.

En un gráfico de diagrama de masa, la dimensión horizontal representa las progresivas del proyecto y la dimensión vertical representa la suma acumulado de excavaciones y terraplenes desde algún punto de inicio en el perfil del proyecto.

### 3.5.4. Curva masa- A1 de la intersección tipo diamante divergente

La intersección diamante divergente es la alternativa a nivel del acceso por la avenida las Américas al puente 4 de julio, por su propia geometría se realizó un solo tramo para la obtención de sus secciones transversales, para proceder a su cubicación y conformar la curva masa, ver la siguiente figura 101 .

*Figura 101. Intersección a nivel diamante divergente*



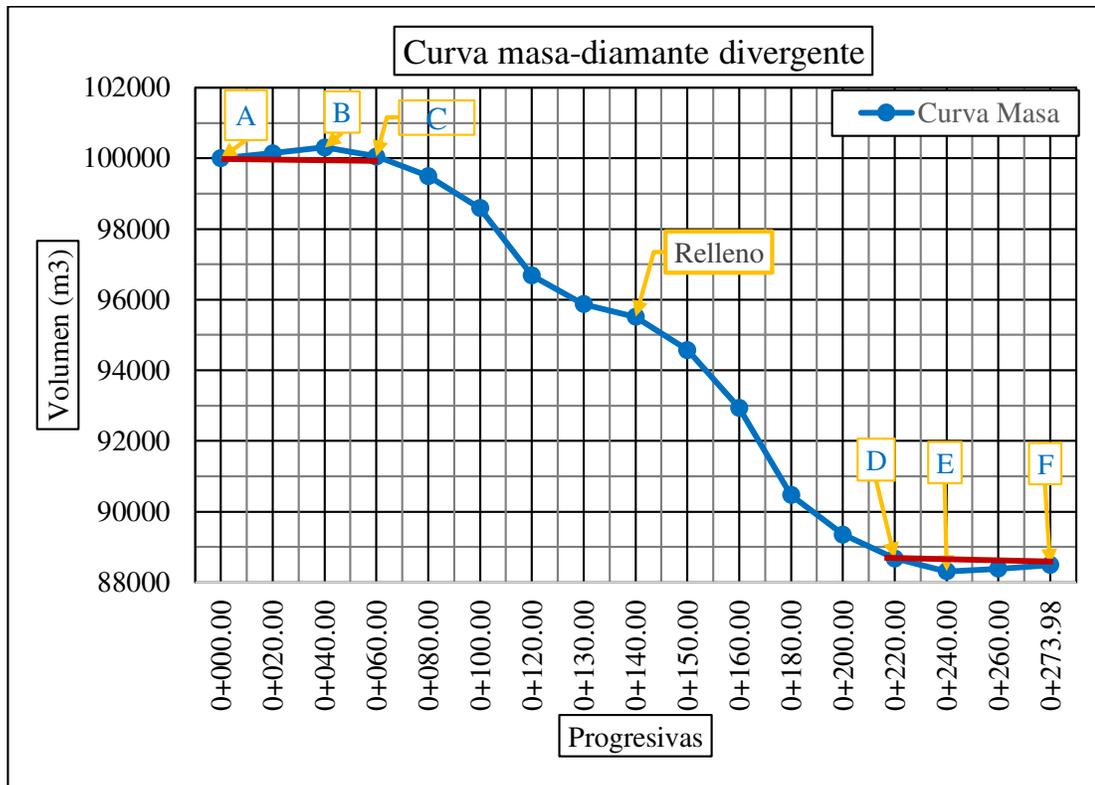
Fuente: Elaboración propia

De la curva masa de la intersección diamante divergente se obtiene los siguientes puntos singulares

- Punto A .-progresiva 0+000

- Punto B.-progresiva 0+040
- Punto C.- progresiva 0+060
- Punto D .- Progresiva 0+220
- Punto E.- Progresiva 0+0240
- Punto F.- Progresiva 0+273,98

Figura 102. Curva masa intersección diamante divergente-DDI



Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, se realizó un análisis curva masa, donde se obtuvo las siguientes:

- Del punto A a B se tiene un ascenso de la curva masa, haciendo referencia que se tiene en ese tramo corte.
- En el punto B, se tiene un punto máximo, indica un cambio de corte a relleno.
- En el punto C, hace referencia a volumen cero, se está excavando exactamente tanto material de corte como se requiere para rellenar.
- Del punto A y B se tiene la línea de compensación, indicando que en ese tramo el acarreo es libre de 60 metros, para un excavadora tipo buldócer.
- Del punto D a E, la curva de crecer, haciendo referencia a ese tramo como relleno.

- En el punto E, se encuentra un punto de transición mínimo, por el cambio de relleno corte.
- Del punto D a F, se tiene una distancia de acareo libre de 54 metro, para una excavadora tipo buldócer.
- De punto C a D, curva masa es descendente, indicante relleno , al no poder ser cortada por una línea compensadora , se tiene que cuantificar el volumen de relleno de la diferencia de volumen del punto C y D.

Por consiguiente el volumen requerido del banco se obtiene de la diferencia de volúmenes del punto C y D, mismo que será obtenido de un banco de presta que cumpla con la condiciones para la conformación de la rasante del proyecto, entonces se procede a realizar el siguientes cálculo de la curva masa.

$$\text{Volumen de relleno (C-D)} = 100000 - 88680,46 = 11319,54 \text{ m}^3$$

El volumen de corte se obtiene de la diferencia entre los puntos A-B y D-E, por lo tanto.

$$\text{Volumen de corte A y B} = 100303,24 - 100000 = 303,24 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de relleno E-F} = 88496,208 - 88311,37 = 184,838 \text{ m}^3$$

Para la conformación de la rasante de la intersección DDI, se tiene un volumen de relleno de  $11319,54 \text{ m}^3$  y de corte de  $488,078 \text{ m}^3$ .

### **3.5.5. Curva masa A2 de la intersección-T verde continuo**

Para cuantificar la conformación de la rasante del proyecto se tiene que realizar el movimiento de tierras, para su cuantificación se procedió a graficar el diagrama de masas, mismos que por la geometría de la intersección se dividió es dos ejes.

El primer eje que corresponde la zona de la avenidas las Américas y el segundo eje , al zona de los accesos a puente 4 de julio.



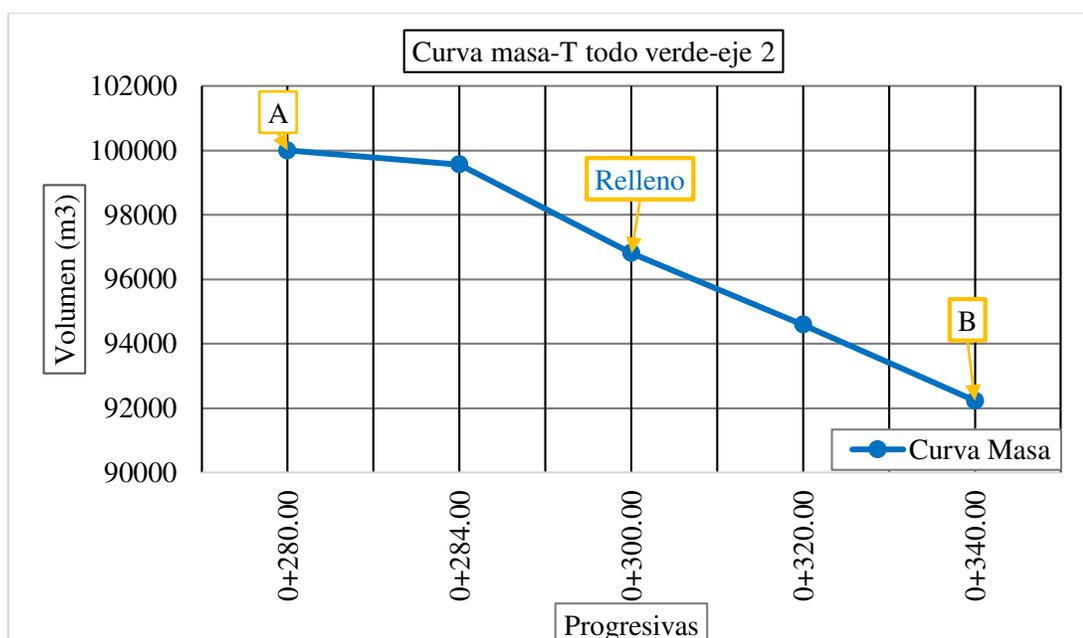
Para estimar el volumen del corte del punto A al B, se obtiene de la diferencia de sus ordenadas de la curva masa.

$$\text{Volumen de corte de A-B} = 102266,044 - 100000 = 2266,044 \text{ m}^3$$

El eje 2, es el acceso al puente 4 de julio y tiene los siguientes puntos singulares:

- Punto A.-Progresiva 0+280
- Punto B.-Progresiva 0+340

*Figura 105. Curvas masa de la intersección T verde continuo-eje 2*



Fuente: Elaboración propia

De un análisis de la curva masa, se tiene las siguientes propiedades:

- De punto A a B, la curva masa es descendente indicando relleno

El eje 2 en su totalidad indica relleno, para su cuantificación, se tiene de la diferencia de las ordenadas de la curva masa:

$$\text{Volumen de relleno de A-B} = 100000 - 92227,564 = 7772,437 \text{ m}^3$$

De la intersección T todo verde se necesita rellenar  $7772,437 \text{ m}^3$ , y se tiene que cortar  $2266,044 \text{ m}^3$ .

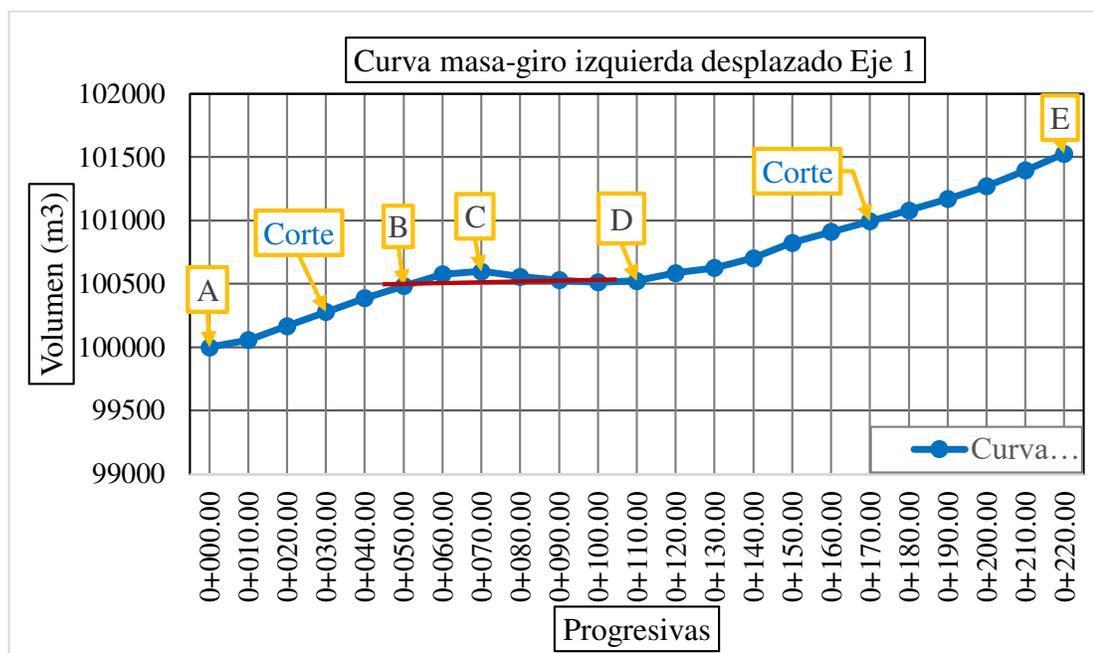
### 3.5.6. Curva masa A3 de la intersección giro a la izquierda desplazado

La alternativa giro a la izquierda desplazado, para determinarle volumen de corte y de relleno se dividió en dos ejes, el primer eje que comprende la avenida la Américas y el segundo eje que es el acceso al puente 4 de julio

Del eje 1 se tiene los siguientes puntos singulares:

- Punto A.- Progresiva 0+000
- Punto B.-Progresiva 0+050
- Punto C.-Progresiva 0+070
- Punto D.-0+110
- Punto E.-0+0220

Figura 106. Curva masa de la intersección giro a la izquierda deslizado-eje 1



Fuente: Elaboración propia

De la curva masa, del eje 1 de la intersección, se obtiene las siguientes propiedades:

- Del punto A –B, la curva masa está en ascenso indicando corte
- Del punto B al D, se traza una línea compensadora, indicando un acarreo libre de 60 metros.
- En el punto C, se presente un punto de transición máximo, por el cambio corte a lleno.
- Del punto D a E, se tiene, la curva masa está en ascenso, indicando que las secciones están en corte.

El eje 1 de la curva para la intersección, es predominantemente corte, los tramos que no son compensados, se cuantifica mediante la diferencia de ordenadas.

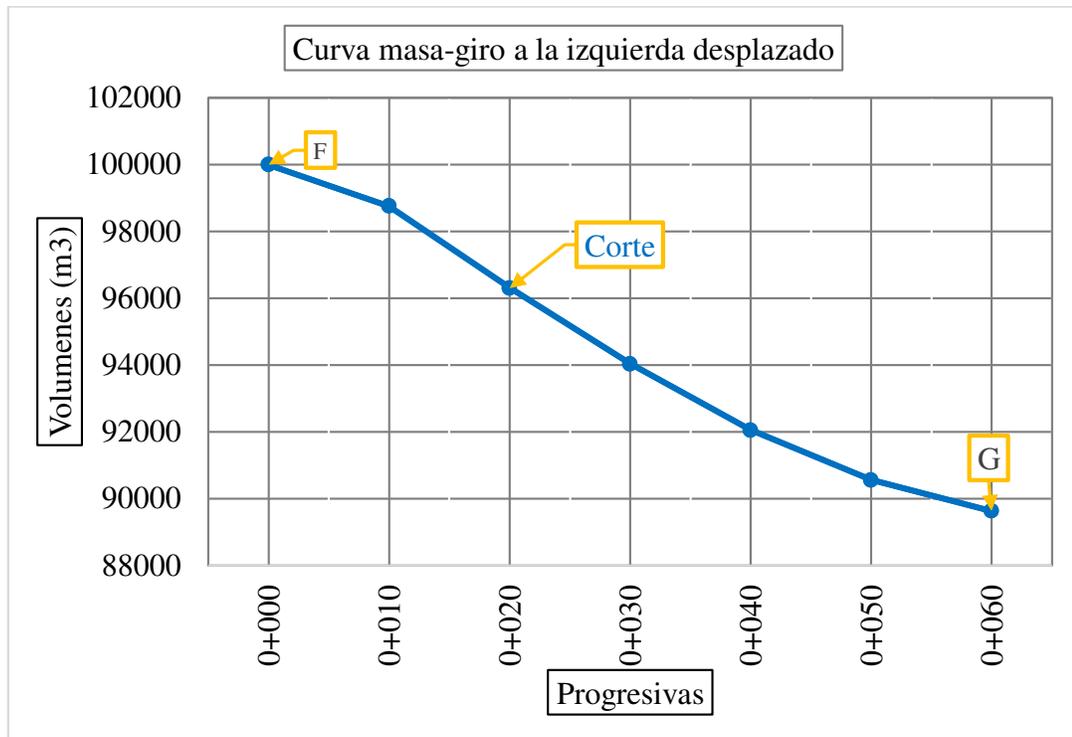
$$\text{Volumen de corte (A-B)} = 100483,96 - 100000 = 483,96 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de corte (D-E)} = 101527,84 - 100513,15 = 1014,69 \text{ m}^3$$

El segundo eje corresponde a los accesos al puente 4 de julio, el mismo que tiene los siguientes puntos singulares:

- Punto F.- Progresiva 0+000
- Punto G.- Progresiva 0+060

Figura 107. Curva masa de la intersección giro izquierda desplazado –eje 2



Fuente: Elaboración propia

De gráfico de la curva masa se tiene las siguientes propiedades:

- Del punto F a G, la curva masa se encuentra en descenso indicando relleno.

Se obtuvo el volumen de relleno de las diferencias de ordenadas entre los dos puntos F y G.

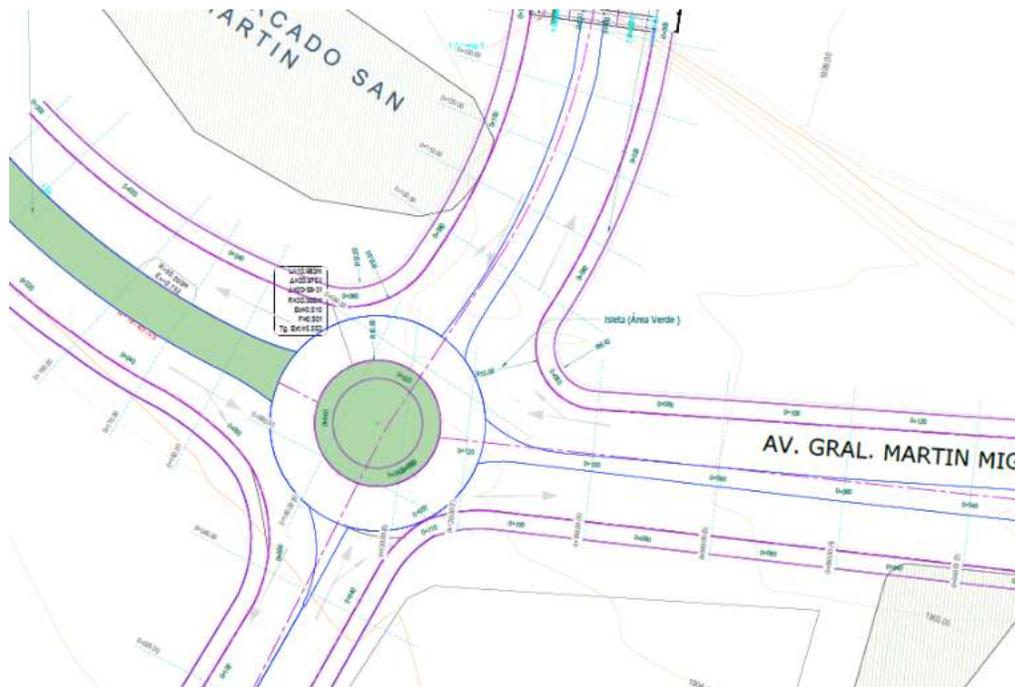
$$\text{Volumen de relleno entre G-F: } 100000 - 89625,2185 = 10374,78 \text{ m}^3$$

Del movimiento de tierras para la conformación de la rasante de la alternativa a nivel, Giro a la izquierda desplazado, se tiene un volumen de relleno de  $10374 \text{ m}^3$  y volumen de corte de  $1498,65 \text{ m}^3$

### 3.5.7. Curva Masa B1-intersección tipo Rotonda

La Rotonda permite el intercambio de vehículos entre la avenida la Banda y el puente 4 de julio, se determinó sus volúmenes de corte y de relleno por el método de secciones, donde se separaron en dos tramos para su cuantificación, respectivamente.

Figura 108 . Intersección a nivel-rotonda



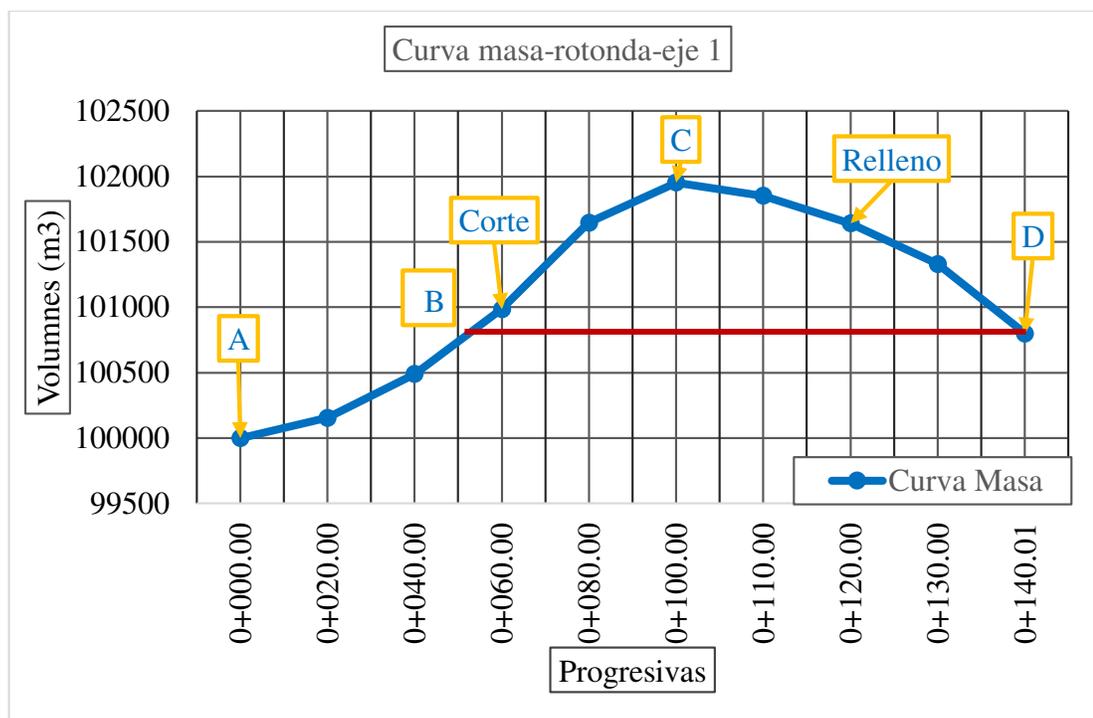
Fuente: Elaboración propia

De la figura 83, se tiene dos ejes, el primero es el de la avenida la Banda y el segundo comprende los accesos al puente 4 de julio

Del eje de la avenida los accesos al puente 4 de julio se obtiene los siguientes puntos singulares de la curva masa:

- Punto A.-Progresiva 0+000
- Punto B.- Progresiva 0+050
- Punto C.-Progresiva 0+100
- Punto D.-Progresiva 0+140,1

Figura 109. Curva masa de la intersección rotonda-eje 1



Fuente: Elaboración propia

Por concerniente, de la curva masa del eje 1 de la intersección B2, se obtiene las siguientes propiedades:

- Del punto A al C, la curva masa es positiva, indicando corte
- En el punto C, se presente un punto transición máximo, por el cambio de corte a relleno.
- Del punto B a D, indica una línea de compensadora, de acarreo libre para una excavadora tipo buldócer de 91 metros.
- Del punto C a D, la curva más está en descenso indicando relleno.

Para obtener el volumen de corte y de relleno, se obtiene de las diferencias de las ordenadas

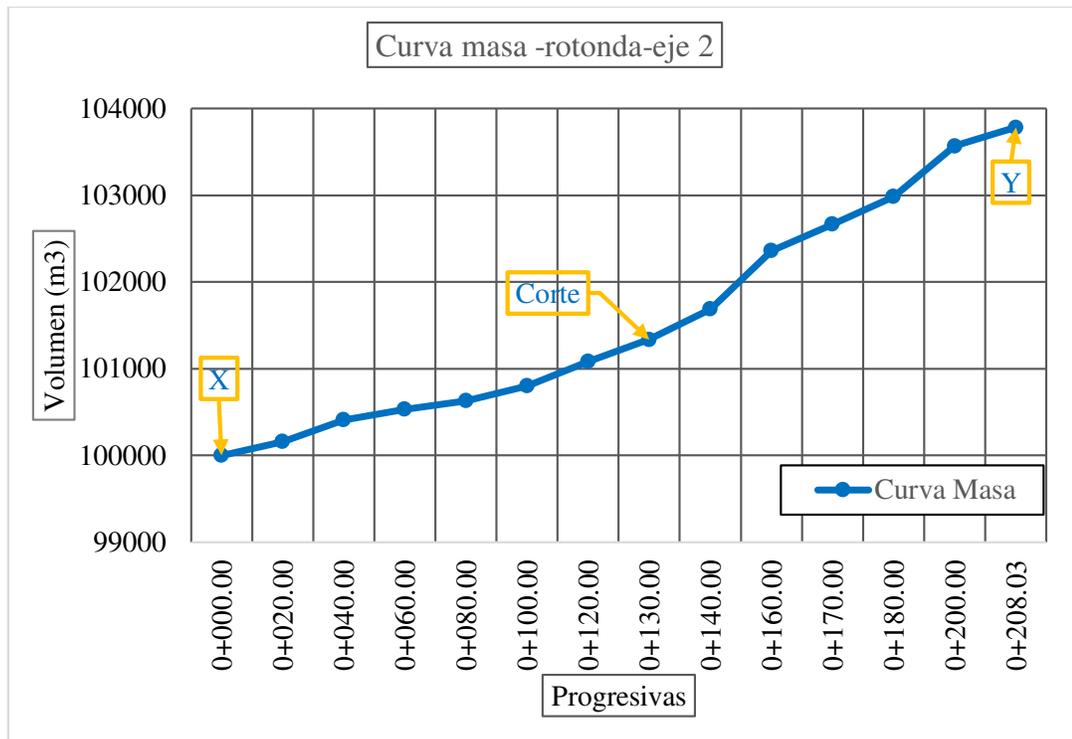
$$\text{Volumen de corte de A-B} = 100737,88 - 100000 = 737,88 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de relleno C-D} = 101953,84 - 100800,856 = 1152,975 \text{ m}^3$$

Del segundo eje que conforma las secciones de la avenida la Banda se tiene los siguientes puntos singulares.

- Punto X: progresiva 0+000
- Punto Y: Progresiva 0+208,09

Figura 110. Curva masa de la rotonda –eje 2



Fuente: Elaboración propia

La presente grafica indica las siguientes propiedades:

- Del punto X a Y .-la curva masa es ascendente ,indicando Corte.

Para cuantificar el volumen de corte, se obtiene de las diferencias de las ordenadas del punto X a Y.

$$\text{Volumen de Corte de X-Y} = 103782,587 - 100000 = 3782,587 \text{ m}^3$$

Para la conformación de la rasante de la intersección, tipo Rotonda, se tiene un volumen de corte de  $4520,467 \text{ m}^3$ .

### 3.5.7.1. Curva masa B2 de la intersección tipo Rotonda partida

La geometría propia de la intersección e igual al de la Rotonda, hasta el nivel de la rasante, por concierne se utilizará para su conformación los mismos volúmenes de corte y relleno.

$$\text{Volumen de corte} = 4530,476 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de relleno} = 1152,975 \text{ m}^3$$

### 3.5.7.2. Curva masa B3 de la intersección tipo turboglorieta

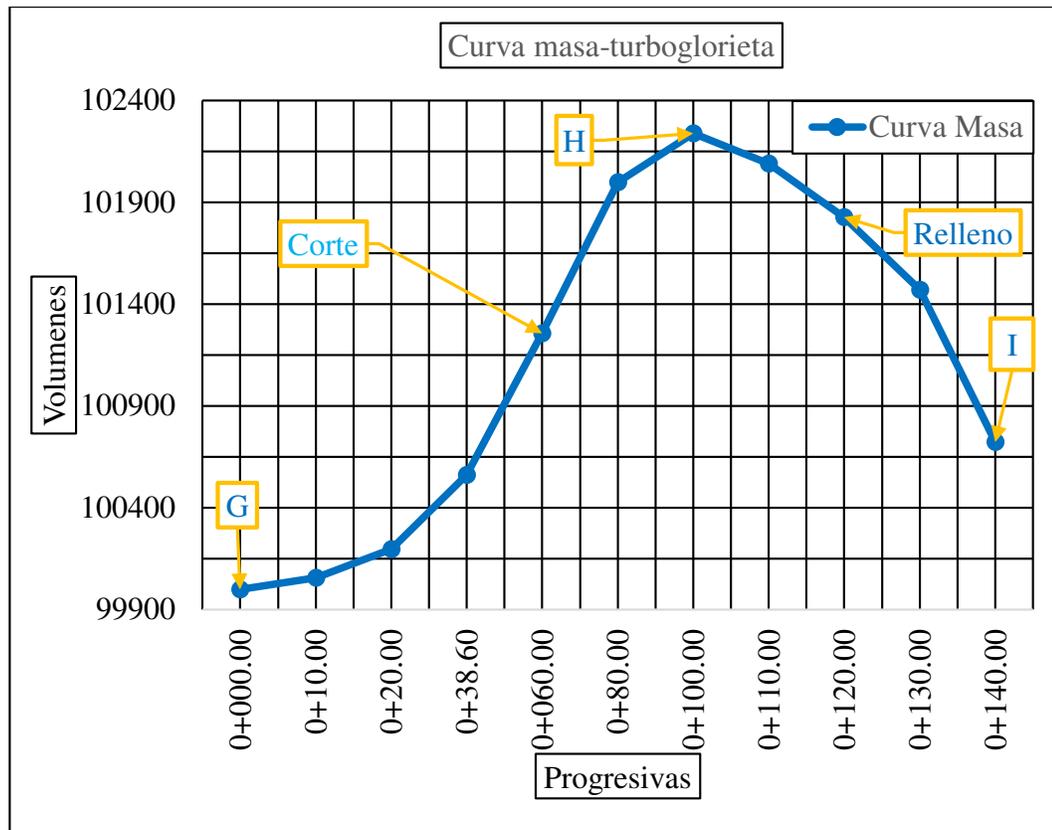
La turboglorieta que permitirá el ingreso por la avenida la banda al puente 4 de julio, se obtuvieron sus áreas a una distancia entre progresivas de 20 metros, para posteriormente realizar su cubicación y elaboración de la curva masa en la siguiente figura, se presenta el plano en planta de la intersección y su curva masa respectivamente.

*Figura 111. Intersección a nivel de la intersección tipo turboglorieta*



Fuente : Elaboración propia

Figura 112. Curva masa de la intersección tipo turboglorieta



Fuente : Elaboración propia

De la curva masa de la intersección tipo turboglorieta, se tiene los siguientes puntos singulares:

- Punto G.- Progresiva 0+000
- Punto H.- Progresiva 0+100
- Punto I.- Progresiva 0+140

Por consiguiente, se tiene el análisis de la curva masa, obteniendo las siguientes propiedades:

- De G a H , la curva es ascendente indicando que en el ese tramo predomina el corte, al no haber la posibilidad de generar una línea compensadora ,el volumen de excavación puede ser acopiado o acarreado como material excedente.
- Del punto H a I , la curva masa, desciende, indicando relleno el presente tramo.
- El punto H , indica punto máximo , haciendo referencia del paso de corte a relleno.

Para la obtención del volumen de corte excedente , se procede a restar las ordenadas de los puntos G y H.

Volumen de corte de G y H= $102238,0168-100000=2238,01\text{m}^3$

Mismo volumen de corte que puede ser almacenado o transportado a otro lugar como material excedente.

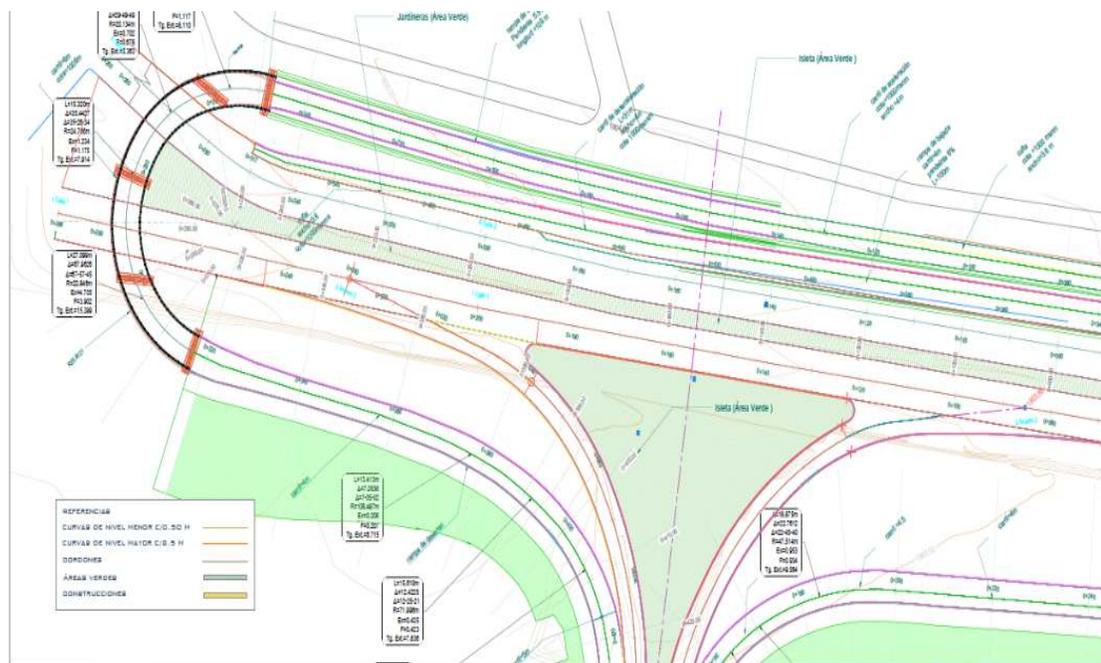
Del punto H a J , el volumen de relleno para el acceso al puente , será obtenidos de materiales de préstamos ,para su obtención se resta las ordenas de los dos puntos singulares:

Volumen de relleno de H a I= $102238,0168-100722,1468=1515,87\text{ m}^3$

### 3.5.8. Curva masa C1 de la intersección giros en U elevados

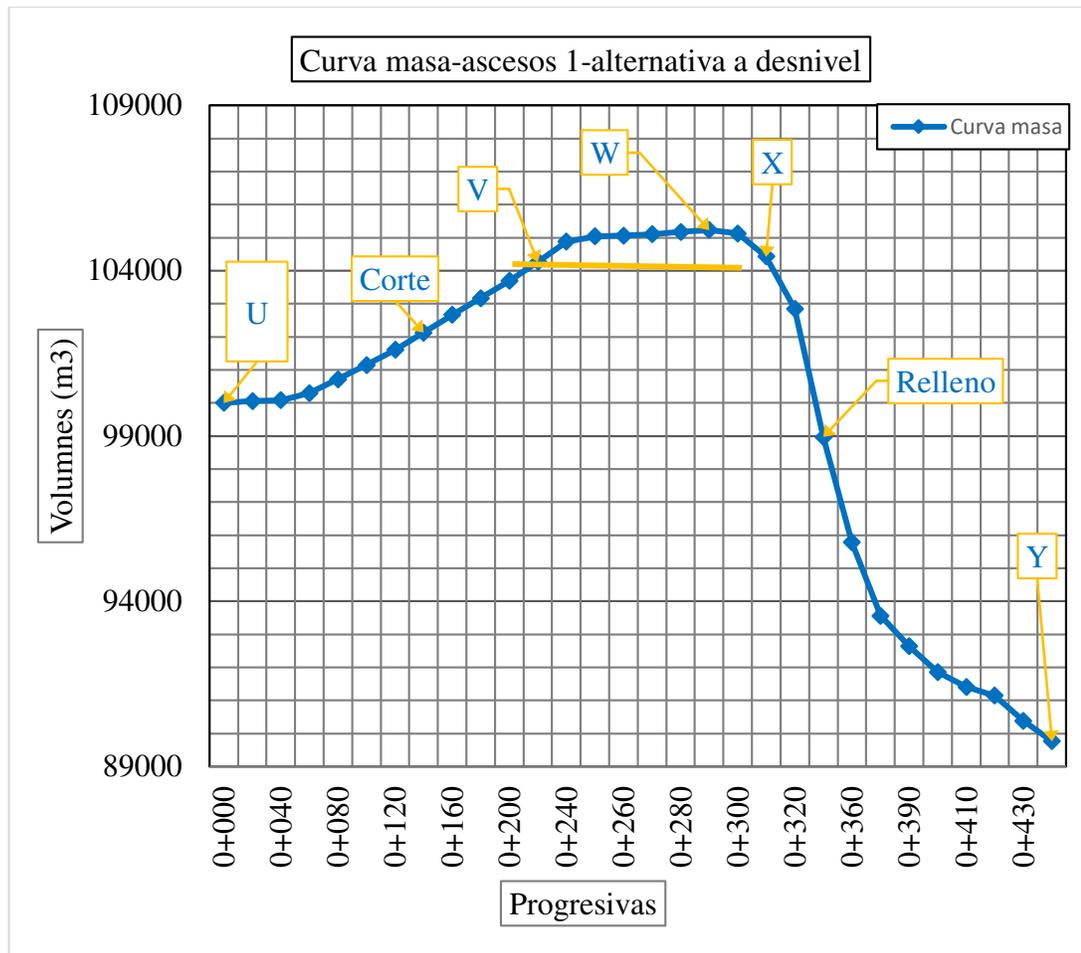
El acceso a desnivel al puente 4 de julio, para el ingreso y salida al puente 4 de julio se conformó terraplenes para el acceso a los enlaces curvos, para la conformación de la curva masa se dividió en dos accesos.

*Figura 113. Acceso 1 –intersección giros en U elevados*



Fuente : Elaboración propia

Figura 114. Curva masa- acceso 1 – alternativa C1



Fuente: Elaboración propia

Del primer acceso se tiene los siguientes puntos singulares:

- Punto U.- progresiva 0+000
- Punto V.- Progresiva 0+220
- Punto W.-Progresiva 0+290
- Punto X.-Progresiva 0+310
- Punto Y.- Progresiva 0+440

Por consiguientes, de los puntos singulares de la curva masa, se tiene las siguientes propiedades:

- Entre U a V, la curva asciende, indicando corte en ese tramo
- De V a X, se tiene un tramo de acarreo libre de 90 metros para un tractor tipo buldócer.

- El punto W, se tiene un punto máximo, indicando el paso de corte a relleno.
- A partir de X a Y, se tiene una curva en descenso, indicado relleno, mismo que será compensado por un banco de préstamo.

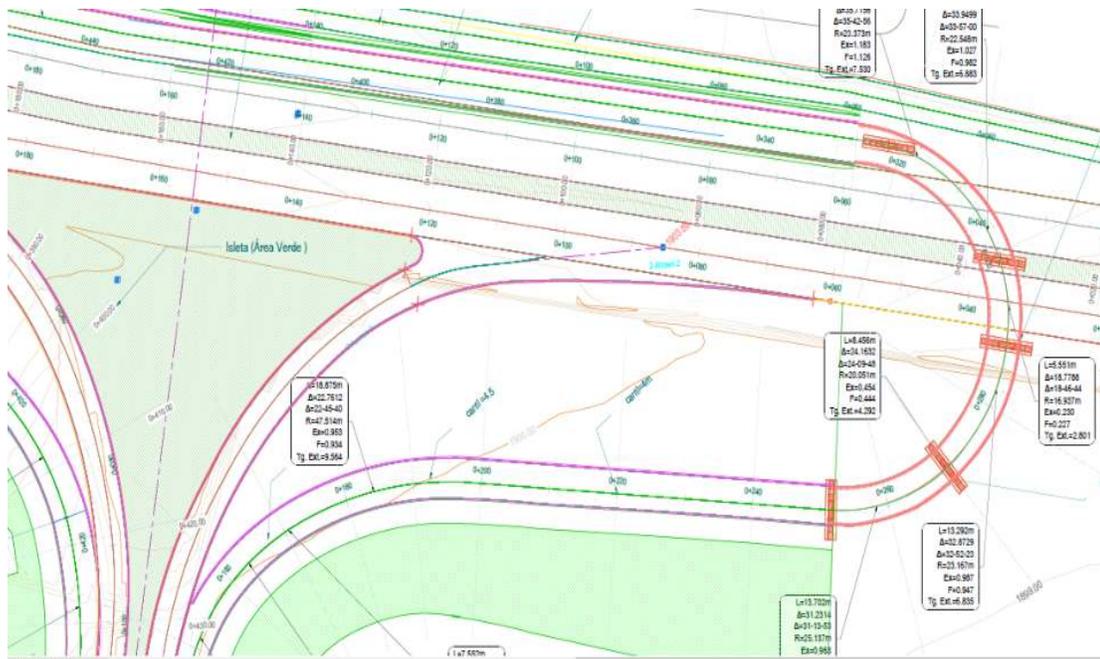
Para cuantificar el volumen necesario del tramo X-Y, se obtiene de la diferencia de las ordenas, por lo tanto:

$$\text{Volumen de relleno de X a Y: } 104430,16 - 89770,66 = 14659,5 \text{ m}^3$$

Del tramo U a V, el material de corte sobrante será obtenido de igual manera de la diferencia de ordenadas.

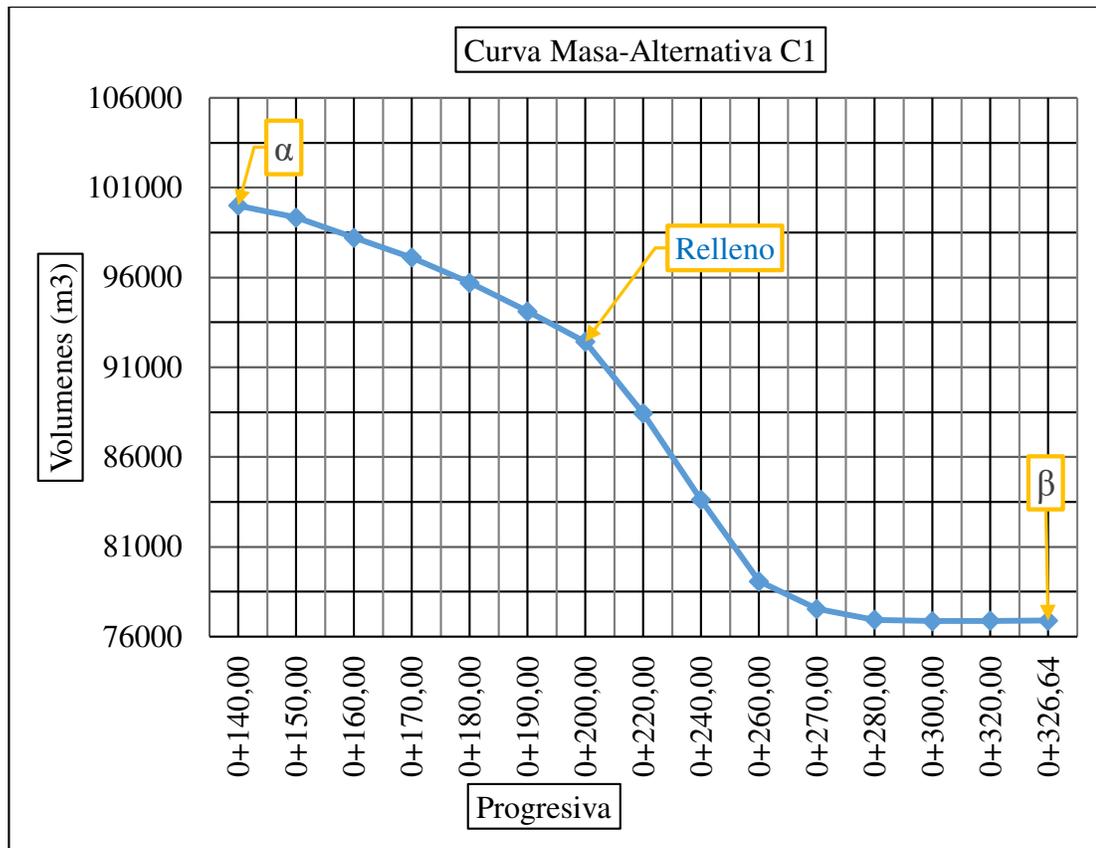
$$\text{Volumen de corte excedente de U a V} = 104264 - 100000 = 4264 \text{ m}^3$$

*Figura 115. Acceso 2 – Intersección giros en U elevados*



Fuente: Elaboración propia

Figura 116. Curva masa-acceso 2-intersección giros en U elevados



Fuente: Elaboración propia

De la curva masa para el accesos 2 del intersección a desnivel, se tiene los siguientes punto singulares:

- Punto  $\alpha$ .-Progresiva 0+140
- Punto  $\beta$ .-progresiva 0+326,64

De la curva masa del acceso 2, de la intercesión a desnivel se tiene las siguientes propiedades:

- Del punto  $\alpha$  a  $\beta$ , la curva es descendente indicando relleno, al no existir un máximo ni un mínimo, no se puede generar una línea compensadora, por lo cual todo el material de relleno tiene que obtenido de un banco de préstamos.

Para cuantificar el volumen de relleno, para la conformación del perfil del proyecto del acceso 2 , se obtiene de la diferencia de las ordenas de la curva masa.

$$\text{Volumen de relleno de } (\alpha \text{ a } \beta) = 100000 - 76889,5 = 23110,5 \text{ m}^3$$

En la elaboración de la curva masa el factor de expansión por volumen y de compactación fueron afectados (ver anexo movimientos de tierras). por lo consiguiente el volumen requerido para la conformación del perfil del proyectos es de relleno es de 37770 (m<sup>3</sup>) y el volumen de corte excedente de 4264 (m<sup>3</sup>)

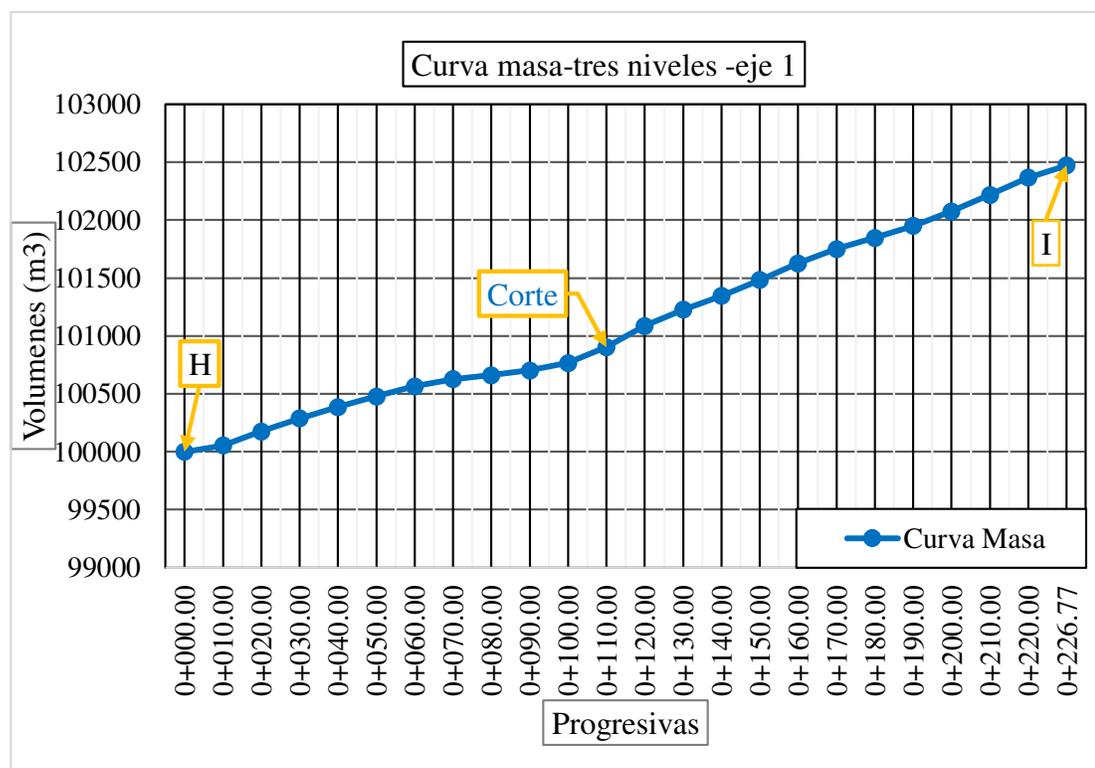
### 3.5.9. Curva masa C2 de la intersección tres niveles

Como segunda alternativa al desnivel se plantea una intersección tipo tres niveles, para cuantificar el movimiento de tierras se dividió en tres ejes:

- El primer eje comprende la zona de la avenidas las Américas.
- El segundo eje que corresponde a la zona de accesos al puente 4 de julio.
- El tercer eje, es el enlace que se encuentra por debajo de del nivel de la avenida.

Del primer eje, se tiene los siguientes puntos singulares:

Figura 117. Curva masa de la intersección a desnivel tipo tres niveles



Fuente: Elaboración propia

Del análisis de la curva masa, del eje 1, se obtuvieron las siguientes cualidades:

- Del punto H a I, la curva masa crece indicando la predominancia de secciones de corte.

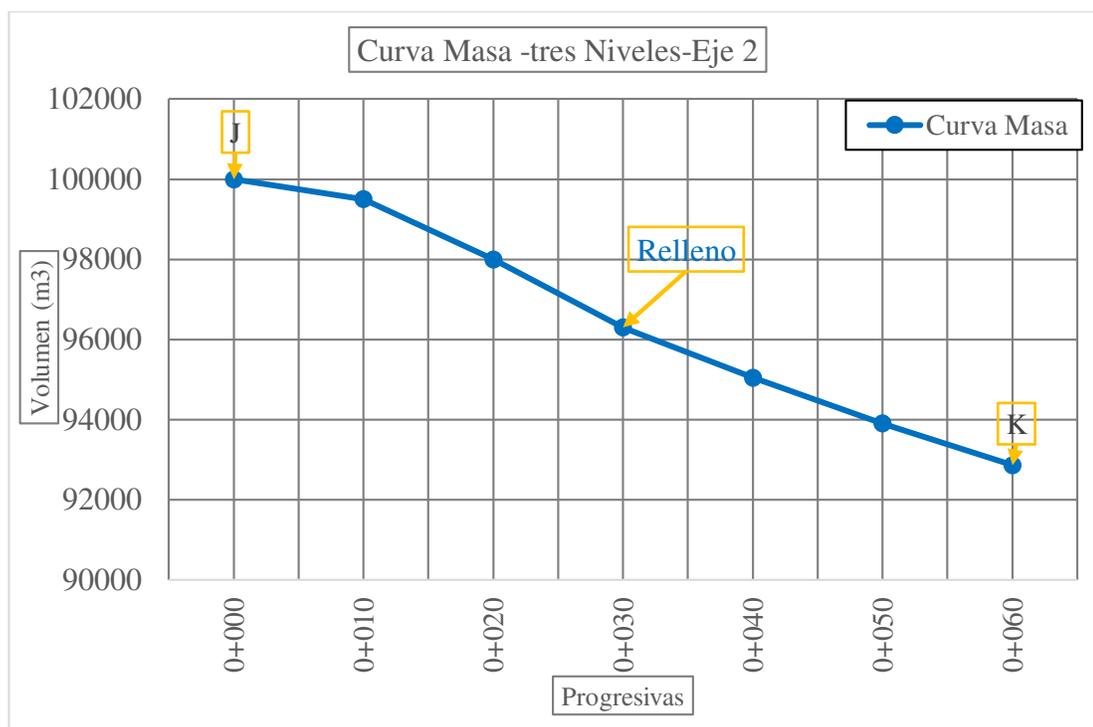
La cuantificación del volumen a ser cortado, es determinada de las diferencias de ordenadas entre los puntos H –I.

$$\text{Volumen de corte entre H-I} = 102472,441 - 100000 = 2472,441 \text{ m}^3$$

Del eje 2, de la zona al acceso al puente 4 de julio, de la curva masa se tiene los siguientes puntos singulares:

- Punto J.- Progresiva 0+000
- Punto K.- Progresiva 0+060

Figura 118. Curva masa –intersección a desnivel-tres niveles –eje 2



Fuente: Elaboración propia

De la curva masa, de una análisis , se tiene la siguientes propiedades:

- Del punto J-K, la curva masa decrece, indicando relleno.

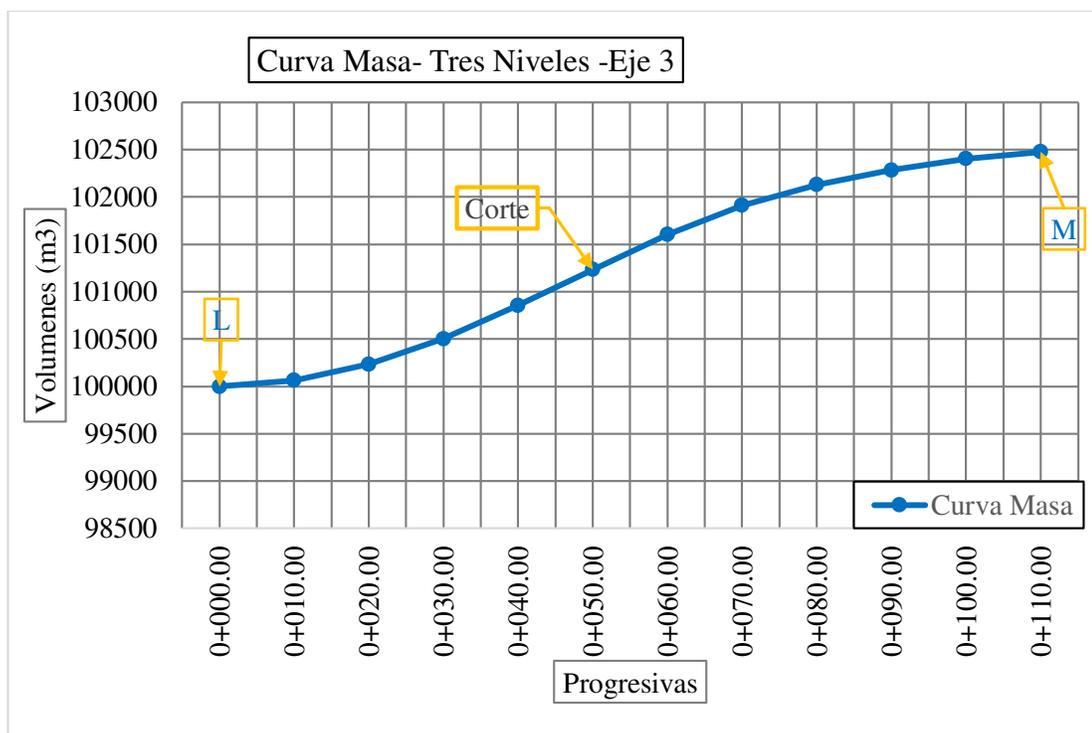
Para cuantificar el volumen de corte, se obtiene de la diferencia de sus ordenas, de la curva masa.

$$\text{Volumen de relleno de J –K} = 100000 - 92865,145 = 7134,855 \text{ m}^3$$

De eje 3 , que comprende el enlace a desnivel se tiene los siguientes puntos singulares

- Punto L.- Progresiva 0+000
- Punto M.- Progresiva 0+110

Figura 119. Curva masa de la intersección a desnivel tipo tres niveles-eje 3



Fuente: Elaboración propia

De la curva masa del eje tres se tiene las siguientes propiedades:

- Del punto L a M, la curva masa es ascendente, indicando corte el eje 3, por concerniente para su cuantificación se tiene:

$$\text{Volumen de corte de L-M} = 102478,228 - 100000 = 2478,228 \text{m}^3$$

De la alternativa a desnivel para la conformación de la rasante, el volumen de tierra de relleno es de 7134,855 (m³) y de el volumen del corte es de 4950,669 (m³)

### 3.5.10. Curva masa C3 de la intersección semi-directo

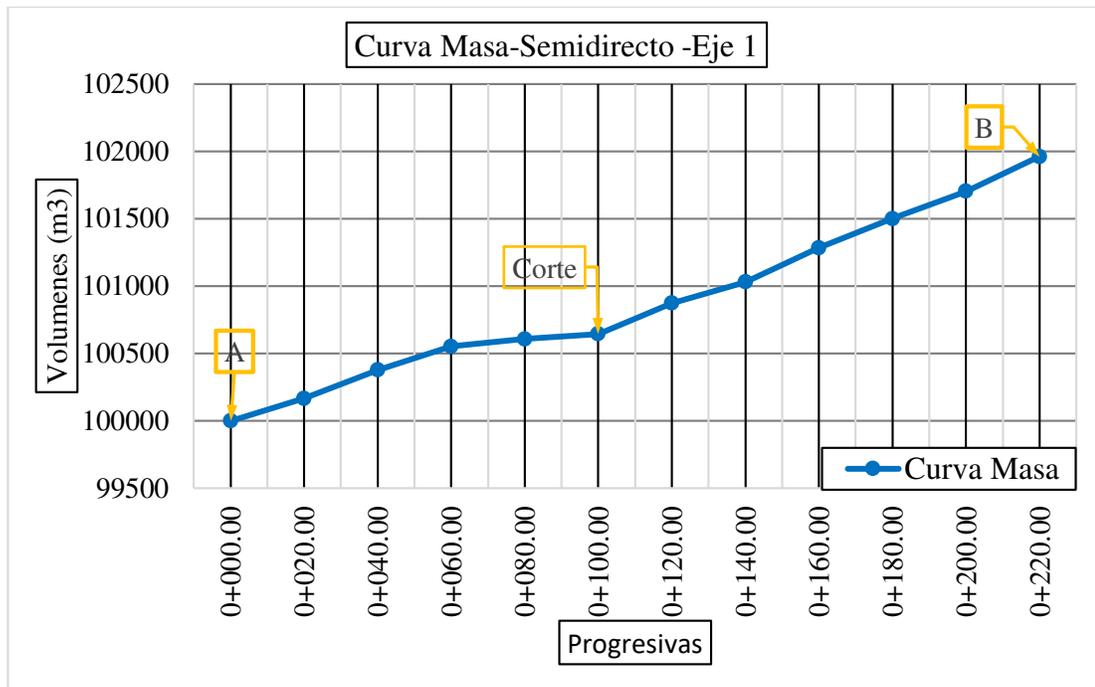
Como tercera alternativa para la intersección a desnivel, entre el puente 4 de julio y la avenida las Américas, se dividió en 2 ejes por la geometría propia de la intersección.:

- El eje 1, comprende la zona de la avenida las Américas.
- El eje 2 comprende la zona para los accesos al puente 4 de julio.

Del análisis de la curva masa, para el eje 1, se tiene los siguientes puntos singulares:

- Punto A.- Progresiva 0+000
- Punto B.- Progresiva 0+220

Figura 120. Curva masa de la intersección a desnivel tipo semi-directo -eje 1



Fuente: Elaboración propia

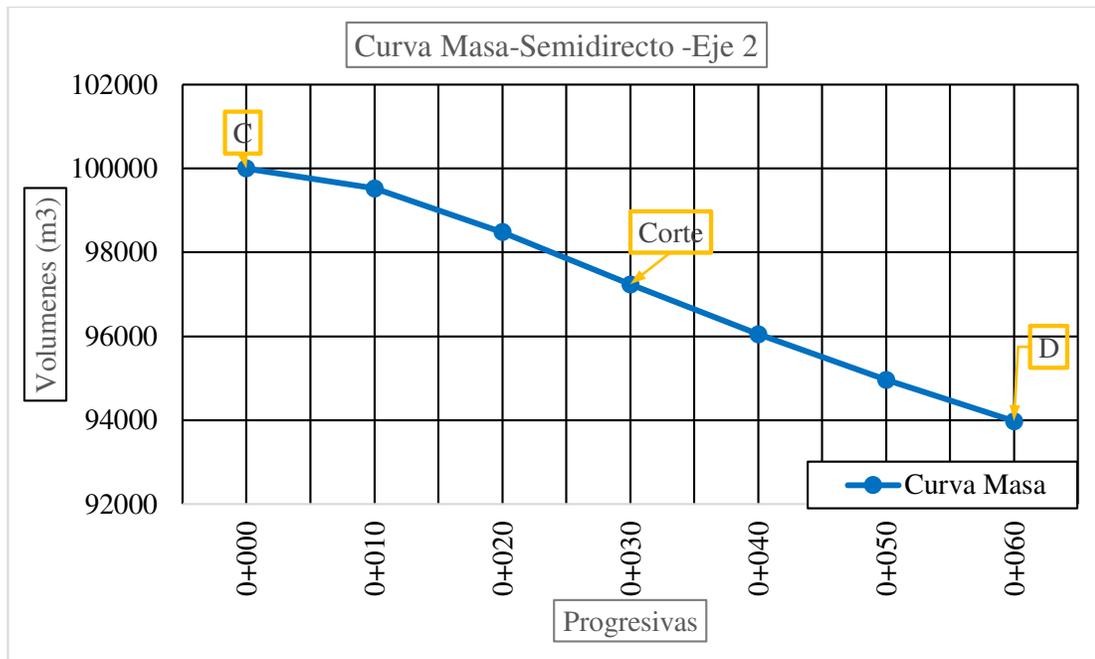
Por concerniente, del análisis de la curva masa, se tiene las siguientes propiedades de los punto A al B, se tiene la curva en ascenso, indicando la predominancia de corte, en el tramo , no hay un punto de transición , máximo o mínimo, no pudiendo generar un línea compensadora de acarreo libre, para la cuantificación del volumen a ser cortado, se obtiene de la diferencia de ordenadas entre el punto A y B.

$$\text{Volumen de corte entre A-B} = 101960,026 - 100000 = 1960,026 \text{m}^3$$

De la curva masa del eje 2 , se tiene los siguientes puntos singulares.

- Punto C.- Progresiva 0+000
- Punto D.- Progresiva 0+060

Figura 121. Curva masa de la intersección a desnivel tipo semi-directo-eje 2



Fuente: Elaboración propia

del punto C al D, la curva masa se encuentra en descenso. Indicando la predominancia de relleno en el tramo, la curva no presenta punto de transición máximos y mínimos, no pudiendo generar tramos de compensación, por acarreo libre, la cuantificación del volumen de relleno se obtiene de la diferencia de ordenadas entre los puntos C y D.

$$\text{Volumen de relleno entre C-D} = 100000 - 93976,165 = 6023,835 \text{ m}^3$$

De la intersección a desnivel, Semi-directo, para el movimiento de tierras, el volumen de corte de  $1960,026 \text{ m}^3$  y de relleno de  $6023,853 \text{ m}^3$ .

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los volúmenes de corte y de relleno de todas las alternativas a nivel y desnivel.

*Tabla 32. Resumen de movimientos de tierras*

	Alternativas	Volumen de corte (m <sup>3</sup> )	Volumen de relleno (m <sup>3</sup> )
A1	Diamante divergente-DDI	488,078	11319,54
A2	T verde continuo	2266,044	7772,437
A3	Giro a la izquierda desplazado-DLT	1498,65	10374
B1	Rotonda	4520,467	1152,975
B2	Rotonda partida	4520,467	1152,975
B3	Turboglorieta	2238,01	1515,87
C1	Giros en U elevados	4264	37770
C2	Tres niveles	4950,669	7134,855
C3	Semi-directo	1960,026	6023,853

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

#### 4.1. METODOLOGÍA DE ELECCIÓN

La elección del tipo de intersección más conveniente para un caso en concreto, depende de los siguientes factores.

Factores de tránsito

- Volumen de tránsito que entra en cada ramal.
- Preferencia del movimiento principal.
- Previsión del crecimiento –Tránsito futuro.
- Nivel de servicio.
- Demora.
- Largo de colas.

Factores Económicos:

- Costo de construcción.
- Costo de operación de usuario.

Factores Físicos

- Topografía.
- Drenaje.
- Separación de los puntos de conflicto.
- Visibilidad.
- Delimitación razonable de trayectorias.
- Adecuado espacio de maniobrabilidad para vehículos.

Factores humanos

- Sencillez y claridad.
- Ambiente seguro para los usuarios (pasos peatonales).
- Necesarios mensajes regulatorios de advertencia para usuarios.

La consideración de estos factores y la selección de los dispositivos de control de tránsito adecuados limitarán las opciones para la elección final. Según la sana práctica de diseño se elige el tipo de intersección más barato que provee la mayor efectividad.

#### **4.1.1. Micro simulación con el software PTV Vissim**

Vissim es un software de simulación, diseñado para simular a nivel microscópico el tránsito de manera multimodal, es decir que se puede simular la interacción de los distintos tipos de transporte que intervienen.

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

El software permite representar los detalles de la infraestructura de la red a analizar, es decir el número de carriles, ancho, pendiente, curvaturas, etc.

Respecto al modelo de tráfico, nos permite ingresar el volumen horario, la composición y la velocidad promedio.

Una vez definida la infraestructura y la variable tráfico, podemos asignar el porcentaje que corresponde a cada ruta, la prioridad, el rango de aceleración y desaceleración.

Por último, podemos mencionar que la herramienta de evaluación del simulador permite ver una amplia variedad de resultados, para la evaluación de nudos y tramos.

#### **4.1.2. Modelo de flujo de tráfico y control semafórico**

Vissim se base en 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 transito se desarrolló sobre el modo de seguimiento de un vehículo y un modelo de cambio de carril.

Para controlar los semáforos se utiliza programas externos que modelan según unidades de control lógico (manual PTV Vissim 2011,pag 31) , con esta unidades de control lógico se toma lecturas de intervalos de 1s a 1/10 s , eso permite que podamos elegir el intervalo que necesitamos , las unidades de control lógico ,determinan el estado de los semáforos para todas las señales para el próximo intervalo de tiempo y se lo devuelven a la simulación del flujo de tráfico (manual de usuario PTV Vissim 2011, pág. 31).

La simulación podemos visualizar como una animación (si es a nivel microscópico).

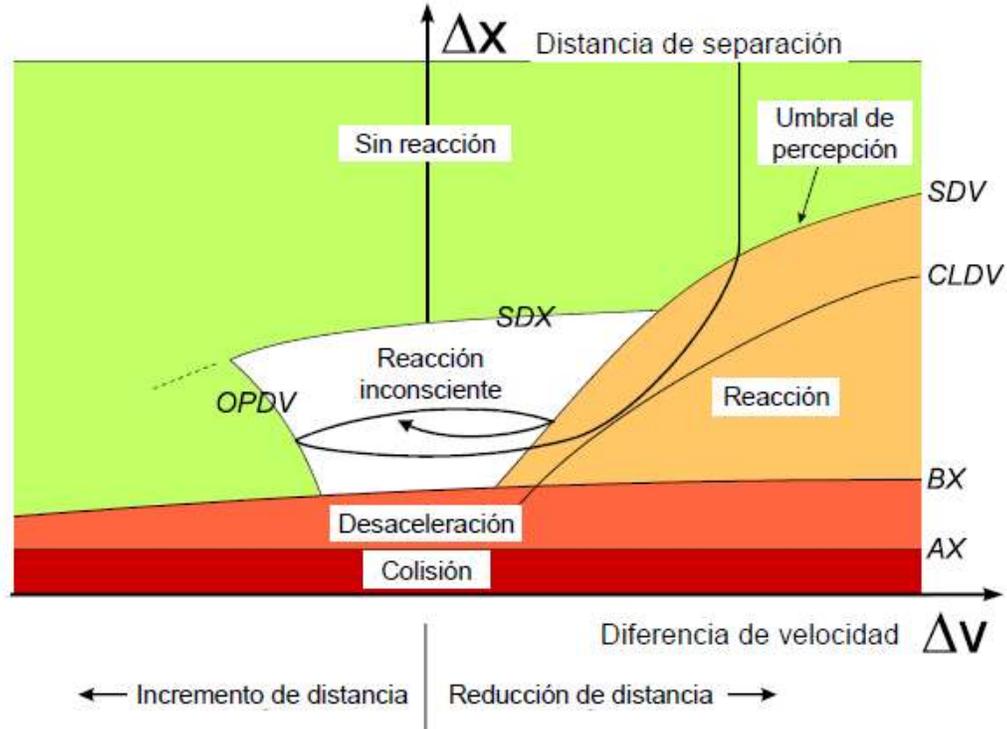
En la simulación podemos visualizar y extraer parámetros importantes como ser distribuciones de los tiempos de viaje, la distribución de demoras, diferenciada por grupo de usuarios.

#### **4.1.3. Principios de operación de modelos de seguimiento**

La precisión de un modelo de simulación de tráfico depende principalmente de la calidad de modelación vehicular, p.ej. la metodología de movimiento de los vehículos a través de la red. En contraste con modelos menos complejos que usan velocidad constante y lógica determinística de seguimiento de vehículo, Vissim usa el modelo Psico-físico de comportamiento de conductor desarrollado por Wiedemann (1974). El concepto básico de este modelo es que el conductor de un vehículo en movimiento más veloz empieza a desacelerar una vez alcanza su umbral de percepción individual hacia un vehículo en movimiento más lento. Dado que él no puede determinar exactamente la velocidad de ese vehículo, su velocidad descenderá por debajo de la velocidad de dicho vehículo hasta que él nuevamente inicia a acelerar ligeramente luego de alcanzar otro umbral de percepción. Esto resulta en un proceso iterativo de aceleración y desaceleración.

El simulador de tráfico de Vissim no solo les permite a los conductores en vías multicarriles reaccionar a los vehículos en frente (por defecto), sino también los vehículos vecinos que viajan en los carriles adyacentes son tomados en cuenta. Además, la aproximación a los semáforos resulta en un mayor nivel de alerta para conductores a una distancia de 100 metros en frente de la línea de detención.

Figura 122. Lógica de seguimiento vehicular

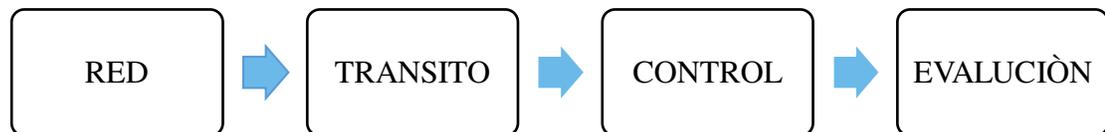


Fuente: manual de usuario PTV,2012

#### 4.1.4. Armado del modelo

El software utilizado para el modelado y evaluación de la intersección fue PTV Vissim 07, versión estudiantil, en la siguiente figura, se representa el flujo de trabajo.

Figura 123. Flujo de trabajo con el software PTV Vissim



Fuente: Elaboración propia

las diferentes alternativas, para su modelamiento de su infraestructura se consideró el número de carriles, ancho, pendiente y curvatura.

Entre las variables de tráfico, se utilizó el volumen de tráfico horario proyectado, la composición vehicular y la velocidad media de recorrido son adoptadas del estudio de tráfico realizada en la zona del proyecto.

Los volúmenes horarios, composición y velocidad de tráfico, son los mismo para todas las variables, con el fin de comprar los resultados de la simulación.

*Tabla 33. Composición vehicular y velocidad de operación para la simulación*

Tipo de vehículos	Velocidad De operación (Km/H)	Proporción (%)
Autos	25	90,9
Micros	25	2,35
Camiones	20	6,75

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.5. Simulación A1 de la intersección diamante divergente

En la siguiente figura se muestra el modelo a PTV Vissim, a escala, en relación con topografía de la zona y la infraestructura del puente 4 de julio.

*Figura 124. Modelo a escala de la intersección A1 en Vissim*



Fuente: Elaboración propia

La simulación en la intersección es una aproximación a comportamiento que tendrá el tránsito futuro, al ingresar y salir de la intersección en un intervalo de 15 minutos, para la simulación se ingresó los siguientes datos, obtenidos del estudio de tráfico.

Tabla 34. Tránsito vehicular de la intersección –A1

Ramal	Volumen (veh)	Tiempo (min)	Flujo (veh/min)
1	632	15	42
2	643	15	43
3	495	15	33
4	666	15	44
5	495	15	33
6	643	15	43

Fuente: Elaboración propia

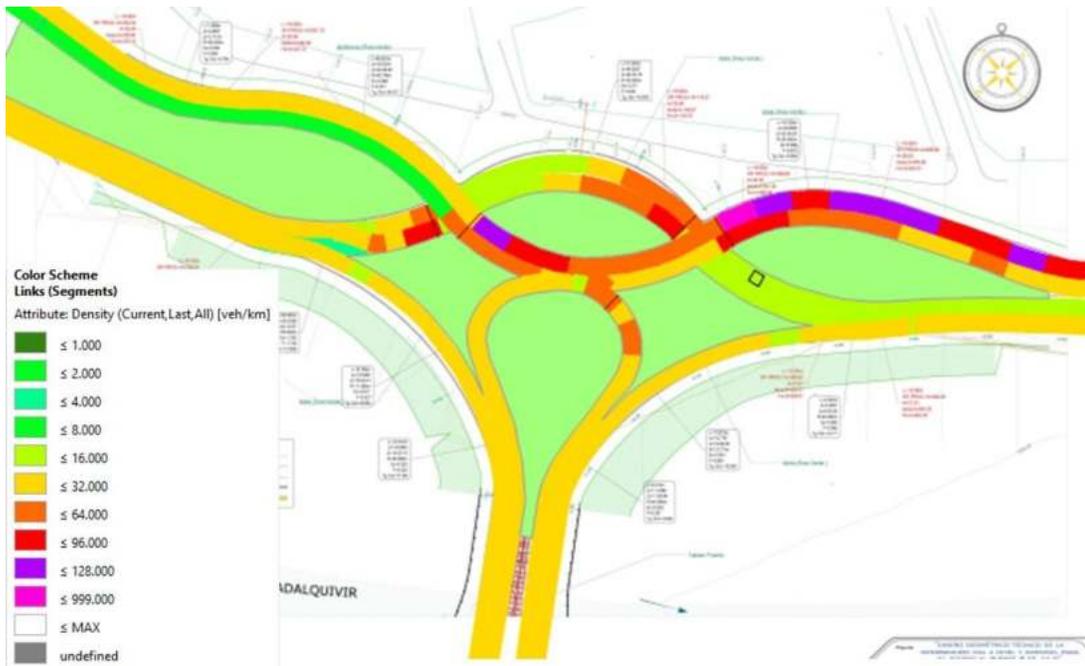
En la siguiente figura se presenta los resultados de la simulación en el software Vissim

Figura 125. Volumen de la intersección DDI por interconexión



Fuente: Elaboración propia

Figura 126. Densidades de intersección DDI por interconexión



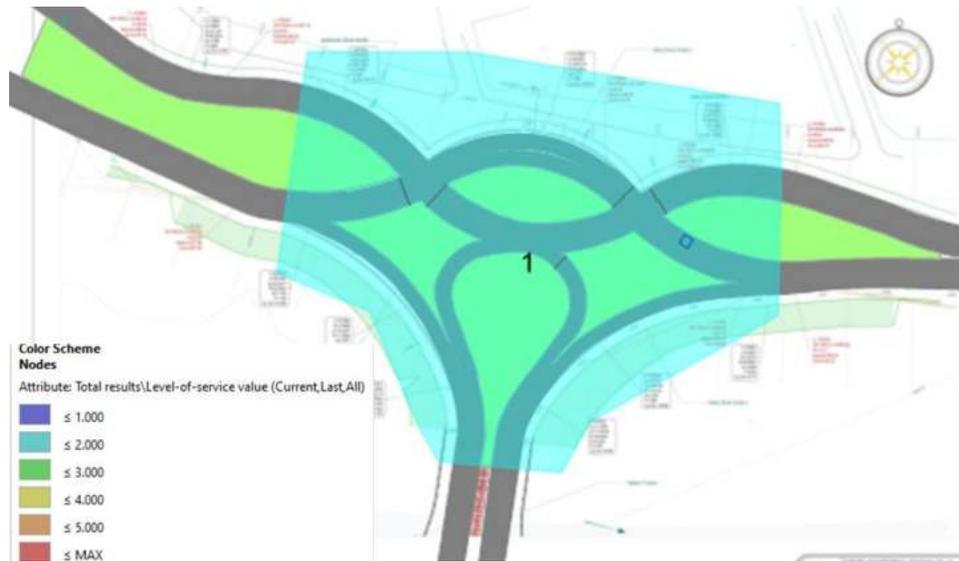
Fuente: Elaboración propia

Figura 127. Velocidades de la intersección DDI por interconexiones



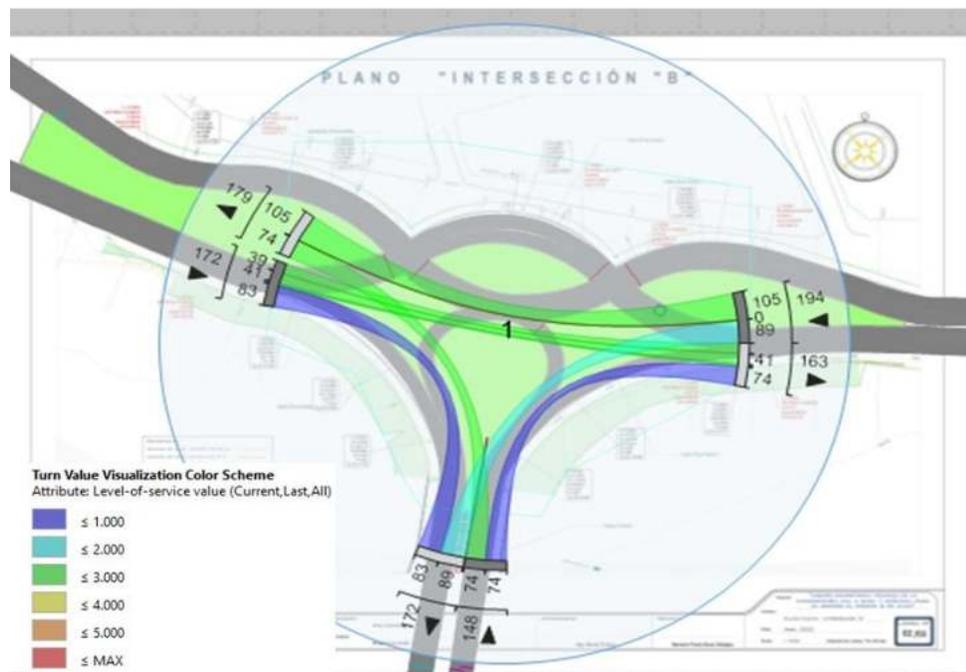
Fuente: Elaboración propia

Figura 128. Nivel de servicio de la intersección DDI–A1



Fuente: Elaboración propia

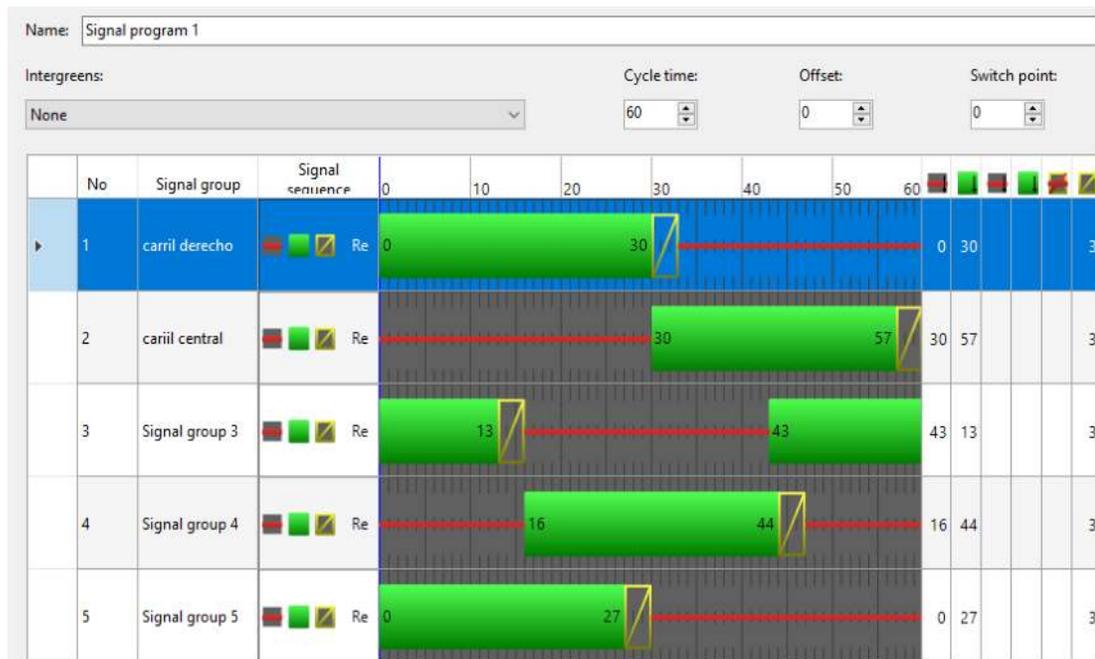
Figura 129. Nivel de servicio por movimiento por giro DDI



Fuente: Elaboración propia

La presente intersección, es controlado por un sistema semafórico, diseñado en un sub complementos del software PTV Vissim , se presenta la destrucción de verde .

Figura 130. Distribución de verde de la intersección tipo diamante divergente



Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta el reporte obtenido del software, mismo que indica los valores de las variables cuantitativas y cualitativas de la simulación del intersección, en un intervalo de 15 minutos

Tabla 35. Reporte de la evaluación de nudos de la intersección –DDI-A1

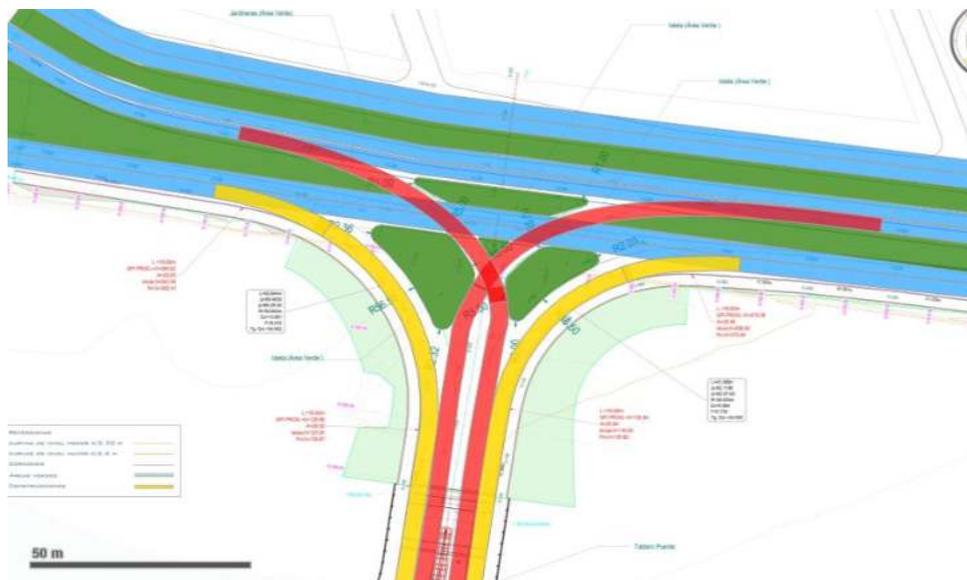
Intervalo tiempo de simulación (min)	Movimiento	Longitud cola promedio (m)	Longitud cola máxima (m)	Vehículos	Nivel de servicio	Demora vehicular	Demora de detención (%)	Detención promedio
15	Ramal 3- enlace 3-1	0	0	74	A	0,14	0	0
15	Ramal 5-a- ramal 6	5,29	53,71	0	A			
15	Ramal 5-a: ramal 2a	169,57	253,12	45	C	21,64	13,3	1,33
15	Ramal 5-a -ramal 2b	5,29	53,71	32	C	29,99	21,4	1,53
15	Ramal 2a-ramal 2a	113,15	182,69	69	C	89,04	57,6	4,87
15	Ramal 2b- ramal 6	18,52	114,27	91	B	13,3	8,59	0,75
15	Ramal 2b- ramal 2b	18,52	114,27	0	A			
15	Ramal 2-: ramal 2	7,27	90,43	42	C	23,02	17,06	1,14
15	Ramal 2-ramal 2	2,92	38,22	39	C	21,72	15,6	1,13
15	Enlace de 1-4 ramal 4	0	0	83	A	0,11	0	0
15	1	39,59	253,12	485	C	23,42	15,55	1,27

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.6. Simulación A2 de la intersección T verde continuo

El modelo a escala realizado en el software PTV Vissim, tiene las propiedades Geométricas de la intersección, tanto su, altimetría como su planimetría, en las variables de tránsito se ingresaron los volúmenes horarios futuros, composición de vehicular y velocidad, que son obtenidas del estudio de tráfico.

*Figura 131. Modelo a escala de intersección –A2*



Fuente: Elaboración propia

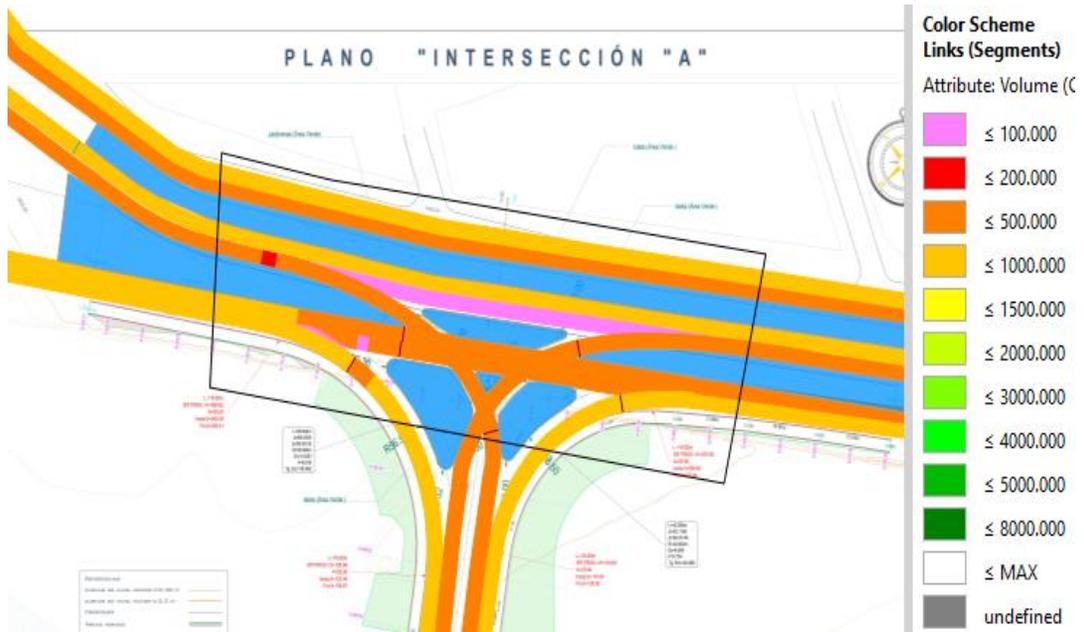
En la siguiente tabla se presenta los volúmenes de ingreso y salida para la simulación de la intersección en un intervalo de tiempo de 15 minutos.

*Tabla 36. Ingreso del volumen de tráfico a la intersección-A2*

Ramal	Volumen (veh)	Tiempo (min)	Flujo (veh/min)
1	666	15	44
2	632	15	42
3	495	15	33
4	643	15	43
5	495	15	33
6	632	15	42

Fuente: Elaboración propia

Figura 132. Volúmenes de la intersección T verde continuo por interconexiones



Fuente: Elaboración propia

Figura 133. Densidades de la intersección T verde continuo por interconexiones



Fuente: Elaboración propia

Figura 134. Velocidades de la Intersección T verde Continuo por interconexión



Fuente: Elaboración propia

Figura 135. Nivel de servicio de la intersección T verde continuo



Fuente: Elaboración propia

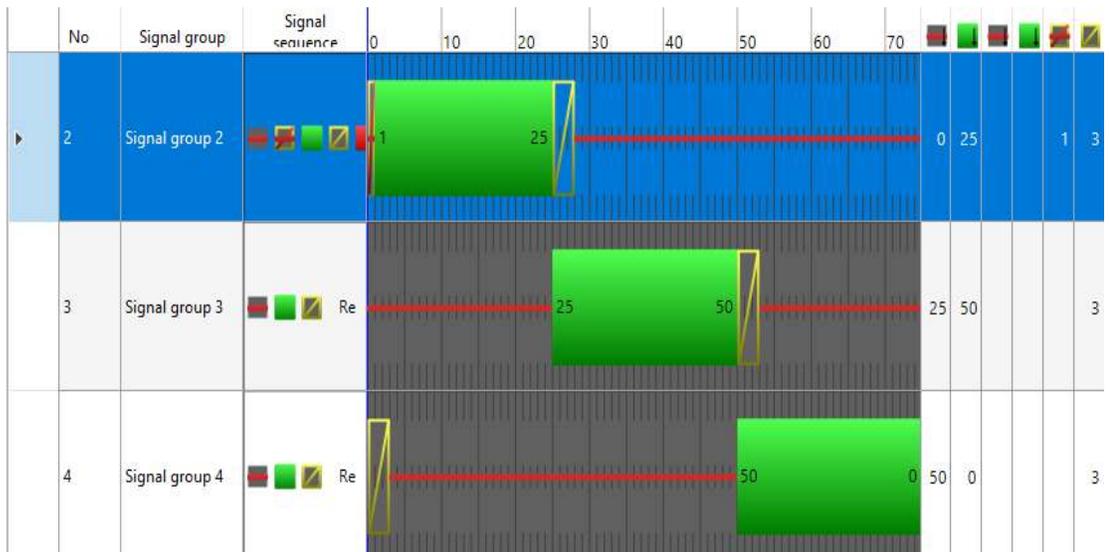
Figura 136. Nivel de servicio por movimiento de la Intersección T verde continuo



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el reparto de verde en la intersección T verde continuo.

Figura 137. Reparto de verde de la intersección T verde continuo



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los resultados obtenidos de la simulación. (ver tabla )

*Tabla 37. Reporte de evaluación de la intersección T verde continuo*

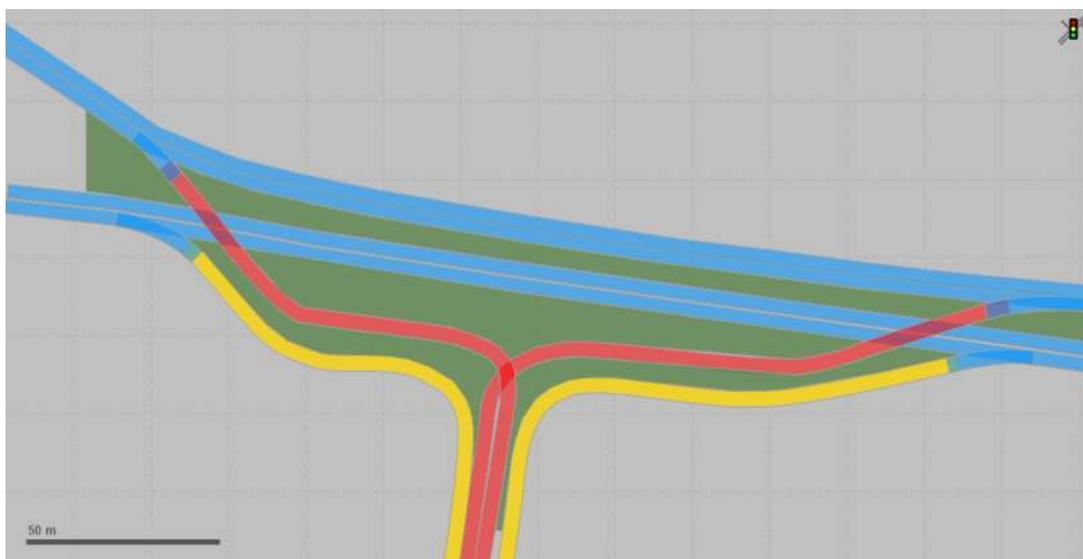
Intervalo tiempo de simulación (min)	Movimiento	Longitud cola promedio (m)	Longitud cola máxima (m)	Vehículos	Nivel de servicio	Demora vehicular	Demora de detención (%)	Detención promedio
15	Ramal 7-ramal 6	7,08	72,33	108	A	7,42	2,81	0,55
15	Ramal 2ramal 12	4,28	32,29	99	A	4,62	1,86	0,4
15	Ramal 2-ramal 2	9,4	63,68	0	A			
15	Ramal 7 derecha2	0	0	94	A	0,14	0	0
15	Ramal 7 -ramal 2	0	0	0	A			
15	Ramal 7-ramal 2	9,4	63,68	39	C	22,09	16,45	0,69
15	Ramal 6-ramal 2	8,99	63,46	45	B	13,96	10,18	0,53
15	Ramal 7-ramal8	0	0	82	A	0,62	0	0
15	Ramal 4-ramal 5	0	0	110	A	0,53	0	0
15	Ramal 3 -ramal 7	20,03	90,59	71	C	20,96	15,79	0,69
15	Enlace 6- ramal 4	17,97	66,9	78	C	20,61	16,31	0,69
15	T verde continuo	6,77	90,59	726	A	8,22	5,48	0,35

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.7. Simulación A3-intersección giro a la izquierda desplazado

Para obtener las propiedades de tráfico de la intersección, se realizó un modelo a escala en el software PTV Vissim (ver la siguiente figura 138), con las propiedades geométricas de la intersección y como variables de tráfico, el volumen horario futuro, la composición vehicular y la velocidad de operación.

*Figura 138. Modelo a escala de la intersección A3- software PTV Vissim 07*



Fuente: Elaboración propia

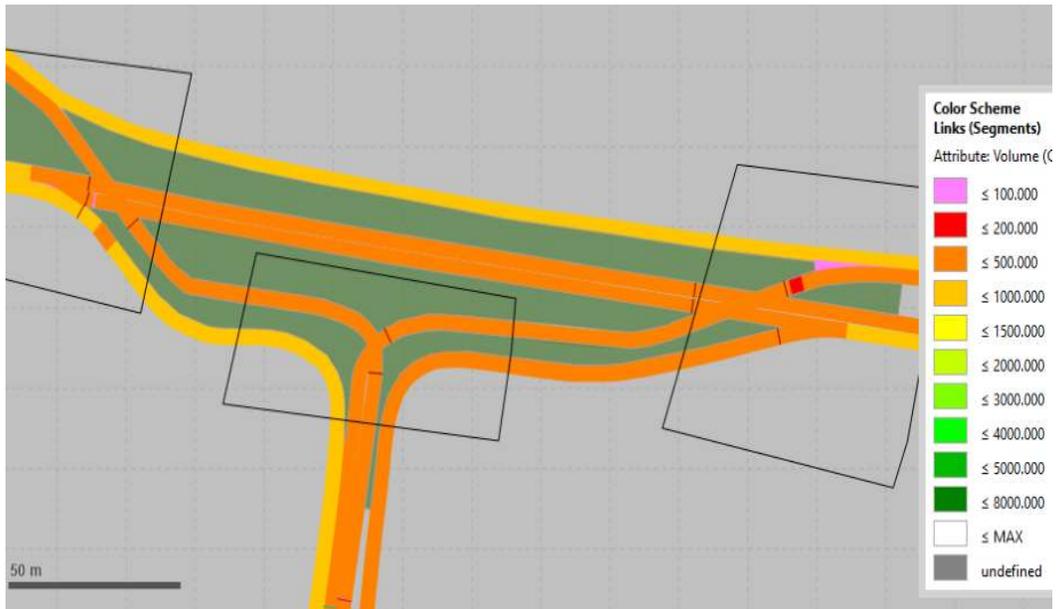
A continuación, se presenta los resultados de la simulación realizada en intervalo de 15 minutos.

*Tabla 38. Ingreso de los volúmenes de tráfico a la intersección A3*

Ramal	Volumen (veh)	Tiempo (min)	Flujo (veh/min)
1	666	15	44
2	495	15	33
3	495	15	33
4	495	15	33
5	632	15	42
6	643	15	43

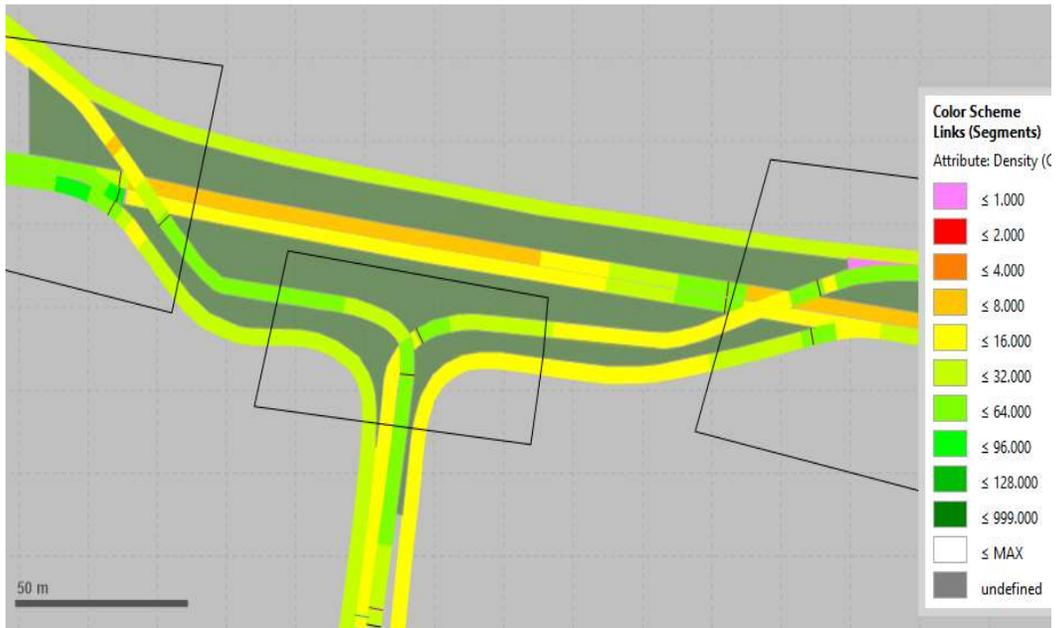
Fuente: Elaboración propia

Figura 139. Volúmenes de la intersección DLT por interconexiones



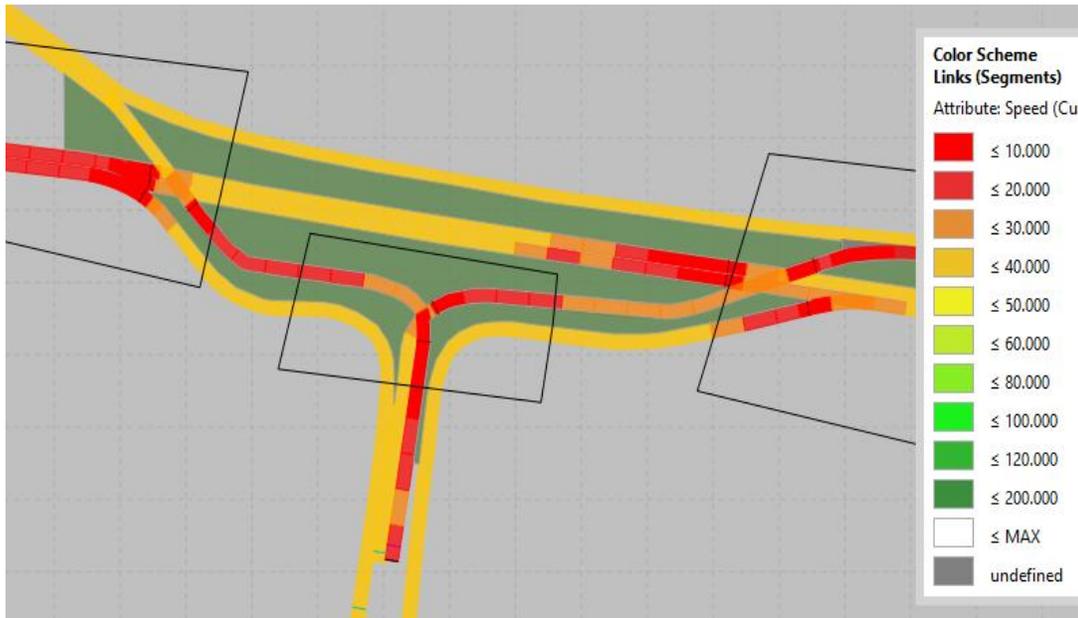
Fuente: Elaboración propia

Figura 140. Densidades de la intersección DLT por interconexión



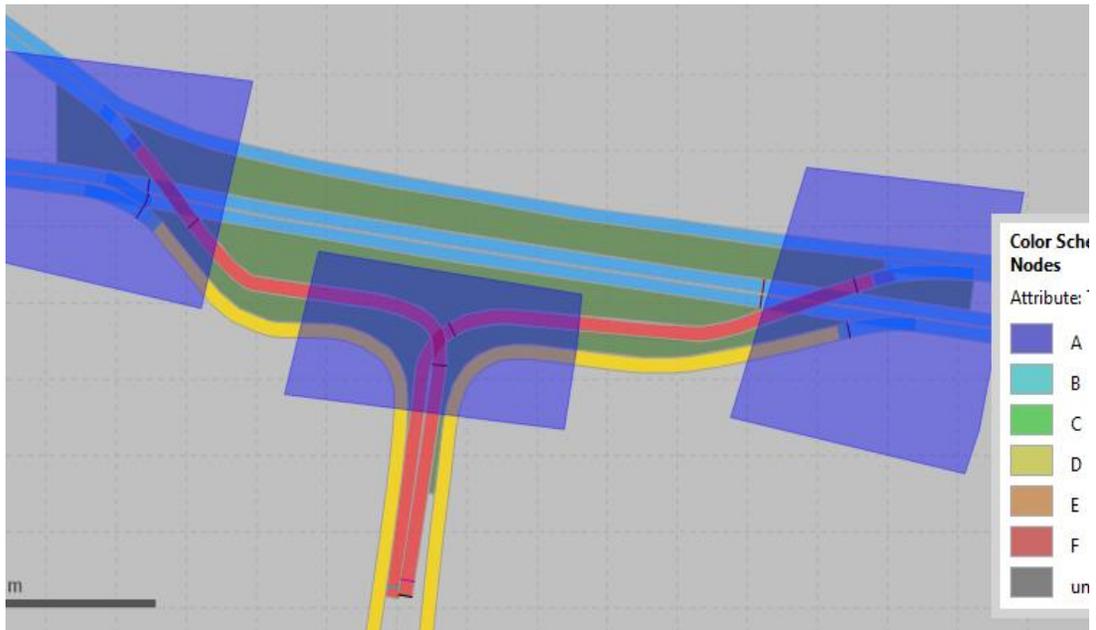
Fuente: Elaboración propia

Figura 141. Velocidades de la Intersección DLT por interconexiones



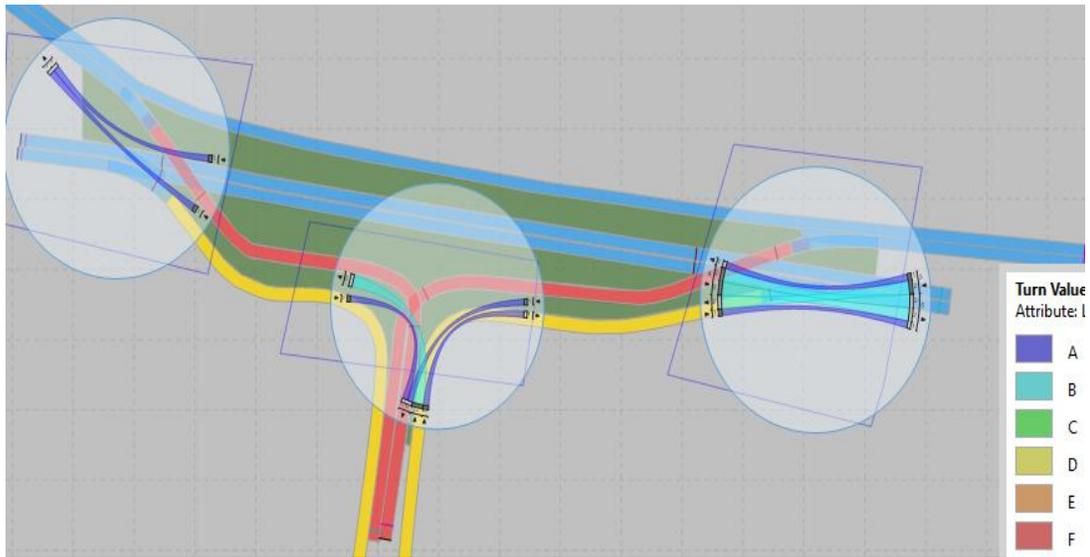
Fuente: Elaboración propia

Figura 142. Nivel de servicio de la intersección Giro a la izquierda desplazado



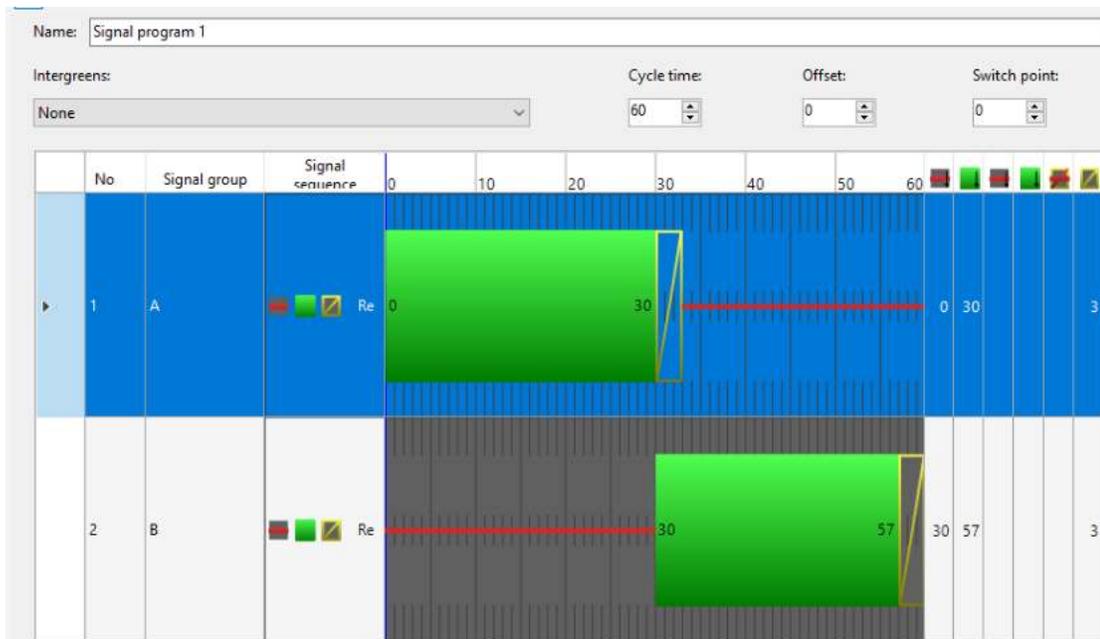
Fuente: Elaboración propia

Figura 143. Nivel de servicio por movimiento de la intersección DLT



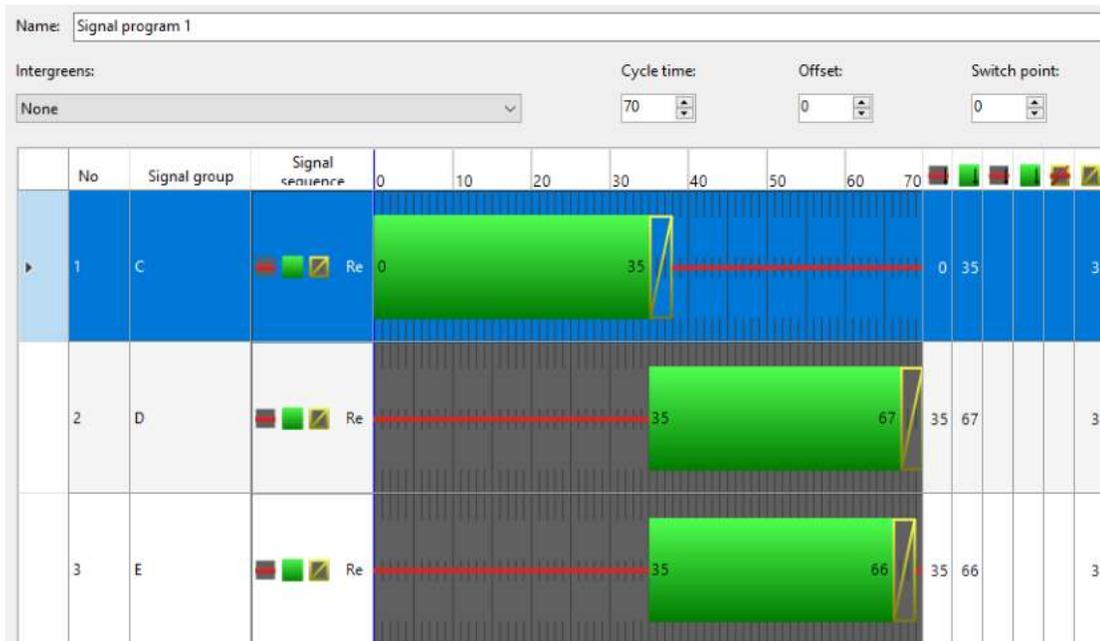
Fuente: Elaboración propia

Figura 144. Distribución de verde en el grupo de señales 1-DLT



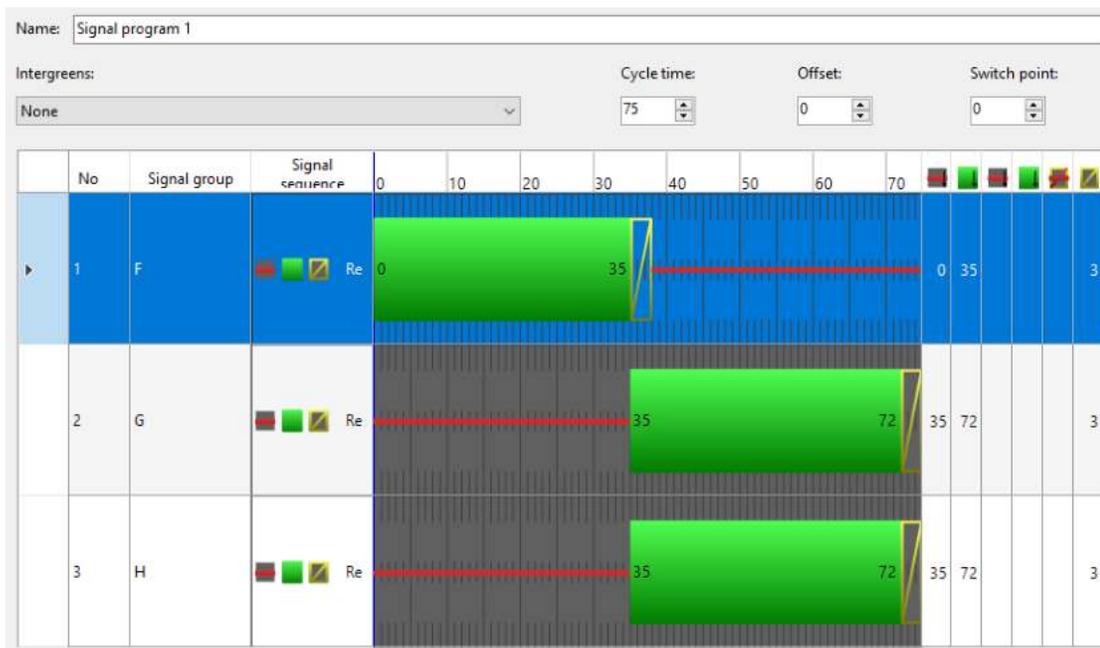
Fuente: Elaboración propia

Figura 145. Distribución de verde en el grupo de señales 2-DLT



Fuente: Elaboración propia

Figura 146. Distribución de verde en el grupo de señales 3



Fuente: Elaboración propia

*Tabla 39. Reporte de la evolución de la intersección giro a la izquierda desplazado*

Intervalo tiempo de simulación (min)	Movimiento	Longitud cola promedio (m)	Longitud cola máxima (m)	Vehículos	Nivel de servicio	Demora vehicular	Demora de detención (%)	Detención promedio
15	Carril central	0	0	108	A	0,25	0	0
15	Acceso b	12,35	79,03	77	A	9,51	6,77	0,42
15	Nudo 1	6,17	79,03	185	A	4,1	2,82	0,17
15	Acceso a5- acceso c2	0	0	93	A	0,03	0	0
15	Acceso d- acceso d	0	0	75	A	0,05	0	0
15	Acceso c- acceso c1	5,11	65,32	68	A	6,91	3,93	0,44
15	Nudo 2	4,26	66,14	315	A	5,6	3,42	0,29
15	Carril de la derecha	7,06	51,68	39	B	16,05	11,35	0,77
15	Carril b2	7,82	65,54	44	B	16,97	11,59	0,84
15	Carril central	0	0	110	A	0,22	0	0
15	Acceso c3	15,29	116,66	67	B	15,96	9,76	0,7
15	Acceso d	4,49	27,36	71	A	6,61	3,38	0,45
15	Nudo 3	6,93	116,66	331	A	8,87	5,58	0,44

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.8. Simulación B1 de la intersección tipo rotonda

El modelo fue realizado a escala con la altimetría y planimetría de la geometría de la intersección y como datos de ingreso de tráfico, para su simulación fueron, el volumen horario futuro, composición vehicular, velocidad de operación.

*Figura 147. Modelo a escala de la intersección tipo rotonda*



Fuente: Elaboración propia

Como datos de tráfico en la simulación de tráfico, se ingresaron los volúmenes horarios futuros de ingreso en las interconexiones de la Rotonda, ver la siguiente tabla.

*Tabla 40. Ingreso de volúmenes de tráfico de la intersección B1*

Ramal	Carril	Volumen (veh)	Tiempo (min)	Flujo (veh/min)
1	Derecha	884	15	59
	Izquierda	538	15	36
2	Derecha	175	15	12
	Izquierda	98	15	7
3	Derecha	148	15	10
	Izquierda	542	15	36
4	Derecha	578	15	39
	Izquierda	520	15	35

Fuente: Elaboración propia

Figura 148. Volúmenes de la intersección tipo rotonda por interconexión



Fuente: Elaboración propia

Figura 149. Densidades de la intersección tipo rotonda por interconexión



Fuente: Elaboración propia

Figura 150. Velocidades de la intersección tipo rotonda por interconexión



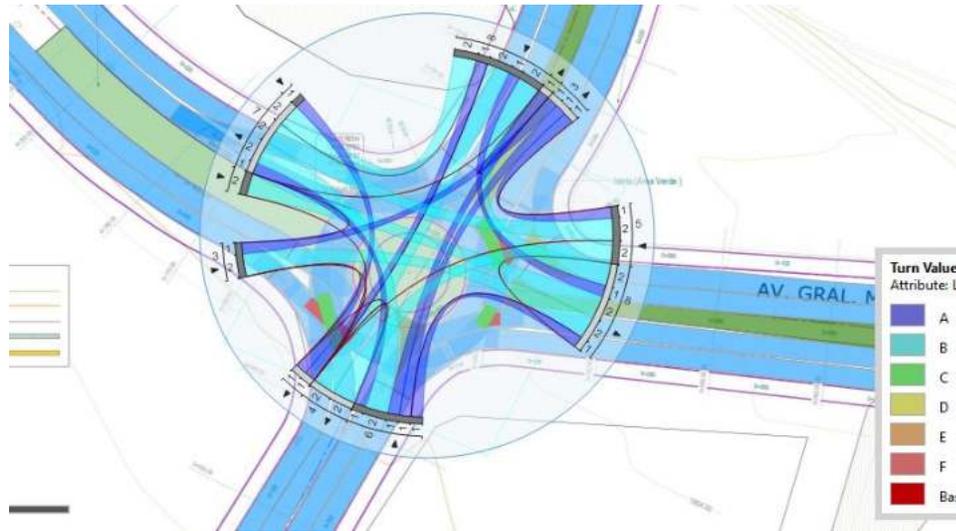
Fuente: elaboración propia

Figura 151. Nivel de servicio de la intersección tipo rotonda



Fuente: Elaboración propia

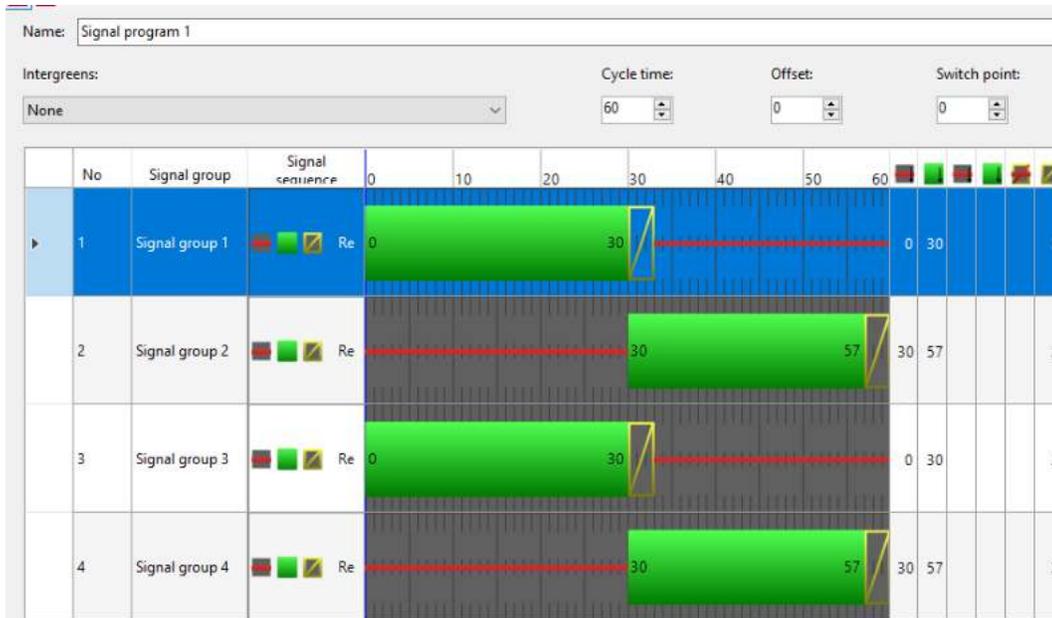
Figura 152. Nivel de servicio por movimiento de la Intersección tipo rotonda



Fuente: Elaboración propia

La intersección tipo rotonda esta semaforizada, dentro del software PTV Vissim, se encuentra un complementos para diseñar los grupos semafóricos ,el tipo de semáforo, el ciclo, en la siguiente figura se presenta el reparto de verde de la intersección.

Figura 153. Reparto de verde para la intersección tipo rotonda-B1



Fuente: Elaboración propia

*Tabla 41. Reporte de la evaluación de la intercesión tipo rotonda-B1*

Intervalo tiempo de simulación (min)	Movimiento	Longitud cola promedio (m)	Longitud cola máxima (m)	Vehículos	Nivel de servicio	Demora vehicular	Demora de detención (%)	Detención promedio
15	1-8: Carril de subida	1,92	19,04	22	A	9,14	5,56	0,45
15	1-13: Carril de salida	21,52	93,93	96	B	14,89	10,67	0,67
15	1-14: Carril de salida	21,52	93,93	5	B	18,21	13,41	0,8
15	1-15: Carril de salida	21,52	93,93	0	A			
15	1-17: Carril de salida	8,63	96,01	63	A	8,95	4,96	0,49
15	1-19: Carril de salida	8,63	96,01	2	A	5,73	1,4	0,5
15	1-22: Hermanos Uriondo	2,34	15,13	0	A			
15	1-23: Hermanos Uriondo	2,34	15,13	16	B	16,07	11,81	0,69
15	1-26: Hermanos Uriondo	1,58	32,49	5	A	7,15	4,62	0,4
15	1-27: Hermanos Uriondo	2,46	32,49	0	A			
15	1-29: Hermanos Uriondo	2,46	32,49	14	B	13,17	8,24	0,71
15	1-30: Hermanos Uriondo	2,46	32,49	10	A	9,85	4,88	0,6
15	1-31: Hermanos Uriondo	2,46	32,49	0	A			
15	Rotonda	9,27	118,72	522	B	11,69	7,28	0,59

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.9. Simulación B2 de la intersección rotonda partida

Para obtener el comportamiento de tráfico que tendrá la alternativa propuesta se utilizó el software de simulación de tráfico PTV Vissim 07, el modelo a escala posee las cualidades geométricas de la intersección, y para su simulación del estudio de tráfico se introdujo el volumen horario futuro, composición vehicular y la velocidad del proyecto, a continuación, se presenta los resultados de la simulación.

*Figura 154. Modelo a escala del software PTV Vissim 07*



Fuente: Elaboración propia

*Tabla 42. Ingreso de los volúmenes de tráfico en la intersección B2*

Ramal	Carril	Volumen (veh)	Tiempo (min)	Flujo (veh/min)
1	Derecha	59	15	4
	Izquierda	490	15	33
2	Derecha	27	15	2
	Izquierda	121	15	8
3	Derecha	403	15	27
	Izquierda	381	15	25
4	Derecha	74	15	5
	Izquierda	271	15	18

Fuente: Elaboración propia

Figura 155. Volúmenes de la intersección tipo rotonda partida por interconexión



Fuente: Elaboración propia

Figura 156. Densidades de la intersección tipo rotonda partida por interconexión



Fuente: Elaboración propia

Figura 157. Velocidades de la intersección tipo rotonda partida por interconexión



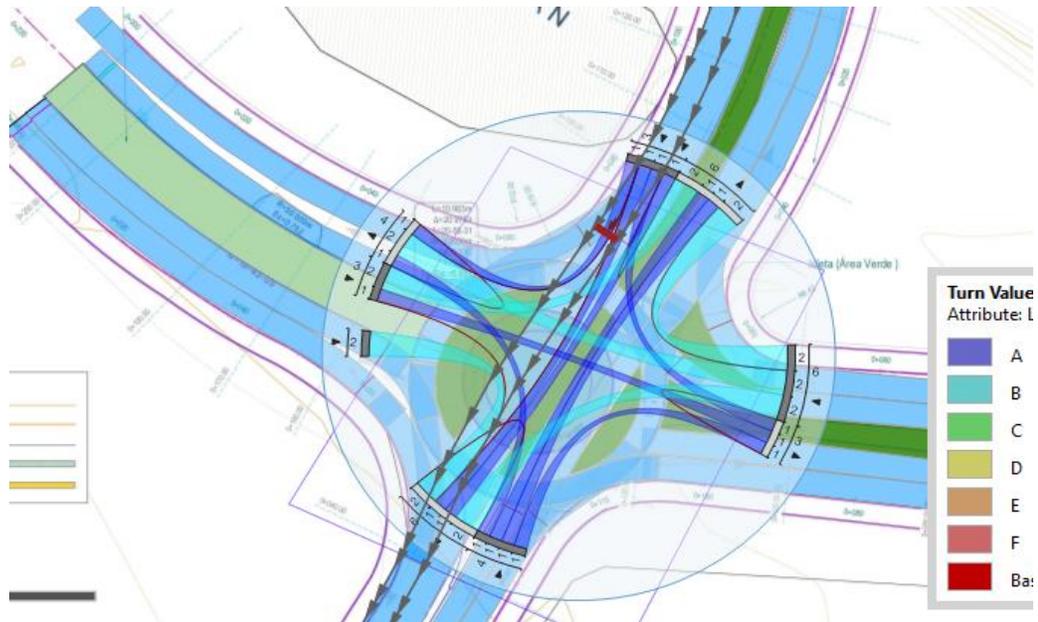
Fuente: Elaboración propia

Figura 158. Nivel de servicio de la intersección tipo rotonda partida



Fuente: Elaboración propia

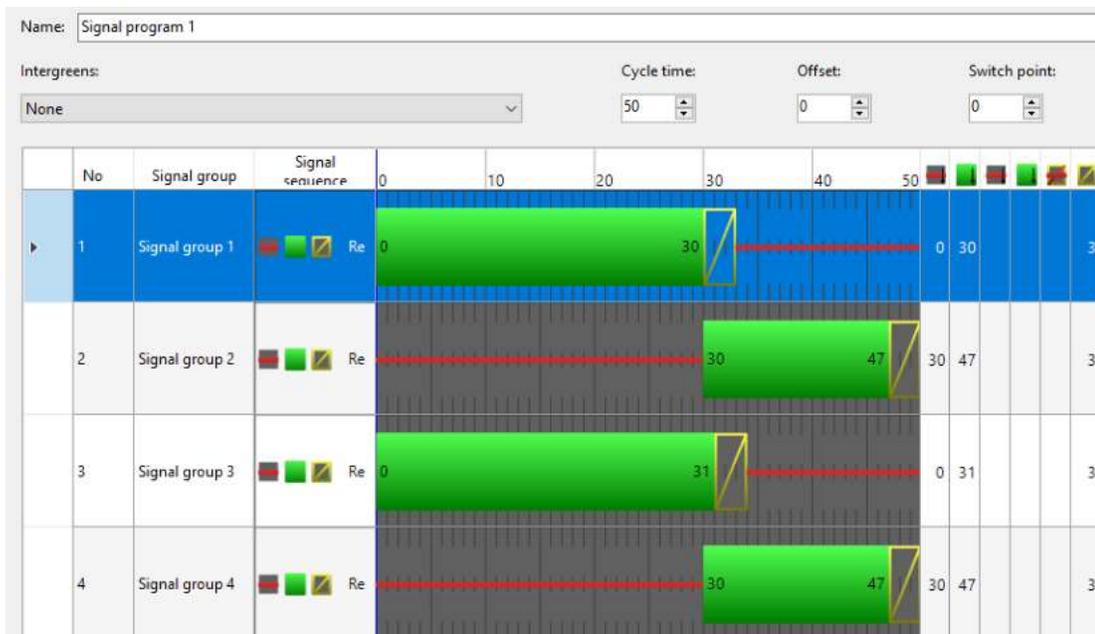
Figura 159. Nivel de servicio por giro de la intersección tipo rotonda partida



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta la distribución de verde para el grupo de señales del sistema semafórico de la intersección.

Figura 160. Distribución de verde para la intersección tipo rotonda partida



Fuente: Elaboración propia

*Tabla 43. Reporte de la evaluación de la intersección tipo rotonda partida parte 1*

Intervalo tiempo de simulación (min)	Movimiento	Longitud cola promedio (m)	Longitud cola máxima (m)	Vehículos	Nivel de servicio	Demora vehicular	Demora de detención (%)	Detención promedio
15	Carril de ingreso A	2,29	35,82	51	A	5,21	2,21	0,35
15	Carril de ingreso-B	0,09	11,72	14	A	1,02	0,25	0,14
15	Carril de ingresoB3	0,09	11,72	0	A			
15	Carril de ingresoB4	0,09	11,72	21	A	0,53	0	0
15	Carril de ingresoB5	0,54	26,01	14	A	5,3	3,17	0,36
15	Carril de salida -B-1	6,18	82,53	87	A	6,22	2,95	0,41
15	Carril de salida A-1	1,51	25,62	38	A	4,48	2,2	0,39
15	Carril de subida C1	5,35	51	0	A			
15	Carril de subida izq-d	5,35	51	20	B	12,8	9,27	0,6
15	Carril de subida izq	5,35	51	27	B	11,87	7,67	0,59
15	Carril de subida izq-D11	5,35	51	0	A			

Fuente: Elaboración propia

*Tabla 44. Reporte de la evaluación de la intersección tipo rotonda partida-parte 2*

Intervalo tiempo de simulación (min)	Movimiento	Longitud cola promedio (m)	Longitud cola máximo (m)	Vehículos	Nivel de servicio	Demora vehicular	Demora de detención (%)	Detención promedio
15	Hermanos Uriondo -izq.	1,03	14,68	5	B	18,19	13,79	0,8
15	Hermanos Uriondo -izq.	1,03	14,68	0	A			
15	Hermanos Uriondo -izq.	1,03	14,68	0	A			
15	Hermanos Uriondo -izq.	1,03	14,68	9	A	4,56	2,05	0,11
15	Hermanos Uriondo -izq.-A	0,71	6,48	7	B	13,59	9,71	0,57
15	Enlace 4	0,79	11,96	8	B	11,79	9,19	0,5
15	Enlace 5	0,71	28,26	3	A	0	0	0
15	Enlace 6	0,41	18,75	0	A			
15	Enlace 7	0,41	18,75	0	A			
15	Enlace 8	0,41	18,75	0	A			
15	Enlace 9	0,41	18,75	9	A	0,49	0	0
15	Rotonda partida	1,82	82,53	313	A	6,32	3,59	0,37

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.10. Simulación A3 de la intersección tipo turboglorieta

Con el apoyo del software PTV Vissim, se realizó la simulación de la intersección para determinar el comportamiento del tráfico en la intersección, de la cual se obtiene parámetros para determinar su eficiencia.

En la siguiente figura se presenta un modelo a escala, con la altimetría y planimetría de la geometría de la intersección.

*Figura 161. Modelo a escala en el Vissim de la intersección turboglorieta*



Fuente: Elaboración propia

*Tabla 45. Ingreso de los volúmenes de tráfico en B3*

Ramal	Carril	Volumen (veh)	Tiempo (min)	Flujo (veh/min)
1	Derecha	626	15	42
	Izquierda	495	15	33
3	Derecha	27	15	2
	Izquierda	144	15	10
5	Derecha	597	15	40
	Izquierda	671	15	45
7	Derecha	74	15	5
	Izquierda	100	15	7

Fuente: Elaboración propia

Figura 162. Volúmenes de la intersección tipo turboglorieta por interconexión



Fuente: Elaboración propia

Figura 163. Densidades de la intersección tipo turboglorieta por interconexión



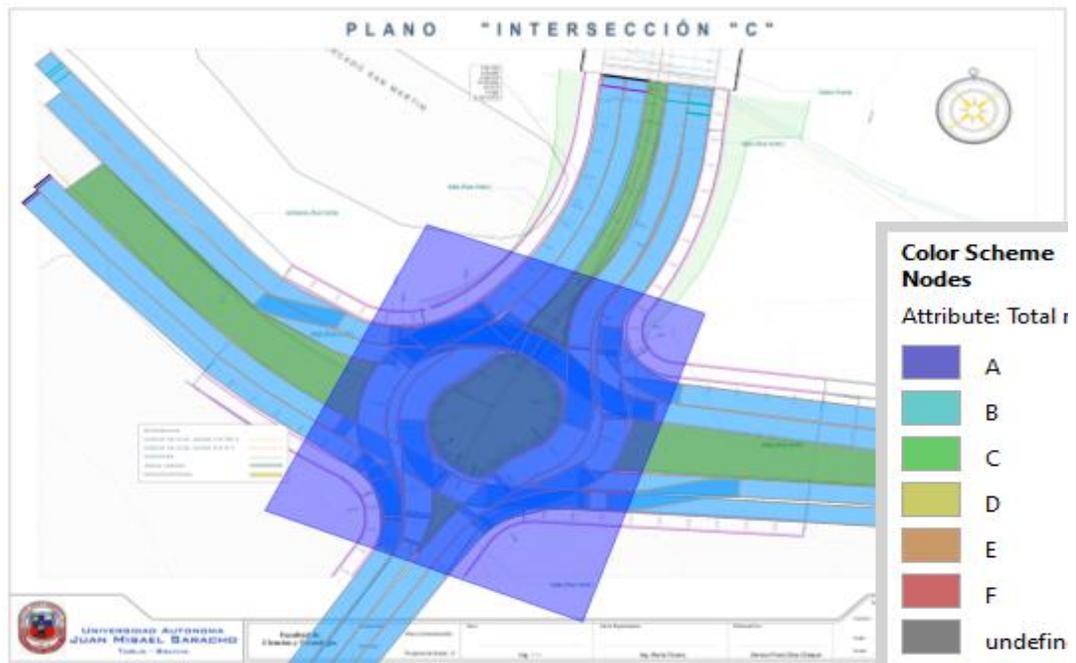
Fuente: Elaboración propia

Figura 164. Velocidades de la intersección tipo turboglorieta por interconexión



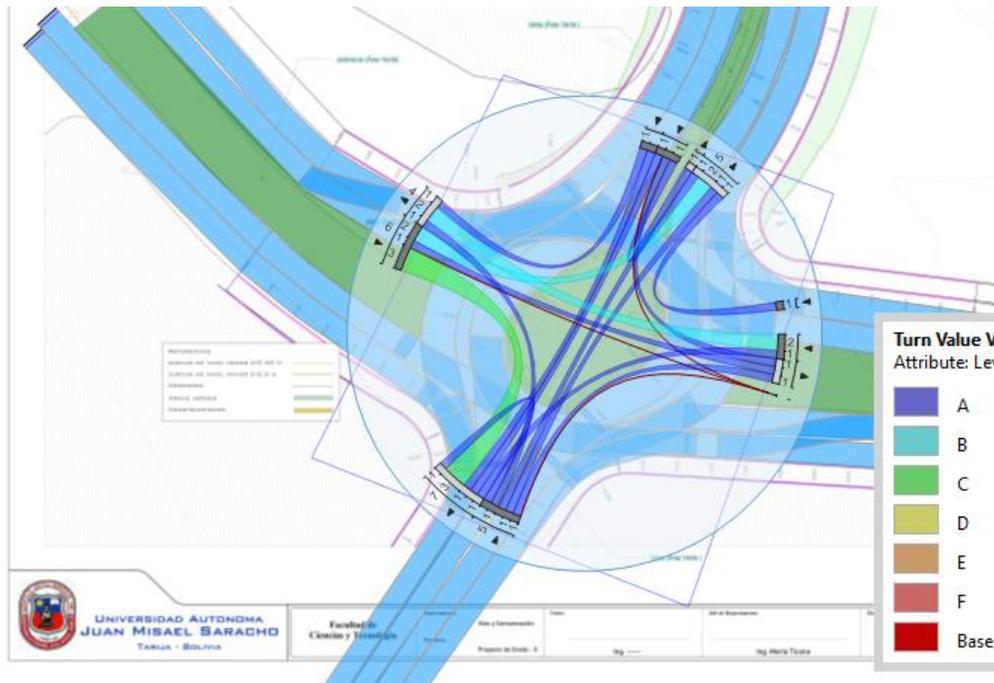
Fuente: Elaboración propia

Figura 165. Nivel de servicio de la intersección tipo turboglorieta



Fuente: Elaboración propia

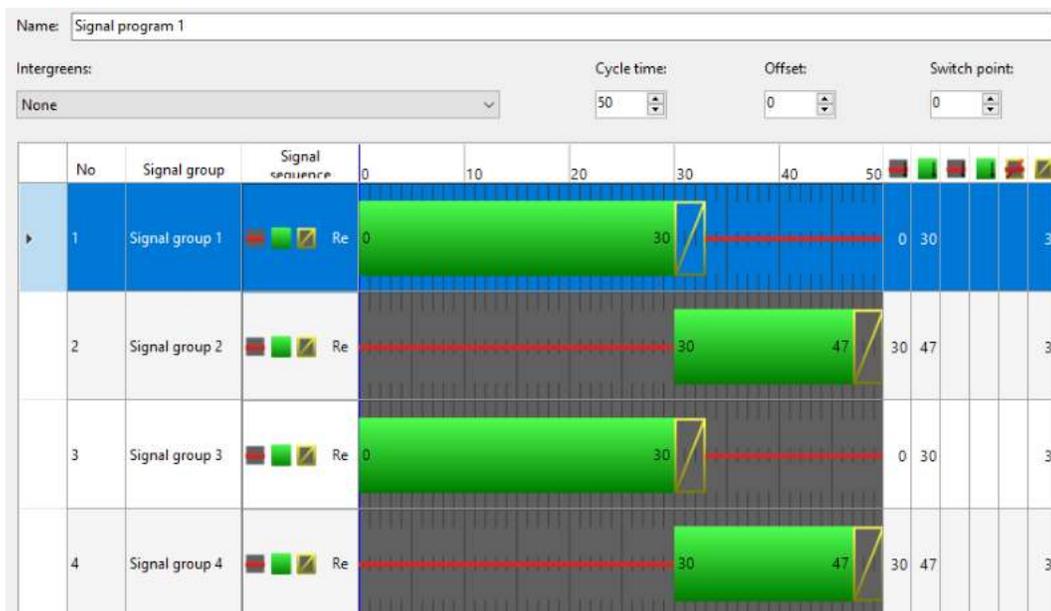
Figura 166. Nivel de servicio por giro de la intersección tipo turboglorieta



Fuente: Elaboración propia

Se presenta la distribución de verdes para el grupo de señales, controlados por semáforos.

Figura 167. Distribución de verde la intersección tipo turboglorieta



Fuente: Elaboración propia

*Tabla 46. Reporte de la evaluación de la intersección tipo turboglorieta*

Intervalo tiempo de simulación (min)	Movimiento	Longitud cola promedio (m)	Longitud de cola máxima (m)	Vehículos	Nivel de servicio	Demora vehicular	Demora de detención (%)	Detención promedio
15	Carril de salida3	4,78	57,24	86	A	5,04	2,16	0,34
15	Carril de subida6	1,73	43,41	6	A	5,8	2,55	0,5
15	Carril 9	0,4	7,46	8	A	5,37	3,33	0,38
15	Carril subida3	5,79	63,89	3	A	2,32	0	0
15	Carril de bajada8.8	1,34	13,73	10	A	5,16	3,35	0,2
15	Carril de salida- 4	5,28	61,15	3	A	5,12	3,46	0,33
15	Carril ldebajada8.8	5,28	61,15	7	A	9,96	5,82	0,71
15	Enlace 17	5,28	61,15	0	A			
15	Carril 7	0,74	36,56	69	A	1,62	0,47	0,17
15	Carril bajada8.8	1,73	50,37	14	A	4,06	1,63	0,36
15	Enlace 17	1,73	50,37	0	A			
15	Carril de bajada6	0,89	12,43	3	C	26,69	20,68	1
15	Enlace 11	1,19	13,15	15	A	9,66	6,22	0,53
15	1	2,28	63,89	401	A	5,45	2,74	0,38

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.11. Simulación C1 de la intersección giros en U elevados

Mediante el software PTV Vissim se simuló la intersección, para determinar el comportamiento de los vehículos que ingresan y salen de la intersección, obteniendo parámetros cuantitativos y cualitativos para su comparación con otras alternativas, en la siguiente figura se presenta un modelo a escala con la geometría de la intersección.

*Figura 168. Modelo a escala de la intersección tipo giros en U elevados*



Fuente: Elaboración propia

*Tabla 47. Ingreso de volumen de tráfico de la intersección giros en U elevados*

Ramal	Carril	Volumen (veh)	Tiempo (min)	Flujo (veh/min)
1	Derecha	632	15	42
	Izquierda	666	15	44
2	Derecha	495	15	33
	Izquierda	495	15	33
3	Derecha	322	15	21
	Izquierda	322	15	21
4	Derecha	495	15	33
	Izquierda	495	15	33

Fuente: Elaboración propia

Figura 169. Volúmenes de la intersección giros en U elevados por interconexión



Fuente: Elaboración propia

Figura 170. Densidades de la intersección giros en U elevados por interconexión



Fuente: Elaboración propia

Figura 171. Velocidades de la intersección giros de U elevados por interconexión



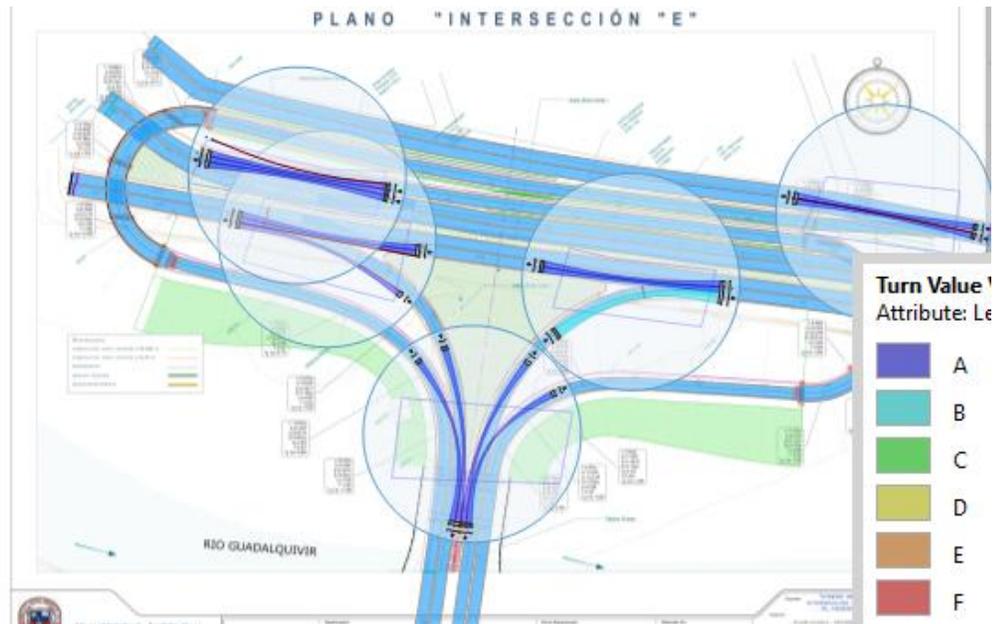
Fuente: Elaboración propia

Figura 172. Nivel de servicio de la intersección giros en U elevados



Fuente: Elaboración propia

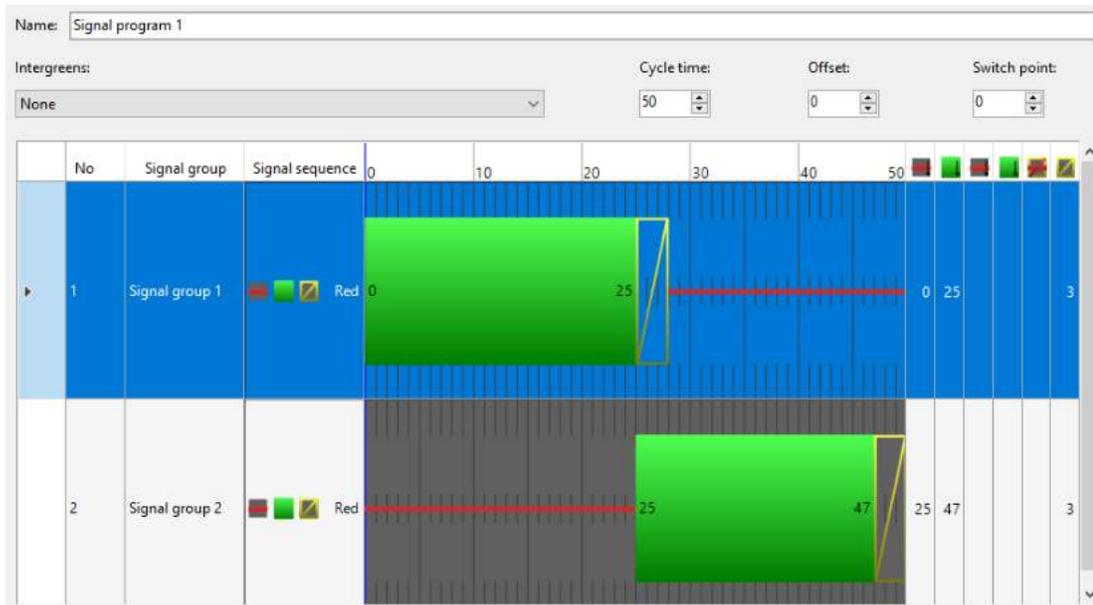
Figura 173. Nivel de servicio por giro de la intersección giros en U elevados



Fuente: Elaboración propia

Se diseñó la distribución de verde para el sistema de semáforos en un complemento del software Vissim. (ver la siguiente).

Figura 174. Distribución de verde de la intersección giros en U elevados



Fuente: Elaboración propia

*Tabla 48. Reporte de la evaluación de la intersección giros en U elevados- parte 1*

Intervalo tiempo de simulación (min)	Movimiento	Longitud cola promedio (m)	Longitud cola máxima (m)	vehículos	Nivel de servicio	Demora vehicular	Demora de detención (%)	Detención promedio
15	Acceso B15	9,69	67,89	92	A	8,52	4,92	0,53
15	Carril izquierda1	9,69	67,89	0	A			
15	Carril izquierda1-2	8,41	67,96	41	A	9,9	6,44	0,54
15	Carril izquierda 2	8,41	67,96	48	A	6,56	3,74	0,38
	Nudo -1	9,05	67,96	181	A	8,32	4,95	0,49
15	Acceso c1	8,66	53,49	71	B	10,63	6,46	0,63
15	Carril izquierda12	0	0	42	A	0,38	0	0
15	Las américas 2	0	0	48	A	0,07	0	0
	Nudo -2	2,89	53,49	161	A	4,81	2,85	0,28
15	Acceso 13	0	0	71	A	0,13	0	0
15	Las americas-5	0	0	0	A			
15	Las americas5	0	0	92	A	0,07	0	0
	Nudo-3	0	0	163	A	0,1	0	0

Fuente: Elaboración propia

*Tabla 49. Reporte de la evaluación de la intersección giros en U elevados-parte 2*

Intervalo tiempo de simulación (min)	Movimiento	Longitud cola promedio (m)	Longitud cola máxima (m)	vehículos	Nivel de servicio	Demora vehicular	Demora de detención (%)	Detención promedio
15	Acceso A 12	0	0	66	A	0,57	0	0
15	Acceso -B1	0	0	88	A	0,12	0	0
15	Acceso C1	0	0	74	A	0,17	0	0
15	Acceso B85.3	0	0	93	A	0,04	0	0
15	Nudo-4	0	0	321	A	0,2	0	0
15	Las Américas 2	0	0	0	A			
15	Carril central-13	0	0	53	A	0,45	0	0
15	Unión 7	0	0	83	A	0,26	0	0
15	Enlace 17	0	0	45	A	0,44	0	0
15	Nudo-5	0	0	181	A	0,36	0	0

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.12. Simulación C2-de la intersección a desnivel semi-directo

Con la geometría de la intersección y el estudio de tráfico, se utilizó el software de simulación PTV Vissim, para la simulación de la intersección y obtener las variables cualitativas y cuantitativas para su evaluación como alternativa de solución.

*Figura 175. Modelo a escala de la intersección a desnivel semi-directo*



Fuente: Elaboración propia

*Tabla 50. Ingreso de volúmenes de tráfico de la intersección semi- directo*

Ramal	Carril	Volumen (Veh)	Tiempo (min)	Flujo (veh/min)
1	Derecha	666	15	44
	Izquierda	632	15	42
2	Derecha	495	15	33
	Izquierda	495	15	33
3	Derecha	495	15	33
	Izquierda	495	15	33

Fuente: Elaboración propia

Figura 176. Volúmenes de la intersección tipo semi-directo- por interconexión



Fuente: Elaboración propia

Figura 177. Densidades de la intersección tipo semi-directo por interconexión



Fuente: Elaboración propia

Figura 178. Velocidades de la intersección tipo semi-directo por interconexión



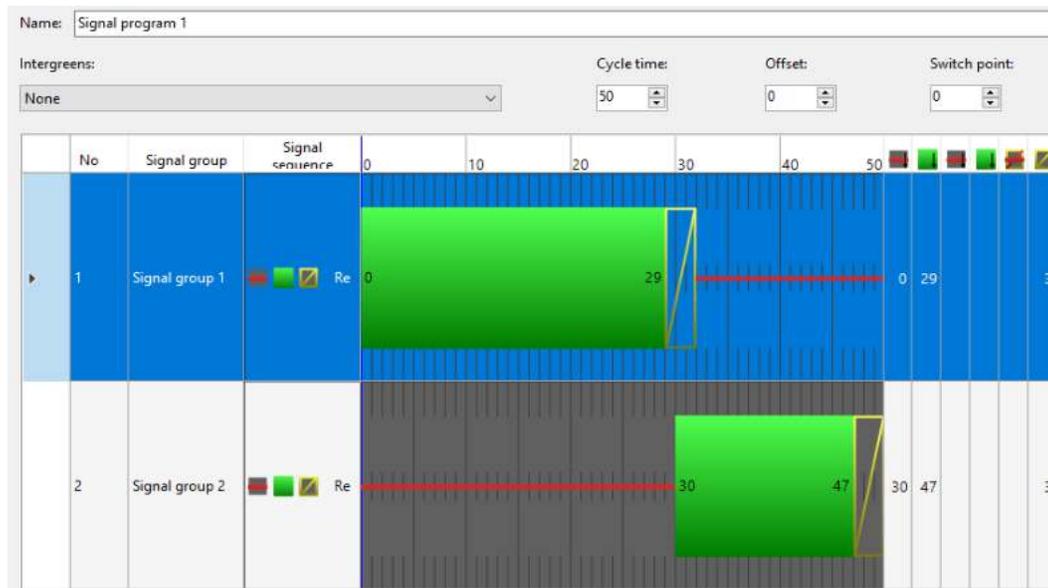
Figura 180. Nivel de servicio por giro intersección tipo semi-directo



Fuente: Elaboración propia

Con el software PTV Vissim, se diseñó la distribución de verde para la semaforización de algunos movimientos que entran en conflicto.

Figura 181. Distribución de verdes intersección tipo semi-directo



Fuente: Elaboración propia

*Tabla 51. Reporte de la evaluación de la intersección semi-directo*

Intervalo tiempo de simulación (min)	Movimiento	Longitud cola promedio (m)	Longitud cola máxima (m)	vehículos	Nivel de servicio	Demora vehicular	Demora de detención (%)	Detención promedio
15	Carril de la derecho A	3,98	52,32	0	A			
15	Carril de la derecho A1	3,77	40,46	48	A	3,66	1,43	0,23
15	Avenidas las americas18	3,77	40,46	40	A	5,77	2,77	0,38
15	Enlace D17	15,4	80,19	86	B	14,89	9,12	0,77
15	Acceso B2	5,81	47,52	0	A			
15	Acceso -C22	5,81	47,52	72	A	9,34	3,64	0,51
15	Carril central	0	0	78	A	0,05	0	0
15	Acceso A6	7,08	60,48	98	A	6,37	3,51	0,38
15	Acceso B2	0	0	72	A	1,24	0,06	0,06
15	Unión 5	0	0	0	A			
15	Semi directo	5,15	80,19	494	A	6,23	3,19	0,34

#### 4.1.13. Simulación C3 de la intersección tipo tres niveles

Con la geometría de la intersección y los volúmenes horarios futuros, obtenidos del estudio de tráfico, se utilizó el software de simulación de tráfico PTV Vissim, para obtener el comportamiento de los vehículos al ingresar y salir de la intersección, como resultados se tiene, parámetros cualitativos y cuantitativos para la evaluación como alternativa de solución.

*Figura 182. Modelo a escala de la intersección tipo tres niveles*



Fuente: Elaboración propia

*Tabla 52. Ingreso de volúmenes de tráfico de intersección tipo tres niveles*

Ramal	Carril	Volumen (veh)	Tiempo (min)	Flujo (veh/min)
1	Derecha	666	15	44
	Izquierda	632	15	42
2	Derecha	495	15	33
	Izquierda	495	15	33
3	Derecha	495	15	33
	Izquierda	495	15	33

Fuente: Elaboración propia

Figura 183. Volúmenes de la intersección tipo tres niveles por interconexión



Fuente: Elaboración propia

Figura 184. Densidades de la intersección tipo tres niveles por interconexión



Fuente: Elaboración propia

Figura 185. Velocidades de la intersección tipo tres niveles por interconexión



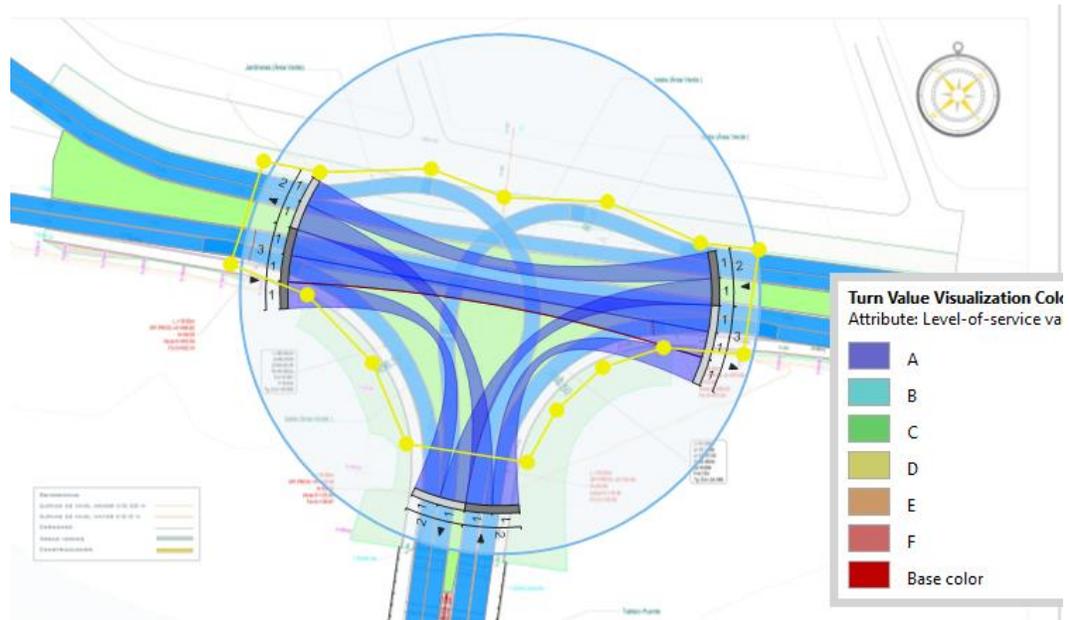
Fuente: Elaboración propia

Figura 186. Nivel de servicio de la intersección tipo tres niveles



Fuente: Elaboración propia

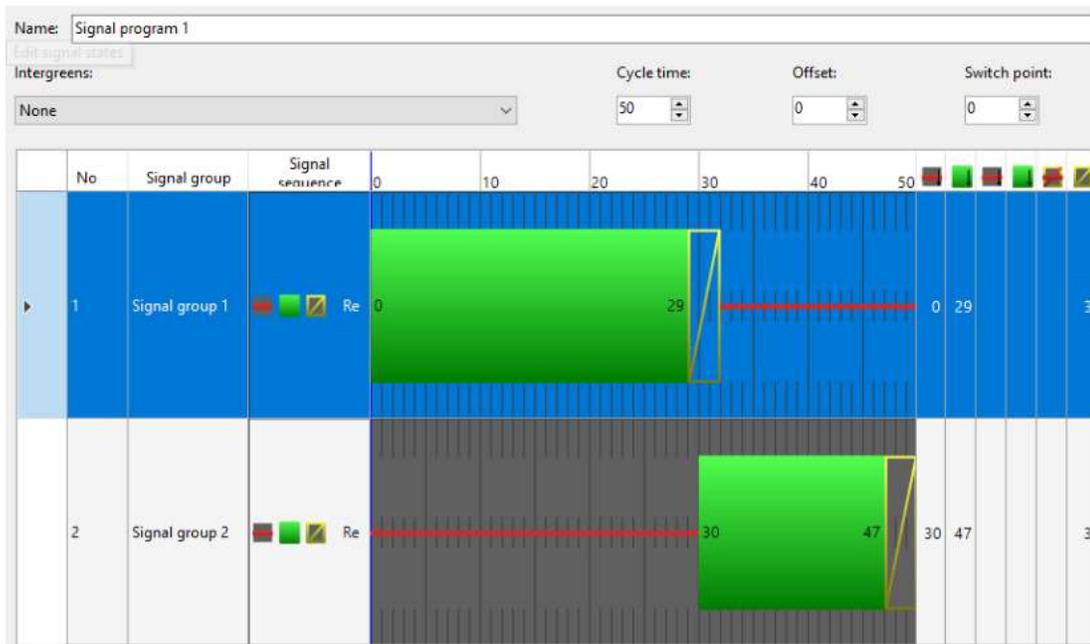
Figura 187. Nivel de servicio por giro de la intersección tipo tres niveles



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta la distribución de verde para el grupo de movimientos que entran en conflictos en la intersección.

Figura 188. Distribución de verde de la intersección tipo tres niveles



Fuente: Elaboración propia

*Tabla 53. Reporte de la evaluación de la intersección tipo tres niveles*

Intervalo tiempo de simulación (min)	Movimiento	Longitud cola promedio (m)	Longitud cola máxima (m)	vehículos en la simulación	Nivel de servicio	Demora vehicular	Demora de detención (%)	Detención promedio
15	Carril derecha A1	7,24	77,67	0	A			
15	Carril central B1	0	0	71	A	0,04	0	0
15	Acceso D	8,14	84,35	88	A	8,92	4,78	0,52
15	Acceso C	0	0	73	A	0,05	0	0
15	Carril de la derecha A1	7,44	50,37	40	A	9,26	5,63	0,55
15	Acceso A	7,44	50,37	47	A	6,57	3,85	0,34
15	Acceso B	0	0	78	A	0,05	0	0
15	Unión 2	9,48	81,74	97	A	7,81	4,21	0,54
15	1	4,61	84,35	494	A	4,52	2,5	0,28

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los resultados de la evaluación de las alternativas propuestas.

*Tabla 54. Resumen de los reportes de evaluaciones de las distintas alternativas*

Intervalo tiempo de simulación (min)	intersección	Longitud cola promedio (m)	Longitud cola máxima (m)	Vehículos En la simulación	Nivel de servicio	Demora vehicular	Demora de detención (%)	Detención promedio
15	A1	39,59	253,12	485	C	23,42	15,55	1,27
15	A2	6,77	90,59	726	A	8,22	5,48	0,35
15	A3	5,79	87,28	277	A	6,19	3,94	0,3
15	B1	9,27	118,72	522	B	11,69	7,28	0,59
15	B2	1,82	82,53	313	A	6,32	3,59	0,37
15	B3	2,28	63,89	401	A	5,45	2,74	0,38
15	C1	2,388	24,29	202	A	2,758	1,56	0,154
15	C2	5,15	80,19	494	A	6,23	3,19	0,34
15	C3	4,61	84,35	494	A	4,52	2,5	0,28

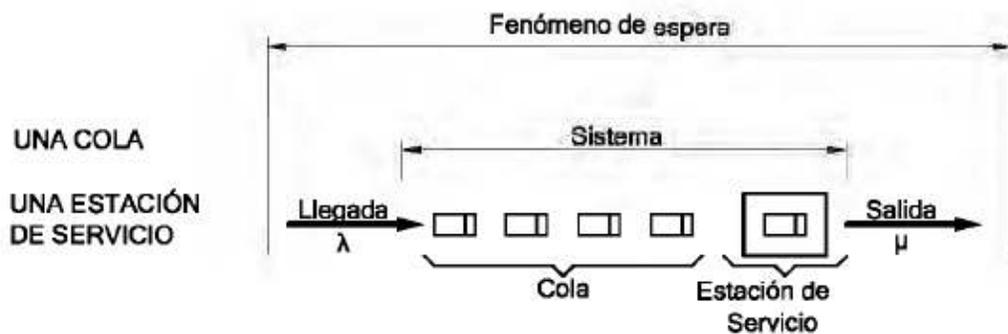
Fuente: Elaboración propia

## 4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

### 4.2.1. Longitud de cola vehicular

La longitud de colas es el comportamiento de líneas de espera. Estas se presentan cuando un móvil, llega a la intersección, el cual tiene cierta capacidad, si el nudo no está disponible inmediatamente y el vehículo decide esperar, entonces se forma en la línea de espera.

*Figura 189. Longitud de cola vehicular*



Fuente: Cal y Mayor ,2019

Una mayor longitud de cola indica un remante de vehículos que no fueron servidos por el ciclo semafórico o la presencia de congestionamiento vehicular al tener la intersección una menor capacidad que la demanda

- De las intersecciones para el acceso al puente 4 de julio y las avenidas las Américas, de alternativa diamante divergente es la que presenta en promedio de sus interconexiones la mayor longitud de colas (38,59m), se tiene una mayor tiempo de espera para atravesar el nudo, la alternativas, T verde continuo y giros a la izquierda desplazado tiene una longitud de cola entre 6 y 7 metros, indicando por concerniente una menor tiempo de viaje.
- De la intersección entre el puente 4 de julio y la avenida la Banda, la intersección tipo Rotonda presenta un longitud de cola de 9, 27 metros, indicando un mayor tiempo de espera, mientras que la intersección tipo Rotonda partida y turboglorieta indica un menor tiempo de espera, siendo positivo para evitar el congestionamiento vehicular.
- De las intersecciones a desnivel, las tres alternativas se encuentran entre un rango aceptable de la longitud e colas entre un promedio de longitud de 5 a 2 metros.

#### **4.2.2. Longitud de cola máxima**

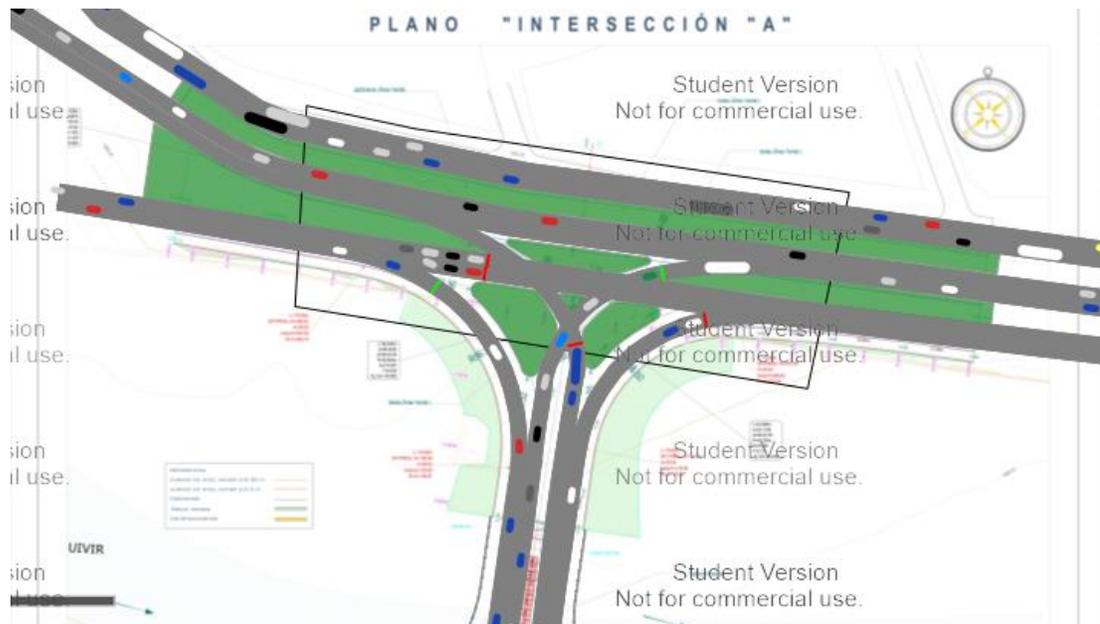
De las interconexiones que componen una intersección, se presenta en una hora pico y máximo de demanda vehicular, que luego de una acumulación de vehículos a no ser servidos por la intersección, en corto plazo de tiempo se forma una longitud mayor a la normal, generando un congestionamiento en las zonas próximas de la intersección.

- a) Del conjunto de alternativas para acceso al puente 4 de julio la intersección diamante divergente es la que presenta una longitud mayor en una de sus interconexiones con una longitud máxima de 253,12 metros valor que indica que los vehículos en la interconexión tendrán que esperar más de un ciclo para poder pasar por la intersección, la intersección T verde continuo y giro a la izquierda desplazado presenta una longitud de cola máxima entre 90 a 87 metros
- b) De las alternativas para el acceso al puente 4 de julio desde la avenida la banda la ronda presenta una longitud máxima de cola de 118,72 metros en uno de sus interconexiones, la intersección tipo Rotonda partida una longitud de 82,53 y la turboglorieta de 63 metros, indicando que la última alternativa tiene un menor grado de congestión, con el mismo volumen en relación a las demás alternativas.
- c) De las alternativas a desnivel la alternativa tipo tres niveles y Semi-directo presenta una longitud de cola máxima en sus interconexiones entre 84 a 80 metros, mientras que la alternativa giros en U elevados tiene una longitud de cola 4 veces menor, (24,29 metros), por consiguiente la última alternativa mencionada presenta un menor grado de congestión.

#### **4.2.3. Vehículos en la simulación**

Es la cantidad de vehículos que lograron ingresar y salir de la intersección en el intervalo de tiempo simulación, en nuestro caso 15 minutos, (ver la figura 190).

Figura 190. Simulación de la intersección T verde continuo



Fuente: Elaboración propia

- a) De las alternativas a nivel por el lado de la avenida las Américas, la intersección T verde continuo tiene un mayor capacidad para servir a los vehículos dentro de la intersección con 726 vehículos en un intervalo de 15 minutos, mientras que la intersección diamante divergente de 485 vehículos y por último la alternativa giros izquierda desplazados, solo 287 vehículos menor a demanda actual y futura.
- b) Las alternativas en los accesos al puente 4 de julio y la avenida la banda, la alternativa tipo Rotonda tiene una, mayor capacidad, con 522 vehículos que ingresaron y salieron de la intersección, en un intervalo de 15 minutos, mientras que turboglorieta de 401 vehículos y la intersección tipo Rotonda partida solo de 313 vehículos.
- c) De la alternativas a desnivel, las intersección tipo tres nivel y Semi-directo presenta un igual volumen de vehículos , de 494 vehículos que ingresaron y salieron ,la intersección giros en u elevados 202 vehículos, menor en 50% a las alternativas anteriores.

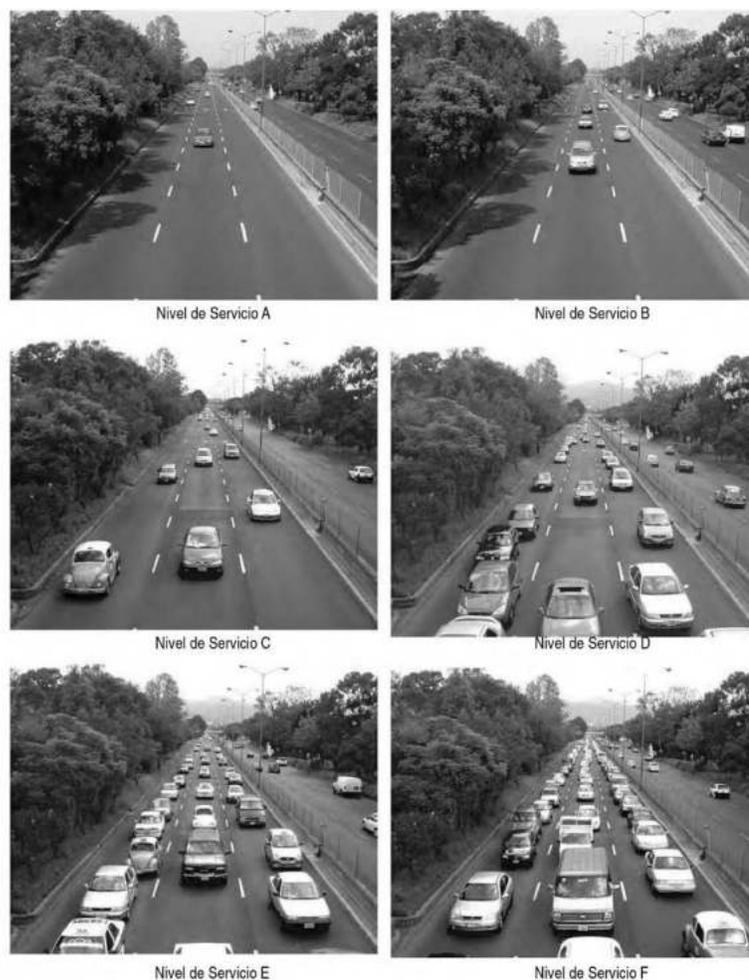
#### 4.2.4. Nivel de servicio

Para medir la calidad de flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio, en una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motorizados y /o pasajeros.

Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

El manual de capacidad vial HCM 2010, ha establecido seis niveles de servicios denominados A, B, C, D, E y F, que van de menor al peor, las cuales se definen según que las condiciones de operación sean de circulación continua o discontinua.

*Figura 191. Nivel de servicio en condiciones de circulación continua*



Fuente: Cal y Mayo, 2019

#### **4.2.4.1. Nivel de servicio por semáforos**

El nivel de servicio de una intersección con semáforos se define a través de las demoras, las cuales representan para el usuario una medida del tiempo de viaje, del consumo de combustible, de la incomodidad y de la frustración. Específicamente, el nivel de servicio se expresa en términos de la demora media por vehículo debida a los controles.

En la siguiente tabla se define los seis niveles de servicio, cuyas características principales son :

*Tabla 55. Nivel de servicio en intersección con semáforos*

Nivel de servicio	Demora por control (segundos /vehículos)
A	$\leq 10$
B	$\leq 10-20$
C	$\leq 20-35$
D	$\leq 35-55$
E	$\leq 55-80$
F	$\leq 80$

Fuente: Cal y Mayo, 2019

- a) La intersección, T verde continuo presenta un nivel de servicio A, Indica una operación con demoras muy bajas , menores a 10 segundos por vehículo, la intersección giro a la izquierda desplazado con un nivel de servicio de B, indica un operación entre 10 y 20 segundos por vehículo, algunos vehículos comienzan detenerse, y la intersección diamante divergente, opera con nivel de servicio C ,indicando una demora entre 20 y 35 segundos por vehículos, algunos ciclos empiezan a malograrse, donde su longitud de colas son relativamente moderadas.
- b) De las alternativas de solución para los accesos a nivel al puente 4 de julio por la avenida la banda, la alternativa tipo Rotonda partida y turboglorieta, tienen un nivel de servicio A, indicando que las demoras son muy bajas, menores de 10 segundos por vehicúlala intersección tipo Rotonda, tiene un nivel de servicio de B, indicando demoras entre 10 y 20 segundo por vehículo.
- c) De la alternativas a desnivel, las tres indican un nivel de servicio A , representa circulación a flujo libre, los usuarios considerados en forma individual ,están virtualmente exceptos de los efectos de la presencia de otros vehículos en la circulación.

#### 4.2.5. Demora vehicular

Las demoras cuantifican el incremento en el tiempo de viaje por la presencia de los semáforos, que obligan a los vehículos a detenerse.

- a) Entre la intersección tipo T verde continuo y giro a izquierda desplazado, se tiene un tiempo de Detención promedio de los vehículos entre 8 a 6 segundo, aceptable para una intersección semaforizada, la intersección tipo diamante divergente presenta un demora de 23,42 segundo por vehículos, indicando que el número de vehículos que se detienen es significativo.
- b) La intersección tipo Rotonda partida y turboglorieta, presentan una demora promedio de vehículos de 6 a 5 segundos, operando la intersección con longitud de colas cortas, las intersecciones tipo Rotonda, la Demora vehicular es de 11,69 segundos, indicando que algunos vehículos comienzan a detenerse.
- c) La intersección a desnivel presenta tiempo de Detención promedio ente 3 a 1,5 segundos, esto debido que los enlaces, a desnivel separan los movimientos conflictivos, proporcionando una mayor fluidez de tráfico.

#### 4.2.6. Indicadores económicos

Del anexo 1, costo y presupuesto, se tiene los costos de construcción de las alternativas de solución, mismas que a continuación, se presenta un resumen. (ver la siguiente tabla).

*Tabla 56. Costo de construcción de las alternativas de intersección*

Intersección		Costo de construcción (Bs)	Costo en millones de (Bs)	
Nivel	A1	Diamante divergente	2.858.123,62	2,85
	A2	T verde continuo	1.557.868,55	1,56
	A3	Giro a la izquierda desplazado	2.175.559,50	2,17
	B1	Rotonda	1.232.179,71	1,2
	B2	Rotonda partida	1.403.862,33	1,4
	B3	Turboglorieta	1.012.102,56	1
Desnivel	C1	Giro en U elevado	21.088.614,57	21,1
	C2	Tres niveles	16.284.417,64	16,28
	C3	Semi directo	9.466.132,97	9,5

Fuente: Elaboración propia

La alternativa a nivel presenta un menor costo de construcción, en relación a los pasos a desnivel, se puede justificar la construcción de un paso a desnivel por el menor costo de operación del usuario.

#### **4.2.7. Factores físicos**

#### **4.2.8. Topografía**

La topografía de los accesos al puente 4 de julio es relativamente plano, siendo conveniente para evitar el efecto de pendientes en el momento de frenar y acelerar en el ingreso y salida del puente.

#### **4.2.9. Elección de la alternativa de diseño.**

Después de haber realizado la simulación de las intersecciones, obteniendo parámetros de eficiencia y la elaboración del presupuesto aproximado de construcción, se adopta de cada grupo de tres alternativa, la que presento mejores indicadores de eficiencia en relación a su costo:

- a) De la las tres alternativas a nivel, (A1,A2 y A3 ) para el acceso al puente 4 de julio , la intersección T verde continuo ,alternativa que posee mejor indicadores de eficiencia de tráfico y un menor costo.
- b) Del lado de la avenida la Banda, al acceso al puente julio, de las tres alternativas ( B1,B2 y B3), la alternativa tipo turboglorieta es la presenta mejor indicadores de eficiencia de tráfico y en relación a su costo de construcción con otras alternativas es mínima.
- c) De la intersección desnivel, la alterativa Giros en U elevados es la que presenta indicadores positivos en comparación con las demás alternativas, A pesar que su costo de construcción es el más elevado, su elección se puede justificar por sus beneficios como la reducción de la accidentabilidad, ahorro en costos de operación de los vehículos y tiempo de espera (expresado estos últimos en costos de tiempo de los conductores y los pasajeros),durante el tiempo de vida del proyecto.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Seguidamente de haber terminado con la realización del **DISEÑO GEOMÉTRICO TÉCNICO DE LA INTERSECCIÓN VIAL A NIVEL Y DESNIVEL PARA EL ACCESO AL PUENTE 4 DE JULIO**, se llega a una serie de conclusiones y recomendaciones.

#### 5.1. CONCLUSIONES

El objetivo de esta tesis fue estudiar las diferentes alternativas a de las intersecciones a nivel y desnivel para los acceso al puente 4 de julio, para ello se realizaron el diseño geométrico de 9 intersecciones, para luego con una análisis de indicadores de eficiencia de tráfico y costos, de lo cual se , obtuvieron las alternativas finales, del estudio se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Se determinó con el estudio topográfico, un plano de en detalle el entorno de la obra, una red de puntos fijos y modelo digital del terreno, (MDT), mismo que fueron utilizados para evaluar las alternativas de diseño en función del terreno, y conocer macro drenaje mediante el conocimiento de las curvas de nivel.
- Se realizado el estudio de tráfico para conocer las condicione actuales de circulación, obteniendo el volumen horario de tráfico, la composición vehicular, la proporción de movimientos, la velocidad de recorrido, con el volumen vehicular, se realizó la proyección de trafico futuro, mismo que determina qué tipo de intersección a nivel y desnivel era la más conveniente.
- El diseño de la intersección a nivel de la avenida las Américas y la banda se efectuó tomando en cuenta las recomendaciones AASTHON 2011 (La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes), donde se obtuvieron todos los parámetros de diseño como ser radios mínimos de los vehículos de diseño (WB-15), ancho de la calzada 3,6 metros, para las áreas de aproximación, para las curvas de accesos de 4 metros. las velocidades de diseño de 25 km/h. en las zonas próximas y para las curvas de acceso con velocidades 15 km/h, pendiente transversal (Bombeo),2%.
- Se diseñó geométricamente una intersección a desnivel en base la normativa de La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes

AASTHON,2011 donde se obtuvieron los parámetros de diseño ,para las curvas horizontales radio mínimo de 2° metros, rasante de subida y bajada para el buen funcionamiento se diseñó entre los 5,5% a 6%,los peraltes de la curvas de transición de 4% y ancho de carril de 4 metros en las rampas de ascenso y descenso, y 6 metros en las curvas horizontales ,el vehículos de diseño (WB-15),el carril de aceleración tiene una longitud de 48 metros y de desaceleración de 38 metros y gálibo vertical de 5 metros.

- Se efectuó una micro-simulación con el software PTV Vissim 07 , de las alternativas con los con volúmenes horarios futuros, composición vehicular, velocidad de operación, movimientos ,sistemas semafórico y reglas de prioridad en un modelo escala con las características geométricas de la intersección , , (altimetría y planimetría), en in intervalo de 15 minutos ,con 5 simulaciones por intersección para obtener un mayor precisión y obteniendo indicadores de eficiencia de tráfico, con el cual se realizó una justificación de las alternativas de diseño.
- Se elaboró los plano planímetro con las curvas horizontales de geometría de las intersección ,el plano del perfil de las intersecciones, con el trazado de al rasante y las curvas verticales, el plano de secciones transversales ,y el plano de curva masa, determinando los volúmenes excedentes y faltantes y distancia de acarreo libre, estos planos sirvieron para diseñar ,calcular y visualizar los diferentes elementos y es espacio que ocupan , visualizando su implementación en el espacio que se tiene.
- Se realizó el presupuesto de las alternativas de diseño, obteniendo sus cómputos métricos y precio unitarios para obtener el costo total de la inversión de construcción de las alternativas.
- Con los indicadores de eficiencia y el presupuesto general de las intersecciones se realizó la evaluación de las alterativas, obtenido que las intersecciones a nivel son más económicas, pero de menos eficientes y cambio las intersecciones a desnivel presenta un mayor costo de inversión final pero una mejor fluidez de tráfico, aunque a largo plazo dicha inversión puede rentabilizarse, por el costo de operación de operación del usuario y disminución significativa de la

accidentabilidad. las intersecciones a nivel finales T verde continuo y turboglorieta, no modifican sustancialmente al estructura actual, que puede ser implementada inmediatamente, la intersección a desnivel puede ser construida a futuro próximo, cuando las intersecciones nivel , su capacidad se menor a su demanda vehicular , indicando una solución con mayor impacto en la infraestructura

## 5.2. RECOMENDACIONES

A partir de las conclusiones mencionadas, se desprende las siguientes recomendaciones.

- Del tiempo limitados de que dispone ,no se dispone de información de volúmenes a través de periodos largos como ejemplo ,un año, por lo tanto es conveniente contar con estaciones de aforo, con la implementación de contadores automáticos, por conveniencia colocados en arterias viales principales, obtenido el volumen de tráfico en tiempo real y volúmenes de transito promedio diario anual y la variación en función del año, con estos datos esos datos pueden ser utilizados en futuros proyecto de diseño de intersecciones.
- Vale indicar que los datos obtenido de informe de movilidad local de Google, no son representación perfecta de la realidad; es decir, no representan un censo de la movilidad No obstante, dado el uso masivo de tecnología celular en el país, constituye una herramienta más robusta disponible hasta el momento para medir los fenómenos en estudio, que puede ser utilizados en futuras investigaciones , para analizar el comportamiento de tráfico.
- De la introducción de volúmenes de tráfico por las rutas de viaje en la simulación, se recomienda realizar un estudio de matrices de viajes de la ciudad, para obtener una mejor eficiencia de los distintos proyectos de intersecciones en relación a su red vial.
- El presente trabajo, se desarrolló exclusivamente del diseño geométrico de las intersecciones, se recomienda que se realice el diseño estructural de la intersección a desnivel final, (giros en U elevados)