

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

Debido al crecimiento del parque automotor en la ciudad de Tarija, Se genera un aumento sustancial en la congestión vehicular e índice de accidentabilidad en las principales calles de la ciudad generando contaminación, tiempo de demora, por factores que se deben considerar: como ser la ubicación de señales de tránsito, maniobras de los conductores e intersecciones. En consecuencia, proponer alternativas a las diferentes situaciones problemáticas.

En la ciudad de Tarija predomina el Nivel de Servicio (D y F).

Aramayo determinó que “de los 38 puntos, 8 puntos tienen un nivel de servicio B presentando un flujo estable, 5 puntos tienen un nivel de servicio C presentando un flujo estable, 5 puntos tienen un nivel de servicio D presentando un flujo inestable, 9 puntos tienen un nivel de servicio E presentando un flujo inestable y por último. 11 puntos tienen un nivel de servicio F presentando un flujo forzado” (Aramayo García, 2019)

“La capacidad vehicular y el nivel de servicio en la “Avenida Circunvalación”, a partir de las condiciones de comportamiento actual de la circulación vehicular y el control de semaforización en las rotondas que componen la misma, de manera que se pudo evaluar las condiciones actuales” (Illescas Torrez, 2021)

“Las condiciones existentes de circulación multimodal están saturadas, con longitud de colas largas, con tiempos de demora considerable y niveles de servicio medios en las intersecciones, en las cuales se aprecian demoras por encima de 40 a 50 segundos para las intersecciones más desfavorables, donde predominan niveles de servicio C y D” (Copa Mamani, 2020)

Donde después del análisis se tiene como resultados el Nivel de Servicio para las Rotondas semaforizadas: Del Hito NS (C), Torre Petrolera NS (D), La Hollada NS (D), Juan XXIII NS(B). Rotondas sin semaforización: Del Avión NS (D), Roberto Romero NS (D). (Copa Mamani, 2020)

Para el análisis operacional de la Av. Circunvalación, se debe considerar el uso de la hora pico como base de análisis, que refleja el comportamiento desfavorable e inestable, donde se presentan las colas y congestionamiento vehicular.

El análisis operacional de carretera es un proceso de mayor precisión, que tiene como objetivo comprender y mejorar el funcionamiento del flujo vehicular en dicha vía. Este análisis implica la recopilación y el análisis de los datos recolectados de campo mediante planillas de aforo. Donde se consideran criterios como: la densidad, velocidad media, volumen, capacidad y clasificación (liviano mediano pesado).

A través de técnicas como el aforo vehicular, la simulación de tráfico y el cumplimiento de normativo de diseño, se busca implementar soluciones que permitan una circulación más fluida y una experiencia de conducción más segura, eficiente y confortable, para los usuarios de la carretera.

Es de esta forma, se determinó los puntos de análisis. Los tramos que consisten la Av. Circunvalación, intersecciones Av. Colón, C/Pando, C/Ayoroa C/Marco Araoz, Av. San Bernardo, C/Santa Cruz, Av. 4 de octubre, Av. La Paz, Av. Gran Chaco y Av. Delio Echazú esq. Av. Gamoneda, donde existe un alto índice de accidentes a causa de la incorporación de los vehículos hacia el centro de la ciudad y circulación circundante al Hospital San Juan de Dios y Hospital Obrero.

Por lo cual se dará uso a herramientas de microsimulación (Software VISSIM 23) y la metodología HCM2010. Así de esta manera, se plantearán alternativas, aplicando el uso del simulador, para determinar el escenario más apropiado y dar solución a los puntos de congestión.

## **1.2. Situación problemática**

Un registro de 137.360 vehículos, Tarija es el cuarto departamento con el parque automotor más grande del país, por encima se encuentra Santa Cruz con 873.478, La Paz con 552.898 y Cochabamba con 522.575, esto según información que maneja el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2022) con datos del Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT).

El parque automotor en Bolivia alcanzó a 2.493.753 vehículos el año 2022, cantidad superior en 12,0% a la registrada en 2021, cuando llegó a 2.226.662 unidades.

En el caso de Tarija, en la gestión 2022 el parque automotor alcanzó 137.360 vehículos, en la gestión 2021 la cantidad de motorizados llegó a 125.024 unidades.

Los automóviles particulares representan el 93.0%, los de servicio público 4.7% y los vehículos oficiales 2,3%.

El incremento del parque automotor en la ciudad de Tarija hace que la infraestructura vial sea insuficiente para el volumen de circulación actual. El congestionamiento vehicular excede la capacidad máxima por la cuales fueron diseñados, la detención vehicular en tiempo prologados provoca el aumento de las emisiones las cuales no cumplen con las normas ambientales. Esto ocasiona pérdidas económicas y demoras como así problemas medioambientales

Mamani indica que “el aumento del parque automotor en la ciudad de Tarija en estos últimos años fue del 10.8 %. La tasa de motorización del municipio de Tarija está por encima de la tasa promedio para las zonas urbanas bolivianas (de 170 veh/1000 Hab en el año 2011 a 225 veh/1000 hab en el año 2016), un fuerte incremento del número de vehículos, la evolución del parque automotor de más de una década hasta el año 2016” (Mamani Choque, 2018)

Las maniobras realizadas en las intersecciones como ser: los giros a la izquierda ocasionan el congestionamiento al no poder realizar el tránsito libre.

La falta de señalización horizontal y la mala costumbre de algunos conductores, el no respetar las indicaciones al nivel de circulación de ingreso y salida para una rotonda, la intersección y el cambio de carril genera detención de tránsito.

Niveles de servicio inestables, hacen que llegue a flujos forzados con velocidades bajas.

La necesidad de transportarse hasta sus actividades laborales o educativas hace que la circulación por la Avenida Circunvalación sea de necesidad indispensable.

### **1.2.1. Problema**

¿Qué factores afectan la fluidez del tráfico en la Avenida Circunvalación para realizar un análisis operacional? ¿Ante esta situación, surge la necesidad de explorar alternativas más eficientes y eficaces para la gestión del tránsito? A través de simulaciones, será posible identificar y aplicar soluciones que logren un balance equilibrado en el flujo vehicular, mejorando así la congestión del tráfico.

### **1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema**

Con el pasar de los años y el incremento del parque automotor sumado a la apertura de establecimientos comerciales, desconcentración de comercios minorista, hacen que sea necesario un análisis del comportamiento del tráfico vehicular en la zona, puntos de aglomeración y la búsqueda de sus causantes.

Para realizar el análisis operacional, se hará un levantamiento geométrico de la vía. Un aforo de vehículos que circulan por la misma, la clasificación del tipo de vehículo y la cuantificación porcentual de maniobras dentro de las horas pico.

### **1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema**

Para el análisis operacional de la investigación puede variar según varios factores como ser los patrones de tráfico, las tendencias demográficas y políticas de transporte urbano.

El contexto del análisis operacional de tráfico contempla los siguientes aspectos:

#### **Delimitación temporal**

- **Periodo de Estudio**

**Fecha de Inicio y Fin:** El análisis se llevó a cabo desde julio de 2023 hasta febrero de 2024.

**Horarios de aforo:** Se consideró un aforo de 16:00 horas, comprendidas desde las 06:00 a 22:00 horas para la determinación de la hora pico. Donde los horarios picos fueron (07:00-08:00, 12:00-13:00 y 18:00-19:00) horas.

#### **Delimitación Espacial**

- **Área de Estudio**

**Ubicación:** El área de estudio abarca las Intersecciones críticas de la Avenida Circunvalación.

**Intersecciones Específicas:**

Intersección 1: Avenida Colón

Intersección 2: Calle Pando

Intersección 3: Avenida Ayoroa

Intersección 4: Avenida San Bernardo

Intersección 5: Avenida Santa Cruz

Intersección 6: Avenida 4 de octubre

Intersección 7: Avenida La Paz

Intersección 8: Avenida Romero

Intersección 9: Avenida Gamoneda

Intersección 10: Avenida Monseñor Font

Intersección 11: Avenida Romero

Dado el contexto de la investigación y las dinámicas actuales del tráfico, el desarrollo urbano, un tiempo de vigencia de 3 a 5 años es apropiado cuando en el lapso de tiempo no exista un incremento del 10% del parque automotor. Este período permite capturar cambios significativos en patrones de tráfico y políticas, asegurando que los resultados y recomendaciones del estudio sigan siendo relevantes y útiles para la planificación y gestión del tráfico en la Avenida Circunvalación y sus intersecciones críticas.

### **1.3. Justificación**

Este estudio parte desde la necesidad de determinar el comportamiento vehicular a la movilidad urbana y la eficiencia del tráfico en una intersección vial específica. En un entorno donde el crecimiento urbano y el aumento de la demanda vehicular son una constante, es necesario analizar y evaluar el funcionamiento de circulación vial existente.

En primer lugar, la intersección seleccionada es un punto crítico en la red vial que experimenta congestiones periódicas y un nivel de servicio insatisfactorio. La optimización de esta intersección no solo mejoraría la experiencia de conducción para los usuarios, sino que también tendría un impacto positivo en la fluidez del tráfico circundante. La importancia estratégica de esta ubicación hace que la realización de un

análisis operacional sea esencial para identificar los factores que contribuyen a la congestión y proponer soluciones efectivas.

Además, la elección de utilizar la metodología HCM2010 como referencia se justifica por su reconocimiento internacional y su capacidad para proporcionar pautas confiables en la evaluación de la capacidad y el nivel de servicio de las vías. La norma HCM2010 se adapta a las realidades cambiantes del tráfico moderno para analizar distintos aspectos de una intersección, desde el volumen vehicular hasta la eficacia de la señalización.

La implementación de técnicas de aforo vehicular y la simulación de tráfico con el software PTV VISSIM añade un enfoque práctico y tecnológico al análisis. Estas herramientas permiten recopilar datos precisos y explorar escenarios hipotéticos para evaluar el rendimiento de la intersección bajo diferentes condiciones. Mediante la recopilación y análisis de datos reales, se respalda la validez y la solidez de las conclusiones y recomendaciones propuestas.

La justificación más significativa de este estudio radica en su capacidad para generar mejoras tangibles en la movilidad urbana y la calidad de flujo. Al abordar los puntos críticos de congestión, mejorar el flujo vehicular y aumentar la seguridad en la intersección, se contribuye a la construcción de ciudades más eficientes, sostenibles y habitables. Este análisis se alinea con los objetivos de la planificación urbana inteligente y la optimización de las redes de transporte, lo que lo convierte en un esfuerzo valioso y necesario para el desarrollo urbano de calidad.

#### **1.4. Objetivos**

Para el presente proyecto se toma en consideración los siguientes objetivos:

##### **1.4.1. Objetivo general**

Analizar el comportamiento vehicular en las Intersecciones críticas de la avenida Circunvalación, mediante la Metodología HCM 2010 simultáneamente con la microsimulación de tráfico por software (PTV VISSIM), para determinar los movimientos conflictivos y situaciones que generen aglomeración y brindar así alternativas de circulación al flujo vehicular existente.

#### 1.4.2. Objetivos específicos

- Verificar si la Metodología HCM 2010 se ajusta a Intersecciones Urbanas y Rotondas en nuestro entorno.
- Determinar el Nivel de Servicio según la metodología HCM 2010.
- Determinar el Nivel de Servicio mediante microsimulación por software (PTV VISSIM)
- Recopilar condiciones geométricas para los accesos de las intersecciones específicas.
- Realizar aforos vehiculares para las intersecciones específicas.
- Determinar las áreas de conflicto y movimientos de conflicto.
- Realizar la modelación y simulación del área de conflicto mediante el software PTV VISSIM y así mismo determinar e Nivel de Servicio existente en la misma.
- Comparar de los resultados de simulaciones de la situación actual y su propuesta de mejora.

#### 1.5. Hipótesis

Si se analiza el comportamiento vehicular en las intersecciones críticas de la avenida Circunvalación y se implementan condiciones, restricciones de tráfico adecuadas para el flujo vehicular, entonces se reducirá la aglomeración y las interrupciones de tráfico vehicular durante las horas pico, mejorando así la percepción de seguridad y confort de los conductores, y disminuyendo los tiempos de demora para los vehículos del sector público y privado.

#### 1.6. Operacionalización de las variables

##### 1.6.1. Variable independiente

**Tabla 1.** Variable independiente

| <b>Variable Independiente</b> | <b>Conceptualización</b>                                                                                              | <b>Dimensión</b> | <b>Indicador</b> | <b>Valor/ Acción</b>                               |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|----------------------------------------------------|
| Congestión vehicular          | Es el grado de flujo de tráfico que se reduce debido a la saturación de la vía, manifestado por una disminución en la | Vehículos        | Tiempo de demora | Mejorar condiciones de congestionamiento vehicular |

|  |                                               |  |  |  |
|--|-----------------------------------------------|--|--|--|
|  | velocidad y el incremento del tiempo de viaje |  |  |  |
|--|-----------------------------------------------|--|--|--|

**Fuente:** Elaboración propia

### 1.6.2. Variable dependiente

**Tabla 2.** Variable dependiente

| <b>Variable Dependiente</b> | <b>Conceptualización</b>                                                                                                                                            | <b>Dimensión</b> | <b>Indicador</b> | <b>Valor/ Acción</b> |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|----------------------|
| Capacidad                   | Se refiere a la cantidad máxima de vehículos que pueden pasar por una sección de carretera en un período determinado, por lo general se mide en vehículos por hora. | Vehículos        | veh/h            | Observable           |
| Volumen Vehicular           | Es el número de vehículos que pasan por un punto específico de la vía en un período                                                                                 | Vehículos        | veh/h            | Observable           |
| Nivel de Servicio           | Es un indicador cualitativo que mide cómo los conductores perciben la calidad de su experiencia de conducción en función de la fluidez y la velocidad.              | NS               | -                | Observable           |
| Maniobras de Giro           | Es la frecuencia y el impacto de maniobras de giro, como giros a la izquierda o derecha, en el flujo de tráfico y la congestión.                                    | Maniobra         | -                | Observable           |

**Fuente:** Elaboración propia

### 1.7. Identificación del tipo de Investigación

La investigación tiene un enfoque aplicativo, en línea con los objetivos y naturaleza de la investigación. El análisis se sitúa en el nivel descriptivo.

### 1.8. Unidades de estudio y decisión muestral

#### 1.8.1. Unidad de estudio

La unidad de estudio del presente trabajo son las intersecciones.

### **1.8.2. Población**

La población son todas intersecciones de la Av. Circunvalación desde su inicio en las intersecciones con la Ruta Nacional 1 (Rotonda del mástil 4 de Julio) hasta la intersección con la Av. Fuerza Aérea (Rotonda Estación de Servicio SOINTA)

### **1.8.3. Muestra**

Se seleccionaron 11 intersecciones donde se presenta un comportamiento conflictivo dentro de las horas pico. Se eligieron intersecciones que representan diferentes configuraciones de señalización y tipos de tráfico, asegurando así una muestra diversa y representativa del comportamiento de tráfico en esta arteria principal. Donde las horas pico seleccionadas (07:00 - 08:00, 12:00 - 13:00, 18:00 - 19:00) fueron identificadas como momentos de máxima congestión basados en aforos de campo y observaciones in situ como usuario frecuente la avenida Circunvalación. Con esta selección se garantiza que el análisis de las características propias y representativas en la avenida Circunvalación, proporcionan una base del comportamiento para recomendaciones efectivas en la gestión de tráfico urbano.

### **1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo**

La selección de las técnicas de muestreo de este estudio se basó en garantizar la representatividad de las condiciones de tráfico observadas en la avenida Circunvalación durante las horas pico (07:00 - 08:00, 12:00 - 13:00, 18:00 - 19:00). Se optó por un método de muestreo no probabilístico intencional, seleccionando estratégicamente 11 intersecciones críticas que exhiben patrones significativos de congestión vehicular (maniobras). Cada intersección fue elegida debido a su diversidad en términos de configuración de señalización, tipos de tráfico y áreas circundantes, asegurando así una representatividad del comportamiento general de la avenida Circunvalación.

- a) Muestreo no Probabilístico Intencional:** Este enfoque permitió seleccionar intersecciones específicas que muestran consistentemente comportamientos conflictivos durante las horas pico, para la determinación de la muestra se decidió utilizar un tipo de muestreo no probabilístico (Meléndez Maynor, 1995)

- b) Representatividad de las Condiciones de Tráfico:** Cada intersección elegida representa diferentes escenarios de tráfico, desde zonas residenciales hasta áreas comerciales, proporcionando una visión amplia de los desafíos enfrentados en la avenida Circunvalación.
- c) Consistencia y Fiabilidad:** A través de la observación directa y el análisis histórico de datos, se confirmó la consistencia en los patrones de congestión vehicular, validando así la relevancia de las intersecciones seleccionadas para el estudio.
- d) Aplicabilidad de los Resultados:** Los hallazgos obtenidos de estas intersecciones son aplicables para informar estrategias efectivas de gestión del tráfico en áreas urbanas similares, destacando la utilidad práctica de la muestra seleccionada.

## **1.9. Métodos y técnicas empleadas**

### **1.9.1. Métodos**

**Empírico:** Para la elaboración del proyecto se realizará un aforo manual, y el apoyo de grabaciones de campo para una lectura con mayor precisión. Aplicando técnicas manuales, levantamiento de datos en planillas. Recolección de datos de los puntos de estudio, geometría de la vía, a fin de contener todas las condiciones mínimas para una vez ejecutada la metodología HCM 2010 se logre determinar el Nivel de Servicio, evaluar los resultados dentro de un simulador de tráfico (PTV VISSIM 23) de forma que se pueda encontrar un planteamiento para mejorar la condición actual y de ser posible según las medidas ejecutadas estabilizar el tránsito de los puntos de estudio.

### **1.9.2. Técnicas**

#### **Investigación de campo:**

- a) Aforo manual:** Esta técnica implica la observación directa de un observador que cuenta manualmente los vehículos que pasan por un punto de observación durante un período de tiempo determinado. Se pueden utilizar registros en papel mediante el uso de planillas o dispositivos electrónicos para registrar los datos de manera precisa.
- b) Aforo por medio de video-grabación:** Las cámaras de video se utilizan para registrar el flujo de tráfico en un punto específico. Los videos se pueden revisar manualmente

o utilizar técnicas de procesamiento de imágenes para contar y analizar los vehículos que pasan por el área de estudio.

#### **Planilla tabulada de aforo:**

Una planilla de aforo de vehículos es un documento o formato utilizado para recopilar y registrar los datos de aforo vehicular durante un estudio o conteo de tráfico. Esta planilla generalmente incluye columnas o campos específicos para capturar información relevante sobre los vehículos que pasan por el punto de observación.

Algunos elementos comunes que se pueden encontrar en una planilla de aforo de vehículos incluyen:

- **Fecha y hora:** Se registra la fecha y el momento exacto en que se realiza el conteo de vehículos.
- **Tipo de vehículo:** Se indica el tipo de vehículo, como automóviles, motocicletas, camiones, autobuses, etc.
- **Maniobra:** Se anota la maniobra en la que se mueve cada vehículo, como entrada, salida.
- **Velocidad:** Se registra la velocidad de cada vehículo en el momento del conteo, si es posible.

#### **1.10. Procesamiento de la información**

La metodología para determinar el nivel de servicio en intersecciones incluye los siguientes pasos generales:

- a) Establecer los flujos de tráfico:** Determinar la cantidad y tipo de vehículos que pasan por la intersección en un período de tiempo determinado.
- b) Calcular la capacidad de la intersección:** Estimar la cantidad de vehículos que la intersección puede manejar en condiciones ideales.
- c) Determinar Niveles de Servicio y Capacidades:** Mediante la metodología HCM2010.
- d) Asignar el nivel de servicio:** Comparar el retraso experimentado con los valores de referencia para cada nivel de servicio y asignar el nivel de servicio apropiado

Preparación previa para la aplicación de instrumentos:

Planillas de aforo con el levantamiento del aforo vehicular.

Condiciones geométricas de los puntos de control. Ancho de calzada, berma.

### **1.11. Alcance de la investigación**

Esta investigación se enfoca en un análisis operacional exhaustivo de una intersección vial específica en relación con la circulación vehicular y la movilidad urbana. El alcance de esta investigación abarca los siguientes aspectos clave:

1. **Recopilación de Datos:** Se llevará a cabo un aforo vehicular detallado y preciso utilizando técnicas de conteo de tráfico. Esto permitirá la obtención de datos cuantitativos sobre el volumen vehicular, patrones de demanda, velocidades y maniobras de giro en la intersección.
2. **Evaluación de Capacidad y Nivel de Servicio:** Se empleará la metodología HCM2010 como referencia para evaluar la capacidad y el nivel de servicio de la intersección. Se determinará cómo el flujo vehicular se compara con los estándares establecidos en la norma, identificando áreas de mejora y puntos críticos de congestión.
3. **Análisis de Maniobras de Giro:** Se investigará específicamente el impacto de las maniobras de giro a la izquierda en la eficiencia del tráfico en la intersección. Se evaluará si estas maniobras contribuyen a la congestión y se propondrán soluciones potenciales, como restricciones de giro.
4. **Efectividad de la Señalización:** Se analizará la eficacia de la señalización horizontal y vertical en la intersección. Esto incluirá la evaluación de la legibilidad, ubicación y claridad de las señales, y se propondrán ajustes si es necesario.
5. **Simulación de Tráfico:** Se empleará el software PTV Vissim para realizar simulaciones de tráfico y explorar diferentes escenarios hipotéticos. Esto permitirá identificar posibles soluciones de diseño y señalización que puedan mejorar la fluidez y eficiencia del tráfico.
6. **Propuestas de Mejora:** Basándose en los datos recopilados, el análisis y las simulaciones, se propondrán soluciones y recomendaciones concretas para optimizar la intersección. Estas soluciones podrían incluir ajustes geométricos, restricciones de giro, modificaciones en la señalización y mejoras en el flujo vehicular.

**CAPÍTULO II**

**ASPECTOS GENERALES DEL**

**ANÁLISIS OPERACIONAL DE**

**TRÁFICO**

## **CAPÍTULO II**

### **ASPECTOS GENERALES DEL ANÁLISIS OPERACIONAL DE TRÁFICO**

#### **2.1. Aspectos Generales**

El análisis operativo de tráfico es fundamental para la ingeniería de tráfico transporte y planificación urbana ya que se encarga de evaluar y comprender el funcionamiento de los sistemas viales y el tráfico. Para de esta forma analizar los resultados de un análisis en la toma de decisiones.

##### **2.1.1. Ingeniería de tráfico**

La ingeniería de tráfico es una disciplina de la ingeniería civil que se enfoca en el diseño, planificación y gestión de sistemas de transporte y tráfico con el objetivo de mejorar la movilidad, la seguridad vial y la eficiencia del desplazamiento de personas en las vías y carreteras. Esta disciplina abarca desde el análisis y diseño de intersecciones y vías urbanas hasta la implementación de sistemas de gestión de tráfico, utilizando herramientas como la microsimulación, la gestión de datos y la aplicación de normativas de comportamiento vial.

Desde el planteamiento de (Cal y Mayor & Cardenas, 2018) “En los últimos años, con el aumento cada vez mayor del parque vehicular, la circulación en las calles y carreteras se ha tornado más compleja, motivo por el cual, cobra gran importancia la realización de análisis de planeamiento, proyecto y de operación, más detallados de los sistemas viales, donde es precisamente la ingeniería de tránsito, aquella rama de la ingeniería, la llamada a tratar estos aspectos.”

##### **2.1.2. Estudio de tráfico**

El estudio de tráfico es el análisis y comprensión de cómo se mueven los vehículos, los peatones y otros medios de transporte en una red de carreteras, calles o vías públicas. Este estudio implica la recopilación y análisis de datos de tráfico, incluyendo la cantidad de vehículos que pasan por un punto determinado en un momento dado, la velocidad a la que se mueven los vehículos, el tiempo que tardan en recorrer un tramo de carretera y las condiciones de tráfico en general.

El tráfico se refiere al movimiento de vehículos, peatones y otros medios de transporte en una red vial. El tráfico puede ser vehicular o peatonal, y se puede medir y analizar de diversas maneras, como la cantidad de vehículos que pasan por un punto en un momento dado, la velocidad a la que se mueven los vehículos y la densidad del tráfico en una determinada zona

El tráfico puede ser influenciado por muchos factores, como las condiciones meteorológicas, la hora del día, la ubicación geográfica, los eventos especiales, el número de usuarios de la vía pública, la calidad de la infraestructura vial, entre otros. El tráfico también puede tener diferentes patrones, como el tráfico de hora pico en la ciudad, el tráfico turístico en zonas vacacionales, el tráfico de camiones en las carreteras de transporte de carga, etc.

El tráfico puede ser problemático en términos de congestión, accidentes, tiempos de viaje prolongados, altos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación acústica, entre otros. Es por eso que la ingeniería de tráfico se enfoca en la planificación, diseño, gestión y control de la infraestructura vial y del tráfico para mejorar la movilidad y la seguridad vial, al mismo tiempo que se busca reducir los efectos negativos del tráfico en el medio ambiente y la calidad de vida de las personas. (Thomson & Bull, 2001)

### **2.1.3. Herramienta de análisis del tráfico y categorías de modelos**

Según el Manual de capacidad de carreteras (HCM 2010) las herramientas para un análisis de tráfico se tienen las siguientes categorías de modelos de análisis de tráfico.

- **Herramientas de planificación de Croquis:** Producen estimaciones generales del orden de magnitud de la demanda de viajes y del rendimiento del sistema de transporte en diferentes alternativas de mejora del sistema de transporte.
- **Modelos de demanda de viajes:** Prevén la demanda futura de viajes a largo plazo basándose en las condiciones actuales y en proyecciones de características socioeconómicas y cambios en el diseño del sistema de transporte.
- **Las herramientas analíticas deterministas basadas en el HCM:** Predicen rápidamente la capacidad, la densidad, la velocidad, las demoras y las colas en diversas instalaciones de transporte.

- **Las herramientas de optimización de señales de tráfico:** Están diseñadas principalmente para desarrollar planes óptimos de sincronización de señales para intersecciones señalizadas aisladas, calles arteriales o redes de señales.
- **Los modelos de simulación macroscópica:** Se basan en las relaciones deterministas del flujo, la velocidad y la densidad de la corriente de tráfico.
- **Los modelos de simulación microscópica:** Simulan el movimiento de vehículos individuales basándose en las teorías de seguimiento de vehículos y cambio de carril.
- **Los modelos mesoscópicos:** Combinan las propiedades de los modelos de simulación microscópicos y macroscópicos.
- **Los modelos híbridos:** Emplean simultáneamente modelos microscópicos y mesoscópicos. Estas herramientas están pensadas para aplicarse a redes muy extensas que contienen subredes críticas conectadas por varios kilómetros de instalaciones esencialmente rurales. La modelización microscópica se aplica a las subredes críticas, mientras que las instalaciones de conexión se modelizan a nivel mesoscópico o macroscópico. Los modelos regionales de evacuación son un ejemplo típico de aplicación de modelos híbridos.

#### **2.1.4. Análisis Operacional**

Un análisis operacional en ingeniería de tráfico se refiere a la evaluación detallada y sistemática de funcionamiento actual de una vía o un sistema de transporte en término de su capacidad, flujo vehicular, velocidad, niveles de servicio y eficiencia. Este tipo de análisis se centra en comprender cómo los usuarios interactúan con la infraestructura vial y como los vehículos se mueven a lo largo de la red en condiciones realistas.

Según la HCM2010 indica que “Dependiendo de las particularidades de un lugar y un análisis determinados, las longitudes de las colas, las relaciones entre demanda y capacidad, las velocidades medias de viaje, los indicadores de seguridad y otras medidas de rendimiento pueden ser igual o incluso más importantes, independientemente de, si se mencionan específicamente en una norma de un organismo” (HCM, 2010, Capítulo 8)

### 2.1.5. Rendimiento del tráfico vehicular

El rendimiento de tráfico vehicular se refiere a la medida de eficiencia y fluidez con la que los vehículos se desplazan a lo largo de una vía o sistema de transporte en un periodo de tiempo determinado. Esta medida evalúa la capacidad de la infraestructura vial para mantener un flujo de tráfico de manera eficiente y segura. Así como la experiencia de los usuarios.

### 2.1.6. Dispositivos para el control tránsito

Los dispositivos de control de tráfico son elementos físicos o sistemas utilizados para regular y gestionar el flujo de vehículos y peatones en carreteras y vías públicas. Estos dispositivos desempeñan un papel crucial en la seguridad vial y en la gestión eficiente del tráfico. Aquí te presento algunos de los dispositivos de control de tráfico más comunes.

#### 2.1.6.1. Clasificación de los dispositivos de control

Se denominan dispositivos para el control del tránsito a las señales, marcas, semáforos y cualquier otro dispositivo, que se colocan sobre o adyacente a las calles y carreteras por una autoridad pública, para prevenir, regular y guiar a los usuarios de las mismas. Los dispositivos de control indican a los usuarios las precauciones (prevenciones) que deben tener en cuenta, las limitaciones (restricciones) que gobiernan el tramo en circulación y las informaciones (guías) estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de la calle o carretera.

Los dispositivos para el control del tránsito en calles y carreteras se clasifican en:

#### 2.1.6.2. Señales Horizontales

Según (Asociación Argentina de Carreteras, 2013), las marcas viales o demarcación horizontales son las señales de tránsito aplicadas sobre la calzada, con la finalidad de **guiar** el tránsito vehicular, **regular** la circulación y advertir determinadas circunstancias. La regulación incluye la **transmisión de órdenes** y/o **indicaciones de zonas prohibidas**.

- **Líneas longitudinales:** Son aquellas que se ubican en forma paralela al eje de la carretera. Suministran una guía “positiva” al delinear al usuario de la carretera, los límites de las áreas de la calzada donde es seguro circular. Asimismo, suministra una

guía “negativa”; esto es, indica áreas donde no es seguro viajar o directamente donde está prohibido circular.

- Líneas de borde de pavimento
  - Líneas de eje
  - Líneas de carril
  - Demarcación de bermas pavimentadas
  - Demarcación de canalización
  - Demarcación de aproximación a obstrucciones
  - Demarcación de líneas de estacionamiento
- **Líneas transversales:** Son las que se ubican en forma perpendicular al eje de la carretera. Se emplean para indicar sectores de reducción de velocidad ante un punto de riesgo (curva peligrosa, cruce, empalme) y para indicar la existencia de líneas límites, entendiendo por tales, las líneas que no pueden ser sobrepasadas sin efectuar una acción en relación al derecho de paso.
    - Demarcación de líneas de “pare”
    - Demarcación de pasos peatonales
  - **Símbolos y Leyendas:** Los símbolos en la señalización horizontal son elementos gráficos que se utilizan para transmitir información importante a los conductores en la carretera de una manera visual y rápida. Estos símbolos suelen estar pintados en el pavimento y tienen un significado específico que los conductores deben entender y seguir.
  - **Otras demarcaciones:** Son aquellas que, por su singular conformación física tanto en planta como en alzada, constituyen un subtipo aún más diferenciado dentro de las marcas especiales. La singularidad en planta es tal que estas marcas, se ubican tanto en forma perpendicular, como paralela a la carretera, y hasta oblicuas.
    - Demarcación de carriles exclusivos para buses
    - Flechas

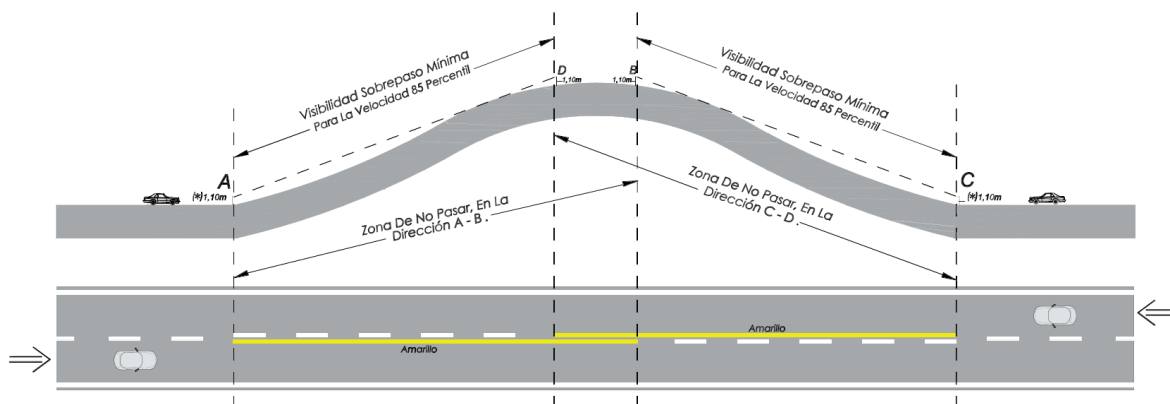
### **Condiciones**

Las demarcaciones deben ser uniformes en su **diseño, posición y aplicación.**

Es necesaria su uniformidad a fin de que puedan ser reconocidas y entendidas instantáneamente por los usuarios de la vía.

El atributo principal de toda Marca Vial es que debe ser visible tanto durante la circulación diurna como nocturna, así como ante limitaciones atribuibles a condiciones ambientales adversas, como lluvia o niebla. En tal sentido, todas las Señalizaciones Horizontales en uso de la Red Nacional de Caminos deben ser reflectivas.

**Figura 1. Detalle de Curva Vertical Pronunciada**



**Fuente:** Manual de Señalamiento Horizontal-Vialidad Nacional Arg.

### 2.1.6.3. Señales Verticales

El concepto dado por (Asociación Argentina de Carreteras, 2017) conceptualiza como, las señales verticales son señales de tránsito colocadas al costado del camino (laterales) o elevadas sobre la calzada, mediante pórticos o ménsulas (aéreas), con la finalidad de **guiar** el tránsito, **regular** la circulación, y **advertir** determinadas circunstancias. La regulación incluye la transmisión de órdenes, y/o restricciones de distinta índole, entre las cuales:

- **Señales Preventivas (SP):** Su propósito es advertir a los usuarios la existencia y naturaleza de riesgos y/o situaciones imprevistas presentes en la vía o en sus zonas adyacentes.

Señales Preventivas que consideran otros colores además del amarillo y el negro:

- SP-34. Semáforo (amarillo, negro, rojo y verde)
- SP-35. Prevención de pare (amarillo, negro, rojo y blanco)
- SP-36. Prevención de ceda el paso (amarillo, negro, rojo y blanco)

**Figura 2.** Señal Preventiva - Giro ala Derecha



**Tabla 3.** Longitud de lado para señales preventivas

| Lado (mm) | Velocidad Máxima Permitida (km/h) |
|-----------|-----------------------------------|
| 600       | $\leq 50$                         |
| 800       | 60-70                             |
| 1000      | 80-90                             |

**Fuente:** Manual de Carreteras ABC

- **Señales Restrictivas (SR).** Tienen por finalidad notificar a los usuarios de las vías las prioridades en el uso de las mismas, así como las prohibiciones, restricciones, obligaciones y autorizaciones existentes. Su transgresión constituye infracción a las normas del tránsito.

**Figura 3.** Señal Restrictiva

Prohibido estacionar



**Tabla 4.** Distancia mínima de visibilidad para señales restrictivas

| Velocidad máxima vía principal (km/h) | Distancia mínima de visibilidad "y" (m) |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| >90                                   | Usar señal PARE                         |
| 90                                    | 180                                     |
| 80                                    | 140                                     |
| 70                                    | 120                                     |
| 60                                    | 90                                      |
| 50                                    | 70                                      |

**Fuente:** Manual de Carreteras ABC

**Tabla 5.** Dimensiones de ancho y alto para señales restrictivas

| Ancho (mm) | Alto (mm) | Velocidad Máxima Permitida (km/h) |
|------------|-----------|-----------------------------------|
| 600        | 800       | ≤50                               |
| 700        | 1000      | 60-70                             |
| 1000       | 1400      | 80-90                             |
| 1200       | 1600      | >100                              |

**Figura 4.** Señal Restrictiva PARE



**Figura 5.** Señal Restrictiva CEDA EL PASO



**Fuente:** Manual de Carreteras ABC

- **Informativas (SI):** Las señales informativas tienen como propósito orientar y guiar a los usuarios a través de la zona de trabajos, entregándoles la información necesaria para que puedan transitar por ella de la forma más segura, simple y directa posible.

**Figura 6.** Señal Informativa Aeropuerto



**Figura 7.** Señalización Informativa de Dirección en vías urbanas



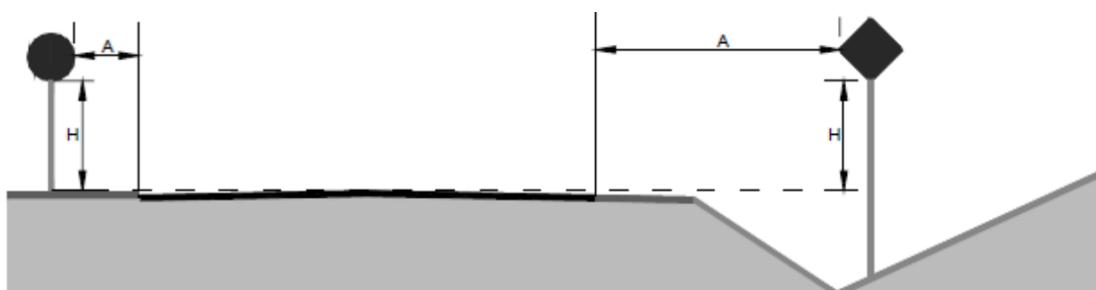
**Fuente:** Manual de Carreteras ABC

## Ubicación lateral

La ubicación lateral de una señal vertical, dependerá de la distancia, medida desde el **borde de la calzada**, a la cual será instalada. Para esto, es importante tener presente que el conductor de un vehículo tiene una visibilidad en la forma de un cono de proyección, el que se abre en un ángulo de alrededor de  $10^\circ$  con respecto a su eje visual. Por lo tanto, se deberá asegurar que la señal quedará instalada en esa zona. Bajo ninguna circunstancia se podrá instalar una señal sobre la berma cuidando, además, que el borde de la placa más cercano a la calzada, no invada la zona correspondiente a ésta.

Para una mejor interpretación de la ubicación lateral de una señal vertical, tanto en distancia desde la calzada como en altura, se incluye a continuación la figura 8 y tabla 6

**Figura 8.** Ubicación transversal de señales verticales (distancia y altura)



**Tabla 6.** Ubicación transversal de señales verticales (distancia y altura)

| Tipo de Vía  | A(m)   | H(m)   |        |
|--------------|--------|--------|--------|
|              | Mínimo | Mínimo | Máximo |
| Carreteras   | 2.0    | 1.5    | 2.2    |
| Camino       | 1.5    | 1.5    | 2.2    |
| Vías Urbanas | 0.6    | 2.0    | 2.2    |

**Fuente:** Manual de Carreteras ABC

## Condiciones

El señalamiento vertical debe ser uniforme en su **diseño, posición y aplicación**. Es necesaria su uniformidad a fin de que las señales sean reconocidas y entendidas instantáneamente por los usuarios de la vía; esto es, fácil para leer, fácil para entender.

Los dispositivos del sistema de señalamiento vertical que salgan de uso por un cambio en las condiciones o restricciones de circulación, deberán ser retirados o bien cubiertos cuando dichas condiciones sean transitorias, respectivamente.

### **Atributos**

Las señales deben poseer ciertos atributos que ofrezcan garantías de que los usuarios las reconozcan, las entiendan, sean respetadas, y en consecuencia reduzcan la posibilidad de demandas. Los atributos son:

- **Necesidad:** Que su contenido e instalación resulten **imprescindibles**.
- **Conspicuidad:** Que **llamen la atención** del usuario.
- **Claridad:** Que sean **leídas y comprendidas** inequívocamente.
- **Visibilidad:** Que sean **visibles**, con la debida antelación para poder responder.
- **Respetabilidad:** Que **infundan respeto**.
- **Conciso.** El mensaje debe ser lo más **breve y claro** posible.

#### **2.1.6.4. Semáforos**

Son dispositivos de control de tráfico utilizados en intersecciones y cruces viales para regular el flujo de vehículos y peatones de manera segura y ordenada.

- Semáforos no accionados por el tránsito (de tiempo fijo).
- Semáforos accionados por el tránsito.
- Semáforos para pasos peatonales.
- Semáforos especiales.

#### **2.1.7. Dispositivos para protección de obras**

Son elementos esenciales utilizados en la gestión del tráfico en zonas de construcción o mantenimiento de carreteras y vías públicas con el objetivo principal de garantizar la seguridad de los trabajadores y de los conductores que circulan por esas áreas

- Señales horizontales: rayas, símbolos, marcas vialetas y botones.
- Señales verticales: preventivas, restrictivas, informativas y diversas.
- Barreras levadizas.
- Barreras fijas.

- Conos.
- Tambos.
- Dispositivos luminosos.
- Señales manuales.

#### **2.1.8. Dispositivos de seguridad**

Los dispositivos de seguridad en el contexto del tráfico y la ingeniería vial se refieren a una amplia gama de elementos físicos y tecnológicos diseñados para proteger a los usuarios de la carretera y mejorar la seguridad en las vías públicas.

- Barreras de protección.
- Alertadores de salida de la vialidad.
- Amortiguadores de impacto

#### **Requisitos fundamentales para el control del tránsito:**

- Satisfacer una necesidad importante para la circulación vial.
- Llamar la atención de los usuarios que transitan por carreteras y calles.
- Transmitir un mensaje claro y conciso al usuario.
- Imponer respeto a los usuarios de las calles y carreteras.
- Estar ubicado en el lugar apropiado con el fin de dar tiempo al usuario para reaccionar

#### **También deben cumplir los siguientes requisitos técnicos:**

- **Forma:** Cada tipo de señal debe tener asociada una forma o conjunto de formas para facilitar al usuario la interpretación de los mensajes que se pretende transmitir.
- **Color:** Para cada tipo de señal, debe existir un color característico de los elementos que componen a la señalización.
- **Dimensiones:** Se deben asociar al tipo de vialidad donde se instalan.
- **Reflexión:** Toda la señalización debe cumplir con un nivel de reflexión para que durante los periodos de baja visibilidad, pueda ser claramente observada.

Para asegurarse que los dispositivos de control sean efectivos, entendibles y satisfagan los requisitos fundamentales anteriores. Estos factores son:

- **Diseño:** La combinación de las características tales como forma, tamaño, color, contraste, composición, iluminación o efecto reflejante, deberán llamar la atención del usuario y transmitir un mensaje simple y claro.
- **Ubicación:** El dispositivo de control deberá estar ubicado dentro del cono visual del conductor, para llamar la atención, facilitar su lectura e interpretación, de acuerdo con la velocidad de su vehículo y dar el tiempo adecuado para una respuesta apropiada.
- **Uniformidad:** Los mismos dispositivos de control o similares deberán aplicarse de manera consistente, con el fin de encontrar igual interpretación de las situaciones que se presentan en las vialidades a lo largo de una ruta.
- **Conservación:** Los dispositivos deberán mantenerse física y funcionalmente conservados, esto es, limpios, legibles y visibles, lo mismo que deberán colocarse o retirarse tan pronto como se vea la necesidad de ello. (Cal y Mayor & Cardenas, 2018, pp. 140-141)

## 2.2. Modos de Viaje

Se refieren a las diferentes formas en que las personas y mercancías se desplazan de un lugar a otro. En el ámbito de la ingeniería de tráfico y la planificación del transporte.

### 2.2.1. Automóvil

El modo automóvil incluye todo el tráfico de vehículos de motor que utilizan una carretera excepto los vehículos de tránsito. Por lo tanto, los camiones, los vehículos recreativos, las motocicletas y los autobuses turísticos se consideran miembros del modo automóvil a efectos del análisis del HCM.

Ciertos tipos de vehículos (por ejemplo, camiones y vehículos recreativos) tienen características operativas diferentes de las de los automóviles privados. estas características se tienen en cuenta en las metodologías del HCM.

### 2.2.2. Peatones

El modo peatonal consiste en que los viajeros a lo largo de una vía o instalación peatonal realicen un trayecto (o al menos parte de él) a pie. Los peatones caminan a diferentes velocidades, en función de su edad, su capacidad y las características del entorno (por

ejemplo, las pendientes y el clima). Las aceras y los caminos pueden ser utilizados no sólo por el tráfico peatonal.

### **2.2.3. Bicicletas**

El modo bicicleta consiste en viajeros en una carretera o vía que utilizan una bicicleta no motorizada para su viaje; los umbrales de NS (LOS) para bicicletas reflejan su perspectiva. Los ciclomotores y los patinetes motorizados no se consideran bicicletas a efectos del análisis.

### **2.2.4. Tránsito**

Las vías urbanas suelen compartirse con autobuses de transporte público y, ocasionalmente, con vehículos de transporte ferroviario como tranvías y trenes ligeros. Las ediciones anteriores del HCM han proporcionado una cobertura relativamente amplia del modo de tránsito. La medida de los Niveles de Servicio para el tránsito en vías urbanas refleja la perspectiva de los usuarios del tránsito, tanto los que ya están en los vehículos de tránsito que circulan por la vía como los que esperan a los vehículos de tránsito en las paradas o estaciones de la vía.

## **2.3. Vehículo**

El (Reglamento del Código Nacional de Tránsito, 1978) menciona en el artículo 7 que un vehículo es todo medio de transporte para personas, semovientes o cosas por una vía terrestre. Los vehículos motorizados son los que se mueven mediante energía generada en ellos mismos.

### **2.3.1. Clasificación de vehículos**

Expresa en porcentaje la participación que le corresponde en el tráfico promedio diario a las diferentes categorías de vehículos, debiendo diferenciarse por lo menos las siguientes:

- **Vehículos livianos:** Automóviles, Camionetas hasta 1500 kg
- **Locomoción Colectiva:** Buses Rurales e interurbanos
- **Camiones:** Unidad Simple para Transporte de Carga.
- **Camión con Semirremolque o Remolque:** Unidad Compuesta para Transporte de Carga.

Según sea la función del camino la composición del tránsito variará en forma importante de una a otra vía. En países en vías de desarrollo la composición porcentual de los distintos tipos de vehículos suele ser variable en el tiempo. (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007, Capítulo 1)

### **2.3.2. Característica de los vehículos**

Los vehículos que circulan por las carreteras influyen en el diseño fundamentalmente desde dos puntos de vista: velocidad que son capaces de desarrollar y dimensiones que le son propias.

**Los vehículos livianos:** Automóviles y similares, determinan las velocidades máximas a considerar en el diseño, así como las dimensiones mínimas, ellas participan en la determinación de las distancias de visibilidad de frenado y adelantamiento.

**Los vehículos pesados:** Camiones de diversos tipos, y en menor medida los buses, experimentan reducciones importantes en su Velocidad de Operación cuando existen tramos en pendiente. La necesidad de limitar estas reducciones de velocidad determina la longitud y magnitud aceptable de las pendientes.

Las dimensiones de estos vehículos: largo, ancho y alto, influyen en gran medida diversos elementos de la sección transversal y determinan los radios mínimos de giro, los ensanches de la calzada en curva y el gálibo vertical bajo estructuras. Las dimensiones consideradas para el diseño y los radios de giro mínimos. (Administradora Boliviana de Carreteras, 2007)

### **2.4. Condiciones de funcionamiento para automóviles**

La Tabla 7 muestra los tipos de instalaciones para automóviles contemplados en el HCM2010, que se dividen en dos categorías principales: instalaciones de flujo ininterrumpido, en las que el tráfico no tiene causas fijas de retraso o interrupción más allá del flujo de tráfico, e instalaciones de flujo interrumpido, en las que el control del tráfico, como los semáforos y las señales de PARE, introducen retrasos en el flujo de tráfico.

**Tabla 7.** Tipos de instalaciones para automóviles



a) Carretera



b) Carretera de varios carriles



c) Carretera de dos carriles



d) Carretera urbana

**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)

#### 2.4.1. Flujo ininterrumpido

Se refiere al movimiento continuo de vehículos a lo largo de una vía o carril, sin detenerse debido a señales de tráfico, intersecciones o cualquier otro factor que cause una interrupción en su movimiento. (HCM, 2010, Capítulo 3)

El flujo ininterrumpido se da cuando los vehículos pueden mantener una velocidad constante a lo largo de una determinada distancia, sin la necesidad de detenerse o reducir drásticamente su velocidad debido a obstáculos o condiciones adversas. Un ejemplo común de flujo ininterrumpido es cuando los vehículos circulan por una autopista con poca congestión y donde no hay intersecciones ni señales de tráfico que requieran detenerse.

La capacidad de mantener un flujo ininterrumpido depende de varios factores, como el diseño geométrico de la vía, la velocidad permitida, el volumen de tráfico

y la presencia de factores externos como condiciones climáticas adversas o incidentes en la vía. En términos de análisis de capacidad y nivel de servicio, el flujo ininterrumpido se considera como una condición óptima y deseable en la operación del tráfico vehicular.(HCM, 2010, pp. 3-13)

#### **2.4.2. Flujo interrumpido**

Se refiere a la situación en la que el movimiento de vehículos a lo largo de una vía o carril se ve afectado por factores que causan detenciones temporales o reducciones significativas en la velocidad de los vehículos. En otras palabras, en un flujo interrumpido, los vehículos no pueden moverse de manera continua y constante debido a la presencia de señales de tráfico, intersecciones, semáforos, congestionamientos u otros eventos que requieren detenerse o disminuir la velocidad.

El flujo interrumpido se caracteriza por momentos de aceleración y desaceleración, así como por la necesidad de detenerse en intervalos regulares debido a condiciones del tráfico o infraestructura vial. Esto puede resultar en una reducción en la capacidad de la vía y en una menor eficiencia en términos de fluidez y tiempos de viaje.(HCM, 2010, pp. 3-13)

#### **2.5. Flujo vehicular**

Se refiere a la cantidad de vehículos que pasan por un punto específico de una vía en un período de tiempo determinado. Esta medida es esencial para comprender y evaluar la capacidad y el rendimiento de una vía o sistema de transporte, así como para tomar decisiones informadas sobre diseño, planificación y gestión del tráfico.(HCM, 2010, pp. 3-14)

Algunas de las características fundamentales del flujo vehicular, representadas en sus tres variables principales: el flujo, la velocidad y la densidad. Mediante la deducción de relaciones entre ellas, se puede determinar las características de la corriente de tránsito, y así predecir las consecuencias de diferentes opciones de operación o de proyecto. De igual manera, el conocimiento de estas tres variables reviste singular importancia, ya que éstas indican la calidad o Nivel de Servicio

experimentado por los usuarios de cualquier sistema vial. A su vez, estas tres variables pueden ser expresadas en términos de otras, llamadas variables asociadas. El volumen, el intervalo, el espaciamiento, la distancia y el tiempo.

Las tres características principales que se pueden explicar matemáticamente por (Mozo Sánchez, 2011) son:

- El volumen o intensidad de tránsito.
- La densidad
- La velocidad

El flujo vehicular se expresa generalmente en vehículos por hora (veh/h) y puede variar significativamente según el tipo de vía, la hora del día y las condiciones del tráfico. Se clasifica en tres categorías principales:

#### **2.5.1. Volumen o intensidad de tránsito (Q)**

Se define como la frecuencia a la cual pasan los vehículos por un punto o sección transversal de un carril o calzada, durante un período de tiempo determinado. La unidad de medida de esta variable puede ser expresada en vehículos o vehículos por unidad de tiempo.

El volumen se calcula mediante la siguiente expresión:

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

Ecuación 1

Donde:

Q = Volumen de tránsito

N = Número de vehículos

T = Tiempo

De acuerdo con el intervalo de tiempo, se establecen diferentes tipos de volúmenes de tránsito:

- **Tasa de flujo o flujo (q):** Se define como el número total de vehículos que pasan cuando el intervalo de tiempo es menor a una hora.  $T < 1$  hora.

- **Tránsito horario (TH):** Se define como el número total de vehículos que pasan cuando el intervalo de tiempo es igual a una hora.  $T = 1$  hora.
- **Tránsito diario (TD):** Se define como el número total de vehículos que pasan en un intervalo de tiempo igual a un día.  $T = 1$  día.
- **Tránsito semanal (TS):** Se define como el número total de vehículos que pasan en un intervalo de tiempo igual a una semana.  $T = 1$  semana.
- **Tránsito mensual (TM):** Se define como el número total de vehículos que pasan en un intervalo de tiempo igual a un mes.  $T = 1$  mes.
- **Tránsito anual (TA):** Se define como el número total de vehículos que pasan en un intervalo de tiempo igual a un año.  $T = 1$  año.
- **Tránsito Promedio diario (TPD):** Es la cantidad de vehículos que circulan por una sección en un periodo de tiempo definido de un día, recibe la denominación de promedio cuando se hace un estudio por un tiempo mayor a un mes donde se repiten necesariamente los mismos días y aún más cuando el estudio se a realizar durante un periodo de un año o más, este valor viene a representar el TPD anual (TPDA)
- **Tránsito Promedio Horario (TPH):** La cantidad de vehículos que circulan por una carretera o calle en un espacio o tiempo determinado de una hora es el TPH, ese valor es mucho más sensible que el TPD, es decir el TPH nos puede dar valores de variación horaria donde se puede identificar las variaciones de volumen que se producen en cada hora a lo largo del día.

### 2.5.2. Densidad vehicular

Es cantidad de vehículos que circulan por una vía por una unidad de longitud normalmente, este parámetro puede ser determinado o medido en el caso que sea determinado en base a los dos parámetros anteriores velocidad y volumen teniendo la relación:

La densidad se expresa en términos de vehículos por kilómetro y medio por carril y se suele considerar un indicador inequívoco de congestión, reconocido como un indicador inequívoco de la congestión. La densidad se utiliza como determinante de NS(LOS) A a E para segmentos de autopistas y carreteras multicarril. Es conceptualmente fácil de

definir y estimar, pero la cuestión es cómo aplicar la densidad a la sección correcta de la carretera durante el periodo de tiempo adecuado.(HCM, 2010, Capítulo 7)

### **2.5.3. Velocidad**

La velocidad es un factor crítico para llevar a cabo estudios de tráfico, ya que es una medida fundamental de la calidad del servicio que se proporciona al usuario de la vía. Se utiliza como una de las medidas de eficacia más importantes para definir los niveles de servicio en una amplia variedad de tipos de vías.

Los estudios de velocidad se realizan con el propósito de estimar la distribución de la velocidad de los vehículos en un flujo vehicular y en una ubicación específica, ya sea en una calle o en una carretera. Este análisis proporciona información valiosa sobre el comportamiento del tráfico en el área, lo que permite a los expertos en tráfico tomar decisiones informadas sobre la planificación y diseño de la infraestructura vial. Las características de velocidad que se determinan pueden usarse para:

- Establecer parámetros para la operación y el control del tránsito, como zonas de velocidad (se usa la velocidad del percentil 85 como el límite de velocidad en un camino), o las restricciones de paso.
- Evaluar la efectividad de los dispositivos de control de tránsito, tales como los señalamientos de mensajes variables en las zonas.
- Evaluar y/o determinar lo adecuado de las características geométricas de la carretera, tales como los radios horizontales de las curvas y las longitudes verticales de las mismas.
- Determinar si son válidas las quejas acerca de incidentes de exceso de velocidad.

#### **2.5.3.1. Velocidades máximas en radio urbanos**

Las velocidades máximas dentro del radio urbano de las ciudades y poblaciones indicadas por el reglamento. (Reglamento del Código Nacional de Tránsito, 1978, Article 113)

- a) 10 km/h. por hora en las zonas escolares y militares, considerándose a este efecto como tal la parte de la vía pública comprendida entre los 50 metros antes y después del lugar donde se encuentra ubicado el acceso a dichos establecimientos.
- b) 20 km/h en las calles donde la circulación de peatones y vehículos es intensa.

- c) 80 km/h en las avenidas y vías donde las condiciones de seguridad así lo permitan.
- d) En las bocacalles, lugares de aglomeración, de personas o vehículos y en general en los sitios donde haya peligro, los conductores están obligados a reducir la velocidad al paso de un peatón o en su caso, a detener el vehículo.

#### **2.5.3.2. Velocidades máximas en caminos o carreteras**

Las velocidades máximas en los caminos y carreteras situadas fuera de radio urbano de las ciudades y poblaciones indicada en el reglamento. (Reglamento del Código Nacional de Tránsito, 1978, Article 114)

- a) En las carreteras asfaltadas 80 km/h.
- b) En los caminos y carreteras ripiadas o de tierra 70 km/h.

#### **2.5.3.3. Velocidad media de viaje**

Es la velocidad en un tramo definido basado en la longitud de estudio por el tiempo medio gastado en recorrerlo, este a su vez incluye el tiempo de demoras ocasionados por la detención de vehículo.

#### **2.5.4. Velocidad de flujo libre (free-flow speed, FFS)**

Los vehículos se desplazan con facilidad y sin restricciones, manteniendo una distancia segura entre ellos y alcanzando velocidades cercanas o iguales a los límites de velocidad establecidos.(HCM, 2010, Capítulo 4)

#### **2.5.5. Flujo condicionado**

Los vehículos pueden experimentar algunas restricciones debido a la presencia de otros vehículos o factores como semáforos, señales de tráfico o intersecciones. Aunque los vehículos aún pueden moverse de manera constante, las velocidades pueden variar más en comparación con el flujo libre.(HCM, 2010, Capítulo 18)

#### **2.5.6. Flujo congestionado**

La cantidad de vehículos en una vía supera su capacidad máxima, se produce congestión. En este estado, los vehículos se mueven a velocidades más bajas, a menudo de manera intermitente, y se forman bloqueos que resultan en mayores tiempos de viaje y una experiencia de conducción menos eficiente.

## **2.6. Congestionamiento del tráfico**

La congestión surge donde la demanda de tráfico es mayor que la capacidad de la calzada, lo que obliga tiempos de viajes excesivos, dependiendo del tipo de transporte, ubicación geográfica y la hora del día.

“Habitualmente se entiende como la condición en que existen muchos vehículos circulando y cada uno de ellos avanza lenta e irregularmente” (Bull, 2003)

### **2.6.1. Causas de congestión vehicular**

De acuerdo a (Thomson & Bull, 2001), las causas de la congestión vehicular son variadas. Sin embargo, entre los factores que la provocan se encuentran factores de corto y de largo plazo, a continuación, se hace mención de algunas de ellas:

#### **Causas de corto plazo**

- **Rápido crecimiento poblacional y de trabajo:** El rápido crecimiento en el número de hogares y trabajos en un área inevitablemente incrementa el flujo diario de automóviles a través de dicha área.
- **Un uso más intensivo de vehículos automotores:** La disminución del precio de los automóviles y el acceso al crédito han hecho más accesible la posesión de autos particulares.
- **Deficiente construcción de infraestructura vial:** Existen casos en los que hay zonas con alta densidad poblacional, pero con baja conectividad.

#### **Causas de largo plazo**

- **Concentración de los viajes de trabajo en el tiempo:** La mayoría de las organizaciones empiezan y terminan sus horas de trabajo a la misma hora, de modo que sus empleados pueden interactuar con empleados de otras organizaciones. Los empleados tienen que viajar al mismo tiempo. Aunque muchos otros viajes (no de trabajo) están también concentrados en las horas pico, por ejemplo, cuando se lleva a los hijos a la escuela.

- **Deseo de escoger dónde vivir y dónde trabajar:** Muchos conductores están dispuestos a viajar largas distancias o a tolerar la pérdida de tiempo por el tráfico con el fin de trabajar y vivir donde ellos escojan.
- **Deseo de vivir en zonas con baja densidad de población:** Un objetivo para muchos ciudadanos es el de poseer un hogar con espacios abiertos, lo que requiere establecerse en grandes zonas alejadas del centro de las ciudades. De aquí que la mayor parte del nuevo crecimiento ocurre en zonas de baja densidad poblacional, lo que genera un mayor tiempo de viaje por residente que en zonas con mayor densidad de población.
- **Deseo de viajar en vehículos privados:** La mayoría de los ciudadanos prefiere viajar en vehículos privados, usualmente solos, porque dicha forma de viajar provee conveniencia, confort, privacidad, y, muchas veces, una velocidad superior a la del transporte público. Esta preferencia incrementa el número de vehículos en las vialidades durante las horas pico.

Claramente, para los automovilistas, los beneficios percibidos de conducir su vehículo, tomando en cuenta únicamente los costos privados, siguen excediendo los beneficios netos de viajar en transporte público.

Una política que tenga como fin persuadir a más conductores a cambiar su modo de viaje, tendría que hacer que los beneficios netos de conducir un automóvil fueran menores que los beneficios netos de otros modos de viaje. Eso requeriría aumentar los beneficios netos de los otros modos de viaje o disminuir los de conducir su vehículo. (Bull, 2003)

De según Thomson La invasión del automóvil en “La última década del siglo XX trajo consigo un fuerte incremento de la cantidad de automóviles en circulación en América Latina, así como su uso para los más variados propósitos, incluyendo los viajes al trabajo y al estudio, con lo que se presiona significativamente la red vial”. (Thomson & Bull, 2001, p. 15)

## 2.7. Capacidad

Se define como capacidad de una infraestructura de transporte al “flujo máximo horario al que se puede razonablemente esperar que las personas o vehículos atraviesen un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un periodo de tiempo dado, bajo

condiciones prevalecientes de la vía, del control y del tránsito”.(Cerquera Escobar, 2007, p. 2)

La capacidad es el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto durante un tiempo específico. Es una característica del sistema vial, y representa su oferta. En un punto, el volumen actual nunca puede ser mayor que su capacidad real, sin embargo, hay situaciones en las que parece que esto ocurre precisamente debido a que la capacidad es estimada o calculada mediante algún procedimiento y no observada directamente en campo.(Cal y Mayor & Cardenas, 2018, p. 181)

Se define como capacidad a la tasa máxima de flujo que puede soportar una carretera o calle. De manera particular, la capacidad de una infraestructura vial, representa la tasa máxima de flujo a la cual se espera que los vehículos o personas razonablemente puedan pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada, durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del medio ambiente, del tránsito y de los dispositivos de control.(Cal y Mayor & Cardenas, 2018, p. 397)

La capacidad es el caudal horario máximo sostenible con el que puede esperarse razonablemente que las personas o los vehículos atraviesen un punto o una sección uniforme de un carril o una calzada durante un período de tiempo determinado en las condiciones imperantes en la calzada, el entorno, el tráfico y el control.(HCM, 2010, Capítulo 4)

## **2.8. Nivel de servicio (LOS “level of service”)**

Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio, que es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los conductores y/o pasajeros.

Estas condiciones se describen en términos de factores tales como velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

Dicho manual, ha establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor. El HCM 2010 ha creado una medida cualitativa para definir los diferentes tipos o capacidades de servicio que tiene una vía a los cuales se denomina

niveles de servicio (LOS). NS(LOS)-A representa las mejores condiciones de funcionamiento desde la perspectiva del viajero y NS(LOS)-F las peores. Por razones de coste, impacto medioambiental y otras, las carreteras no suelen diseñarse para ofrecer condiciones de NS(LOS)-A durante los periodos punta, sino más bien alguna los Niveles de Servicio inferior que refleje un equilibrio entre los deseos de los viajeros individuales y los deseos y recursos financieros de la sociedad, cuyas definiciones cualitativas son las siguientes:

**Nivel de Servicio A:** (LOS-A) describe las operaciones de flujo libre. FFS prevalece en la autopista, y los vehículos pueden maniobrar casi sin impedimentos dentro del flujo de tráfico. Los efectos de incidentes o averías puntuales se absorben fácilmente.

**Nivel de Servicio B:** (LOS-B) representa razonablemente operaciones de flujo libre, y se mantiene la FFS en la autopista. La capacidad de maniobrar dentro de la corriente de tráfico está sólo ligeramente restringida, y el nivel general de confort físico y psicológico proporcionado a los conductores sigue siendo alto. Los efectos de incidentes menores y averías puntuales se absorben fácilmente.

**Nivel de Servicio C:** (LOS-C) prevé un flujo con velocidades cercanas a la FFS de la autopista. La libertad de maniobra dentro de la corriente de tráfico está notablemente restringida, y los cambios de carril requieren más cuidado y vigilancia por parte del conductor. Es posible que se sigan absorbiendo incidentes menores, pero el deterioro local de la calidad del servicio será significativo. Es posible que se formen colas detrás de los atascos importantes.

**Nivel de Servicio D:** (LOS-D) es el nivel a partir del cual la velocidad empieza a disminuir al aumentar el caudal, mientras que la densidad aumenta más rápidamente. La libertad de maniobra dentro del flujo de tráfico se ve seriamente limitada y los conductores experimentan una reducción de los niveles de confort físico y psicológico. Incluso los incidentes de menor importancia pueden crear colas, porque el flujo de tráfico tiene poco espacio para absorber las interrupciones.

**Nivel de Servicio E:** (LOS-E) describe las operaciones a plena capacidad. Las operaciones en la autopista a este nivel son muy volátiles por que prácticamente no hay

huecos utilizables en el flujo de tráfico, dejando poco espacio para maniobrar dentro de la corriente de tráfico. Cualquier perturbación del flujo de tráfico, como la entrada de vehículos de una rampa o cambio de carril, puede establecer una onda de perturbación que se propague por todo el flujo de tráfico aguas arriba. A plena capacidad, el flujo de tráfico no tiene capacidad para disipar ni siquiera la perturbación más leve, y cabe esperar que cualquier incidente produzca una interrupción grave y genere largas colas. La posibilidad de maniobra dentro de la corriente de tráfico es extremadamente limitada, y el nivel de comodidad física y psicológica de los conductores es pobre.

**Nivel de Servicio F:** (LOS-F) describe interrupciones en el flujo vehicular. Estas condiciones se dan en las colas que se forman detrás de los cuellos de botella. Las interrupciones se producen por varias razones:

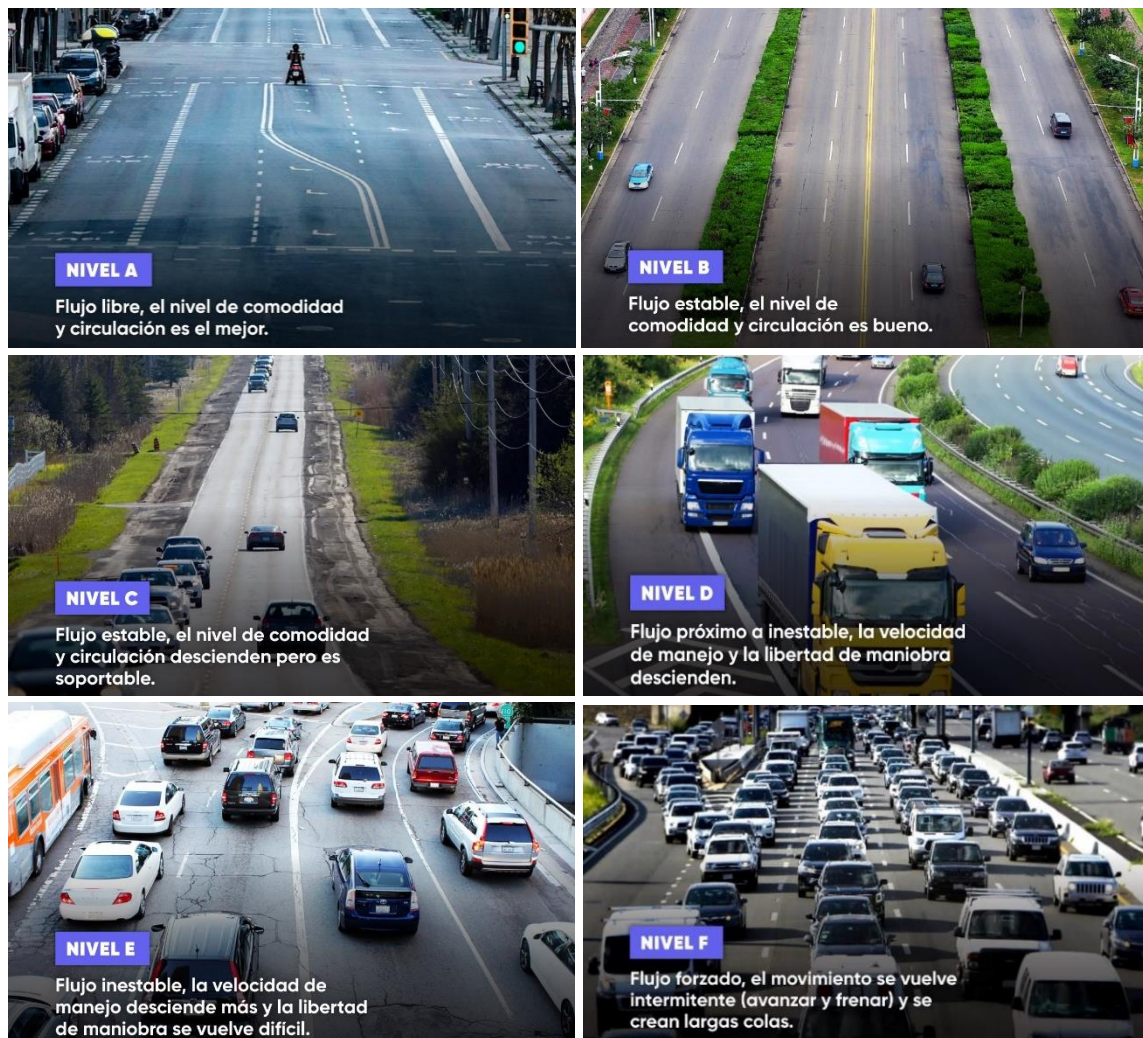
Las interrupciones de tráfico pueden reducir temporalmente la capacidad de un segmento corto, de modo que el número de vehículos que llegan a un punto es mayor que el número de vehículos que pueden circular por él.

Los puntos de congestión recurrente, como los segmentos de incorporación o de zigzagreo y las bajadas de carril, experimentan una demanda muy elevada en la que el número de vehículos que llegan es superior al número de vehículos que pueden descargar.

En los análisis que utilizan volúmenes previstos, el caudal proyectado puede superar la capacidad estimada de un lugar determinado.

Manual de Capacidad de Carreteras (HCM, 2010)

**Figura 9. Niveles de Servicio**



**Fuente:** Acadity

El Manual de Capacidad de Carreteras (HCM, 2010, Capítulo 18) expone que en “Intersecciones señalizadas: La estimación de LOS se basa en la demora de control. La demora de control se calcula sobre la base de una técnica de análisis incremental de colas utilizando un modelo de acumulación y descarga de colas. Las llegadas aleatorias y las condiciones de sobresaturación se tienen en cuenta mediante términos de corrección en el modelo y se aplica una corrección separada para tener en cuenta la cola inicial que queda de un intervalo anterior” de igual manera indica dentro de los capítulos 19 al 21 “intersecciones no señalizadas: La estimación de LOS se basa en la demora de control. La demora de control se calcula mediante ecuaciones deterministas en función del volumen de demanda, la capacidad y la duración del período de análisis. Los umbrales de LOS para las intersecciones no señalizadas son diferentes de los de las intersecciones señalizadas”

## **2.9. Estudio de intersecciones**

Cruzar o girar en diferentes direcciones. Las intersecciones son lugares críticos en el diseño de infraestructuras viales, ya que son lugares donde se producen una gran cantidad de accidentes de tráfico.

Las intersecciones pueden ser semaforizadas (señalizada control STOP) o no semaforizadas. Las intersecciones semaforizadas tienen semáforos, señales de stop, señales de ceda el paso o rotondas, y se utilizan para controlar y coordinar el flujo de tráfico en las intersecciones. Las intersecciones no semaforizadas no tienen ningún tipo de control de tráfico y se utilizan comúnmente en áreas de baja densidad de tráfico o en zonas rurales.(HCM, 2010, Capítulo 18)

### **2.9.1. Intersecciones no señalizadas**

Las intersecciones no señalizadas son aquellos puntos de cruce en las vías de tráfico que no tienen dispositivos de control de tráfico para coordinar y gestionar el flujo de vehículos y peatones.

Las intersecciones no señalizadas son comunes en áreas rurales o de baja densidad de tráfico donde no hay necesidad de controlar el flujo de tráfico en la intersección. En estas intersecciones, los conductores deben usar su juicio y tomar decisiones seguras para cruzar la intersección sin causar un accidente.

Sin embargo, a pesar de que las intersecciones no reguladas no tienen dispositivos de control de tráfico, todavía hay algunos elementos de seguridad vial que se pueden implementar para reducir el riesgo de accidentes. Para mejorar las condiciones de circulación se instruye colocar señales de advertencia de intersección, señales de velocidad y marcas viales para mejorar la visibilidad y la seguridad en la intersección. El capítulo de intersecciones no señalizadas en HCM2010 se ha dividido en tres capítulos:

Intersecciones bidireccionales controladas por STOP (TWSC)

Intersecciones completamente controladas por STOP (AWSC)

Rotondas.(HCM, 2010, Volumen 3)

### **2.9.2. Intersecciones señalizadas**

Son aquellos puntos de cruce en las vías de tráfico donde se utilizan dispositivos de control de tráfico para coordinar y gestionar el flujo de vehículos y peatones.

Las intersecciones semaforizadas pueden tener diferentes dispositivos de control de tráfico, como semáforos, señales de stop, señales de ceda el paso o rotondas. Estos dispositivos se utilizan para garantizar que el tráfico fluya de manera segura y eficiente, reduciendo el riesgo de accidentes de tráfico y congestión en las carreteras.

El método de estimación rápida de la HCM (2010) para intersecciones señalizadas, que se basa principalmente en el análisis de movimientos críticos y en valores por defecto. (HCM, 2010, Capítulo 18)

### **2.9.3. Clasificación de las intersecciones**

La clasificación de las intersecciones se refiere a la categorización y tipificación de los puntos donde dos o más caminos o vías se cruzan o se interceptan.

#### **2.9.3.1. Intersecciones a nivel**

Intersecciones Simples: son aquellas en donde la importancia del tráfico no amerita ningún trabajo especial más que el de nivelar el terreno, redondear las esquinas y facilitar la visibilidad, para permitir que los vehículos pasen de un lado a otro. (Gómez Johnson, 2004)

Se denominan Intersecciones convencionales, las que solucionan a nivel el encuentro o cruce de vías sin regulación semafórica o circulación circular. Se distinguen los siguientes tipos:

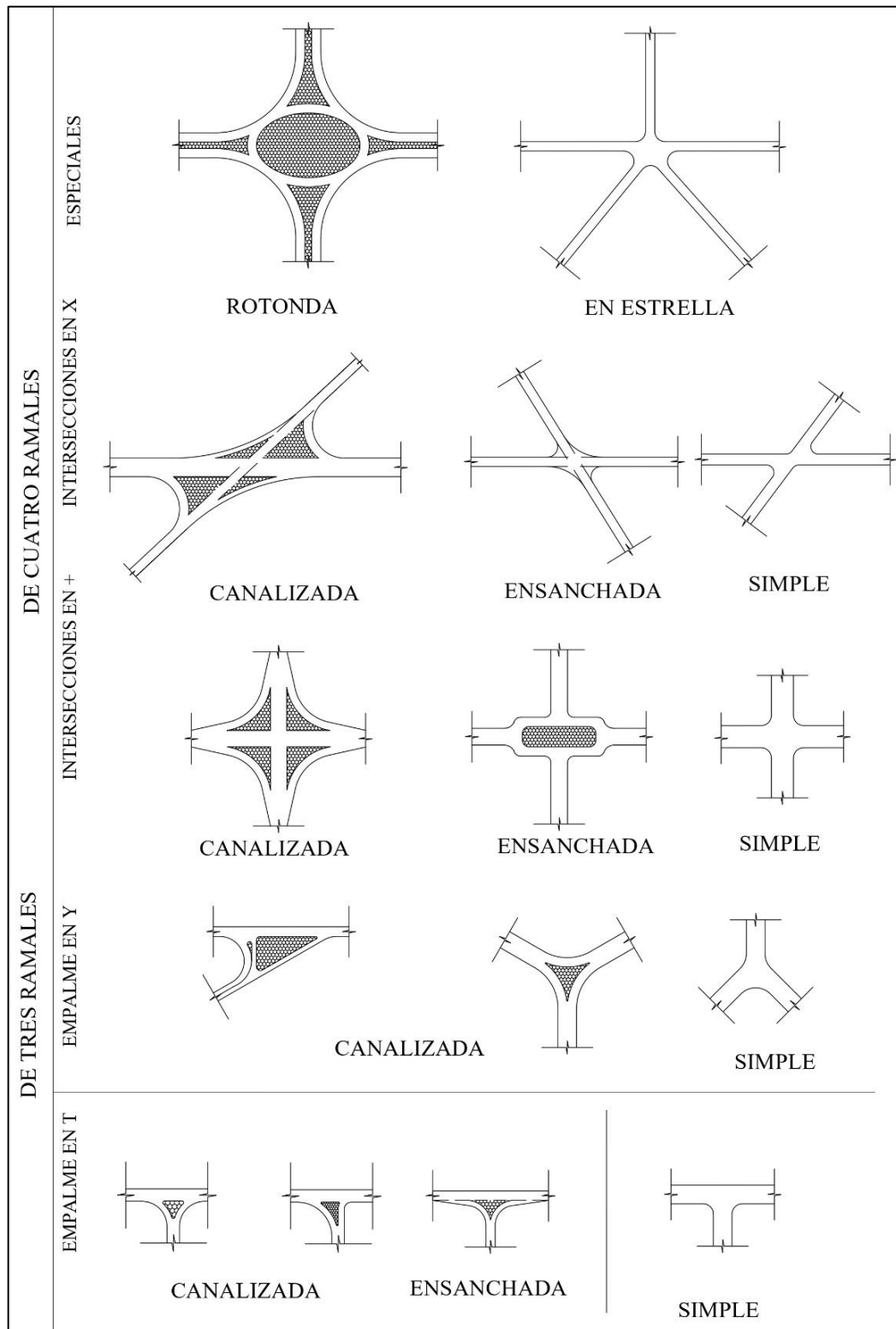
- Según se regulen mediante señalización específica o por la norma general de prioridad a la derecha:
  - Señalizadas
  - No señalizadas.
- Según dispongan o no de isletas que encaucen los movimientos de los vehículos:
  - Canalizadas
  - Sin canalizar

## Clasificación de las intersecciones a nivel

Las intersecciones a nivel de acuerdo a la configuración de las corrientes que se cruzan, pueden clasificarse según su forma y número de ramales en:

- **Intersección en forma de T:** Se produce cuando una calle principal cruza perpendicularmente a una calle secundaria en forma de T con tres ramales y ángulo mínimo entre dos superiores a  $60^\circ$ .
- **Intersección en forma de Y:** Se produce cuando dos calles secundarias se unen en un punto con una calle principal, con tres ramales, cuando alguno de los ángulos sea inferior a  $60^\circ$ .
- **Intersección en forma de diamante:** Es una intersección que permite que dos calles principales se crucen y se conecten con dos calles secundarias opuestas.
- **Intersección en forma de herradura:** Es una intersección que se caracteriza por la separación física entre los dos flujos de tráfico que cruzan, lo que ayuda a reducir las colisiones frontales.
- **Intersección en forma de óvalo:** Es una intersección que se utiliza en zonas urbanas y de alta densidad de tráfico, con el objetivo de mejorar la seguridad y la fluidez del tráfico.
- **Intersección en forma de cuadrado:** Es una intersección que tiene cuatro calles que se cruzan en ángulo recto.
- **Intersección en forma de turbina:** Es una intersección que se utiliza en las áreas de alta densidad de tráfico y permite a los conductores girar en cualquier dirección sin tener que hacer un giro en U.
- **Rotondas o Glorietas:** Es una característica vial diseñada para gestionar el flujo de tráfico en una intersección. Su forma generalmente es circular y la ausencia de semáforos permiten una circulación más fluida y continua de los vehículos, lo cual la hace auto gestionable. En una rotonda los conductores circulan en una sola dirección única alrededor de una isleta central.

**Figura 10.** Tipos básicos de intersecciones en carreteras



**Fuente:** Diseño Geométrico de Vías Urbanas (2006)

### 2.9.3.2. Intersecciones a desnivel

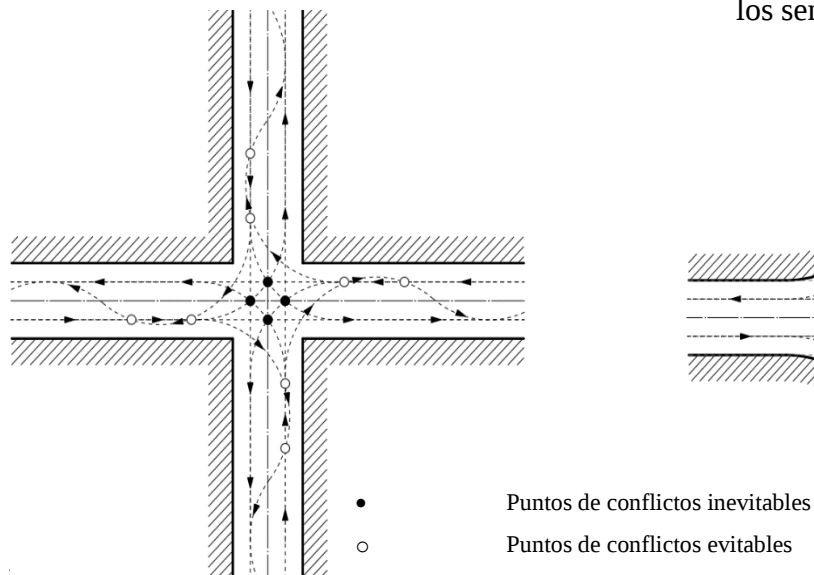
Intersecciones a Desnivel: es decir, a un distinto nivel, precisamente para separar las corrientes de tránsito, cuando el índice de accidentes de tránsito en esa intersección ha probado que los volúmenes son demasiado altos para que coexistan al mismo nivel, para pasar por la misma intersección a un nivel diferente. En la intersección más moderna, la de tres distintos niveles, las vueltas izquierdas se efectúan directas y no mediante círculo completo a la derecha. En un “trébol” las vueltas izquierdas equivalen a dar un círculo completo a la derecha

### 2.10. Puntos de conflicto

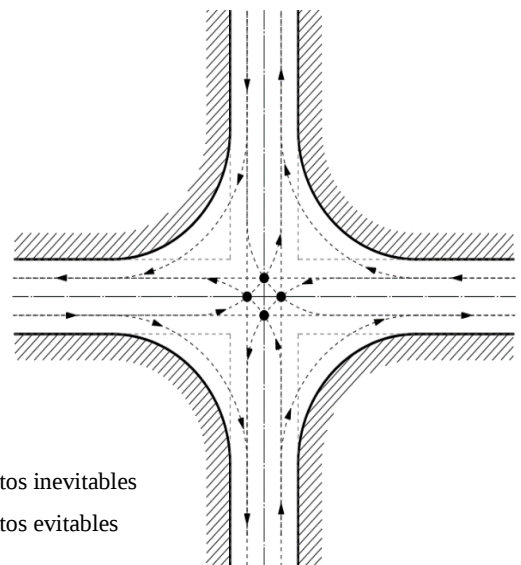
Los puntos de conflicto son lugares en la carretera donde existe un alto riesgo de colisión entre vehículos o entre vehículos y peatones.

Los puntos de conflicto pueden ser intersecciones, rotondas, pasos a nivel, carriles estrechos, carriles para bicicletas, pasarelas peatonales, entre otros. En estos lugares, los conductores y los peatones deben ser especialmente cuidadosos y estar atentos a los demás usuarios de la carretera para evitar accidentes.

**Figura 11.** Intersección de cuatro



**Figura 12.** Intersección diagonal en todos los sentidos con cuatro accesos



**Fuente:** Texto del alumno Ingeniería de Tráfico-Universidad Mayor de San Simón

En algunos casos, los puntos de conflicto pueden ser identificados mediante un análisis de seguridad vial, que es una evaluación sistemática de los riesgos de seguridad en una carretera o en una sección de la misma. Una vez que se identifican los puntos de conflicto, se pueden implementar medidas de seguridad vial para reducir el riesgo de colisiones, como la instalación de señales de advertencia, la mejora de la iluminación o la construcción de pasarelas peatonales.

Si los radios de giro son los adecuados, el número de puntos de conflicto disminuye permitiendo maniobras más cómodas a los vehículos, como se muestra en la Figura 12.

Por el contrario, cuando estos radios de giro son insuficientes o pequeños obligan al vehículo a invadir carriles que no le corresponden creando mayores puntos de conflicto, lo que puede observarse en la Figura 11.

#### **2.10.1. Conflictos del tráfico vehicular**

Los puntos de conflicto son cruces de trayectorias que representan una posibilidad de accidente en las intersecciones. Los tipos de conflictos pueden ser:

- Maniobras de Convergencia: dos trayectorias se unen en una común
- Maniobras de Divergencia: dos trayectorias se separan de una común
- Maniobras de Cruce: dos trayectorias ocupan el mismo lugar en instantes diferentes.

Para “depender del número de accesos, movimientos de giro permitidos y del tipo de control de tránsito. La tasa de accidentes indica la ineficiencia de las reglas de prioridad.”(Estrada Polanco & Rodriguez Vega, 2017)

#### **2.11. Manual de capacidad HCM 2010**

El Manual de Capacidad de Carreteras es un compendio de investigaciones teóricas y empíricas realizadas en Estados Unidos de Norteamérica a lo largo de muchos años en materia de los distintos componentes de la infraestructura vial. Desde 1950, cuando salió la primera edición, hasta el día de hoy en sus versiones 1965, 1985, 1994 y 2000 ha ido modificando y ampliando las metodologías involucradas.

A partir de su versión del año 1985 el manual presenta una metodología HCM2010(Capítulo 10) para intersecciones no semaforizadas, pero a diferencia de los

restantes capítulos, basados en proyectos financiados por el estado, este capítulo basó su procedimiento en metodologías desarrolladas originalmente en Alemania, con escasa calibración para las condiciones de circulaciones norteamericanas. En su versión de 1994 se corrigieron algunas de esas deficiencias y se introdujo en el cálculo una fórmula de demora. Igualmente, no se corrigieron todas estas falencias, y los procedimientos no se calibraron con una base de datos propia que reflejara el comportamiento de los conductores norteamericanos. La metodología no contemplaba, por ejemplo, que el arribo de vehículos sobre la calle principal fuera en pelotón.

La metodología del Manual de Capacidad de Carreteras HCM2010 considera tres medidas de efectividad o condiciones de operación necesarias para el cálculo del nivel de servicio de una vía de este tipo:

- **Velocidad promedio de viaje–ATS:** Como su nombre lo indica, refleja la movilidad en una autopista de dos carriles. Se define como la longitud del dividido por el tiempo medio que tardan los vehículos en recorrerlo atravesarlo durante un intervalo de tiempo determinado.
- **Porcentaje de tiempo de seguimiento-PTSF:** Representa la libertad de maniobra y la comodidad y conveniencia del viaje. Es el porcentaje medio de tiempo que los vehículos deben viajar en pelotón detrás de vehículos más lentos debido a la imposibilidad de adelantar. Dado que esta característica es difícil de medir sobre el terreno, una medida sustitutiva es el porcentaje de vehículos que viajan a intervalos inferiores a 3,0 s en un punto representativo del segmento de carretera. El PTSF también representa el porcentaje aproximado de vehículos que circulan en pelotón.
- **Porcentaje de la velocidad de flujo libre-PFFS:** representa la capacidad de los vehículos para circular al límite de velocidad indicado o cerca de él. (HCM, 2010, Capítulo 15)

#### **2.11.1. Intersecciones doble carril controlado por PARE (TWSC)**

Las intersecciones señalizadas, describen una metodología para evaluar la capacidad y la calidad del servicio proporcionado a los usuarios de la carretera que viajan que circulan por una intersección señalizada. Sin embargo, la metodología es mucho más que sólo una herramienta para evaluar la capacidad y la calidad del servicio. Incluye una serie de

medidas de rendimiento que describen el funcionamiento de la intersección para múltiples modos de viaje. Estas medidas sirven como pistas para identificar el origen de los problemas y proporcionan información para el desarrollo de estrategias de mejora eficaces. El analista que utilice esta metodología deberá tener en cuenta toda la gama de medidas.(HCM, 2010, Capítulo 18)

### **Límites del análisis**

Las intersecciones no se definen a una distancia fija para todas las intersecciones. Más bien, son dinámicos y se extienden hacia atrás desde la intersección una distancia suficiente para incluir el área de influencia operativa en cada tramo de intersección. El tamaño de esta área es específico para cada tramo e incluye la extensión más distante de cualquier cola relacionada con la intersección que se espera que ocurra durante el periodo de estudio. Por estas razones, los límites de análisis deben establecerse para cada intersección en función de las condiciones durante el periodo de análisis. El área de influencia debe extenderse al menos 250ft (76.2m) hacia atrás desde la línea de parada en cada tramo de intersección.(HCM, 2010, pp. 18-1)

### **Nivel de análisis**

El nivel de análisis describe el nivel de detalle utilizado al aplicar la metodología para el cual se reconocen tres niveles:

- Operativo
- Diseño
- Planificación e ingeniería preliminar.

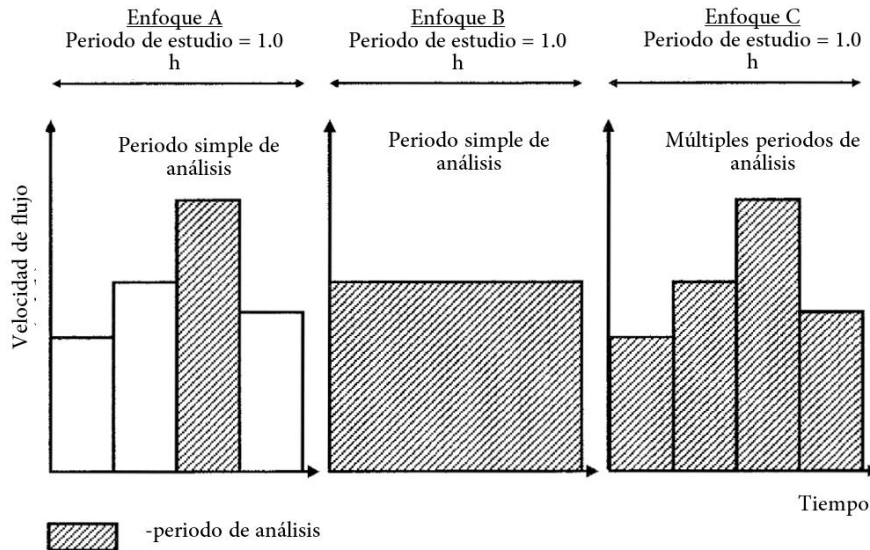
### **Periodo de estudio y periodo de análisis**

El periodo de estudio es el intervalo de tiempo representado por la evaluación de resultados. Consta de uno o varios periodos de análisis consecutivos. Un período de análisis es el intervalo de tiempo evaluado por una única aplicación de la metodología.

La metodología se basa en el supuesto de que las condiciones de tráfico son estables durante el periodo de análisis (es decir, que los cambios sistemáticos a lo largo del tiempo

son insignificantes). Por esta razón, el periodo de análisis oscila entre 0,25 y 1h. (HCM, 2010, pp. 18-2)

**Figura 13. Enfoques de estudio**



**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010)

### Grupo de carriles y grupos de movimientos

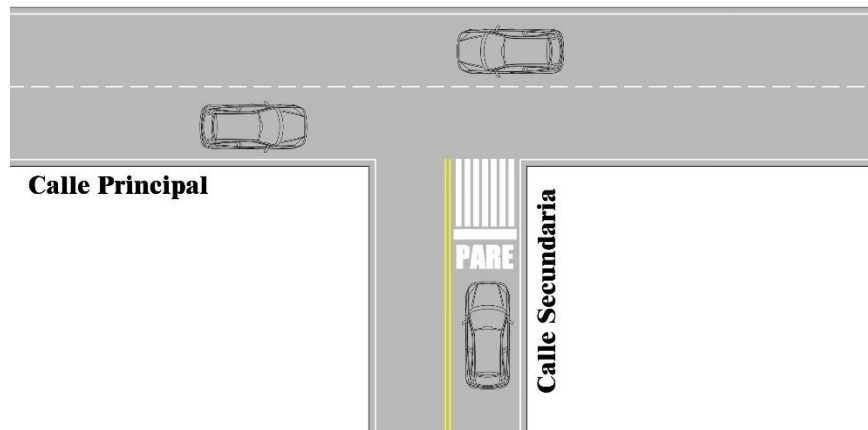
Un carril o *grupo de carriles* designados para un análisis separado se denomina grupo de carriles. En general, se establece un *grupo de carriles* separado para (a) cada carril (o combinación de carriles adyacentes) que sirve exclusivamente un movimiento y (b) cada carril compartido por dos o más movimientos.

*Grupos de movimientos* también se establece para facilitar la introducción de datos. Se establece un grupo de movimientos separado para (a) cada movimiento de giro con uno o más carriles exclusivos de giro y (b) cada carril compartido por dos o más movimientos. (a) cada movimiento de giro con uno o más carriles exclusivos de giro y (b) el movimiento de paso (incluido cualquier movimiento de giro que comparta un carril). que compartan carril).

Las Intersecciones doble carril controlado por STOP (TWSC). Una configuración típica es una intersección de cuatro tramos, en la que una calle La *principal* no está controlada, mientras que la otra la *secundaria* está controlada por señales de STOP. La otra configuración típica es una intersección de tres tramos, en la que la única vía de acceso de

la calle secundaria (es decir, el tallo de la configuración en T) está controlada por una señal de STOP. Las calles secundarias pueden ser públicas o privadas. Según la (HCM, 2010, Capítulo 19), las Intersecciones de Dos Vías Controladas por STOP, presenta conceptos y procedimientos para analizar este tipo de intersecciones.

**Figura 14.** Intersección TWSC en T



**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010)

#### **Paso crítico y paso de seguimiento**

La vía crítica  $t_c$  se define como el intervalo de tiempo mínimo en el flujo de tráfico de la vía principal que permite la entrada en la intersección de un vehículo de la vía secundaria (4). Un conductor concreto rechazará las distancias inferiores a la distancia crítica y aceptará las distancias superiores o iguales a la distancia crítica. La distancia crítica puede calcularse a partir de las observaciones de la mayor distancia rechazada y la menor distancia aceptada en una intersección determinada.

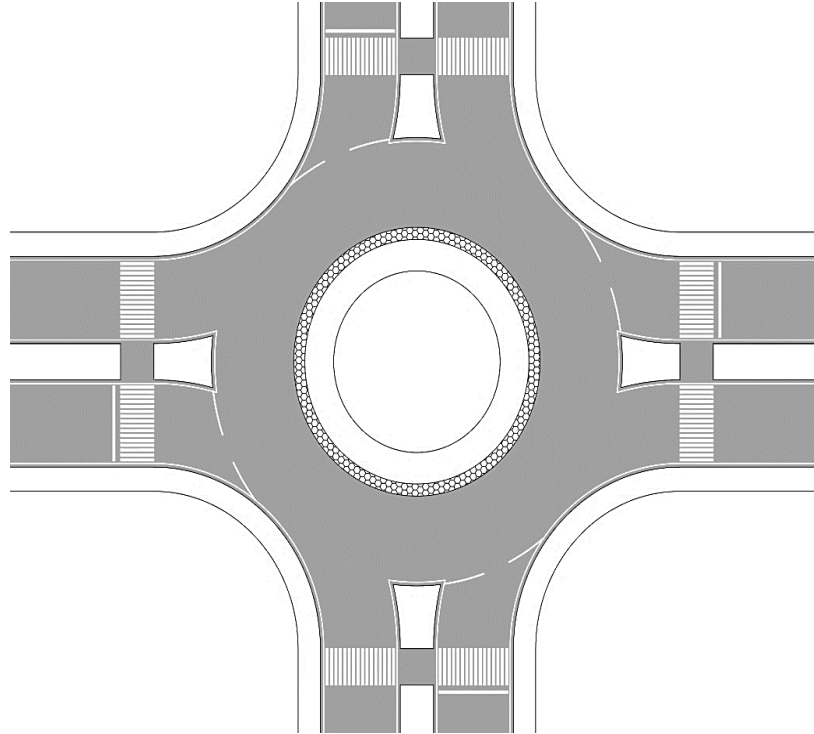
El tiempo que transcurre entre la salida de un vehículo de la calle secundaria y la salida del siguiente vehículo utilizando la misma vía de la calle principal, en condiciones de colas continuas en la calle secundaria, se denomina vía de seguimiento. Así pues, es la vía que define el caudal de saturación de la aproximación si no hubiera vehículos en conflicto en movimientos de rango superior.

#### **2.11.2. Rotondas**

Según la (HCM, 2010, Capítulo 21). “Las Rotondas son intersecciones de forma generalmente circular, caracterizadas por la ceda el paso a la entrada y la circulación

alrededor de una isla central (en sentido contrario a las agujas del reloj). Las glorietas se han utilizado con éxito en todo el mundo.

**Figura 15.** Esquema rotonda tipo



**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)

El funcionamiento de las glorietas es similar al de las intersecciones de dos vías controladas por STOP de dos direcciones (TWSC). En las glorietas, sin embargo, los conductores que se incorporan sólo examinan una corriente de tráfico - la corriente circulante - en busca de un hueco aceptable.

### **2.11.3. Medidas de servicio**

Como indican las medidas de servicio son medidas específicas de rendimiento que se utilizan para determinar la NS. En la Tabla 8 resume las medidas de servicio utilizadas por el HCM para diferentes combinaciones de elementos del sistema de transporte y modos de viaje. Algunas medidas de servicio se basan en un modelo de percepción del viajero. Los componentes de cada modelo se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Medidas de servicio individual

| Elemento del sistema              | Medidas de servicio    |                  |           |          |
|-----------------------------------|------------------------|------------------|-----------|----------|
|                                   | Automóvil              | Peatón           | Bicicleta | Transito |
| Instalación de autopista          | Densidad               | ---              | ---       | ---      |
| Segmento básico de autopista      | Densidad               | ---              | ---       | ---      |
| Segmento entrelazado de autopista | Densidad               | ---              | ---       | ---      |
| Cruce de Rampas                   | Densidad               | ---              | ---       | ---      |
| Autopista de varios carriles      | Densidad               | ---              | NS        | ---      |
| Autopista de dos carriles         | % de tiempo, Velocidad | ---              | NS        | ---      |
| Infraestructuras urbanas          | Velocidad              | NS               | NS        | NS       |
| Tramo de calle urbana             | Velocidad              | NS               | NS        | NS       |
| Intersección señalizada           | Demora                 | NS               | NS        | ---      |
| Parada de doble sentido           | Demora                 | Demora           | ---       | ---      |
| Parada en todos los sentidos      | Demora                 | ---              | ---       | ---      |
| Rotonda                           | Demora                 | ---              | ---       | ---      |
| Terminal de rampa de intercambio  | Demora                 | ---              | ---       | ---      |
| Instalación peatonal y ciclista   | ---                    | Espacio, eventos | NS        | ---      |

**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010, Cap. 8)

La demora de control máxima permitida para un determinado LOS en intersecciones no señalizadas es menor que en las señalizadas debido a las diferentes expectativas de los conductores. En opinión del Comité HCQ, la expectativa de los conductores es que una intersección señalizada está diseñada para soportar mayores volúmenes de tráfico y experimentar mayores demoras que una intersección no señalizada.

#### **2.11.4. Medidas de demora**

Todas las herramientas de análisis del tráfico producen una medida de rendimiento llamada "demora". (HCM, 2010, Capítulo 7)

##### **2.11.4.1. Demora**

La demora se define generalmente como el exceso de tiempo empleado en un segmento de carretera en comparación con el tiempo a una velocidad objetivo que representa una condición de demora cero. La velocidad objetivo es la velocidad a la que un conductor prefiere conducir. Las distintas herramientas tienen diferentes definiciones de velocidad

objetivo. Algunas son específicas del conductor y del vehículo, y tienen en cuenta la agresividad del conductor y las características de la carretera. (HCM, 2010, Capítulo 7)

El tiempo que un vehículo pasa realmente en un segmento es fácil de determinar a partir de su trayectoria. En cambio, el tiempo objetivo está sujeto a varias definiciones:

- **Tiempo de viaje a la velocidad ideal:** normalmente la velocidad de flujo libre.
- **Tiempo de viaje a la velocidad objetivo del vehículo individual:** una función de la velocidad de flujo libre, de las condiciones de la vía y del tráfico, y de las características del conductor.
- **Tiempo de viaje a 10 mi/h por debajo del límite de velocidad:** utilizado por algunas agencias para determinar si un viaje es "puntual" para los informes de fiabilidad del tiempo de viaje. Esta medida define la "demora puntual".
- **Tiempo de viaje a un índice de tiempo de viaje especificado:** El índice de tiempo de viaje es la relación entre el tiempo de viaje real y el tiempo de viaje ideal. Se utiliza principalmente para informar de la congestión en el seguimiento de la movilidad a escala nacional. Un índice de tiempo de viaje de 1,5 se toma a veces como una indicación de congestión. Esta medida define la demora por congestión. Pretende ser un indicador de la necesidad de mejoras en las carreteras.
- **Tiempo de viaje sin control de tráfico:** Esta medida define la demora de control. A diferencia de las medidas anteriores, que se aplican a todo un segmento, la demora de control se aplica sólo a la parte del segmento en la que hay una cola. La demora de control es un subconjunto de la demora del segmento porque no incluye las demoras causadas por las interacciones del tráfico aguas arriba de la cola.

La definición se aplica uniformemente a todos los tipos de control, incluyendo señales, señales de stop y rotondas.

#### **2.11.5. Criterio de nivel de servicio para intersecciones señalizadas**

El nivel de servicios (LOS) puede caracterizarse para toda la intersección, cada aproximación a la intersección y cada grupo de carriles. El retardo de control por sí solo se utiliza para caracterizar el LOS de toda la intersección o de una aproximación. La

demora de control y la relación volumen-capacidad se utilizan para caracterizar el LOS de un grupo de carriles. La demora cuantifica el aumento del tiempo de viaje debido al control de señales de tráfico. También es una medida sustitutiva de la incomodidad del conductor y del consumo de combustible. La relación volumen/capacidad cuantifica el grado de utilización de la capacidad de una fase por un grupo de carriles. Los párrafos siguientes describen cada LOS

**LOS A:** describe las operaciones con una demora de control de 10 s/veh o menos y una relación volumen-capacidad no superior a 1,0. Este nivel se suele asignar cuando la relación volumen-capacidad es baja y la progresión es excepcional favorable o la duración del ciclo es muy corta. Si se debe a una progresión favorable, la mayoría de los vehículos llegan durante la indicación verde y recorren la intersección sin detenerse.

**LOS B:** describe las operaciones con un retardo de control de entre 10 y 20 s/veh y una relación volumen/capacidad no superior a 1,0. Este nivel suele asignarse cuando la relación volumen/capacidad es baja y la progresión es muy favorable o la longitud del ciclo es corta. Se detienen más vehículos que con LOS A.

**LOS C:** describe operaciones con demoras de control entre 20 y 35 s/veh y una relación volumen/capacidad no mayor a 1.0. Este nivel se asigna típicamente cuando la progresión es muy favorable o la longitud del ciclo es corta. Este nivel se asigna normalmente cuando la progresión es favorable o la longitud del ciclo es moderada. Los fallos de ciclo individuales (es decir, uno o más vehículos en cola no pueden salir como resultado de una capacidad insuficiente durante el ciclo) pueden empezar a aparecer en este nivel. El número de vehículos que se detienen es significativo, aunque muchos vehículos siguen atravesando la intersección sin detenerse.

**LOS D:** describe las operaciones con un retardo de control entre 35 y 55 s/veh y una relación volumen/capacidad no superior a 1,0. Este nivel se asigna normalmente cuando la relación volumen/capacidad es alta y la progresión es ineficaz o la longitud del ciclo es larga. Muchos vehículos se detienen y los fallos de ciclo individuales son notables.

**LOS E:** describe las operaciones con un retraso de control entre 55 y 80 s/veh y una relación volumen-capacidad no superior a 1,0. Este nivel se asigna normalmente cuando el volumen-capacidad es alto y la progresión es ineficaz o la longitud del ciclo es larga. Este nivel se asigna normalmente cuando la relación volumen/capacidad es alta, la progresión es desfavorable y la longitud del ciclo es larga. Los fallos de ciclo individuales son frecuentes.

**LOS F:** describe las operaciones con una demora de control superior a 80 s/veh o una relación volumen-capacidad superior a 1,0. Este nivel se asigna normalmente cuando la relación volumen/capacidad es muy alta, la progresión es muy pobre y la longitud del ciclo es larga. La mayoría de los ciclos no consiguen despejar la cola. Un grupo de carriles puede incurrir en un retraso inferior a 80 s/veh cuando la relación volumen/capacidad supera 1,0. Esta condición se produce normalmente cuando la longitud del ciclo es corta, la progresión de la señal es favorable, o ambas cosas. Como resultado, tanto la demora como la relación volumen-capacidad se consideran cuando se establece la LOS del grupo de carriles. Una relación de 1.0 o más indica que la capacidad del ciclo está totalmente utilizada y representa una falla desde la perspectiva de la capacidad (así como una demora de más de 80 s/veh representa una falla desde la perspectiva de la demora). La Tabla 9 enumera los umbrales de LOS establecidos para el modo automóvil en una intersección señalizada.(HCM, 2010, Capítulo 18)

**Tabla 9.** Criterios de LOS para intersecciones señalizadas: Modo Automóvil

| Demora de control<br>(s/veh) | LOS por relación volumen/capacidad |             |
|------------------------------|------------------------------------|-------------|
|                              | v/c $\leq 1.0$                     | v/c $> 1.0$ |
| $\leq 10$                    | A                                  | F           |
| >10-20                       | B                                  | F           |
| >20-35                       | C                                  | F           |
| >35-55                       | D                                  | F           |
| >55-80                       | E                                  | F           |
| >80                          | F                                  | F           |

*Nota:* Para las evaluaciones basadas en la aproximación y a nivel de intersección, la NS(LOS) se define únicamente por el retardo de control.

**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010, Cap. 18)

### 2.11.6. Criterios de nivel de servicio para TWSC

El nivel de servicio (LOS) para una intersección TWSC se determina por la demora de control calculada o medida. Para los vehículos motorizados, el LOS se determina para cada movimiento de calle menor (o movimiento compartido), así como para los giros a la izquierda de calle mayor, utilizando los criterios indicados en la Tabla 10. El LOS no se define para la intersección como un todo o para las intersecciones de calles principales por tres razones principales:

- Se supone que los vehículos de paso de calles principales experimentan una demora cero.
- El número desproporcionado de vehículos de paso de calles principales en una intersección TWSC típica sesga el promedio ponderado de todos los movimientos, lo que resulta en una demora promedio general muy baja para todos los vehículos.
- La baja demora resultante puede ocultar importantes deficiencias de LOS para movimientos menores. Como se indica en la Tabla 10, se asigna un LOS F al movimiento si la relación volumen/capacidad del movimiento supera 1.0. Independientemente de la demora de control.

**Tabla 10.** Criterios de LOS para intersecciones TWSC: Modo Automóvil

| Demora de control<br>(s/veh) | LOS por relación volumen/capacidad |             |
|------------------------------|------------------------------------|-------------|
|                              | $v/c \leq 1.0$                     | $v/c > 1.0$ |
| 0-10                         | A                                  | F           |
| >10-15                       | B                                  | F           |
| >15-25                       | C                                  | F           |
| >25-35                       | D                                  | F           |
| >35-50                       | E                                  | F           |
| >50                          | F                                  | F           |

*Nota:* Los criterios de LOS se aplican a cada carril en una intersección dada y a cada intersección en la calle menor. El LOS no se calcula para las aproximaciones a las calles principales ni para la intersección en su conjunto.

**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010, Cap. 19)

Los criterios de LOS para intersecciones TWSC son algo diferentes de los criterios utilizados en el Capítulo 18 para intersecciones señalizadas, principalmente porque las percepciones de los usuarios difieren entre los tipos de instalaciones de transporte. La

expectativa es que una intersección señalizada está diseñada para soportar mayores volúmenes de tránsito y presentará mayor demora que una intersección no señalizada. Las intersecciones no señalizadas también se asocian con más incertidumbre para los usuarios, ya que las demoras son menos predecibles que en las señales, lo que puede reducir la tolerancia a la demora de los usuarios.

#### 2.11.7. Criterios de nivel de servicio para rotondas

Los criterios de nivel de servicio (LOS) para automóviles en rotondas se indican en la Tabla 11. Se asigna LOS F si la relación volumen/capacidad de un carril supera 1.0, independientemente de la demora de control de control. Para evaluar el LOS a nivel de intersección y de aproximación, El LOS se basa únicamente en la demora de control.

Los umbrales de la Tabla 11 se basan en el juicio ponderado del *Transportation Research Board Committee on Highway Capacity and Quality of Service*. Las glorietas comparten la misma formulación básica de demora de control con las intersecciones controladas con STOP en ambos sentidos y en todos los sentidos, ajustando por el efecto del control RENDIMIENTO.

**Tabla 11.** Criterios LOS para Rotondas: Modo Automóvil

| Demora de control (s/veh) | <b>LOS por relación volumen/capacidad</b> |                     |
|---------------------------|-------------------------------------------|---------------------|
|                           | <b>v/c ≤ 1.0</b>                          | <b>v/c &gt; 1.0</b> |
| 0-10                      | A                                         | F                   |
| >10-15                    | B                                         | F                   |
| >15-25                    | C                                         | F                   |
| >25-35                    | D                                         | F                   |
| >35-50                    | E                                         | F                   |
| >50                       | F                                         | F                   |

*Nota:* Para la evaluación de las intersecciones y de las aproximaciones, la LOS se define únicamente por la demora de control.

**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010, Cap. 21)

#### 2.12. Simulación de tránsito

La simulación de tráfico es una herramienta muy útil en el diseño y gestión de infraestructuras viales. Las simulaciones de tráfico pueden ayudarnos a entender cómo el tráfico se comporta en diferentes escenarios y condiciones, y cómo podemos mejorar la eficiencia del tráfico y la seguridad vial.

Existen dos tipos principales de simulaciones de tráfico: microsimulación y macrosimulación por software.

#### **2.12.1. Microsimulación**

La microsimulación es una simulación detallada que modela el comportamiento individual de cada vehículo y su interacción con el entorno, como los semáforos, los otros vehículos y los peatones. Este tipo de simulación se utiliza a menudo para analizar el flujo de tráfico en intersecciones complejas o en situaciones de tráfico con alta densidad.

“La microsimulación es una técnica de modelado utilizada en el campo de la ingeniería de tráfico y transporte para simular el comportamiento detallado de vehículos individuales en una red de carreteras. Se utiliza para estudiar y analizar el flujo de tráfico, la congestión, la capacidad de las carreteras, la seguridad vial y otros aspectos relacionados con el transporte”(Mateos, 2024)

#### **2.12.2. Microsimulación por software**

La microsimulación es una herramienta avanzada utilizada en la ingeniería de tráfico y el diseño de sistemas de transporte para modelar y simular el movimiento de vehículos a nivel individual en una red vial o una intersección, la microsimulación se enfoca en simular el comportamiento detallado de cada vehículo en la vía, lo que permite una comprensión más precisa y realista de cómo fluye el tráfico.

#### **2.12.3. PTV VISSIM**

PTV VISSIM es el software de simulación de tráfico más avanzado y completo a nivel mundial para simular interacciones complejas de vehículos de forma realista a nivel microscópico.

Modelar la demanda, la oferta y revisar el comportamiento de movimiento a detalle y simular nuevas formas de movilidad.

La microsimulación ayuda a tomar las decisiones correctas cuando se trata del diseño y control de la infraestructura de transporte. Por lo tanto, las ciudades, las empresas de explotación y las consultoras dependen del apoyo de programas informáticos para la planificación, la evaluación y la visualización de las medidas.(PTV GROUP, 2023)

**CAPÍTULO III**  
**DESARROLLO**  
**EXPERIMENTAL**

## CAPÍTULO III

### DESARROLLO EXPERIMENTAL

#### 3.1. Enfoque de aplicación

El enfoque de la aplicación del proyecto de análisis operacional de la Avenida Circunvalación se centra en comprender y mejorar el funcionamiento de esta importante vía de transporte. A partir de la información existente (volumen, semaforización, geometría), podemos identificar varios aspectos clave del enfoque del proyecto:

**Evaluación de diseño y especificaciones técnicas:** El proyecto se propone analizar si el diseño de las intersecciones y rotondas en la Avenida Circunvalación que corresponde a el tramo: Av. Circunvalación esq. Colón y Av. Circunvalación esq. Av. Romero. Si estos cumplen con las especificaciones técnicas recomendadas por el manual (Highway Capacity Manual 2010). Esto implica la geometría de la vía, la señalización, y otros parámetros de diseño para garantizar que estén en línea con las normativas establecidas.

**Medición de Capacidad y Determinación del Nivel de Servicio:** Se busca determinar la capacidad vehicular y el nivel de servicio de las zonas de estudio en la Avenida Circunvalación. Para lo cual será necesario calcular cuántos vehículos pueden circular eficientemente en la vía, y determinar la calidad del servicio ofrecido a los usuarios. En el cual el objetivo es lograr un nivel de servicio estable "LOS C" donde el tráfico vehicular cuenta con un flujo estable.

**Análisis de Comportamiento de Giros Izquierdos:** Se plantea que las maniobras de giro a la izquierda pueden ser responsables de la congestión y la ineficiencia en el equilibrio del tráfico en la Avenida Circunvalación. Por lo tanto, se estudiará detenidamente el comportamiento de estas maniobras y se considerará la posibilidad de implementar restricciones o soluciones alternativas.

**Evaluación de Señalización Horizontal y Vertical:** La investigación se centra en el impacto de la señalización horizontal y vertical de la circulación vehicular en las zonas conflictivas.

**Estudio de Semaforización:** Se plantea que la semaforización puede tener un efecto relevante en el equilibrio del tráfico circundante.

**Aplicación de la Micro simulación de Tráfico:** Se utilizará la micro simulación de tráfico mediante el software Vissim23 para encontrar escenarios que optimicen la distribución, señalización, semaforización y restricciones en la Avenida Circunvalación. Esto implica simular diversas alternativas y evaluar los resultados para identificar las soluciones más eficientes.

El método de estudio se basará en el Manual de Capacidad de Carreteras por los capítulos Intersecciones señalizadas, Intersecciones TWSC, Intersecciones AWSC, Rotondas.

### **3.2. Ubicación de los puntos de investigación**

Los puntos de investigación se encuentran en el tramo comprendido por la Avenida Circunvalación desde la C/ Colon hasta Avenida Romero. En los tramos mencionados se encuentran los 11 puntos intencionales de investigación.

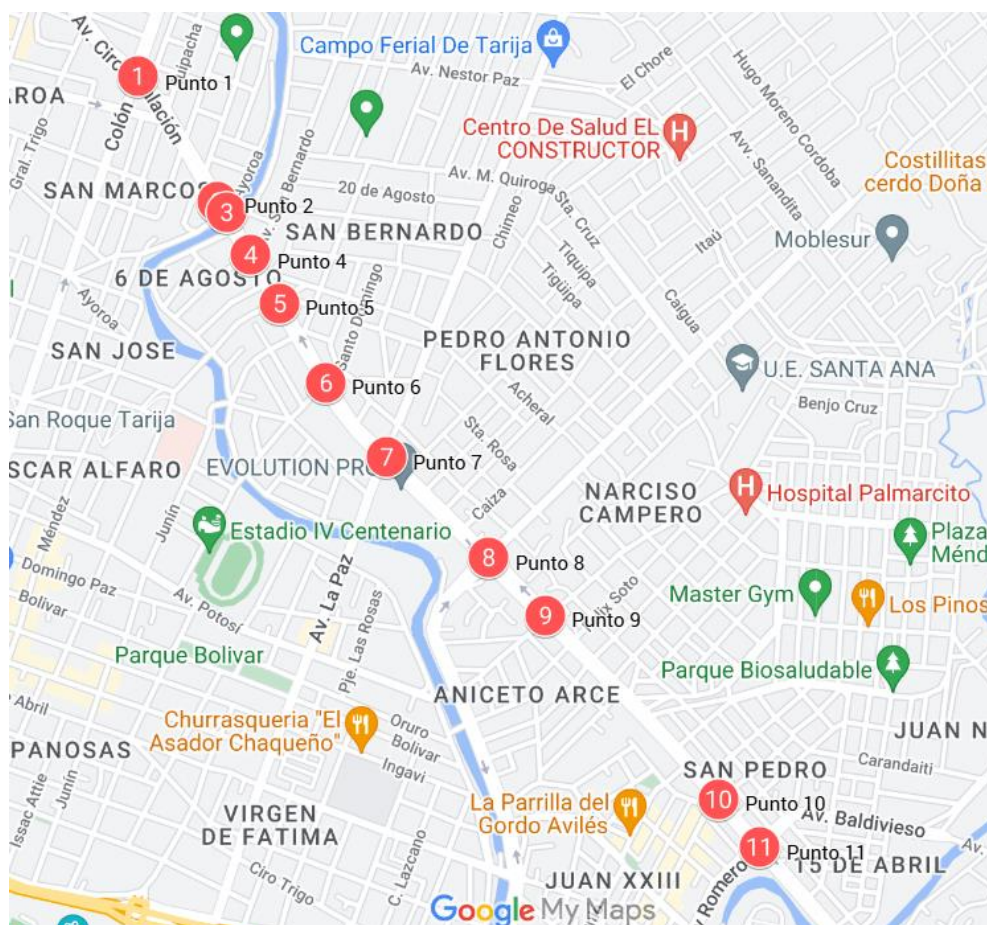
Se realizó un análisis operacional basado en los puntos evaluación de diseño y especificaciones técnicas medición de la capacidad y niveles de servicio, comportamiento de las maniobras de los conductores, señalización. En el cual se planteará escenarios a objeto de mejorar los tiempos de demoras, lo cual significa disminuir el congestionamiento y mejorar las condiciones en función de la experiencia de viaje.

Las Coordenadas de los puntos de investigación son las siguientes:

- **Punto 1:** Rotonda Avenida Circunvalación y Colon, sus coordenadas son: latitud 21°31'13.98"S y longitud 64°43'37.68"O, tiene una elevación de 1880 m s. n. m.
- **Punto 2:** Intersección Avenida Circunvalación y Pando, sus coordenadas son: latitud 21°31'24.84"S y longitud 64°43'30.18"O, tiene una elevación de 1868 m s. n. m.
- **Punto 3:** Intersección Avenida Circunvalación C/Marco Araoz y Ayoroa, sus coordenadas son: latitud 21°31'26.04"S y longitud 64°43'29.40"O, tiene una elevación 1869 m s. n. m.

- **Punto 4:** Intersección Avenida Circunvalación y Avenida San Bernardo, sus coordenadas son: latitud 21°31'29.76"S y longitud 64°43'26.94"O, tiene una elevación de 1870 m s. n. m.
- **Punto 5:** Intersección Avenida Circunvalación y C/Santa Cruz, sus coordenadas son: latitud 21°31'33.72"S y longitud 64°43'24.42"O, tiene una elevación 1872 m s. n. m.
- **Punto 6:** Intersección Avenida Circunvalación Avenida 4 de octubre y Santo Domingo, sus coordenadas son: latitud 21°31'40.56"S y longitud 64°43'19.98"O, tiene una elevación de 1873 m s. n. m.
- **Punto 7:** Intersección Avenida Circunvalación y Avenida La Paz, sus coordenadas son: latitud 21°31'47.10"S y longitud 64°43'14.46"O, tiene una elevación 1868 m s. n. m.
- **Punto 8:** Rotonda Avenida Circunvalación Intersección Avenida Gran Chaco y Julio Delio Echazú, sus coordenadas son: latitud 21°31'55.98"S y longitud 64°43'4.86"O, tiene una elevación 1865 m s. n. m.
- **Punto 9:** Intersección Avenida Circunvalación y Avenida Gamoneda sus coordenadas son: latitud 21°32'1.19"S y longitud 64°42'59.20"O, tiene una elevación 1864 m s. n. m.
- **Punto 10:** Rotonda Avenida Circunvalación Intersección Avenida Font sus coordenadas son: latitud 21°32'16.98"S y longitud 64°42'43.18"O, tiene una elevación 1866 m s. n. m.
- **Punto 11:** Rotonda Avenida Circunvalación Intersección Avenida Romero, sus coordenadas son: latitud 21°32'21.03"S y longitud 64°42'39.37"O, tiene una elevación 1868 m s. n. m.

**Figura 16.** Ubicación de los puntos de Investigación

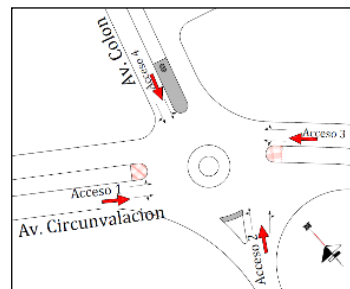


Fuente: Google Maps.

### 3.3. Características físicas y operacionales de los puntos de investigación

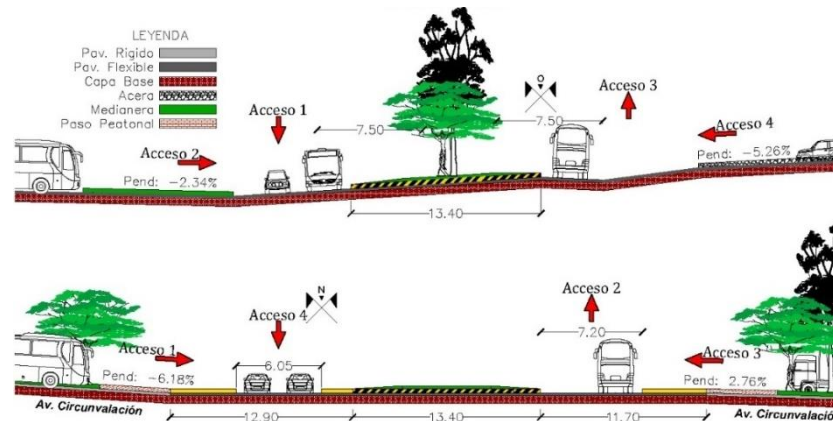
El tramo de investigación está conformado por una avenida principal de dos carriles con doble sentido comprendido por 11 intersecciones de las cuales cuatro son Rotondas dos de ellas semaforizadas y otras dos no semaforizadas, tres intersecciones semaforizadas (Intersección Av. San Bernardo, Av. La Paz y Av. Gamoneda), tres intersecciones no semaforizadas (intersección C/Pando C/Araoz, C/Sta. Cruz y Av. 4 de octubre)

**Intersección Av. Colón:** Es una intersección con una isla central de 13.40 metros de diámetro, 4 ramales de acceso, el acceso 1 en dirección Sur-Este tiene un ancho de 7.50 metros que consta de dos carriles una pendiente de -6.18% el acceso 2 en dirección Noreste tiene una ancho 9.10 metros, este consta de tres carriles, dos de ingreso y uno



de salida que tiene una pendiente de -2.34% , el acceso 3 en dirección Noroeste tiene una ancho de 7.50 metros una pendiente de +2.76% , el acceso 4 en dirección Sur tiene un ancho de 6.05 metros este consta de dos carriles -5.26%. Los 4 accesos son de ingreso y tienen maniobras de giro izquierdo, derecho y cruce de frente. La Rotonda cuenta con semaforización.

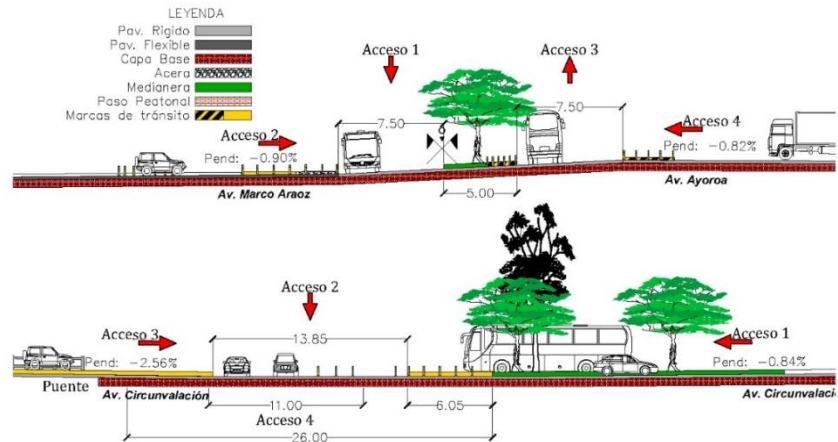
**Figura 17.** Intersección Av. Circunvalación y Av. Colón.



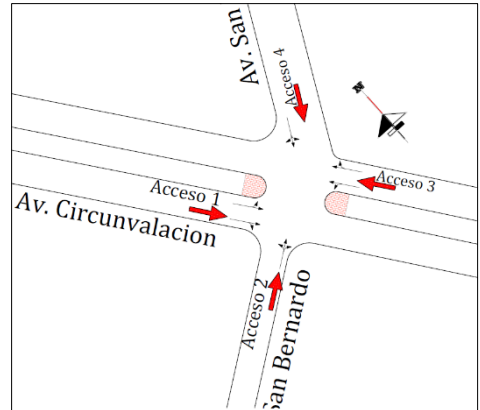
**Intersección Av. Pando – Av. Ayoroa:** Es una intersección combinada de 5 ramales de acceso y una salida de la Estación de Servicio Av. Circunvalación, el acceso 1 en dirección Sur-Este tiene un ancho de 7.50 metros que consta de dos carriles con una pendiente de -0.84%, el acceso 3 en dirección Oeste tiene un ancho de 7.50 metros consta de dos carriles con una pendiente de -2.56%, el acceso 2 en dirección Norte tiene un ancho de 13.85 metros que consta de tres carriles, dos en una dirección y un carril en sentido opuesto con una pendiente de -0.90%, el acceso 4 en dirección Sur-Este tiene un ancho de 11.00 metros que consta de tres carriles una pendiente de -0.82%, el acceso de salida de la estación en dirección Sur-Oeste tiene un ancho de 7.50 metros que consta de dos carriles en un solo sentido una pendiente de 0.10%. Este último acceso es la salida de los vehículos de la estación de servicio. Los 4 accesos de ingreso tienen permitido las maniobras de giro izquierdo, derecho y cruce de frente. La intersección no cuenta con semaforización.



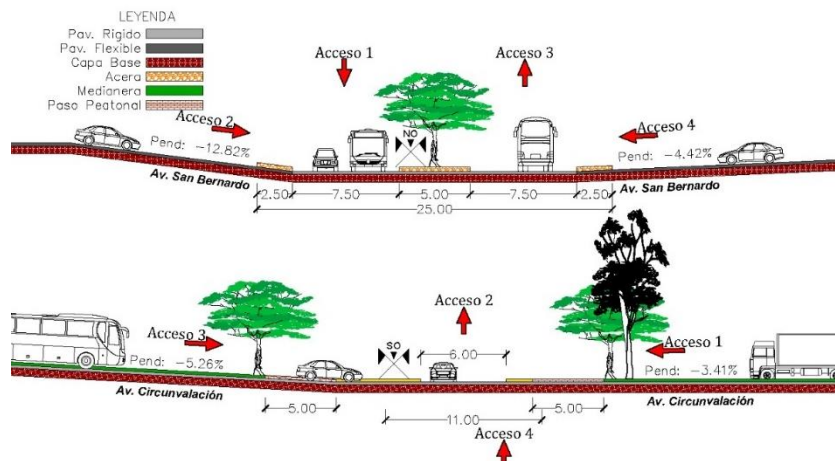
**Figura 18.** Intersección Av. Circunvalación y Pando- Av. Ayoroa



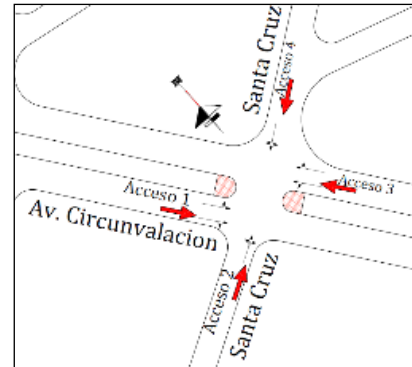
**Intersección Av. San Bernardo:** Es una intersección de 4 ramales de acceso, el acceso 1 en dirección Sur-Este tiene un ancho de 7.50 metros que consta de dos carriles con una pendiente de -3.41%, el acceso 3 en dirección Noroeste tiene un ancho de carril de 7.50 metros que consta de dos carriles con una pendiente de -5.26%, el acceso 4 en dirección Sur-Oeste tiene un ancho de 10.0 metros que consta de dos carriles una pendiente de -4.42%, el acceso 2 en dirección Noreste tiene un ancho de 6.00 metros consta de dos carriles en dos sentidos y una pendiente de -12.82%. La intersección cuenta con semaforización.



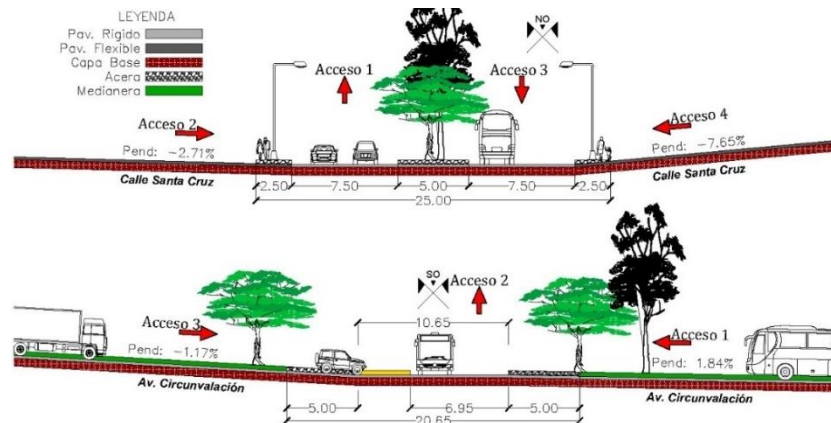
**Figura 19.** Intersección Av. Circunvalación Av. San Bernardo



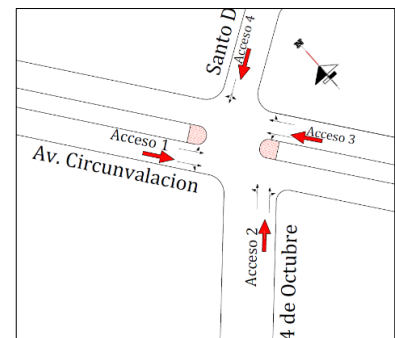
**Intersección Av. Santa Cruz:** Es una intersección de 4 ramales de acceso, el acceso 1 en dirección Sur-Este tiene un ancho de 7.50 metros que consta de dos carriles una pendiente de 1.84%, el acceso 3 en dirección Nor-Oeste tiene un ancho de 7.50 metros consta de dos carriles con una pendiente de -1.17%, el acceso 2 en dirección Nor-Este tiene un ancho de carril de 6.95 metros consta de dos carriles en ambas direcciones uno de los cuales es la conexión y salida desde el Hospital San Juan de Dios está a una pendiente de -2.71%, el acceso 4 en dirección Sur-Oeste tiene un ancho de carril de 9.50 metros consta de dos carriles en ambas direcciones una pendiente de -7.65%. La intersección no cuenta con semaforización.



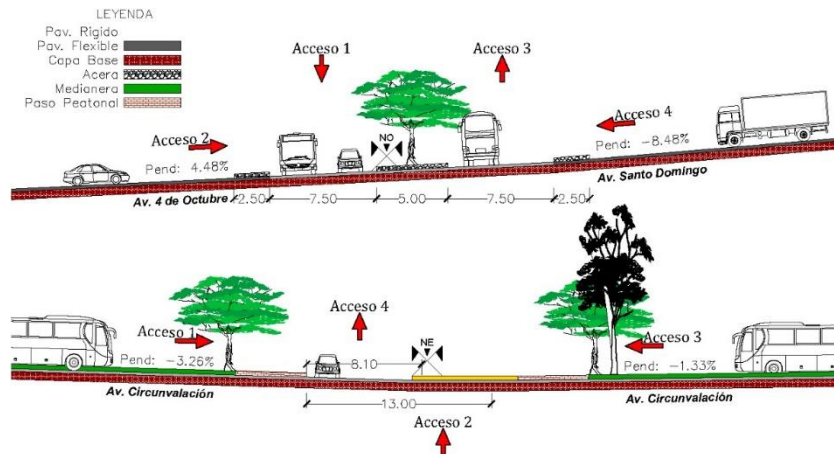
**Figura 20.** Intersección Av. Circunvalación y Santa Cruz



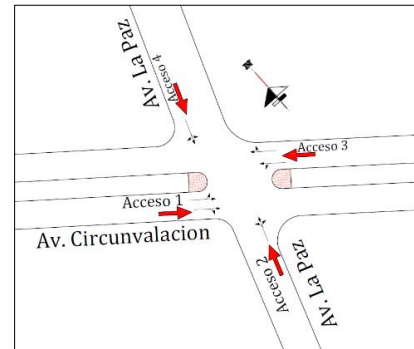
**Intersección Av. 4 de octubre -Av. Santo Domingo:** Es una intersección de 4 ramales de acceso, el acceso 1 en dirección Sur-Este tiene un ancho de 7.50 metros que consta de dos carriles en bajada una pendiente de -3.26%, el acceso 3 en dirección Nor-Oeste tiene un ancho de 7.50 metros que consta de dos carriles en subida una pendiente de -1.33%, el acceso 2 en dirección Nor-Este tiene un ancho de 13.00 metros consta de 4 cuatro carriles, dos en cada sentido con una pendientes de 4.48%, el acceso 4 en dirección Sur-Oeste tiene un ancho de 8.10 metros consta de dos carriles en dos sentidos una pendiente de -8.48%. La intersección no cuenta con semaforización.



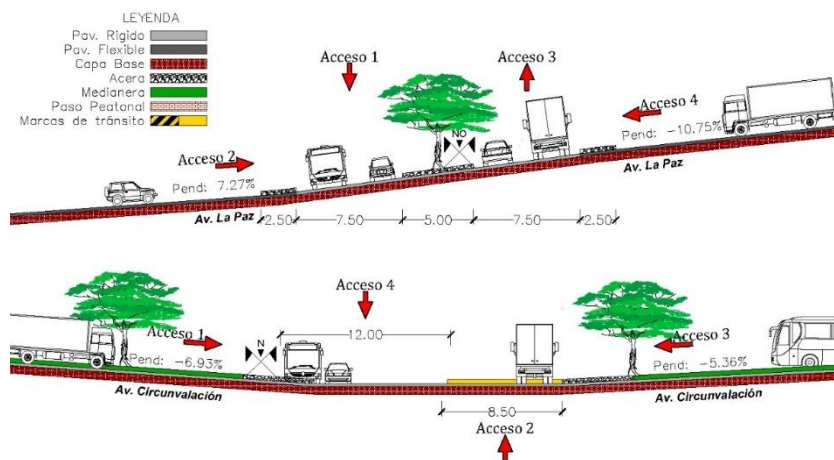
**Figura 21.** Intersección Av. Circunvalación Av. 4 de octubre y Santo San Domingo



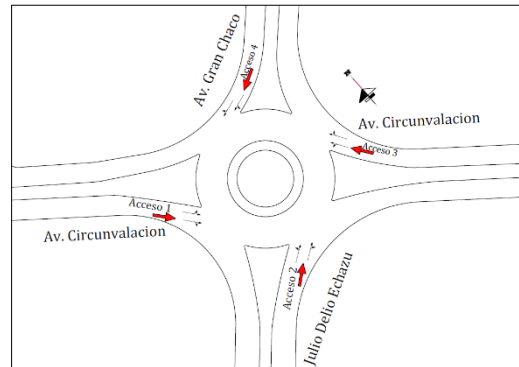
**Intersección Av. La Paz:** Es una intersección de 4 ramales de acceso, el acceso 1 en dirección Sur-Este tiene un ancho de 7.50 metros que consta de dos carriles en bajada con una pendiente de -6.93%, el acceso 3 en dirección Nor-Oeste tiene un ancho de 7.50 metros que consta de dos carriles en subida consta de dos carriles y tiene una pendiente de -5.36%, el acceso 2 en dirección Nor-Este tiene un ancho 8.50 metros consta de dos carriles en dos sentidos tiene una pendiente de 7.27%, el acceso 4 en dirección Sur-Oeste tiene un ancho de 12.00 metros que consta de 4 carriles (2 en cada dirección) tiene una pendiente de -10.75%. La intersección cuenta con semaforización.



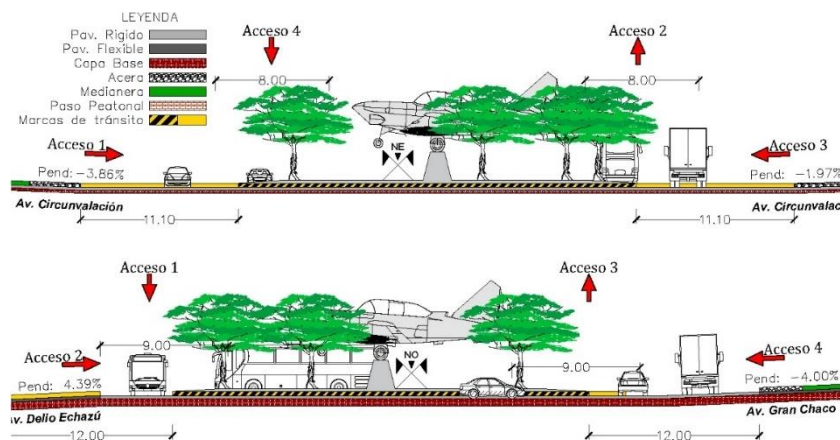
**Figura 22.** Intersección Av. Circunvalación Av. La Paz



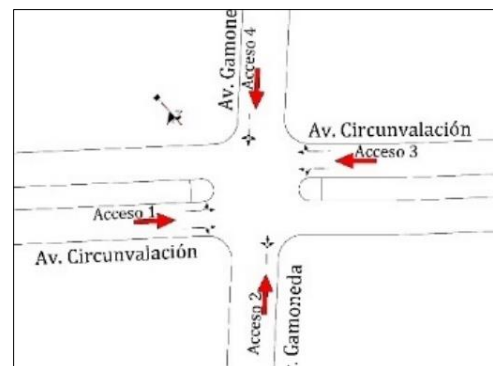
**Rotonda del Avión Av. Gran Chaco – Av. Delio Echazú:** Es una intersección que cuenta de una isla interior de 28 metros de diámetro, 4 ramales de acceso, el acceso 1 en dirección Sur-Este de bajada tiene un ancho de carril de 7.50 metros que consta de dos carriles una pendiente de -3.86%, el acceso 3 en dirección Nor-Oeste de subida tiene un ancho de carril 7.50 metros que consta de dos carriles una pendiente de -1.97%, el acceso 2 en dirección Nor-Este tiene un ancho de 8.00 metros que consta de dos carriles una pendiente de 4.39%, el acceso 4 en dirección Sur-Oeste tiene un ancho de 8.00 metros que consta de dos carriles una pendiente de -3.51%. Los accesos 1-3 tienen un leve ensanchamiento abocinado al ingreso de la intersección, los accesos son de ingreso y tienen maniobras permitidas de giro izquierdo, derecho y cruce de frente.



**Figura 23.** Intersección Av. Circunvalación Av. Gran Chaco – Av. Delio Echazú

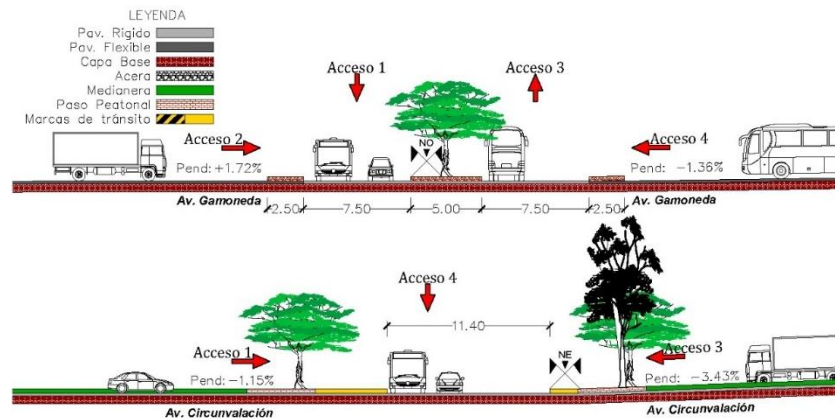


**Intersección Av. Gamoneda:** Es una Intersección de 4 ramales de acceso, el acceso 1 en dirección Sur-Este tiene un ancho de carril de 7.50 metros consta de dos carriles una pendiente de -1.15 %, el acceso 3 en dirección Nor-Oeste tiene un ancho de 7.50 metros consta de dos carriles una pendiente de -3.43%, el acceso 2 en dirección Nor-Este tiene un ancho de 9.50 metros que consta de dos carriles en ambos sentidos del

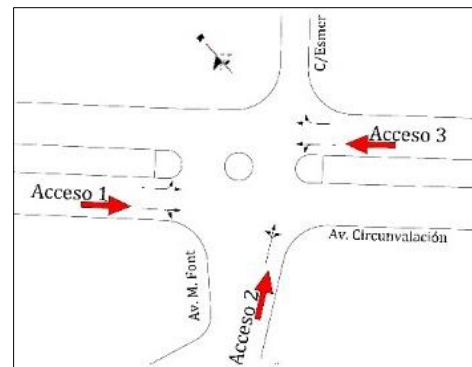


cual uno de sus acceso es la salida desde el Hospital Obrero una pendiente de 1.72%, el acceso 4 en dirección Sur-Oeste tiene un ancho de carril de 11.40 metros el cual consta de 4 carriles 2 en cada sentido y una pendiente de -1.36%. Los 4 accesos tienen habilitada las maniobras de giro izquierda, derecho y cruce de frente, la intersección cuenta con sistema de semaforización.

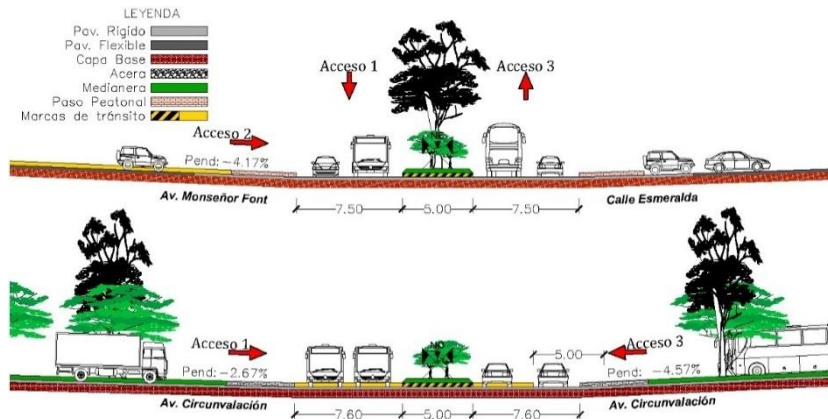
**Figura 24.** Intersección Av. Circunvalación Av. Gamoneda



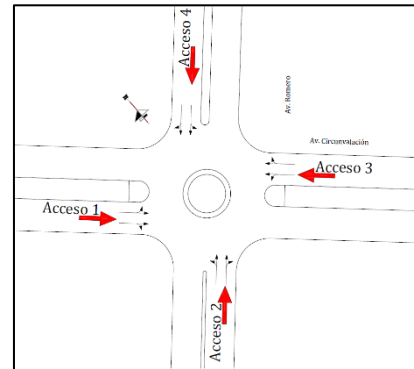
**Intersección Av. Monseñor Font:** Es una Intersección de 3 ramales de acceso, el acceso 1 en dirección Sur-Este tiene un ancho de carril de 7.50 metros consta de dos carriles una pendiente de -2.67 %, el acceso 3 en dirección Nor-Oeste tiene un ancho de 7.50 metros que consta de dos carriles con una pendiente de -4.57%, el acceso 2 en dirección Nor-Este tiene un ancho de 11.80 metros consta de cuatro carriles, dos en cada sentido el ancho del acceso es abocinado de 10.25 metros a 15.5 en la intersección una pendiente de -4.17%. Los 3 accesos tienen habilitada las maniobras de giro izquierda, derecho y cruce de frente dentro de la rotonda de 5m de diámetro, la intersección cuenta con sistema de semaforización.



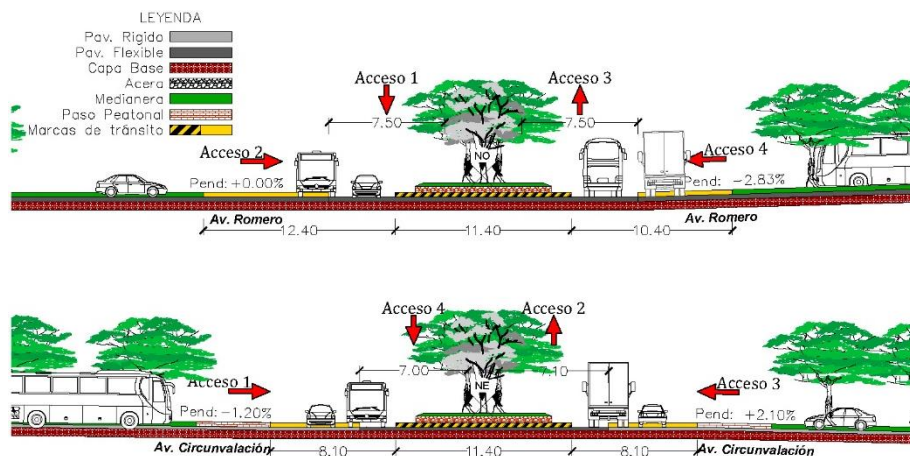
**Figura 25. Intersección Av. Circunvalación Av. Monseñor Font**



**Intersección Av. Romero:** Es una Intersección de 4 ramales de acceso, el acceso 1 en dirección Este tiene un ancho de carril de 7.50 metros que consta de dos carriles con una pendiente de  $-1.20\%$ , el acceso 3 en dirección Oeste tiene un ancho de 7.50 metros que consta de dos carriles con una pendiente de  $2.10\%$ , el acceso 2 en dirección Norte tiene un ancho de 7.10 metros que consta de dos carriles una pendiente de  $0.00\%$ , el acceso 4 en dirección Sur tiene un ancho de 7.00 metros consta de dos carriles y una pendiente de  $2.83\%$ . Los 4 accesos tienen habilitada las maniobras de giro izquierda, derecho y cruce de frente dentro de la rotonda de 11.40 metros de diámetro.



**Figura 26. Intersección Av. Circunvalación Av Romero**



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.4. Recopilación de datos**

Para el propósito de conocer con mayor detalle el comportamiento de los puntos de estudio es necesario un levantamiento de datos, el cual consiste en un aforo vehicular para determinar la demanda actual, el comportamiento vehicular en cuando a los volúmenes de pico horarios. Dentro de los parámetros propuestos por el Manual de Capacidad de Carreteras HCM2010 donde considera que para efectos de un análisis operacional es necesario realizar el aforo en dos periodos de 3 días continuos o 4 días discontinuos donde mínimamente dos deben ser en días hábiles y en horarios picos. Lo que nos permite establecer el tráfico vehicular en los puntos de estudio (intersecciones), los tipos de vehículos (pesado, mediado y livianos), los movimientos que efectúan (giro derecho, de frente y giro izquierdo).

#### **3.4.1. Procedimiento**

El primer paso consiste en determinar los volúmenes de tráfico y horas pico de congestionamiento mediante el proceso de aforo de vehículos, donde se realizó el aforo muestral durante un día desde las 06:00 AM hasta las 22:00 PM en la intersección de mayor congestionamiento. Intersección Estación de Servicio Avenida Circunvalación.

#### **Realización de aforos de volumen.**

Una vez definidas las horas pico se realizó el aforo de volúmenes en las tres horas que corresponde a una jornada. (07:00-08:00, 12:00-13:00, 18:00-19:00), tres días continuos (dos días hábiles y uno no hábil). Realizando el proceso de selección y ubicación en cada acceso de las intersecciones y realizando el conteo, la composición de vehículos y el flujo de tránsito.

### **3.5. Proceso de aforo**

La realización del aforo se hizo de forma manual, con personal adecuado, debido a que realizar el conteo manual sería complicado y requeriría mucho tiempo, se recopiló la información en planillas de registro de aforo, durante el proceso de recopilación manual, se registró la cantidad de vehículos que circulan por la vía seleccionada, los puntos de observación y ubicación en las entradas para cada acceso a las intersecciones. Se utilizó una planilla de registro de aforos que clasifican los vehículos según su tamaño (livianos,

medianos, pesados) y sus maniobras (giro derecho, giro izquierdo y de frente) según corresponde.

### 3.5.1. Procesamiento de datos de aforo

Como primer procedimiento se definió las horas pico para un punto muestral y donde se presente una congestión considerable. Dando como resultados los valores obtenidos por la Tabla 12. Donde se puede observar mediante la Figura 27, que los picos de tráfico son más representativos en horas 07:00 a 08:00, 12:00 a 13:00 y 18:00 a 19:00.

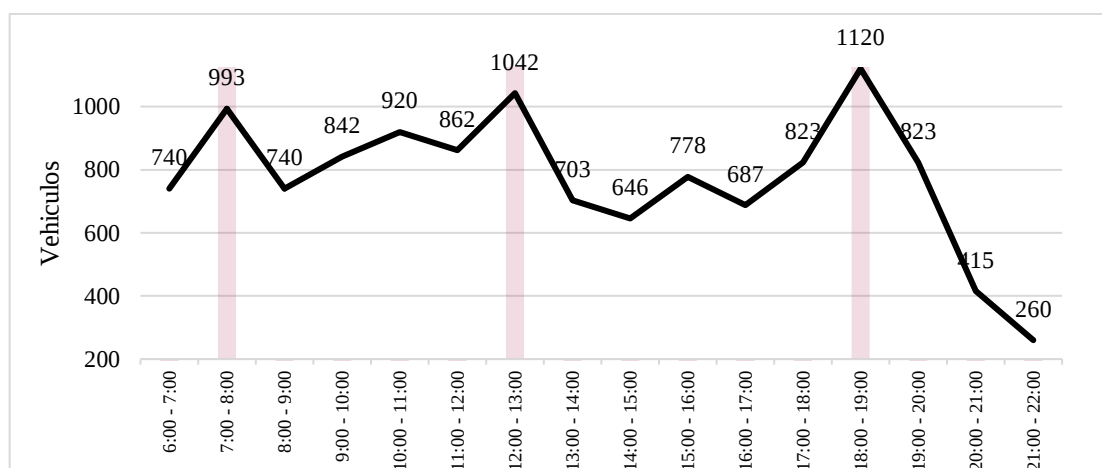
En tal sentido, los aforos se realizaron en los horarios picos de tráfico vehicular antes mencionados, para dos periodos de dos días hábiles y un día inhábil.

**Tabla 12.** Valores de horas pico Av. La Paz

| Hora          | Número de Vehículos por hora | Hora          | Número de Vehículos por hora |
|---------------|------------------------------|---------------|------------------------------|
| 6:00 - 7:00   | 740                          | 14:00 - 15:00 | 646                          |
| 7:00 - 8:00   | 993                          | 15:00 - 16:00 | 778                          |
| 8:00 - 9:00   | 740                          | 16:00 - 17:00 | 687                          |
| 9:00 - 10:00  | 842                          | 17:00 - 18:00 | 823                          |
| 10:00 - 11:00 | 920                          | 18:00 - 19:00 | 1120                         |
| 11:00 - 12:00 | 862                          | 19:00 - 20:00 | 823                          |
| 12:00 - 13:00 | 1042                         | 20:00 - 21:00 | 415                          |
| 13:00 - 14:00 | 703                          | 21:00 - 22:00 | 260                          |

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 27.** Hora pico - Av. La paz



**Fuente:** Elaboración propia

Se describe el proceso de análisis y depuración de los datos obtenidos mediante el aforo con el fin de obtener un rango de seguridad basado en la media y la desviación estándar, como se detalla en el Anexo para el punto 1 de análisis (Av. Circunvalación y Av. Colón).

### 3.5.2. Cálculo del volumen total en cada acceso

Para Volúmenes totales en horarios pico (07:00-08:00, 12:00-13:00, 18:00-19:00)

**Tabla 13.** Volúmenes totales 07:00-08:00 Av.Colón

| DIA       | HORA     | 07:00-08:00 |          |          |  |
|-----------|----------|-------------|----------|----------|--|
|           | Acceso 1 | Acceso 2    | Acceso 3 | Acceso 4 |  |
| Miércoles | 889      | 638         | 899      | 241      |  |
| Jueves    | 892      | 648         | 898      | 240      |  |
| Sábado    | 833      | 552         | 782      | 213      |  |
| Miércoles | 894      | 639         | 890      | 238      |  |
| Jueves    | 892      | 661         | 905      | 240      |  |
| Sábado    | 832      | 653         | 762      | 208      |  |

**Tabla 14.** Volúmenes totales 12:00 -13:00 Av.Colón

| DIA       | HORA     | 12:00-13:00 |          |          |  |
|-----------|----------|-------------|----------|----------|--|
|           | Acceso 1 | Acceso 2    | Acceso 3 | Acceso 4 |  |
| Miércoles | 976      | 698         | 917      | 240      |  |
| Jueves    | 972      | 695         | 920      | 240      |  |
| Sábado    | 883      | 575         | 826      | 218      |  |
| Miércoles | 973      | 701         | 909      | 241      |  |
| Jueves    | 980      | 668         | 932      | 236      |  |
| Sábado    | 892      | 634         | 820      | 219      |  |

**Tabla 15.** Volúmenes totales 18:00 -19:00 Av.Colón

| DIA       | HORA     | 18:00-19:00 |          |          |  |
|-----------|----------|-------------|----------|----------|--|
|           | Acceso 1 | Acceso 2    | Acceso 3 | Acceso 4 |  |
| Miércoles | 1042     | 359         | 1072     | 246      |  |
| Jueves    | 1056     | 359         | 1080     | 248      |  |
| Sábado    | 874      | 304         | 1029     | 234      |  |
| Miércoles | 1061     | 353         | 1082     | 254      |  |
| Jueves    | 1063     | 359         | 1086     | 254      |  |
| Sábado    | 906      | 306         | 1028     | 222      |  |

### 3.5.2.1. Cálculo la media de la sumatoria de los vehículos

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Ecuación 2

Donde:

n = número de datos computados (veh)

$x_i$  = datos aforados (veh)

$\bar{X}$  = promedio aritmético

#### Cálculo la media de la sumatoria de los vehículos

Para: 07:00-08:00 (Acceso 1)

$$\bar{x} = \frac{889 + 892 + 833 + 894 + 892 + 832}{6} = 872 \left( \frac{veh}{h} \right)$$

Nota: Se repite el procedimiento para los accesos faltantes.

|             | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-------------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{x} =$ | 872.00   | 631.83   | 856.00   | 230.00   |

### 3.5.2.2. Desviación estándar

$$S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Ecuación 3

Donde:

n = número de datos computados (veh)

$x_i$  = datos aforados (veh)

$\bar{X}$  = promedio aritmético

S = desviación estándar

#### Cálculo de la desviación estándar

$$S = \sqrt{\left( \frac{1}{6-1} \right) * (289 + 400 + 1521 + 484 + 400 + 160)} = 30.64 \text{ veh/h}$$

Nota: Se repite el procedimiento para los accesos faltantes

|           | <b>Acceso 1</b> | <b>Acceso 2</b> | <b>Acceso 3</b> | <b>Acceso 4</b> |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>S=</b> | 30.64           | 40.06           | 65.55           | 15.22           |

### 3.5.3. Determinación del rango

#### Rango superior

Expresado como la suma de la media y a la desviación estándar

$$Rs = x_i + S = (veh/h) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$Rs = 872 \frac{veh}{h} + 30.64 \frac{veh}{h} = 902.64 \text{ veh/h}$$

Nota: Se repite el procedimiento para los accesos faltantes.

|             | <b>Acceso 1</b> | <b>Acceso 2</b> | <b>Acceso 3</b> | <b>Acceso 4</b> |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>sup=</b> | 902.64          | 671.89          | 921.55          | 245.22          |

#### Rango inferior

Expresado como la resta de la media y a la desviación estándar

$$Ri = x_i - S = (veh/h) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$Ri = 872 \frac{veh}{h} - 30.64 \frac{veh}{h} = 841.36 \text{ veh/h}$$

|             | <b>Acceso 1</b> | <b>Acceso 2</b> | <b>Acceso 3</b> | <b>Acceso 4</b> |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>inf=</b> | 841.36          | 591.78          | 790.45          | 214.78          |

Teniendo los rangos superiores e inferiores se depura los datos que se encuentren fuera de rango (Superior=902.64 e Inferior=841.36).

**Tabla 16.** Comprobación de valores dentro de rango

| <b>Acceso 1</b> | <b>Comprobación</b> | <b>Dato depurado</b> |
|-----------------|---------------------|----------------------|
| 889             | Si                  | 889                  |
| 892             | Si                  | 892                  |
| 833             | No                  | -                    |
| 894             | Si                  | 894                  |
| 892             | Si                  | 892                  |
| 832             | No                  | -                    |

### 3.5.4. Cálculo de valor medio de la sumatoria de los vehículos

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = (veh/h)$$

Ecuación 6

$$\bar{x} = \frac{889 + 892 + 894 + 892}{4} = 891.75 \left( \frac{veh}{h} \right)$$

Nota: Se repite el procedimiento para los accesos faltantes.

|             | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-------------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{x} =$ | 891.75   | 647.80   | 898.00   | 239.75   |

Nota: Los valores encontrados se redondean al número entero superior, ya que no puede tener decimales un valor de aforo vehicular

#### Para 07:00 – 08:00

**Tabla 17.** Tabla de valores promedio depurados para 07:00-08:00

|             | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-------------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{x} =$ | 892      | 648      | 898      | 240      |

#### Para 12:00 – 13:00

**Tabla 18.** Tabla de valores promedio depurados para 12:00-13:00

|             | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-------------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{x} =$ | 976.00   | 680.00   | 920.00   | 240.00   |

#### Para 18:00 – 19:00

**Tabla 19.** Tabla de valores promedio depurados para 18:00-19:00

|             | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-------------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{x} =$ | 1056     | 358      | 1080     | 248      |

Para datos depurados de los periodos: (07:00-08:00), (12:00-13:00), (18:00-19:00)

#### Volumen total por cada Acceso

**Tabla 20.** Valores totales para cada acceso punto 1

| Hora        | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-------------|----------|----------|----------|----------|
| 07:00-08:00 | 892      | 648      | 898      | 240      |
| 12:00-13:00 | 976      | 680      | 920      | 240      |
| 18:00-19:00 | 1056     | 358      | 1080     | 248      |

**Fuente:** Elaboración propia

### Cálculo de valor medio de la sumatoria de los vehículos para: Acceso 1

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\bar{x} = \frac{892 + 976 + 1056}{4} = 974.67 \left( \frac{veh}{h} \right)$$

Nota: El procedimiento se repite para los accesos faltantes, para horas pico.

### Resultados de Volumen de aforo

Tomando los datos de las planillas de registro de aforo para el aforo de 07:00 a 08:00, 12:00 a 13:00 y para el aforo de 18:00 a 19:00. Para el cual se hace la sumatoria de los valores obtenidos y encontrando su promedio.

Intersección: Av. Circunvalación y Av. Colón

|            | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{X}=$ | 975      | 562      | 966      | 243      |

### 3.5.5. Porcentaje de giro

Para el cálculo de porcentaje de giro izquierda, derecha y de frente, para los vehículos que circulan por la intersección se realizó el siguiente procedimiento.

### Cálculo de porcentaje de giro en cada acceso

Intersección: Av. Circunvalación y Av. Colon

**Tabla 21.** Porcentaje de maniobras en Acceso 1 y Acceso 2. Intervalo 07:00 a 08:00

| DIA        | Acceso 1 |           |      |         |      |        |       | Acceso 2   |           |       |         |      |        |       |
|------------|----------|-----------|------|---------|------|--------|-------|------------|-----------|-------|---------|------|--------|-------|
|            | Total    | Giros     |      |         |      | Frente |       | Total      | Giros     |       |         |      | Frente |       |
|            |          | Izquierda |      | Derecha |      |        |       |            | Izquierda |       | Derecha |      |        |       |
|            |          | Veh       | %    | Veh     | %    | Veh    | %     |            | Veh       | %     | Veh     | %    | Veh    | %     |
| Miércoles  | 889      | 29        | 3.26 | 11      | 1.24 | 849    | 95.50 | 638        | 87        | 13.64 | 50      | 7.84 | 501    | 78.53 |
| Jueves     | 892      | 28        | 3.14 | 10      | 1.12 | 854    | 95.74 | 648        | 86        | 13.27 | 41      | 6.33 | 521    | 80.40 |
| Sábado     | 833      | 27        | 3.24 | 9       | 1.08 | 797    | 95.68 | 552        | 74        | 13.41 | 36      | 6.52 | 442    | 80.07 |
| Miércoles  | 894      | 29        | 3.24 | 10      | 1.12 | 855    | 95.64 | 639        | 89        | 13.93 | 41      | 6.42 | 509    | 79.66 |
| Jueves     | 892      | 27        | 3.03 | 10      | 1.12 | 855    | 95.85 | 661        | 90        | 13.62 | 63      | 9.53 | 508    | 76.85 |
| Sábado     | 832      | 26        | 3.13 | 9       | 1.08 | 797    | 95.79 | 653        | 74        | 11.33 | 24      | 3.68 | 555    | 84.99 |
| $\bar{X}=$ |          | Izq.      | 3.17 | Der.    | 1.13 | Fren.  | 95.70 | $\bar{X}=$ | Izq.      | 13.20 | Der.    | 6.72 | Fren.  | 80.08 |

**Tabla 22.** Porcentaje de maniobras en Acceso 3 y Acceso 4. Intervalo 07:00 a 08:00

| DIA       | Acceso 3 |           |      |         |       |        |       | Acceso 4 |           |       |         |       |        |       |
|-----------|----------|-----------|------|---------|-------|--------|-------|----------|-----------|-------|---------|-------|--------|-------|
|           | Total    | Giros     |      |         |       | Frente |       | Total    | Giros     |       |         |       | Frente |       |
|           |          | Izquierda |      | Derecha |       |        |       |          | Izquierda |       | Derecha |       |        |       |
|           |          | Veh       | %    | Veh     | %     | Veh    | %     |          | Veh       | %     | Veh     | %     | Veh    | %     |
| Miércoles | 899      | 49        | 5.45 | 109     | 12.12 | 741    | 82.42 | 241      | 175       | 72.61 | 43      | 17.84 | 23     | 9.54  |
| Jueves    | 898      | 47        | 5.23 | 110     | 12.25 | 741    | 82.52 | 240      | 173       | 72.08 | 44      | 18.33 | 23     | 9.58  |
| Sábado    | 782      | 36        | 4.60 | 85      | 10.87 | 661    | 84.53 | 213      | 155       | 72.77 | 36      | 16.90 | 22     | 10.33 |
| Miércoles | 890      | 49        | 5.51 | 108     | 12.13 | 733    | 82.36 | 238      | 176       | 73.95 | 43      | 18.07 | 19     | 7.98  |
| Jueves    | 905      | 53        | 5.86 | 112     | 12.38 | 740    | 81.77 | 240      | 180       | 75.00 | 45      | 18.75 | 15     | 6.25  |
| Sábado    | 762      | 31        | 4.07 | 107     | 14.04 | 624    | 81.89 | 208      | 136       | 65.38 | 33      | 15.87 | 39     | 18.75 |
| X̄=       |          | Izq.      | 5.12 | Der.    | 12.30 | Fren.  | 82.58 | X̄=      | Izq.      | 71.97 | Der.    | 17.63 | Fren.  | 10.41 |

**Tabla 23.** Porcentaje de maniobras en Acceso 1 y Acceso 2. Intervalo 12:00 a 13:00

| DIA       | Acceso 1 |           |      |         |      |        |       | Acceso 2 |           |       |         |       |        |       |       |
|-----------|----------|-----------|------|---------|------|--------|-------|----------|-----------|-------|---------|-------|--------|-------|-------|
|           | Total    | Giros     |      |         |      | Frente |       | Total    | Giros     |       |         |       | Frente |       |       |
|           |          | Izquierda |      | Derecha |      |        |       |          | Izquierda |       | Derecha |       |        |       |       |
|           |          | Veh       | %    | Veh     | %    | Veh    | %     |          | Veh       | %     | Veh     | %     | Veh    | %     |       |
| Miércoles | 976      | 32        | 3.28 | 12      | 1.23 | 932    | 95.49 | 698      | 90        | 12.89 | 74      | 10.60 | 534    | 76.50 |       |
| Jueves    | 972      | 32        | 3.29 | 12      | 1.23 | 928    | 95.47 | 695      | 85        | 12.23 | 62      | 8.92  | 548    | 78.85 |       |
| Sábado    | 883      | 29        | 3.28 | 11      | 1.25 | 843    | 95.47 | 575      | 74        | 12.87 | 15      | 2.61  | 486    | 84.52 |       |
| Miércoles | 973      | 31        | 3.19 | 10      | 1.03 | 932    | 95.79 | 701      | 93        | 13.27 | 63      | 8.99  | 545    | 77.75 |       |
| Jueves    | 980      | 32        | 3.27 | 13      | 1.33 | 935    | 95.41 | 668      | 89        | 13.32 | 54      | 8.08  | 525    | 78.59 |       |
| Sábado    | 892      | 29        | 3.25 | 12      | 1.35 | 851    | 95.40 | 634      | 84        | 13.25 | 12      | 1.89  | 538    | 84.86 |       |
| X̄=       |          | Izq.      | 3.26 | Der.    | 1.23 | Fren.  | 95.51 | X̄=      |           | Izq.  | 12.97   | Der.  | 6.85   | Fren. | 80.18 |

**Tabla 24.** Porcentaje de maniobras en Acceso 3 y Acceso 4. Intervalo 12:00 a 13:00

| DIA       | Acceso 3 |           |      |         |       |        |       | Acceso 4 |           |       |         |       |        |       |
|-----------|----------|-----------|------|---------|-------|--------|-------|----------|-----------|-------|---------|-------|--------|-------|
|           | Total    | Giros     |      |         |       | Frente |       | Total    | Giros     |       |         |       | Frente |       |
|           |          | Izquierda |      | Derecha |       |        |       |          | Izquierda |       | Derecha |       |        |       |
|           |          | Veh       | %    | Veh     | %     | Veh    | %     |          | Veh       | %     | Veh     | %     | Veh    | %     |
| Miércoles | 917      | 74        | 8.07 | 111     | 12.10 | 732    | 79.83 | 240      | 144       | 60.00 | 55      | 22.92 | 41     | 17.08 |
| Jueves    | 920      | 76        | 8.26 | 112     | 12.17 | 732    | 79.57 | 240      | 144       | 60.00 | 56      | 23.33 | 40     | 16.67 |
| Sábado    | 826      | 69        | 8.35 | 101     | 12.23 | 656    | 79.42 | 218      | 131       | 60.09 | 53      | 24.31 | 34     | 15.60 |
| Miércoles | 909      | 74        | 8.14 | 113     | 12.43 | 722    | 79.43 | 241      | 145       | 60.17 | 54      | 22.41 | 42     | 17.43 |
| Jueves    | 932      | 77        | 8.26 | 100     | 10.73 | 755    | 81.01 | 236      | 142       | 60.17 | 57      | 24.15 | 37     | 15.68 |
| Sábado    | 820      | 67        | 8.17 | 104     | 12.68 | 649    | 79.15 | 219      | 131       | 59.82 | 49      | 22.37 | 39     | 17.81 |
|           | ̄X=      | Izq.      | 8.21 | Der.    | 12.06 | Fren.  | 79.73 | ̄X=      | Izq.      | 60.04 | Der.    | 23.25 | Fren.  | 16.71 |

**Tabla 25.** porcentaje de maniobras en Acceso 1 y Acceso 2. Intervalo 18:00 a 19:00

| DIA       | Acceso 1 |           |      |         |      |        |       | Acceso 2 |           |       |         |       |        |       |
|-----------|----------|-----------|------|---------|------|--------|-------|----------|-----------|-------|---------|-------|--------|-------|
|           | Total    | Giros     |      |         |      | Frente |       | Total    | Giros     |       |         |       | Frente |       |
|           |          | Izquierda |      | Derecha |      |        |       |          | Izquierda |       | Derecha |       |        |       |
|           |          | Veh       | %    | Veh     | %    | Veh    | %     |          | Veh       | %     | Veh     | %     | Veh    | %     |
| Miércoles | 1042     | 51        | 4.89 | 3       | 0.29 | 988    | 94.82 | 359      | 48        | 13.37 | 32      | 8.91  | 279    | 77.72 |
| Jueves    | 1056     | 52        | 4.92 | 4       | 0.38 | 1000   | 94.70 | 359      | 49        | 13.65 | 36      | 10.03 | 274    | 76.32 |
| Sábado    | 874      | 42        | 4.81 | 2       | 0.23 | 830    | 94.97 | 304      | 34        | 11.18 | 34      | 11.18 | 236    | 77.63 |
| Miércoles | 1061     | 56        | 5.28 | 4       | 0.38 | 1001   | 94.34 | 353      | 49        | 13.88 | 30      | 8.50  | 274    | 77.62 |
| Jueves    | 1063     | 60        | 5.64 | 3       | 0.28 | 1000   | 94.07 | 359      | 52        | 14.48 | 39      | 10.86 | 268    | 74.65 |
| Sábado    | 906      | 40        | 4.42 | 3       | 0.33 | 863    | 95.25 | 306      | 34        | 11.11 | 28      | 9.15  | 244    | 79.74 |
| X̄=       |          | Izq.      | 4.99 | Der.    | 0.31 | Fren.  | 94.69 | X̄=      | Izq.      | 12.95 | Der.    | 9.77  | Fren.  | 77.28 |

**Tabla 26.** porcentaje de maniobras en Acceso 3 y Acceso 4. Intervalo 18:00 a 19:00

| DIA       | Acceso 3 |           |      |         |       |        |       | Acceso 4 |           |       |         |       |        |       |
|-----------|----------|-----------|------|---------|-------|--------|-------|----------|-----------|-------|---------|-------|--------|-------|
|           | Total    | Giros     |      |         |       | Frente |       | Total    | Giros     |       |         |       | Frente |       |
|           |          | Izquierda |      | Derecha |       |        |       |          | Izquierda |       | Derecha |       |        |       |
|           |          | Veh       | %    | Veh     | %     | Veh    | %     |          | Veh       | %     | Veh     | %     | Veh    | %     |
| Miércoles | 1072     | 60        | 5.60 | 135     | 12.59 | 877    | 81.81 | 246      | 181       | 73.58 | 45      | 18.29 | 20     | 8.13  |
| Jueves    | 1080     | 61        | 5.65 | 132     | 12.22 | 887    | 82.13 | 248      | 180       | 72.58 | 44      | 17.74 | 24     | 9.68  |
| Sábado    | 1029     | 25        | 2.43 | 120     | 11.66 | 884    | 85.91 | 234      | 150       | 64.10 | 35      | 14.96 | 49     | 20.94 |
| Miércoles | 1082     | 64        | 5.91 | 136     | 12.57 | 882    | 81.52 | 254      | 184       | 72.44 | 46      | 18.11 | 24     | 9.45  |
| Jueves    | 1086     | 63        | 5.80 | 134     | 12.34 | 889    | 81.86 | 254      | 190       | 74.80 | 48      | 18.90 | 16     | 6.30  |
| Sábado    | 1028     | 45        | 4.38 | 117     | 11.38 | 866    | 84.24 | 222      | 146       | 65.77 | 37      | 16.67 | 39     | 17.57 |
| X̄=       |          | Izq.      | 4.96 | Der.    | 12.13 | Fren.  | 82.91 | X̄=      | Izq.      | 70.55 | Der.    | 17.44 | Fren.  | 12.01 |

**Porcentaje de giro izquierdo para el acceso: por periodos**

$$\bar{x}Gi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i = (\%) \quad \text{Ecuación 7}$$

Porcentaje de Giro izquierda para el acceso promedio:

$$\%GI = \frac{\bar{x}Gii + \bar{x}Gij + \bar{x}Gik}{n} = (\%) \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$\bar{x}Gii$  = porcentaje de giro izquierda de: 07:00-08:00

$\bar{x}Gij$  = porcentaje de giro izquierda de: 12:00-13:00

$\bar{x}Gik$  = porcentaje de giro izquierda de: 18:00–19:00

n = número de datos

%GI = porcentaje de giro izquierda promedio por acceso

Porcentaje de Giro Izquierdo para el acceso 1 – Punto 1

$$\%GI = \frac{3.17 + 3.26 + 4.99}{3} = 3.81\%$$

**Porcentaje de giro derecho para el acceso: por periodos**

$$\bar{x}Gd = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_d = (\%) \quad \text{Ecuación 9}$$

Porcentaje de Giro derecho para el acceso promedio:

$$\%GD = \frac{\bar{x}Gdi + \bar{x}Gdj + \bar{x}Gdk}{n} = (\%) \quad \text{Ecuación 10}$$

donde:

$\bar{x}Gdi$  = porcentaje de giro izquierda de: 07:00-08:00

$\bar{x}Gdj$  = porcentaje de giro izquierda de: 12:00-13:00

$\bar{x}Gdk$  = porcentaje de giro izquierda de: 18:00–19:00

n = número de datos

%GD = porcentaje de giro derecho promedio por acceso

Porcentaje de Giro Derecho para el acceso 1 – Punto 1

$$\%GD = \frac{1.13 + 1.23 + 0.31}{3} = 0.89\%$$

**Porcentaje de frente para el acceso: por periodos**

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_f = (\%) \quad \text{Ecuación 11}$$

Porcentaje de frente para el acceso promedio:

$$\%DF = \frac{\bar{x}Fi + \bar{x}Fj + \bar{x}Fk}{n} = (\%) \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

$\bar{x}Fi$  = porcentaje de giro izquierda de: 07:00-08:00

$\bar{x}Fj$  = porcentaje de giro izquierda de: 12:00-13:00

$\bar{x}Fk$  = porcentaje de giro izquierda de: 18:00–19:00

$n$  = número de datos

%DF = porcentaje de frente promedio por acceso

Porcentaje de Frente para el acceso 1 – Punto 1

$$\%DF = \frac{95.70 + 95.51 + 94.69}{3} = 95.30\%$$

Resultados de porcentajes de maniobras en las horas pico para el punto de estudio 1 perteneciente a la intersección Av. Circunvalación y Av. Colón.

**Tabla 27.** Porcentajes de maniobras para el punto de estudio 1 (Av.Colón)

|                 | %GI   | %GD   | %DF   |
|-----------------|-------|-------|-------|
| <b>Acceso 1</b> | 3.81  | 0.89  | 95.30 |
| <b>Acceso 2</b> | 13.04 | 7.78  | 79.18 |
| <b>Acceso 3</b> | 6.10  | 12.16 | 81.74 |
| <b>Acceso 4</b> | 67.52 | 19.44 | 13.04 |

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.5.6. Cálculo de porcentaje de vehículos pesado, mediano, liviano.

Para el cálculo de porcentaje de vehículos pesados, medianos, livianos, para los vehículos que circulan por la intersección se realizó el siguiente procedimiento.

#### Porcentaje de Vehículos Pesados para el acceso: por periodos

$$\bar{x}Vp = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_p = (\%) \quad \text{Ecuación 13}$$

Porcentaje de vehículos pesados para el acceso promedio:

$$\%VP = \frac{\bar{x}Vpi + \bar{x}Vpj + \bar{x}Vpk}{n} = (\%) \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

$\bar{x}Vpi$  = porcentaje de giro izquierda de: 07:00-08:00

$\bar{x}V_{pj}$  = porcentaje de giro izquierda de: 12:00-13:00

$\bar{x}V_{pk}$  = porcentaje de giro izquierda de: 18:00–19:00

n = número de datos

%VP = porcentaje de frente promedio por acceso

**Porcentaje de vehículos medianos para el acceso: por periodos**

$$\bar{x}V_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_m = (\%) \quad \text{Ecuación 15}$$

Porcentaje de vehículos medianos para el acceso promedio:

$$\%VM = \frac{\bar{x}V_{mi} + \bar{x}V_{mj} + \bar{x}V_{mk}}{n} = (\%) \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

$\bar{x}V_{mi}$  = porcentaje de giro izquierda de: 07:00-08:00

$\bar{x}V_{mj}$  = porcentaje de giro izquierda de: 12:00-13:00

$\bar{x}V_{mk}$  = porcentaje de giro izquierda de: 18:00–19:00

n = número de datos

%VM = porcentaje de frente promedio por acceso

**Porcentaje de vehículos livianos para el acceso: por periodos**

$$\bar{x}V_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_l = (\%) \quad \text{Ecuación 17}$$

Porcentaje de vehículos livianos para el acceso promedio:

$$\%VL = \frac{\bar{x}V_{li} + \bar{x}V_{lj} + \bar{x}V_{lk}}{n} = (\%) \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

$\bar{x}V_{li}$  = porcentaje de giro izquierda de: 07:00-08:00

$\bar{x}V_{lj}$  = porcentaje de giro izquierda de: 12:00-13:00

$\bar{x}V_{lk}$  = porcentaje de giro izquierda de: 18:00–19:00

n = número de datos

%VL = porcentaje de frente promedio por acceso

Intersección: Av. Circunvalación y Av. Colón

**Tabla 28.** Porcentaje de vehículos Punto 1 de estudio – Acceso 1

| Hora      | 07:00-08:00 |         |         |       | Porcentajes |             |             | 12:00-13:00 |         |         |       | Porcentajes |             |             |
|-----------|-------------|---------|---------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|---------|-------|-------------|-------------|-------------|
| Dia       | Vehículo    |         |         | Total | Veh Pesados | Veh Mediano | Veh Liviano | Vehículo    |         |         | Total | Veh Pesados | Veh Mediano | Veh Liviano |
|           | Pesado      | Mediano | Liviano |       |             |             |             | Pesado      | Mediano | Liviano |       |             |             |             |
| Miércoles | 8           | 30      | 851     | 889   | 0.9         | 3.37        | 95.7        | 31          | 35      | 910     | 976   | 3.18        | 3.59        | 93.2        |
| Jueves    | 10          | 32      | 850     | 892   | 1.12        | 3.59        | 95.3        | 28          | 36      | 908     | 972   | 2.88        | 3.7         | 93.4        |
| Sábado    | 7           | 8       | 818     | 833   | 0.84        | 0.96        | 98.2        | 14          | 24      | 845     | 883   | 1.59        | 2.72        | 95.7        |
| Miércoles | 11          | 31      | 852     | 894   | 1.23        | 3.47        | 95.3        | 29          | 32      | 912     | 973   | 2.98        | 3.29        | 93.7        |
| Jueves    | 9           | 14      | 869     | 892   | 1.01        | 1.57        | 97.4        | 31          | 34      | 915     | 980   | 3.16        | 3.47        | 93.4        |
| Sábado    | 6           | 6       | 820     | 832   | 0.72        | 0.72        | 98.6        | 11          | 26      | 855     | 892   | 1.23        | 2.91        | 95.9        |

| Hora      | 18:00-19:00 |         |         |       | Porcentajes |             |             |
|-----------|-------------|---------|---------|-------|-------------|-------------|-------------|
| Dia       | Vehiculó    |         |         | Total | Veh Pesados | Veh Mediano | Veh Liviano |
|           | Pesado      | Mediano | Liviano |       |             |             |             |
| Miércoles | 32          | 21      | 989     | 1042  | 3.07        | 2.02        | 94.9        |
| Jueves    | 28          | 20      | 1008    | 1056  | 2.65        | 1.89        | 95.5        |
| Sábado    | 15          | 14      | 845     | 874   | 1.72        | 1.6         | 96.7        |
| Miércoles | 28          | 23      | 1010    | 1061  | 2.64        | 2.17        | 95.2        |
| Jueves    | 31          | 25      | 1007    | 1063  | 2.92        | 2.35        | 94.7        |
| Sábado    | 14          | 17      | 875     | 906   | 1.55        | 1.88        | 96.6        |

**Fuente:** Elaboración propia

$$\%VP = \frac{0.97 + 0.97 + 2.42}{3} = 1.45\%$$

$$\%VM = \frac{2.28 + 2.28 + 1.98}{3} = 2.18\%$$

$$\%VL = \frac{96.75 + 96.75 + 95.59}{3} = 96.36\%$$

**Donde:** Vehículo Pesado= VP, Vehículo Mediano= VM, Vehículo Liviano= VL

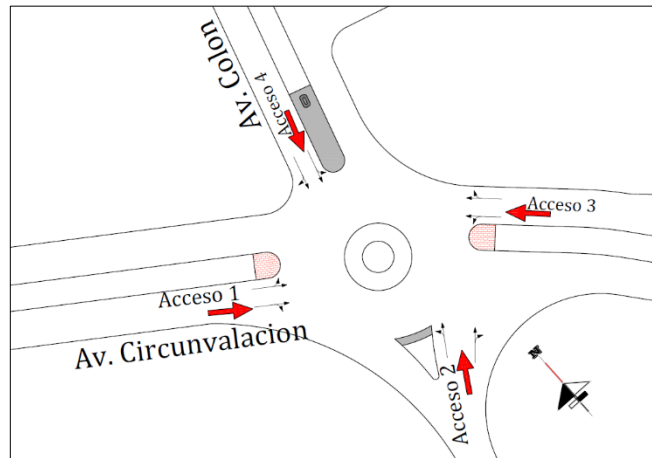
### 3.5.7. Resumen de aforos puntos de estudio

A continuación, se presenta las tablas resumen en los puntos de estudio con los siguientes valores por punto de estudio:

- Volumen de vehículos por hora en cada acceso de la intersección
- Porcentaje de giro izquierda de cada acceso
- Porcentaje de giro derecha de cada acceso
- Porcentaje de paso de frente
- Porcentaje de tipo de vehículos (pesado, mediano, liviano)

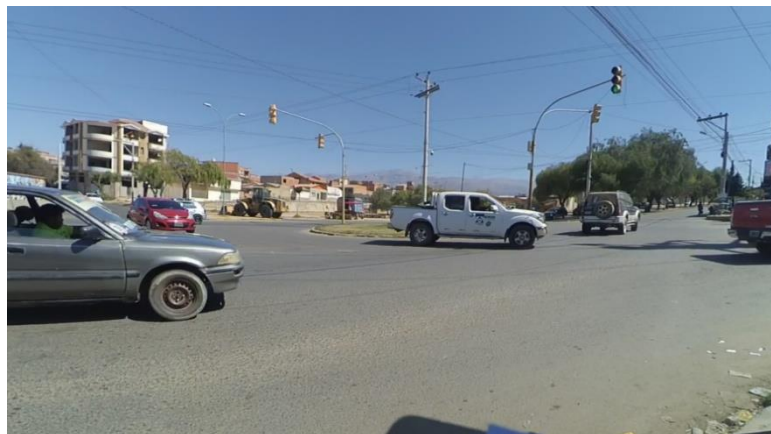
**Punto 1:** Av. Circunvalación, Av. Colón

**Figura 28.** Accesos Intersección Av. Colón Punto 1



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 29.** Av Circunvalación sentido de subida. Intersección Av. Colón



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 29.** Tabla resumen de porcentaje de vehículos - Punto 1

|                 | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{X}=$      | 975      | 562      | 966      | 243      |
| VP (%) =        | 1.45     | 1.02     | 3.69     | 1.78     |
| VM (%) =        | 2.18     | 2.64     | 2.18     | 1.74     |
| VL (%) =        | 96.36    | 96.34    | 94.13    | 96.48    |
| GI (%) =        | 3.81     | 13.04    | 6.10     | 67.52    |
| GD (%) =        | 0.89     | 7.78     | 12.16    | 19.44    |
| DF (%) =        | 95.30    | 79.18    | 81.74    | 13.04    |
| Pend. (%) =     | -6.18    | -2.34    | +2.76    | -5.26    |
| Nro. Carriles = | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Ancho (m) =     | 7.50     | 8.05     | 7.50     | 6.05     |

**Fuente:** Elaboración propia

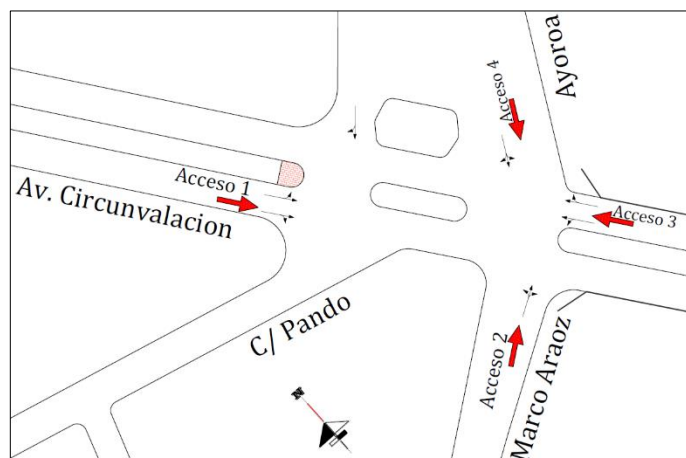
**Tabla 30.** Ciclo semáforos Punto 1

| Ciclo | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-------|----------|----------|----------|----------|
| R=    | 18       | 20       | 18       | 20       |
| V=    | 20       | 18       | 20       | 18       |
| A=    | 2        | 2        | 2        | 2        |

**Fuente:** Elaboración propia

**Punto 2-3:** Av. Circunvalación, Calle Pando Marco Araoz y Ayoroa

**Figura 30.** Accesos Intersección Calle Pando, Marco Araoz y Ayoroa



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 31.** Av. Circunvalación sentido de bajada. Intersección C/Pando



**Fuente:** Elaboración propia

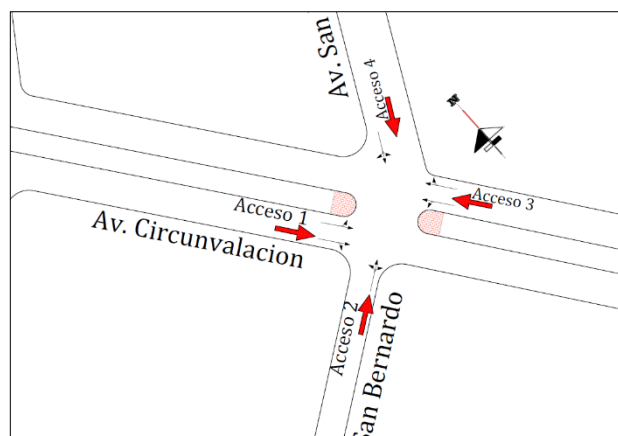
**Tabla 31.** Tabla resumen de porcentaje de vehículos - Punto 2-3

|                 | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{X} =$     | 1073     | 175      | 1493     | 223      |
| VP (%) =        | 2.79     | 1.90     | 2.01     | 1.26     |
| VM (%) =        | 3.30     | 1.59     | 2.37     | 4.41     |
| VL (%) =        | 93.91    | 96.52    | 95.62    | 94.33    |
| GI (%) =        | 0.28     | 43.62    | 2.61     | 55.91    |
| GD (%) =        | 0.32     | 50.81    | 5.10     | 26.69    |
| DF (%) =        | 99.40    | 5.57     | 92.30    | 17.40    |
| Pend. (%) =     | -0.84    | -0.90    | -2.56    | -0.82    |
| Nro. Carriles = | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Ancho (m) =     | 7.50     | 13.85    | 7.50     | 11.00    |

**Fuente:** Elaboración propia

**Punto 4:** Av. Circunvalación, Av. San Bernardo

**Figura 32.** Accesos Intersección Av. San Bernardo



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 33.** Av. Circunvalación sentido de subida. Intersección Av.San Bernardo



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 32.** Tabla resumen de porcentaje de vehículos - Punto 4

|                 | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{X} =$     | 1382     | 151      | 972      | 440      |
| VP (%) =        | 0.74     | 0.79     | 0.84     | 2.68     |
| VM (%) =        | 1.61     | 1.03     | 1.85     | 4.03     |
| VL (%) =        | 97.65    | 98.18    | 97.30    | 93.28    |
| GI (%) =        | 26.34    | 57.00    | 0.11     | 20.76    |
| GD (%) =        | 0.08     | 4.66     | 3.79     | 78.48    |
| DF (%) =        | 73.61    | 38.33    | 96.15    | 0.75     |
| Pend. (%) =     | -3.41    | -12.82   | -5.26    | -4.42    |
| Nro. Carriles = | 2        | 1        | 2        | 2        |
| Ancho (m) =     | 7.50     | 6.00     | 7.50     | 10.00    |

**Tabla 33.** Ciclo semáforos Punto 4

| Ciclo   | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|---------|----------|----------|----------|----------|
| R (s) = | 16       | 18       | 16       | 18       |
| A (s) = | 2        | 2        | 2        | 2        |
| V (s) = | 18       | 16       | 18       | 16       |

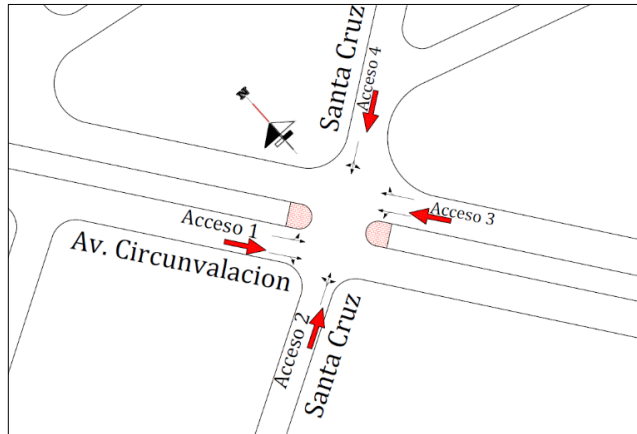
**Tabla 34.** Ciclo semáforo optimizado Punto 4

| Ciclo   | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|---------|----------|----------|----------|----------|
| V (s) = | 45       | 11       | 45       | 11       |
| A (s) = | 2        | 2        | 2        | 2        |
| R (s) = | 11       | 45       | 11       | 45       |

**Fuente:** Elaboración propia

**Punto 5:** Av. Circunvalación, Av. Santa Cruz

**Figura 34.** Accesos Intersección Av. Santa Cruz



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 35.** Av. Circunvalación sentido de subida. Intersección Av. Santa Cruz



**Fuente:** Elaboración propia

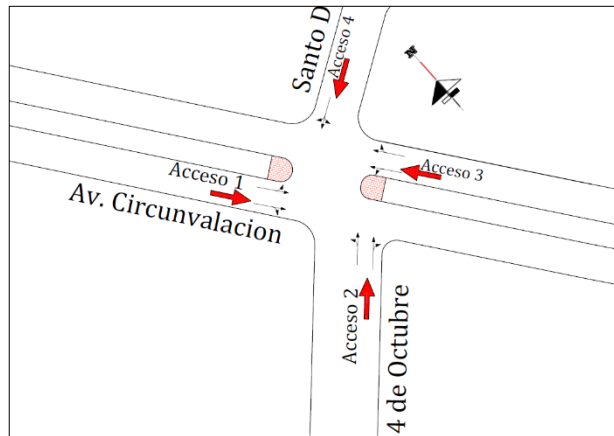
**Tabla 35.** Tabla resumen de porcentaje de vehículos - Punto 5

|                 | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{X} =$     | 1443     | 615      | 1480     | 4        |
| VP (%) =        | 2.84     | 2.13     | 2.18     | 3.24     |
| VM (%) =        | 3.93     | 2.13     | 9.35     | 43.52    |
| VL (%) =        | 93.23    | 95.73    | 88.47    | 53.24    |
| GI (%) =        | 4.95     | 16.31    | 9.94     | 29.06    |
| GD (%) =        | 8.45     | 39.57    | 0.24     | 43.02    |
| DF (%) =        | 86.59    | 44.12    | 89.81    | 46.61    |
| Pend. (%) =     | 1.84     | -2.71    | -1.17    | -7.65    |
| Nro. Carriles = | 2        | 1        | 2        | 1        |
| Ancho (m) =     | 7.50     | 6.95     | 7.50     | 9.50     |

**Fuente:** Elaboración propia

**Punto 6:** Av. Circunvalación, Av. 4 de octubre y Santo Domingo

**Figura 36.** Accesos Intersección 4 de octubre y Santo Domingo



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 37.** Av. Circunvalación sentido de bajada. Intersección Av.4 de octubre



**Fuente:** Elaboración propia

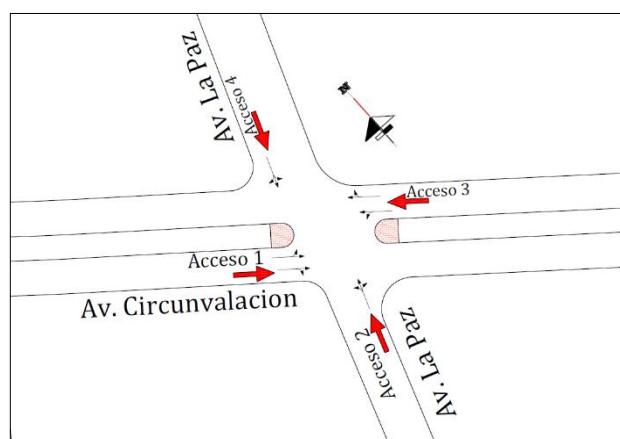
**Tabla 36.** Tabla resumen de porcentaje de vehículos - Punto 6

|                 | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{X}=$      | 1049     | 223      | 953      | 112      |
| VP (%) =        | 1.71     | 0.32     | 2.25     | 0.00     |
| VM (%) =        | 5.58     | 1.15     | 2.11     | 11.54    |
| VL (%) =        | 92.71    | 98.52    | 95.65    | 88.46    |
| GI (%) =        | 2.04     | 23.81    | 11.59    | 3.06     |
| GD (%) =        | 2.89     | 42.50    | 1.16     | 76.98    |
| DF (%) =        | 95.07    | 33.69    | 87.26    | 19.96    |
| Pend. (%) =     | -3.28    | 4.48     | -1.33    | -8.48    |
| Nro. Carriles = | 2        | 2-2      | 2        | 2-1      |
| Ancho (m) =     | 7.50     | 13.00    | 7.50     | 8.10     |

**Fuente:** Elaboración propia

**Punto 7:** Av. Circunvalación, Av. La Paz

**Figura 38.** Accesos Intersección Av. La Paz



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 39.** Av. Circunvalación sentido de bajada. Intersección Av. La Paz



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 37.** Tabla resumen de porcentaje de vehículos - Punto 7

|                | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{X}=$     | 1053     | 450      | 961      | 313      |
| VP (%) =       | 4.02     | 0.90     | 2.76     | 0.09     |
| VM (%) =       | 6.63     | 1.51     | 2.27     | 5.65     |
| VL (%) =       | 89.35    | 97.59    | 94.97    | 94.26    |
| GI (%) =       | 8.74     | 20.99    | 9.86     | 13.61    |
| GD (%) =       | 8.35     | 17.07    | 7.11     | 10.82    |
| DF (%) =       | 82.91    | 61.94    | 83.03    | 75.57    |
| Pend. (%) =    | -6.93    | 7.27     | -5.36    | -10.75   |
| Nro. Carriles= | 2        | 1        | 2        | 2        |
| Ancho (m) =    | 7.5      | 8.5      | 7.50     | 12.0     |

**Fuente:** Elaboración propia

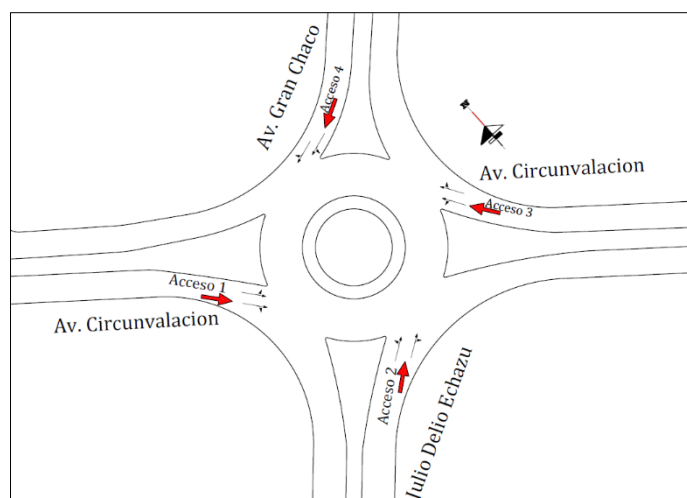
**Tabla 38.** Ciclo semáforos Punto 7

| Ciclo          | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>R (s) =</b> | 18       | 26       | 18       | 26       |
| <b>V (s) =</b> | 26       | 18       | 26       | 18       |
| <b>A (s) =</b> | 2        | 2        | 2        | 2        |

**Fuente:** Elaboración propia

**Punto 8:** Av. Circunvalación, Av. Gran Chaco y Julio Delio Echazú.

**Figura 40.** Accesos Intersección Av. Gran Chaco Y Av. Julio Delio Echazú



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 41.** Av. Circunvalación sentido de bajada. Intersección Av. Delio Echazu



**Fuente:** Elaboración propia

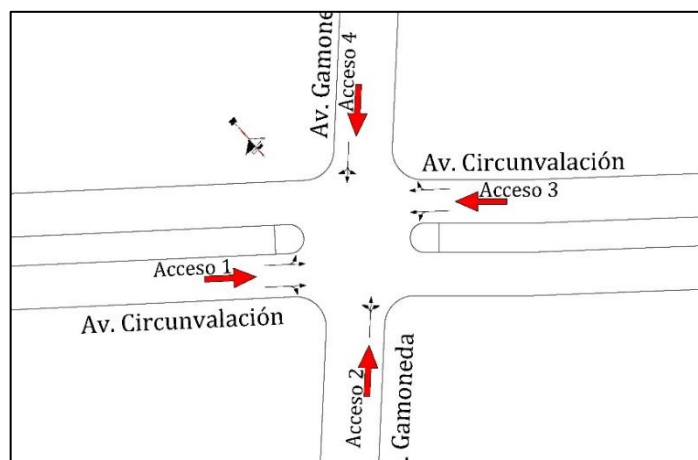
**Tabla 39.** Tabla resumen de porcentaje de vehículos - Punto 8

|                 | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{X} =$     | 1244     | 356      | 868      | 251      |
| VP (%) =        | 3.16     | 1.29     | 3.31     | 0.40     |
| VM (%) =        | 2.76     | 2.18     | 2.26     | 5.85     |
| VL (%) =        | 94.08    | 96.53    | 94.42    | 93.75    |
| GI (%) =        | 10.23    | 31.07    | 4.55     | 40.83    |
| GD (%) =        | 12.37    | 1.35     | 18.24    | 14.91    |
| DF (%) =        | 77.39    | 67.58    | 77.22    | 44.27    |
| Pend. (%) =     | -3.86    | 4.39     | -1.97    | -3.51    |
| Nro. Carriles = | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Ancho (m) =     | 7.50     | 8.00     | 7.50     | 8.00     |

**Fuente:** Elaboración propia

**Punto 9:** Av. Circunvalación, Av. Gamoneda.

**Figura 42.** Accesos Intersección Av. Gamoneda



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 43.** Av. Circunvalación sentido de bajada. Intersección Av. Gamoneda



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 40.** Tabla resumen de porcentaje de vehículos - Punto 9

|               | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{X}=$    | 623      | 412      | 772      | 331      |
| %VP=          | 2.56     | 0.93     | 3.04     | 1.10     |
| %VM=          | 2.35     | 5.03     | 2.02     | 2.45     |
| %VL=          | 95.09    | 94.04    | 94.94    | 96.45    |
| %GI=          | 5.66     | 12.93    | 9.69     | 10.31    |
| %GD=          | 6.23     | 23.65    | 1.86     | 27.25    |
| %DF=          | 88.12    | 63.42    | 88.45    | 62.44    |
| %Pend=        | -1.15    | 1.72     | -3.43    | -1.36    |
| Nro Carriles= | 2.00     | 1        | 2.00     | 2.00     |
| Ancho (m)=    | 7.50     | 9.50     | 7.50     | 11.40    |

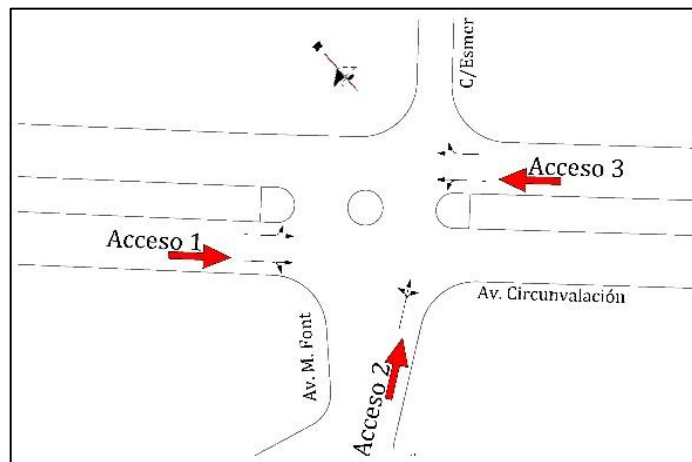
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 41.** Ciclo Semáforo Punto 9

| Ciclo | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-------|----------|----------|----------|----------|
| R=    | 18       | 20       | 18       | 20       |
| V=    | 20       | 18       | 20       | 18       |
| A=    | 2        | 2        | 2        | 2        |

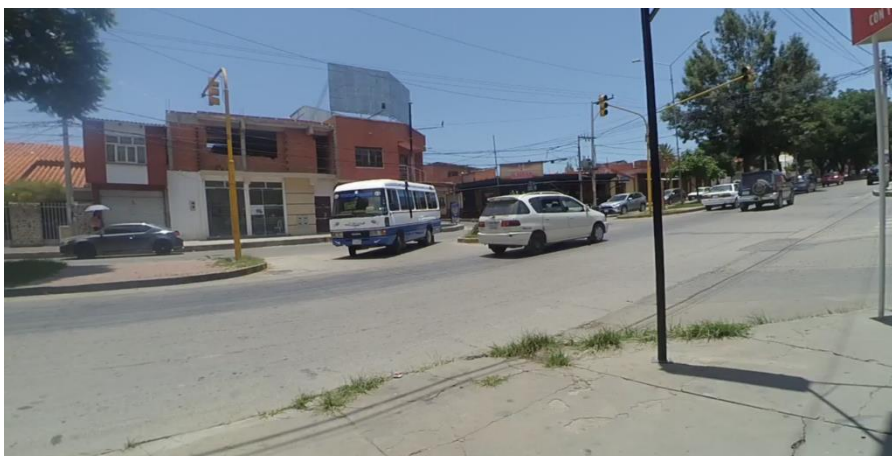
**Fuente:** Elaboración propia

**Punto 10:** Av. Circunvalación, Av. Monseñor Font.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 44.** Av. Circunvalación sentido de bajada. Intersección Av. Monseñor Font



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 42.** Tabla resumen porcentajes de vehiculos - Punto 10

|               | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 |
|---------------|----------|----------|----------|
| $\bar{X}=$    | 665      | 349      | 658      |
| %VP=          | 2.71     | 3.61     | 4.88     |
| %VM=          | 3.38     | 7.10     | 7.71     |
| %VL=          | 93.91    | 89.29    | 87.41    |
| %GI=          | 1.69     | 27.78    | 6.94     |
| %GD=          | 1.21     | 25.89    | 0.79     |
| %DF=          | 97.20    | 46.33    | 92.27    |
| %Pend=        | -2.67    | -4.17    | -4.57    |
| Nro Carriles= | 2.00     | 2.00     | 2.00     |
| Ancho (m)=    | 7.50     | 11.80    | 7.50     |

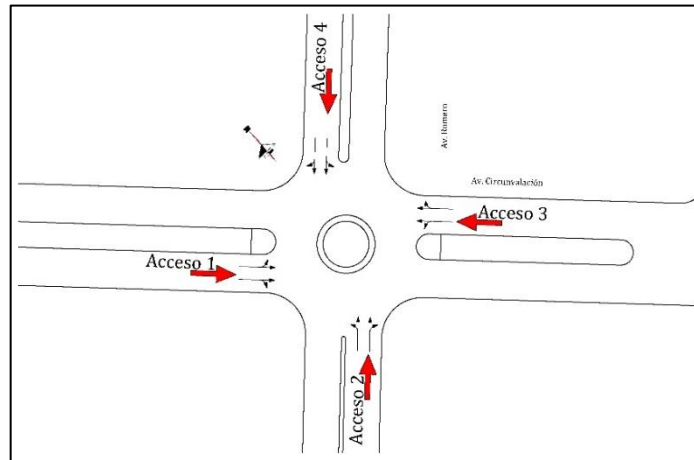
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 43.** Ciclo Semáforo Punto 10

| Ciclo | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 |
|-------|----------|----------|----------|
| R=    | 18       | 20       | 18       |
| V=    | 20       | 18       | 20       |
| A=    | 2        | 2        | 2        |

**Fuente:** Elaboración propia

**Punto 11:** Av. Circunvalación, Av. Romero.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 45.** Av. Circunvalación sentido de bajada. Intersección Av. Romero



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 44.** Tabla resumen de porcentajes de vehículos – Punto 11

|               | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|
| $\bar{X}=$    | 685      | 254      | 673      | 312      |
| %VP=          | 4.60     | 1.08     | 5.76     | 2.43     |
| %VM=          | 5.21     | 1.15     | 1.92     | 5.16     |
| %VL=          | 90.19    | 97.76    | 92.32    | 92.42    |
| %GI=          | 11.67    | 16.03    | 2.55     | 3.48     |
| %GD=          | 5.14     | 7.39     | 3.63     | 56.77    |
| %DF=          | 83.19    | 76.58    | 93.81    | 39.75    |
| %Pend=        | -1.20    | 0.00     | 2.10     | -2.83    |
| Nro Carriles= | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Ancho (m)=    | 7.50     | 7.10     | 7.50     | 7.00     |

**Fuente:** Elaboración propia

### **3.6. Análisis de la capacidad y nivel de servicio bajo la metodología HCM**

#### **3.6.1. Intersección doble carril controlada por Señalización (TWSC)**

Los modelos de aceptación de brechas parten del reconocimiento de que las intersecciones TWSC no ofrecen ninguna indicación o control positivo al conductor de la calle secundaria sobre cuándo es apropiado abandonar la línea de detención y entrar en la calle principal. El conductor debe determinar cuándo una brecha en la calle principal es lo suficientemente grande como para permitir la entrada y cuándo entrar, sobre la base de la prioridad relativa de los movimientos en competencia.

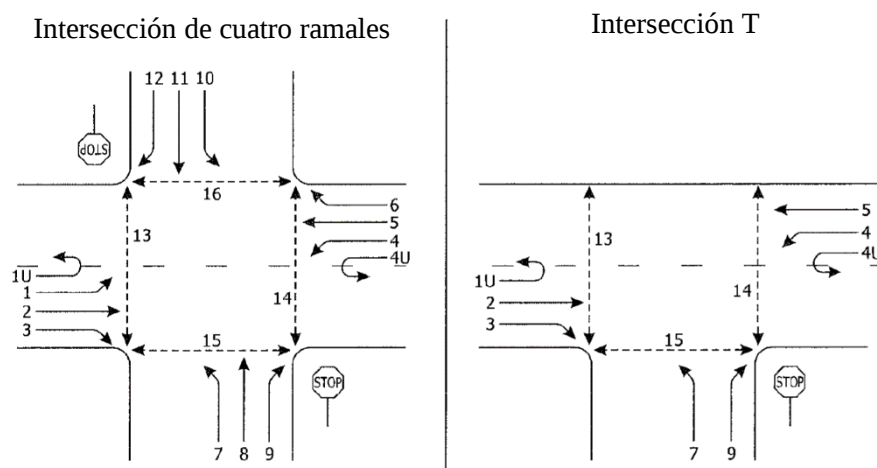
Este proceso de toma de decisiones se ha formalizado analíticamente en lo que se conoce comúnmente como teoría de la aceptación de la brecha. La teoría de la aceptación de las brechas incluye tres elementos básicos: el tamaño y la distribución (disponibilidad) de las brechas en la calle principal, la utilidad de estos huecos para los conductores de las calles secundarias y la prioridad relativa de los distintos movimientos en la intersección.

#### **3.6.2. Prioridad relativa de los distintos movimientos en la intersección**

Cada movimiento tiene una clasificación diferente en una jerarquía de prioridades. El proceso de aceptación de huecos los evalúa con términos de impedancia a través del orden de salidas. Normalmente, los procesos de aceptación de brechas suponen que los conductores de la calle principal no se ven afectados por los movimientos de las calles secundarias. Si este supuesto no se cumple, el proceso de aceptación de huecos debe modificarse.

Al utilizar la metodología de intersección TWSC, debe identificarse la prioridad de derecho de paso otorgada a cada movimiento. Algunos movimientos tienen prioridad absoluta, mientras que otros tienen que ceder el paso a movimientos de orden superior. La Figura 46. Movimientos vehiculares y peatonales en un Intersección TWSC muestra la numeración supuesta de los movimientos en las intersecciones en T y de cuatro patas.

**Figura 46.** Movimientos vehiculares y peatonales en un Intersección TWSC



**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)

Los movimientos se pueden clasificar por prioridad de derecho de paso de la siguiente manera:

- Los movimientos de rango 1 incluyen el tráfico de paso en la calle principal, el tráfico que gira a la derecha desde la calle principal y los movimientos peatonales que cruzan la calle secundaria.
- Los movimientos de rango 2 (subordinados al rango 1) incluyen el tráfico que gira a la izquierda y el que gira en U desde la calle principal, el tráfico que gira a la derecha hacia la calle principal y los movimientos peatonales que cruzan la calle principal (supuestos para este procedimiento).
- Los movimientos de rango 3 (subordinados a los rangos 1 y 2) incluyen el tráfico de paso en la calle secundaria (en el caso de una intersección de cuatro tramos) y el tráfico de giro a la izquierda desde la calle secundaria (en el caso de una intersección en T).
- Los movimientos de rango 4 (subordinados a todos los demás) incluyen el tráfico que gira a la izquierda desde la calle secundaria. Los movimientos de rango 4 sólo se producen en intersecciones de cuatro tramos.

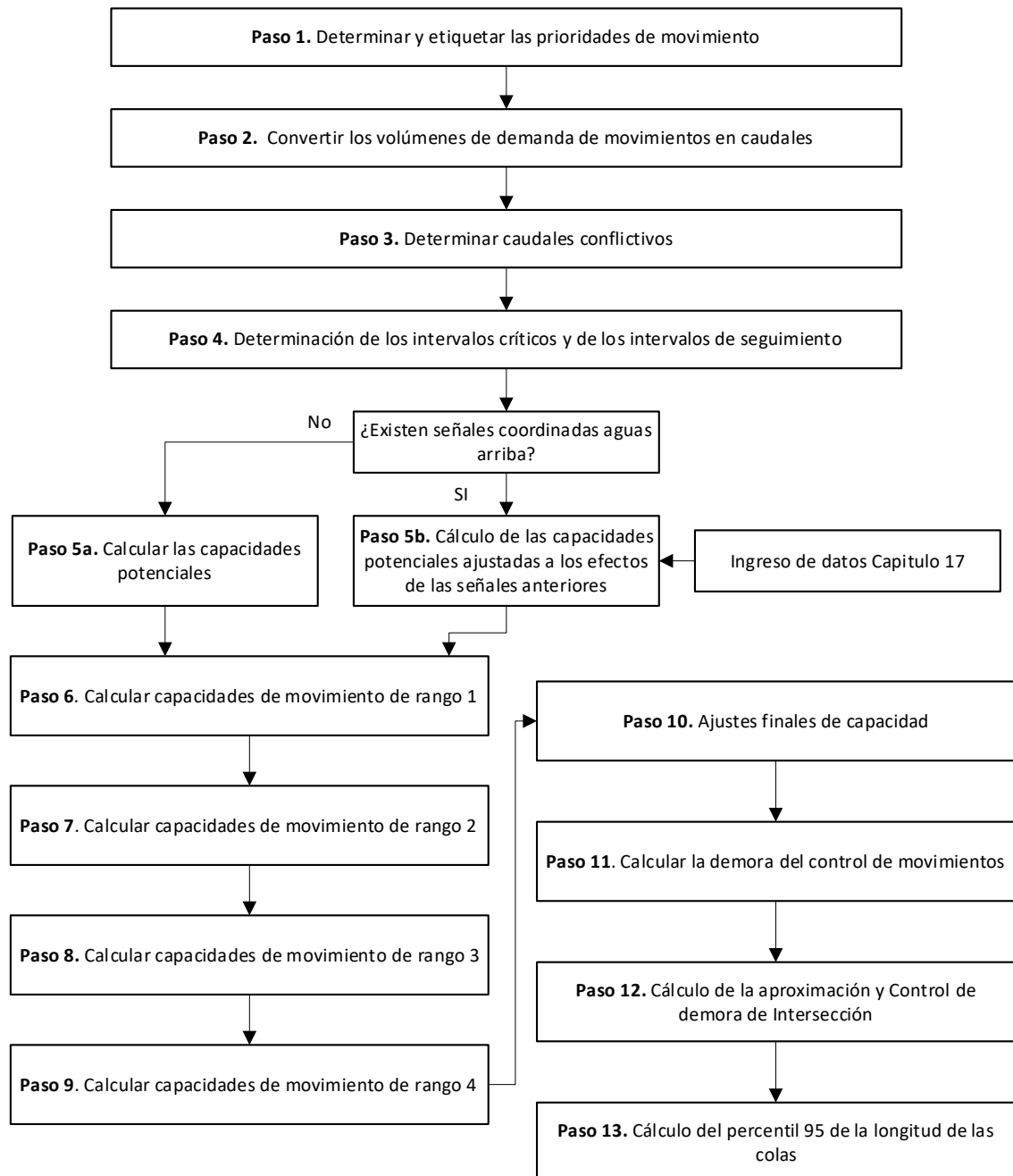
Como ejemplo de aplicación de la prioridad de paso, supongamos la situación de un vehículo que gira a la izquierda en la calle principal y un vehículo de paso procedente de la calle secundaria que espera para cruzar el flujo de tráfico principal. El vehículo que gira a la izquierda ocuparía el primer hueco disponible de tamaño aceptable. El vehículo que cruza la calle secundaria debe esperar al segundo hueco disponible. En términos

agregados, un gran número de estos vehículos que giran a la izquierda podrían utilizar tantos huecos disponibles que los vehículos que cruzan la calle menor se verían gravemente impedidos o incapaces de realizar movimientos de cruce seguros.

### **Modo Automóvil para Intersecciones de doble carril controladas por PARE**

La metodología de intersección TWSC para el modo automóvil se aplica a través de una serie de pasos que requieren datos de entrada relacionados con la información de flujo de movimiento y condiciones geométricas, priorización de movimientos, cálculo de capacidades potenciales e incorporación de ajustes para calcular capacidades de movimiento, y estimación de demoras de control y longitudes de cola. Estos pasos se ilustran en la Figura 47.

**Figura 47.** Metodología para intersección de doble carril controlado por STOP



**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)

### 3.6.3. Paso 1: Determinar y Etiquetar las Prioridades de Movimiento

La prioridad para cada movimiento en una intersección TWSC debe ser identificada para designar el rango apropiado de cada movimiento para futuros pasos en el proceso de análisis. El proceso de este paso también identifica para el analista la secuencia en la que

se completarán los cálculos de capacidad. Dado que la metodología se basa en el uso prioritario de las brechas por parte de los vehículos en una intersección TWSC, es importante que los cálculos posteriores en el modo automóvil se realicen en un orden preciso. La secuencia de cálculo es la misma que la prioridad de uso de los huecos, y los movimientos se consideran en el siguiente orden:

1. Giros a la izquierda desde la calle principal.
2. Giros a la derecha desde la calle secundaria.
3. Giros en U desde la calle principal.
4. Giros en U desde la calle principal en el otro sentido.
5. Giros a la izquierda desde la calle secundaria.

#### **3.6.4. Paso 2: Convertir los volúmenes de demanda de movimiento en caudales**

Para el análisis de las condiciones existentes en las que el periodo punta de 15 minutos puede medirse sobre el terreno, los volúmenes del periodo punta de 15 minutos se convierten en un caudal de demanda punta de 15 minutos multiplicando los volúmenes punta de 15 minutos por 4. Para el análisis de las condiciones proyectadas o cuando los datos de 15 minutos no están disponibles, los volúmenes de demanda por hora para cada movimiento se convierten en flujos de demanda pico de 15 minutos en vehículos por hora, como se muestra en la Ecuación 19, mediante el uso del factor de hora pico para la intersección.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF} = (\text{veh/h})$$

Ecuación 19

Donde:

$v_i$  = caudal de demanda para el movimiento  $i$  (veh/h).

$V_i$  = volumen de demanda para el movimiento  $i$  (veh/h).

PHF = factor de hora punta.

#### **3.6.5. Paso 3: Determinar los flujos conflictivos**

Cada movimiento en una intersección TWSC enfrenta un conjunto diferente de conflictos que están directamente relacionados con la naturaleza del movimiento en cuestión. Las siguientes subsecciones proporcionan una ilustración del conjunto de conflictos a los que

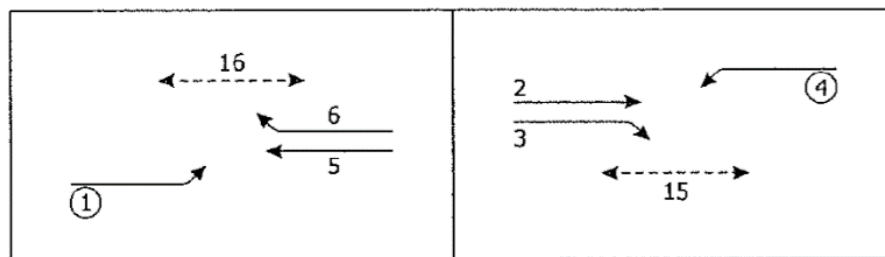
se enfrenta cada movimiento menor (Rango 2 a Rango 4) en una intersección TWSC. Estas ilustraciones muestran el cálculo del parámetro  $v_{ci}$ , el flujo conflictivo para el movimiento  $x$ , es decir, el flujo total [en vehículos por hora (veh/h)] que entra en conflicto con el movimiento  $x$ .

Los peatones también pueden entrar en conflicto con los movimientos de los vehículos. Los flujos peatonales, también definidos como  $v_x$ , donde  $x$  indica el tramo de la intersección que se cruza, deben incluirse como parte de los flujos conflictivos. Los flujos peatonales se incluyen porque definen el comienzo o el final de un hueco que puede ser utilizado por un movimiento de calle menor. Aunque reconoce algunas peculiaridades asociadas a los movimientos peatonales, este método adopta un enfoque uniforme para los movimientos de vehículos y peatones.

***Movimientos de giro a la izquierda en calles principales (Rango 2 – Movimientos 1 y 4)***

La Figura 48 ilustra los movimientos conflictivos, mientras que la Ecuación 20 y Ecuación 21 calculan el flujo conflictivo encontrado por los conductores que giran a la izquierda en calles principales de la calle principal. El movimiento de giro a la izquierda desde la calle principal entra en conflicto con el flujo total opuesto de paso y de giro a la derecha, porque esos vehículos deben cruzar el movimiento opuesto y unirse con los vehículos que giran a la derecha. El método no distingue entre conflictos de cruce y de confluencia. Se considera que los vehículos que giran a la izquierda desde la calle principal y los que giran a la derecha desde la calle principal se unen de la calle principal se considera que se fusionan, independientemente del número de carriles de la calzada de salida.

**Figura 48.** Definición de movimientos Conflictivos en Calles Principales Movimientos de giro a la izquierda



$$v_{c,1} = v_5 + v_6 + v_{16} = (\text{veh/h})$$

Ecuación 20

$$v_{C,4} = v_2 + v_3 + v_{15} = (\text{veh/h})$$

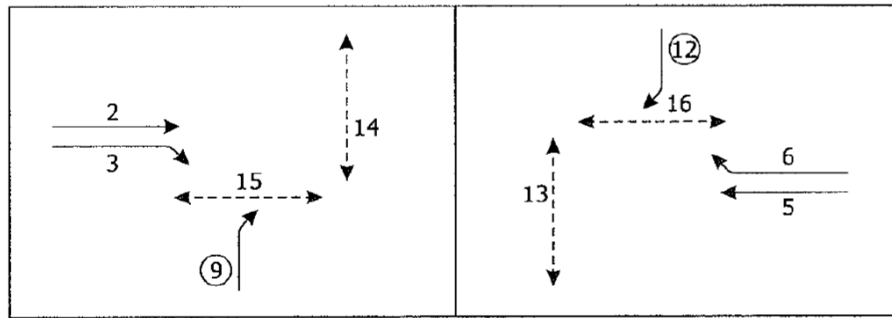
Ecuación 21

Si el giro a la derecha en una calle principal está separado por una isla triangular y tiene que cumplir con una señal de CEDA EL PASO o PARE, los términos  $v_6$  y  $v_3$  en la Ecuación 20 y Ecuación 21, respectivamente, pueden asumirse como cero.

***Movimientos de giro a la derecha en calles secundarias (Rango 2 - Movimientos 9 y 12)***

La Figura 49 ilustra los movimientos conflictivos encontrados por los conductores que giran a la derecha en calles menores. Se asume que el movimiento de giro a la derecha desde la calle menor no entra en conflicto con sólo una porción del movimiento de paso de la calle principal cuando hay más de un carril en la calle principal. Además, se considera que la mitad de cada giro a la derecha desde la calle principal entra en conflicto con el giro a la derecha desde la calle secundaria, ya que algunos de estos giros tienden a inhibir el movimiento en cuestión. Debido a que los vehículos que giran a la derecha de la calle menor por lo general se funden en huecos en el carril de la derecha de la corriente en la que, a su vez, por lo general no requieren un espacio a través de todos los carriles de la corriente en conflicto (esta situación puede no ser cierta para algunos camiones y furgonetas con gran distancia entre ejes que invaden más de un carril al hacer su giro). Además, un hueco en el tráfico general de la calle principal podría ser utilizado simultáneamente por otro vehículo, como un vehículo que gira a la izquierda en una calle principal. La Figura 34 no incluye los giros en U en vías principales como vehículos en conflicto. Mientras que estos conflictos pueden ser observados en la práctica, no se asumen como conflictos en esta metodología.

**Figura 49.** Definición de movimientos de calles secundarias movimientos de giro a la derecha



**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)

Las Ecuación 22 y Ecuación 23 calculan el flujo conflictivo para los giros a la derecha de calles secundarias que entran en calles principales de dos carriles, la Ecuación 24 y Ecuación 25 se utilizan para calles principales de cuatro carriles y la Ecuación 26 y Ecuación 27 para calles principales de seis carriles. Si el giro a la derecha en una calle principal tiene su propio carril, el término  $v_3$  o  $v_6$  correspondiente en estas ecuaciones puede asumirse como cero. Los usuarios pueden suministrar diferentes distribuciones de carriles para los términos  $v_2$  y  $v_5$  en las ecuaciones para calles principales de cuatro y seis carriles, cuando se apoyen en datos de campo.

#### Calles principales de dos carriles:

$$v_{C,9} = v_2 + 0.5v_3 + v_{14} + v_{15} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 22}$$

$$v_{C,12} = v_5 + 0.5v_6 + v_{13} + v_{16} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 23}$$

#### Calles principales de cuatro carriles:

$$v_{C,9} = 0.5v_2 + 0.5v_3 + v_{14} + v_{15} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 24}$$

$$v_{C,12} = 0.5v_5 + 0.5v_6 + v_{13} + v_{16} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 25}$$

#### Calles principales de seis carriles:

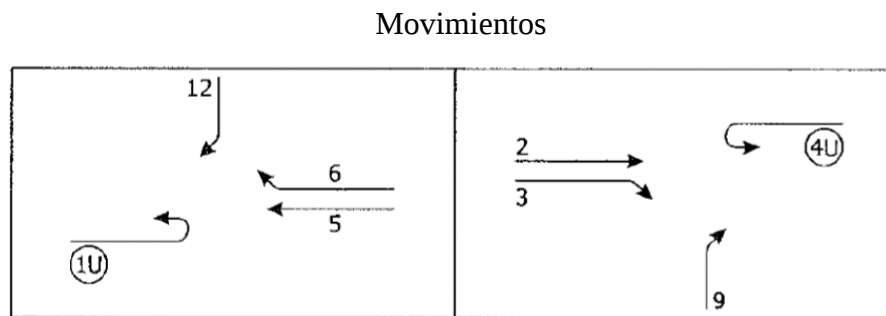
$$v_{C,9} = 0.5v_2 + 0.5v_3 + v_{14} + v_{15} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 26}$$

$$v_{C,12} = 0.5v_5 + 0.5v_6 + v_{13} + v_{16} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 27}$$

***Movimientos de giro en U en calles principales (Rango 2 - Movimientos 1U y 4U)***

La Figura 50 ilustra los movimientos conflictivos encontrados por los conductores que giran en U en calles principales. El movimiento de giro en U desde la calle principal está en conflicto con el flujo total opuesto de paso y de giro a la derecha, similar al movimiento de giro a la izquierda de la calle principal. Las investigaciones han demostrado que la presencia de vehículos que giran a la derecha en calles secundarias afecta significativamente a la capacidad de los giros en U en calles principales (5). La metodología tiene en cuenta este efecto en el cálculo de la impedancia y no aquí en el cálculo del flujo conflictivo. Si se desea un orden de prioridad diferente (por ejemplo, los giros a la derecha en calles secundarias ceden el paso a los giros en U en calles principales), el analista debe ajustar el procedimiento de cálculo en consecuencia para reproducir las condiciones observadas.

**Figura 50.** Definición de movimientos conflictivos de giro en U en calles principales



**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)

Las Ecuación 28 y Ecuación 29 calculan los flujos conflictivos para giros en U en calles principales de cuatro carriles. Las ecuaciones Ecuación 30 y Ecuación 31 calculan los flujos conflictivos para giros en U en calles principales de seis carriles. (No se dispone de datos de campo para giros en U en calles principales con menos de cuatro carriles). Si un giro a la derecha en una calle principal tiene su propio carril, el término  $v_3$  o  $v_6$  correspondiente en estas ecuaciones debe asumirse como cero.

**Calles principales de cuatro carriles:**

$$v_{c,1u} = v_5 + v_6 \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 28}$$

$$v_{c,1u} = v_2 + v_3 \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 29}$$

**Calles principales de seis carriles:**

$$v_{c,1u} = 0.73v_5 + 0.73v_6 \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 30}$$

$$v_{c,4u} = 0.73v_2 + 0.73v_3 \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 31}$$

***Movimientos Peatonales en Calles Menores (Rango 2 - Movimientos 13 y 14)***

Los movimientos de peatones en calles secundarias (aquellos peatones que cruzan la calle principal) están en conflicto directo con todos los movimientos de vehículos en la calle principal excepto los movimientos de giro a la derecha y giro a la izquierda en la calle principal que se aproximan desde el otro lado de la intersección. El volumen de peatones en calles secundarias es un parámetro de entrada en el cálculo de los flujos conflictivos para todos los movimientos de rango 3 y 4.

***Movimientos de paso por calles secundarias (Rango 3 - Movimientos 8 y 11)***

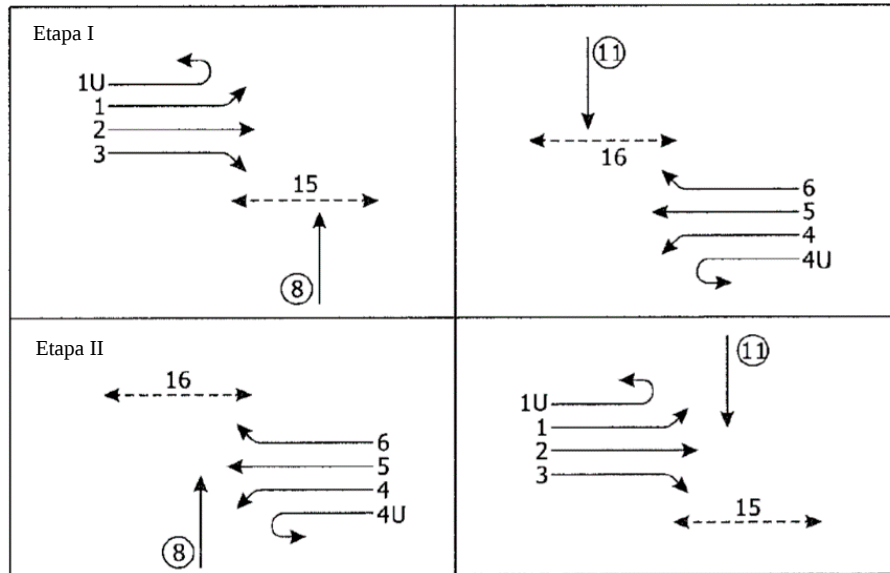
Los movimientos de paso de calles secundarias tienen un conflicto directo de cruce o confluencia con todos los movimientos de la calle principal excepto el giro a la derecha en la aproximación en cuestión. De forma similar al movimiento de giro a la derecha de la calle secundaria, se considera que la mitad de cada movimiento de giro a la derecha de la calle principal entra en conflicto con el movimiento de paso de la calle secundaria. Además, la investigación de campo (2) ha demostrado que el efecto de los vehículos que giran a la izquierda es aproximadamente el doble de su número real.

Los movimientos de paso de las calles secundarias pueden completar su maniobra en una o dos etapas. El escenario de aceptación de huecos en una sola etapa supone que no existe un área de refugio en la mediana para que los conductores de las calles secundarias almacenen y que los conductores de las calles secundarias evaluarán los huecos en ambas direcciones de las calles principales simultáneamente. Por el contrario, el escenario de aceptación de huecos en dos fases supone que existe un área de refugio en la mediana para

los conductores de las calles secundarias. En la fase I, los conductores de las calles secundarias evalúan los huecos de las calles principales en el flujo de tráfico del lado cercano (tráfico en conflicto desde la izquierda); en la fase II, los conductores de las calles secundarias evalúan los huecos de las calles principales en el flujo de tráfico del lado lejano (tráfico en conflicto desde la derecha). En los cruces de una etapa, los flujos conflictivos de la Etapa I y la Etapa II se combinan; en los cruces de dos etapas, los flujos conflictivos se consideran por separado.

La Figura 51 ilustra los movimientos conflictivos a los que se enfrentan los conductores que atraviesan calles secundarias.

**Figura 51.** Definición de movimientos de calles secundarias de paso



**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)

La Ecuación 32 y Ecuación 33 calculan el flujo conflictivo encontrado por los conductores que transitan por calles secundarias durante la Etapa I. Si hay un carril de giro a la derecha en la calle principal, se puede asumir que el término  $v_3$  o  $v_6$  correspondiente en estas ecuaciones es cero.

$$v_{c,I8} = 2(v_1 + v_{1u}) + v_2 + 0.5v_3 + v_{15} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 32}$$

$$v_{c,I11} = 2(v_4 + v_{4u}) + v_5 + 0.5v_6 + v_{16} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 33}$$

La Ecuación 34 y Ecuación 35 calculan el flujo conflictivo encontrado por los conductores que transitan por calles secundarias durante la Etapa II. Si el giro a la derecha de la calle principal está separado por una isla triangular y tiene que cumplir con una señal de CEDA EL PASO o PARE, el término  $v_3$  o  $v_6$  correspondiente en estas ecuaciones puede asumirse como cero.

$$v_{c,II8} = 2(v_4 + v_{4u}) + v_5 + v_6 + v_{16} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 34}$$

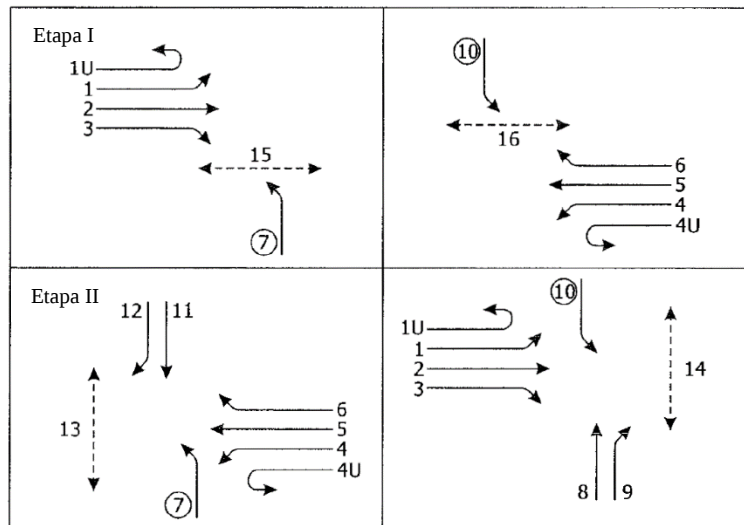
$$v_{c,II11} = 2(v_1 + v_{1u}) + v_2 + v_3 + v_{15} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 35}$$

***Movimientos de giro a la izquierda desde calles secundarias (Clasificación 4 - Movimientos 7 y 10)***

El movimiento de giro a la izquierda desde la calle secundaria es la maniobra más difícil de ejecutar en una intersección TWSC, y se enfrenta al conjunto más complejo de movimientos conflictivos, que incluyen todos los movimientos de la calle principal además de los movimientos opuestos de giro a la derecha y de paso en la calle secundaria. Sólo se incluye como flujo conflictivo la mitad de los movimientos de giro a la derecha y de paso porque ambos movimientos están controlados por PARE, lo que disminuye su efecto sobre los giros a la izquierda. Los efectos adicionales de impedancia de capacidad de los flujos opuestos de giro a la derecha y de paso se tienen en cuenta en otras partes del procedimiento.

Al igual que los movimientos de paso en calles secundarias, los movimientos de giro a la izquierda en calles secundarias pueden completarse en una o dos etapas. La Figura 52 ilustra los movimientos conflictivos que encuentran los conductores que giran a la izquierda en calles secundarias.

**Figura 52.** Movimientos conflictivos en calles secundarias



**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)

Durante la Etapa I, la Ecuación 36 y Ecuación 37 calculan el flujo conflictivo para los giros a la izquierda en calles secundarias que entran en calles principales de dos carriles, mientras que las ecuaciones Ecuación 38 y Ecuación 39 se utilizan para calles principales de cuatro carriles y las Ecuación 40 y Ecuación 41 para calles principales de seis carriles. Si existe un carril de giro a la derecha en la vía principal, se puede suponer que el término  $v_3$  o  $v_6$  correspondiente en estas ecuaciones es cero.

#### Calles principales de dos carriles:

$$v_{c,I7} = 2v_1 + v_2 + 0.5v_3 + v_{15} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 36}$$

$$v_{c,I10} = 2v_4 + v_5 + 0.5v_6 + v_{16} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 37}$$

#### Calles principales de cuatro carriles:

$$v_{c,I7} = 2(v_1 + v_{1u}) + v_2 + 0.5v_3 + v_{15} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 38}$$

$$v_{c,I10} = 2(v_4 + v_{4u}) + v_5 + 0.5v_6 + v_{16} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 39}$$

#### Calles principales de seis carriles:

$$v_{c,I7} = 2(v_1 + v_{1u}) + v_2 + 0.5v_3 + v_{15} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 40}$$

$$v_{c,I10} = 2(v_4 + v_{4u}) + v_5 + 0.5v_6 + v_{16} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 41}$$

Durante la Etapa II, la Ecuación 42 y Ecuación 43 calculan el flujo conflictivo para los giros a la izquierda de calles secundarias que entran en calles principales de dos carriles, mientras que la Ecuación 44 y Ecuación 45 se utilizan para calles principales de cuatro carriles y la Ecuación 46 y Ecuación 47 para calles principales de seis carriles. Si el giro a la derecha en una calle secundaria está separado por una isleta triangular y tiene que cumplir con una señal de CEDA EL PASO o PARE, el término  $v_9$  o  $v_{12}$  correspondiente en estas ecuaciones puede asumirse como cero.

**Calles principales de dos carriles:**

$$v_{c,II7} = 2v_4 + v_5 + 0.5v_6 + 0.5v_{12} + 0.5v_{11} + v_{13} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 42}$$

$$v_{c,II10} = 2v_1 + v_2 + 0.5v_3 + 0.5v_9 + 0.5v_8 + v_{14} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 43}$$

**Calles principales de cuatro carriles:**

$$v_{c,II7} = 2(v_4 + v_{4u}) + 0.5v_5 + 0.5v_{11} + v_{13} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 44}$$

$$v_{c,II10} = 2(v_1 + v_{1u}) + 0.5v_2 + 0.5v_8 + v_{14} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 45}$$

**Calles principales de seis carriles:**

$$v_{c,II7} = 2(v_4 + v_{4u}) + 0.4v_5 + 0.5v_{11} + v_{13} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 46}$$

$$v_{c,II10} = 2(v_1 + v_{1u}) + 0.4v_2 + 0.5v_8 + v_{14} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 47}$$

**3.6.6. Paso 4: Determinar las vías críticas y las vías de seguimiento**

Las vías críticas  $t_{cx}$  y las vías de seguimiento  $t_{fx}$  deben determinarse para los giros a la izquierda en calles principales ( $v_{c1}$  y  $v_{c4}$ ), los giros a la derecha en calles secundarias ( $v_{c9}$  y  $v_{c12}$ ), los giros en U en calles principales ( $v_{c,iu}$  y  $v_{c,AU}$ ), los movimientos de paso en calles secundarias ( $v_{c8}$  y  $v_{c11}$ ), y los giros a la izquierda en calles secundarias ( $v_{c7}$  y  $v_{c10}$ ) tal como ocurren en una intersección TWSC.

Para calcular las vías críticas para cada movimiento, el analista comienza con la vía crítica base dada en el Tabla 45 y hace ajustes específicos al movimiento relacionados con el porcentaje de vehículos pesados, la pendiente encontrada, y una intersección de tres patas versus cuatro patas, como se muestra en la Ecuación 48:

$$t_{c,x} = t_{c,base} + t_{c,HV}P_{HV} + t_{c,G}G - t_{3,LT} \quad (s) \quad \text{Ecuación 48}$$

Donde:

$t_{c,x}$  = distancia crítica para el movimiento x (s)

$t_{c,base}$  = distancia crítica base de la Tabla 24 (s)

$t_{c,HV}$  = factor de ajuste para vehículos pesados (1,0 para calles principales con un carril en cada dirección; 2,0 para calles principales con dos o tres carriles en cada dirección) (s)

$P_{HV}$  = proporción de vehículos pesados para el movimiento (expresada como decimal;  $P_{HV}$ = 0,02 para 2% de vehículos pesados)

$t_{c,G}$  = factor de ajuste por pendiente (0,1 para los movimientos 9 y 12. 0,2 para movimientos 7, 8, 10 y 11) (s)

$G$  = porcentaje de pendiente (expresado como un número entero; por ejemplo,  $G=-2$  para una pendiente descendente del 2 cuesta abajo)

$t_{3,LT}$  = factor de ajuste para la geometría de la intersección (0,7 para el movimiento de giro a la izquierda en calles secundarias en intersecciones de tres tramos; 0,0 en los demás casos) (s).

**Tabla 45.** Distancias críticas básicas para TWSC Intersecciones

| Movimiento de vehículos                   | Distancia crítica de base. $t_{cbase}$ (s)                        |                                                                   |                                                                      |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                                           | Dos Carriles                                                      | Cuatro Carriles                                                   | Seis Carriles                                                        |
| Giro a la izquierda desde la principal    | 4.1                                                               | 4.1                                                               | 5.3                                                                  |
| Giro en U desde la principal              | N/A                                                               | 6.4 (ancho)<br>6.9 (estrecho)                                     | 5.6                                                                  |
| Giro ala derecha desde la secundaria      | 6.2                                                               | 6.9                                                               | 7.1                                                                  |
| Tráfico de paso en carreteras secundarias | 1 etapa: 6.5<br>2 etapas, Etapa I: 5.5<br>2 etapas, Etapa II: 5.5 | 1 etapa: 6.5<br>2 etapas, Etapa I: 5.5<br>2 etapas, Etapa II: 5.5 | 1 etapa: 6.5*<br>2 etapas, Etapa I: 5.5*<br>2 etapas, Etapa II: 5.5* |
| Giro a la izquierda de la secundaria      | 1 etapa: 7.1<br>2 etapas, Etapa I: 6.1<br>2 etapas, Etapa II: 6.1 | 1 etapa: 7.5<br>2 etapas, Etapa I: 6.5<br>2 etapas, Etapa II: 6.5 | 1 etapa: 6.4<br>2 etapas, Etapa I: 7.3<br>2 etapas, Etapa II: 6.7    |

\* Precaución; valores estimados.

**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)

Los datos de la calzada crítica de las vías de cuatro y seis carriles reflejan la distribución real de los flujos de tráfico medidos en cada vía. En el caso de las vías de seis carriles, los giros a la izquierda de las calles secundarias se observaron con frecuencia comenzando su

movimiento mientras aparentemente los vehículos en conflicto pasaban por el lado opuesto de la vía principal.

Los valores de la separación crítica para los movimientos de paso de calles secundarias en calles de seis carriles son estimados, ya que el movimiento no se observa con frecuencia sobre el terreno.

De manera similar al cálculo de los cruces críticos, el analista comienza el cálculo de los cruces de seguimiento con los cruces de seguimiento base dados en la Tabla 46. El analista luego hace ajustes específicos de movimiento a los cruces de seguimiento base con información recopilada sobre vehículos pesados y las geometrías de la calle principal según los factores de ajuste dados en la Ecuación 49.

$$t_{f,x} = t_{f,base} + t_{f,HV}P_{HV} \quad (s) \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde:

$t_{f,x}$  = distancia de seguimiento del movimiento x (s)

$t_{f,base}$  = distancia de seguimiento base del Tabla 25 (s)

$t_{f,HV}$  = factor de ajuste para vehículos pesados (0,9 para calles principales con un carril en cada sentido, 1,0 para calles principales con dos o tres carriles en cada sentido)

$P_{HV}$  = proporción de vehículos pesados por movimiento (expresada en decimales; por ejemplo,  $P_m = 0,02$  para un 2% de vehículos pesados).

**Tabla 46.** Cabeceras de Seguimiento Base para Intersecciones TWSC

| Movimiento de vehículos                   | Base Distancia de subida $t_{f,base}$ (s) |                               |               |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|---------------|
|                                           | Dos Carriles                              | Cuatro Carriles               | Seis Carriles |
| Giro a la izquierda desde la principal    | 2.2                                       | 2.2                           | 3.1           |
| Giro en U desde la principal              | N/A                                       | 2.5 (ancho)<br>3.1 (estrecho) | 2.3           |
| Giro ala derecha desde la secundaria      | 3.3                                       | 3.3                           | 3.9           |
| Tráfico de paso en carreteras secundarias | 4.0                                       | 4.0                           | 4.0           |
| Giro a la izquierda de la secundaria      | 3.5                                       | 3.5                           | 3.8           |

**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)

Los valores de la Tabla 45 y de la Tabla 46 se basan en estudios realizados en todo Estados Unidos y son representativos de una amplia gama de condiciones. Si se observan valores menores para  $t_c$  y  $L$ , la capacidad aumentará. Si se utilizan valores mayores para  $t_c$  y  $t_f$ , la capacidad disminuirá.

### 3.6.7. Paso 5: Cálculo de las capacidades potenciales

#### ***Paso 5a: Capacidad potencial si no hay efectos de señal aguas arriba***

La capacidad potencial  $c_{p,x}$  de un movimiento se calcula según el modelo de aceptación de brechas proporcionado en la Ecuación 50 (6). Este modelo requiere que el analista introduzca el caudal conflictivo  $v_{c,x}$ , el paso crítico  $t_{c,x}$ , y el paso de seguimiento  $t_{f,x}$ , para el movimiento  $x$ .

$$c_{p,x} = v_{c,x} \frac{e^{-v_{c,x}t_{c,x}/3600}}{1 - e^{-v_{c,x}t_{c,x}/3600}} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde:

$C_{p,x}$  = capacidad potencial de movimiento  $x$  (veh/h)

$V_{c,x}$  = caudal conflictivo del movimiento  $x$  (veh/h)

$t_{c,x}$  = intervalo crítico para movimiento menor  $x$  (s)

$t_{f,x}$  = distancia de seguimiento del movimiento menor  $x$  (s)

Para los movimientos de rango 3 ó 4 en dos etapas, la capacidad potencial se calcula tres veces:  $c_{p,x}$  suponiendo el funcionamiento en una etapa,  $c_{p,Ix}$  para la Etapa I y  $c_{p,IIx}$  para la Etapa II. Las definiciones de flujo conflictivo para cada cálculo son las indicadas en el Paso 4

#### ***Paso 5b: Capacidad Potencial Si Están Presentes los Efectos de las Señales Aguas Arriba***

Para evaluar el impacto de las señales coordinadas aguas arriba, se utiliza la metodología de segmentos de calles urbanas (Capítulo 17) para estimar la proporción de tiempo que cada movimiento de rango 2 o inferior estará efectivamente bloqueado por un pelotón. La proporción de tiempo bloqueado se denota por  $p_{bx}$ , donde  $x$  es el movimiento utilizando las convenciones de movimiento proporcionadas en la Figura 46. Con estos valores, la proporción del tiempo bloqueado por el pelotón se calcula en base a la proporción de tiempo bloqueado por el pelotón.

Con estos valores, la proporción del periodo de análisis que está bloqueada para cada movimiento menor puede calcularse utilizando la Tabla 47:

**Tabla 47.** Proporción del periodo de análisis bloqueado para cada movimiento

| Movimiento(s) x | Proporción bloqueada para el movimiento. Pb,x |                           |          |
|-----------------|-----------------------------------------------|---------------------------|----------|
|                 | Movimientos de una etapa                      | Movimientos en dos etapas |          |
|                 |                                               | Etapa I                   | Etapa II |
| 1, 1U           | Pb1                                           | N/A                       | N/A      |
| 4, 4U           | Pb4                                           | N/A                       | N/A      |
| 7               | Pb7                                           | Pb4                       | Pb1      |
| 8               | Pb8                                           | Pb4                       | Pb1      |
| 9               | Pb9                                           | N/A                       | N/A      |
| 10              | Pb10                                          | Pb1                       | Pb4      |
| 11              | Pb11                                          | Pb1                       | Pb4      |
| 12              | Pb12                                          | N/A                       | N/A      |

**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)

En este paso se determina el flujo para el periodo no bloqueado (sin pelotones).

Este flujo se convierte en el flujo conflictivo para el movimiento en cuestión y se utiliza para calcular la capacidad de este movimiento. El caudal mínimo en pelotón  $v_{c,min}$  es de aproximadamente 1000 N, donde N es el número de carriles de paso por sentido en la calle principal (7).

El flujo conflictivo para el movimiento x durante el periodo no bloqueado viene dado por la Ecuación 51:

$$v_{c,ux} = \begin{cases} \frac{v_{c,x} - 1.5v_{c,min}p_{b,x}}{1 - p_{b,x}} & \text{if } v_{c,x} > 1.5v_{c,min}p_{b,x} \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 51}$$

donde:

$v_{c,ux}$  = flujo conflictivo para el movimiento x durante el periodo no bloqueado (veh/h)

$v_{c,x}$  = flujo conflictivo total para el movimiento x determinado en la etapa 3 (veh/h)

$v_{c,min}$  = caudal mínimo en pelotón (veh/h), que se supone que es de 1000N, donde N es el número de carriles de paso por sentido en la calle principal.

$p_{b,x}$  = proporción de tiempo que el movimiento x está bloqueado por el pelotón de la calle principal, que se determina a partir de la Tabla 47.

La capacidad potencial del movimiento x, teniendo en cuenta el efecto del pelotón, viene dada por la Ecuación 52 y Ecuación 53:

$$c_{p,x} = (1 - p_{b,x})c_{r,x} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 52}$$

$$c_{r,x} = v_{c,IIx} \frac{e^{-v_{c,ux}t_{c,x}/3600}}{1 - e^{-v_{c,ux}t_{f,x}/3600}} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 53}$$

Donde:

$C_{p,x}$  = capacidad potencial de movimiento x (veh/h)

$P_{b,x}$  = proporción de tiempo que el movimiento x está bloqueado por un pelotón

$C_{r,x}$  = capacidad del movimiento x suponiendo un flujo aleatorio durante el periodo no bloqueado desbloqueado.

Esta ecuación utiliza las mismas entradas de paso crítico y paso de seguimiento que un cálculo normal, pero sólo utiliza el flujo conflictivo durante el periodo no bloqueado.

### 3.6.8. Pasos 6-9: Calcular las capacidades de movimiento

Estos pasos suponen que los efectos de la impedancia peatonal pueden despreciarse, y en muchos casos se trata de una suposición razonable. Sin embargo, los peatones pueden tenerse en cuenta en el análisis del modo automóvil sustituyendo estos pasos por los del Capítulo 32, Intersecciones controladas por STOP: Suplementario, que incorporan los efectos de la impedancia peatonal.

### 3.6.9. Paso 6: Capacidad de movimiento de rango 1

Se supone que los movimientos de las calles principales de rango 1 no se ven obstaculizados por ningún movimiento de rango inferior. Este rango también implica que no se espera que los movimientos de las calles principales de rango 1 sufran retrasos o ralentizaciones al pasar por la intersección TWSC. Las observaciones empíricas han demostrado que estos retrasos se producen ocasionalmente y se tienen en cuenta mediante los ajustes que se indican más adelante en este procedimiento.

### 3.6.10. Paso 7: Capacidad de circulación de rango 2

Los movimientos de rango 2 (giros a la izquierda y giros en U desde la calle principal y giros a la derecha desde la calle secundaria) deben ceder el paso a los movimientos vehiculares de rango 1 que circulan por la calle principal y giran a la derecha. Se supone

que los giros a la derecha de calles secundarias deben ceder el paso a los giros en U de calles principales, aunque a veces ocurre lo contrario.

***Paso 7a: Capacidad de movimiento para el movimiento de giro a la izquierda en calles principales***

La capacidad de movimiento de cada movimiento de giro a la izquierda de calles principales de Rango 2 (1 y 4) es igual a su capacidad potencial, como se muestra en la Ecuación 54.

$$c_{m,x} = c_{p,x} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 54}$$

***Paso 7b: Capacidad de movimiento para movimientos de giro a la derecha en calles secundarias***

La capacidad de movimiento,  $c_y$ , para los movimientos de giro a la derecha en calles menores de Rango 2 (9 y 12) es igual a su capacidad potencial, como se muestra en la Ecuación 55.

$$c_{m,j} = c_{p,j} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 55}$$

***Paso 7c: Capacidad de movimiento para movimientos de giro en U en calles principales***

La capacidad de movimiento,  $c_{mj}$  para los movimientos de giro en U en calles principales de rango 2 (1U y 4U) se determina calculando primero un factor de ajuste de capacidad que tenga en cuenta los efectos de obstaculización de los movimientos de rango superior. Las observaciones de campo son dispares en cuanto al grado en que los giros en U en calles principales ceden el paso a los giros a la derecha en calles secundarias y viceversa (5). Se supone que la presencia de vehículos que giran a la derecha en calles secundarias impedirá a los vehículos que giran en U aceptar huecos en el flujo de tráfico de la calle principal; por tanto, la capacidad del movimiento de giro en U se ve afectada por la probabilidad de que el tráfico que gira a la derecha en calles secundarias funcione sin colas. Los factores de ajuste de capacidad se denotan por  $f_{1U}$  y  $f_{4U}$  para los movimientos de giro en U de la calle principal 1Uy 4U, respectivamente, y vienen dados por la Ecuación 56 y la Ecuación 57, respectivamente.

$$f_{1U} = p_{0,12} = 1 - \frac{v_{12}}{c_{m,12}} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 56}$$

$$f_{4U} = p_{0,9} = 1 - \frac{v_9}{c_{m,9}} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 57}$$

Donde:

$f_{1U}, f_{4U}$  = factor de ajuste de capacidad para los movimientos de las calles principales de rango 2 y de giro en U 1 y 4, respectivamente

$p_{0,j}$  = probabilidad de que el movimiento de giro a la derecha de rango 2 en calles secundarias conflictivas se produzca en un estado sin colas

$v_j$  = caudal de movimiento j

$c_{m,j}$  = capacidad de movimiento j

j = 9 y 12 (movimientos de giro a la derecha en calles secundarias de rango 2)

La capacidad de movimiento para los giros en U en calles principales se calcula con la Ecuación 58:

$$c_{m,jU} = (c_{p,jU})f_{jU} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 58}$$

Donde:

$c_{m,jU}$  = capacidad de movimiento para los movimientos 1U y 4U.

$c_{p,jU}$  = capacidad potencial para los movimientos 1Uy 4U (del paso 5).

$f_{jU}$  = factor de ajuste de capacidad para los Movimientos 1Uy 4U.

Dado que los movimientos de giro a la izquierda y en U se realizan normalmente desde el mismo carril, su capacidad de carril compartido se calcula con la Ecuación 59:

$$c_{SH} = \frac{\sum_y v_y}{\sum_y \left( \frac{v_y}{c_{m,j}} \right)} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 59}$$

Donde:

$C_{SH}$  = capacidad del carril compartido (veh/h)

$V_y$  = caudal del movimiento y en el carril compartido en cuestión (veh/h)

$C_{m,y}$  = capacidad de movimiento del movimiento y en el carril compartido en cuestión (veh/h).

**Paso 7d: Efecto del carril de paso y giro a la izquierda compartido en una calle principal**

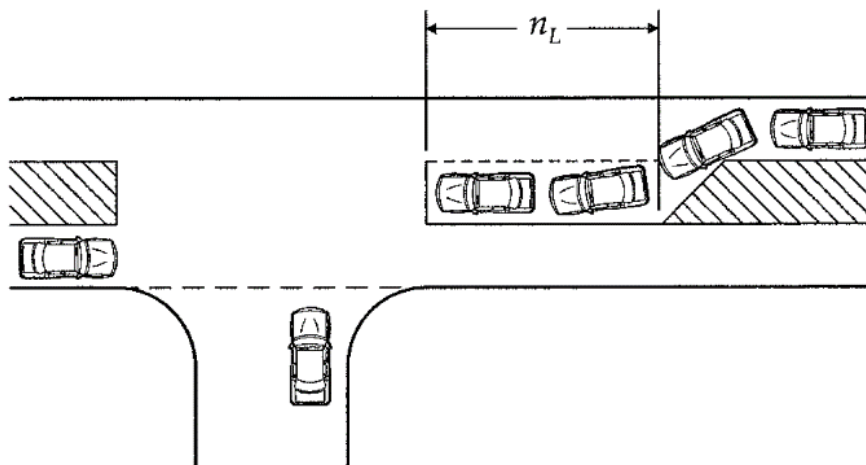
La probabilidad de que el tráfico de giro a la izquierda de la calle principal opere en un estado sin colas se expresa mediante la Ecuación 60:

$$p_{o,j} = 1 - \frac{v_j}{c_{m,j}} \quad \text{Ecuación 60}$$

donde  $j=1$  y  $4$  (movimientos de giro a la izquierda y en U en calles principales de rango 2, usando volumen y capacidad compartidos según corresponda).

Sin embargo, si hay un carril compartido de giro a la izquierda o un bolsillo corto de giro a la izquierda en una aproximación a una calle principal (como en la Figura 38), el analista toma en cuenta esta ocurrencia calculando la probabilidad de que no haya cola en el carril compartido de la calle principal,  $p_{o,j}$  de acuerdo con la Ecuación 61. Esta probabilidad es entonces utilizada por el analista en lugar de  $p_{o,j}$  (volumen compartido y capacidad). Esta probabilidad es utilizada por el analista en lugar de  $p_{o,j}$  (calculada por la Ecuación 60).

**Figura 53.** Cavidad corta para giro a la izquierda



**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)

La metodología asume implícitamente que se proporciona un carril exclusivo para todo el tráfico que gira a la izquierda desde la calle principal. Si no se dispone de un carril para girar a la izquierda o si el hueco para girar a la izquierda no es lo suficientemente largo como para dar cabida a todos los vehículos que giran a la izquierda y a los que giran a la izquierda, el tráfico de paso de la calle principal (y posiblemente el tráfico que gira a la derecha) podría verse retrasado por los vehículos que giran a la izquierda que esperan una brecha aceptable en el tráfico de paso de la calle principal opuesta. Para tener en cuenta esta situación, los factores  $p^*_{o,1}$  y  $p^*_{o,4}$  pueden calcularse de acuerdo con la Ecuación 61 y Ecuación 62 como indicación de la probabilidad de que no se produzca ninguna cola en los respectivos carriles compartidos o cortos de la vía principal (8).

$$p^*_{o,j} = 1 - (1 - p_{o,j}) \left[ \sqrt[n_L+1]{1 + \frac{x_{i,1+2}^{(n_L+1)}}{1 - x_{i,1+2}}} \right] \quad \text{Ecuación 61}$$

$$x_{i,1+2} = \frac{v_{i1}}{s_{i1}} + \frac{v_{i2}}{s_{i2}} \quad \text{Ecuación 62}$$

Donde:

$p^*_{o,j}$  = probabilidad de estado sin colas para el movimiento j suponiendo un carril exclusivo de giro a la izquierda en la calle principal (según la Ecuación 60)

j = 1 y 4 (giros a la izquierda en calles principales)

i1 = 2 y 5 (movimientos vehiculares de paso en calles principales)

i2 = 3 y 6 (movimientos de vehículos que giran a la derecha en calles principales)

$x_{i,1+2}$  = grado de saturación combinado para los movimientos de paso y giro a la derecha de la calle principal

$s_{i1}$  = Caudal de saturación para los movimientos de paso de las calles principales (por defecto se supone que es de 1.800 veh/h; no obstante, este parámetro puede medirse sobre el terreno).

$s_{i2}$  = Caudal de saturación para los giros a la derecha en las calles principales (por defecto se supone que es de 1500 veh/h, pero este parámetro puede medirse sobre el terreno).

$v_{i1}$  = Caudal de paso por la vía principal (veh/h); sobre el terreno)

$v_{i2}$  = Caudal de giros a la derecha en calles principales (veh/h) (0 si hay un carril exclusivo para giros a la derecha)

$n_L$  = lugares de almacenamiento en el bolsillo de giro a la izquierda (véase la Figura 38).

Para la situación especial de carriles compartidos ( $n_L = 0$ ), la Figura 38 se convierte en la Ecuación 63 como sigue

$$p'_{o,j} = 1 - \frac{1 - p_{o,j}}{1 - x_{i,1+2}} \quad \text{Ecuación 63}$$

donde todos los términos son los definidos anteriormente.

Al utilizar  $p'_{o,1}$  y  $p'_{o,4}$  en lugar de  $p_{o,1}$  y  $p_{o,4}$  (calculados mediante la Ecuación 60), se puede tener en cuenta el potencial de colas en una calle principal con carriles de giro a la izquierda compartidos o cortos.

### 3.6.11. Paso 8: Cálculo de Capacidades de Movimiento de Rango 3

Los movimientos de tránsito de calles menores de Rango 3 (movimientos de cruce de calles menores en intersecciones de cuatro ramales y giros a la izquierda de calles menores en intersecciones de tres ramales) deben ceder el paso a los movimientos de Rango 1 y 2 en conflicto. No todas las brechas de longitud aceptable que atraviesan la intersección estarán normalmente disponibles para ser utilizadas por los movimientos de rango 3, ya que es probable que algunas de estas brechas sean utilizadas por los movimientos de rango 2.

Si el movimiento de rango 3 es un movimiento de dos etapas, la capacidad de movimiento para el movimiento de una etapa se computa como entrada para el cálculo de dos etapas.

#### ***Paso 8a: Capacidad de movimiento de rango 3 para movimientos de una etapa***

Para los movimientos de Rango 3, la magnitud de la impedancia de vehículos depende de la probabilidad de que los vehículos que giran a la izquierda en calles principales estén esperando una brecha aceptable al mismo tiempo que los vehículos de Rango 3. Una mayor probabilidad de que los vehículos que giran a la izquierda en calles principales estén esperando una brecha aceptable al mismo tiempo que los vehículos de Rango 3 es mayor. Una mayor probabilidad de que se produzca esta situación significa mayores

efectos de reducción de la capacidad del tráfico de giro a la izquierda de la calle principal en todos los movimientos de Rango 3.

La capacidad de movimiento  $c_{m,k}$  para todos los movimientos de rango 3 se determina calculando primero un factor de ajuste de capacidad que tenga en cuenta los efectos de obstaculización de los movimientos de rango superior. El factor de ajuste de capacidad se denota por  $f_k$  para todos los movimientos  $k$  y para todos los movimientos de rango 3 y viene dado por la Ecuación 64:

$$f_k = \prod_i p_{0,j} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 64}$$

Donde:

$P_{0,j}$  = probabilidad de que el movimiento  $j$  de rango 2 en conflicto funcione en un estado libre de colas

$K$  = Movimientos de rango 3.

La capacidad de movimiento para los movimientos de calles menores de Rango 3 se calcula con la Ecuación 65, donde  $f_k$  es el factor de ajuste de capacidad que toma en cuenta los efectos de impedimento de los movimientos de mayor rango calculados de acuerdo a la Ecuación 64

$$c_{m,k} = (c_{p,k})f_k \quad \text{Ecuación 65}$$

#### ***Paso 8b: Capacidad de Rank3 para movimientos de dos fases***

Si el movimiento de rango 3 es un movimiento de dos etapas, el procedimiento para calcular la capacidad de movimiento total para el movimiento del sujeto considerando el proceso de aceptación de brecha de dos etapas es el siguiente. El factor de ajuste  $a$  y la variable intermedia  $y$  se calculan con la Ecuación 66 y Ecuación 67, respectivamente.

$$a = 1 - 0.32e^{-1.3\sqrt{n_m}} \quad \text{para } n_m > 0 \quad \text{Ecuación 66}$$

$$y = \frac{c_I - c_{m,x}}{c_n - v_L - c_{m,x}} \quad \text{Ecuación 67}$$

Donde:

$n_m$  = número de espacios de almacenamiento en la mediana

$c_I$  = capacidad de movimiento para el proceso de la Fase I (veh/h)

$c_{II}$  = capacidad de movimiento para el proceso de la Fase II (veh/h)

$v_L$  = flujo principal de giro a la izquierda o en U, ya sea  $v_1 + v_1U$  o  $v_4 + v_4U$  (veh/h)

$c_{m,x}$  = capacidad del movimiento en cuestión, considerando el flujo total conflictivo para ambas etapas de un proceso de aceptación de brechas en dos etapas (a partir de la etapa 8a).

La capacidad total  $c_T$  para el movimiento en cuestión, teniendo en cuenta el proceso de aceptación de brechas en dos etapas, se calcula utilizando las Ecuación 68 y Ecuación 69 e incorporando los factores de ajuste derivados de las Ecuación 66 y Ecuación 67.

Para  $y \neq 1$

$$c_T = \frac{a}{y^{n_m} - 1} [y(y^{n_m} - 1)(c_{II} - v_L) + (y - 1)c_{m,x}] \quad \text{Ecuación 68}$$

Para  $y = 1$

$$c_T = \frac{a}{n_m + 1} [n_m(c_{II} - v_L) + c_{m,x}] \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 69}$$

### 3.6.12. Paso 9: Calcular capacidades de movimiento para movimientos de rango 4

Los movimientos de rango 4 sólo se producen en intersecciones de cuatro tramos. Los movimientos de rango 4 (es decir, sólo los giros a la izquierda en calles secundarias en una intersección de cuatro tramos) pueden verse obstaculizados por todos los movimientos de rango superior (rangos 1, 2 y 3).

#### ***Paso 9a: Clasificación 4 de la capacidad para movimientos de una etapa***

La probabilidad de que los movimientos de tráfico mejor clasificados funcionen sin colas es fundamental para determinar sus efectos globales de obstaculización sobre el movimiento de giro a la izquierda de la calle secundaria. Al mismo tiempo, debe reconocerse que no todas estas probabilidades son independientes entre sí. En concreto, las colas en el movimiento de giro a la izquierda de la calle principal afectan a la probabilidad de un estado sin colas en el movimiento de cruce de la calle secundaria. Si

se aplica el producto simple de estas dos probabilidades, es probable que se sobrestimen los efectos de obstaculización en el tráfico de giro a la izquierda de la calle secundaria que gira a la izquierda.

El Figura 54 puede utilizarse para ajustar la sobreestimación causada por la dependencia estadística entre las colas de los flujos de los rangos 2 y 3. La representación matemática de esta curva se determina con la Ecuación 70.

$$p' = 0.65p'' - \frac{p''}{p'' + 3} + 0.6\sqrt{p''} \quad \text{Ecuación 70}$$

Donde:

$p'$  = ajuste del factor de impedancia de la calle principal a la izquierda y de la calle secundaria a través factor de ajuste

$p'' = (p_{o,j})(p_{o,k})$

$p_{o,j}$  = probabilidad de un estado sin colas para el tráfico que gira a la izquierda en la calle principal en conflicto

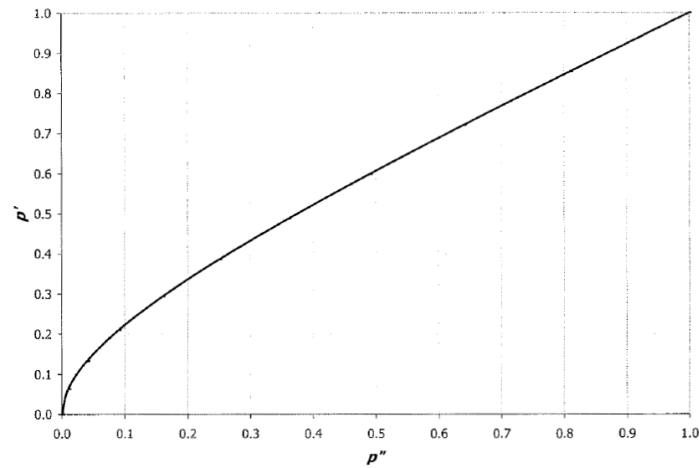
$p_{o,k}$  = probabilidad de un estado sin colas para el tráfico de cruce de calles secundarias en conflicto en conflicto.

Al determinar  $p'$  para el Movimiento de Rango 4 -7 en la Ecuación 71.

$p'' = (P_{0,1}) (P_{0,4}) (P_{0,11})$ - Del mismo modo, al determinar  $p'$  para el rango 4 Movimiento 10.

$p'' = (P_{0,1}) (P_{0,4}) (P_{0,8})$ .

**Figura 54 .** Ajuste de los factores de impedancia para el movimiento principal de giro a la izquierda y el movimiento de cruce menor



**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)

La capacidad de movimiento  $c_{m,i}$  para todos los movimientos de rango 4 se determina calculando primero un factor de ajuste de capacidad que tenga en cuenta los efectos de obstaculización de los movimientos de rango superior. El factor de ajuste de capacidad para el movimiento de giro a la izquierda en calles secundarias de rango 4 puede calcularse con la Ecuación 71:

$$f_{p,l} = (p')(p_{o,j}) \quad \text{Ecuación 71}$$

Donde:

$l$  = movimiento de giro a la izquierda en calles secundarias de rango 4 (movimientos 7 y 10 en el Figura 34)

$j$  = movimiento conflictivo de giro a la derecha en calle menor de Rango 2 (Movimientos 9 y 12 en el Ecuación 71).

Por último, la capacidad de movimiento para los movimientos de giro a la izquierda en calles secundarias de rango 4 se determina con la Ecuación 72, donde  $f_{p,l}$  el factor de ajuste de capacidad que tiene en cuenta los efectos de obstaculización de los movimientos de rango superior.

$$c_{m,l} = (c_{p,l})f_{p,l} \quad \text{Ecuación 72}$$

### **Paso 9b: Rango 4 Capacidad para Movimientos de Dos Etapas**

El procedimiento para calcular la capacidad de movimiento total para el movimiento del sujeto considerando el proceso de aceptación de brechas en dos etapas es el siguiente: Un factor de ajuste  $a$  y una variable intermedia  $y$  se calculan con la Ecuación 73 y la Ecuación 74, respectivamente.

$$a = 1 - 0.32e^{-1.3\sqrt{n_m}} \text{ para } n_m > 0 \quad \text{Ecuación 73}$$

$$y = \frac{c_I - c_{m,x}}{c_{II} - v_L - c_{m,x}} \quad \text{Ecuación 74}$$

Donde:

$n_m$  = número de espacios de almacenamiento en la mediana

$c_I$  = capacidad de movimiento para el proceso de la Fase I (veh/h)

$c_{II}$  = capacidad de movimiento para el proceso de la fase II (veh/h)

$v_L$  = flujo principal de giro a la izquierda o en U,  $v_1 + v_{1u}$  o  $v_4 + v_{4U}$  (veh/h)

$c_{m,x}$  = capacidad de movimiento del sujeto, incluido el caudal conflictivo total para ambas etapas de un proceso de aceptación de brechas en dos etapas (a partir del paso 9a).

La capacidad total  $c_T$  para el movimiento en cuestión, considerando el proceso de aceptación de brechas en dos etapas, se calcula utilizando la Ecuación 75 y Ecuación 76 e incorporando los factores de ajuste calculados en la Ecuación 73 y Ecuación 74.

Para  $y \neq 1$

$$c_T = \frac{a}{y^{n_m+1} - 1} [y(y^{n_m} - 1)(c_{II} - v_L) + (y - 1)c_{m,x}] \quad \text{Ecuación 75}$$

Para  $y = 1$

$$c_T = \frac{a}{n_m + 1} [n_m(c_{II} - v_L) + c_{m,x}] \quad \text{Ecuación 76}$$

### **3.6.13. Paso 10: Ajustes finales de capacidad**

#### **Paso 10a: Capacidad de Carriles Compartidos en Aproximaciones a Calles Menores**

Cuando varios movimientos comparten el mismo carril y no pueden detenerse uno al lado del otro en la línea de detención, se utiliza la Ecuación 77 para calcular la capacidad de carril compartido:

$$c_{SH} = \frac{\sum_y v_y}{\sum_y \left( \frac{v_y}{c_{m,x}} \right)} \quad \text{Ecuación 77}$$

Donde

$c_{SH}$  = capacidad del carril compartido (veh/h)

$v_y$  = caudal del movimiento y en el carril compartido en cuestión (veh/h)

$c_{m,x}$  = capacidad de movimiento del movimiento y en el carril compartido en cuestión (veh/h)

***Paso 10b: Calcular los Efectos del Carril de Calle Menor Acampanado***

Para estimar la capacidad de un carril de giro a la derecha ensanchado (como en la Figura 40), primero se debe calcular la longitud promedio de la cola para cada movimiento que comparte el carril derecho en la aproximación a la calle menor con la Ecuación 78. Este cálculo asume que el movimiento de giro a la derecha opera en un carril y que el otro tráfico en el carril derecho (aguas arriba de la aproximación a la calle menor) opera en un carril. Este cálculo asume que el movimiento de giro a la derecha opera en un carril y que el resto del tráfico en el carril derecho (aguas arriba del ensanchamiento) opera en otro carril separado.

$$Q_{sep} = \frac{d_{sep} v_{sep}}{3600} \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 78}$$

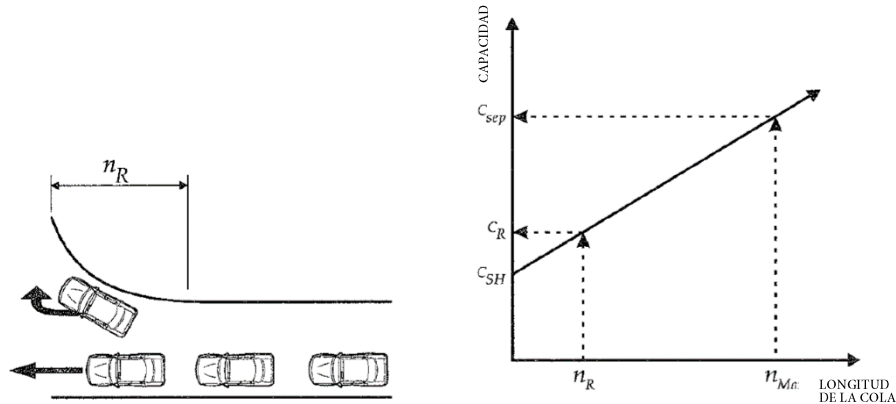
Donde:

$Q_{sep}$  = longitud media de la cola para el movimiento considerado como carril separado (veh)

$d_{sep}$  = retardo de control para el movimiento considerado como un carril separado (como descrito en la etapa II)

$v_{sep}$  = caudal del movimiento (veh/h)

**Figura 55.** Capacidad de un carril ensanchado de aproximación



**Fuente:** Manual de Capacidad de Carreteras (HCM2010)

Luego, la longitud requerida del área de almacenamiento para que la aproximación opere efectivamente como carriles separados se calcula con la Ecuación 79. Este es el valor máximo de las longitudes de cola calculadas para cada movimiento separado más un vehículo. Este es el valor máximo de las longitudes de cola calculadas para cada movimiento separado más un vehículo.

$$n_{max} = \text{Max}_i [\text{round}(Q_{sep,i} + 1)] \quad \text{Ecuación 79}$$

Donde:

$Q_{sep,i}$  = longitud media de la cola para el movimiento  $i$  considerado como un carril separado

$\text{round}$  = operador de redondeo, que redondea la cantidad entre paréntesis al número entero más próximo

$n_{Max}$  = longitud del área de almacenamiento tal que la aproximación funcionaría como carriles separados.

Luego, la capacidad de una condición de carril separado  $C_{sep}$  debe ser calculada y se asume que es la capacidad del tráfico que gira a la derecha operando como un carril separado y la capacidad del otro tráfico en el carril derecho (aguas arriba de la antorcha) operando

como un carril separado. La capacidad de una condición de carril separado se calcula de acuerdo con la Ecuación 80, como se muestra a continuación:

$$c_{sep} = \text{Min} \left[ c_R \left( 1 + \frac{v_{L+TH}}{v_R} \right), c_{L+TH} \left( 1 + \frac{v_R}{v_{L+TH}} \right) \right] \quad (\text{veh/h}) \quad \text{Ecuación 80}$$

Donde:

$c_{sep}$  = suma de las capacidades del tráfico que gira a la derecha operando como carril separado y la capacidad del resto del tráfico en el carril derecho (aguas arriba de la antorcha) operando como carril separado (veh/h)

$c_R$  = capacidad de giro a la derecha (veh/h)

$c_{L+TH}$  = capacidad de los movimientos de paso y giro a la izquierda como carril compartido (veh/h)

$v_R$  = caudal de giros a la derecha (veh/h)

$v_{L+TH}$  = flujo combinado de paso y giro a la izquierda (veh/h)

Por último, se calcula la capacidad del carril teniendo en cuenta el ensanchamiento.

La capacidad se interpola como se muestra en la Figura 40. Se establece una línea recta utilizando los valores de dos puntos: ( $c_{sep}$ ,  $n_{Max}$ ) y ( $c_{SH}$ , 0). El valor interpolado del valor real de la capacidad de la vía de antorcha  $c_R$  se calcula con la Ecuación 81.

$$c_R = \begin{cases} (c_{sep} - c_{SH}) \frac{n_R}{n_{Max}} + c_{SH} & \text{si } n_R \leq n_{Max} \\ c_{sep} & \text{si } n_R > n_{Max} \end{cases} \quad \text{Ecuación 81}$$

Donde:

$c_R$  = capacidad real del carril ensanchado (veh/h)

$c_{sep}$  = capacidad del carril si ambas áreas de almacenamiento fueran infinitamente largas (consulte la Ecuación 80) (veh/h)

$c_{SH}$  = capacidad del carril cuando todo el tráfico comparte un carril (veh/h)

$n_R$  = área de almacenamiento real para los vehículos que giran a la derecha, tal como se define en la Figura 40.

La capacidad real  $c_{act}$  debe ser mayor que  $c_{SH}$  pero menor o igual que  $c_{sep}$

#### **3.6.14. Paso 11: Calcular el retardo del control de movimiento**

La demora experimentada por un automovilista se compone de una serie de factores relacionados con el tipo de control, geometrías, tráfico e incidentes. En la metodología de intersecciones TWSC, sólo se cuantifica la parte de la demora atribuida al aspecto de control de PARADA de la intersección, denominada demora de control.

La demora de control incluye la demora debida a la desaceleración hasta detenerse en la parte posterior de la cola a partir de la velocidad de flujo libre, el tiempo de avance dentro de la cola, la demora por detención en la parte delantera de la cola y la demora debida a la aceleración de vuelta a la velocidad de flujo libre. Con respecto a las mediciones de campo, el retraso de control se define como el tiempo total que transcurre desde que un vehículo se detiene al final de la cola hasta que sale de la línea de parada. Este tiempo total transcurrido incluye el tiempo necesario para que el vehículo se desplace desde la posición del último en la cola hasta la posición del primero en la cola, incluida la deceleración de los vehículos desde la velocidad de flujo libre hasta la velocidad de los vehículos en la cola.

#### ***Paso 11a: Calcular la Demora de Control para los Movimientos de Rango 2 a Rango 4***

La demora de control promedio para cualquier movimiento menor en particular es una función de la capacidad de la aproximación y el grado de saturación. El modelo analítico utilizado para estimar la demora de control (Ecuación 82) asume que la demanda es menor que la capacidad para el período de análisis. Si el grado de saturación es superior a 0,9 aproximadamente, la demora media en el control se ve afectada significativamente por la duración del período de análisis. En la mayoría de los casos, el periodo de análisis recomendado es de 15 minutos. Si la demanda supera la capacidad durante un período de 15 minutos, los resultados de los retrasos calculados por el procedimiento pueden no ser exactos. En este caso, el periodo de análisis debe alargarse para incluir el periodo de sobresaturación.

$$d = \frac{3600}{c_{m,x}} + 900T \left[ \frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left( \frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left( \frac{3600}{c_{m,x}} \right) * \left( \frac{v_x}{c_{m,x}} \right)}{450T}} \right] + 5 \quad (\text{s/veh}) \quad \text{Ecuación 82}$$

Donde:

$d$  = demora de control (s/veh).

$v_x$  = caudal de movimiento  $x$  (veh/h).

$c_{m,x}$  = capacidad de movimiento  $x$  (veh/h).

$T$  = período de tiempo de análisis (equivale a 0,25 h para un período de 15 min) (h).

La constante 5 s/veh se incluye en la Ecuación 82 para tener en cuenta la desaceleración de los vehículos desde la velocidad de flujo libre a la velocidad de los vehículos en cola y la aceleración de los vehículos desde la línea de parada a la velocidad de flujo libre.

***Paso 11b: Calcular la demora de control para los movimientos de rango 1***

El efecto de un carril compartido en la aproximación a una calle principal donde los vehículos que giran a la izquierda pueden bloquear a los vehículos de rango 1 que pasan o giran a la derecha puede ser significativo. Si no hay un espacio exclusivo para girar a la izquierda en la calle principal, un vehículo que gira a la izquierda con demora puede bloquear a los vehículos de rango 1 que vienen detrás. Esto demorará no sólo a los vehículos de rango 1 sino también a los de rango inferior. Mientras los vehículos de rango 1 demorados se descargan de la cola formada detrás de un vehículo que gira a la izquierda, obstaculizan los movimientos conflictivos de rango inferior.

Las observaciones de campo han demostrado que este efecto de bloqueo suele ser muy pequeño, ya que la calle principal suele ofrecer espacio suficiente para que el vehículo de rango 1 bloqueado se cuele o esquive al vehículo que gira a la izquierda. Como mínimo, la incorporación de este efecto requiere la estimación de la proporción de vehículos de rango 1 bloqueados y el cálculo de la demora media de los vehículos que giran a la izquierda en las calles principales que bloquean a los vehículos de paso.

En el procedimiento más simple, la proporción de vehículos de rango 1 de la calle principal que no están bloqueados (es decir, en un estado sin colas) está dada por  $p^*_{0,j}$  en la Ecuación 61 ( $p^*_{0,j}$  debe ser sustituido por el factor de giro a la izquierda principal  $p_{0,j}$

en la Ecuación 61 al calcular la capacidad de los movimientos de rango inferior que entran en conflicto). Por lo tanto, la proporción de vehículos de rango 1 bloqueados es  $1-p_{0,j}^*$

La demora media para los vehículos del rango 1 se calcula con la Ecuación 83.

$$d_{Rango\ 1} = \begin{cases} \frac{(1 - p_{0,j}^*)d_{M,LT} \left(\frac{v_{i,1}}{N}\right)}{v_{i,1} + v_{i,2}} & N > 1 \\ (1 - p_{0,j}^*)d_{M,LT} & N = 1 \end{cases} \quad (\text{s/veh}) \quad \text{Ecuación 83}$$

donde:

$d_{Rango1}$  = demora a vehículos de rango 1 (s/veh)

$N$  = número de carriles de paso por sentido en la calle principal

$p_{0,j}^*$  = proporción de vehículos de rango 1 no bloqueados, según la Ecuación 61

$d_{M,LT}$  = demora para los vehículos que giran a la izquierda, según la Ecuación 82(s/veh)

$v_{i,1}$  = vehículos de paso por calle principal en carril compartido (veh/h)

$v_{i,2}$  = vehículos que giran en calles principales en carril compartido (veh/h)

En una vía de varios carriles, sólo los volúmenes de las calles principales en el carril que puede estar bloqueado deben usarse en el cálculo como  $v_{i,1}$  y  $v_a$ . En vías de varios carriles, si se supone que los vehículos de rango 1 bloqueados no evitan el bloqueo desplazándose a otros carriles de paso (una suposición razonable en condiciones de altos flujos de calles principales), entonces  $v_{i,1} = v_2/N$ . Debido a las características únicas de cada lugar, la decisión de tener en cuenta este efecto se deja en manos del analista

### 3.6.15. Paso 12: Calcular la demora de control de aproximación e intersección

La demora de control para todos los vehículos en una aproximación particular puede ser calculada como el promedio ponderado de las estimaciones de demora de control para cada movimiento en la aproximación. La Ecuación 84 se utiliza para el cálculo.

$$d_A = \frac{d_r v_r + d_t v_t + d_l v_l}{v_r + v_t + v_l} \quad (\text{s/veh}) \quad \text{Ecuación 84}$$

Donde:

$d_A$  = demora de control en la aproximación (s/veh)

$d_r, d_v, d_l$  = demora de control calculada para los movimientos de giro a la derecha, de paso y de giro a la izquierda, respectivamente (s/veh)

$v_r, v_v, v_l$  = volumen o caudal del tráfico de giro a la derecha, de paso y de giro a la izquierda en la en la aproximación (veh/h)

Del mismo modo, la demora en el control de la intersección puede calcularse con:

$$d_I = \frac{d_{A,1}v_{A,1} + d_{A,2}v_{A,2} + d_{A,3}v_{A,3} + d_{A,4}v_{A,4}}{v_{A,1} + v_{A,2} + v_{A,3} + v_{A,4}} \quad (\text{s/veh}) \quad \text{Ecuación 85}$$

Donde:

$d_{A,x}$  = demora de control en la aproximación x (s/veh)

$v_{A,x}$  = volumen o caudal en la aproximación x

Al aplicar la Ecuación 84 y la Ecuación 85, se asume que la demora para todos los movimientos de calles principales de Rango 1 es de 0 s/veh. La LOS no se define para una intersección total porque los movimientos de calles principales con 0 s de demora típicamente resultan en una demora promedio ponderada que es extremadamente baja. Como tal, los cálculos de demora total de control de intersección se usan típicamente sólo cuando se compara la demora de control entre diferentes tipos de control de tráfico, tales como control de PARE de dos vías versus control de PARE de todas las vías.

### 3.6.16. Paso 13: Calcular las longitudes de cola percentil 95

La longitud de la cola es una consideración importante en las intersecciones no señalizadas. Estudios teóricos y observaciones empíricas han demostrado que la distribución de probabilidad de longitud de colas para cualquier movimiento menor en una intersección no señalizada es una función de la capacidad del movimiento y el volumen de tránsito que se atiende durante el período de análisis. La Ecuación 86 puede usarse para estimar el percentil 95 de la longitud de la cola para cualquier movimiento menor en una intersección no señalizada durante el período pico de 15 minutos sobre la base de estos dos parámetros como sigue:

$$Q_{95} \approx 900T \left[ \frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left( \frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left( \frac{3600}{c_{m,x}} \right) \left( \frac{v_x}{c_{m,x}} \right)}{150T}} \right] \left( \frac{3600}{c_{m,x}} \right) \quad (\text{veh}) \quad \text{Ecuación 86}$$

Donde:

$Q_{95}$  = cola percentil 95 (veh)

$V_x$  = caudal del movimiento x (veh/h)

$C_{m,x}$  = capacidad del movimiento x (veh/h)

T = periodo de análisis (0,25 h para un periodo de 15 minutos) (h)

La longitud media de la cola se calcula como el producto de la demora media por vehículo y el caudal del movimiento de interés. La demora total prevista (horas/vehículo por hora) es igual al número previsto de vehículos en la cola media; es decir, la demora total por hora y la cola media son numéricamente idénticas. Por ejemplo, cuatro vehículos hora por hora de demora pueden utilizarse indistintamente con una longitud media de la cola de cuatro vehículos durante la hora.

# **CAPÍTULO IV**

## **ANÁLISIS Y RESULTADOS**

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 4.1. Análisis de Resultados HCM 2010

Correlación metodología HCM 2010 modelo de microsimulación.

Después de emplear la metodología de HCM 2010 y microsimulación con el software PTV VISSIM23 para el análisis operacional de las intersecciones comprendidas por:

- Intersección Av. Circunvalación, Av. Colón.
- Intersección Av. Circunvalación, Calle Pando
- Intersección Av. Circunvalación, Marco Araoz y Ayoroa.
- Intersección Av. Circunvalación, Av. San Bernardo.
- Intersección Av. Circunvalación, Av. Santa Cruz.
- Intersección Av. Circunvalación, Av. 4 de octubre y Santo Domingo
- Intersección Av. Circunvalación, Av. La Paz.
- Intersección Av. Circunvalación, Av. Gran Chaco y Julio Delio Echazú.
- Intersección Av. Circunvalación, Av. Gamoneda.
- Intersección Av. Circunvalación, Av. Monseñor Font
- Intersección Av. Circunvalación, Av. Romero

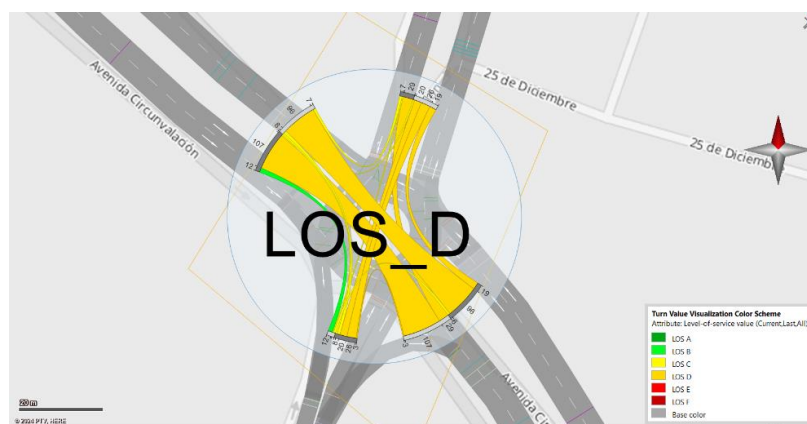
En el cual fueron realizados los análisis comparativos de los parámetros demoras por control (d), niveles de servicio (LOS) y Capacidades potenciales de movimiento ( $C_p$ ). Además, se cotejaron los resultados obtenidos con las mediciones directas tomadas en campo.

#### 4.1.1. Análisis Punto 1: Av. Circunvalación, Av. Colón

**Tabla 48.** Resumen Intersección Av. Circunvalación y Av. Colón (HCM2010)

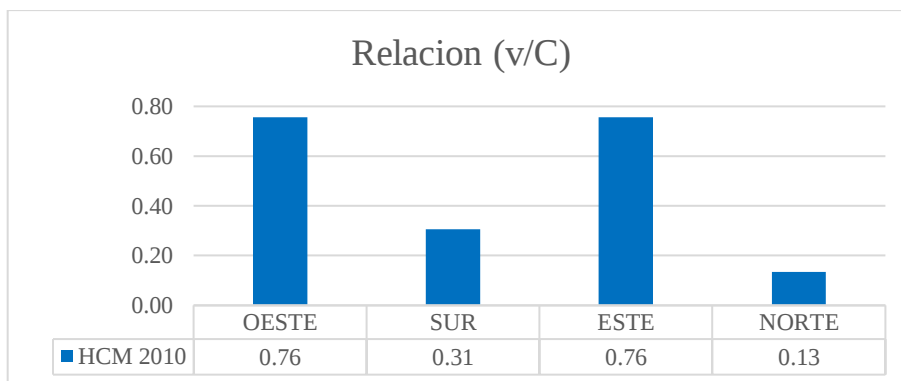
|          | CONFIGURACION |            |                  | HCM 2010      |                    |      |     |
|----------|---------------|------------|------------------|---------------|--------------------|------|-----|
|          | Maniobra      | Movimiento | Volumen<br>(veh) | Demora<br>(s) | Capacidad<br>(veh) | v/C  | LOS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 37               | 7.82          | 1288               | 0.76 | A   |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 59               | 7.85          | 1279               | 0.05 | A   |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 73               | 11.2          | 507                | 0.14 | B   |
|          | DF            | 8          | 445              | 13.06         | 425                | 1.05 | B   |
|          | GD            | 9          | 44               | 9.05          | 900                | 0.05 | A   |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 164              | 12.02         | 466                | 0.35 | B   |
|          | DF            | 11         | 32               | 11.5          | 433                | 0.07 | B   |
|          | GD            | 12         | 47               | 9.17          | 905                | 0.05 | A   |
|          | NB            | 7-8-9      | 243              | 27.90         | 581                | 0.42 | D   |
|          | SB            | 10-11-12   | 562              | 8.77          | 742                | 0.76 | A   |

**Figura 56.** Nivel de Servicio (LOS) PTV VISSIM Intersección Punto 1



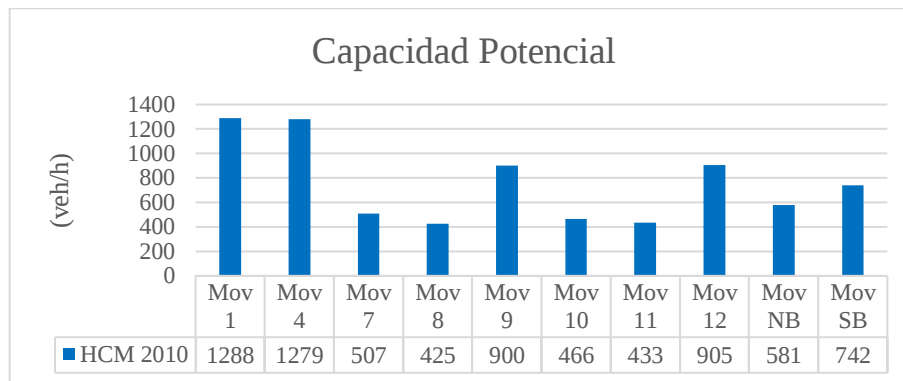
**Fuente:** Elaboración propia (PTV VISSIM)

**Figura 57.** Relación v/C HCM 2010 Punto 1



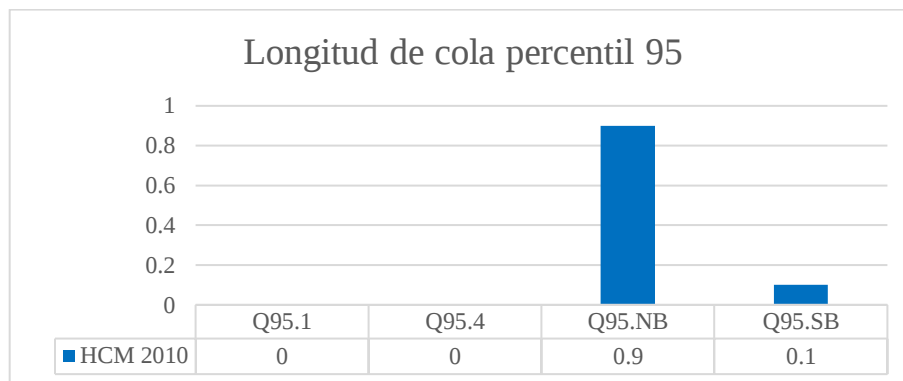
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 58.** Capacidad potencial HCM 2010 Punto 1



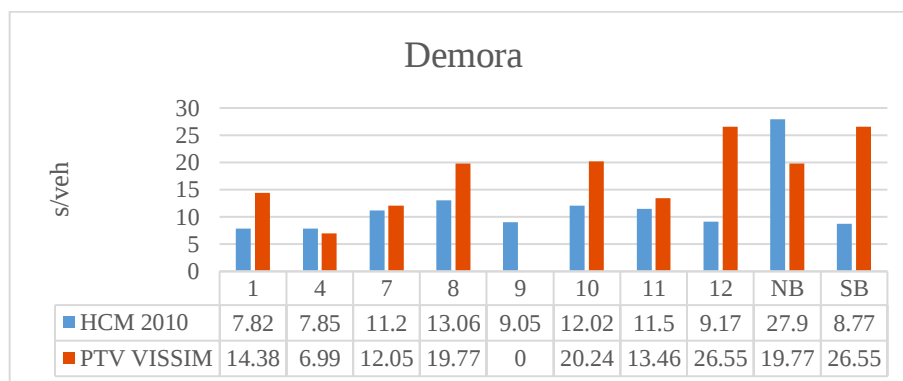
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 59.** Longitud de cola percentil 95 Punto 1



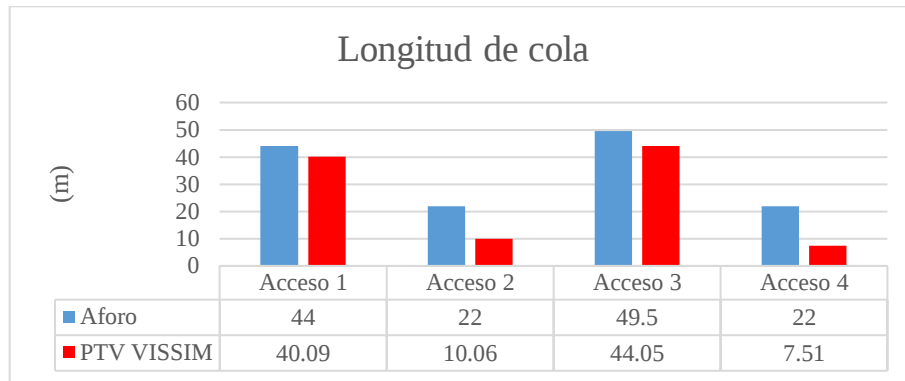
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 60.** Relación de la demora entre HCM 2010 y PTV VISSIM Punto 1



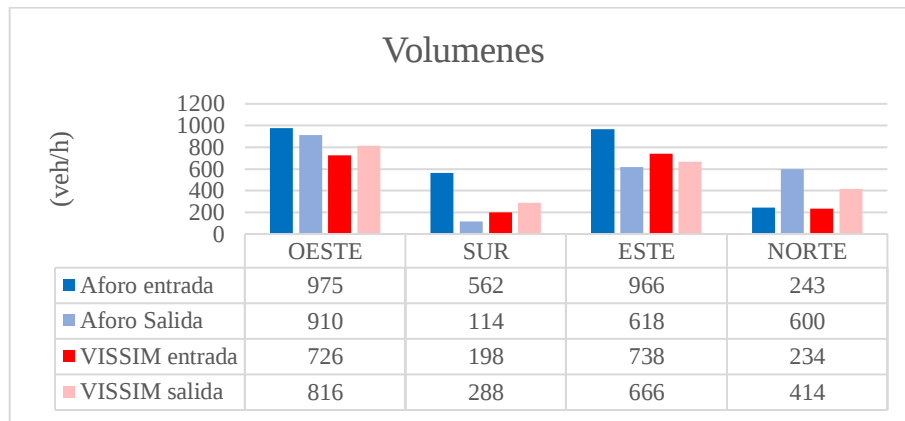
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 61.** Longitud de cola Punto 1



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 62.** Relación de Aforo de Campo y PTV VISSIM Punto 1



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 49.** Correlacion metodologia HCM2010-PTV VISSIM Punto1-Av. Colón

|          | CONFIGURACIÓN |            |           | HCM    |    | PTV VISSIM |    |
|----------|---------------|------------|-----------|--------|----|------------|----|
|          | Maniobras     | Movimiento | Vehículos | Demora | NS | Demora     | NS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 149       | 7.82   | A  | 14.38      | C  |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 236       | 7.85   | A  | 6.99       | C  |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 293       | 11.2   | B  | 12.05      | C  |
|          | DF            | 8          | 1780      | 13.06  | B  | 19.77      | D  |
|          | GD            | 9          | 175       | 9.05   | A  | 0          | A  |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 656       | 12.02  | B  | 20.24      | C  |
|          | DF            | 11         | 127       | 11.5   | B  | 13.46      | C  |
|          | GD            | 12         | 189       | 9.17   | A  | 26.55      | D  |
|          | NB            |            | 972       | 27.9   | D  |            |    |
|          | SB            |            | 2248      | 8.77   | A  |            |    |

HCM= D PTV VISSIM= D

Los resultados obtenidos a partir de la investigación de movimientos aplicado a la metodología del manual de capacidad de carreteras (HCM2010) en el caso de

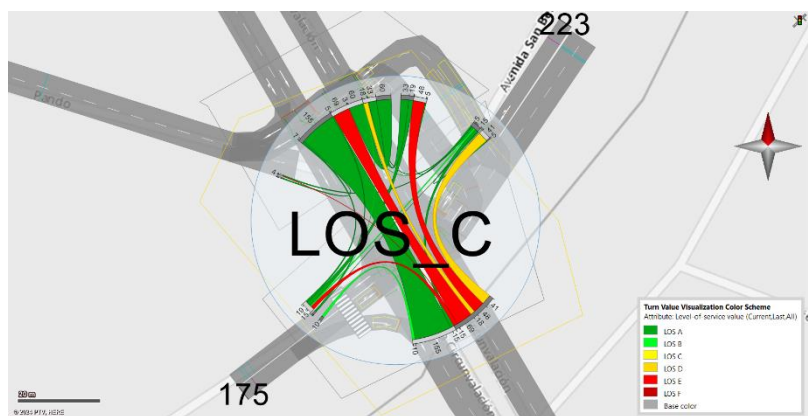
intersecciones de doble carril con control de PARE (TWSC), entrega una demora de 27.9 segundos en la aproximación en dirección Norte (Acceso 2) lo cual nos indica que el Nivel de Servicio para esta Intersección es D señalados en la Tabla 49, en la relación de volumen capacidad para los accesos Oeste (Acceso 1) y Este (Acceso 3) en la (Figura 57) son valores cercanos a 1.0 indicando que está próximo a superar la capacidad vehicular de la vía, en cuanto al valor de la Capacidad Potencial de los movimientos 1 y 4 cuentan con capacidades potenciales de 1288 veh/h y 1279 veh/h respectivamente lo que nos indica que cuenta con volumen libre antes de la saturación ya que se considera (1800 veh/h para poblaciones de 250000 hab y 1500 veh/h en poblaciones menores a 250000 hab). Considerando los resultados de longitud de cola percentil para los movimientos 1,4 y aproximaciones Norte y Sur. Solo la aproximación en dirección Norte presenta un vehículo el 95% de tiempo demorado. Realizada la correlación de resultados de HCM 2010 y microsimulación mediante software PTV VISSIM. La simulación arroja un Nivel de Servicio D vs el Nivel de Servicio D de la HCM en comparativa de los niveles de servicio en la (Tabla 49) los movimientos (1,4,7,8,9,10,11,12) no se relaciona con resultados de la metodología HCM 2010. En cuanto a las demoras tenemos los movimientos 8 y aproximación NB difieren considerablemente en el tiempo que demora este completar la maniobra y el paso de la intersección. Seguido del análisis en la longitud de cola (Figura 61) con los valores determinamos por microsimulación estos son próximos. Para el Acceso 1 el valor medido en campo es de 44.00 m y el entregado por la simulación es de 40.09 m. en la relación de aforos de entrada y salida de campo y PTV VISSIM (Figura 62) estos valores son aproximados. Por el cual se llega a la conclusión que la metodología de TWSC de la HCM2010 no se ajustada a la realidad de nuestro entorno en el caso de un análisis operacional, más sin embargo que los resultados en general si entreguen mismos niveles de servicio para la intersección. donde la simulación proyecta de forma más justa la situación actual del Intersección Av. Circunvalación y Av. Colón.

#### 4.1.2. Análisis Punto 2-3: Av. Circunvalación, Calle Pando Marco Araoz

**Tabla 50.** Resumen Intersección Av. C/Pando -Marcos Araoz y Ayoroa (HCM2010)

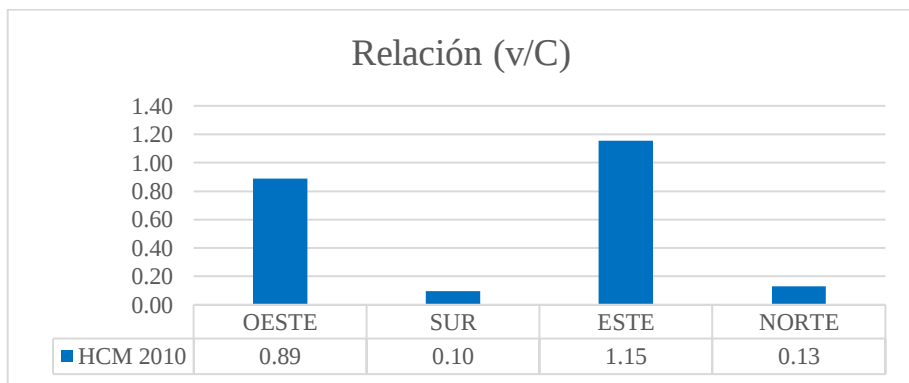
|          | CONFIGURACION |            |                  | HCM 2010      |                    |      |     |
|----------|---------------|------------|------------------|---------------|--------------------|------|-----|
|          | Maniobra      | Movimiento | Volumen<br>(veh) | Demora<br>(s) | Capacidad<br>(veh) | v/C  | LOS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 3                | 7.98          | 1209               | 0.89 | A   |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 39               | 7.8           | 1295               | 0.03 | A   |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 76               | 11.9          | 495                | 0.15 | B   |
|          | DF            | 8          | 10               | 12.53         | 407                | 0.02 | B   |
|          | GD            | 9          | 89               | 9.17          | 885                | 0.10 | A   |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 125              | 12.12         | 462                | 0.27 | B   |
|          | DF            | 11         | 39               | 12.59         | 411                | 0.09 | B   |
|          | GD            | 12         | 60               | 9.57          | 830                | 0.07 | A   |
|          | NB            | 7-8-9      | 223              | 10.66         | 670                | 0.33 | B   |
|          | SB            | 10-11-12   | 175              | 9.61          | 686                | 0.26 | A   |

**Figura 63.** Nivel de Servicio (LOS) PTV VISSIM Intersección Punto 2-3



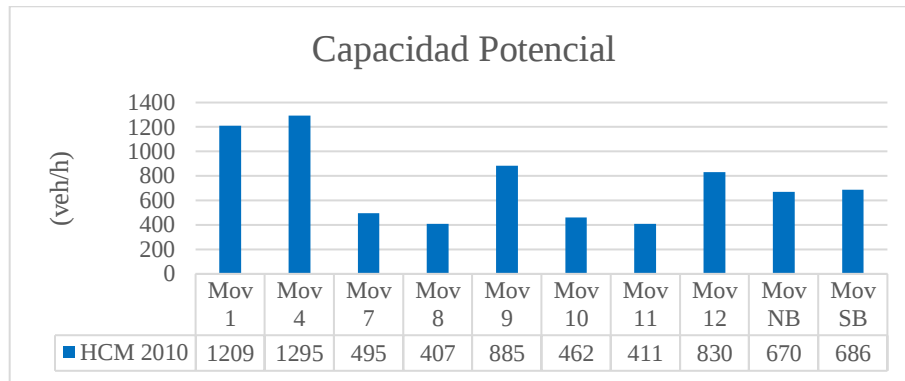
**Fuente:** Elaboración propia (PTV VISSIM)

**Figura 64.** Relación v/C HCM 2010 Punto 2-3



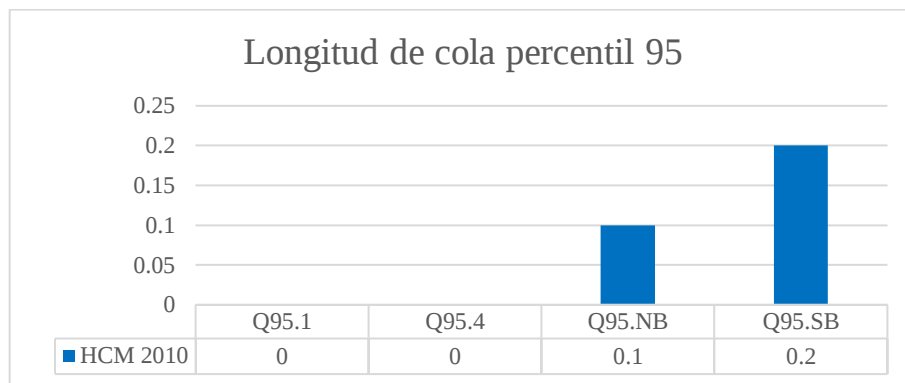
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 65.** Capacidad potencial HCM 2010 Punto 2-3



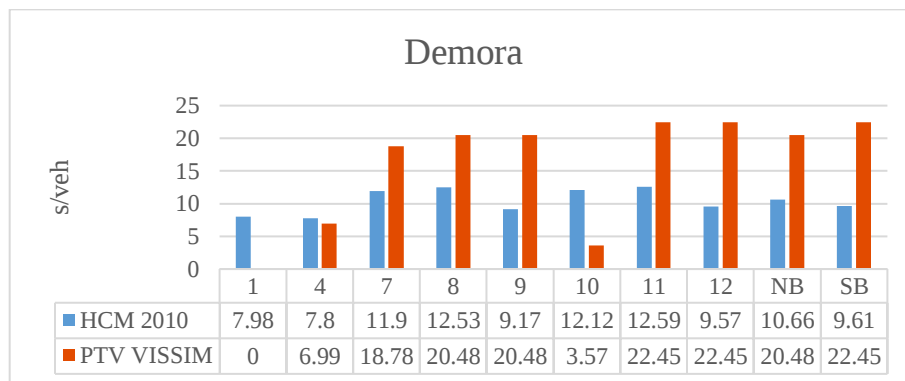
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 66.** Longitud de cola percentil 95 Punto 2-3



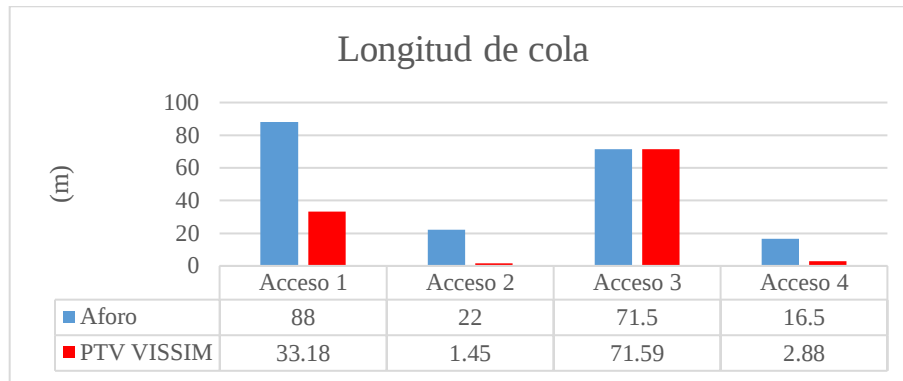
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 67.** Relación de la demora entre HCM 2010 y PTV VISSIM Punto 2-3



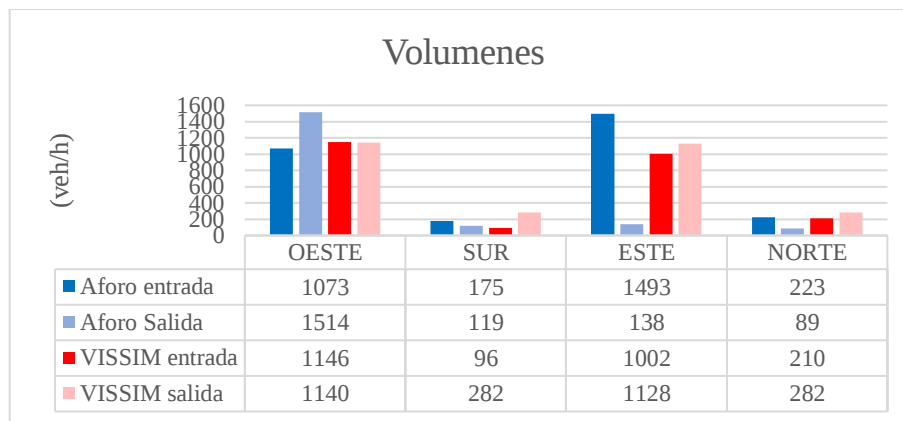
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 68.** Longitud de cola Punto 2-3



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 69.** Relación de Aforo de Campo y PTV VISSIM Punto 2-3



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 51.** Correlación metodología HCM2010-PTV VISSIM Punto2-C/Pando-Ayoroa

|          | CONFIGURACIÓN |            |           | HCM    |    | PTV VISSIM |    |
|----------|---------------|------------|-----------|--------|----|------------|----|
|          | Maniobras     | Movimiento | Vehículos | Demora | NS | Demora     | NS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 12        | 7.98   | A  | 0          | A  |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 156       | 7.8    | A  | 6.99       | E  |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 305       | 11.9   | B  | 18.78      | A  |
|          | DF            | 8          | 39        | 12.53  | B  | 20.48      | A  |
|          | GD            | 9          | 356       | 9.17   | A  | 20.48      | A  |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 499       | 12.12  | B  | 3.57       | A  |
|          | DF            | 11         | 155       | 12.59  | B  | 22.45      | B  |
|          | GD            | 12         | 238       | 9.57   | A  | 22.45      | B  |
|          | NB            |            | 892       | 10.66  | B  |            |    |
|          | SB            |            | 700       | 9.61   | A  |            |    |

HCM= B PTV VISSIM= E

Los resultados obtenidos a partir de la investigación de movimientos aplicando a la metodología del manual de carreteras (HCM 2010) el caso de intersecciones de doble

carril con control de PARE (TWSC), entrega una demora de 12.59 segundos para el movimiento 11 lo cual nos indica un Nivel de Servicio B señalado en la **Tabla 50**, en la relación de volumen capacidad en dirección este (Acceso 3) supera el valor de 1.0 en la (**Figura 64**) con un valor de 1.15 lo cual nos indica que la capacidad de la vía ha sido superada dando como un nivel de servicio F, con flujo forzado lo que lo vuelve intermitente para avanzar y frenar. En cuanto a la capacidad potencial los movimientos 1 y 4 cuentan con capacidades potenciales de 1209 veh/h y 1295 veh/h valores que se encuentran por debajo de los límites de capacidad por carril (1800 veh/h para poblaciones de 250000 hab y 1500 veh/h en poblaciones menores a 250000 hab). Considerando los resultados de la longitud de cola percentil 95 la aproximación en dirección Sur tiene con valor 0.2 veh lo cual es un valor mínimo para ser considerado como un vehículo que se encuentra detenido en la intersección. Realizada la correlación de los resultados en HCM 2010 y la microsimulación mediante el software PTV VISSIM. La simulación arroja un Nivel de Servicio E vs el Nivel de Servicio B desde la HCM en comparativa de los niveles de servicio de la (**Tabla 51**) los movimientos (1,4,9,12) tiene como resultado un Nivel de Servicio A, los movimientos restantes tienen un Nivel de Servicio B estos movimientos no coinciden entre la simulación. En cuanto a las demoras se tiene movimientos. Movimientos (1,4,9,10,12) ya la aproximación en dirección norte difiere de resultados obtenidos por el manual de capacidad de carreteras lo cual dificulta completar las maniobras de giro y paso de la intersección. Seguido del análisis en la longitud de cola (**Figura 66**) con valores de campo vs los obtenidos de la microsimulación estos son consistentes y próximos. En la relación de aforos de entrada y salida de campo vs PTV VISSIM (**Figura 69**) los valores son aproximados. Por lo cual se llega a la conclusión de que la metodología de TWSC del manual de capacidad de carreteras (HCM2010) no se ajusta la realidad de nuestro entorno y entrega como resultados Niveles de Servicio por debajo al que se presenta en campo, en el caso de un análisis operacional donde la simulación proyecta de forma más ajustada la situación actual de la intersección.

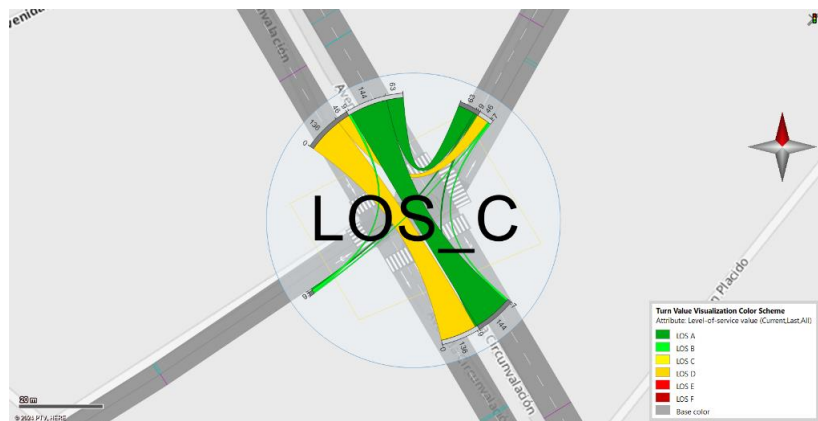
#### 4.1.3. Análisis Punto 4: Av. Circunvalación, Av. San Bernardo.

**Tabla 52.** Resumen Intersección Circunvalación, Av. San Bernardo (HCM2010)

|          | CONFIGURACION |            |                  | HCM 2010      |                    |      |     |
|----------|---------------|------------|------------------|---------------|--------------------|------|-----|
|          | Maniobra      | Movimiento | Volumen<br>(veh) | Demora<br>(s) | Capacidad<br>(veh) | v/C  | LOS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 364              | 7.99          | 1295               | 1.07 | A   |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 1                | 7.8           | 1284               | 0.00 | A   |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 86               | 14.06         | 387                | 0.22 | B   |
|          | DF            | 8          | 58               | 15.72         | 344                | 0.17 | C   |
|          | GD            | 9          | 7                | 9.21          | 857                | 0.01 | A   |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 91               | 14.97         | 387                | 0.24 | B   |
|          | DF            | 11         | 3                | 15.09         | 346                | 0.01 | C   |
|          | GD            | 12         | 345              | 9.28          | 865                | 0.40 | A   |
|          | NB            | 7-8-9      | 440              | 49.49         | 401                | 1.10 | E   |
|          | SB            | 10-11-12   | 151              | 21.60         | 496                | 0.30 | C   |

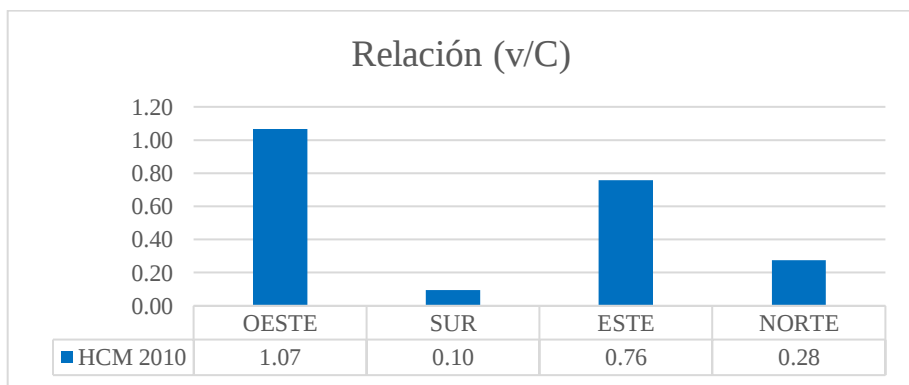
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 70.** Nivel de Servicio (LOS) PTV VISSIM Intersección Punto 4



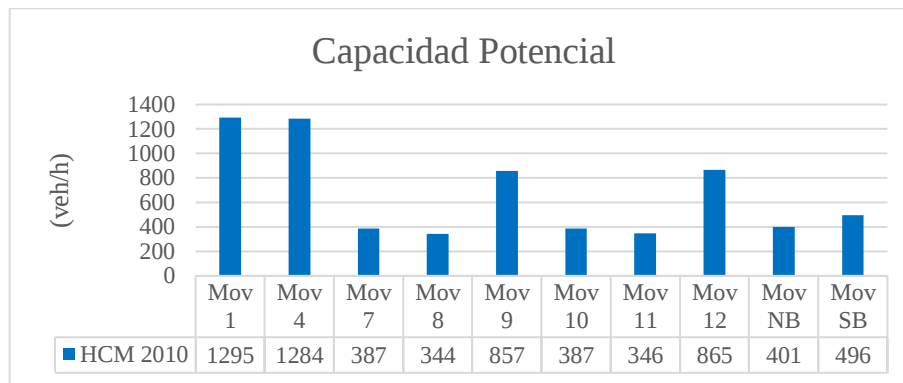
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 71.** Relación v/C HCM 2010 Punto 4



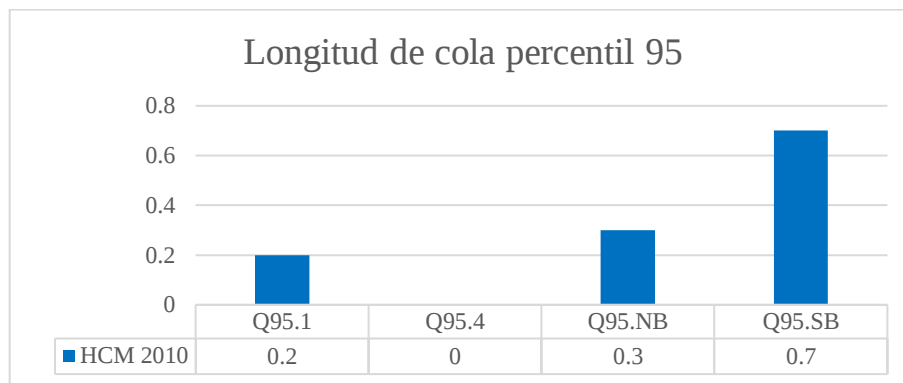
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 72. Capacidad potencial HCM 2010 Punto 4**



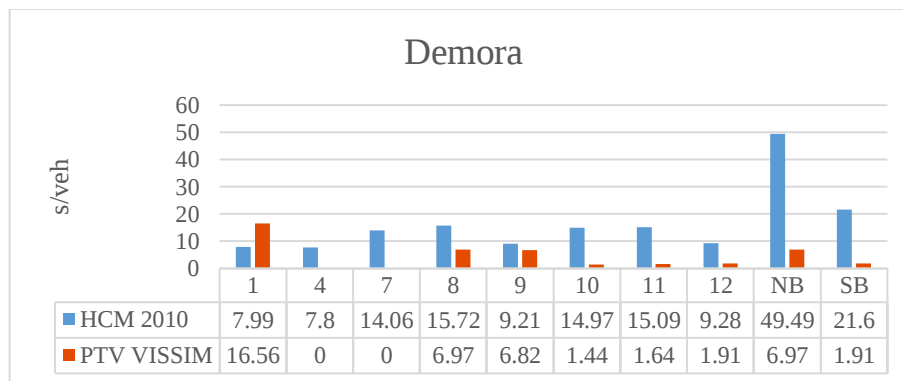
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 73. Longitud de cola percentil 95 Punto 4**



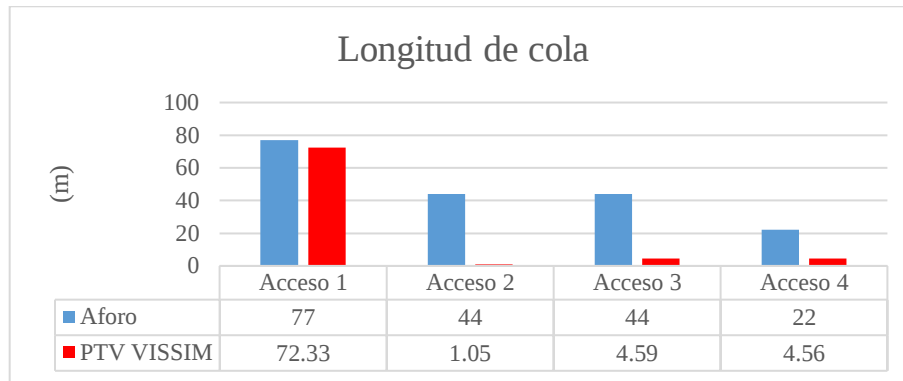
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 74. Relación de la demora entre HCM 2010 y PTC VISSIM Punto 4**



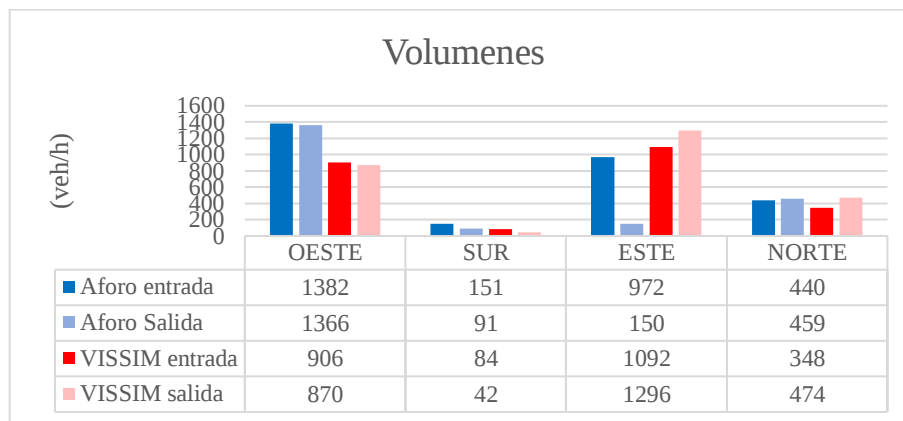
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 75. Longitud de cola Punto 4**



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 76. Relación de Aforo de Campo y PTV VISSIM Punto 4**



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 53. Correlación metodología HCM2010-PTV VISSIM Punto 4-Av. San Bernardo**

|          | CONFIGURACIÓN |            |           | HCM    |    | PTV VISSIM  |    |
|----------|---------------|------------|-----------|--------|----|-------------|----|
|          | Maniobras     | Movimiento | Vehículos | Demora | NS | Demora      | NS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 1456      | 7.99   | A  | 16.56       | D  |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 4         | 7.8    | A  | 0           | A  |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 344       | 14.06  | B  | 0           | A  |
|          | DF            | 8          | 232       | 15.72  | C  | 6.97        | B  |
|          | GD            | 9          | 28        | 9.21   | A  | 6.82        | B  |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 365       | 14.97  | B  | 1.44        | A  |
|          | DF            | 11         | 13        | 15.09  | C  | 1.64        | A  |
|          | GD            | 12         | 1381      | 9.28   | A  | 1.91        | A  |
|          | NB            |            | 1760      | 49.49  | E  |             |    |
|          | SB            |            | 604       | 21.6   | C  |             |    |
|          |               |            |           | HCM=   | E  | PTV VISSIM= | D  |

Los resultados obtenidos a partir de la investigación de movimientos aplicado a la metodología del manual de capacidad de carreteras (HCM 210) en el caso de intersección de doble carril con control de PARE (TWSC). Entregó una demora de 49.49 segundos para la aproximación en dirección Norte lo cual indica un Nivel de Servicio E señalado en la **Tabla 52**. En relación del volumen capacidad en dirección oeste (Acceso 1) supera el valor de 1.0 en la **Figura 71** con un valor de 1.07 lo cual nos indica que la capacidad de la vía ha sido superada dando como resultado un Nivel de Servicio F con un flujo forzado. Lo cual lo convierte en intermitente para avanzar y frenar. En cuanto a las capacidades potenciales de los movimientos 1 y 4 cuentan con capacidades potenciales de 1295 veh/h y 1284 veh/h respectivamente los cuales se encuentran por debajo de los límites de capacidad por carril (1800 veh/h para poblaciones de 250000 hab y 1500 veh/h en poblaciones menores a 250000 hab). Considerando los resultados de la longitud de cola percentil 95 solo la aproximación en dirección Sur el resultado de 0.7 para la cola indica que se producir ocasionalmente una cola de un vehículo para la aproximación. Realizada la correlación de los resultados en el manual (HCM2010) y la microsimulación mediante software PTV VISSIM. La simulación entrega un Nivel de servicio D y el nivel de Servicio E del manual en la **Tabla 53**, los movimientos (8,9 y 12) comparten Nivel de servicio en los demás movimientos estos son distintos. En cuanto a las demoras se tiene a las aproximaciones en dirección Norte y Sur con valores distantes a los del manual de capacidades de carreteras. Seguido el análisis en la longitud de cola (**Figura 60**) con valores de campo y los obtenidos en la microsimulación estos son próximos. En la relación de aforo de entrada y salida en campo vs PTV VISSIM (**Figura 76**) los valores son aproximados. Por lo cual se llega a la conclusión de que la metodología de TWSC del manual de capacidad de carreteras (HCM2010) no se ajusta la realidad de nuestro entorno en el caso de un análisis operacional donde la simulación proyecta de forma más ajustada la situación actual de la intersección.

#### 4.1.4. Análisis Punto 5: Av. Circunvalación, Av. Santa Cruz.

**Tabla 54.** Resumen Intersección Calle Santa Cruz (HCM2010)

|          | CONFIGURACION |            |                  | HCM 2010      |                    |      |     |
|----------|---------------|------------|------------------|---------------|--------------------|------|-----|
|          | Maniobra      | Movimiento | Volumen<br>(veh) | Demora<br>(s) | Capacidad<br>(veh) | v/C  | LOS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 71               | 7.98          | 1224               | 1.18 | A   |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 147              | 8.05          | 1216               | 0.12 | A   |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 100              | 14.39         | 319                | 0.31 | B   |
|          | DF            | 8          | 271              | 16.63         | 263                | 1.03 | C   |
|          | GD            | 9          | 243              | 9.65          | 835                | 0.29 | A   |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 1                | 15.57         | 301                | 0.00 | C   |
|          | DF            | 11         | 2                | 14.77         | 257                | 0.01 | B   |
|          | GD            | 12         | 1                | 9.29          | 840                | 0.00 | A   |
|          | NB            | 7-8-9      | 4                | 15.77         | 490                | 0.01 | C   |
|          | SB            | 10-11-12   | 615              | 16.92         | 439                | 1.40 | C   |

\*HCM no considera necesario el cálculo de la demora para los movimientos 2,3,5,6 ya que estos solo forman parte de un punto de conflicto.

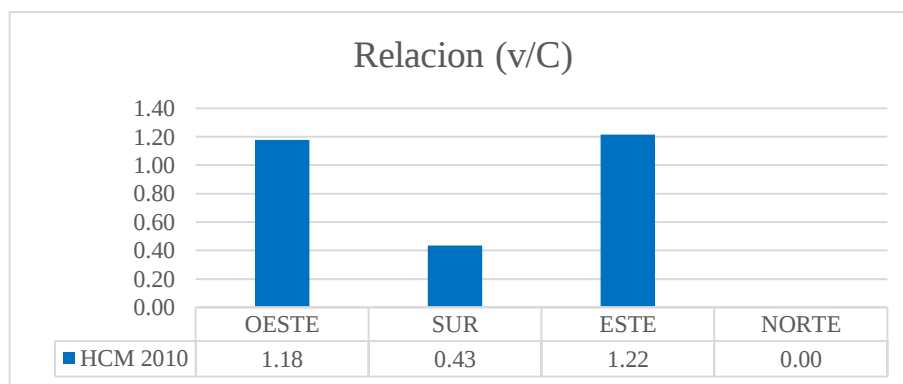
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 77.** Nivel de Servicio (LOS) PTV VISSIM Intersección Punto 5



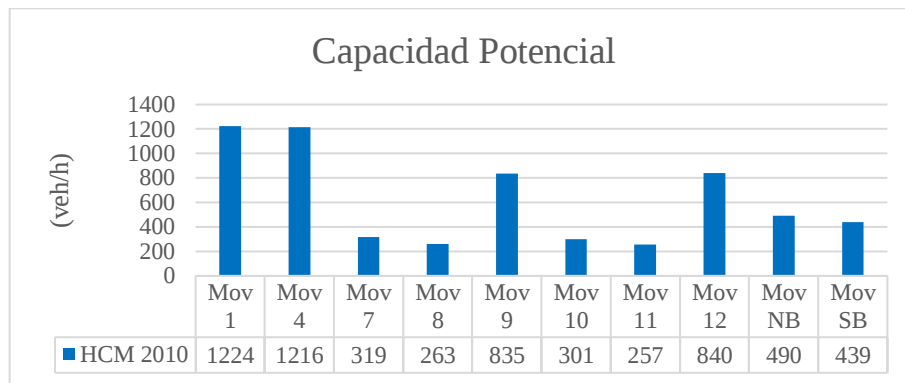
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 78.** Relación v/C HCM 2010 Punto 5



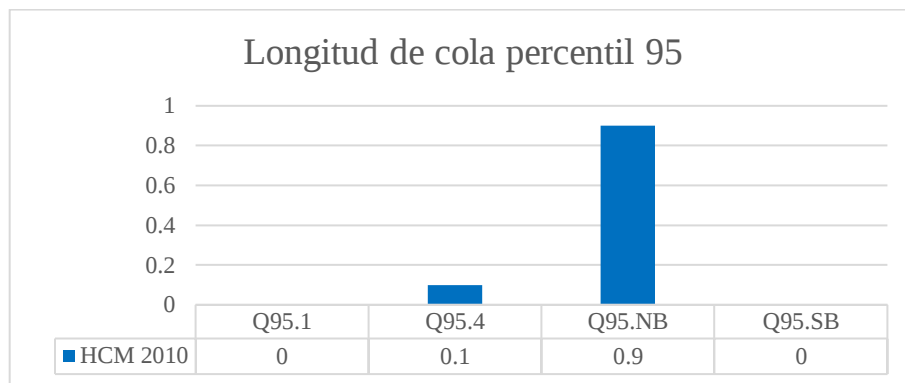
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 79.** Capacidad potencial HCM 2010 Punto 5



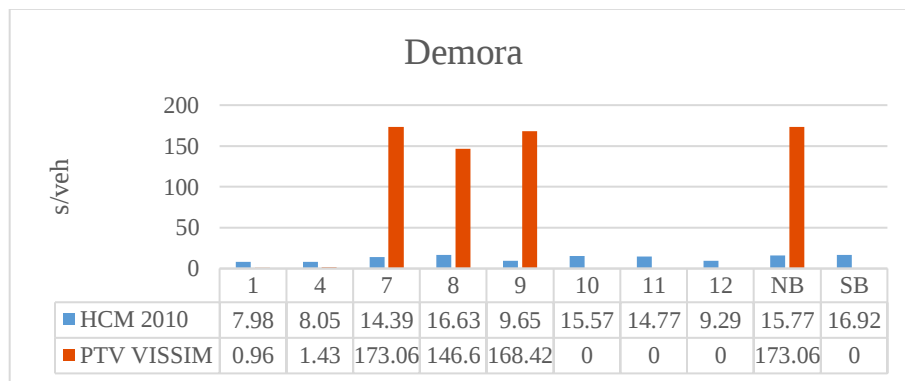
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 80.** Longitud de cola percentil 95 Punto 5



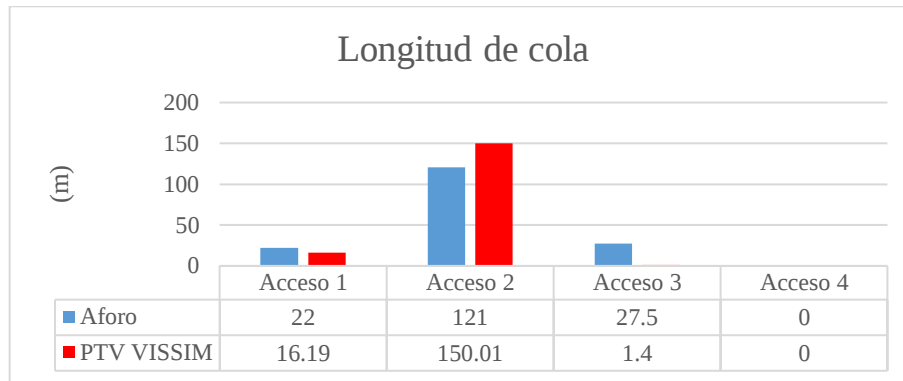
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 81.** Relación de la demora entre HCM 2010 y PTC VISSIM Punto 5



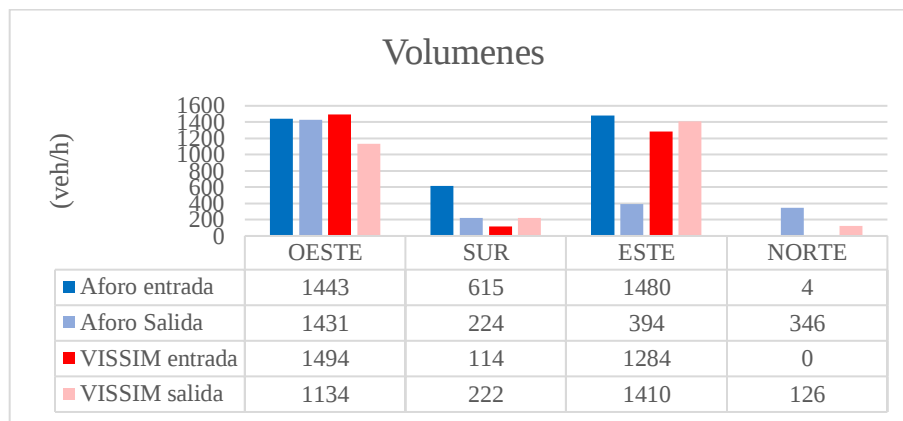
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 82.** Longitud de cola Punto 5



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 83.** Relación de Aforo de Campo y PTV VISSIM Punto 5



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 55.** Correlacion metodologia HCM2010-PTV VISSIM Punto5-Av. Santa Cruz

|          | CONFIGURACIÓN |            |           | HCM    |    | PTV VISSIM |    |
|----------|---------------|------------|-----------|--------|----|------------|----|
|          | Maniobras     | Movimiento | Vehículos | Demora | NS | Demora     | NS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 286       | 7.98   | A  | 0.96       | A  |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 589       | 8.05   | A  | 1.43       | A  |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 401       | 14.39  | B  | 173.06     | F  |
|          | DF            | 8          | 1085      | 16.63  | C  | 146.6      | F  |
|          | GD            | 9          | 973       | 9.65   | A  | 168.42     | F  |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 4         | 15.57  | C  | 0          | A  |
|          | DF            | 11         | 6         | 14.77  | B  | 0          | A  |
|          | GD            | 12         | 6         | 9.29   | A  | 0          | A  |
|          | NB            |            | 16        | 15.77  | C  |            |    |
|          | SB            |            | 2460      | 16.92  | C  |            |    |

HCM= C PTV VISSIM= C

Los resultados obtenidos a partir de la investigación de movimientos aplicados a la metodología del manual de capacidad de carreteras (HCM 2010) en el caso de la

intersección de la Calle Santa Cruz que es una intersección de doble carril con control de PARE (TWSC). Proporciona una demora de 16.92 segundos para la aproximación en dirección Sur lo cual nos indica un Nivel de Servicio C señalado en la tabla (**Tabla 54**). En relación del volumen/capacidad en dirección oeste y este (Acceso 1 y 3 respectivamente) superan el valor de 1.0 (**Figura 78**) con valores de 1.18 y 1.22 lo cual nos indica que la capacidad de la vía ha sido superada dando como resultado un Nivel de Servicio F con flujo forzado para ambos accesos, lo que lo convierte en intermitentes para avanzar y frenar. En cuanto a la capacidad potencial de los movimientos 1 y 4 cuentan con capacidades potenciales de 1224 y 1216 veh/h respectivamente los cuales se encuentran por debajo de los límites de capacidad por carril (1800 veh/h para poblaciones de 250000 hab y 1500 veh/h en poblaciones menores a 250000 hab). Considerando los resultados de la longitud de cola percentil 95 solo la aproximación la dirección Norte el resultado de 0.9 veh para la cola indica que se va a producir ocasionalmente una cola de un vehículo para la aproximación. Realizada la correlación de los resultados en el manual (HCM2010) y la microsimulación mediante software PTV VISSIM. La simulación entrega un Nivel de Servicio C y el Nivel de Servicio en el manual C en la **Tabla 55**, los movimientos (4 y 12) comparten Nivel de Servicio y en los demás movimientos estos son distintos. En cuanto a las demoras se tiene a la aproximación en dirección norte la demora alcanzada por el manual (HCM 2010) y la demora determinada por la simulación (PTV VISSIM) de 15.77 segundo a 113.92 segundos (Figura 67) donde el valor de la simulación es el más apropiado a los reflejados a la realidad. Seguido al análisis de la longitud de cola para los cuatro accesos, son valores ligeramente diferentes. En a la relación de aforos de entrada y salida en campo vs PTV VISSIM (**Figura 83**) los valores son aproximados. Por lo cual se llega a la conclusión de que la metodología de TWSC del manual de capacidad de carreteras (HCM2010) no se ajusta la realidad de nuestro entorno en el caso de un análisis operación donde la simulación proyecta de forma más ajustada la situación actual de la intersección.

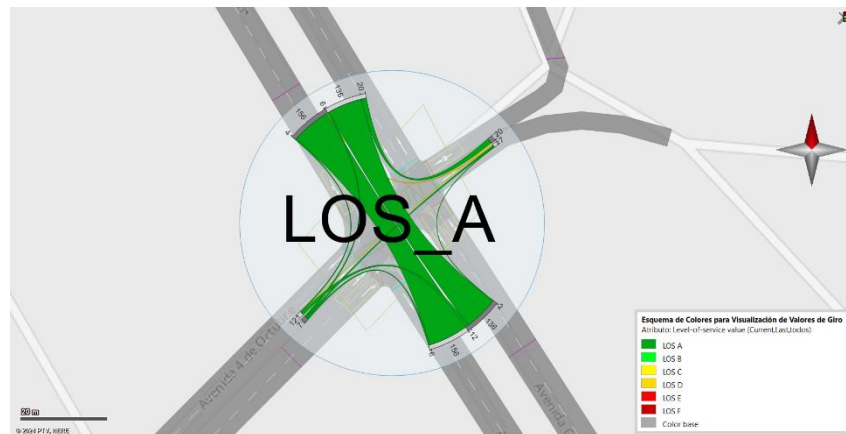
#### 4.1.5. Análisis Punto 6: Av. Circunvalación, Av. 4 de octubre y Santo Domingo

**Tabla 56.** Resumen Intersección Av. 4 de Octubre y Santo Domingo (HCM2010)

|          | CONFIGURACION |            |                  | HCM 2010      |                    |      |     |
|----------|---------------|------------|------------------|---------------|--------------------|------|-----|
|          | Maniobra      | Movimiento | Volumen<br>(veh) | Demora<br>(s) | Capacidad<br>(veh) | v/C  | LOS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 21               | 7.72          | 1329               | 0.79 | A   |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 110              | 7.87          | 1282               | 0.09 | A   |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 53               | 12.41         | 439                | 0.12 | B   |
|          | DF            | 8          | 75               | 13.1          | 377                | 0.20 | B   |
|          | GD            | 9          | 95               | 9.2           | 881                | 0.11 | A   |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 3                | 12.28         | 453                | 0.01 | B   |
|          | DF            | 11         | 22               | 12.98         | 375                | 0.06 | B   |
|          | GD            | 12         | 86               | 9.05          | 910                | 0.09 | A   |
|          | NB            | 7-8-9      | 112              | 13.51         | 594                | 0.19 | B   |
|          | SB            | 10-11-12   | 223              | 9.60          | 737                | 0.30 | A   |

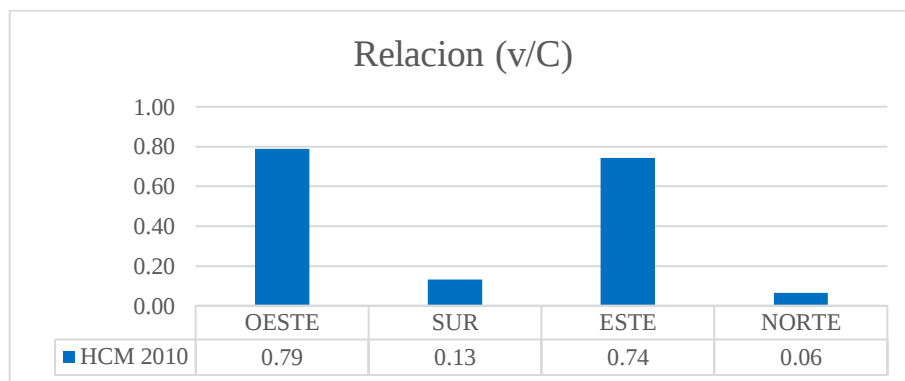
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 84.** Nivel de Servicio (LOS) PTV VISSIM Intersección Punto 6



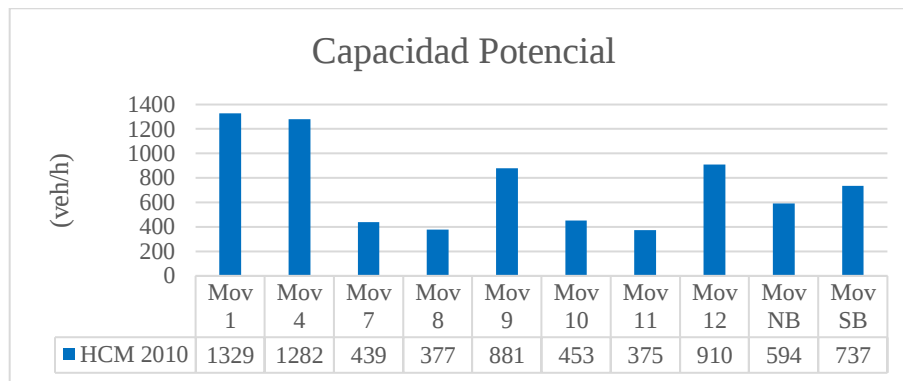
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 85.** Relación v/C HCM 2010 Punto 6



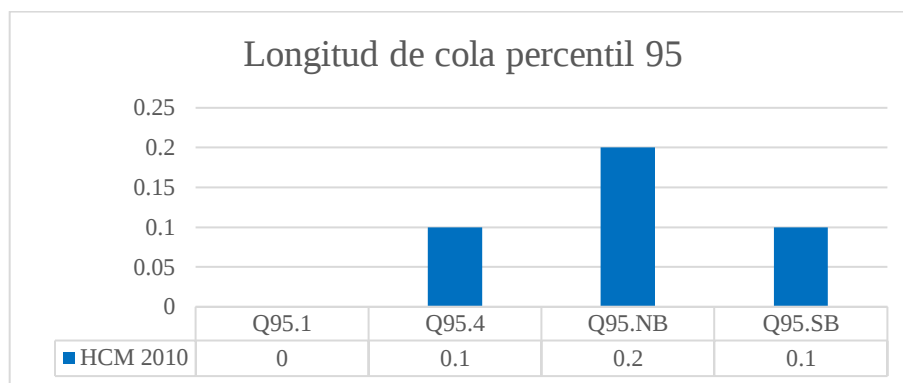
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 86.** Capacidad potencial HCM 2010 Punto 6



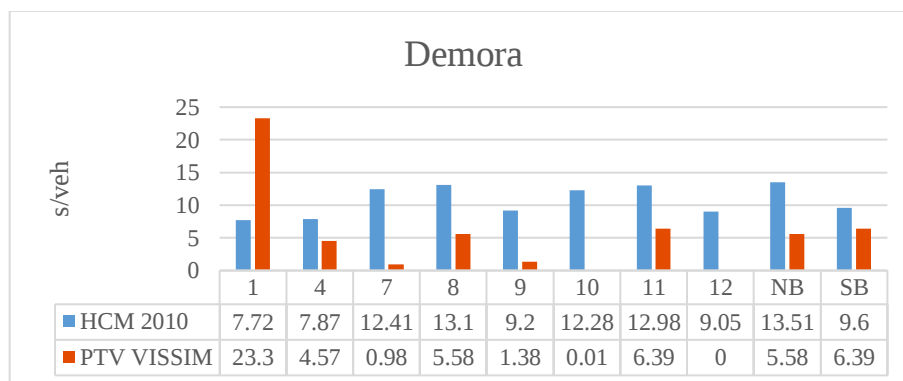
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 87.** Longitud de cola percentil 95 Punto 6



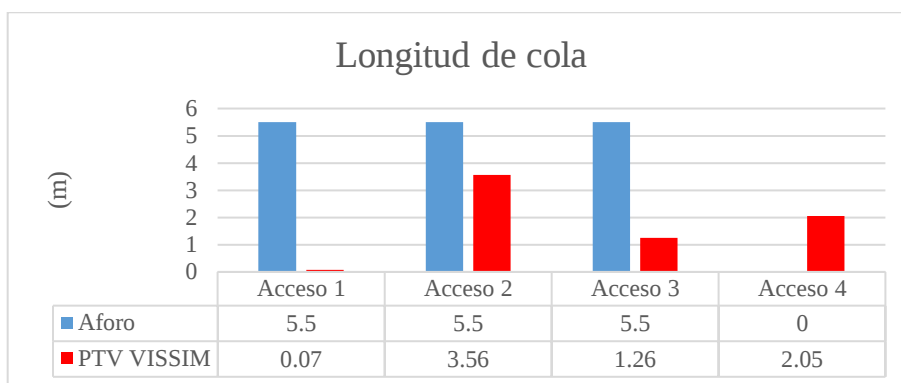
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 88.** Relación de la demora entre HCM 2010 y PTV VISSIM Punto 6



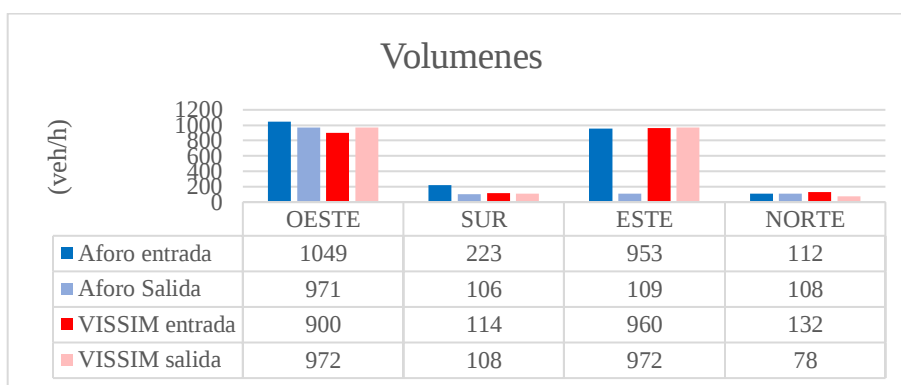
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 89.** Longitud de cola Punto 6



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 90.** Relación de Aforo de Campo y PTV VISSIM Punto 6



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 57.** Correlacion metodologia HCM2010-PTV VISSIM Punto 6- Av. 4 de Octubre (HCM2010)

|          | CONFIGURACIÓN |            |           | HCM    |    | PTV VISSIM |    |
|----------|---------------|------------|-----------|--------|----|------------|----|
|          | Maniobras     | Movimiento | Vehículos | Demora | NS | Demora     | NS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 86        | 7.72   | A  | 23.3       | D  |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 442       | 7.87   | A  | 4.57       | A  |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 212       | 12.41  | B  | 0.98       | A  |
|          | DF            | 8          | 301       | 13.1   | B  | 5.58       | A  |
|          | GD            | 9          | 379       | 9.2    | A  | 1.38       | A  |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 14        | 12.28  | B  | 0.01       | A  |
|          | DF            | 11         | 89        | 12.98  | B  | 6.39       | C  |
|          | GD            | 12         | 345       | 9.05   | A  | 0          | A  |
|          | NB            |            | 448       | 13.51  | B  |            |    |
|          | SB            |            | 892       | 9.6    | A  |            |    |

HCM= B PTV VISSIM= C

Los resultados obtenidos a partir de la investigación de movimientos, aplicados a la metodología del manual de capacidad de carreteras (HCM 2010) en el punto 6 de la Av. 4 de octubre y Santo Domingo que es una intersección de doble carril con control de PARE (TWSC). Proporciona una demora de 13.51 segundos para la aproximación en dirección Norte lo cual nos indica un Nivel de Servicio B señalado en la tabla (**Tabla 56**). En relación del volumen/capacidad en dirección oeste y este (Acceso 1 y Acceso 3 respectivamente) los valores de 0.79 y 0.74 son próximos al 1.0 el cual expresa que la vía inestable, este análisis se detalla en la capacidad potencial de movimientos 1 y 4 cuentan con capacidades de 1329 y 1282 veh/h respectivamente los cuales se encuentran por debajo de los límites de capacidad por carril (1800 veh/h para poblaciones de 250000 hab y 1500 veh/h en poblaciones menores a 250000 hab). Considerando los resultados de la longitud de cola percentil 95 la aproximación norte tiene como resultado 0.2 veh para a cola lo que indica que es inusual que se produzca cola. Realizada la correlación de los resultados mediante el manual de capacidades (HCM2010) y la microsimulación mediante software PTV VISSIM. La simulación hace notar un Nivel de Servicio A y el Nivel de Servicio en el manual en la (**Tabla 57**), los movimientos (4,9,12) comparten Nivel de Servicio entre la simulación y el manual, los movimientos faltantes (1,7,10 y 11) tienen niveles diferentes. En cuanto a la demora se tiene un margen de sobresaliente de demoras del movimiento 1 se tiene una demora de 12.28 segundos (**Figura 88**) de la simulación (PTV VISSIM). Seguido al análisis de la longitud de cola para los accesos 3 y 4 los valores discretos considerando que la longitud de cola mínima medirse toma como parámetro la longitud media de un vehículo es de 5.5 metros. En la relación de aforos de entrada y salida en campo vs PTV VISSIM (**Figura 89**) donde los resultados son aproximados a los aforados en campo.

#### 4.1.6. Análisis Punto 7: Av. Circunvalación, Av. La Paz.

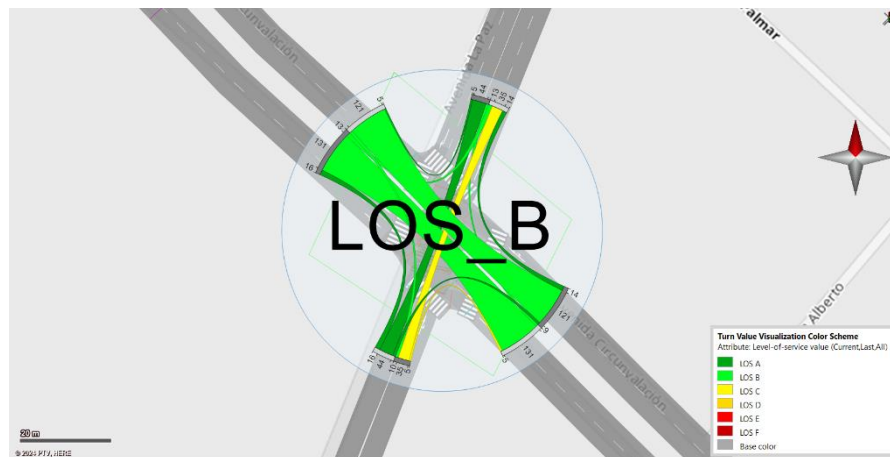
**Tabla 58.** Resumen Intersección Av. La Paz (HCM2010)

|          | CONFIGURACION |            |                  | HCM 2010      |                    |      |     |
|----------|---------------|------------|------------------|---------------|--------------------|------|-----|
|          | Maniobra      | Movimiento | Volumen<br>(veh) | Demora<br>(s) | Capacidad<br>(veh) | v/C  | LOS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 92               | 7.83          | 1295               | 0.81 | A   |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 95               | 7.89          | 1268               | 0.07 | A   |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 94               | 13.78         | 394                | 0.24 | B   |
|          | DF            | 8          | 279              | 15.02         | 347                | 0.80 | C   |
|          | GD            | 9          | 77               | 9.17          | 883                | 0.09 | A   |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 43               | 13.66         | 399                | 0.11 | B   |
|          | DF            | 11         | 237              | 14.78         | 345                | 0.69 | B   |
|          | GD            | 12         | 34               | 9.04          | 899                | 0.04 | A   |
|          | NB            | 7-8-9      | 313              | 24.29         | 471                | 0.66 | C   |
|          | SB            | 10-11-12   | 450              | 28.34         | 451                | 1.00 | D   |

\*HCM no considera necesario el cálculo de la demora para los movimientos 2,3,5,6 ya que estos solo forman parte de un punto de conflicto.

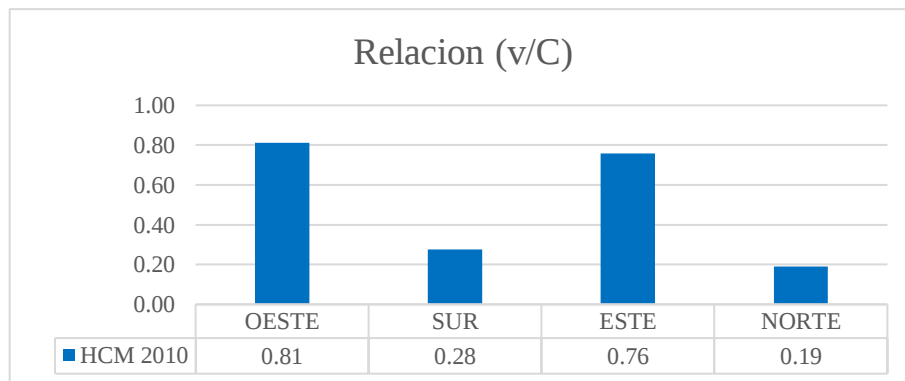
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 91.** Nivel de Servicio (LOS) PTV VISSIM Intersección Punto 7



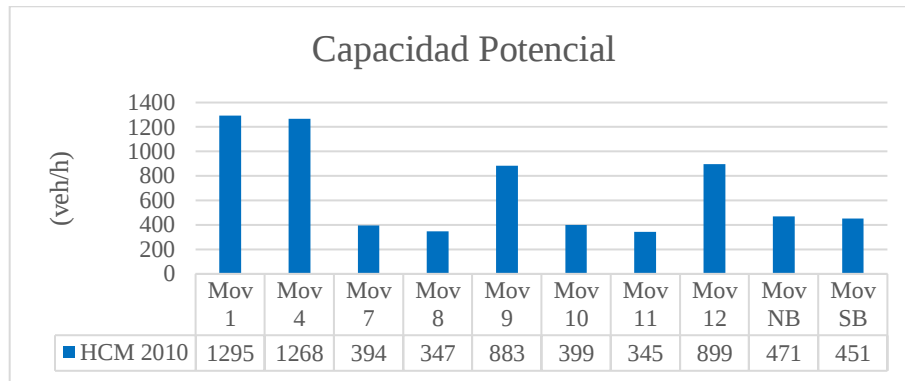
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 92.** Relación v/C HCM 2010 Punto 7



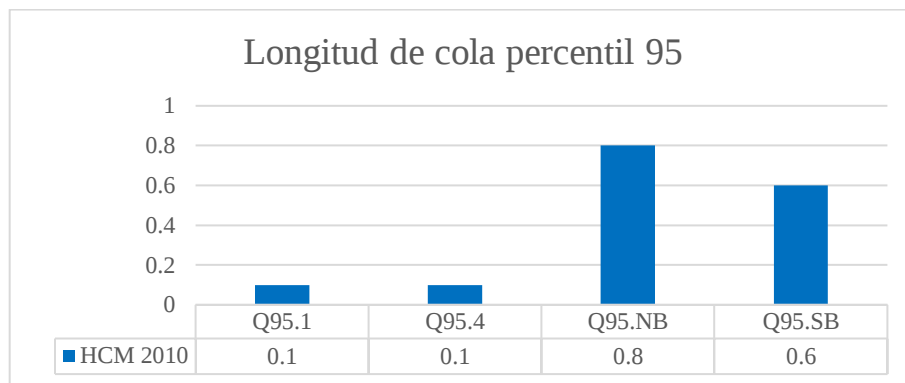
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 93. Capacidad potencial HCM 2010 Punto 7**



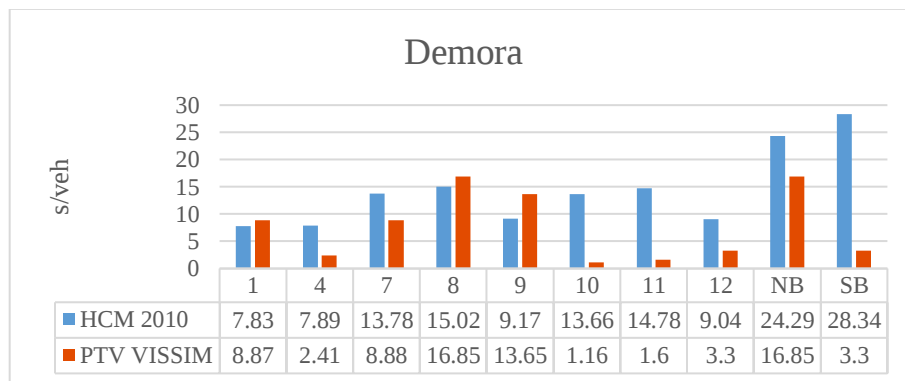
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 94. Longitud de cola percentil 95 Punto 7**



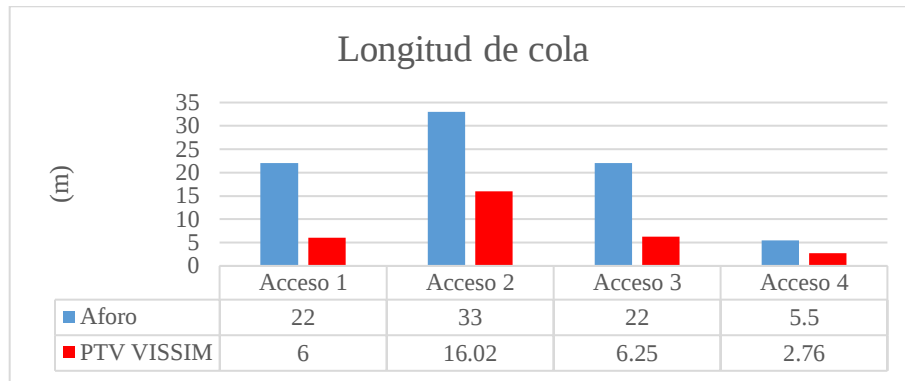
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 95. Relación de la demora entre HCM 2010 y PTC VISSIM Punto 7**



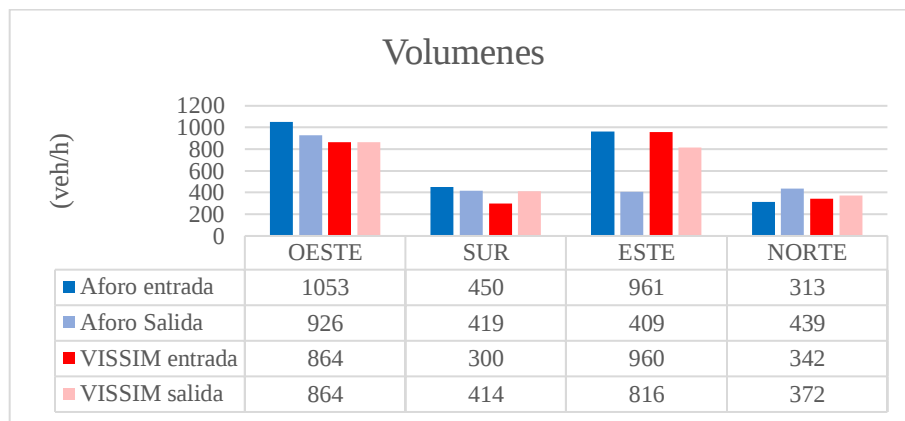
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 96.** Longitud de cola Punto 7



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 97.** Relación de Aforo de Campo y PTV VISSIM Punto 7



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 59.** Correlacion metodologia HCM2010-PTV VISSIM Punto 7- Av. La Paz

|          | CONFIGURACIÓN |            |           | HCM    |    | PTV VISSIM  |    |
|----------|---------------|------------|-----------|--------|----|-------------|----|
|          | Maniobras     | Movimiento | Vehículos | Demora | NS | Demora      | NS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 368       | 7.83   | A  | 8.87        | B  |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 379       | 7.89   | A  | 2.41        | A  |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 378       | 13.78  | B  | 8.88        | B  |
|          | DF            | 8          | 1115      | 15.02  | C  | 16.85       | C  |
|          | GD            | 9          | 307       | 9.17   | A  | 13.65       | C  |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 170       | 13.66  | B  | 1.16        | A  |
|          | DF            | 11         | 946       | 14.78  | B  | 1.6         | A  |
|          | GD            | 12         | 135       | 9.04   | A  | 3.3         | B  |
|          | NB            |            | 1252      | 24.29  | C  |             |    |
|          | SB            |            | 1800      | 28.34  | D  |             |    |
|          |               |            |           | HCM=   | D  | PTV VISSIM= | B  |

Los resultados obtenidos a partir de la investigación de movimientos aplicados a la metodología del manual de capacidad de carreteras (HCM 2010) en el punto 7 de la Av.

La Paz, donde la cual es una intersección de doble carril con control semaforizado. Proporciona una demora de 28.34 segundos para la aproximación en dirección Sur lo cual indica un Nivel de Servicio D señalado en la tabla (**Tabla 58**). En relación del volumen/capacidad en dirección oeste y este (Acceso 1 y Acceso 3 respectivamente) los valores de 0.8 y 0.6 son próximos al 1.0 el cual expresa que la vía no está colapsada; sin embargo este análisis se detalla en la capacidad potencial de los movimientos 1 y 4 cuentan con capacidades de 1295 y 1268 veh/h respectivamente los cuales se encuentran por debajo de los límites de capacidad por carril (1800 veh/h para poblaciones de 250000 hab y 1500 veh/h en poblaciones menores a 250000 hab). Considerando los resultados de la longitud de cola percentil 95 la aproximación en dirección norte tiene un resultado de 0.8 veh para la cola lo que indica que ocasionalmente se producirá la cola de un vehículo. En la aproximación en dirección Sur tiene un resultado de 0.6 veh para la cola lo que nos indica que no existirá cola. Realizada la correlación de los resultados en el manual (HCM 2010) y la microsimulación mediante software PTV VISSIM. La simulación hace notar que Nivel de Servicio C y el Nivel de servicio D en el manual en la **Tabla 59**, los movimientos (4,7 y 8) comparten Nivel de Servicio A, B, C respectivamente (1,9,10,11 y 12) tienen niveles diferentes. En cuanto a la demora se tiene un margen sobresaliente para la aproximación norte y sur, donde la aproximación sur la demora entre valores obtenidos se tiene un rango de 28.34 segundos de diferencia (Figura 80) y de la simulación 3.3 segundos (PTV VISIM). Seguido el análisis de la longitud de cola los accesos tienen valores similares y discretos considerando valores mínimos como la longitud de un vehículo 5.5 metros. Para la relación de aforos de entrada y salida en campo vs PTV VISSIM (**Figura 97**) los resultados de longitud de cola son aproximados a los aforados en campo.

#### 4.1.7. Análisis Punto 8: Av. Circunvalación, Av. Gran Chaco

**Tabla 60.** Resumen Intersección Av. Gran Chaco y Av. Delio Echazú (HCM2010)

|          | CONFIGURACION |            |                  | HCM 2010      |                    |      |     |
|----------|---------------|------------|------------------|---------------|--------------------|------|-----|
|          | Maniobra      | Movimiento | Volumen<br>(veh) | Demora<br>(s) | Capacidad<br>(veh) | v/C  | LOS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 127              | 7.78          | 1328               | 0.94 | A   |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 39               | 7.89          | 1255               | 0.03 | A   |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 111              | 11.87         | 475                | 0.23 | B   |
|          | DF            | 8          | 241              | 12.36         | 417                | 0.58 | B   |
|          | GD            | 9          | 5                | 9.16          | 867                | 0.01 | A   |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 102              | 11.72         | 491                | 0.21 | B   |
|          | DF            | 11         | 111              | 11.97         | 418                | 0.27 | B   |
|          | GD            | 12         | 37               | 8.99          | 912                | 0.04 | A   |
|          | NB            | 7-8-9      | 251              | 31.78         | 552                | 0.45 | D   |
|          | SB            | 10-11-12   | 356              | 21.61         | 586                | 0.61 | C   |

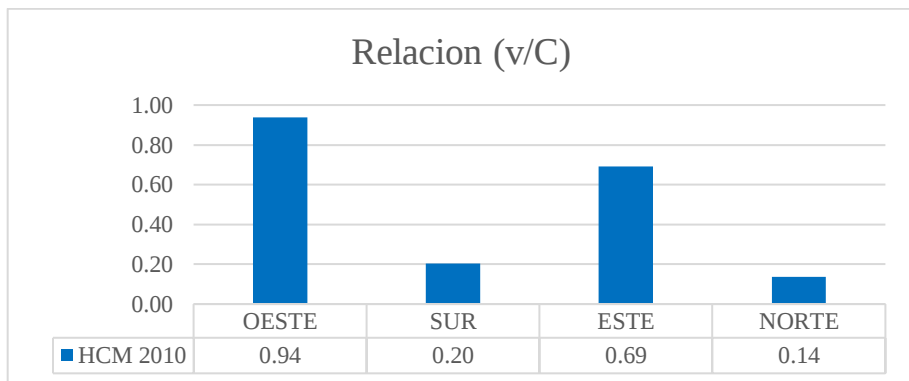
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 98.** Nivel de Servicio (LOS) PTV VISSIM Intersección Punto 8



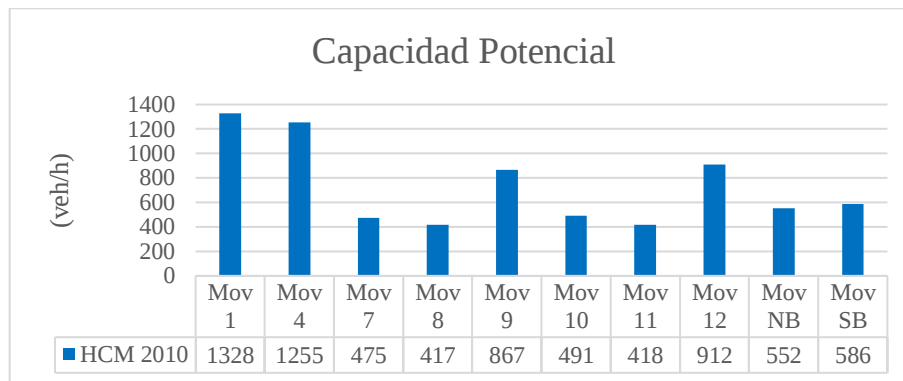
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 99.** Relación v/C HCM 2010 Punto 8



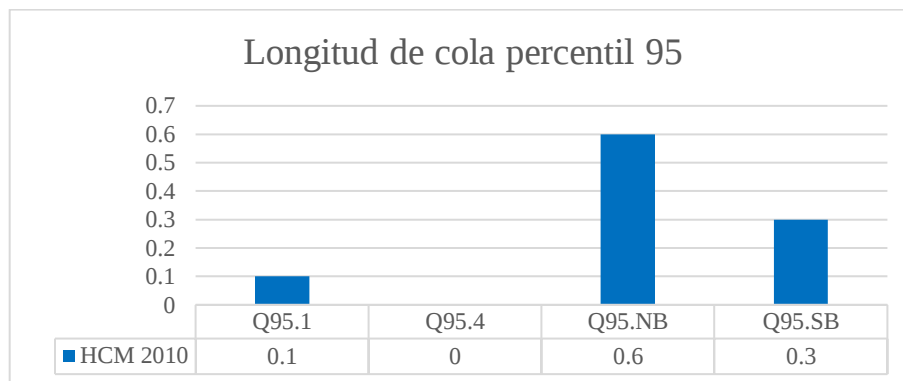
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 100.** Capacidad potencial HCM 2010 Punto 8



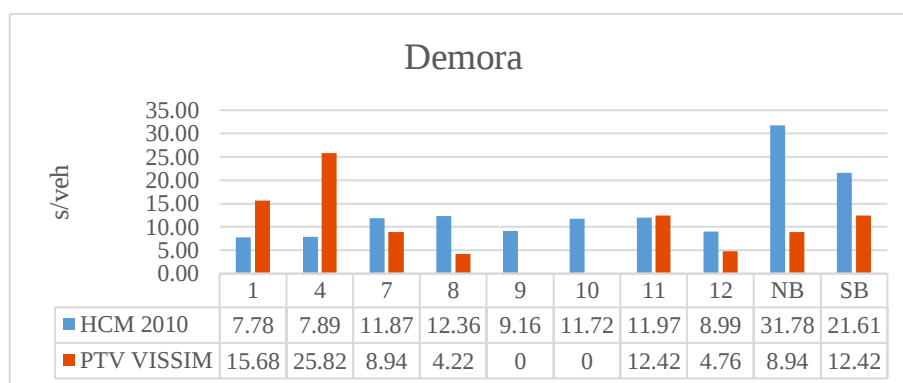
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 101.** Longitud de cola percentil 95 Punto 8



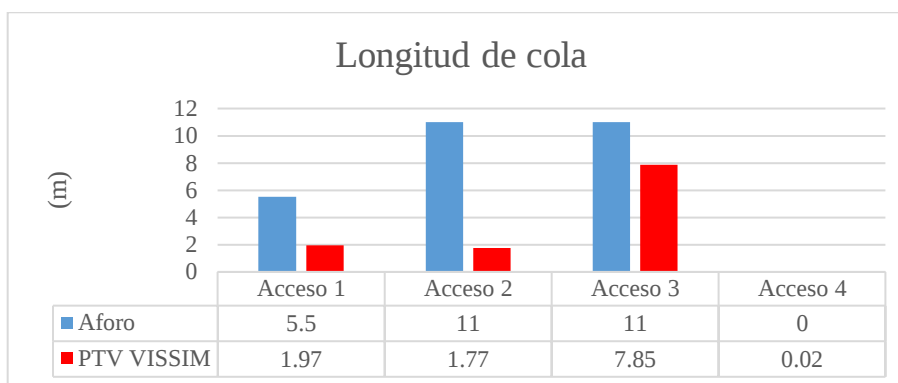
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 102.** Relación de la demora entre HCM 2010 y PTV VISSIM Punto 8



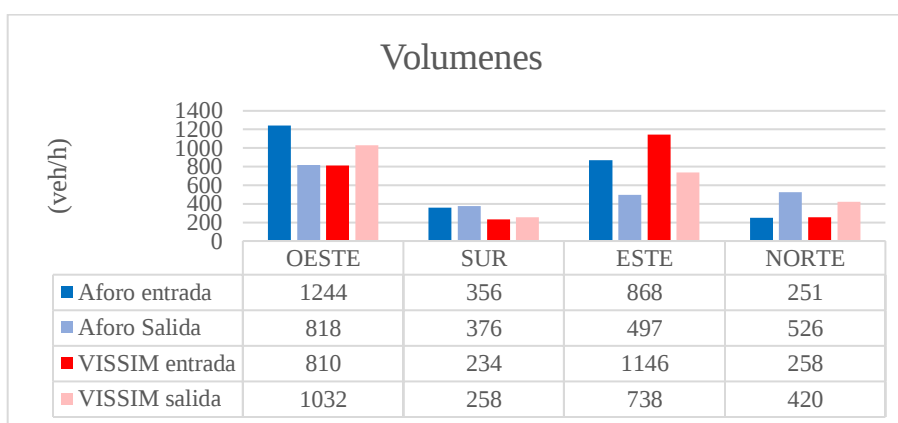
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 103.** Longitud de cola Punto 8



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 104.** Relación de Aforo de Campo y PTV VISSIM Punto 8



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 61.** Correlacion metodologia HCM2010-PTV VISSIM Punto 8- Av. Gran Chaco

|          | CONFIGURACIÓN |            |           | HCM    |    | PTV VISSIM |    |
|----------|---------------|------------|-----------|--------|----|------------|----|
|          | Maniobras     | Movimiento | Vehículos | Demora | NS | Demora     | NS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 509       | 7.78   | A  | 15.68      | D  |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 158       | 7.89   | A  | 25.82      | E  |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 442       | 11.87  | B  | 8.94       | C  |
|          | DF            | 8          | 962       | 12.36  | B  | 4.22       | C  |
|          | GD            | 9          | 19        | 9.16   | A  | 0          | A  |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 410       | 11.72  | B  | 0          | A  |
|          | DF            | 11         | 444       | 11.97  | B  | 12.42      | C  |
|          | GD            | 12         | 150       | 8.99   | A  | 4.76       | B  |
|          | NB            |            | 1004      | 31.78  | D  |            |    |
|          | SB            |            | 1424      | 21.61  | C  |            |    |

HCM= D PTV VISSIM= B

Los resultados obtenidos a partir de la investigación de movimientos aplicados a la metodología para un análisis operacional del manual de capacidad de carreteras (HCM 2010) en el punto 8 intersección (Av. Circunvalación, Av. Gran Chaco y Julio Delio Echazú) que es una intersección de doble carril, proporciona una demora de 31.78 segundos para la aproximación en dirección norte lo cual nos indica un Nivel de Servicio D señalado en la tabla (**Tabla 60**). En relación del volumen/capacidad en dirección oeste (Acceso 1). El valor de 0.94 está muy cerca de 1.0 el cual expresa un flujo próximo a inestable, este análisis detalla en la capacidad potencial de movimientos 1y 4 cuenta con capacidades de 1328 y 1255 veh/h respectivamente los cuales se encuentran por debajo de los límites de capacidad por carril (1800 veh/h para poblaciones de 250000 hab y 1500 veh/h en poblaciones menores a 250000 hab). Considerando los resultados de la longitud de cola percentil 95 las aproximaciones de dirección norte tienen como resultados de 0.6 veh para la cola lo que indica que poco usual que se produzca cola, y en la aproximación en dirección sur tiene de resultados 0.3 veh lo que indica que es inusual que se produzca cola en el acceso. Realizada la correlación de los resultados de demora, longitud de cola y Niveles de Servicio por movimientos del manual (HCM2010) y la microsimulación mediante software PTV VISSIM la simulación hace notar que solo el movimiento 9 comparte un nivel de servicio A entre la simulación y el manual de carreteras, los movimientos faltantes (1,4,7,8,10,11 y 12) tienen niveles diferentes. En cuanto a la demora se tiene un margen distante en la aproximación en dirección norte se tiene 22.84 segundos de diferencia entre la demora calculada por el manual y la demora determinada por la simulación. Seguido el análisis de la longitud de cola para los 4 Accesos si bien los resultados no son iguales, estos no difieren mucho entre sí. Donde el acceso 1 y el acceso 2 las colas varían del simulador ala determinada por un levantamiento de campo. Se debe considerar que la longitud de cola mínima a medirse es cero o la longitud de un vehículo en promedio 5.5 metros. En la relación de aforos de entrada y salida entre el aforo de campo vs simulación (**Figura 104**) donde los resultados son aproximados a los aforos de campo.

#### 4.1.8. Análisis Punto 9: Av. Circunvalación, Av. Gamoneda

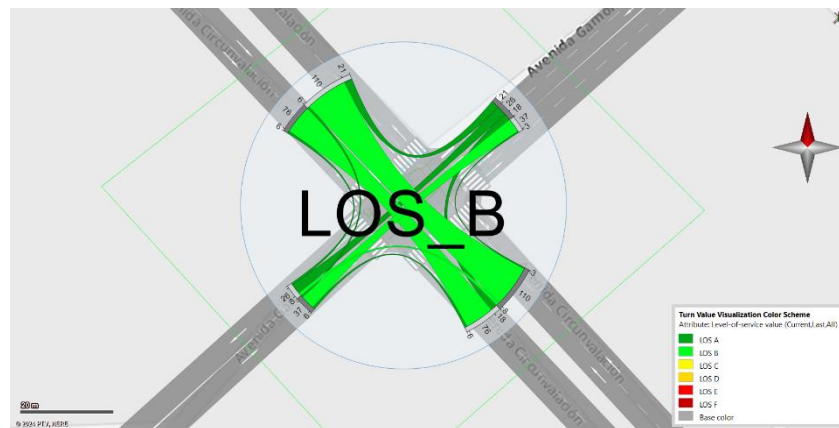
**Tabla 62.** Resumen Intersección Av. Gamoneda

|          | CONFIGURACION |            |                  | HCM 2010      |                    |      |     |
|----------|---------------|------------|------------------|---------------|--------------------|------|-----|
|          | Maniobra      | Movimiento | Volumen<br>(veh) | Demora<br>(s) | Capacidad<br>(veh) | v/C  | LOS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 35               | 7.62          | 1381               | 0.45 | A   |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 75               | 7.59          | 1409               | 0.05 | A   |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 53               | 10.57         | 622                | 0.09 | B   |
|          | DF            | 8          | 261              | 11.35         | 563                | 0.46 | B   |
|          | GD            | 9          | 97               | 8.85          | 958                | 0.10 | A   |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 34               | 10.67         | 603                | 0.06 | B   |
|          | DF            | 11         | 207              | 11.23         | 561                | 0.37 | B   |
|          | GD            | 12         | 90               | 8.92          | 940                | 0.10 | A   |
|          | NB            | 7-8-9      | 331              | 17.77         | 691                | 0.48 | C   |
|          | SB            | 10-11-12   | 412              | 15.46         | 694                | 0.59 | C   |

\*HCM no considera necesario el cálculo de la demora para los movimientos 2,3,5,6 ya que estos solo forman parte de un punto de conflicto.

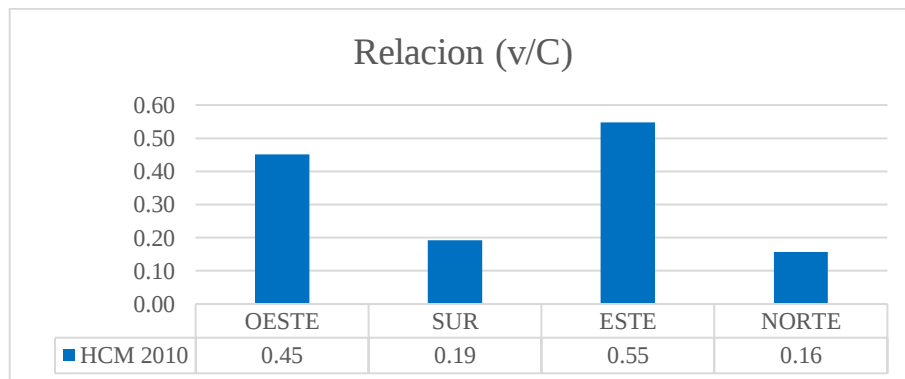
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 105.** Nivel de Servicio (LOS) PTV VISSIM Intersección Punto 9



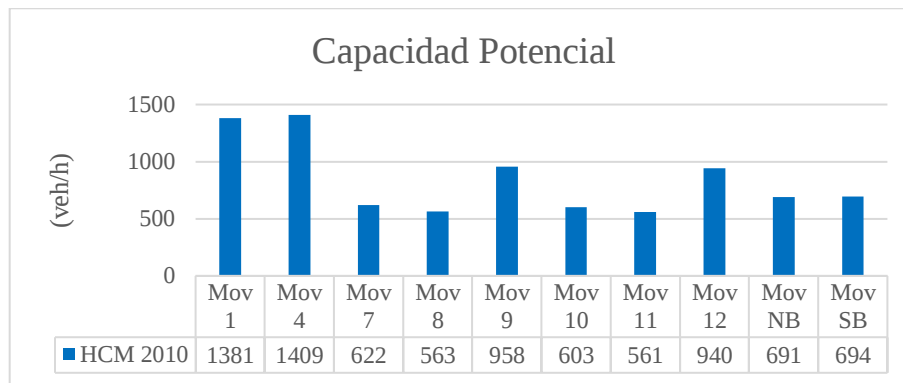
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 106.** Relación v/C HCM 2010 Punto 9



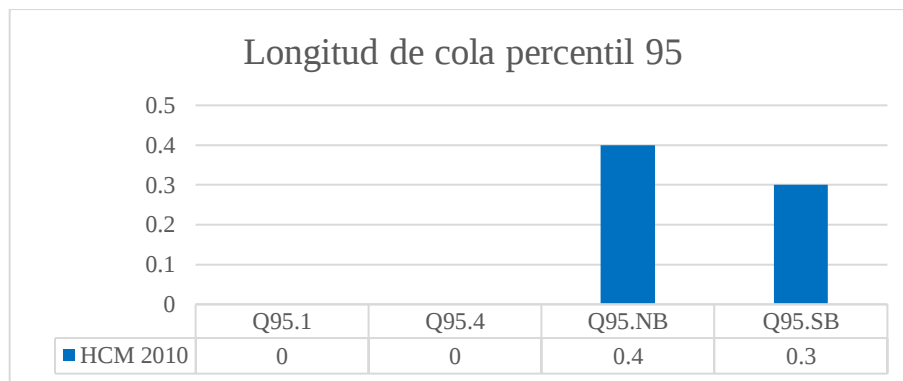
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 107.** Capacidad potencial HCM 2010 Punto 9



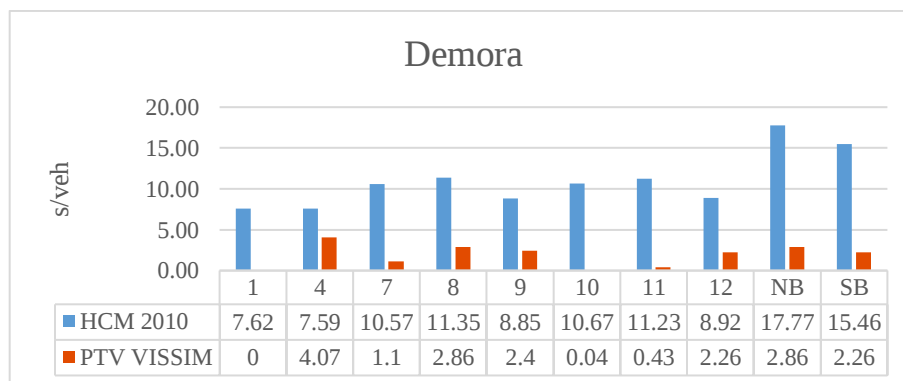
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 108.** Longitud de cola percentil 95 Punto 9



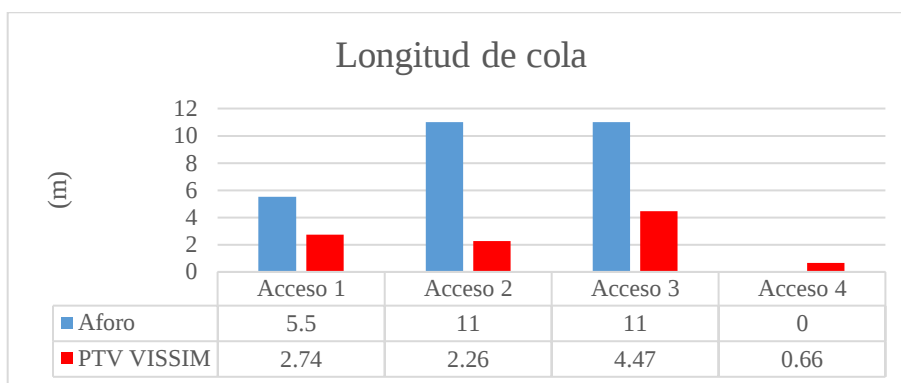
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 109.** Relación de la demora entre HCM 2010 y PTC VISSIM Punto 9



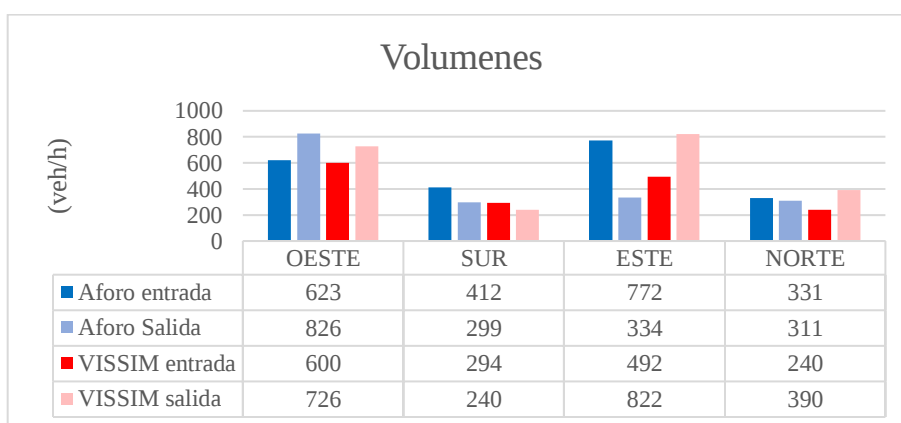
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 110.** Longitud de cola Punto 9



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 111.** Relación de Aforo de Campo y PTV VISSIM Punto 9



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 63.** Correlacion metodologia HCM2010-PTV VISSIM Punto 9 - Av. Gamoneda

|          | CONFIGURACIÓN |            |           | HCM    |    | PTV VISSIM  |    |
|----------|---------------|------------|-----------|--------|----|-------------|----|
|          | Maniobras     | Movimiento | Vehículos | Demora | NS | Demora      | NS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 141       | 7.62   | A  | 0           | A  |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 299       | 7.59   | A  | 4.07        | B  |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 213       | 10.57  | B  | 1.1         | A  |
|          | DF            | 8          | 1045      | 11.35  | B  | 2.86        | B  |
|          | GD            | 9          | 390       | 8.85   | A  | 2.4         | A  |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 136       | 10.67  | B  | 0.04        | A  |
|          | DF            | 11         | 827       | 11.23  | B  | 0.43        | A  |
|          | GD            | 12         | 361       | 8.92   | A  | 2.26        | A  |
|          | NB            |            | 1324      | 17.77  | C  |             |    |
|          | SB            |            | 1648      | 15.46  | C  |             |    |
|          |               |            |           | HCM=   | C  | PTV VISSIM= | B  |

Los resultados obtenidos a partir de la investigación de movimientos aplicado a la metodología para un análisis operacional del manual de capacidad de carreteras (HCM 2010) en el punto 9 intersección (Av. Circunvalación y Av. Gamoneda) que es una intersección de doble carril, proporciona una demora de 17.77 segundos para la aproximación en dirección norte, lo cual indica un Nivel de Servicio C señalado en la tabla (**Tabla 62**). En relación del volumen/capacidad los accesos del 1 a 4 con resultados de 0.45,0.19,0.55,0.16 valores que se encuentran por debajo de 1.0 y asimismo este tiene un comportamiento estable de circulación descendente. Este análisis detalla en la capacidad potencial de movimientos 4 presenta el valor más elevado de 1409 veh/h valores que se encuentran por debajo de los límites de capacidad por carril (1800 veh/h para poblaciones de 250,000 hab y 1500 veh/h en poblaciones menores a 250,000 hab). Considerando los resultados de la longitud de cola percentil 95, las aproximaciones en dirección norte y sur tiene como resultados 0.4 y 0.3 veh para la cola, lo que indica que ocasionalmente se produzca cola de un vehículo. Realizada la correlación de los resultados de demora. Longitud de cola percentil 95 y Niveles de servicio por movimientos del manual (HCM2010) y la microsimulación mediante software PTV VISSIM. La simulación hace notar que los movimientos (1, 8, 9 y 12) comparten el mismo nivel de servicio entra la simulación de manual de carreteras, los movimientos faltantes (4, 7, 10 y 11) tiene niveles diferentes. En cuanto a la demora, se tiene un margen distante en la aproximación en dirección norte de 14.91 segundos de diferencia entre la demora calculada por el manual y a la demora determinada por la simulación. Seguido el análisis de la longitud de cola para los 4 accesos estos difieren mucho entre sí, donde la longitud de cola para el acceso 2 es de 2.26m en cuanto a los valores obtenidos en campo con una longitud de cola de 2 vehículos detenidos donde se considera que la longitud promedio por vehículo es de 5.5 metros. En la relación de aforos de entrada y salida entre el aforo de campo y la simulación (**Figura 111**) los resultados son aproximados a los aforos de campo.

#### 4.1.9. Análisis Punto 10: Av. Circunvalación, Av. Monseñor Font

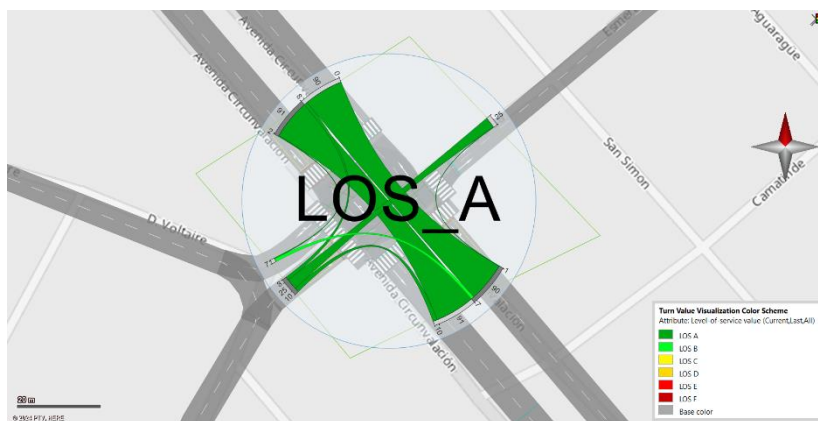
**Tabla 64.** Resumen Intersección Av. Monseñor Font

|          | CONFIGURACION |            |                  | HCM 2010      |                    |      |     |
|----------|---------------|------------|------------------|---------------|--------------------|------|-----|
|          | Maniobra      | Movimiento | Volumen<br>(veh) | Demora<br>(s) | Capacidad<br>(veh) | v/C  | LOS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 11               | 7.60          | 1394               | 0.48 | A   |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 46               | 7.63          | 1382               | 0.03 | A   |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 97               | 10.08         | 666                | 0.15 | B   |
|          | DF            | 8          | 162              | 11.02         | 590                | 0.27 | B   |
|          | GD            | 9          | 90               | 8.92          | 942                | 0.10 | A   |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 0                | 10.20         | 652                | 0.00 | B   |
|          | DF            | 11         | 0                | 10.66         | 590                | 0.00 | B   |
|          | GD            | 12         | 0                | 8.80          | 950                | 0.00 | A   |
|          | NB            | 7-8-9      | 0                | 18.44         | 726                | 0.00 | C   |
|          | SB            | 10-11-12   | 349              | 13.93         | 738                | 0.47 | B   |

\*HCM no considera necesario el cálculo de la demora para los movimientos 2,3,5,6 ya que estos solo forman parte de un punto de conflicto.

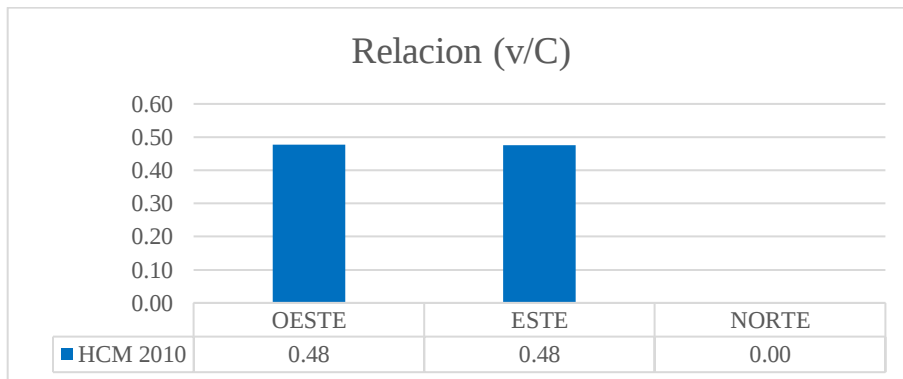
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 112.** Nivel de Servicio (LOS) PTV VISSIM Intersección Punto 9



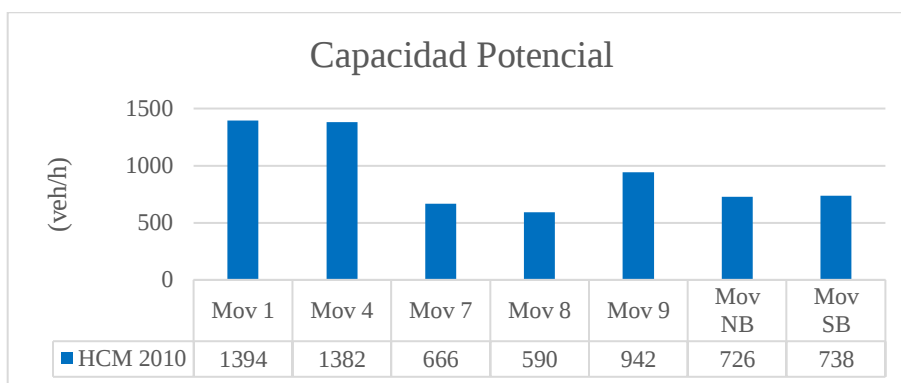
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 113.** Relación v/C HCM 2010 Punto 10



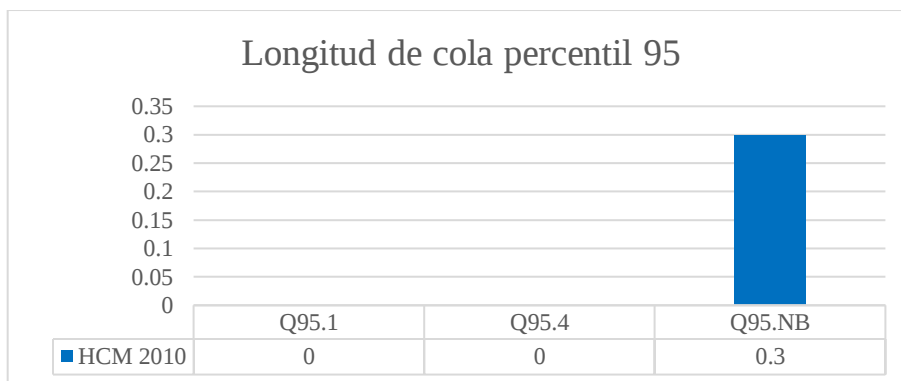
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 114.** Capacidad potencial HCM 2010 Punto 10



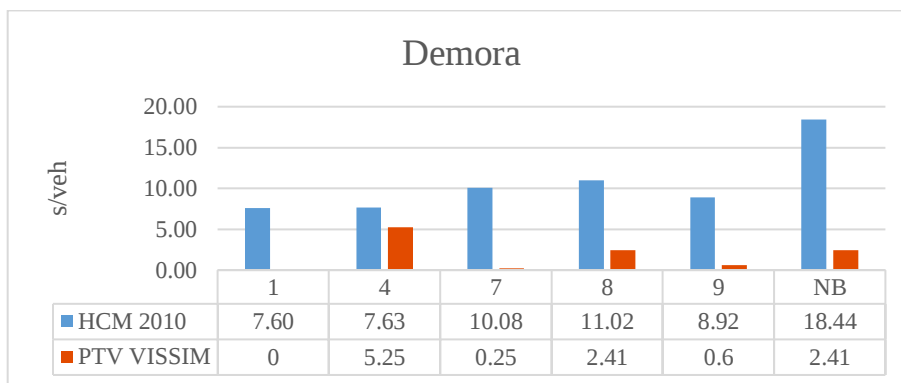
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 115.** Longitud de cola percentil 95 Punto 9



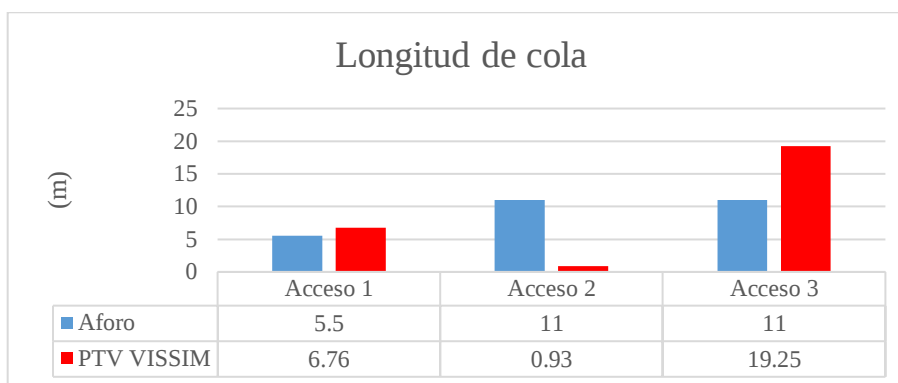
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 116.** Relación de la demora entre HCM 2010 y PTV VISSIM Punto 10



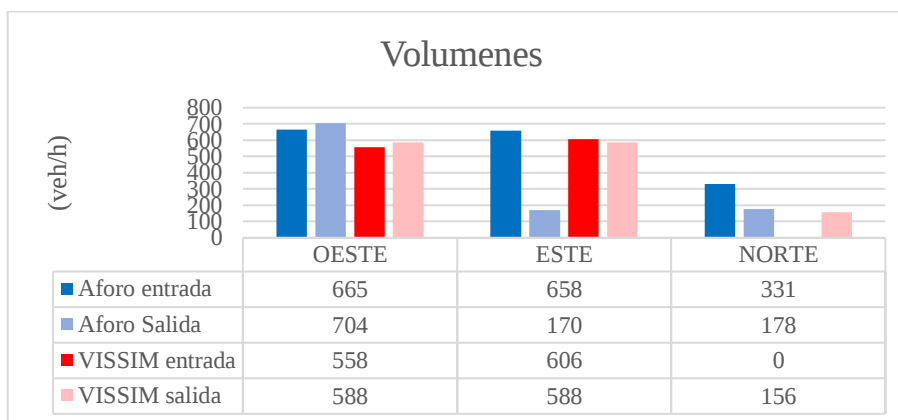
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 117.** Longitud de cola Punto 10



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 118.** Relación de Aforo de Campo y PTV VISSIM Punto 10



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 65.** Correlacion metodologia HCM2010-PTV VISSIM Punto 10 - Av. M. Font

|          | CONFIGURACIÓN |            |           | HCM    |    | PTV VISSIM |    |
|----------|---------------|------------|-----------|--------|----|------------|----|
|          | Maniobras     | Movimiento | Vehículos | Demora | NS | Demora     | NS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 45        | 7.6    | A  | 0          | A  |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 183       | 7.63   | A  | 5.25       | B  |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 388       | 10.08  | B  | 0.25       | A  |
|          | DF            | 8          | 647       | 11.02  | B  | 2.41       | A  |
|          | GD            | 9          | 361       | 8.92   | A  | 0.6        | A  |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 0         | 10.2   | B  | 0          | A  |
|          | DF            | 11         | 0         | 10.66  | B  | 0          | A  |
|          | GD            | 12         | 0         | 8.8    | A  | 0          | A  |
|          | NB            |            | 0         | 18.44  | C  |            |    |
|          | SB            |            | 1396      | 13.93  | B  |            |    |

HCM= C PTV VISSIM= B

Los resultados obtenidos a partir de la investigación de movimientos aplicados a la metodología para un análisis operacional del manual de capacidad de carreteras (HCM 2010) en el punto 10 intersección (Av. Circunvalación y Av. Monseñor Font) que es una intersección de doble carril regulada, proporciona una demora de 18.44 segundos para la aproximación en dirección norte lo cual indica un Nivel de Servicio C señalado en la tabla (**Tabla 64**). En relación del volumen/capacidad los accesos del 1 y 2 con valores de 0.48, 0.48 valores que se encuentran por debajo de 1.0 y asimismo este tiene un comportamiento estable de circulación descendente. Este análisis detalla la capacidad potencial de movimientos 1, presenta el valor más elevado de 1394 veh/h valores que se encuentran por debajo de los límites de capacidad por carril (1800 veh/h para poblaciones de 250,000 hab y 1500 veh/h en poblaciones menores a 250,000 hab). Considerando los resultados de la longitud de cola percentil 95 las aproximaciones en dirección norte tienen como resultados 0.3 veh para la cola, lo que indica que ocasionalmente se produzca cola de un vehículo. Realizada la correlación de los resultados de demora. Longitud de cola percentil 95 y Niveles de servicio por movimientos del manual (HCM2010) y la microsimulación mediante software PTV VISSIM. La simulación hace notar que los movimientos (1 y 9) comparten el mismo nivel de servicio entre la simulación y el manual de capacidad de carreteras, los movimientos faltantes (4, 7 y 8) que tiene niveles diferentes. En cuanto a la demora se tiene un margen distante en la aproximación en dirección norte se tiene 16.03 segundos de diferencia entre la demora calculada por el manual de carreteras y a la demora determinada por la simulación. Seguido el análisis de la longitud de cola para los 3 accesos estos difieren mucho entre sí, donde la longitud de cola para el acceso 3 es de 19.25 m en cuanto a los valores obtenidos en campo con una longitud de cola de 2 vehículos detenidos donde se considera que la longitud promedio por vehículo es de 5.5 metros. En la relación de aforos de entrada y salida entre el aforo de campo y la simulación (**Figura 117**) los resultados son aproximados a los aforos de campo.

#### 4.1.10. Análisis Punto 11: Av. Circunvalación, Av. Romero

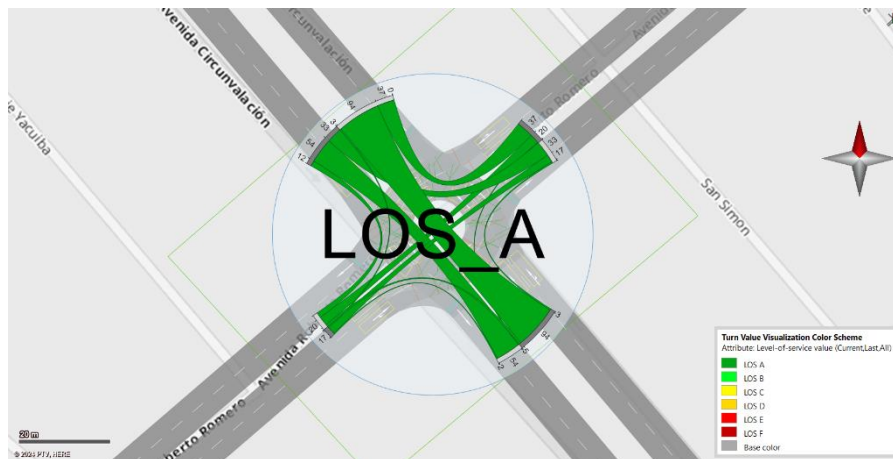
**Tabla 66.** Resumen Intersección Av. Romero

|          | CONFIGURACION |            |                  | HCM 2010      |                    |      |     |
|----------|---------------|------------|------------------|---------------|--------------------|------|-----|
|          | Maniobra      | Movimiento | Volumen<br>(veh) | Demora<br>(s) | Capacidad<br>(veh) | v/C  | LOS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 260              | 7.77          | 1392               | 0.49 | A   |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 17               | 7.49          | 1451               | 0.01 | A   |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 41               | 10.93         | 587                | 0.07 | B   |
|          | DF            | 8          | 195              | 11.56         | 527                | 0.37 | B   |
|          | GD            | 9          | 19               | 8.66          | 988                | 0.02 | A   |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 11               | 10.95         | 552                | 0.02 | B   |
|          | DF            | 11         | 124              | 11.23         | 524                | 0.24 | B   |
|          | GD            | 12         | 177              | 8.97          | 951                | 0.19 | A   |
|          | NB            | 7-8-9      | 312              | 28.44         | 620                | 0.50 | D   |
|          | SB            | 10-11-12   | 254              | 8.99          | 764                | 0.33 | A   |

\*HCM no considera necesario el cálculo de la demora para los movimientos 2,3,5,6 ya que estos solo forman parte de un punto de conflicto.

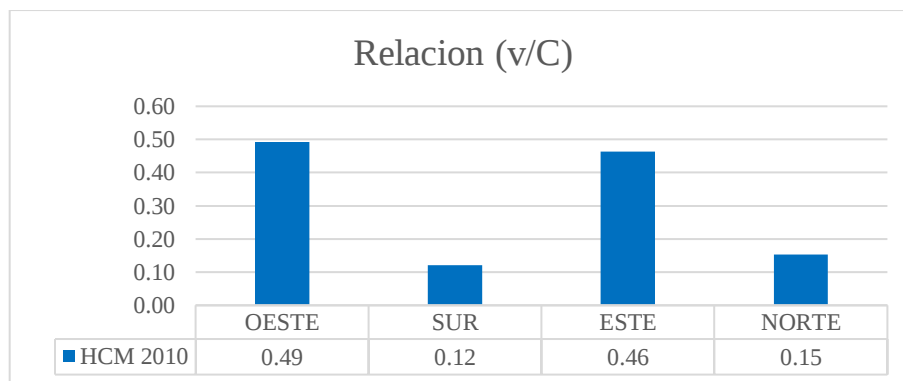
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 119.** Nivel de Servicio (LOS) PTV VISSIM Intersección Punto 11



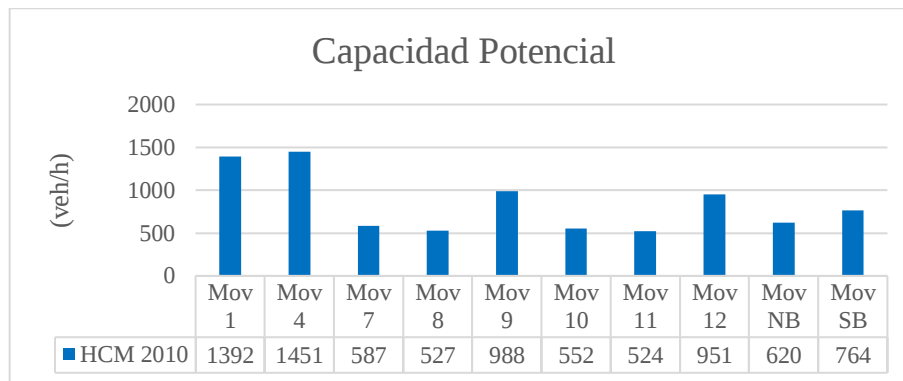
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 120.** Relación v/C HCM 2010 Punto 11



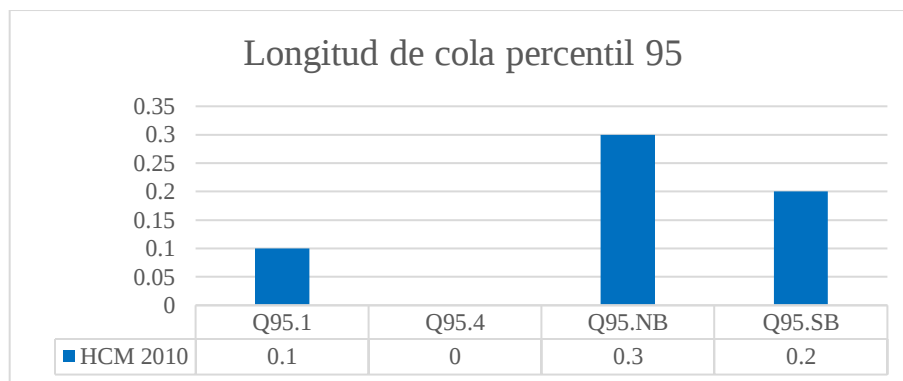
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 121.** Capacidad potencial HCM 2010 Punto 11



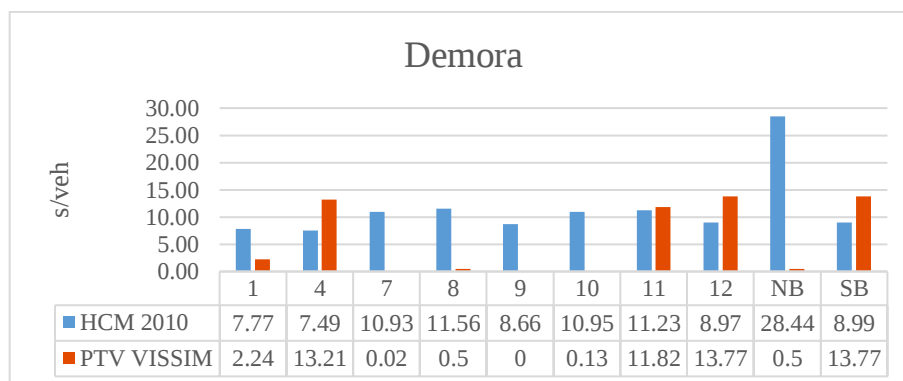
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 122.** Longitud de cola percentil 95 Punto 11



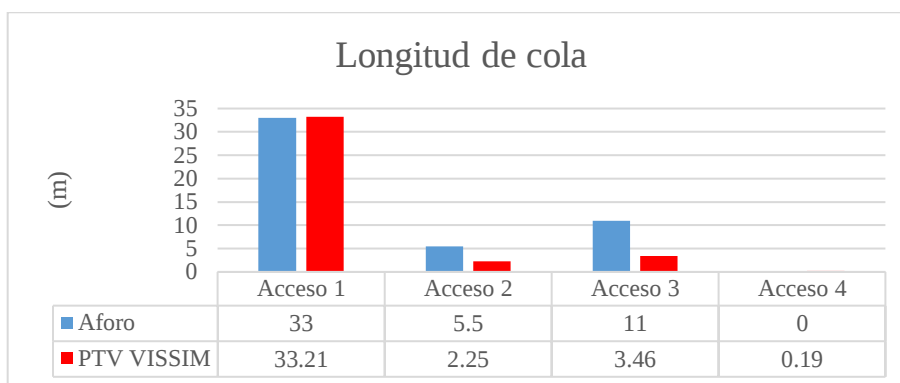
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 123.** Relación de la demora entre HCM 2010 y PTC VISSIM Punto 11



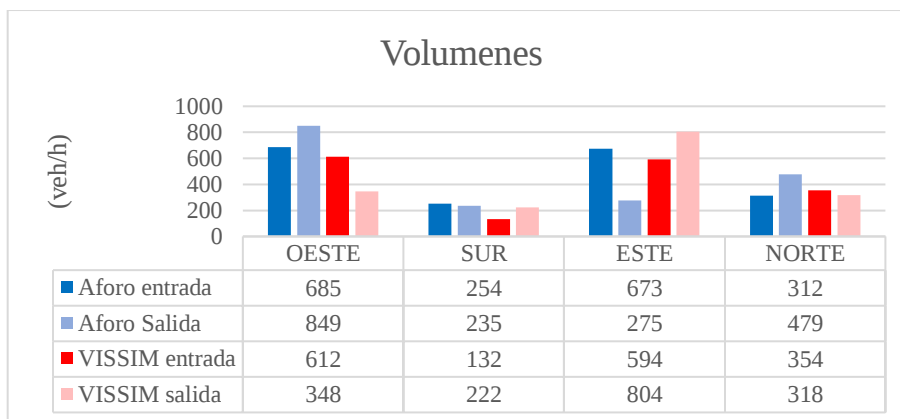
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 124.** Longitud de cola Punto 11



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 125.** Relación de Aforo de Campo y PTV VISSIM Punto 11



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 67.** Correlacion metodologia HCM2010-PTV VISSIM Punto 11- Av. Romero

|          | CONFIGURACIÓN |            |           | HCM    |    | PTV VISSIM |    |
|----------|---------------|------------|-----------|--------|----|------------|----|
|          | Maniobras     | Movimiento | Vehículos | Demora | NS | Demora     | NS |
| Acceso 1 | GI            | 1          | 1038      | 7.77   | A  | 2.24       | A  |
| Acceso 3 | GI            | 4          | 69        | 7.49   | A  | 13.21      | C  |
| Acceso 2 | GI            | 7          | 163       | 10.93  | B  | 0.02       | A  |
|          | DF            | 8          | 778       | 11.56  | B  | 0.5        | A  |
|          | GD            | 9          | 75        | 8.66   | A  | 0          | A  |
| Acceso 4 | GI            | 10         | 43        | 10.95  | B  | 0.13       | A  |
|          | DF            | 11         | 496       | 11.23  | B  | 11.82      | C  |
|          | GD            | 12         | 708       | 8.97   | A  | 13.77      | D  |
|          | NB            |            | 1248      | 28.44  | D  |            |    |
|          | SB            |            | 1016      | 8.99   | A  |            |    |

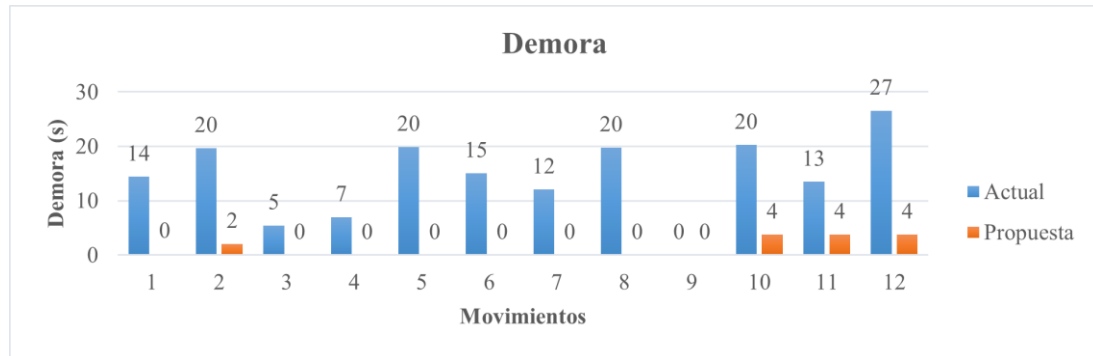
HCM= D PTV VISSIM= A

Los resultados obtenidos a partir de la investigación de movimientos aplicados a la metodología para un análisis operacional del manual de capacidad de carreteras (HCM 2010) en el punto 11 intersección (Av. Circunvalación, Av. Romero), proporciona una demora de 28.44 segundos para la aproximación en dirección norte lo cual indica un Nivel de Servicio D señalado en la tabla (**Tabla 64**). En relación del volumen/capacidad en dirección oeste (Acceso 1 y 3) los valores de 0.49 y 0.46 está alejado de 1.0 el cual expresa un flujo estable, este análisis detalla en la capacidad potencial de movimientos 1y 4, cuenta con capacidades de 1392 y 1451 veh/h respectivamente los cuales se encuentran por debajo de los límites de capacidad por carril (1800 veh/h para poblaciones de 250000 hab y 1500 veh/h en poblaciones menores a 250000 hab). Considerando los resultados de la longitud de cola percentil 95 las aproximaciones dirección norte tiene como resultados de 0.3 veh para la cola, lo que indica que es poco usual que se produzca cola, y en la aproximación en dirección sur tiene de resultados 0.2 veh lo que indica que es inusual que se produzca cola en el acceso. Realizada la correlación de los resultados de demora, longitud de cola y Niveles de Servicio por movimientos del manual (HCM2010) y la microsimulación mediante software PTV VISSIM la simulación hace notar que solo el movimiento (1 y 9) comparte un nivel de servicio entre la simulación y el manual de carreteras los movimientos faltantes (4,7,8,10,11 y 12) tiene niveles diferentes. En cuanto a la demora se tiene un margen distante en la aproximación en dirección norte se tiene 27.94 segundos de diferencia entre la demora calcula por el manual y la demora determinada por la simulación. Seguido el análisis de la longitud de cola para los 4 Accesos si bien los resultados no son iguales, estos no difieren mucho entre sí. Donde el acceso 3 las colas varían del simulador ala determinada por un levantamiento de campo. Se debe considerar que la longitud de cola mínima a medirse es cero o la longitud de un vehículo en promedio es de 5.5 metros. En la relación de aforos de entrada y salida entre el aforo de campo vs simulación (**Figura 125**) los resultados son aproximados a los aforos de campo.

## 4.2. Análisis de Resultados Simulación por software

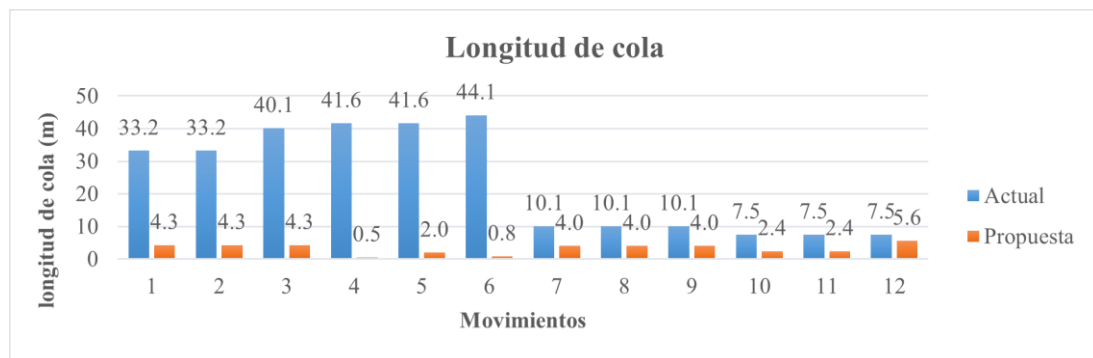
### 4.2.1. Análisis Punto 1: Av. Circunvalación, Av. Colón

**Figura 126.** Demora Situación Actual-Propuesta Av. Colón



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 127.** Longitud de cola Situación Actual-Propuesta Av. Colón



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 68.** Comparativa Situación Actual-Propuesta Av Colón

|                  | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Actual</b>    | D        | D        | D        | D        |
| <b>Propuesta</b> | A        | B        | A        | B        |
| <b>veh/h</b>     | 975      | 562      | 966      | 242      |

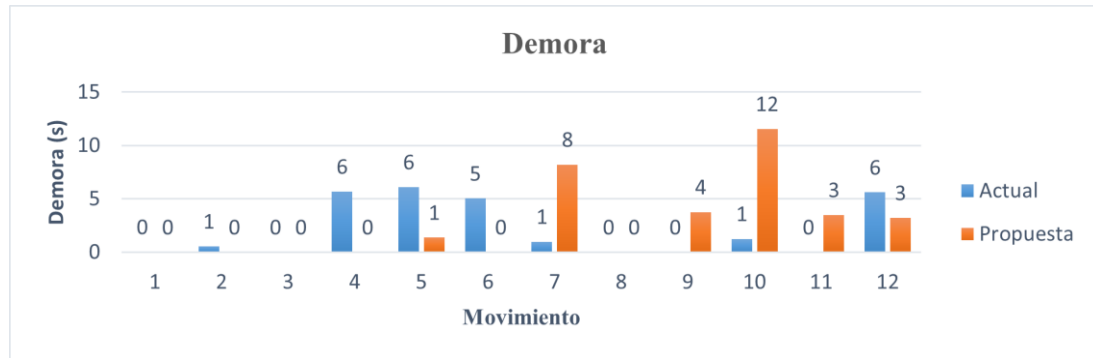
**Fuente:** Elaboración propia

Analizando los tiempos de demora y longitudes de cola para el Punto 1 (Av. Colón) se tiene mejoras en demoras de hasta 23 segundos para ciertos movimientos, puntualmente el movimiento (6) que pertenece al giro a la derecha desde la Av. Circunvalación en dirección de la Av. Colón, las longitudes de cola donde se puede observar una mejora en el movimiento (6) de 43.3m. "La longitud de cola antes de implementar la propuesta de mejora era de 44.1 metros, y después de la mejora, se redujo a 0.8 metros", donde los

vehículos se encuentran detenidos en el acceso (3) (sentido de subida Av. Circunvalación) mejorando así su Nivel de Servicio D a Nivel de Servicio A para este acceso. Consultar planos de anexos para la propuesta de flujo que mejor las condiciones de circulación de la intersección.

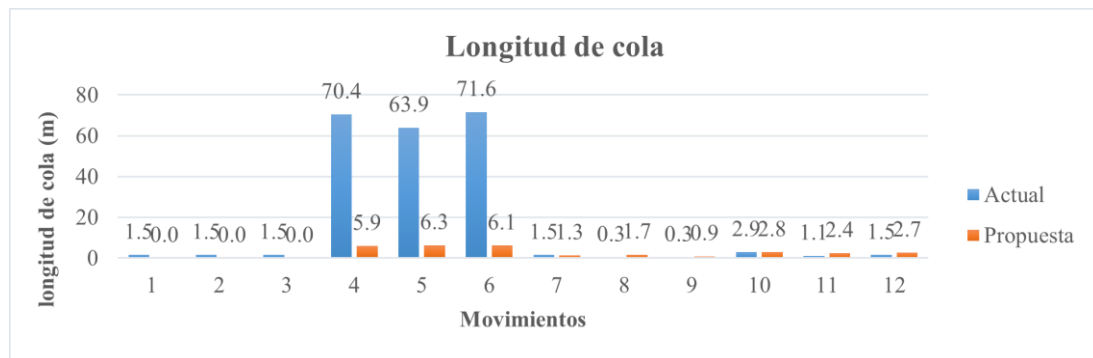
#### 4.2.2. Análisis Punto 2-3: Av. Circunvalación, Calle Pando Marco Araoz

**Figura 128.** Demora Situación Actual-Propuesta Calle Pando, Av Ayoroa



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 129.** Longitud de cola Situación Actual-Propuesta Calle Pando, Av. Ayoroa



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 69.** Comparativa Situación Actual-Propuesta Calle Pando y Ayoroa

|                  | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Actual</b>    | A        | A        | E        | B        |
| <b>Propuesta</b> | A        | B        | A        | C        |
| <b>veh/h</b>     | 1073     | 175      | 1493     | 223      |

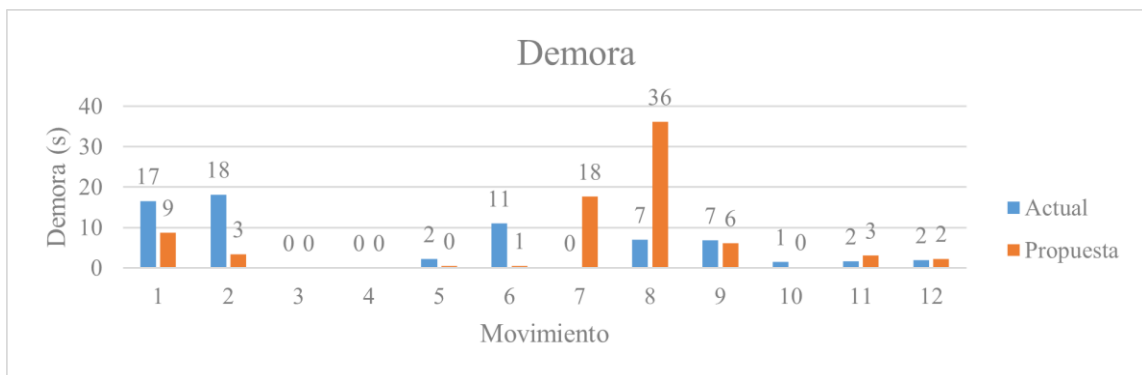
**Fuente:** Elaboración propia

Analizando los tiempos de demora y longitudes de cola para el Punto 2 (Calle Pando y Av. Ayoroa) se tiene mejoras en demoras de hasta 6 segundos para ciertos movimientos, puntualmente el movimiento (4) que pertenece al giro a la izquierda desde la Av.

Circunvalación en dirección de la Av. Circunvalación hacia la Calle Pando y en el caso del movimiento (10) la demora se incrementó en 11 segundos, pero este valor no se ve afectado debido al volumen de tráfico circulante (223 veh/h), las longitudes de cola donde se puede observar una mejora en el movimiento (6) de 65.5m "La longitud de cola antes de implementar la propuesta de mejora era de 71.6 metros, y después de la mejora, se redujo a 6.1 metros". donde los vehículos se encuentran detenidos en el acceso (3) (sentido de subida Av. Circunvalación) mejorando así su Nivel de Servicio E a Nivel de Servicio A para este acceso. Consultar planos de anexos para la propuesta de flujo que mejora las condiciones de circulación de la intersección.

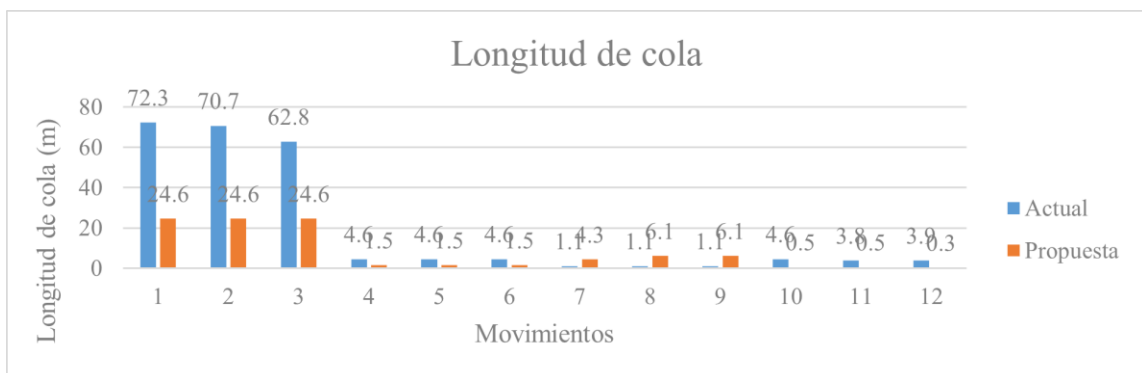
#### 4.2.3. Análisis Punto 4: Av. Circunvalación, Av. San Bernardo.

**Figura 130.** Demora Situación Actual-Propuesta Av. San Bernardo



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 131.** Longitud de cola Situación Actual-Propuesta Av. San Bernardo



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 70.** Comparativa Situación Actual-Propuesta Av. San Bernardo

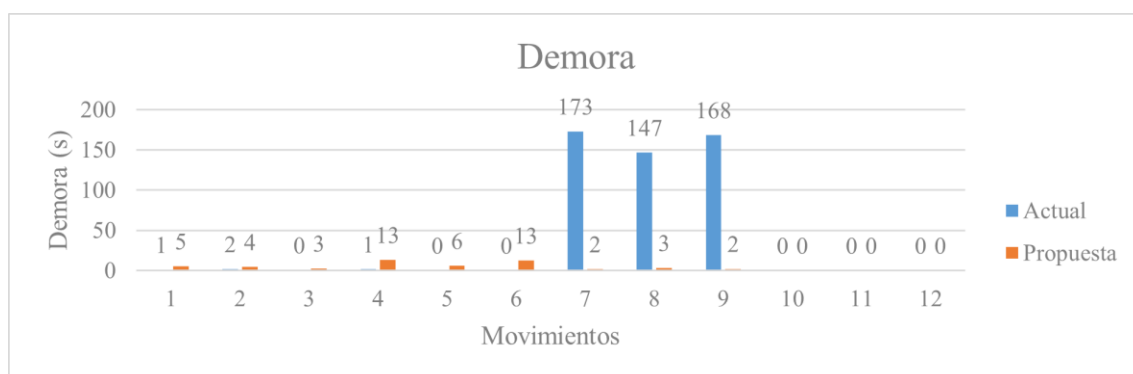
|           | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Actual    | D        | B        | B        | A        |
| Propuesta | C        | D        | A        | A        |
| veh/h     | 1381     | 151      | 972      | 440      |

**Fuente:** Elaboración propia

Analizando los tiempos de demora y longitudes de cola para el Punto 4 (Av. San Bernardo) se tiene mejoras en demoras de hasta 15 segundos para ciertos movimientos, puntualmente el movimiento (2) que pertenece al cruce de frente de la Av. Circunvalación y en el caso del movimiento (8) la demora se incrementó en 29 segundos pero este valor no se ve afectado debido al bajo volumen de tráfico circulante (151 veh/h), las longitudes de cola donde se puede observar una mejora en el movimiento (2) de 46.1m "La longitud de cola antes de implementar la propuesta de mejora era de 70.6 metros, y después de la mejora, se redujo a 24.6 metros." donde los vehículos se encuentran detenidos en el acceso (3) (sentido de subida Av. Circunvalación) mejorando así su Nivel de Servicio D a Nivel de Servicio C para este acceso. Consultar planos de anexos para la propuesta de flujo que mejora las condiciones de circulación de la intersección.

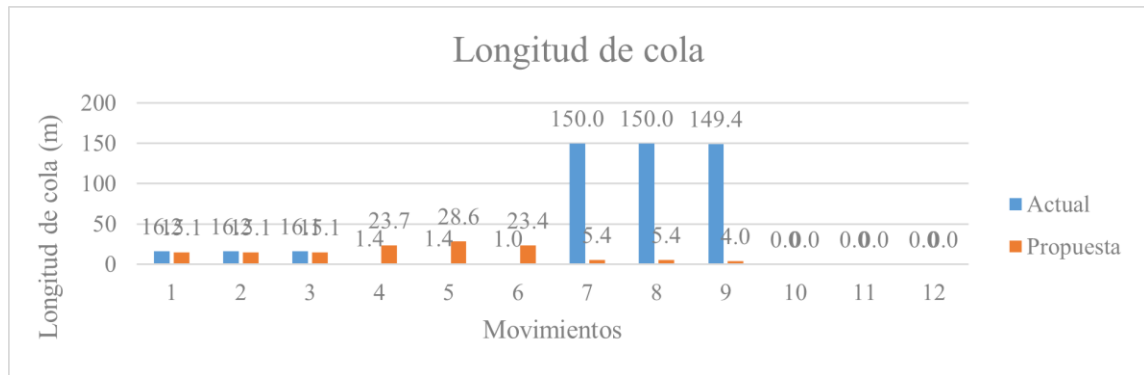
#### 4.2.4. Análisis Punto 5: Av. Circunvalación, Av. Santa Cruz.

**Figura 132.** Demora Situación Actual-Propuesta Av. Santa Cruz



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 133.** Longitud de cola Situacion Actual-Propuesta Av. Santa Cruz



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 71.** Comparativa Situacion Actual-Propuesta Av. Santa Cruz

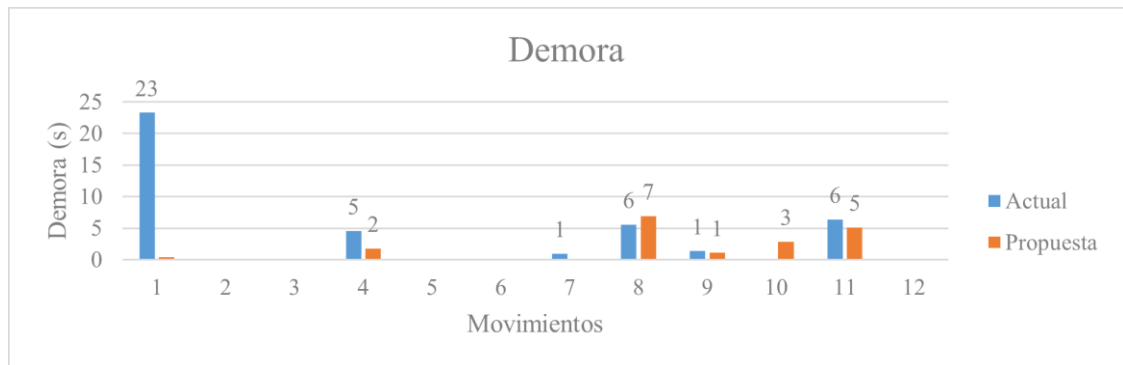
|                  | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Actual</b>    | B        | F        | A        | A        |
| <b>Propuesta</b> | B        | B        | C        | A        |
| <b>veh/h</b>     | 1443     | 615      | 1479     | 4        |

**Fuente:** Elaboración propia

Analizando los tiempos de demora y longitudes de cola para el Punto 5 (Av. Santa Cruz) se tiene mejoras en demoras de hasta 171 segundos para ciertos movimientos, puntualmente el movimiento (7) que pertenece al giro a la izquierda desde la Av. Santa Cruz hacia la Av. Circunvalación. Las longitudes de cola donde se puede observar una mejora en el movimiento (7,8,9) de 144.6m "La longitud de cola antes de implementar la propuesta de mejora era de 150 metros, y después de la mejora, se redujo a 5.4 metros", donde los vehículos se encuentran detenidos en el acceso (2) (sentido de subida Av. Santa Cruz) mejorando así su Nivel de Servicio F a Nivel de Servicio B para este acceso. Consultar planos de anexos para la propuesta de flujo que mejora las condiciones de circulación de la intersección.

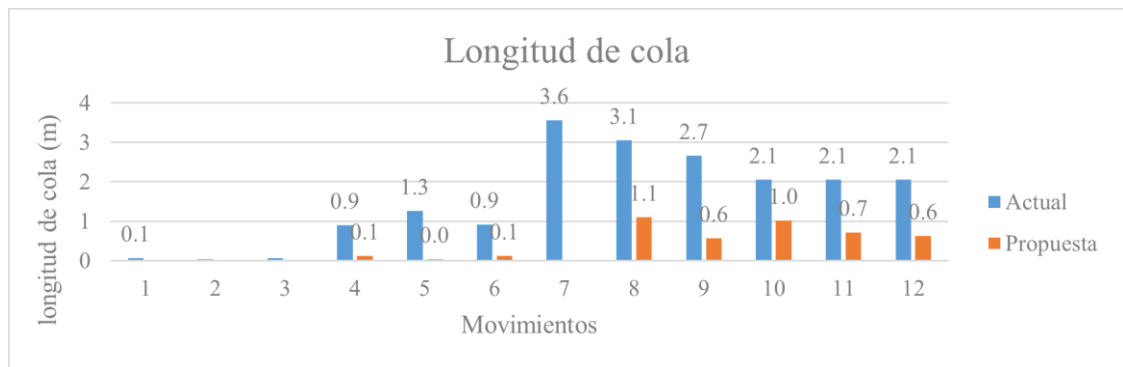
#### 4.2.5. Análisis Punto 6: Av. Circunvalación, Av. 4 de octubre

**Figura 134.** Demora Situación Actual-Propuesta Av. 4 de octubre



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 135.** Longitud de cola Situación Actual-Propuesta Av. 4 de octubre



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 72.** Comparativa Situación Actual-Propuesta Av. 4 de octubre

|                  | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Actual</b>    | D        | A        | A        | C        |
| <b>Propuesta</b> | A        | B        | A        | A        |
| <b>veh/h</b>     | 1050     | 224      | 953      | 112      |

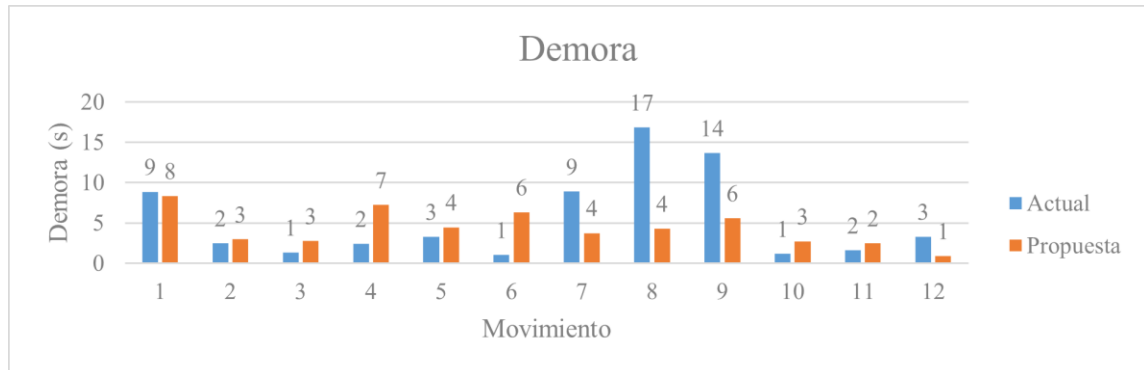
**Fuente:** Elaboración propia

Analizando los tiempos de demora y longitudes de cola para el Punto 6 (Av. Santa Cruz) se tiene mejoras en demoras de hasta 23 segundos para ciertos movimientos, puntualmente el movimiento (1) que pertenece al giro ala izquierda desde la Av. Circunvalación hacia la Av. Santo Domingo. Las longitudes de cola donde se puede observar una mejora en el movimiento (7) de 3.6 m "La longitud de cola antes de implementar la propuesta de mejora era de 3.6 metros, y después de la mejora, se redujo cero." donde los vehículos se

encuentran detenidos en el acceso (2) (sentido de bajada Circunvalación). Mejorando así el peor Nivel de Servicio de la intersección, llevando de un Nivel de Servicio D a Nivel de Servicio A para este acceso (1). Consultar planos de anexos para la propuesta de flujo que mejora las condiciones de circulación de la intersección.

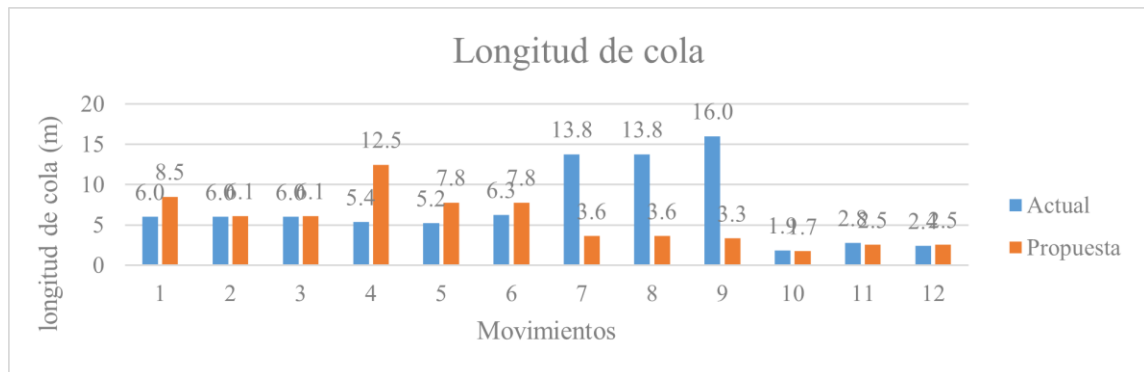
#### 4.2.6. Análisis Punto 7: Av. Circunvalación, Av. La Paz.

**Figura 136.** Demora Situación Actual-Propuesta Av. La Paz



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 137.** Longitud de cola Situación Actual-Propuesta Av. La Paz



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 73.** Comparativa Situacion Actual-Propuesta Av. La Paz

|                  | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Actual</b>    | B        | C        | B        | B        |
| <b>Propuesta</b> | B        | B        | B        | A        |
| <b>veh/h</b>     | 1053     | 450      | 961      | 313      |

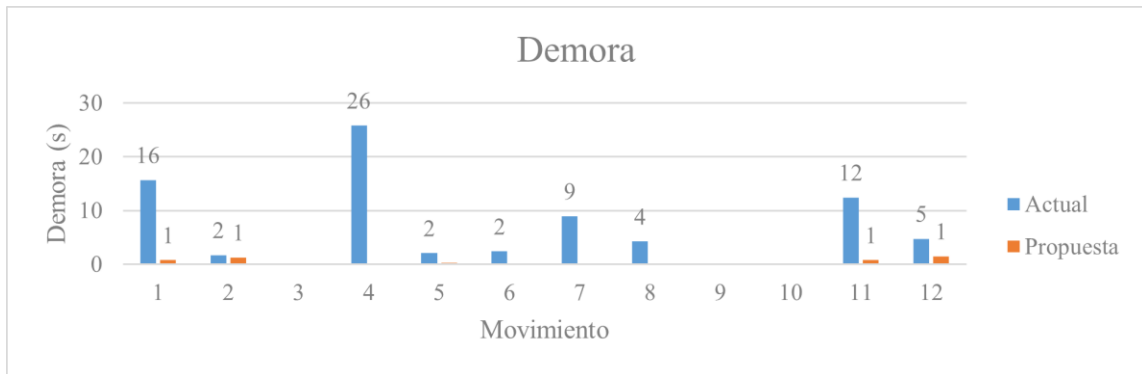
**Fuente:** Elaboración propia

Analizando los tiempos de demora y longitudes de cola para el Punto 7 (Av. La Paz) se tiene mejoras en demoras de hasta 13 segundos para ciertos movimientos, puntualmente

el movimiento (8) que pertenece al cruce de frente desde la Av. La Paz “subida”. Las longitudes de cola donde se puede observar una mejora en el movimiento (7,8,9) de 144.6m "La longitud de cola antes de implementar la propuesta de mejora era de 16.0 metros, y después de la mejora, se redujo a 3.3 metros." donde los vehículos se encuentran detenidos en el acceso (2) (sentido de subida Av. La Paz) mejorando así su Nivel de Servicio C a Nivel de Servicio B para este acceso. Consultar planos de anexos para la propuesta de flujo que mejora las condiciones de circulación de la intersección.

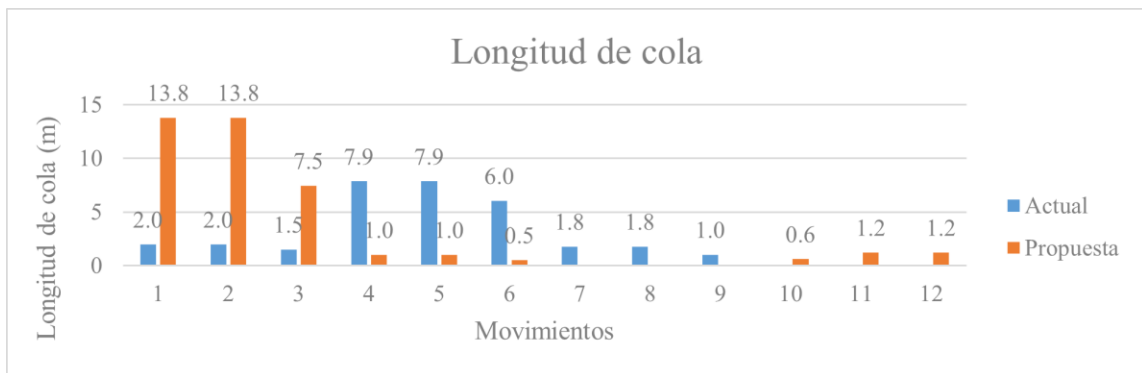
#### 4.2.7. Análisis Punto 8: Av. Circunvalación, Av. Gran Chaco

**Figura 138.** Demora Situación Actual-Propuesta Av. Gran Chaco-Av. Delio Echazu



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 139.** Longitud de cola Situación Actual-Propuesta Av. Gran Chaco



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 140.** Comparativa Situación Actual-Propuesta Av. Gran Chaco

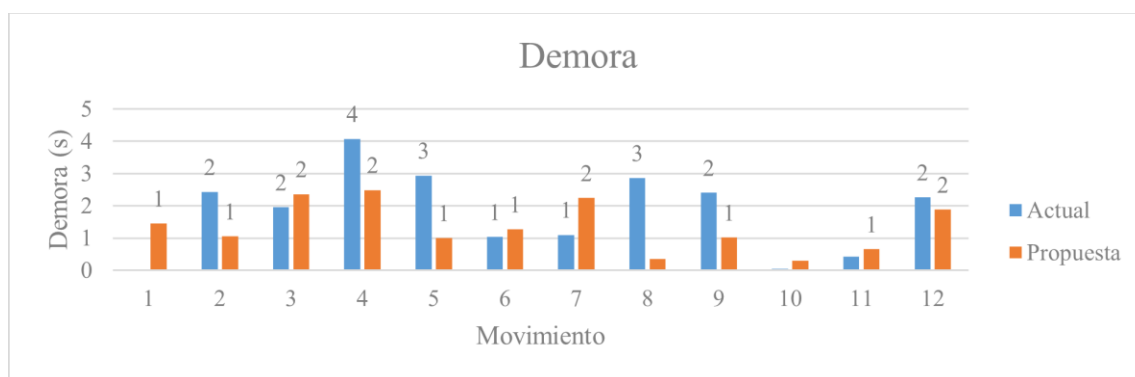
|                  | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Actual</b>    | D        | B        | F        | C        |
| <b>Propuesta</b> | A        | A        | A        | A        |
| <b>Veh Aforo</b> | 1243     | 357      | 869      | 251      |

**Fuente:** Elaboración propia

Analizando los tiempos de demora y longitudes de cola para el Punto 8 (Av. Gran Chaco) se tiene mejoras en demoras de hasta 26 segundos para el movimiento (4) que pertenece al giro a la izquierda desde la Av. Circunvalación “subida”. Las longitudes de cola donde se puede observar una mejora en el movimiento (4,5,6) de 6.9 "La longitud de cola antes de implementar la propuesta de mejora era de 7.9 metros, y después de la mejora, se redujo a 3.3 metros." donde los vehículos se encuentran detenidos en el acceso (2) (sentido de subida Av. Delio Echazú) mejorando así su Nivel de Servicio B a un Nivel de Servicio A para este acceso, si bien existe una longitud de cola para el acceso 1 de 13.8m esto se debe al alto volumen de tráfico vehicular de 1243 veh/h. Consultar planos de anexos para la propuesta de flujo que mejora las condiciones de circulación de la intersección.

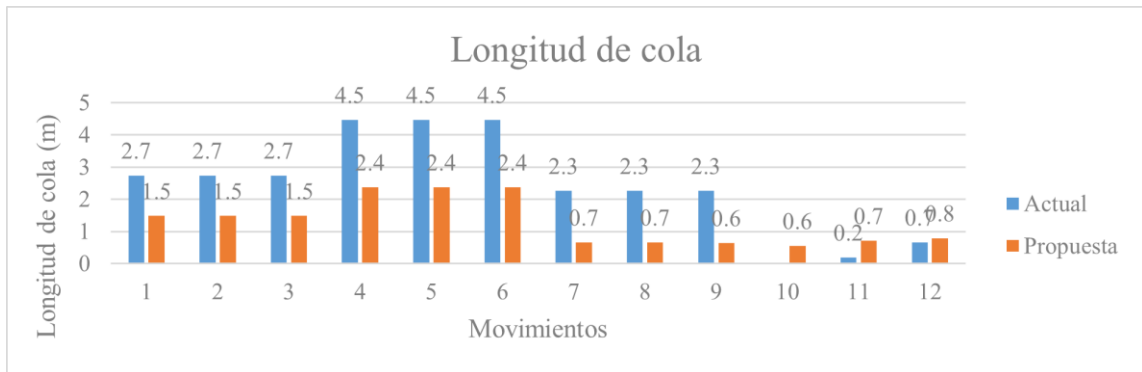
#### 4.2.8. Análisis Punto 9: Av. Circunvalación, Av. Gamoneda

**Figura 141.** Demora Situación Actual-Propuesta Av. Gamoneda



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 142.** Longitud de cola Situación Actual-Propuesta Av. Gamoneda



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 74.** Comparativa Situación Actual-Propuesta Av. Gamoneda

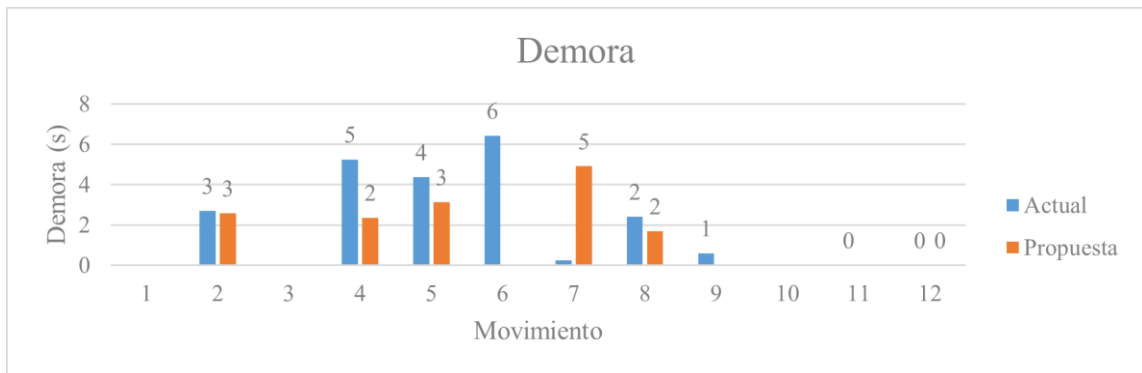
|                  | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Actual</b>    | B        | B        | B        | A        |
| <b>Propuesta</b> | A        | A        | A        | A        |
| <b>veh/h</b>     | 623      | 412      | 772      | 331      |

**Fuente:** Elaboración propia

Analizando los tiempos de demora y longitudes de cola para el Punto 9 (Av. Gamoneda) se tiene mejoras en demoras de hasta 3 segundos para el movimiento (8) que pertenece al cruce de frente de la Av. Gamoneda “subida” acceso (2). Las longitudes de cola donde se puede observar una mejora en el movimiento (4,5,6) de 2.1 "La longitud de cola antes de implementar la propuesta de mejora era de 4.5 metros, y después de la mejora, se redujo a 2.4 metros." donde los vehículos se encuentran detenidos en el acceso (2) (sentido de subida Av. Gamoneda) mejorando así su Nivel de Servicio B a un Nivel de Servicio A para este acceso. Consultar planos de anexos para la propuesta de flujo que mejora las condiciones de circulación de la intersección.

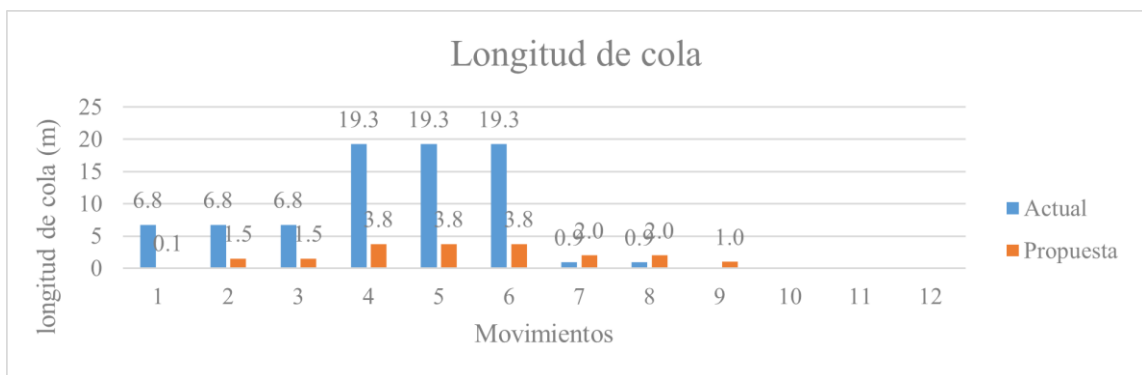
#### 4.2.9. Análisis Punto 10: Av. Circunvalación, Av. Monseñor Font

**Figura 143.** Demora Situación Actual-Propuesta Av. Monseñor Font



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 144.** Longitud de cola Situación Actual-Propuesta Av. Monseñor Font



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 75.** Comparativa Situacion Actual-Propuesta Av. Monseñor Font

|                  | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 |
|------------------|----------|----------|----------|
| <b>Actual</b>    | A        | A        | B        |
| <b>Propuesta</b> | A        | A        | A        |
| <b>Veh Aforo</b> | 664      | 350      | 658      |

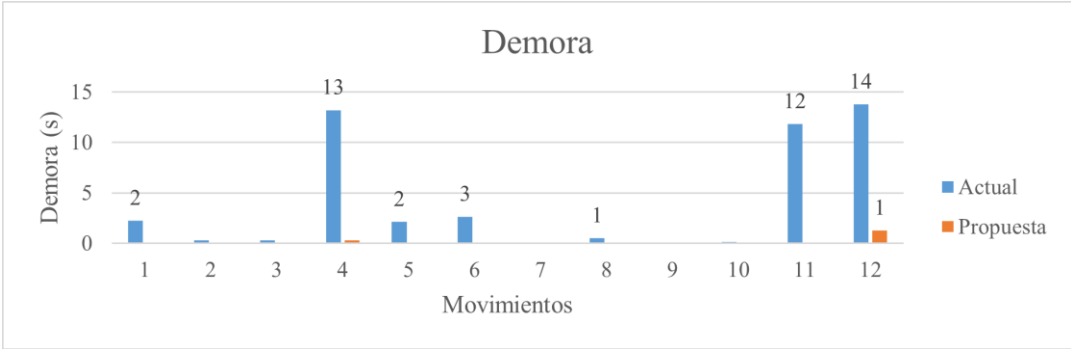
**Fuente:** Elaboración propia

Analizando los tiempos de demora y longitudes de cola para el Punto 10 (Av. Monseñor Font) se tiene mejoras en demoras de hasta 6 segundos para el movimiento (6) que pertenece al giro a la derecha desde la Av. Circunvalación “subida” acceso (3). Las longitudes de cola donde se puede observar una mejora en el movimiento (4,5,6) de 15.5 metros "La longitud de cola antes de implementar la propuesta de mejora era de 19.3 metros, y después de la mejora, se redujo a 3.8 metros". donde los vehículos se encuentran detenidos en el acceso (2) (sentido de subida Av. Monseñor Font) manteniendo el Nivel

de Servicio A y mejorando la longitud de cola. Consultar planos de anexos para la propuesta de flujo que mejora las condiciones de circulación de la intersección.

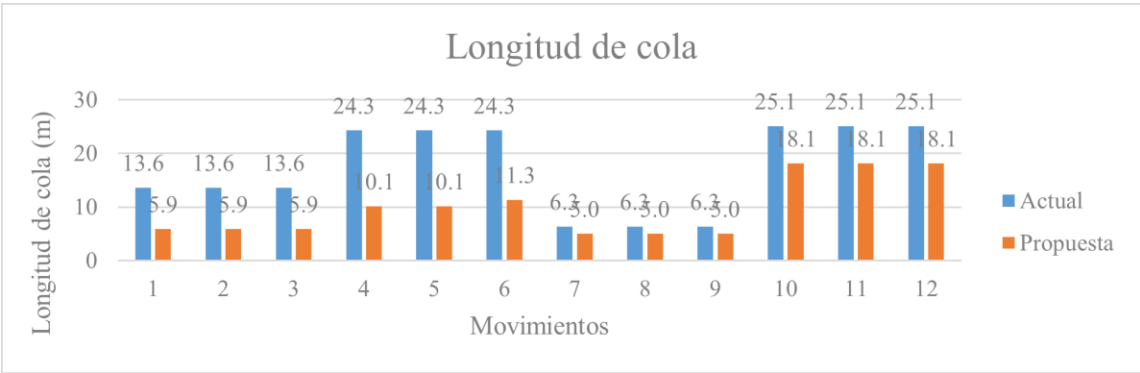
4.2.10. Análisis Punto 11: Av. Circunvalación, Av. Romero

Figura 145. Demora Situación Actual-Propuesta Av. Romero



Fuente: Elaboración propia

Figura 146. Longitud de cola Situación Actual-Propuesta Av. Romero



Fuente: Elaboración propia

Tabla 76. Comparativa Situación Actual-Propuesta Av. Romero

|           | Acceso 1 | Acceso 2 | Acceso 3 | Acceso 4 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Actual    | A        | A        | C        | A        |
| Propuesta | A        | A        | A        | A        |
| veh/h     | 693      | 254      | 673      | 312      |

Fuente: Elaboración propia

Analizando los tiempos de demora y longitudes de cola para el Punto 11 (Av. Romero) se tiene mejoras en demoras de hasta 13 segundos para los movimientos (4,12) que pertenece al giro a la izquierda desde la Av. Circunvalación “subida” acceso (3) hacia la Av. Romero y giro ala derecha desde la Av. Romero hacia a la Av. Circunvalación. Las longitudes de cola donde se puede observar una mejora en el movimiento (4,5,6) de 24.2 m "La longitud

de cola antes de implementar la propuesta de mejora era de 25.1 metros, y después de la mejora, se redujo a 3.8 metros". donde los vehículos se encuentran detenidos en el acceso (3) (sentido de subida Av. Circunvalación) mejorando el Nivel de Servicio C y mejorando su Nivel de Servicio A. Consultar planos de anexos para la propuesta de flujo que mejor las condiciones de circulación de la intersección.

#### 4.3. Análisis de Resultados de la Correlación HCM 2010-PTV VISSIM

**Tabla 77.** Correlacion de Intersecciones

| Punto | Intersección de Análisis                                 | Correlación |
|-------|----------------------------------------------------------|-------------|
| 8     | Av. Circunvalación, Av. Gran Chaco y Julio Delio Echazú. | -0.488      |
| 2-3   | Av. Circunvalación, Calle Pando-Ayoroa                   | 0.440       |
| 6     | Av. Circunvalación, Av. 4 de octubre y Santo Domingo     | -0.394      |
| 1     | Av. Circunvalación, Av. Colón                            | 0.381       |
| 4     | Av. Circunvalación, Av. San Bernardo.                    | -0.343      |
| 11    | Av. Circunvalación, Av. Romero                           | -0.324      |
| 5     | Av. Circunvalación, Calle Santa Cruz.                    | 0.311       |
| 9     | Av. Circunvalación, Av. Gamoneda.                        | -0.293      |
| 10    | Av. Circunvalación, Av. Font                             | -0.191      |
| 7     | Av. Circunvalación, Av. La Paz.                          | 0.091       |

**Fuente:** Elaboración propia

Analizando a la correlación de las intersecciones de los 11 puntos de análisis cada cual con sus 12 movimientos vehiculares (excepción del Punto 10 Intersección Av. Monseñor Font), la intersección del Punto 8 Intersección de la Av. Gran Chaco y Av. Julios Delio Echazú cuenta con el mayor valor de correlación por demoras siendo -0.488 una correlación negativa. Para una correlación positiva el Punto combinado 2-3 tiene una correlación de 0.440, ambos valores superiores, la correlación de la Metodología HCM 2010 y un modelo de microsimulación (PTV VISSIM) connota que no se encuentran relacionados los resultados entre sí mostrados en la **Tabla 77**.

**Tabla 78.** Correlación por longitud de cola

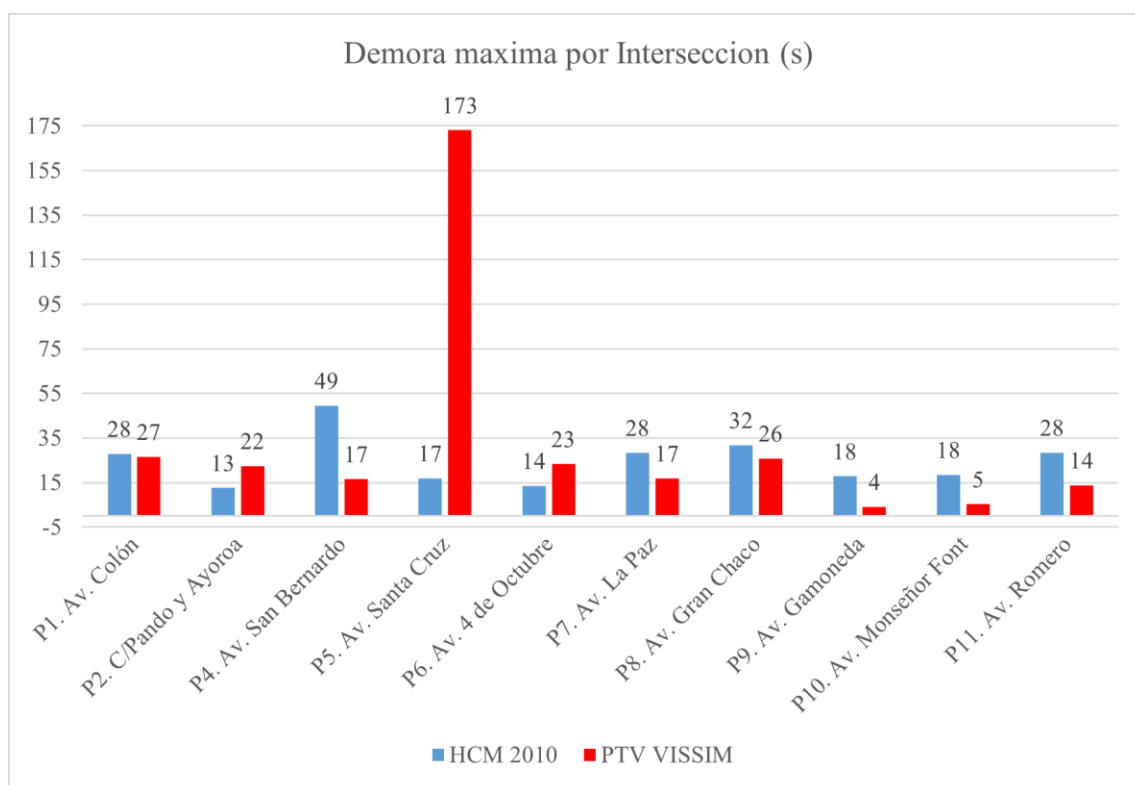
| Punto | Intersección de Análisis              | Correlación |
|-------|---------------------------------------|-------------|
| 1     | Av. Circunvalación, Av. Colón         | 0.996       |
| 5     | Av. Circunvalación, Calle Santa Cruz. | 0.979       |
| 11    | Av. Circunvalación, Av. Romero        | 0.973       |
| 7     | Av. Circunvalación, Av. La Paz.       | 0.889       |

|     |                                                          |        |
|-----|----------------------------------------------------------|--------|
| 4   | Av. Circunvalación, Av. San Bernardo.                    | 0.877  |
| 9   | Av. Circunvalación, Av. Gamoneda.                        | 0.785  |
| 2-3 | Av. Circunvalación, Calle Pando-Ayoroa                   | 0.721  |
| 8   | Av. Circunvalación, Av. Gran Chaco y Julio Delio Echazú. | 0.683  |
| 10  | Av. Circunvalación, Av. Font                             | 0.205  |
| 6   | Av. Circunvalación, Av. 4 de octubre y Santo Domingo     | -0.143 |

**Fuente:** Elaboración propia

Correlacionando los resultados de la longitud de cola mediante aforos en campo vs longitud de cola mediante la microsimulación (PTV VISSIM) donde el 80% de la intersección es mayor a 0.5, para intersecciones de una correlación alta, se encuentra a Intersección Av. Colón 0.996 lo que hace que se encuentre es uno de los extremos (1 o -1) qué cual hace que sea una correlación fuerte.

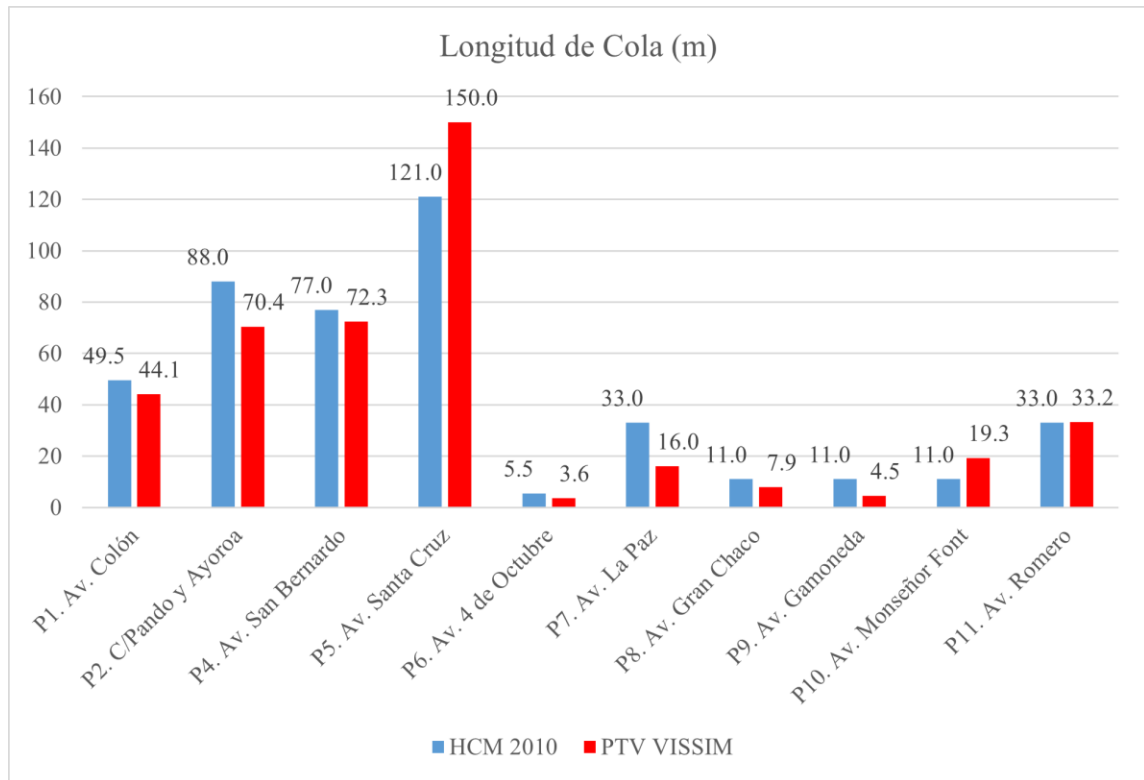
**Figura 147.** Demora máxima por intersecciones



**Fuente:** Elaboración propia

En la **Figura 147** se muestra que las demoras obtenidas por la metodología HCM 2010 y un modelo de microsimulación presentan un gran margen de diferencia entre sí, el que más se destaca es la Intersección de la Av. Santa Cruz

**Figura 148.** Longitudes maxima de cola por intersecciones



**Fuente:** Elaboración propia

Si bien las longitudes de cola no presentan un gran margen de diferencia entre resultados intersecciones como la Av. Santa Cruz la longitud de cola mediante la metodología HCM2010 los 121.0 m pertenecen al movimiento (7,8,9) acceso (2)

**Tabla 79.** Niveles de Servicio por Intersecciones Correlación HCM2010-PTV VISSIM

| Intersección           | HCM 2010 | Mov | PTV VISSIM | Mov |
|------------------------|----------|-----|------------|-----|
| P1. Av. Colón          | D        | NB  | D          | 8   |
| P2. C/Pando y Ayoroa   | B        | 7   | E          | 4   |
| P4. Av. San Bernardo   | E        | NB  | D          | 1   |
| P5. Av. Santa Cruz     | C        | SB  | D          | 7   |
| P6. Av. 4 de octubre   | B        | 11  | D          | 1   |
| P7. Av. La Paz         | D        | SB  | C          | 8   |
| P8. Av. Gran Chaco     | D        | 7   | E          | 4   |
| P9. Av. Gamoneda       | C        | NB  | B          | 4   |
| P10. Av. Monseñor Font | B        | NB  | B          | 4   |
| P11. Av. Romero        | D        | NB  | D          | 12  |

NB: aproximación en dirección norte (Mov 7,8,9)

SB: aproximación en dirección Sur (Mov 10,11,12)

**Fuente:** Elaboración propia

Los Niveles de Servicio de la Correlación en situaciones como el Punto 1 tanto como en la metodología HCM2010 el Nivel de Servicio es D y para un modelo de microsimulación (PTV VISSIM) el nivel de servicio es D, para la metodología HCM2010 pertenece al movimiento NB y para el modelo de microsimulación pertenece al movimiento 8, para las demás situaciones donde los Niveles de Servicio son diferentes, para el punto 10 el Nivel de Servicio es B, sin embargo; para la metodología HCM2010 el Nivel de Servicio B corresponde a la aproximación en dirección Norte (NB) y en la situación del modelo de microsimulación es el movimiento 4 (giro ala izquierda desde la Av. Circunvalación) dirección Nor-Oeste. Por lo tanto, la correlación de ambas metodologías arroja resultados diferentes para cada intersección.

#### 4.4. Análisis de resultados de la Propuesta de Flujo

**Tabla 80.** Resultados de Nivel de Servicio antes y despues

| <b>Intersección</b>    | <b>Actual</b> | <b>Propuesta</b> |
|------------------------|---------------|------------------|
| <b>P1. Av. Colón</b>   | D             | B                |
| P2. C/Pando y Ayoroa   | E             | C                |
| P4. Av. San Bernardo   | D             | D                |
| P5. Av. Santa Cruz     | F             | C                |
| P6. Av. 4 de octubre   | D             | B                |
| P7. Av. La Paz         | C             | B                |
| P8. Av. Gran Chaco     | E             | A                |
| P9. Av. Gamoneda       | B             | A                |
| P10. Av. Monseñor Font | B             | A                |
| P11. Av. Romero        | C             | A                |

**Fuente:** Elaboración propia

Los resultados obtenidos de la microsimulación mediante software (PTV VISSIM) muestran una mejora en los Niveles de Servicio para los 11 puntos de análisis

**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

En este proyecto se realizó el análisis del comportamiento vehicular de las intersecciones críticas de la avenida Circunvalación. Se aplicó la metodología HCM2010 y en simultaneo la correlación a un modelo de microsimulación del tráfico para el cual se empleó el software PTV VISSIM.

La recolección de información y el procesamiento de datos permitió identificar movimientos conflictivos que generan problemas de aglomeración lo que dio lugar al desarrollo de las diferentes alternativas propuestas para mejorar la circulación del flujo vehicular existente.

La verificación del ajuste de la Metodología HCM 2010 en los 11 puntos de estudio permitió concluir que no existe una correlación aceptable, siendo -0.488 y 0.44 los valores con mayor correlación de demoras por intersección. Los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología HCM2010 no se correlacionan entre la metodología HCM 2010 a un modelo de microsimulación PTV VISSIM.

En cuanto a los resultados de la correlación de la longitud de cola de la microsimulación y la longitud de cola en campo dando un valor de 0.996, por lo cual se decidió utilizar la aplicación de un modelo de microsimulación para desarrollar la propuesta basada en la situación actual.

La aplicación de la metodología HCM2010 permitió determinar que las intersecciones de la Avenida Circunvalación con: Calle Pando y Ayoroa, Avenidas 4 de Octubre, Santo Domingo y Monseñor Font, corresponde a un Nivel de Servicio B; las Avenidas Santa Cruz y Gamoneda a un Nivel de Servicio C; las Avenidas Colón, La Paz, Gran Chaco y Romero a un Nivel de Servicio D y la Avenida San Bernardo a un Nivel de Servicio E.

Por su parte de la microsimulación empleando el software PTV VISSIM se determinó que la intersección de las Avenida Circunvalación con: las Avenidas Gamoneda y Monseñor Font corresponden a un Nivel de Servicio B; la Avenida La Paz a un Nivel de Servicio C;

las Avenidas Colón, San Bernardo, Santa Cruz y 4 de Octubre a un Nivel de servicio D; en tanto que las Calles Pando y Avenida Ayora y Avenida Gran Chaco corresponde a un Nivel de Servicio E.

La recopilación de las condiciones geométricas en los puntos de estudio permitió establecer que la calle principal cuenta con anchos de calzada ideales según la norma HCM 2010, esto es 12 pies (3,60 m) por carril, en tanto que la distancia lateral de obstáculo o acera es de 6 pies o 1,8 m. El ancho de carril de la Av. Circunvalación es constante, cuenta con 7,5 m y está formado por dos carriles en cada sentido separados por una medianera de 5,0 m.

Respecto a la geometría de los accesos se determinaron las dimensiones máxima y mínima para el ancho de calzada, siendo 13 y 6 m respectivamente.

Por su parte la composición vehicular está constituida por vehículos livianos en un 93,97 %, vehículos medianos en un 3,61% y vehículos pesados en un 2,42%. Para la zona en estudio se determinó que existen pendientes mayores al 6 %.

El aforo vehicular permitió realizar el estudio de flujo vehicular circundante en la Av. Circunvalación, esto dio como resultado un volumen máximo de 1493 veh/h en sentido noroeste (subida) y 1443 veh/h en sentido sureste (bajada) y un mínimo de 623 veh/h y 658 veh/h respectivamente.

Es importante aclarar que el desarrollo del análisis mencionado se realizó en un contexto de condiciones “normales” lo cual no garantiza que los resultados obtenidos no han sido afectados por factores que pudieran generar incidentes de tránsito, por ejemplo: inclemencias climáticas, entre otras.

Se determinaron los movimientos en conflicto mediante la aplicación de una micro simulación, los resultados muestran que los movimientos que generaron mayor nivel de servicio para cada una de las intersecciones con ingreso hacia la Av. Circunvalación fueron a) ingreso desde Av. Colón proveniente del centro de la ciudad en dirección Norte, maniobra de frente; b) ingreso desde Av. Santa Cruz en dirección noreste, maniobra giro a la derecha; c) ingreso desde Av. La Paz en dirección noreste, maniobra de cruce de frente. En tanto que las intersecciones desde la Av. Circunvalación que generaron mayor

nivel de servicio fueron, d) movimiento de giro (subida) hacia Pando y Av. Ayoroa, giro a la izquierda; e) ingreso hacia el barrio San Bernardo por su avenida principal en dirección noreste, maniobra de giro a la izquierda; f) ingreso a Av. Santo Domingo, maniobra giro a la izquierda, g) movimiento de giro sobre la rotonda hacia la salida de Av. J. Echazu en dirección sureste, maniobra giro a la izquierda, h) ingreso hacia Av. Gamoneda en dirección sureste, maniobra giro a la izquierda, i) ingreso hacia Av. Monseñor Font en dirección sureste, maniobra giro a la izquierda, j) ingreso hacia Av. Romero en dirección sureste, maniobra giro a la izquierda.

La señalización horizontal en los puntos de estudio es deficiente o directamente no existe ya que solo se cuenta con algunas sendas peatonales en mal estado, mientras que la señalización vertical es insuficiente en los ingresos para calles secundarias.

Se realizó una simulación de tráfico en los 11 puntos de análisis correspondientes a las intersecciones críticas de la avenida Circunvalación. En cada intersección, se implementaron estrategias de mejora de flujo mediante la señalización horizontal y vertical. Estas mejoras incluyeron la optimización de los tiempos semafóricos, la adición de carriles dedicados para giros y la mejora de la señalización para guiar de manera más efectiva a los conductores.

Los resultados de la simulación mostraron que los niveles de servicio en cada una de las intersecciones mejoraron notablemente, como se muestra a continuación:

1. Intersección Av. Colón se logró a través de la sincronización semafórica reducir significativamente la congestión, se optó por la señalización para una correcta selección y circulación por los carriles dentro de la rotonda por la que circulan y mejorando el flujo de acceso.
2. Intersección Calle Pando y Av. Ayoroa: la instalación de señales como prohibición de bloqueo de cruce, giros dedicados y la implementación del ensanchamiento de un carril exclusivo de giro izquierdo, hace que se mejore el nivel de servicio, los cuales tienen como fin guiar a los conductores, reduciendo los puntos de conflictos y mejorando así el flujo vehicular.
3. Intersección Av. San Bernardo: la optimización y ampliación de la duración de fase del semáforo, instalación de señales horizontales y la demarcación de

continuidad para la circulación dentro de los accesos 1,2 y 3, dieron como resultado un incremento de tiempo de demora, de 7 s a 36 s para el acceso 2, sin embargo esto no ocasiona un impacto negativo dado que el volumen de circulación de vehículos en este acceso es mínimo (151 veh/h) , en cambio sí permitió mejorar notablemente las condiciones del acceso 1 respecto a su tiempo de demora y longitud de cola.

4. Intersección Av. Santa Cruz: la implementación de señalización accionada (semáforo accionado por sensores) instalado en el acceso, donde se presentan demoras de 173 s y una longitud de cola de 150 m, permite mejorar el flujo vehicular ya que, si bien esta situación no ocurre de forma constante, sino que se da en los momentos de mayor tránsito y dura alrededor de 15 min, es capaz de generar un congestionamiento que ocasione un nivel de servicio F. La aplicación de las estrategias propuestas reduce las demoras a 3 s y a una longitud de cola de 5.4 m en esta intersección, logrando un nivel de servicio C. Así mismo la instalación de señalización horizontal, prohibición de bloqueo de cruce y ceda el paso, contribuyen a la mejora del nivel de servicio.
5. Intersección Av. 4 de Octubre: la implementación de señalización horizontal como demarcación de carriles, prohibición de bloqueo de cruce y señales de PARE lo cual condiciona el flujo vehicular, mejoró las demoras de 23 s a 1 s en el acceso a Av. Circunvalación y la reducción de la longitud de cola de 3.6 m a 0 m en el acceso a Av. 4 de Octubre
6. Intersección Av. La Paz: la implementación de señalización horizontal como ser: La demarcación de carriles y prohibición de bloqueo de cruce mejoró la circulación y el flujo vehicular del acceso a Av. La Paz en sentido de este a norte.
7. Intersección Av. Gran Chaco: la implementación de una señalización horizontal que divida en tres carriles a la calzada dentro de la rotonda, con un ancho de 3.70 m de carril, una correcta selección de carriles mejoró las demoras para el acceso a Av. J. D. Echazú. Si bien la cola para el acceso de Av. Circunvalación se incrementó, las demoras para el acceso en cuestión son de solo 16 s generando así un flujo de tráfico más fluido y una mejora de nivel de servicio de E a A.

8. Intersección Av. Gamoneda: la implementación de señalización de bloqueo de cruce gestionó correctamente la circulación y flujo vehicular, mejorando así el nivel de servicio para los accesos 1, 2 y 3 de B a A.
9. Intersección Av. Monseñor Font: la implementación de señales horizontales y demarcación de circulación de flujo para su correcta selección de carriles mejoró el nivel de servicio del acceso de Av. Circunvalación en dirección de sureste a noroeste.
10. Intersección Av. Romero: la implementación de una señalización horizontal de demarcación de carriles, línea de alto, ceda el paso para los ingresos, generó la mejora del acceso de Av. Circunvalación en dirección sureste a noroeste.

Estas intervenciones condujeron a una notable mejora en el nivel de servicio en cada una de las intersecciones críticas, optimizando el flujo vehicular y proporcionando una mayor seguridad y confort para los conductores en la zona.

## 5.2. Recomendaciones

Se recomienda la no aplicación de la metodología HCM2010 dado que la correlación no resultó aceptable para el análisis operacional de la Av. Circunvalación. Si bien la condición de ancho se cumple para la calle principal, esto no ocurre para las calles secundarias, donde se tienen dimensiones inferiores a las ideales en algunos casos, además en ciertas intersecciones las pendientes exceden el 6 % establecido en el manual. Así mismo el manual no menciona como debería ser el análisis para aquellas intersecciones que presenten zona de parqueo para el tránsito de vehículos de servicio público, en este sentido el HCM2010 tiene procedimientos limitados para evaluar sistemas complejos, como es el caso de Avenida Circunvalación.

Si bien el HCM2010 ha sido desarrollado para EEUU, en su capítulo 17 indica que también es posible su aplicación en intersecciones urbanas. Por lo tanto, se recomienda realizar los ajustes necesarios en los factores de corrección para calcular los flujos conflictivos, flujos conflictivos para movimientos en U y movimientos desde las calles secundarias en la zona de estudio requerida.

Se recomienda realizar la simulación de tráfico mediante el software PTV VISSIM para desarrollar propuestas de mejora del flujo vehicular, ya que al ser una simulación microscópica permite un análisis con mayor precisión y la incorporación de detalles geométricos de la vía como ser pendientes, anchos de calzada, composición vehicular y condiciones de circulación, entre otros.

Es necesario restringir el horario de circulación de vehículos pesados que cuenten con un largo mayor al paso de las intersecciones, ya que estos entorpecen y generan demoras para los vehículos que se encuentran por detrás y en situación aún más extrema estos vehículos se detienen en plena intersección.

Resulta indispensable realizar la señalización vertical, horizontal y a su vez definir un mantenimiento periódico de la señalización para las intersecciones críticas

Es sumamente importante planificar y realizar campañas de concientización de educación vial para informar la implementación de la señal de prohibido BLOQUEO DE CRUCE, ya que los conductores tienen desconocimiento de las normas básicas de tránsito, razón

por la cual se incrementan aún más los problemas de congestionamiento al ignorar señales de luz roja en los semáforos, pasos peatonales, señales de ALTO o PARE, CEDA EL PASO.