



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Análisis de seguridad vial usando modelos de simulación en VISSIM y Surrogate Safety Assessment Model en la implementación de Planes de Manejo de Tránsito en la ciudad de Bogotá.**

**Cristian Esteban Naizaque Cañón**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola  
Bogotá D.C., Colombia  
2024



# **Análisis de seguridad vial usando modelos de simulación en VISSIM y Surrogate Safety Assessment Model en la implementación de Planes de Manejo de Tránsito en la ciudad de Bogotá.**

**Cristian Esteban Naizaque Cañón**

Trabajo final de maestría presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ingeniería - Transporte**

Director:

Ms.C. Mario Javier Cardozo Chaux

Línea de Investigación:

Seguridad Vial, Modelación de Tránsito, Técnicas de conflictos de Tránsito

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá D.C., Colombia

2024



*A mis hijos*

*“Tu visión devendrá más clara solamente  
cuando mires dentro de tu corazón...”*

*Aquel que mira afuera sueña.*

*Quién mira en su interior, despierta.”*

*Carl Gustav Jung*



## **Agradecimientos**

A mis seres queridos: a mi esposa Alba Johana Castillo Rodríguez por motivarme y acompañarme en este proceso con amor y paciencia, a mis hijos Nicolás y Martina por ser el motor de mi vida y a mis demás familiares por impulsarme a continuar.

Al ingeniero M. Sc, PhD Lenin Alexander Bulla Cruz por todo el apoyo, acompañamiento, y asesorías brindadas para poder desarrollar este trabajo de grado; Al Ingeniero M.Sc. Mario Javier Cardozo Chau, director del trabajo de maestría por su guía en el desarrollo de este trabajo a los Profesores de la Maestría en Ingeniería - Transporte de la Universidad Nacional de Colombia por su aporte en el proceso de formación.



## Resumen

### **Análisis de seguridad vial usando modelos de simulación en VISSIM y Surrogate Safety Assessment Model en la implementación de Planes de Manejo de Tránsito en la ciudad de Bogotá.**

El objetivo principal de este trabajo fue plantear una metodología para realizar análisis de seguridad vial a través de conflictos de tránsito generados por el programa SSAM con los archivos de salida de un modelo calibrado en el programa VISSIM. Se analizaron 4 horas de información correspondientes a las horas de máxima de demanda en periodo am y periodo pm para un escenario base y otro escenario con un PMT implementado en una intersección semaforizada en la ciudad de Bogotá. La metodología planteada satisface los requerimientos establecidos por la secretaría distrital de Movilidad, la cual es el ente regulador que revisa y aprueba estos trámites. Se compararon los conflictos generados en el escenario base con los generados en la implementación del PMT y se obtuvo un incremento entre el 740% y 790% de conflictos siendo el tipo más afectado el conflicto por alcance. Adicionalmente el programa SSAM genera las medidas sustitutas para poder realizar el análisis del impacto generado con la implementación de un PMT. Se evaluó: el Tiempo de colisión (TTC), Tiempo posterior a la invasión (PET), velocidad máxima (MaxS), Diferencia en las velocidades de los vehículos (DeltaS) y la Tasa de desaceleración inicial (DR). Se presentan las gráficas con los resultados obtenidos donde se evidencia el impacto de implementar un plan de manejo de tránsito en la ciudad de Bogotá.

**Palabras clave: Conflictos de tránsito, micro simulación, seguridad vial, Modelo sustituto de evaluación de seguridad (SSAM)**

- X Análisis de seguridad vial usando modelos de simulación en VISSIM y SSAM en la implementación de Planes de Manejo de Tránsito en la ciudad de Bogotá.
- 

## **Abstract**

### **Road safety analysis using simulation models in VISSIM and Surrogate Safety Assessment Model in the implementation of Traffic Management Plans in the city of Bogotá.**

The main objective of this work was to propose a methodology for conducting road safety analyses through traffic conflicts generated by the SSAM program using output files from a calibrated model in the VISSIM program. Four hours of information corresponding to peak demand hours in the morning and evening periods were analyzed for a base scenario and another scenario with a PMT implemented at a signalized intersection in the city of Bogotá. The proposed methodology meets the requirements established by the District Mobility Secretariat, which is the regulatory body that reviews and approves these procedures. Conflicts generated in the base scenario were compared with those generated in the PMT implementation scenario, revealing an increase between 740% and 790% in conflicts, with rear-end conflicts being the most affected type. Additionally, the SSAM program generates substitute measures to analyze the impact of implementing a PMT. The following were evaluated: Time to Collision (TTC), Post Encroachment Time (PET), Maximum Speed (MaxS), Difference in Vehicle Speeds (DeltaS), and Initial Deceleration Rate (DR). Graphs presenting the results obtained are provided, highlighting the impact of implementing a traffic management plan in the city of Bogotá.

**Keywords: Traffic Conflicts, Micro simulation, road safety, Surrogate safety assessment model SSAM.**

# Contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Marco de Referencia: Siniestralidad, conflictos de tránsito y modelación.....</b>	<b>1</b>
1.1 Diagnóstico de Siniestralidad Vial .....	1
1.1.1 Situación Mundial y Nacional .....	1
1.1.2 Diagnóstico en Bogotá.....	4
1.1.3 Causas de la Siniestralidad .....	7
1.2 Planes de Manejo de Tránsito .....	9
1.2.1 Análisis de Tránsito y modelación.....	10
1.2.2 Siniestralidad y Análisis de Seguridad Vial. ....	11
1.3 Modelación de tránsito y simulación de conflictos .....	12
1.3.1 PTV VISSIM .....	12
1.3.2 Surrogate Safety Assessment Model SSAM .....	13
1.4 Conflictos de Tránsito.....	15
1.5 Medidas sustitutas de seguridad Vial .....	20
<b>2. Metodología aplicada para el análisis de seguridad vial.....</b>	<b>24</b>
2.1 Planeación y toma de información escenario base.....	26
2.1.1 Recopilación de Información Secundaria. ....	26
2.1.2 Histórico de siniestralidad .....	26
2.2 Variables Físicas .....	29
2.2.1 Inventario Vial.....	29
2.3 Variables Operacionales .....	31
2.3.1 Dispositivos de control.....	31
2.3.2 Volúmenes vehiculares.....	31
2.4 Variables Comportamentales .....	35
2.5 Determinación Hora de Máxima Demanda AM/PM .....	36
2.6 Construcción de la Geometría en Vissim.....	36
2.6.1 Escenario Base.....	36
2.7 Variables de Tránsito .....	37
2.7.1 Asignación escenario base. ....	37
2.7.2 Controladores semafóricos .....	37
2.7.3 Velocidades del corredor .....	39
2.8 Variables de Comportamiento .....	40
2.9 Calibración de modelos de simulación de Tránsito.....	41
2.9.1 Calibración escenario base.....	41
2.10 Calibración de escenario con PMT .....	44
2.10.1 Escenario con Plan de Manejo de Tránsito.....	45
2.11 Generación de conflictos.....	49
2.12 Análisis de medidas sustitutas de seguridad vial.....	52

**3. Conclusiones y recomendaciones ..... 57**  
3.1 Conclusiones ..... 57  
3.2 Recomendaciones ..... 58

## Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1 Serie histórica de fallecidos para el periodo enero – diciembre en Colombia.....	2
Figura 1-2 Fallecidos según rango de edad y sexo para el año 2021.....	3
Figura 1-3 Fallecidos según tipo de usuario por año - 2016-2021 .....	4
Figura 1-4 Serie histórica fallecidos 2016 – 2021 – Bogotá D.C.....	4
Figura 1-5 Fallecidos según rango de edad y sexo año 2021 – Bogotá D.C. ....	5
Figura 1-6 Fallecidos según tipo de usuario y rango de edad año 2021 – Bogotá. ...	5
Figura 1-7 Fallecidos según mes de ocurrencia al año 2016-2021 – Bogotá. ....	6
Figura 1-8 Causa probable de fallecidos por siniestros viales 2016 - 2018 .....	8
Figura 1-9 Riesgo de Fatalidad en peatones, según velocidad de impacto del vehículo.....	9
Figura 1-10 Conflictos en intersecciones .....	15
Figura 1-11 Jerarquía en la severidad de un conflicto.....	16
Figura 1-12 Diagrama para estimar la severidad de un conflicto.....	17
Figura 1-13 Diagrama de ángulo límite para diferenciar conflictos en SSAM.....	19
Figura 1-14 Diagrama Tiempo – Espacio de un conflicto .....	21
Figura 2-1 Proceso para obtención de medidas sustitutas por medio de SSAM.....	24
Figura 2-2 Diagrama de Flujo metodología .....	25
Figura 2-3 Total de siniestros por gravedad y por mes de ocurrencia entre 2017-2019 – en la intersección CII 100 x Ak 19.....	27
Figura 2-4 Total de siniestros por tipo y mes de ocurrencia entre 2017-2019 – en la intersección CII 100 x Ak 19 .....	28
Figura 2-5 Total de siniestros por tipo y por año de ocurrencia entre 2017-2019 – en la intersección CII 100 x Ak 19 .....	28
Figura 2-6 Localización intersección AV. CL 100 X AK. 19 .....	29
Figura 2-7 Movimientos Aforados Av. Congreso Eucarístico (Av. Calle 100) con Av. Santa Bárbara (Av. Carrera 19).....	31
Figura 2-8 Comportamiento y distribución Día típico.....	34
Figura 2-9 Comportamiento y distribución vehicular Día atípico .....	34
Figura 2-10 Generación de la geometría en Vissim .....	36
Figura 2-11 Zonas Origen – Destino modeladas .....	37
Figura 2-12 Planeamiento semafórico 1306 escenario base AM/PM .....	38
Figura 2-13 Muestra de toma de velocidades en el corredor. ....	39

<b>Figura 2-14 Configuración de Comportamiento del conductor .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 2-15 Punto de Calibración del Modelo .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 2-16 Esquema de la situación con PMT propuesto.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 2-17 Planeamiento semafórico con PMT .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 2-18 Datos de entrada SSAM – Escenario Base AM .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 2-19 Conflictos Generados escenario Base .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 2-20 Conflictos Generados escenario con PMT .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 2-21 Conflictos Generados escenario con PMT .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 2-22 Tiempo de Colisión .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 2-23 Tiempo Posterior a la Invasión.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 2-24 Velocidad Máxima de Conflicto.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 2-25 Diferencia de las velocidades de dos vehículos en conflicto .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 2-26 Tasa de desaceleración inicial .....</b>	<b>56</b>

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1-1: Análisis de tránsito Según clasificación vial y afectación.....</b>	<b>10</b>
<b>Tabla 1-2 Principales medidas sustitutas de la seguridad vial bajo la Técnica Americana de Conflictos de Tránsito .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 2-1 Caracterización AV. CL 100 entre TV 22 y AK 19 .....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 2-2 Caracterización semafórica CL 100 - AK 19 .....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 2-3 Volúmenes vehiculares Av Santa Bárbara (Carrera 19) con Av. Congreso Eucarístico (Calle 100). Día Típico .....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 2-4 Volúmenes vehiculares Av Santa Bárbara (Carrera 19) con Av. Congreso Eucarístico (Calle 100). Día atípico .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 2-5 Valores recomendados para la configuración de comportamiento del conductor en modelos en Vissim para Bogotá .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 2-6 Velocidades para los tramos analizados periodo MAÑANA .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 2-7 Velocidades para los tramos analizados periodo TARDE.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 2-8 Resultados Calibración para vehículos livianos, pesados y motos.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 2-9 Evaluación de nodos escenario base .....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 2-10 Desempeño de la red – escenario base.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 2-11 Tiempos de Viaje escenario base .....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 2-12 Evaluación de nodos escenario con PMT .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 2-13 Evaluación de nodos escenario con PMT .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 2-14 Cuadro comparativo parámetros de operación .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 2-15 Resumen comparativo de parámetros en ambos escenarios.....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 2-16 Resumen de conflictos generados en escenario Base y con PMT.....</b>	<b>51</b>



# Introducción

Los siniestros viales dejan 1,3 millones de personas muertas y 50 millones más heridas de gravedad en el mundo cada año. Estas cifras plantean un problema acuciante que demanda el esfuerzo de los gobiernos y administraciones, entidades no gubernamentales, y diferentes ramas de la ciencia en busca del estudio y disminución de este fenómeno, es por esto, que desde la seguridad vial se han desarrollado estudios, investigaciones, y metodologías que con el apoyo de la tecnología han logrado identificar variables medibles y cuantificables como un instrumento para la disminución de siniestros viales y eventos que generen los mismos.

Según datos del Observatorio Nacional de Seguridad vial, en la ciudad de Bogotá entre los años 2016 y 2021 se presentaron en promedio 499 fallecidos, de esta cifra se identificó que los hombres presentan un mayor aporte respecto de las mujeres con un 78.9% y 21.1% respectivamente, en cuanto al rango de edades, coincide que entre los 20 y 30 años se presenta mayor número de fallecidos en ambos sexos con un 42.3%, seguido por adultos con un 30.2%, adultos mayores con un 21.9%, jóvenes con un 5.3% y niños con un 0.4%, adicionalmente la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) informó que en los accidentes mortales, el exceso de velocidad fue el factor más predominante para los hombres en un 24 %, mientras que en las mujeres fue de un 15 %.

Por otro lado se debe tener en cuenta que las ciudades en desarrollo como Bogotá, en donde se ejecutan proyectos troncales para Transmilenio como la Av carrera 68 y Ciudad de Cali; proyectos como la línea de metro; o proyectos férreos como RegioTram de Occidente, deben garantizar a los usuarios condiciones de movilidad y seguridad a través del diseño, gestión y aprobación de planes de manejo de tránsito ante la Secretaria Distrital de Movilidad, donde se incluyen modelos de Micro simulación con programas específicos para tal fin. En este trabajo de grado se presenta una metodología para el análisis de conflictos de tránsito en la implementación de planes de manejo de tránsito a través de

## 2 Análisis de seguridad vial usando modelos de simulación en VISSIM y SSAM en la implementación de Planes de Manejo de Tránsito en la ciudad de Bogotá.

---

programas de simulación como Vissim y SSAM, la cual se desarrolló en la intersección semaforizada de la calle 100 con carrera 19.

Una manera fácil de entender un conflicto de tránsito es suponiendo que la trayectoria de dos vehículos se va a cruzar en un punto de choque, pero uno de los vehículos hace una maniobra evasiva para evitarlo, sin embargo, el concepto abarca más actores viales y variables que se pueden medir, como la distancia, el tiempo y la velocidad llegando a un concepto más elaborado como sigue: Un conflicto de tránsito es una situación u evento observable en donde dos actores viales se aproximan el uno al otro en tiempo y espacio y se presenta inminente colisión si sus movimientos no cambian.

Para hallar estos conflictos existen varias metodologías, desde capacitación de personal para tomar los conflictos en campo, hasta programas que los obtienen desde una toma de video. Para este trabajo de grado se obtuvieron los conflictos a través de la calibración de programas de micro simulación (Vissim 2020) y el programa SSAM v 3.0 el cual está basado en la Técnica Americana de Conflictos de Tránsito. Este programa SSAM además de calcular el número total de conflictos clasificados según el ángulo de choque, calcula algunas medidas sustitutas de choques para poder realizar el análisis de seguridad vial del modelo que se esté evaluando. Las medidas sustitutas o alternativas de seguridad vial pretenden ser complementos o alternativas como su nombre lo indica de los análisis de seguridad basados en registros de accidentes, se usan para estudiar los eventos de tráfico críticos que ocurren con mayor frecuencia, lo que facilita el análisis de dichos incidentes (Johnsson et al., 2018)

La metodología planteada aplicada a la HMD en escenarios base y con PMT implementado, evidencia el alto impacto en cantidad de conflictos y cambios sobre las medidas sustitutas de seguridad vial como tiempo a la colisión, tiempo posterior a la invasión, velocidad máxima de conflicto entre otros al implementar un PMT en una intersección semaforizada en la ciudad de Bogotá. A partir de estos resultados se pueden tomar acciones de seguridad vial sobre los planteamientos de PMT en pro de mitigar los impactos generados y formular PMT más seguros para los usuarios.

# **1.Marco de Referencia: Siniestralidad, conflictos de tránsito y modelación.**

## **1.1 Diagnóstico de Siniestralidad Vial**

### **1.1.1 Situación Mundial y Nacional**

En la última década la seguridad vial ha sido muy importante por las altas cifras de muertos y lesionados producto de los siniestros viales. Según la OMS, se estima que, en todo el mundo, aproximadamente 1.3 millones de personas mueren por esta causa cada año, y 50 millones sufren traumatismos, convirtiéndola en la principal causa de mortalidad de niños y jóvenes en todo el mundo particularmente en los países de bajos y medianos ingresos (OMS, 2021). Además de ser una situación de salud pública los siniestros viales pueden llegar a representar hasta el 3% del PIB y generando costos indirectos mucho más altos que los directos en lo relacionado a la atención de pacientes que sufren accidentes de tránsito.(Velez-Jaramillo et al., 2016)

Para el año 2019 las muertes asociadas a lesiones ocasionadas por accidentes de tránsito se ubicaron dentro de las 10 principales causas de defunción en países de bajos ingresos ocupando un séptimo lugar, por encima de graves enfermedades como tuberculosis, VIH/SIDA y tuberculosis hepática; también se observa un importante incremento de defunciones respecto del año 2000, lo cual, evidencia el peligroso aumento de casos a nivel mundial y una necesidad urgente de contrarrestar esta situación. <sup>1</sup>

En el periodo enero - diciembre del año en 2021 los siniestros viales en Colombia dejaron 7.104 personas fallecidas y 20.825 valoraciones médico legales a personas lesionadas por

---

<sup>1</sup> Boletín emitido por la OMS: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>

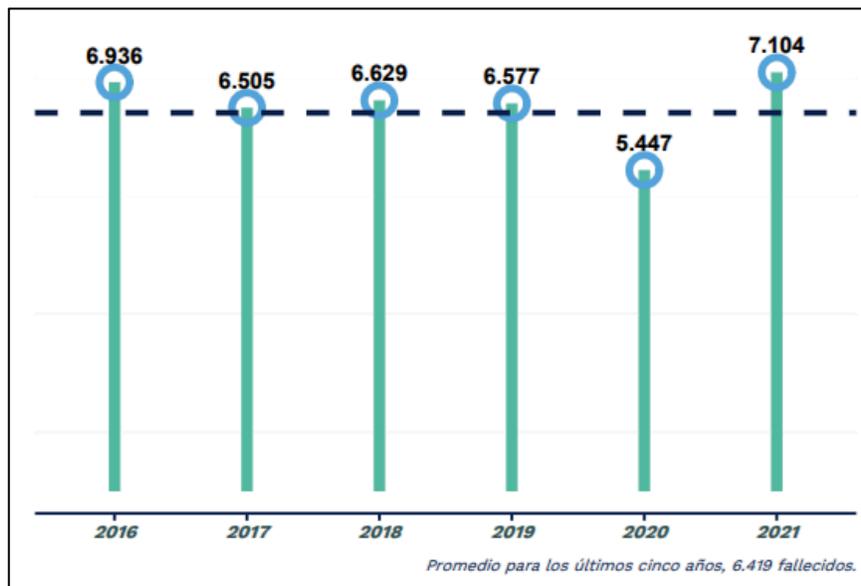
2 Análisis de seguridad vial usando modelos de simulación en VISSIM y SSAM en la implementación de Planes de Manejo de Tránsito en la ciudad de Bogotá.

---

sinistros viales (ANSV, 2021) estas cifras, en relación con el total de la población de Colombia, situaron la tasa nacional de fallecidos por cada 100 mil habitantes en 14.18%, siendo el usuario de moto la víctima más afectada, representando un 59.7% del total de fallecidos y un 60.8% del total de casos de personas valoradas.

Cabe resaltar que durante el periodo comprendido entre marzo del 2020 y aproximadamente hasta septiembre del 2021 fueron aplicadas distintas medidas de restricción a la movilidad (que variaban en el tiempo de duración) de los ciudadanos en el territorio nacional (al interior de las ciudades y entre ciudades) como medida de prevención y contención contra la pandemia causada por el virus que produce la enfermedad Covid-19, disminuyendo el número de viajes realizados, sin embargo, estas cifra representan un aumento del 10,67% en comparación con el promedio desde los años 2016 – 2020 como se muestra en la **Figura 1-1**.

**Figura 1-1 Serie histórica de fallecidos para el periodo enero – diciembre en Colombia**



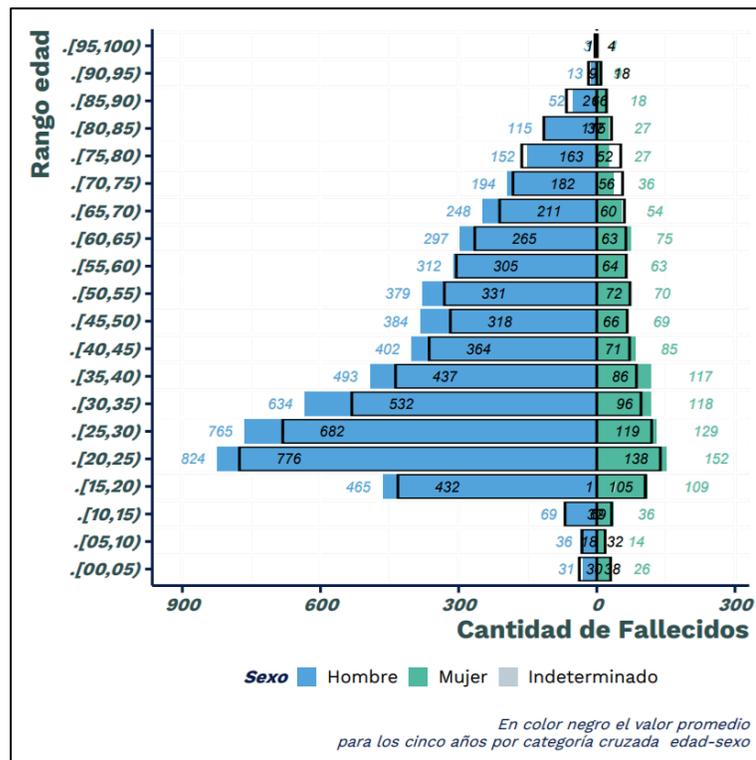
Fuente: Observatorio Nacional de Seguridad Vial, 2021

Respecto a los rangos de edad y sexo de las muertes ocurridas para el año 2021 en la **Figura 1-2** se observa que el mayor número de víctimas fueron los adultos jóvenes entre los 20 y 25 años con un total de 976 fallecidos, seguido de las edades entre 25 a 30 años con 894 fallecidos y 30 a 35 años con 752 fallecidos entre hombres y mujeres. La **Figura**

1-2 incluye en color negro la cifra promedio de los cinco años anteriores, lo cual evidencia el aumento de fallecidos a pesar de las restricciones de movilidad a causa de la emergencia nacional por el virus COVID 19 entre los años 2020 y 2021.

La edad con mayor número de fallecidos en 2021 coincide en hombres y mujeres, pero para cada rango etario la proporción de hombres es mucho mayor que las cifras presentadas para mujeres, alcanzando un 85 % más en el rango donde más se presentaron fallecidos.

**Figura 1-2 Fallecidos según rango de edad y sexo para el año 2021.**



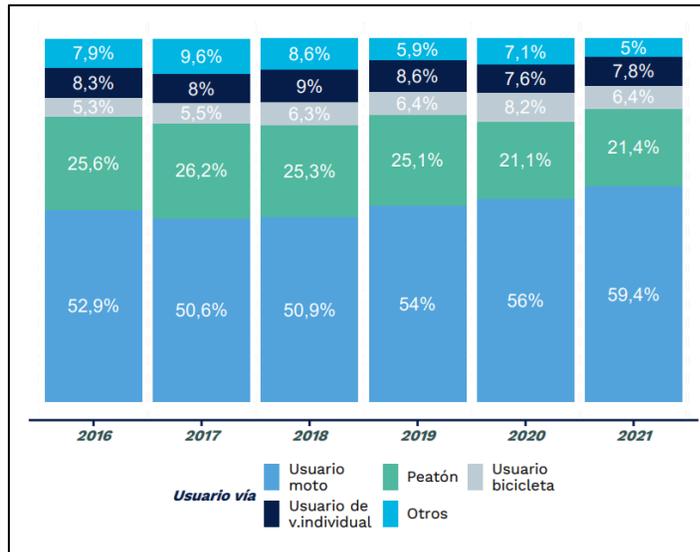
Fuente: Observatorio Nacional de Seguridad Vial, 2021

Según los resultados arrojados por el censo nacional realizado en el año 2018 por el DANE, del total estimado de personas, aproximadamente un 51.2% son mujeres y un 48.8% son hombres, sin embargo, de acuerdo al Insurance Institute for Highway Safety (IIHS), las mujeres son menos propensas que los hombres a involucrarse en un accidente de tránsito, así mismo, la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) informó que en los accidentes mortales, el exceso de velocidad fue el factor más predominante para los hombres en un 24 %, mientras que en las mujeres fue de un 15 %, esto sumado a algunas características socioeconómicas y culturales

4 Análisis de seguridad vial usando modelos de simulación en VISSIM y SSAM en la implementación de Planes de Manejo de Tránsito en la ciudad de Bogotá.

influyen en la marcada diferencia que hay entre fallecidos hombres y mujeres en Colombia.

**Figura 1-3 Fallecidos según tipo de usuario por año - 2016-2021**

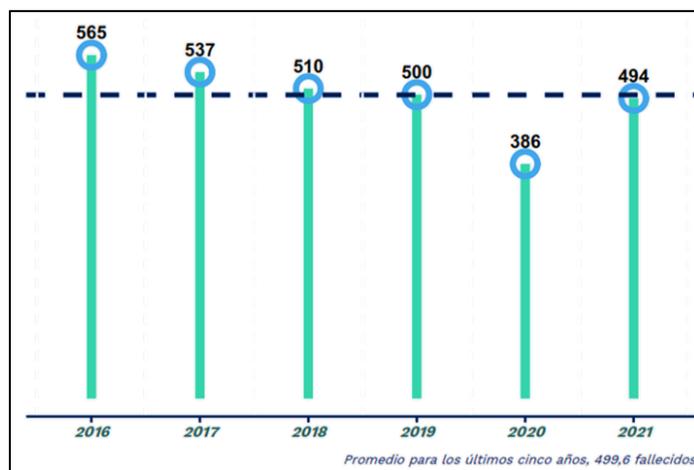


Fuente: Observatorio Nacional de Seguridad Vial, 2021

### 1.1.2 Diagnóstico en Bogotá

De acuerdo con información suministrada por el Observatorio Nacional de Seguridad Vial para el año 2021 en la ciudad de Bogotá se registraron un total de 494 fallecidos (ANSV, 2021a).

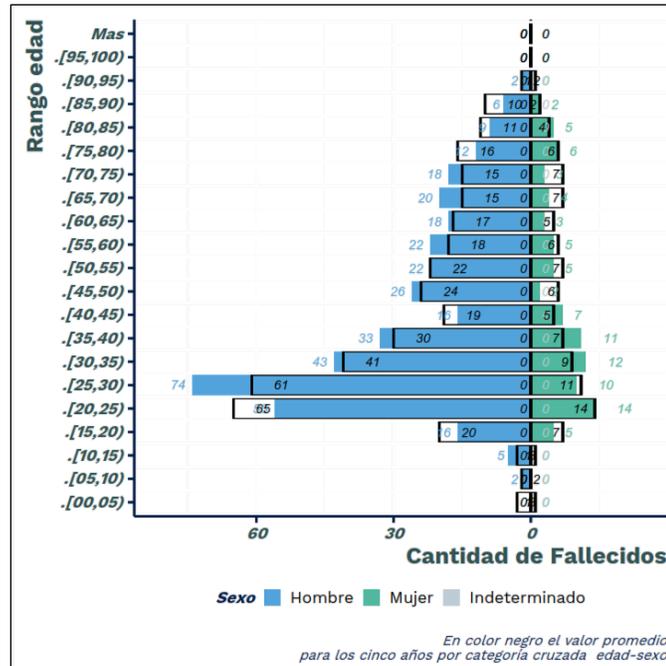
**Figura 1-4 Serie histórica fallecidos 2016 – 2021 – Bogotá D.C.**



Fuente: Observatorio Nacional de Seguridad Vial – Boletín Bogotá, 2021

Como se observa en la **Figura 1-5**, la tendencia en el sexo de los fallecidos es que los hombres tienen un mayor aporte respecto de las mujeres, en cuanto al rango de edades coincide que entre los 20 y 30 años se presenta mayor número de fallecidos por sexo.

**Figura 1-5 Fallecidos según rango de edad y sexo año 2021 – Bogotá D.C.**



Fuente: Observatorio Nacional de Seguridad Vial – Boletín Bogotá, 2021

En la **Figura 1-6** se presentan como porcentaje, los datos cruzados por rango de edad y tipo de usuario de la vía. Para cada categoría de usuario de la vía se presenta en color oscuro el valor más alto.

**Figura 1-6 Fallecidos según tipo de usuario y rango de edad año 2021 – Bogotá.**

Edad	Usuario moto	Peatón	Usuario bicicleta	Usuario de v.individual	Usuario t.pasajeros	Usuario t.carga	Usuario otros	Sin Info.
.[00,05)	0	0	0	0	0	0	0	0
.[05,10)	0	1,1	0	0	0	0	0	0
.[10,15)	0,5	1,6	1,3	0	0	0	0	0
.[15,20)	4,2	1,1	6,3	19	0	0	0	25
.[20,25)	24,1	2,2	20,3	14,3	0	0	0	12,5
.[25,30)	27,2	8,7	10,1	19	28,6	0	50	12,5
.[30,35)	16,8	6	12,7	9,5	0	0	0	0
.[35,40)	10,5	7,7	8,9	4,8	14,3	33,3	0	0
.[40,45)	4,2	3,8	6,3	4,8	14,3	33,3	0	0
.[45,50)	6,8	4,9	7,6	0	0	0	0	0
.[50,55)	3,1	8,2	2,5	9,5	14,3	33,3	0	0
.[55,60)	1,6	9,3	5,1	4,8	0	0	50	12,5
.[60,65)	0	7,7	3,8	0	14,3	0	0	37,5
65 y más	1	37,7	15,2	14,3	14,3	0	0	0
Mas	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Observatorio Nacional de Seguridad Vial – Boletín Bogotá, 2021

6 Análisis de seguridad vial usando modelos de simulación en VISSIM y SSAM en la implementación de Planes de Manejo de Tránsito en la ciudad de Bogotá.

---

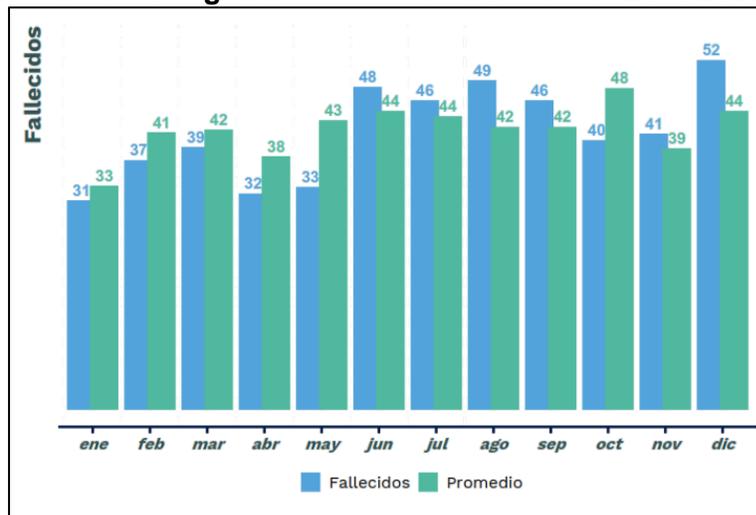
Esta información expone con mayor detalle los grupos más afectados por la siniestralidad en la ciudad para el año 2021. De los usuarios de moto, el rango etario en el que más fallecieron víctimas fue de 25 a 30 años, sin embargo, las víctimas están principalmente agrupadas entre los 20 y 40 años. En cuanto a los peatones se evidencia que el mayor porcentaje de víctimas se presentan a partir de los 65 años.

Para los usuarios de bicicleta el rango etario más afectado está entre los 20 y 25 años con un 20.3%. Para usuarios de vehículo particular hay un 19% de fallecidos en los rangos entre 15 y 20 años y entre 25 y 30 años; para transporte de pasajeros, el mayor número de víctimas entre 25 y 30 años, con un 28.6%; para usuarios de transporte de carga, el mayor porcentaje de fallecidos entre 35 y 45 años y entre 50 y 55 años.

En la **Figura 1-7** se aprecia la temporalidad de los siniestros durante el transcurso del año, para el año 2021 se presentan los picos más bajos en el mes de enero, abril y mayo con 31, 32 y 33 casos respectivamente, este dato coincide con el promedio de los últimos 5 años donde se evidencia que en enero se presenta el menor número de fallecidos del año.

Los picos más altos para el año 2021 se presentan en los meses de y julio agosto y diciembre con un valor de 46 49 y 52 casos respectivamente, en promedio los últimos cinco años, los meses donde se presentan los picos de mayor siniestralidad con fallecidos es octubre con 48 fallecidos seguido de, junio julio y diciembre con un valor de 44 casos para los tres meses.

**Figura 1-7 Fallecidos según mes de ocurrencia al año 2016-2021 – Bogotá.**



Fuente: Observatorio Nacional de Seguridad Vial – Boletín Bogotá, 2021

### 1.1.3 Causas de la Siniestralidad

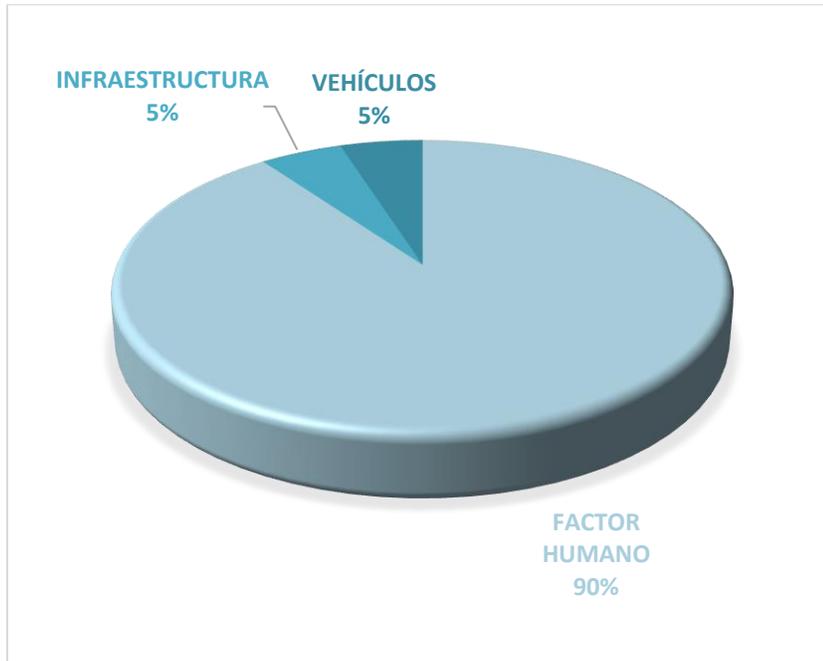
Debido al constante crecimiento de las cifras de accidentalidad se realizaron ejercicios de diagnóstico en materia de seguridad vial en algunos países de América Latina y el Caribe como las presentadas en el “Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito” (Organización Mundial de la Salud, 2004), “Salud en las Américas” (Organización Panamericana de la Salud, 2007) y “La seguridad vial en la región de América Latina y el Caribe. Situación actual y desafíos” (Comisión Económica para América Latina y el Caribe de Naciones Unidas, 2005). Gracias a estas investigaciones, la problemática de seguridad vial se puede enmarcar en varios aspectos, que se resumen y agrupan en 5 pilares, los cuales, son adoptados por diferentes países y entidades para desarrollar sus estrategias de Seguridad Vial, estos pilares son:

- Infraestructura
- Aspectos institucionales y normativos.
- Factor Humano
- El vehículo
- Atención a víctimas.

Esta clasificación es muy importante ya que se pueden realizar estudios y análisis específicos para cada uno de estos pilares, por ejemplo, el Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses, realizó una segmentación de las hipótesis de causa probable de fallecimiento en víctimas por siniestros viales, para los años 2016 a 2018 se hizo el registro de la hipótesis a 77.837 casos, siendo esta cifra el 53% del total de víctimas para este periodo de tiempo (47% restante de víctimas no se realizó un registro de hipótesis de causa). Del número de víctimas con registro el 6% son fallecidos con un valor de 4.373 decesos.

De la cantidad de casos con fallecidos analizados, se estableció que la causa probable de muerte fue un 90% por factor humano, 5% factor infraestructura y 5% factor vehículos como se muestra en la **Figura 1-8**.

**Figura 1-8 Causa probable de fallecidos por siniestros viales 2016 - 2018**

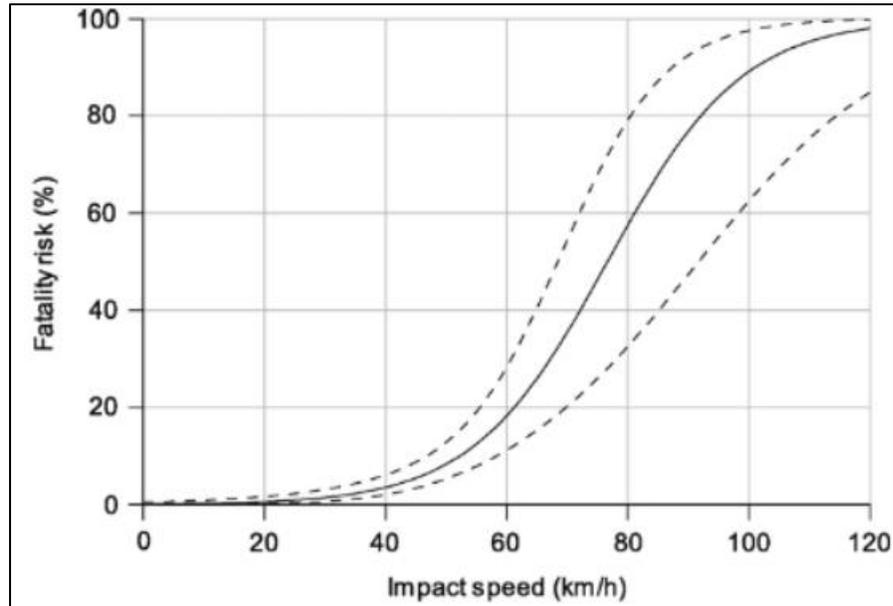


Fuente: ANSV, 2018

Dentro de las hipótesis correspondientes al factor humano se encuentra que la causa probable principal es el exceso de velocidad 41%, el incumplimiento a las señales de tránsito aporta un 38% y finalmente la conducción en estado de embriaguez 9%; éstas están dentro de las 3 principales razones de siniestralidad vial. En cuanto a la infraestructura, se refiere al mal estado del pavimento 4 % y en un menor porcentaje a las condiciones climáticas 1 %. En el factor vehículo solo se consideran las fallas mecánicas que puedan presentar.

El exceso de velocidad es uno de los principales factores de riesgo causado por el tránsito, la OMS describe que al aumentar en 1km/h la velocidad media de circulación la ocurrencia de siniestros viales aumenta en un 3% y con esto un 4% o 5% la probabilidad de aumentar la cantidad de fallecidos, tal como se observa en la **Figura 1-9**, donde el riesgo de fatalidad aumenta de manera severa a partir de los 50 km/h.

**Figura 1-9 Riesgo de Fatalidad en peatones, según velocidad de impacto del vehículo**



Fuente: Rosén & Sander, 2009

## 1.2 Planes de Manejo de Tránsito

Según la ley 769 de 2002 por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre, capítulo VIII, artículo 101 *“Siempre que deban efectuarse trabajos que alteren la circulación en las vías públicas, el interesado en tal labor obtendrá en forma previa la autorización correspondiente de la autoridad competente y señalará el sitio de labor mediante la colocación de señales preventivas, reglamentarias e informativas que han de iluminarse en horas nocturnas”*

Adicional a esto mediante la Resolución 1885 de 2015 del Ministerio de Transporte se adopta el Manual de Señalización Vial – Dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia.

Para la ciudad de Bogotá la autoridad competente para expedir estas aprobaciones es la Secretaría Distrital de Movilidad, a través del Concepto técnico para gestionar los planes de manejo de tránsito (PMT) por obra versión 2.0 expedido en diciembre de 2020, en donde se establecen los requisitos para gestionar los planes de manejo de tránsito en la ciudad, además, se incluye información relacionada con conceptos básicos, presentación del PMT

10 Análisis de seguridad vial usando modelos de simulación en VISSIM y SSAM en la implementación de Planes de Manejo de Tránsito en la ciudad de Bogotá.

ante la SDM (Secretaría Distrital de Movilidad), contenido del documento técnico, consideraciones entre otros.

### 1.2.1 Análisis de Tránsito y modelación

En el numeral 3.3.6.9 *Evaluación de alternativas y análisis de tránsito para los escenarios con y sin intervención* del concepto técnico se establece según el tipo de afectación y clasificación vial si se requiere realizar un análisis de tránsito ya sea con modelación o cálculos matemáticos (SDM, 2020)

**Tabla 1-1: Análisis de tránsito Según clasificación vial y afectación.**

Tipo Afectación	Clasificación Vial <sup>39</sup>		
	Arterial	Intermedia	Local
<b>Afectación Semáforo Sobre Corredores Viales (Distancia Lineal)</b>	Menor o igual a 200 metros: Modelación	Menor o igual a 100 metros: Modelación Mayor a 100 metros y menor o igual a 200 metros: Cálculos Matemáticos	
Tipo Afectación	Clasificación Vial <sup>39</sup>		
	Arterial	Intermedia	Local
<b>Parcial Calzada</b>	Modelación	Modelación o Cálculos Matemáticos	No requiere
<b>Total Calzada</b>			
<b>Parcial y Total Bahía</b>	No requiere		
<b>Parcial Andén</b>	Modelación o Cálculos Matemáticos según requerimientos de la SDM <sup>40</sup>		No requiere
<b>Total Andén</b>	Modelación o Cálculos Matemáticos		
<b>Parcial Puente Peatonal</b>	Implementación o cambios de semáforos: Modelación Otros casos: Cálculos Matemáticos		
<b>Total Puente Peatonal</b>			
<b>Parcial Ciclorruta (Andén o Calzada)</b>	Modelación o Cálculos Matemáticos		
<b>Total Ciclorruta (Andén o Calzada)</b>	Calzada: Modelación o Cálculos Matemáticos Andén: No requiere		No requiere
<b>Entrada y Salida Vehículos de Obra</b>	No requiere		
<b>Zona Verde, Separador, Parque</b>	No requiere		

Fuente: SDM, 2020

Con los análisis de tránsito e información primaria y secundaria de la zona de intervención se establece la línea base, la cual es un documento donde se definen los valores de los parámetros de operación de tránsito actuales, que servirán como referencia para evaluar y monitorear las implementaciones de los planes de manejo de tránsito:

- Velocidad de Operación: No se podrá reducir en más del 30%, o según exija la SDM.
- Ocupación de infraestructura vial: No podrá ser superior al 50%
- Hora de máxima demanda (periodos pico)
- Capacidad y niveles de servicio de la infraestructura afectada (vía, anden o ciclorruta)
- Índices de accidentalidad: La accidentalidad no se podrá incrementar por las condiciones de obra. Para lo anterior se tendrán en cuenta las estadísticas de los tres últimos años.
- Propuestas estratégicas para reducir el Impacto de congestión a un nivel aceptable: Se entiende por propuestas estratégicas aquellas que involucran aspectos jurídicos para su implementación y por lo tanto requieren de la intervención de la SDM para la expedición de decretos y resoluciones reglamentarias para su ejecución.

### **1.2.2 Siniestralidad y Análisis de Seguridad Vial.**

El concepto técnico de la SDM contempla 2 etapas para análisis de seguridad vial:

- Recopilación de información: se analizan las estadísticas de los últimos 3 años consecutivos del corredor a intervenir.
- Análisis de siniestralidad por equivalentes:

Se debe calcular la siniestralidad vial de los últimos tres (3) años completos (todos los meses) de los que se tenga información, indicando la gravedad del siniestro vial discriminando el número de muertos (NM), número de heridos (NH) y número de siniestros con solo daños (SD), y determinando los equivalentes (SE), según el factor de ponderación para cada uno. Debido a que todos los siniestros tienen un peso, en relación con los siniestros con solo daños (SD), se utiliza la siguiente fórmula –cuyos factores de ponderación se establecieron bajo la metodología del estudio realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Universidad de Los Andes (2009), y la estrategia

## 12 Análisis de seguridad vial usando modelos de simulación en VISSIM y SSAM en la implementación de Planes de Manejo de Tránsito en la ciudad de Bogotá.

---

denominada puntos críticos de la Dirección de Seguridad Vial y Comportamiento del Tránsito de la SDM –actual Oficina de Seguridad Vial– (SDM, 2020):

$$SE = (NM*13.4) + (NH*2.0) + SD$$

Dónde:

NM: Número de siniestros viales con muertos

NH: Número de siniestros viales con heridos

SD: Número de siniestros viales con solo daños

SE: Número de siniestros viales equivalentes

Según lo establece la *NHTSA Traffic Records: A Highway Safety Program Advisory* (2003), un sistema de registro de datos de accidente de tráfico debería tener la capacidad suficiente como para registrar todos los accidentes de tráfico que ocurran en cualquier vía pública de un determinado estado.

## 1.3 Modelación de tránsito y simulación de conflictos

### 1.3.1 PTV VISSIM

PTV Vissim, es un software de simulación microscópica y multimodal de tránsito, desarrollada por la empresa PTV- Planung Transport Verkehr AG, permite representar a todos los usuarios de la vía pública y estudiar sus interacciones tanto en escenarios de operación actual como el análisis de la implementación de medidas prioritarias para el transporte público o el impacto de un plan semafórico diferente entre otros.

Para este trabajo se escogió el software VISSIM, debido a que es el más usado en la ciudad de Bogotá en la presentación de modelos de micro simulación ante la SDM; la cual solicita calibración del modelo para la situación actual por volúmenes y velocidades en la HMD (Hora de Máxima Demanda) de la mañana y la tarde, a partir de los estadísticos y/o metodologías definidas en la literatura y/o estado del arte para tal fin, en el caso de volúmenes se recomienda emplear estadístico GEH. (SDM, 2020). Cabe resaltar que la versión usada del programa es la versión 2020 debido a que la versión 2023 presenta dificultades de incompatibilidad con el programa SSAM en sus versiones 2.16 y 3. 0.

### 1.3.2 Surrogate Safety Assessment Model SSAM

El Modelo de Evaluación de Seguridad Subrogada (SSAM) es una aplicación de software desarrollada por la Federal Highway Administration para identificar, clasificar y evaluar automáticamente los conflictos de tránsito en la salida de datos de trayectoria del vehículo (archivos con extensión. trj) a partir de modelos microscópicos de simulación de tránsito generados por programas como VISSIM, AIMSUM, Paramics o TEXAS. SSAM también tiene características integradas de análisis estadístico para medidas de frecuencia y gravedad de conflictos que pueden ayudar a los analistas en el diseño de instalaciones de tránsito seguras. SSAM versión 2.16 se desarrolló inicialmente y se lanzó al público en 2008 con mejoras adicionales completadas en 2017. [\[66\]](#)

Se ha probado la validez de un modelo de simulación en VISSIM usando SSAM para la generación de conflictos contra los medidos en campo utilizando las metodologías tradicionales de conflictos. Los resultados del análisis de los datos mostraron que había una consistencia razonable entre los conflictos simulados y observados particularmente los ocasionados en la parte trasera y los que se presentan en cruce, adicionalmente se encontró que los conflictos simulados generados por VISSIM y SSAM no eran buenos indicadores de conflictos de tránsito generados por maniobras de conducción inesperadas, como cambios ilegales de carril en el mundo real (Huang et al., 2013) sin embargo, los modelos calibrados proporcionan estimaciones razonables para la parte trasera y los conflictos totales. Entre otras investigaciones, se ha analizado la evaluación de seguridad vial de las intersecciones a partir de la medición de los conflictos de tránsito usando la micro simulación. Por ejemplo, en 2013 se desarrolló una medida llamada Métrica Agregada de Propensión de Choques o ACPM por sus siglas en inglés (Aggregated crash propensity metric ACPM); para este análisis se calibró un modelo en VISSIM y se usó SSAM para extraer datos útiles de conflictos para estimar el ACPM. Se concluyó que para obtener una calibración más precisa de los conflictos es necesario revisar la configuración de parámetros del comportamiento de los usuarios (Driving Behavior) en el software VISSIM ya que la simulación se desarrolla en el supuesto de que los conductores seguirán todas las reglas de tránsito correctamente (Wang & Stamatiadis, 2013), y esta condición es muy distinta en la vida real y las diferentes ciudades.

El comportamiento del conductor o Driving Behavior (DB) especifica los parámetros de un vehículo que sigue al que va por delante del mismo, cómo cambia de carril, cómo se

comporta con los vehículos con los que comparte carril y con aquellos cercanos en carriles adyacentes, cómo se comporta al acercarse a líneas de parada o semáforos, y cómo se comportan todos los parámetros anteriores de forma simplificada en la modelación mesoscópica. A cada clase de vehículo definida por el usuario se le puede asignar un DB diferente.

El modelo de flujo de tráfico está basado en los análisis realizados por Rainer Wiedemann (Wiedemann, 1991) & (Wiedemann, 1974); los cuales profundizan en un modelo psicofísico de seguimiento de vehículos para el movimiento longitudinal, y en un algoritmo basado en reglas para el movimiento lateral. Este modelo parte de la suposición que existen 4 estados de conducción para cada conductor:

- Conducción libre: El vehículo alcanza y se mantiene alrededor de la velocidad deseada a flujo libre ya que no tiene influencia de otros vehículos.
- Acercamiento: El vehículo desacelera para igualar la velocidad del vehículo al que está alcanzando al llegar a la distancia de seguridad.
- Seguimiento: La velocidad no está definida por el conductor del vehículo sino por el vehículo de enfrente. Lo que se mantiene aproximadamente constante es la distancia de seguridad.
- Frenado: El vehículo desacelera ya que el vehículo al que sigue bajó su velocidad y la distancia de seguridad disminuyó, pasa cuando el vehículo que se sigue frena abruptamente o un vehículo posiciona en frente al haber cambiado de carril.

La Secretaría Distrital de Movilidad recomienda valores para los parámetros a utilizar para una modelación en Bogotá, separando en livianos (autos y camionetas pequeñas), pesados (buses y camiones), motocicletas y bicicletas, los cuales fueron aplicados para la calibración del modelo de la intersección en estudio.

Bulla-Cruz, Lareshyn y Lyons (2020) validaron estos parámetros para la simulación de conflictos y encuentros de tráfico en una rotonda de dos carriles en Bogotá, adicionalmente, en la ciudad de Bogotá en el año 2021, L. Bulla, L. Lyons & E. Darghan desarrollaron un estudio de caso para validar el uso de la microsimulación de conflictos de tráfico con SSAM a partir de modelos en el software Vissim, comparando el desempeño de seguridad vial de dos tipos diferentes de rotondas. Se estimó el parámetro Tiempo a

colisión o Time to Collision  $TTC_{min}$  crítico = 1,37 sg (L. Bulla-Cruz et al., 2021) siendo el primer trabajo de calibración de estos parámetros para la ciudad.

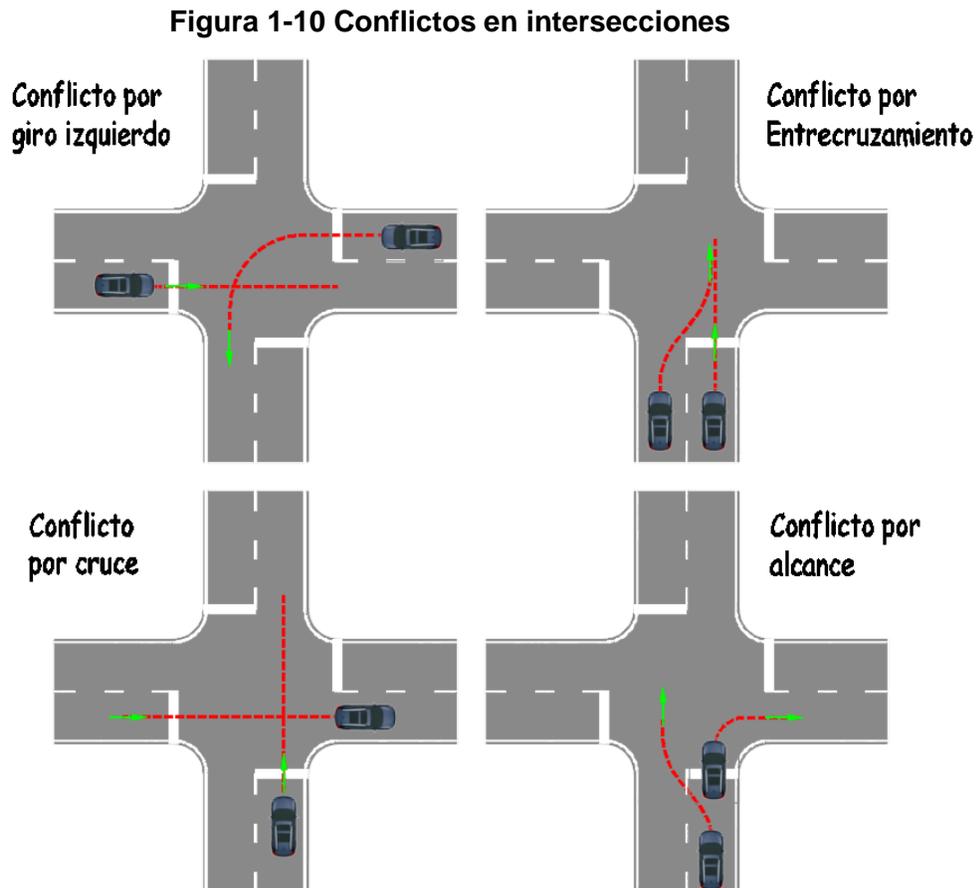
Se aclara que se usó para la calibración de los conflictos el valor de  $TTC_{min} = 1,37$  sgs en este trabajo de grado, siendo este el valor que se ha ajustado para la ciudad de Bogotá como se mencionó anteriormente.

## 1.4 Conflictos de Tránsito

Un conflicto de tráfico es definido como una situación observable en la cual dos o más usuarios de la carretera se aproximan el uno al otro en un tiempo y espacio, y se presenta riesgo de colisión si sus movimientos o trayectorias no cambian.

En la

**Figura 1-10** se observan los tipos de conflictos que se presentan con mayor frecuencia en intersecciones.

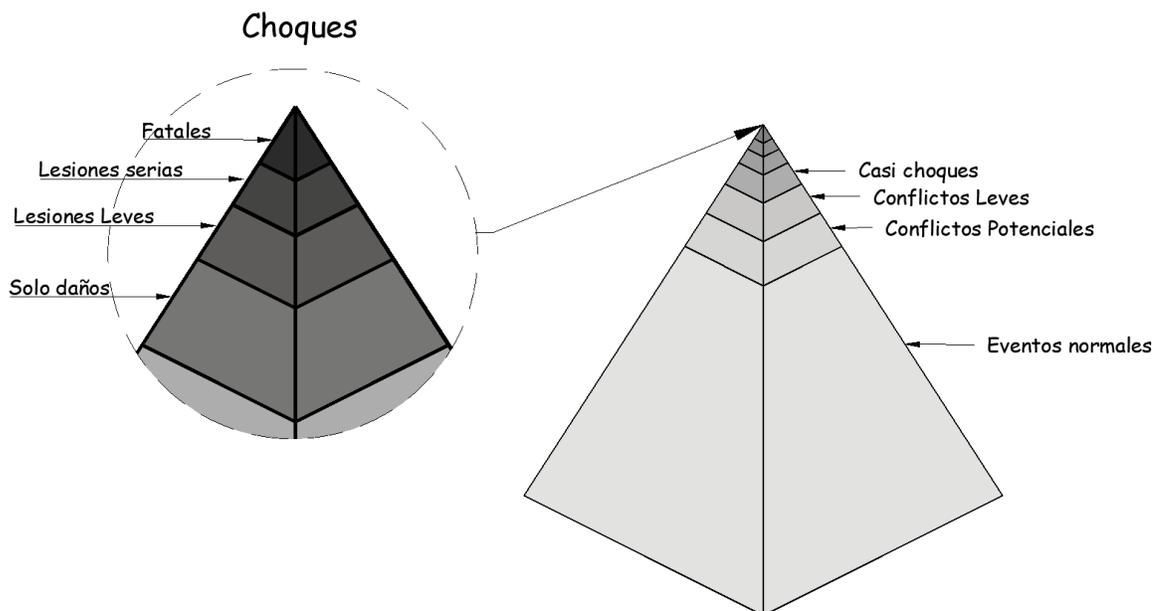


Fuente: Elaboración propia a partir de Perkins & Harris, 1967

Hydén plantea una jerarquización de los eventos que tienen un potencial de riesgo mediante una estructura piramidal con la severidad de cada conflicto presentado; en la base se encuentran los **eventos normales (Figura 1-11)**; a medida que se acerca a la punta se observan los diferentes tipos de conflictos. En la punta de la pirámide se encuentran los eventos que finalizan en **accidentes fatales (Hydén, 1987)**.

Esta técnica se usa para estudiar, analizar y prevenir situaciones de riesgo y las causas que puedan causarlos. Se basa en la hipótesis de que existe una relación directa entre los conflictos serios y los siniestros; además, la interacción entre los usuarios de la vía puede describirse como sucesos con diferentes grados de seguridad.

**Figura 1-11 Jerarquía en la severidad de un conflicto.**



Fuente: Elaboración propia a partir de Hydén, 1987

A continuación, se da una breve explicación del alcance de cada uno de estos eventos relacionados en la jerarquía piramidal propuesta por Hyden.

**Eventos normales:** Situaciones seguras cuando se cruzan dos usuarios en la vía, independiente el uno del otro.

**Conflicto potencial:** Situación en la cual los usuarios de la vía están más cerca y tienen que cruzar la ruta de los demás. Hay una leve interacción.

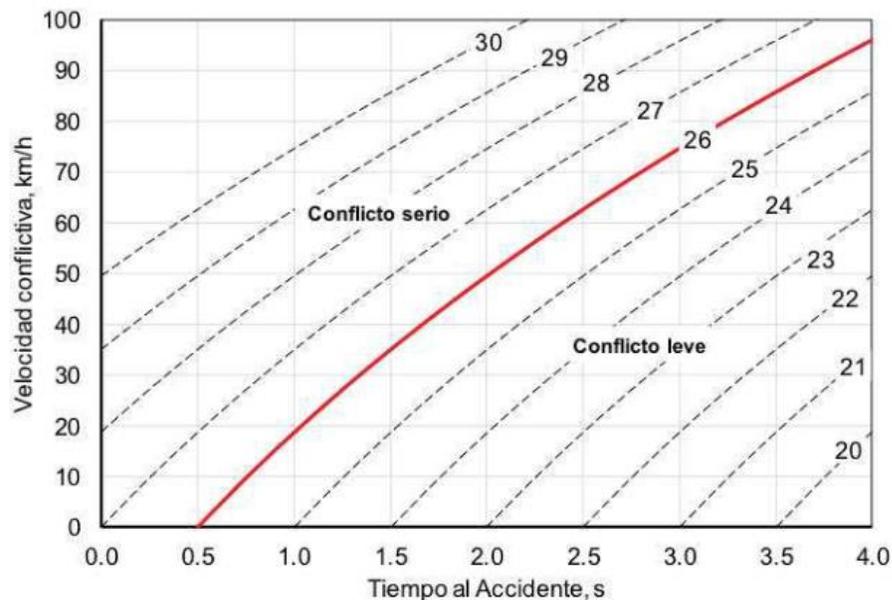
**Conflicto leve:** Una situación en la que los usuarios de la vía están en curso hacia una colisión e inician una acción evasiva. Se caracteriza por estar bajo control y la acción evasiva no implica un frenado abrupto de emergencia.

**Conflicto serio (grave):** La acción evasiva inicia tardíamente y la situación pudo concluir en un accidente.

**Accidente:** La acción evasiva comienza demasiado tarde, o no hay tiempo para realizarla. Termina en una colisión inevitable.

Hydén toma como criterio para categorizar y cuantificar la seriedad de un conflicto dos variables: el tiempo al accidente TA (Time to Accident) y la velocidad de conflicto CS (Conflicting Speed); cuando el tiempo ocurrido hasta el accidente a partir del inicio de la acción evasiva es menor o igual a 1.5 segundos el conflicto es serio. Hydén supone válido este valor para áreas urbanas, donde las velocidades de operación son bajas; para vías interurbanas el tiempo hasta el accidente era complementado con la medida de la velocidad conflictiva, como se muestra en la **Figura 1-12**:

**Figura 1-12 Diagrama para estimar la severidad de un conflicto**



Fuente: L. A. Bulla-Cruz & Lyons, 2018

Las Técnicas de Conflictos de Tránsito son reconocidas como metodologías con las que se busca dar una valoración al riesgo a partir de la frecuencia de incidentes

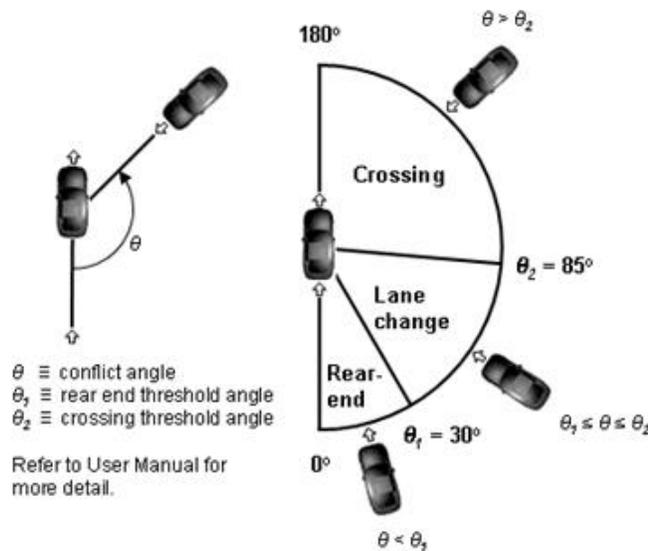
viales que no terminan en choque (L. A. Bulla-Cruz & Lyons, 2018). El análisis de conflictos difiere del de siniestros en que en el primero las situaciones de conflicto están descritas con mayor detalle, ya que pueden documentarse en campo directamente por observadores especialmente entrenados, además ofrece mayor facilidad para seguir la efectividad de medidas de pacificación de tránsito o cambios en la geometría. Aparte de la técnica sueca se han desarrollado otras técnicas de conflictos de tránsito (Aliaksei Laureshyn & Varhelyi, 2018) entre las cuales se tienen:

- **Austriaca:** Risser, R., W. D. Zuzan, W. Tamme, J. Steinbauer, A. Kaba (1991) Handbuch zur Erhebung von Verkehrskonflikten mit Anleitungen zur Beobachterschulung (in German) Handbook for the collection of traffic conflicts with instructions for observers' training. Literas Universitätsverlag.
- **Belgica:** Mortelmans, J., A. Vits, L. Venstermans, M. van Essche, M. Boogaerts, E. Vergisson (1986) Analyse van de verkeersveiligheid met behulp van de Bijna-Ongevallen methode (in Dutch) Analysis of road safety by means of the near-accident method. Katholieke Universiteit Leuven, Departement Bouwkunde.
- **Britanica:** Baguley, C. J. (1984) The British traffic conflicts technique. NATO advanced research workshop on international calibration study of traffic conflict techniques, 25-27 May 1983 1984, Copenhagen, Denmark.
- **Canadiense:** Sayed, T., S. Zein (1999) Traffic conflict standards for intersections. *Transportation Planning & Technology* 22, pp. 309-323. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2012.04.015>.
- **Checa:** Kocárková, D. (2012) Traffic Conflict Techniques in Czech Republic. SIIV - 5th International Congress - Sustainability of Road Infrastructures, 29-31 October 2012 2012, Rome, Italy.;
- **Holandes (DOCTOR):** Kraay, J. H., A. R. A. van der Horst, S. Oppe (2013) Manual conflict observation technique DOCTOR. Foundation Road safety for all, The Netherlands.;

- **Finlandes:** Kulmala, R. (1984) The Finnish traffic conflict technique. NATO advanced research workshop on international calibration study of traffic conflict techniques 1984, Copenhagen, Denmark.
- **Francés:** Muhlrad, N., G. Dupre (1984) The French conflict technique. NATO advanced research workshop on international calibration study of traffic conflict techniques 1984, Copenhagen, Denmark.;
- **Alemana:** Erke, H., H. Gstalter (1985) Verkehrskonflikttechnik - Handbuch für die Durchführung und Auswertung von Erhebungen (in German) Traffic conflict technique - manual. Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr. Heft 52.;
- **Americana:** Parker, M. R., C. V. Zegeer (1989) *Traffic Conflict Techniques for Safety and Operation*. US Department of Transportation, Federal Highway Administration. FHWA-IP-88-027.

Esta investigación analiza los conflictos con los fundamentos de la Técnica Americana de conflictos de tránsito, de las cuales pueden obtenerse medidas sustitutas mediante simulación utilizando VISSIM 2020 y SSAM versión 3.0, aplicadas a intersecciones semaforizadas.

**Figura 1-13 Diagrama de ángulo límite para diferenciar conflictos en SSAM**



Fuente: SSAM V 3.0

SSAM diferencia los conflictos de acuerdo con el ángulo en el que se presenta la intersección de las trayectorias de los vehículos como se observa en la **Figura 1-13** estableciendo 3 tipos de conflictos: posterior, cambio de carril y cruce.

El número de conflictos está relacionado con la siniestralidad como lo enunció Gettman et al. (2008) al realizar un estudio de seguridad en 10 intersecciones señalizadas de cuatro accesos en los Estados Unidos. El estudio consistió en modelar las intersecciones en el software VISSIM y obtener los datos de conflictos de tráfico mediante el Modelo de Evaluación de Seguridad Subrogada (SSAM) que, como se menciona anteriormente, es una herramienta de post proceso de archivos de trayectoria VISSIM que permite estimar conflictos de tráfico y algunas medidas de seguridad sustitutas. Los autores compararon los resultados de conflictos de tráfico simulados contra los datos obtenidos con el historial de cifras de accidentes de las intersecciones, encontrando una correlación significativa basada en el coeficiente de correlación de rango de Spearman = 0.463.

$$\frac{Crashes}{Year} = 0.119 \times \left[ \frac{Conflicts}{Hour} \right] \quad (1.1)$$

La ecuación 1.1 muestra el modelo obtenido que expresa la relación entre conflictos por hora y choques totales por año, con un  $R^2 = 0.41$ .

En este estudio, se probó la validez del uso de modelos de simulación VISSIM y el enfoque SSAM para la evaluación de la seguridad en intersecciones señalizadas comparando los conflictos simulados generados por los modelos de simulación VISSIM e identificados por SSAM con los medidos en el campo utilizando técnicas tradicionales de conflictos de tráfico. (Huang et al., 2013)

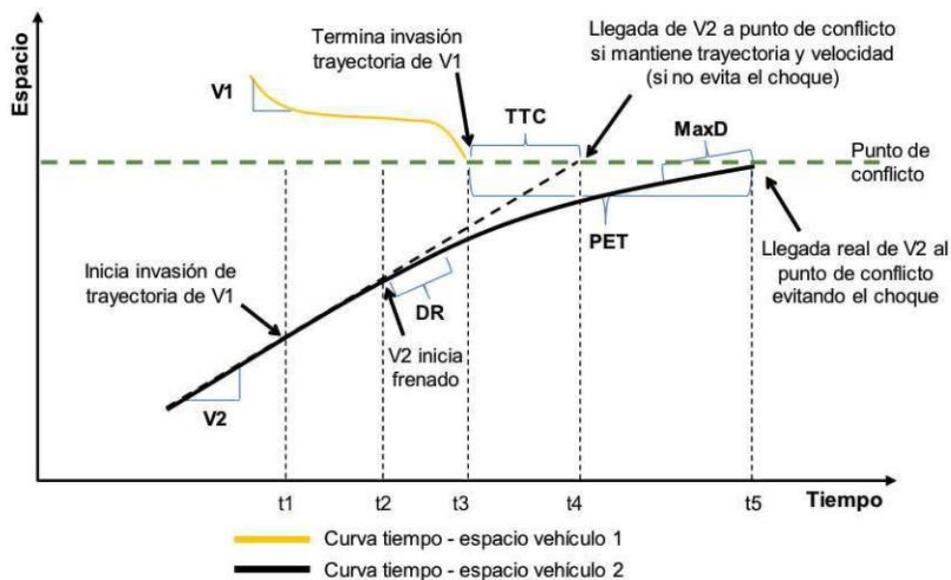
## 1.5 Medidas sustitutas de seguridad Vial

Las medidas sustitutas o alternativas de seguridad vial pretenden ser complementos o alternativas como su nombre lo indica de los análisis de seguridad basados en registros de accidentes, se usan para estudiar los eventos de tráfico críticos que ocurren con mayor frecuencia, lo que facilita el análisis de dichos incidentes (Johnsson et al., 2018)

Estas medidas surgen debido a que la seguridad vial es comúnmente evaluada cuantitativamente mediante la recopilación y análisis de cifras de siniestros viales, sin embargo, este método presenta al menos dos limitaciones: primero, la relativa rareza y aleatoriedad de los siniestros los hace difíciles de estudiar sin una cantidad significativa de datos históricos (Johnsson et al., 2018); la segunda limitación tiene que ver con el registro de choques simples y el levantamiento de la información necesaria para su análisis. En Colombia se diligencia el Informe Policial de Accidentes de Tránsito–IPAT, un documento con información sobre los hechos, tiempo y lugar entre otros aspectos relacionados con el siniestro vial. Este documento es diligenciado generalmente por la autoridad competente de acuerdo con el artículo 144 de la ley 769 de 2002 “Código Nacional de Tránsito”, por otro lado, cuando el siniestro o evento solo implica choque simple, los conductores, entidades aseguradoras y demás interesados en el accidente recaudarán todas las pruebas relativas a la colisión mediante la utilización de herramientas técnicas y tecnológicas como lo indica la ley 2251 de 2022, sin que esta información alimente la base de datos nacional.

Con diagrama tiempo/espacio se representa un conflicto en una escala de tiempo, con esto se pretende obtener las mediciones, buscar valores críticos de tiempo y clasificar objetivamente los conflictos (Torres, 2012)

**Figura 1-14 Diagrama Tiempo – Espacio de un conflicto**



Fuente: L. A. Bulla-Cruz & Lyons, 2018

En la **Figura 1-14** se muestra el diagrama Tiempo – espacio de la interacción de dos vehículos que convergen en una misma dirección ocasionando un conflicto. En el tiempo T1 los dos vehículos se aproximan con una velocidad inicial V1 y V2 y convergen hacia el mismo punto; en este punto ambos vehículos se encuentran distantes del punto de conflicto como se muestra en el tiempo T2 el vehículo 2 inicia la acción de frenado alterando la trayectoria para evitar el conflicto, el vehículo 1 mantiene velocidad y trayectoria; en el tiempo T4 se observa la llegada del vehículo evasiva.

En la **Tabla 1-2** se describen las principales medidas sustitutas de seguridad vial para la Técnica Americana de Conflictos de Tránsito usadas bajo el programan SSAM.

**Tabla 1-2 Principales medidas sustitutas de la seguridad vial bajo la Técnica Americana de Conflictos de Tránsito**

Medidas Sustitutas	Descripción
<b>Time to Colisión (TTC)</b> Tiempo a la colisión	Tiempo esperado para la colisión de dos vehículos si mantienen velocidad y trayectorias constantes
<b>Gap Time (GT)</b> Brecha	Tiempo desde la invasión de V1 y la llegada de V2 al mantener velocidad y trayectorias constantes.
<b>Post-Encroachment Time (PET)</b> Tiempo posterior a la invasión de trayectoria	Tiempo desde el final de la invasión de V1 y el momento en el que V2 llega efectivamente al potencial punto de colisión
<b>Deceleration Rate (DR)</b> Tasa de Desaceleración	Tasa a la que V2 debe desacelerar para evitar la colisión.
<b>Encroachment Time (ET)</b> Tiempo de invasión	Tiempo que tarda V1 infringiendo el derecho de vía de V2
<b>Initially Attempted Post-encroachment Time (IAPT)</b> Tiempo posterior a la invasión requerido inicialmente.	Tiempo desde el inicio de la invasión de V1 más el tiempo esperado para que V2 alcance el punto de colisión y la terminación del tiempo de invasión de V1

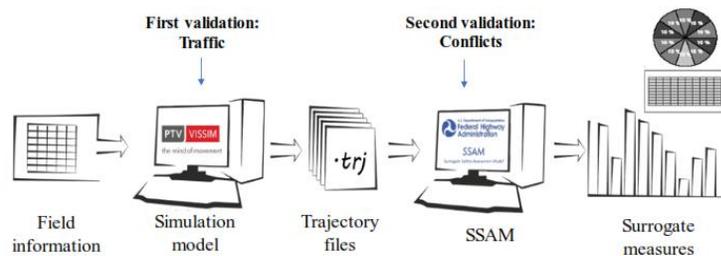
Fuente: Douglas Gettman, 2003



## 2. Metodología aplicada para el análisis de seguridad vial

En la **Figura 2-1** se muestra el flujo de trabajo para obtener conflictos y sus medidas sustitutas por medio de los programas de modelación en VISSIM y SSAM.

**Figura 2-1 Proceso para obtención de medidas sustitutas por medio de SSAM**



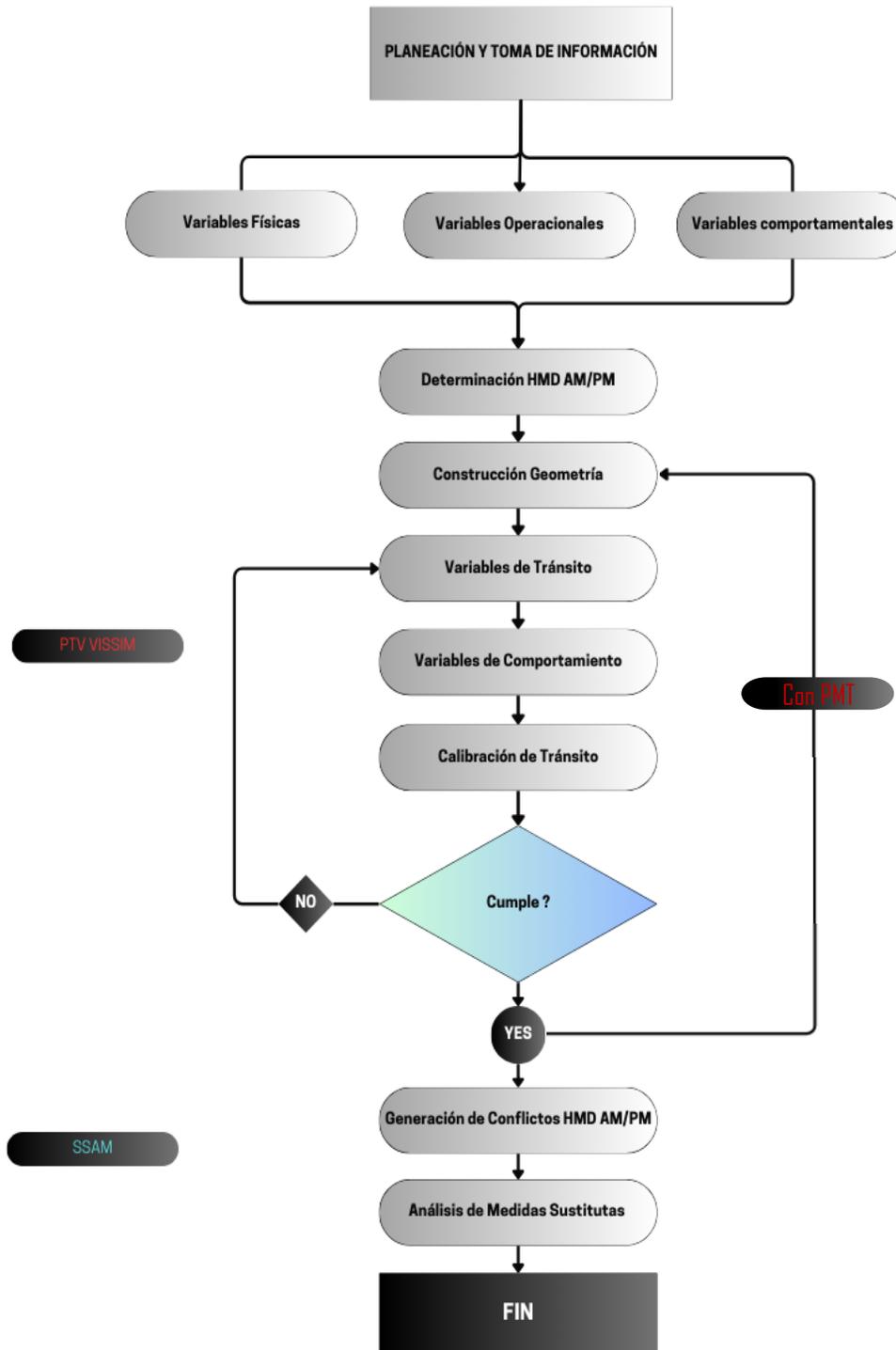
Fuente: (L. A. Bulla-Cruz, 2021; Gettman et al., 2008)

La propuesta metodológica en la **Figura 2-2** está basada en el documento “ *Metodología para estudios de seguridad vial basados en microsimulación de conflictos de tráfico*” desarrollada por Alexander Bulla Cruz, en donde se plantea una serie de pasos a seguir para la toma de información en campo requerida para realizar estudios de seguridad vial que estén basados en la modelación de tráfico y donde se analiza la variable de conflictos de tránsito por la técnica sueca de conflictos de tránsito.

Existen investigaciones sobre análisis de conflictos de tránsito usando diferentes técnicas y realizando la calibración mediante toma de información de campo ya sea usando personal calificado o por tomas de video, sin embargo, para esta propuesta no se cuenta con información de campo sobre conflictos y se asume que con el modelo de VISSIM calibrado los valores de conflictos generados son válidos. Este supuesto está basado en la investigación de Douglas Gettman, donde se calibró y comparó la información de campo de 83 intersecciones semaforizadas en Vissim y SSAM y se obtuvieron resultados

favorables con diferencias para total de conflictos y conflictos traseros de un 2%, y para los conflictos de cambio de carril y cruce una diferencia del 7%.

**Figura 2-2 Diagrama de Flujo metodología**



Fuente: Elaboración propia a partir de L. A. Bulla-Cruz, 2021

## **2.1 Planeación y toma de información escenario base**

Se debe establecer una línea base a partir de la recolección de la información secundaria y primaria, con la cual es posible tener un diagnóstico de la demanda y la oferta actual en el sector analizado y su área de influencia. La información primaria corresponde a todas aquellas actividades de trabajo de campo que permiten caracterizar la oferta y la demanda de la zona del proyecto, de esta manera, los estudios necesarios para conocer las características actuales del sector de análisis se clasifican así:

- ✓ Inventario vial y de dispositivos de control existentes.
- ✓ Volúmenes vehiculares en la situación actual.
- ✓ Análisis histórico siniestralidad vial.
- ✓ Estudio de tiempos y velocidades de recorrido por el método del vehículo flotante.

### **2.1.1 Recopilación de Información Secundaria.**

La información secundaria corresponde a aquella información existente, producto de estudios y análisis realizados previamente y que servirán de base para el desarrollo del análisis. Se considerarán las características de los datos suministrados y las fechas en que se recopilaron para evaluar su conveniencia en el desarrollo del estudio. Dentro de la información secundaria se puede contar con datos relevantes como: siniestralidad vial, volúmenes vehiculares, velocidades entre otros.

### **2.1.2 Histórico de siniestralidad**

Se recopiló la información básica existente sobre siniestros de tránsito, a partir de la información solicitada a la Secretaría Distrital de Movilidad y en sus bases de datos, se caracterizó la siniestralidad en el sector de estudio, siendo posible referenciar todos los eventos ocurridos en los últimos tres años, así como su categorización según la gravedad y tipo en las zonas cercanas a la intersección en estudio.

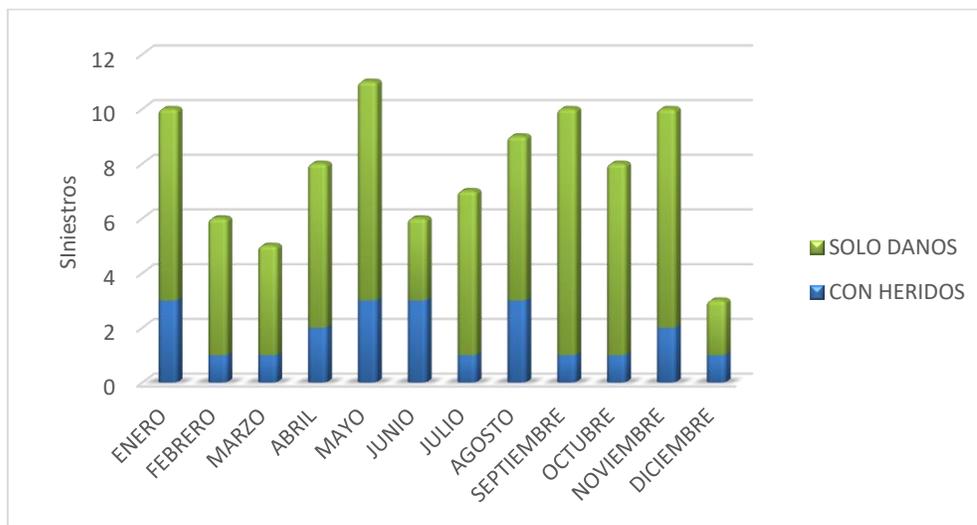
Se presentará la información de la siniestralidad vial por severidad y se calculan los accidentes equivalentes de conformidad a los siguientes factores de ponderación:

DP: Daño a la propiedad (se contabiliza solo un evento por choque simple con factor de equivalencia de (1.0)

L: Accidentes con víctimas lesionadas, con factor de equivalencia de (2.0).

F: Accidentes con víctimas fatales, con factor de equivalencia de (13.4).

**Figura 2-3 Total de siniestros por gravedad y por mes de ocurrencia entre 2017-2019 – en la intersección CII 100 x Ak 19**



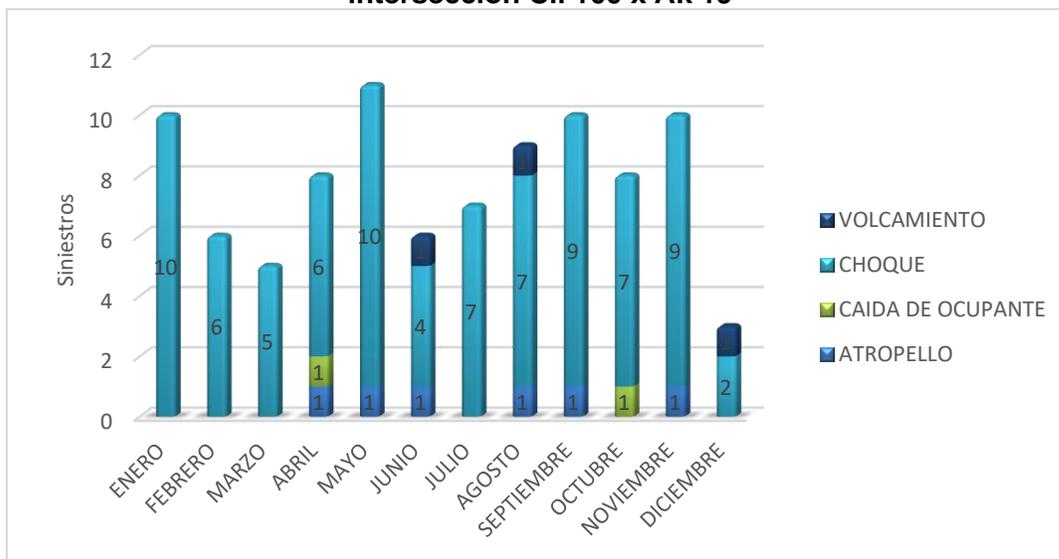
Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos SDM

Respecto a la temporalidad de siniestros presentados en la intersección entre los años 2017 y 2019 según la **Figura 2-3** se observa que en los meses de enero, mayo, septiembre y noviembre se presentó el mayor número de casos para siniestros con solo daños; mientras que los casos con heridos se presentaron en los meses de enero, mayo, junio y agosto. Se observa un comportamiento similar en ambos escenarios con una tendencia más elevada de ocurrencia de siniestros hacia las temporadas de inicio, fin y mitad de año.

En la **Figura 2-4** se observa la temporalidad de siniestros presentados en la intersección entre los años 2017 y 2019 por tipo de siniestro; se evidencia que el mayor tipo de evento presentado es el de choque simple, seguido de atropello, volcamiento y caída del ocupante.

Se aclara que dentro de la información suministrada en las bases de datos de la Secretaría Distrital de Movilidad no se cuenta con información relacionada con la composición vehicular.

**Figura 2-4 Total de siniestros por tipo y mes de ocurrencia entre 2017-2019 – en la intersección Cll 100 x Ak 19**



Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos SDM

En la **Figura 2-5** se discrimina la ocurrencia de siniestros por año, en donde se evidencia que el año donde más se presentaron siniestros con daños fue en el 2018, mientras que en el 2019 se presentó un mayor número de siniestros con heridos.

**Figura 2-5 Total de siniestros por tipo y por año de ocurrencia entre 2017-2019 – en la intersección Cll 100 x Ak 19**



Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos SDM

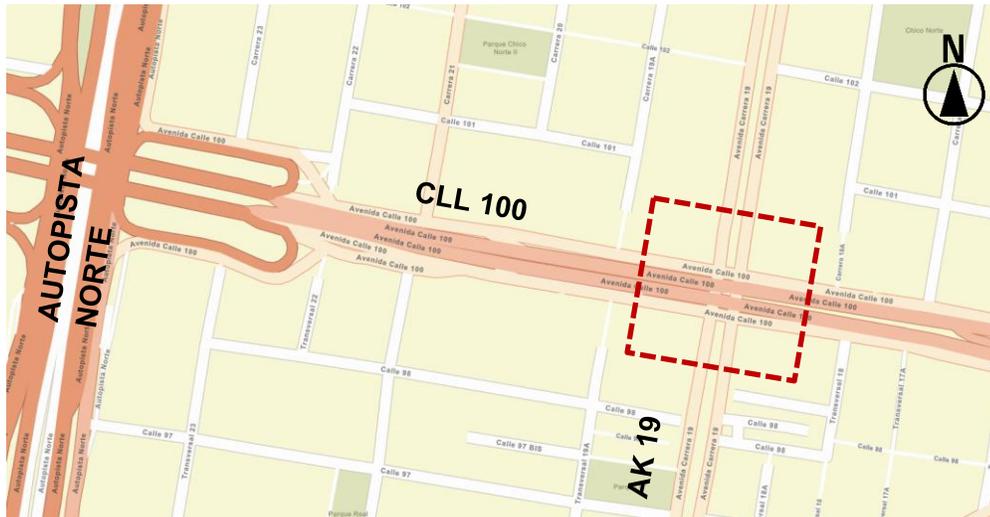
## 2.2 Variables Físicas

### 2.2.1 Inventario Vial

El análisis de campo se realizó en la ciudad de Bogotá, al nororiente de la ciudad en la calle 100 por carrera 19, donde se desarrollan las obras relacionadas a la construcción para la adecuación al sistema Transmilenio y obras complementarias de la avenida Congreso Eucarístico (carrera 68) desde la carrera 48 hasta la carrera 9.

La zona que atraviesa el corredor es en su mayoría comercial y tiene varios sitios especiales como reconocidos hoteles, clínicas, oficinas de entidades del estado y antiguos edificios residenciales.

**Figura 2-6 Localización intersección AV. CL 100 X AK. 19**



Fuente: Elaboración propia a partir de <https://movilidadbogota.maps.arcgis.com>

En esta intersección el corredor cuenta con una calzada lenta con tres carriles, y una calzada rápida con dos carriles en sentido oriente-occidente y viceversa. En sentido norte sur la intersección cuenta con una calzada con dos carriles y un carril configurado por una bahía de giro izquierdo para los vehículos que se dirigen al oriente, sin embargo, hacia el norte se dispone de una calzada con dos carriles.

En la **Tabla 2-1** se resume la caracterización de la intersección: dimensiones físicas, estado del pavimento, de andenes, espacio público, condiciones de operación, señalización entre otros. [05]

30 Análisis de seguridad vial usando modelos de simulación en VISSIM y SSAM en la implementación de Planes de Manejo de Tránsito en la ciudad de Bogotá.

**Tabla 2-1 Caracterización AV. CL 100 entre TV 22 y AK 19**

Tipo de vía	ARTERIAL		Localidad	01 - Usaquén			
Tramo	AV. CL 100 ENTRE TV 22 Y AV. CRA 19						
REGISTRO FOTOGRÁFICO							
							
Av. Calle 100 X TV 22, Vista W-E				Av. Calle 100 XTAK 19, Vista E-W			
CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA							
ANDEN SUR	Ancho	5,1- 4,8m					
	Sentido	OCCIDENTE-ORIENTE/ORIENTE OCCIDENTE					
	Estado	Bueno	X	Regular		Malo	
	Material	concreto, losetas de concreto y adoquín de arcilla					
CICLORRUTA COSTADO NORTE	Ancho	2,2					
	Sentido	Oriente - Occidente					
	Estado	Bueno		Regular	X	Malo	
	Material	Pavimento flexible					
CALZADA SUR	Ancho	7,5-10,0m					
	Sentido	Occidente -Oriente					
	Estado	Bueno	x	Regular		Malo	
	No. calzadas	2			Ancho	7,5-10,0m	
	No. Carriles	2 y 3			Ancho	3,3	
	Material de rodadura	Pavimento flexible					
NORTE	Ancho	7,6-9,0m					
	Sentido	Oriente - Occidente					
	Estado	Bueno	X	Regular		Malo	
SEPARADOR	No. calzadas	2			Ancho	7,6-9,0m	
	No. carriles por calzada	2 y 3			Ancho	3,3	
	Material de rodadura	Pavimento flexible					
SEPARADOR	Ancho	3,4-5,9m					
	Estado	Bueno	x	Regular		Malo	
	Material	Zona verde					
CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑALIZACIÓN							
Semáforos	Bueno	x	Regular		Malo		
Señalización Reglamentaria	Bueno	x	Regular		Malo		
Señalización Preventiva	Bueno	x	Regular		Malo		
Señalización Informativa	Bueno	x	Regular		Malo		
Demarcación	Bueno		Regular	X	Malo		

Fuente: Elaboración propia a partir de / <https://idu.maps.arcgis.com/app>

## 2.3 Variables Operacionales

### 2.3.1 Dispositivos de control

La intersección de la Cll 100 x Ak 19 es semaforizada, contando con fases peatonales y de biciusuarios como se muestra en la **Tabla 2-2**:

**Tabla 2-2 Caracterización semafórica CL 100 - AK 19**

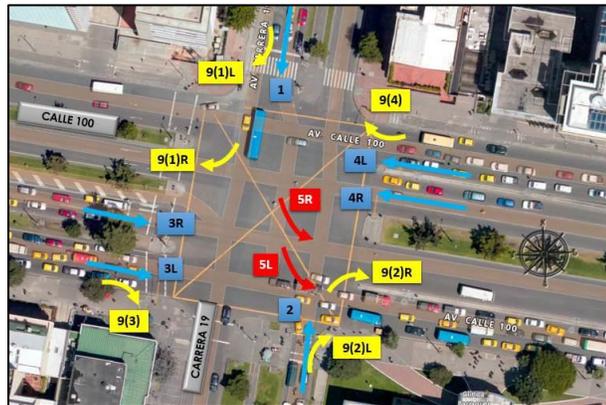
No	INTERSECCIÓN	EXTERNO	LOCALIDAD	CENTRO DE CONTROL	GRUPO DE SEÑALES	TIPO DE INTERSECCIÓN
1	AK 19 X AC 100	1.306	CHAPINERO	CGT	1, 2, 3, 4, 5, 21, 22, 23, 31, 32,	VEHICULAR, PEATONAL, BICI

Fuente: <https://movilidadbogota.maps.arcgis.com/apps>

### 2.3.2 Volúmenes vehiculares

Para la toma de volúmenes de línea base, o escenario sin PMT se estableció como estación de aforo la Av. Santa Bárbara (Carrera 19) con Av. Congreso Eucarístico (Calle 100) mediante conteo manual en el periodo de las 06:00 a las 18:00 horas en un día típico (Miércoles 07/10/2020) y un día atípico (sábado 03-10-2020) de acuerdo con la metodología establecida en el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte de Bogotá, de la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá D.C., 2005 segregando cada movimiento como se muestra en la **Figura 2-7**

**Figura 2-7 Movimientos Aforados Av. Congreso Eucarístico (Av. Calle 100) con Av. Santa Bárbara (Av. Carrera 19)**



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

32 Análisis de seguridad vial usando modelos de simulación en VISSIM y SSAM en la implementación de Planes de Manejo de Tránsito en la ciudad de Bogotá.

A continuación, se presentan las tablas con la información relacionada a la toma de volúmenes vehiculares tanto en el día típico como en el día atípico.

**Tabla 2-3 Volúmenes vehiculares Av Santa Bárbara (Carrera 19) con Av. Congreso Eucarístico (Calle 100). Día Típico**

HORA DESDE	HORA HASTA	AUTOS	SITP	BUSES	CAMIONES	MOTOS	TOTAL MIXTOS	TOTAL EQUIVALENTES
06:00:00	07:00:00	1.947	404	12	74	1.085	3.522	3.507
06:15:00	07:15:00	2.319	410	16	89	1.197	4.031	3.992
06:30:00	07:30:00	2.571	421	22	110	1.336	4.460	4.400
06:45:00	07:45:00	2.825	425	23	121	1.406	4.800	4.727
07:00:00	08:00:00	3.103	404	22	123	1.460	5.112	4.993
07:15:00	08:15:00	3.207	404	21	124	1.536	5.292	5.135
07:30:00	08:30:00	3.454	391	17	117	1.533	5.512	5.329
07:45:00	08:45:00	3.597	388	16	118	1.488	5.607	5.444
08:00:00	09:00:00	3.697	403	19	112	1.390	5.621	5.516
08:15:00	09:15:00	3.952	393	16	122	1.307	5.790	5.729
08:30:00	09:30:00	4.001	365	17	130	1.273	5.786	5.727
08:45:00	09:45:00	4.027	348	14	145	1.337	5.871	5.782
09:00:00	10:00:00	4.125	326	9	156	1.393	6.009	5.882
09:15:00	10:15:00	4.148	322	8	154	1.400	6.032	5.893
09:30:00	10:30:00	4.323	337	6	151	1.386	6.203	6.080
09:45:00	10:45:00	4.400	328	6	150	1.331	6.215	6.109
10:00:00	11:00:00	4.438	328	5	145	1.260	6.176	6.097
10:15:00	11:15:00	4.263	310	3	147	1.240	5.963	5.877
10:30:00	11:30:00	4.177	311	3	142	1.251	5.884	5.786
10:45:00	11:45:00	4.116	313	4	125	1.254	5.812	5.690
11:00:00	12:00:00	4.062	314	3	128	1.240	5.747	5.636
12:00:00	13:00:00	4.336	277	9	128	1.226	5.976	5.841
12:15:00	13:15:00	4.417	286	7	136	1.248	6.094	5.967
12:30:00	13:30:00	4.350	296	5	141	1.225	6.017	5.917
12:45:00	13:45:00	4.182	301	4	144	1.229	5.890	5.787
13:00:00	14:00:00	3.989	315	4	142	1.269	5.719	5.617
13:15:00	14:15:00	3.862	315	3	138	1.284	5.602	5.485
13:30:00	14:30:00	3.867	307	3	117	1.286	5.580	5.423
13:45:00	14:45:00	3.910	306	3	115	1.197	5.531	5.414
14:00:00	15:00:00	3.825	310	4	121	1.121	5.381	5.316
14:15:00	15:15:00	3.734	298	3	136	1.105	5.276	5.229
14:30:00	15:30:00	3.588	321	3	151	1.105	5.168	5.166
14:45:00	15:45:00	3.513	345	3	141	1.172	5.174	5.148
15:00:00	16:00:00	3.467	349	3	144	1.214	5.177	5.138
15:15:00	16:15:00	3.445	362	5	129	1.235	5.176	5.119
15:30:00	16:30:00	3.517	360	7	121	1.302	5.307	5.205
15:45:00	16:45:00	3.480	341	9	129	1.341	5.300	5.173
16:00:00	17:00:00	3.494	344	10	119	1.382	5.349	5.191
16:15:00	17:15:00	3.519	346	11	113	1.528	5.517	5.280
16:30:00	17:30:00	3.477	338	13	106	1.680	5.614	5.284
16:45:00	17:45:00	3.572	354	12	103	1.816	5.857	5.470
17:00:00	18:00:00	3.598	346	14	98	1.876	5.936	5.506

Fuente: Elaboración Propia. Datos de Campo

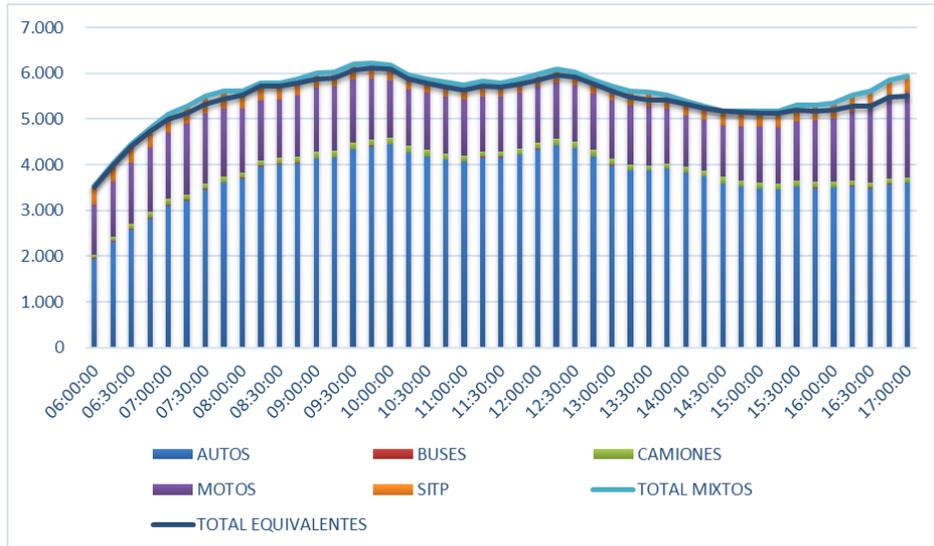
**Tabla 2-4 Volúmenes vehiculares Av Santa Bárbara (Carrera 19) con Av. Congreso Eucarístico (Calle 100). Día atípico**

HORA DESDE	HORA HASTA	AUTOS	SITP	BUSES	CAMIONES	MOTOS	TOTAL MIXTOS	TOTAL EQUIVALENTES
06:00:00	07:00:00	698	71	5	24	218	1.016	1.019
06:15:00	07:15:00	873	75	6	19	251	1.224	1.208
06:30:00	07:30:00	1.015	82	8	19	287	1.411	1.386
06:45:00	07:45:00	1.091	79	10	15	324	1.519	1.469
07:00:00	08:00:00	1.199	74	10	14	348	1.645	1.576
07:15:00	08:15:00	1.233	71	10	20	361	1.695	1.626
07:30:00	08:30:00	1.328	66	9	36	375	1.814	1.756
07:45:00	08:45:00	1.451	71	6	42	362	1.932	1.891
08:00:00	09:00:00	1.516	72	3	43	370	2.004	1.959
08:15:00	09:15:00	1.568	74	1	45	399	2.087	2.030
08:30:00	09:30:00	1.588	71	0	39	389	2.087	2.022
08:45:00	09:45:00	1.639	63	0	48	415	2.165	2.093
09:00:00	10:00:00	1.674	60	1	48	436	2.219	2.134
09:15:00	10:15:00	1.736	62	1	55	450	2.304	2.225
09:30:00	10:30:00	1.764	63	1	56	466	2.350	2.265
09:45:00	10:45:00	1.723	67	1	54	491	2.336	2.240
10:00:00	11:00:00	1.738	67	0	62	522	2.389	2.288
10:15:00	11:15:00	1.735	56	0	66	497	2.354	2.261
10:30:00	11:30:00	1.766	59	0	62	514	2.401	2.296
10:45:00	11:45:00	1.799	52	0	58	499	2.408	2.298
11:00:00	12:00:00	1.839	47	1	59	459	2.405	2.312
12:00:00	13:00:00	1.942	54	0	55	510	2.561	2.443
12:15:00	13:15:00	2.046	51	0	55	488	2.640	2.530
12:30:00	13:30:00	2.038	53	0	47	465	2.603	2.494
12:45:00	13:45:00	1.964	53	0	40	458	2.515	2.399
13:00:00	14:00:00	1.868	55	0	36	476	2.435	2.306
13:15:00	14:15:00	1.772	58	0	38	513	2.381	2.240
13:30:00	14:30:00	1.790	56	0	37	538	2.421	2.264
13:45:00	14:45:00	1.820	59	0	45	551	2.475	2.326
14:00:00	15:00:00	1.819	59	1	58	549	2.486	2.359
14:15:00	15:15:00	1.858	60	1	60	538	2.517	2.399
14:30:00	15:30:00	1.823	61	1	67	565	2.517	2.397
14:45:00	15:45:00	1.732	64	2	70	568	2.436	2.323
15:00:00	16:00:00	1.657	63	1	64	578	2.363	2.234
15:15:00	16:15:00	1.599	58	1	62	589	2.309	2.167
15:30:00	16:30:00	1.587	61	1	54	556	2.259	2.124
15:45:00	16:45:00	1.611	56	0	41	576	2.284	2.114
16:00:00	17:00:00	1.595	65	1	40	559	2.260	2.107
16:15:00	17:15:00	1.570	69	3	35	588	2.265	2.096
16:30:00	17:30:00	1.525	66	3	27	618	2.239	2.040
16:45:00	17:45:00	1.531	71	3	25	604	2.234	2.044

Fuente: Elaboración Propia. Datos de Campo

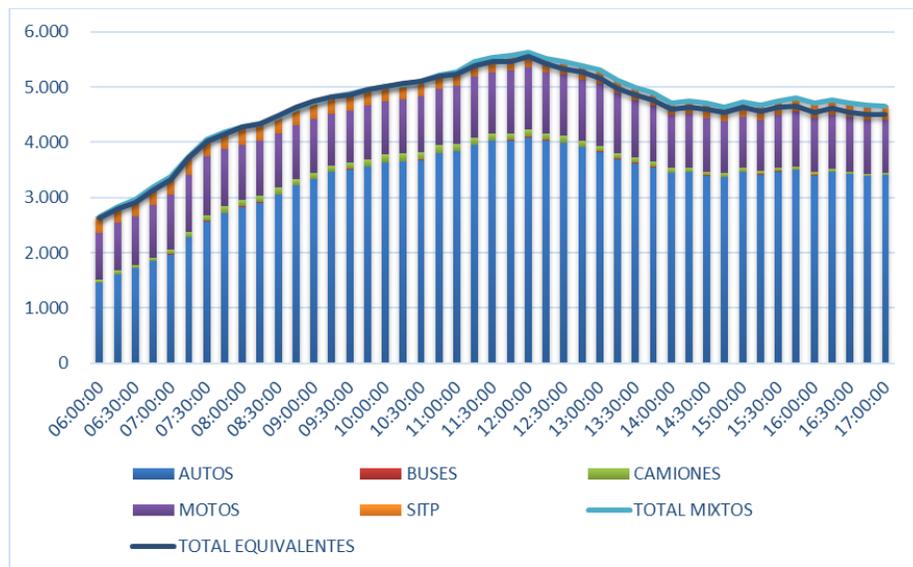
Se presentan los histogramas que muestran el comportamiento del volumen vehicular a través de todo el día de toma de información de campo y la distribución vehicular a lo largo del mismo tanto para el día típico como para el atípico:

**Figura 2-8 Comportamiento y distribución Día típico**



Fuente: Elaboración Propia. Datos de Campo

**Figura 2-9 Comportamiento y distribución vehicular Día atípico**



Fuente: Elaboración Propia. Datos de Campo

## 2.4 Variables Comportamentales

Como se mencionó anteriormente las variables comportamentales están basadas en el modelo de flujo de tráfico está basado en los análisis realizados por Rainer Wiedemann (Wiedemann, 1991) & (Wiedemann, 1974), la SDM establece unos valores recomendados para una modelación en la ciudad de Bogotá, separando los valores por composición vehicular y no motorizados como se muestra a continuación.

**Tabla 2-5 Valores recomendados para la configuración de comportamiento del conductor en modelos en Vissim para Bogotá**

PESTAÑA	PARÁMETRO	ESPECÍFICO	Autos	Bus / Camión	Motos	Bicicletas
Following	Look ahead distance	Min/Max	20/100	20/100	20/100	0/250
Following	Look ahead distance	Observed Vehícles	10,00	10,00	10,00	4,00
Following	Lookback distance	Min.	20,00	20,00	20,00	0,00
Following	Lookback distance	Max.	100,00	100,00	100,00	150,00
Following	Temporary lack of attention	Duration	0,50	0,50	0,00	0,00
Following	Temporary lack of attention	Probability	5,00%	5,00%	0,00%	0,00%
Following	Smooth Closeup Behavior	-	Si	Si	No	No
Following	Standstill Distance	-	0,50	0,80	0,20	No
Following	Wiedemann 74	Average standstill distance	0,50	0,80	0,30	0,10
Following	Wiedemann 74	Additive part of safety distance	0,40	0,50	0,40	0,20
Following	Wiedemann 74	Multiplic. Part of safety distance	0,40	0,50	0,30	0,20
Following	Wiedemann 99	Standstill Distance	0,50	0,80	0,30	0,10
Following	Wiedemann 99	Headway Time	1,00	1,50	0,80	0,50
Following	Wiedemann 99	Following' Variation	0,80	1,00	0,50	0,30

Fuente: SDM 2018

## 2.5 Determinación Hora de Máxima Demanda AM/PM

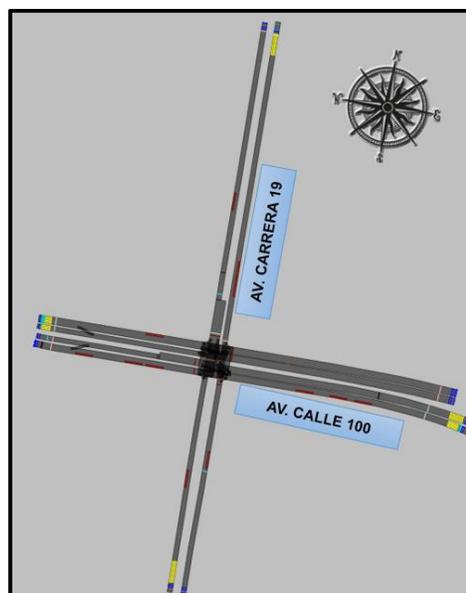
Una vez procesada y realizado el análisis de la información correspondiente a línea base se encontró que para los volúmenes vehiculares en el día típico la HMD se presenta para el periodo de la mañana entre las 10:45 - 11:45 con 5.690 vehículos equivalentes y para la tarde entre las 12:00 - 13:00 con un volumen de 5.841 vehículos equivalentes. En el día Atípico para el periodo de la mañana se encontró que la HMD se presenta entre las 10:00 - 11:00 con 5.233 vehículos equivalentes y para la tarde entre las 11:30 - 12:30 con un volumen de 5.337 vehículos equivalentes

## 2.6 Construcción de la Geometría en Vissim

### 2.6.1 Escenario Base

Con la información de la malla vial y la herramienta Toggle background maps, se procedió a construir la geometría de la vía de la situación actual a través de links y conectores en el modelo de micro simulación de tránsito para las condiciones geométricas propuestas de operación de la malla vial del área de influencia, de igual forma se determinaron los nodos de evaluación, tal como se presenta en la **Figura 2-10**

**Figura 2-10 Generación de la geometría en Vissim**



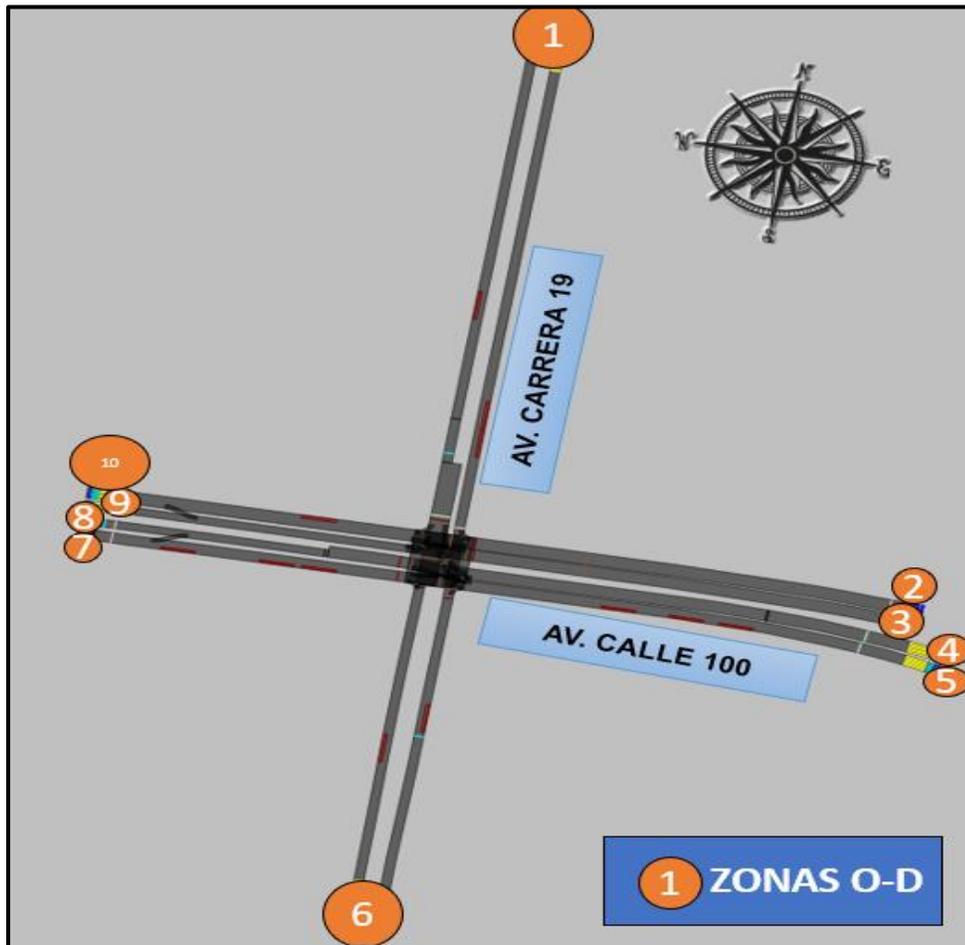
Fuente: Elaboración propia a partir de Modelo de Vissim

## 2.7 Variables de Tránsito

### 2.7.1 Asignación escenario base.

A partir del levantamiento de información de volúmenes direccionales en el sector, se establecieron las rutas con las cuales se realizó la distribución del volumen a lo largo de la red analizada, tal como se presenta a continuación.

**Figura 2-11 Zonas Origen – Destino modeladas**



Fuente: Elaboración propia a partir de SDM

### 2.7.2 Controladores semafóricos

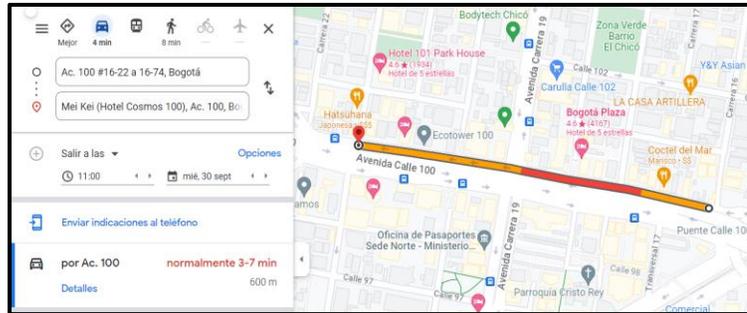
A partir del ejercicio de recopilación de información acerca de los controladores semafóricos presentes en el corredor evaluado, se encontró que existen un controladores semafóricos operando sobre la Av. Congreso Eucarístico (Calle 100), el controlador en la



### 2.7.3 Velocidades del corredor

Las velocidades se obtuvieron usando la herramienta Google Maps, el 5/nov/2020 para día típico, y el 7/nov/2020 para día atípico, de acuerdo con un punto de origen y uno de destino, se midió distancia y tiempo en tardar en recorrer en un vehículo una distancia, de esta manera se determinó la velocidad para cada tramo como se muestra en la **Figura 2-13**

**Figura 2-13 Muestra de toma de velocidades en el corredor.**



Fuente: Elaboración mediante Google Maps 2023.

**Tabla 2-6 Velocidades para los tramos analizados periodo MAÑANA**

Velocidades [Km/h] Av. Calle 100 entre Av. Carrera 15 y Av. Carrera 21				
Sentido	Calzada	Distancia(km)	Tiempo (min)	Velocidad (km/h)
WE	Lenta	0,600	1,846	19,50
	Rápida	0,600	2,000	18,00
PROMEDIO				18,75
EW	Lenta	0,600	1,733	20,77
	Rápida	0,600	1,800	20,00
PROMEDIO				20,39
Velocidades [Km/h] Av. Carrera19 entre Calle 104 y Av. Calle 100				
Sentido	Distancia(km)	Tiempo (min)	Velocidad (km/h)	
SN	0,450	1,128	23,93	
NS	0,450	1,201	22,48	
PROMEDIO				23,21

Fuente: Elaboración mediante Google Maps 2023.

Para el periodo de la **MAÑANA** en sentido occidente - oriente el resultado determinó una velocidad promedio de las dos calzadas (rápida y lenta) de 18,75 kph versus el modelo de

Vissim que arrojó 18,96 kph; en sentido oriente – occidente se determinó una velocidad promedio de 20,39 kph versus el modelo de Vissim que arrojó 20,99 kph En la **Tabla 2-6** se presentan el resumen de velocidades.

Para el periodo de la **TARDE** en sentido occidente - oriente el resultado determinó una velocidad promedio de las dos calzadas (rápida y lenta) de 18,93 kph versus el modelo de Vissim que arrojó 18,93 kph; en sentido oriente – occidente se determinó una velocidad promedio de 21,38 kph versus el modelo de Vissim que arrojó 22,18 kph En la **Tabla 2-7** se presentan el resumen de velocidades.

**Tabla 2-7 Velocidades para los tramos analizados periodo TARDE**

Velocidades [Km/h] Av. Calle 100 entre Av. Carrera 15 y Av. Carrera 21				
Sentido	Calzada	Distancia(km)	Tiempo (min)	Velocidad (km/h)
WE	Lenta	0,600	1,840	19,57
	Rápida	0,600	1,968	18,29
PROMEDIO				18,93
EW	Lenta	0,600	16,042	21,61
	Rápida	0,600	15,744	21,14
PROMEDIO				21,38
Velocidades [Km/h] Av. Carrera19 entre Calle 104 y Av. Calle 100				
Sentido	Distancia(km)	Tiempo (min)	Velocidad (km/h)	
SN	0,450	1,210	22,32	
NS	0,450	1,306	20,68	

Fuente: Elaboración mediante Google Maps 2023

## 2.8 Variables de Comportamiento

La configuración en el programa se estableció de acuerdo con los datos sugeridos por la SDM en cuanto a los datos recomendados en la ciudad de Bogotá, a continuación, se muestra la interfaz diligenciada en el programa para la configuración mencionada.

**Figura 2-14 Configuración de Comportamiento del conductor**

Conteo: 13	No	Nom	NumInteractObj	StandDistIsFix	StandDist	CarFollowModType	W74bxAdd	W74bxMult	LnChgRule	Des.LatPos	OvtLDef	OvtRDef	LatDistDrvDef	LatDistStandDef
1	1	Urban (motorized)	4	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 74	2.00	3.00	Free lane selection	Middle of lane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.00	0.20
2	2	Right-side rule (motorized)	2	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 99	2.00	3.00	Slow lane rule	Middle of lane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.00	0.20
3	3	Freeway (free lane selectio...	2	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 99	2.00	3.00	Free lane selection	Middle of lane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.00	0.20
4	4	Footpath (no interaction)	2	<input type="checkbox"/>	0.50	No interaction	2.00	3.00	Free lane selection	Any	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.00	0.20
5	5	Cycle-Track (free overtakin...	2	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 99	2.00	3.00	Free lane selection	Right	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.30	0.10
6	6	Urban lateral (motorized)	4	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 74	1.00	1.00	Free lane selection	Middle of lane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.50	0.50
7	7	Motos lateral (motorized)	4	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 74	1.00	1.00	Free lane selection	Any	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.50	0.50
8	101	AV cautious (CoEXist)	2	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 99	2.00	3.00	Free lane selection	Middle of lane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.00	0.20
9	102	AV normal (CoEXist)	2	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 99	2.00	3.00	Free lane selection	Middle of lane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.00	0.20
10	103	AV aggressive (CoEXist)	10	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 99	2.00	3.00	Free lane selection	Middle of lane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.00	0.20
11	104	Urban (motorized)	4	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 74	2.00	3.00	Free lane selection	Middle of lane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.00	1.00
12	107	Footpath (no interaction)	2	<input type="checkbox"/>	0.50	No interaction	2.00	3.00	Free lane selection	Any	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.00	1.00
13	108	Cycle-Track (free overtakin...	2	<input type="checkbox"/>	0.50	Wiedemann 99	2.00	3.00	Free lane selection	Right	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.30	0.10

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo Vissim

## 2.9 Calibración de modelos de simulación de Tránsito

### 2.9.1 Calibración escenario base

La calibración del modelo consistió en el proceso secuencial de asignaciones del volumen sobre la red vial hasta ajustar los flujos asignados, de acuerdo con la disposición de los puntos de aforo que se muestran en la **Figura 2-15**. La calibración consistió en comparar los flujos en los arcos seleccionados en el modelo con los puntos de aforo de los cuales se dispone de información, para el análisis se tomaron los movimientos generados en la intersección tenida en cuenta para el análisis:

**Figura 2-15 Punto de Calibración del Modelo**



Fuente: Elaboración propia a partir de modelo Vissim

42 Análisis de seguridad vial usando modelos de simulación en VISSIM y SSAM en la implementación de Planes de Manejo de Tránsito en la ciudad de Bogotá.

En la **Tabla 2-8** se puede observar la calibración del modelo desde sus cuatro factores de calibración, con un error de precisión del 0,2%, un porcentaje de aceptación del 96 % un GEH de 0,14 con 5812 vehículos observados frente a 5801 vehículos modelados.

**Tabla 2-8 Resultados Calibración para vehículos livianos, pesados y motos**

	No.	MOV	DATA COLLECTION	ESTACION	FLUJO VEHICULAR AFORADO	FLUJO VEHICULAR MODELADO	CALIBRACIÓN GEH		CALIBRACIÓN FLUJOS			
							GEH	ACEPTACIÓN	INT. 1	INT. 2	INT. 3	
Movimiento 1	LIVIANOS	1	1	66,67,68,69	AC100XKR19	440	449	0,43	1	1	-	-
	SITP	2	1	66,67,68,69	AC100XKR19	2	0	2,00	1	1	-	-
	BUS	3	1	66,67,68,69	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
	CAMION	4	1	66,67,68,69	AC100XKR19	11	11	0,00	1	1	-	-
	MOTO	5	1	66,67,68,69	AC100XKR19	113	120	0,65	1	1	-	-
Movimiento 2	LIVIANOS	1	2	79,8	AC100XKR19	350	372	1,16	1	1	-	-
	SITP	2	2	79,8	AC100XKR19	27	19	1,67	1	1	-	-
	BUS	3	2	79,8	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
	CAMION	4	2	79,8	AC100XKR19	11	15	1,11	1	1	-	-
	MOTO	5	2	79,8	AC100XKR19	85	92	0,74	1	1	-	-
Movimiento 3L	LIVIANOS	1	3L	72,73,78	AC100XKR19	505	512	0,31	1	1	-	-
	SITP	2	3L	72,73,78	AC100XKR19	103	99	0,40	1	1	-	-
	BUS	3	3L	72,73,78	AC100XKR19	2	2	0,00	1	1	-	-
	CAMION	4	3L	72,73,78	AC100XKR19	15	16	0,25	1	1	-	-
	MOTO	5	3L	72,73,78	AC100XKR19	141	146	0,42	1	1	-	-
Movimiento 3R	LIVIANOS	1	3R	75,76,77	AC100XKR19	439	448	0,43	1	1	-	-
	SITP	2	3R	75,76,77	AC100XKR19	21	1	6,03	0	1	-	-
	BUS	3	3R	75,76,77	AC100XKR19	1	0	1,41	1	1	-	-
	CAMION	4	3R	75,76,77	AC100XKR19	13	6	2,27	1	1	-	-
	MOTO	5	3R	75,76,77	AC100XKR19	221	215	0,41	1	1	-	-
Movimiento 4L	LIVIANOS	1	4L	83,84,85	AC100XKR19	598	604	0,24	1	1	-	-
	SITP	2	4L	83,84,85	AC100XKR19	104	82	2,28	1	1	-	-
	BUS	3	4L	83,84,85	AC100XKR19	1	0	1,41	1	1	-	-
	CAMION	4	4L	83,84,85	AC100XKR19	15	17	0,50	1	1	-	-
	MOTO	5	4L	83,84,85	AC100XKR19	163	172	0,70	1	1	-	-
Movimiento 4R	LIVIANOS	1	4R	87,88,89	AC100XKR19	852	864	0,41	1	-	1	-
	SITP	2	4R	87,88,89	AC100XKR19	11	12	0,29	1	1	-	-
	BUS	3	4R	87,88,89	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
	CAMION	4	4R	87,88,89	AC100XKR19	31	28	0,55	1	1	-	-
	MOTO	5	4R	87,88,89	AC100XKR19	210	205	0,35	1	1	-	-
Movimiento 5L	LIVIANOS	1	5L	65	AC100XKR19	200	195	0,36	1	1	-	-
	SITP	2	5L	65	AC100XKR19	5	0	3,16	1	1	-	-
	BUS	3	5L	65	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
	CAMION	4	5L	65	AC100XKR19	3	3	0,00	1	1	-	-
	MOTO	5	5L	65	AC100XKR19	77	80	0,34	1	1	-	-
Movimiento 5R	LIVIANOS	1	5R	64	AC100XKR19	11	11	0,00	1	1	-	-
	SITP	2	5R	64	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
	BUS	3	5R	64	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
	CAMION	4	5R	64	AC100XKR19	2	2	0,00	1	1	-	-
	MOTO	5	5R	64	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
Movimiento 9(1)L	LIVIANOS	1	9(1)L	61	AC100XKR19	282	274	0,48	1	1	-	-
	SITP	2	9(1)L	61	AC100XKR19	15	15	0,00	1	1	-	-
	BUS	3	9(1)L	61	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
	CAMION	4	9(1)L	61	AC100XKR19	11	10	0,31	1	1	-	-
	MOTO	5	9(1)L	61	AC100XKR19	109	104	0,48	1	1	-	-
Movimiento 9(2)L	LIVIANOS	1	9(2)L	81	AC100XKR19	100	96	0,40	-	-	-	-
	SITP	2	9(2)L	81	AC100XKR19	0	0	-	-	-	-	-
	BUS	3	9(2)L	81	AC100XKR19	0	0	-	-	-	-	-
	CAMION	4	9(2)L	81	AC100XKR19	5	4	0,47	-	-	-	-
	MOTO	5	9(2)L	81	AC100XKR19	33	35	0,34	-	-	-	-
Movimiento 9(2)R	LIVIANOS	1	9(2)R	82	AC100XKR19	16	14	0,52	1	1	-	-
	SITP	2	9(2)R	82	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
	BUS	3	9(2)R	82	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
	CAMION	4	9(2)R	82	AC100XKR19	2	3	0,63	1	1	-	-
	MOTO	5	9(2)R	82	AC100XKR19	3	4	0,53	1	1	-	-
Movimiento 9(3)	LIVIANOS	1	9(3)	74	AC100XKR19	198	204	0,42	1	1	-	-
	SITP	2	9(3)	74	AC100XKR19	21	0	6,48	0	1	-	-
	BUS	3	9(3)	74	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
	CAMION	4	9(3)	74	AC100XKR19	4	5	0,47	1	1	-	-
	MOTO	5	9(3)	74	AC100XKR19	52	52	0,00	1	1	-	-
Movimiento 9(4)	LIVIANOS	1	9(4)	86	AC100XKR19	125	134	0,79	1	1	-	-
	SITP	2	9(4)	86	AC100XKR19	4	0	2,83	1	1	-	-
	BUS	3	9(4)	86	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
	CAMION	4	9(4)	86	AC100XKR19	2	3	0,63	1	1	-	-
	MOTO	5	9(4)	86	AC100XKR19	47	46	0,15	1	1	-	-
Movimiento 91R	LIVIANOS	1	91R	90	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
	SITP	2	91R	90	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
	BUS	3	91R	90	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
	CAMION	4	91R	90	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-
	MOTO	5	91R	90	AC100XKR19	0	0	-	-	1	-	-

5.812	5.801	0,14	96%	100%	100%	-
TOTAL OBSERVADO	TOTAL MODELADO	GEH	% ACEPTACIÓN	% ACEP. INT. 1	% ACEP. INT. 2	% ACEP. INT. 3

0,2%
ERROR PRECISIÓN

- ✓
- ✓
- ✓
- ✓

1	Flujos de arcos individuales
2	Suma de todos los flujos por arco
3	GEH para flujos por arco individual
4	GEH para suma sobre flujos de arco

Fuente: Elaboración propia a partir de la información del Departamento de Transporte de California, 2002

Una vez realizada la calibración y simulación en el programa Vissim 2020, se verificaron y evaluaron los principales parámetros de la red, como son: demoras, niveles de servicio, velocidad promedio en la red bajo una precarga de 15 minutos.

Con estos datos se procedió a realizar el análisis de capacidad de la infraestructura y del **nivel de servicio**, teniendo como punto de partida las demoras por vehículo, de acuerdo con los parámetros del Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte – SDM (2005) para intersecciones controladas con semáforo.

**Tabla 2-9 Evaluación de nodos escenario base**

MOVIMIENTO	MOVIMIENTO/DIRECCIÓN	COLA PROM. (m)	COLA MAX. (m)	VEHÍCULOS	NIVEL DE SERVICIO	DEMORA PROM. POR VEHÍCULO.(Seg.)
102: AC100XCL19 - 2@320.0 - 2@389.0	E-W	26,640	92,597	929	LOS_D	43,894
102: AC100XCL19 - 2@320.0 - 58@382.9	E-N	26,640	92,597	177	LOS_D	44,301
102: AC100XCL19 - 2@320.0 - 95@14.1	E-W	26,640	92,597	0	LOS_A	0,000
102: AC100XCL19 - 58@293.8 - 58@382.9	S-N	25,540	108,146	535	LOS_D	47,533
102: AC100XCL19 - 58@293.8 - 93@111.0	S-E	25,540	108,146	28	LOS_E	58,205
102: AC100XCL19 - 58@293.8 - 98@280.8	S-E	25,540	108,146	138	LOS_D	42,141
102: AC100XCL19 - 74@43.0 - 2@389.0	N-W	39,107	135,323	397	LOS_D	47,111
102: AC100XCL19 - 74@43.0 - 92@20.2	N-S	39,107	135,323	538	LOS_D	40,775
102: AC100XCL19 - 74@43.0 - 93@111.0	N-E	39,107	135,323	18	LOS_D	52,939
102: AC100XCL19 - 74@43.0 - 98@280.8	N-E	39,107	135,323	283	LOS_D	50,258
102: AC100XCL19 - 74@43.0 - 10109@9.6	N-SW	39,107	135,323	2	LOS_C	24,516
102: AC100XCL19 - 93@43.0 - 93@111.0	W-E	13,597	47,201	640	LOS_D	42,222
102: AC100XCL19 - 93@43.0 - 98@280.8	W-E	13,597	47,201	0	LOS_A	0,000
102: AC100XCL19 - 98@213.7 - 92@20.2	W-S	33,922	158,020	282	LOS_D	50,065
102: AC100XCL19 - 98@213.7 - 93@111.0	W-E	33,922	158,020	0	LOS_A	0,000
102: AC100XCL19 - 98@213.7 - 98@280.8	W-E	33,922	158,020	845	LOS_D	44,772
102: AC100XCL19 - 10096@1.5 - 95@14.1	E-W	0,003	13,117	1175	LOS_A	0,064
102: AC100XCL19 - 10117@20.7 - 2@389.0	E-W	0,000	0,000	0	LOS_A	0,000
<b>102: AC100XCL19</b>	<b>Total</b>	<b>19,830</b>	<b>158,020</b>	<b>5987</b>	<b>LOS_D</b>	<b>36,146</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de salida del Software Vissim

#### 44 Análisis de seguridad vial usando modelos de simulación en VISSIM y SSAM en la implementación de Planes de Manejo de Tránsito en la ciudad de Bogotá.

---

En cuanto al desempeño de la red se obtuvo una velocidad en el sistema de 19,95 kph para la Hora de Máxima demanda de 12:00 a 13:00, con 47,37 segundos de demora en promedio por vehículo para recorrer la red, con **una** parada en promedio en su recorrido por el tramo.

Con relación al nivel de servicio, en específico en la zona a intervenir presenta un nivel de servicio D para ambos sentidos de circulación. con demoras promedio por vehículo que no superan los 36,15 segundos y colas máximas que no superan los 158 metros.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el desempeño de la red y para los tiempos de viaje.

**Tabla 2-10 Desempeño de la red – escenario base**

SIMULACIÓN	DEMORA PROMEDIO (Seg.)	N° PROMEDIO DE PARADAS	VELOCIDAD PROMEDIO (Km/h)	VEHÍCULOS EN LA RED	VEHÍCULOS ATENDIDOS	DEMANDA LATENTE
2	47,37	0,95	19,95	232	5985	0

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de salida del Software Vissim

**Tabla 2-11 Tiempos de Viaje escenario base**

TRAMO DE EVALUACIÓN	VEHICULOS EVALUADOS	TIEMPO DE VIAJE (Min)	DISTANCIA DE VIAJE (Km)	VELOCIDAD (Km/h)
11: W-E/3L	845	1,57	0,55	20,95
12: W-E/3R	632	1,94	0,55	17,00
17: E - W 4L	932	1,63	0,56	20,61
18: E - W 4R	1171	1,62	0,56	20,77
19: KR19 S-N	717	1,13	0,45	23,59
20: K19 N-S	1238	1,27	0,44	20,74

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de salida del Software Vissim

Con estos datos obtenidos se da por calibrado el modelo, por consiguiente, se procede con la evaluación del escenario con PMT.

## 2.10 Calibración de escenario con PMT

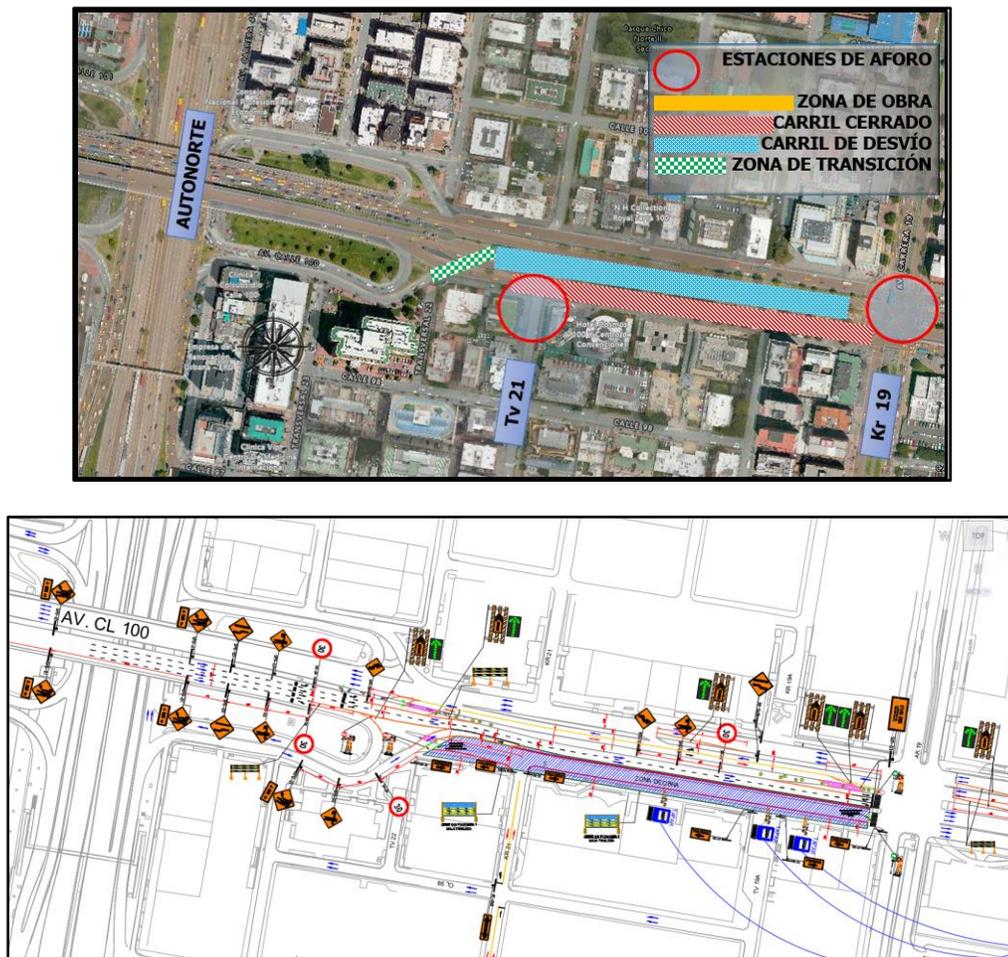
A continuación, se definen los resultados modelados de la situación con el cierre de la Av. Congreso Eucarístico (Av. Calle 100) entre Carrera 21 y Carrera 19 (Sentido Occidente - Oriente), analizando las variables en función de las demoras, colas y los volúmenes por intersección por acceso y movimiento.

### 2.10.1 Escenario con Plan de Manejo de Transito

Para la implementación del PMT se contempla cierre de 24 horas sobre la Av. Congreso Eucarístico (Av. Calle 100) [Calzada lenta] entre Carrera 21 y Carrera 19 (Sentido Occidente - Oriente), teniendo en cuenta el cierre planteado y con el fin de garantizar la circulación de los vehículos tanto en sentido Occidente – oriente y oriente - occidente se realiza el análisis de este escenario.

En la siguiente figura se presenta la red con PMT en la cual se puede observar el cierre planteado sobre la Av. Congreso Eucarístico (Av. Calle 100) [Calzada lenta] entre Carrera 21 y Carrera 19 (Sentido Occidente - Oriente)

Figura 2-16 Esquema de la situación con PMT propuesto



Fuente: Elaboración propia

**Señalización de primer nivel:** Se propone pasacalles por todos los puntos cardinales de las vías arteriales que conducen a la zona de obra, de tal manera que los usuarios identifiquen las rutas alternas a tomar. Con el fin de desincentivar el uso del corredor

El propósito de estos es orientar a los usuarios para que tomen la decisión que les satisfaga, sin embargo, se sugiere, que los vehículos livianos puedan circular por el carril izquierdo y en el contraflujo o en su defecto continuar por este hasta finalizar las obras.

Por otra parte, se indica a los buses de transporte público que transiten por el centro y continúen por la cazada Sur rápida, en especial para quienes necesiten ir al Sur por la AK 19 lo puedan hacer sin inconvenientes.

### **Señalización de segundo y tercer nivel**

La señalización a utilizar para el desarrollo del Plan de Manejo de Tránsito corresponde a todas aquellas señales de aproximación de obra, así como los demás elementos de seguridad para canalizar los flujos vehiculares y peatonales dentro del sector de obra.

La señalización a utilizar tendrá el tablero en material reflectivo tipo IV. Para la Señalización informativa de obra se empleará un tablero de mínimo 75 o 90cm de diámetro, fondo naranja reflectivo, mensaje y orla de color negro, para el texto se utilizará el alfabeto tipo D, en las señales de obra SIO-01 y SIO-05 se empleará un tamaño de letra de 15 centímetros y el ancho del tablero para este estará dado por la distribución del mensaje a lo largo del tablero, las demás especificaciones estarán dadas de acuerdo a lo establecido en el Manual de señalización Vial expedido por el Ministerio de Transporte (Resolución 1885 de 2015) para vías urbanas.

La zona de obra será señalizada con canalizadores tubulares y cinta de seguridad para canalizar al flujo vehicular. Estos elementos estarán precedidos por señales preventivas, informativas y reglamentarias dispuestos a lado de la vía y en horas de oscuridad serán complementados con dispositivos luminosos como lo son las flechas cumpliendo con lo recomendado por la SDM y el Manual de Señalización vigente.

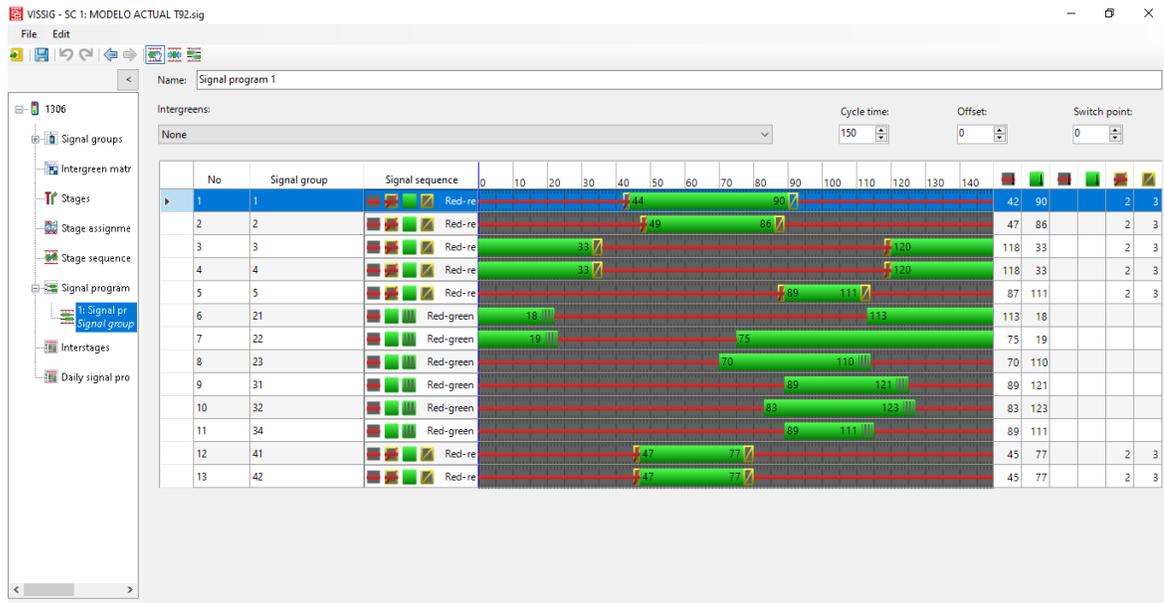
Las barreras estarán formadas por bandas o listones, con longitud de 2 a 2,4 metros y 0,20 m, con una altura total de 1,50. La barrera será fijada sobre caballetes ubicada perpendicularmente al eje de la vía, obstruyendo la calzada para la circulación del tránsito vehicular, además contará con una señal reglamentaria SRO-02. En horario nocturno se complementará con señal luminosa.

Las franjas de las barreras serán de colores alternados blanco y naranja, con una inclinación hacia el piso de 45 grados en la dirección del paso de los vehículos, las franjas serán elaboradas en material reflectivo

Tipo III, de tal manera que sean visibles, bajo condiciones atmosféricas normales (especificaciones técnicas manual de señalización vial del ministerio del transporte 2015).

Adicionalmente, se considera en este escenario, la modificación del planeamiento semafórico de la intersección de la Av. Calle 100 con Av. Carrera 19, lo que permite configurar el controlador semafórico para ofrecerle unos segundos adicionales a los accesos 3 y 4 de dicha intersección.

**Figura 2-17 Planeamiento semafórico con PMT**



Fuente: Elaboración propia a partir de VISSIM

Por otra parte, hubo un cambio en las matrices en situación con PMT, debido al cierre de la calzada lenta del costado sur de la Av. Calle 100, por lo cual la zona 7, se unificó con la zona 8, es decir, el volumen que salía de la zona 7 ahora se adiciona a la zona 8.

En cuanto al desempeño de la red se observa una velocidad en el sistema de 17,39 kph para la Hora de Máxima demanda de 12:00-13:00, con 77,13 segundos de demora en promedio por vehículo para recorrer la red, con aproximadamente tres paradas en promedio en su recorrido por el tramo.

Con relación a los niveles de servicio, a nivel general las intersecciones presentan nivel de servicio E con demoras promedio por vehículo que no superan los 60 segundos y colas máximas que no superan los 250 metros.

48 Análisis de seguridad vial usando modelos de simulación en VISSIM y SSAM en la implementación de Planes de Manejo de Tránsito en la ciudad de Bogotá.

**Tabla 2-12 Evaluación de nodos escenario con PMT**

MOVIMIENTO	MOVIMIENTO/DIRECCIÓN	COLA PROM. (m)	COLA MAX. (m)	VEHÍCULOS	NIVEL DE SERVICIO	DEMORA PROM. POR VEHÍCULO.(Seg.)
102: AC100XCL19 - 5@59.5 - 1@89.4	E-W	37,700	116,431	0	LOS_A	0,000
102: AC100XCL19 - 5@59.5 - 95@38.8	E-W	37,700	116,431	1156	LOS_D	51,087
102: AC100XCL19 - 9@198.3 - 10010@8.1	W-SE	149,725	203,981	575	LOS_F	134,718
102: AC100XCL19 - 58@307.4 - 10@18.1	S-E	34,712	122,209	28	LOS_D	47,011
102: AC100XCL19 - 58@307.4 - 11@20.2	S-E	30,397	116,592	138	LOS_D	51,129
102: AC100XCL19 - 58@307.4 - 58@385.3	S-N	34,712	122,209	539	LOS_D	53,281
102: AC100XCL19 - 74@41.8 - 1@89.4	N-W	37,357	143,471	387	LOS_D	42,179
102: AC100XCL19 - 74@41.8 - 10@18.1	N-E	37,357	143,471	20	LOS_F	87,440
102: AC100XCL19 - 74@41.8 - 11@20.2	N-E	37,357	143,471	272	LOS_E	66,438
102: AC100XCL19 - 74@41.8 - 92@7.2	N-S	37,357	143,471	538	LOS_D	40,779
102: AC100XCL19 - 93@19.5 - 10@18.1	W-E	102,536	188,407	322	LOS_E	59,477
102: AC100XCL19 - 93@19.5 - 11@20.2	W-E	102,536	188,407	434	LOS_F	97,551
102: AC100XCL19 - 93@19.5 - 92@7.2	W-S	102,536	188,407	278	LOS_F	105,955
102: AC100XCL19 - 10012@3.0 - 10@18.1	W-E	191,090	246,724	266	LOS_C	23,951
102: AC100XCL19 - 10012@3.0 - 11@20.2	W-E	191,090	246,724	309	LOS_D	35,539
<b>102: AC100XCL19</b>	<b>Total</b>	<b>76,776</b>	<b>246,724</b>	<b>6356</b>	<b>LOS_E</b>	<b>59,862</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de salida del Software Vissim

**Tabla 2-13 Evaluación de nodos escenario con PMT**

SIMULACIÓN	DEMORA PROMEDIO (Seg.)	N° PROMEDIO DE PARADAS	VELOCIDAD PROMEDIO (Km/h)	VEHÍCULOS EN LA RED	VEHÍCULOS ATENDIDOS	DEMANDA LATENTE
19	77,13	2,68	17,39	260	5781	108

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de salida del Software Vissim

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con la micro-simulación del escenario actual y del escenario con PMT se observa una reducción de la velocidad del 13 % y un aumento de aproximadamente 30 segundos en la demora promedio por vehículo para el desempeño general de la red.

**Tabla 2-14 Cuadro comparativo parámetros de operación**

ESCENARIO PROPUESTO	VELOCIDAD PROMEDIO RED (KPH)	DEMORAS PROMEDIO (SEG)	VARIACIÓN DE VELOCIDAD	VARIACIÓN DE DEMORAS
SITUACIÓN BASE	19,95	47,37	-13%	29,76
SITUACIÓN CON PMT	17,39	77,13		

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de salida del Software Vissim

Con relación a los niveles de servicio, a nivel general la intersección muestra una variación el nivel de servicio actual "D" con respecto a la situación con PMT "E".

Comparando las demoras promedio, en la situación actual de 47 segundos y en la situación con PMT de 77 segundos, lo que representa una variación de aproximadamente 30 segundos.

En cuanto a la revisión de colas máximas, presentes en la intersección directamente afectada Av. Congreso Eucarístico (Av. Calle 100) con Av. Santa Bárbara (Av. Calle 19), en la situación actual se puede presentar una cola máxima de 158 metros, mientras que en la situación con PMT, se puede presentar una cola máxima de 247 metros, lo que representa un aumento en la posible cola máxima de 89 metros.

**Tabla 2-15 Resumen comparativo de parámetros en ambos escenarios**

COMPARATIVO SITUACIÓN BASE VS PMT		PM	
VARIABLE	UNIDAD	SITUACIÓN ACTUAL	SITUACIÓN PMT
<b>SIMULACION</b>	-	2	19
DEMORA PROMEDIO RED	Sg/Veh	47,37	77,13
VELOCIDAD PROMEDIO RED	Km/H	19,95	17,39
N° PARADAS	N°	0,95	2,68
VEHÍCULOS ACTIVOS EN LA RED	Veh/h	232	260
VEHÍCULOS ATENDIDOS EN LA RED	Veh/h	5985	5781
DEMANDA LATENTE	Veh	0	108
<b>AV. CALLE 100 CON AV. CARRERA 19</b>			
DEMORAS PROMEDIO	(seg)	36,15	59,86
NIVEL DE SERVICIO	LS	LOS_D	LOS_E
LONG MÁX DE COLA	m	158,02	246,72

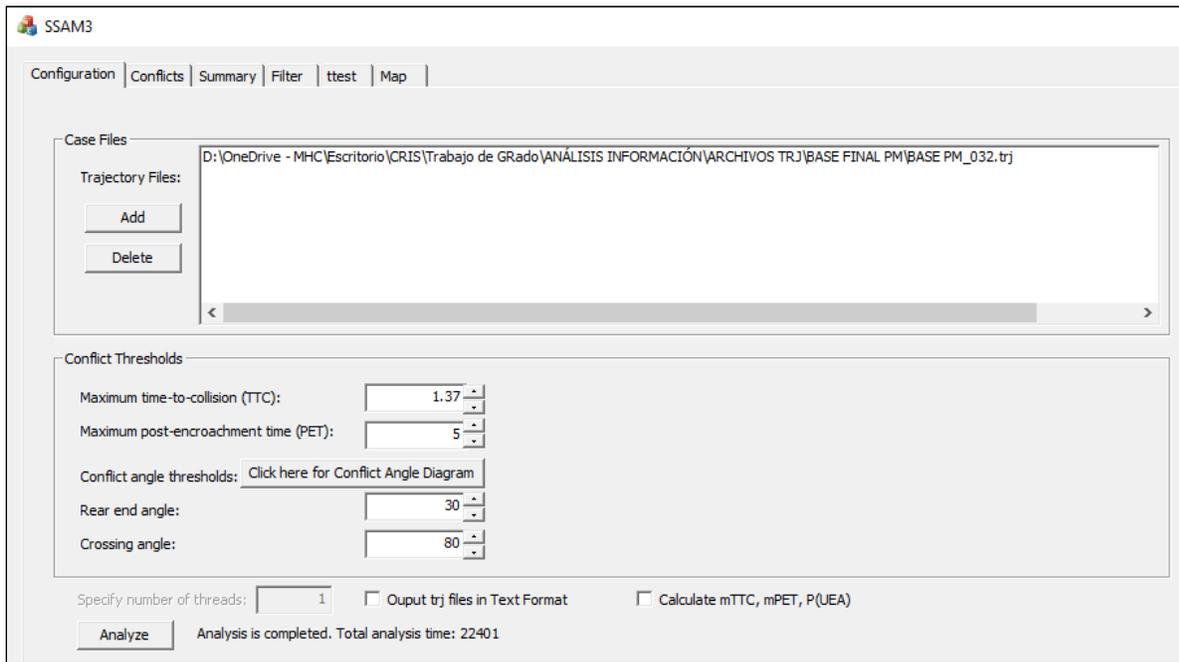
Cabe resaltar que se propone en la situación con PMT una variación en los tiempos del controlador semafórico, asignándole aproximadamente 5 segundos adicionales a los accesos 3 y 4 (Sentido occidente – oriente y Oriente – occidente), con el fin de proveer más tiempo y capacidad para disipar la cola en la intersección.

## 2.11 Generación de conflictos

Para la generación de conflictos se usó la versión 3.0 del programa SSAM; como se mencionó anteriormente los datos de entrada son: el archivo de trayectorias generado por Vissim versión 2020, y el dato de tiempo máximo al choque o TTC máximo obtenido de la calibración realizada para la ciudad de Bogotá cuyo valor es  $TTC_{max} = 1.37$  como se muestra en la **Figura 2-18**.

El archivo de trayectorias se generó luego de procesar 10 iteraciones del modelo calibrado en Vissim de la HMD, teniendo en cuenta la naturaleza aleatoria del modelo estocástico de la simulación.

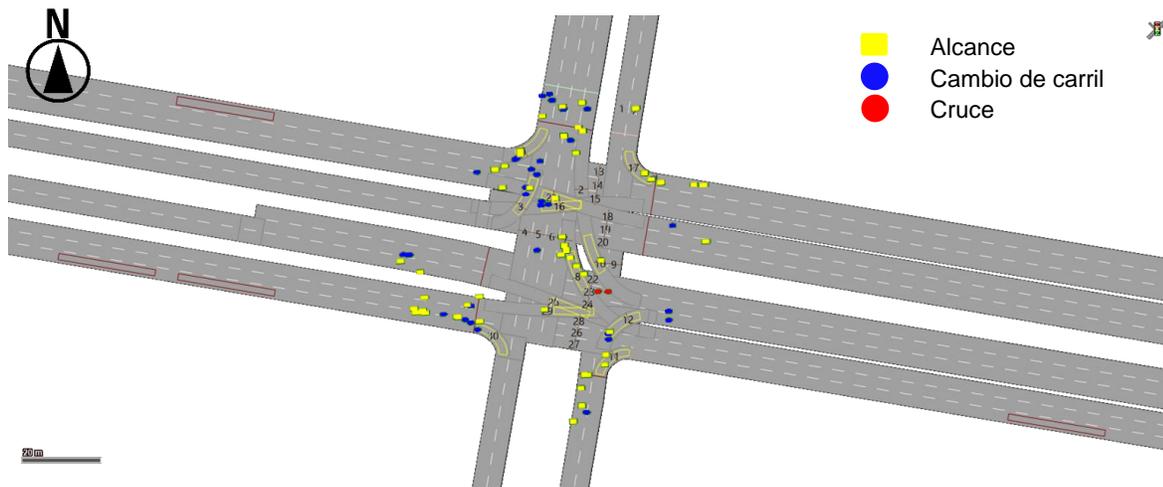
**Figura 2-18 Datos de entrada SSAM – Escenario Base AM**



Fuente: Elaboración propia a partir de SSAM

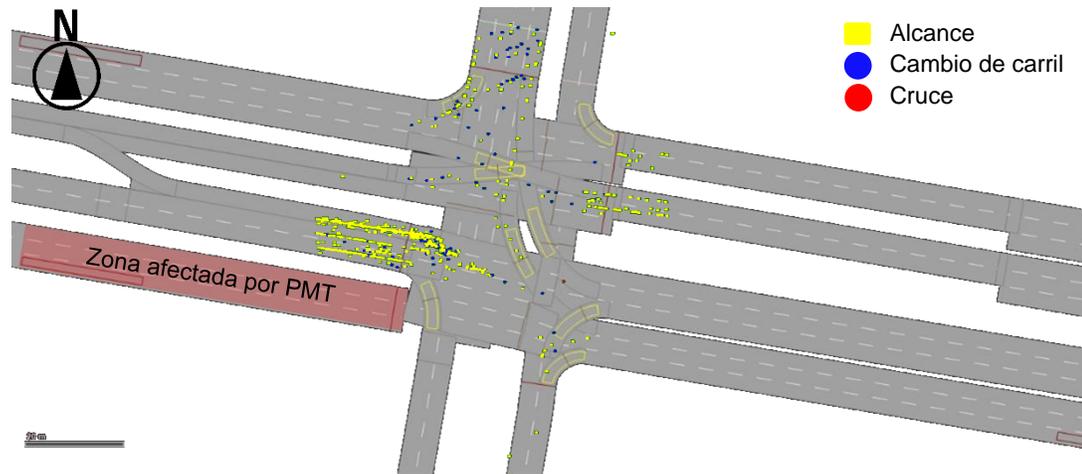
En las **Figura 2-19** y **Figura 2-20** se muestran los conflictos generados tanto para el escenario Base como para el escenario con la implementación del Plan de Manejo de Tránsito del cual se puede hacer un primer análisis gráfico de los conflictos presentados.

**Figura 2-19 Conflictos Generados escenario Base**



Fuente: Elaboración propia a partir de SSAM

**Figura 2-20 Conflictos Generados escenario con PMT**



Fuente: Elaboración propia a partir de SSAM

En el escenario con implementación de PMT se ha eliminado el enlace de la calzada lenta del costado sur en sentido occidente oriente, adicionalmente, un porcentaje del volumen desviado se acumula en la calzada rápida causando una mayor acumulación de vehículos y una aparente disminución de espaciamiento entre vehículos lo cual genera un mayor número de conflictos por alcance.

En las figuras se observa una mínima cantidad de conflictos tipo cruce lo cual se debe a que el modelo de simulación se está basando en una intersección semaforizada donde cada acceso tiene una fase distinta disminuyendo considerablemente este tipo de eventos.

En la **Tabla 2-16** se presentan los valores de los conflictos generados por SSAM diferenciados por tipo de conflicto según el ángulo en el que se generan para los escenarios de línea base y con PMT implementado, tanto para el periodo AM como PM.

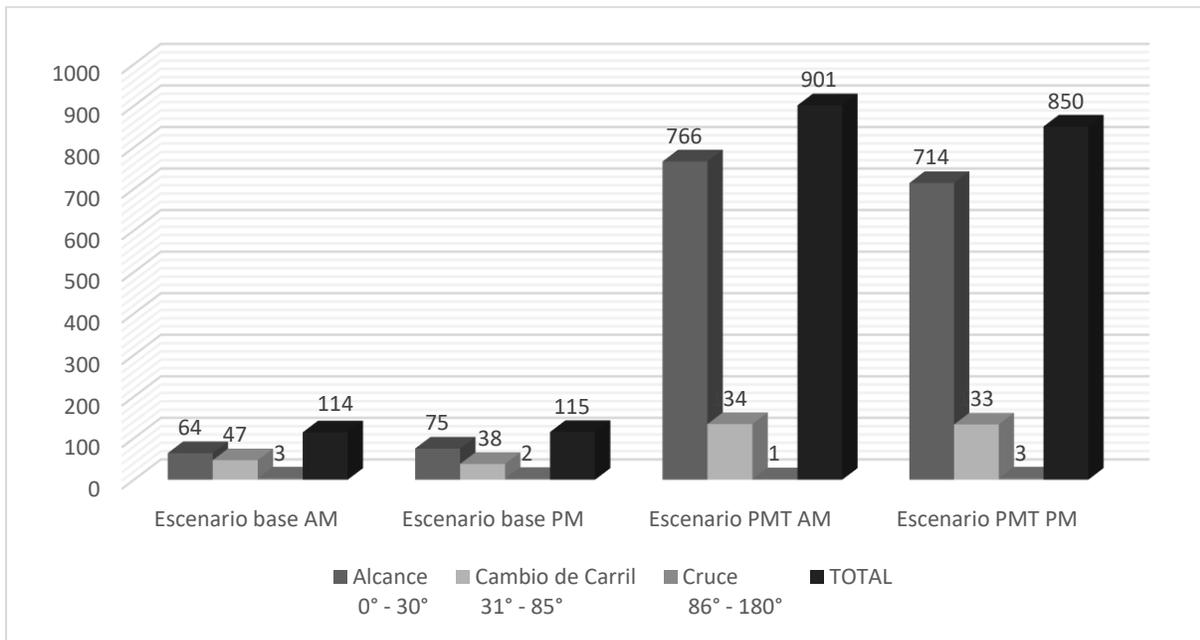
**Tabla 2-16 Resumen de conflictos generados en escenario Base y con PMT**

CONFLICTOS	Alcance 0° - 30°	Cambio de Carril 31° - 85°	Cruce 86° - 180°	TOTAL
<b>Escenario base AM</b>	64	47	3	114
<b>Escenario base PM</b>	75	38	2	115
<b>Escenario PMT AM</b>	766	134	1	901
<b>Escenario PMT PM</b>	714	133	3	850

Fuente: Elaboración propia a partir de SSAM

Una vez procesados los datos de conflictos se observa una gran diferencia entre los datos obtenidos para conflictos en escenario base versus los generados con el escenario del PMT implementado. En el periodo AM hubo un incremento del 790%, mientras que en el periodo PM el incremento fue del 739% en la totalidad de los conflictos

**Figura 2-21 Conflictos Generados escenario con PMT**



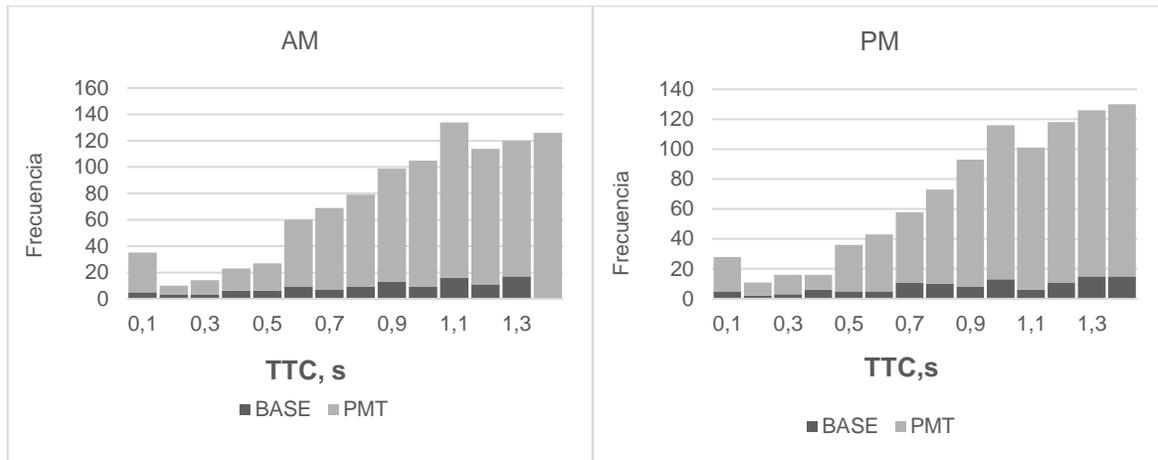
Fuente: Elaboración propia a partir de SSAM

En la **Figura 2-21** se evidencia que, de los tipos de eventos presentados, los conflictos por alcance son los que tienen el mayor aporte en el incremento de los valores tras la implementación del PMT; como se observó en el análisis gráfico, al reducirse la capacidad los vehículos tienen la tendencia a disminuir el espaciamiento aumentando potencialmente estos eventos. Adicionalmente se observa que en el escenario base el número de conflictos es similar con apenas 1 conflicto de diferencia, mientras que en el escenario con PMT se observa una diferencia de 51 conflictos siendo el periodo de la tarde en el que menos conflictos se presentan.

## 2.12 Análisis de medidas sustitutas de seguridad vial

El programa SSAM genera el reporte de diferentes medidas sustitutas de seguridad vial las cuales se analizan en histogramas de frecuencias. Con estas gráficas se hace el comparativo para cada medida sustituta de seguridad vial, del comportamiento de la frecuencia tanto en periodo AM como en PM, y para el escenario base como para el escenario con PMT implementado

**Figura 2-22 Tiempo de Colisión**

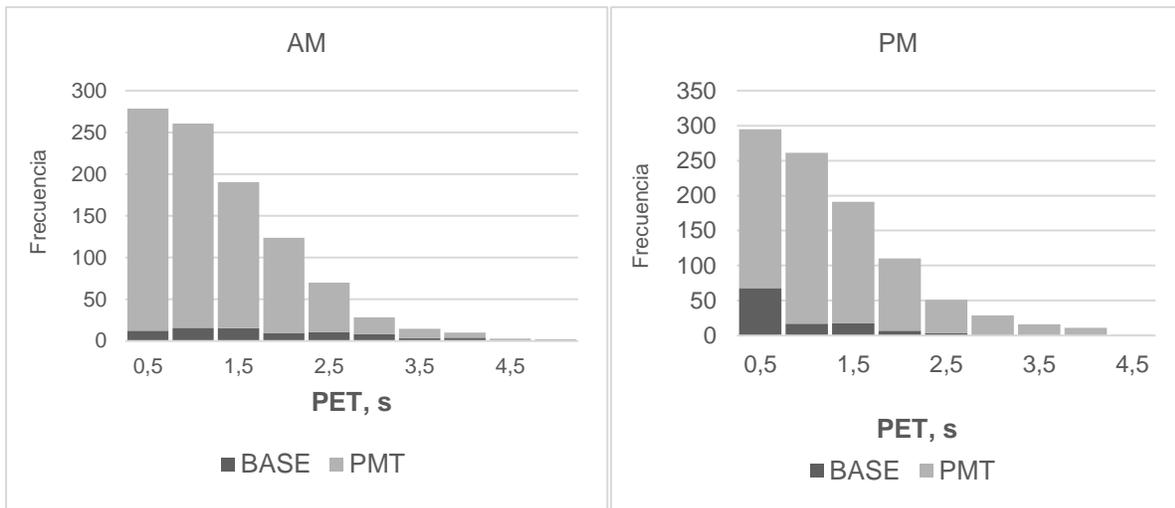


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de salida de SSAM

El Tiempo de colisión observado en las gráficas (TTC) el cual muestra en la ordenada el tiempo en segundos requerido para que dos vehículos colisionen si las velocidades y las direcciones no cambien, es una medida continua en el tiempo; es decir, el cálculo se puede realizar en cualquier instante dentro del marco temporal de la secuencia (Hayward, 1972) El mínimo de TTC (TTCmin) usado como valor crítico utilizado para juzgar el riesgo de conflicto en este trabajo fue de 0,1 segundos y el valor máximo fue de 1.37 segundos de acuerdo con la calibración realizada para la ciudad de Bogotá (L. A. Bulla-Cruz, 2021). Se observa que el mayor número de eventos están agrupados entre los 0,7 y 1,4 segundos lo cual indica que la llegada a la intersección no es agresiva ni en los periodos am o pm, sin embargo, al comparar los escenarios se evidencia que con PMT implementado la diferencia entre estos rangos es mucho más pronunciada.

En la **Figura 2-23** Tiempo posterior a la invasión (PET): tiempo en segundos entre el primer usuario de la carretera que sale de la "zona de conflicto" y el segundo que llega a ella (Laureshyn, 2017). Como se muestra en la gráfica, la mayor frecuencia de eventos se presenta entre los 0,0 y 2,0 segundos y se incrementa notablemente en el periodo PM en el escenario con base, lo cual está acorde con las nuevas condiciones de capacidad donde baja el nivel de servicio y disminuye el espaciamiento entre vehículos

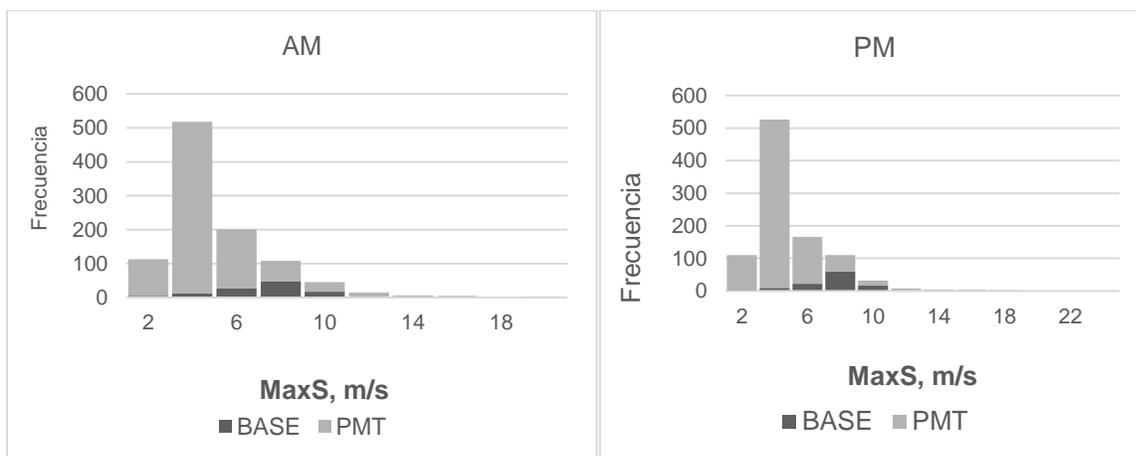
**Figura 2-23 Tiempo Posterior a la Invasión**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de salida de SSAM

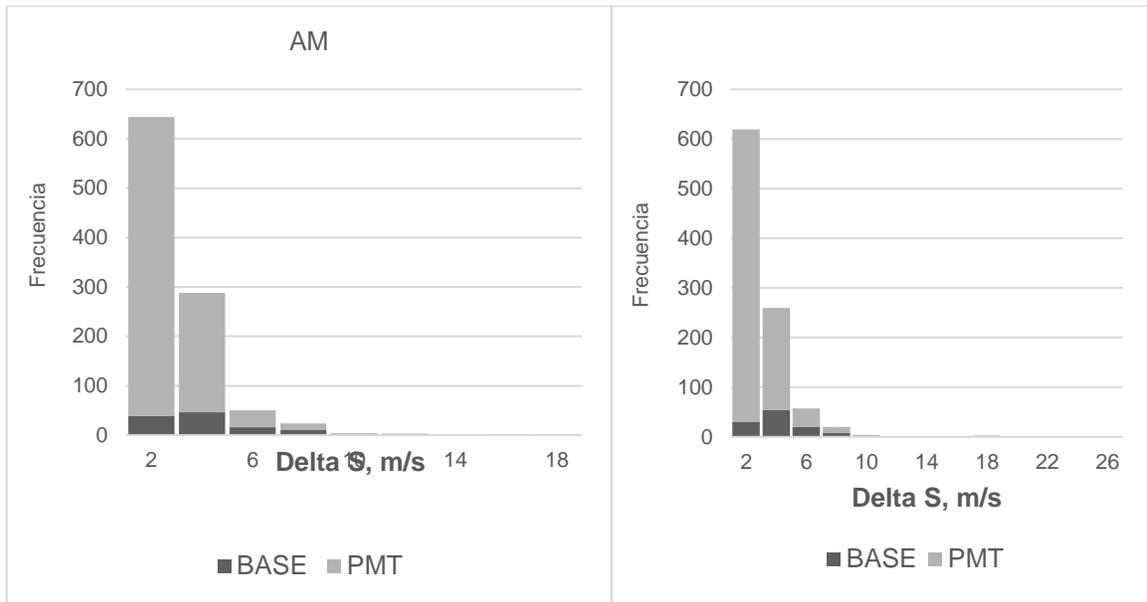
En la **Figura 2-24** se presenta la velocidad máxima (MaxS): máxima de velocidades conflictivas de dos vehículos involucrados en un evento de conflicto, en m/s (Gettman y Head, 2003). El pico de frecuencias presentado varía notablemente entre el escenario Base y el escenario con PMT, presentando velocidades de 8 m/s (29 km/h) en el escenario base y 4 m/s (14.4 km/h) en el escenario con PMT, lo cual tiene congruencia con los parámetros de operación observados en el modelo de Vissim donde se observa que la velocidad del sistema disminuye.

**Figura 2-24 Velocidad Máxima de Conflicto**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de salida de SSAM

**Figura 2-25 Diferencia de las velocidades de dos vehículos en conflicto**

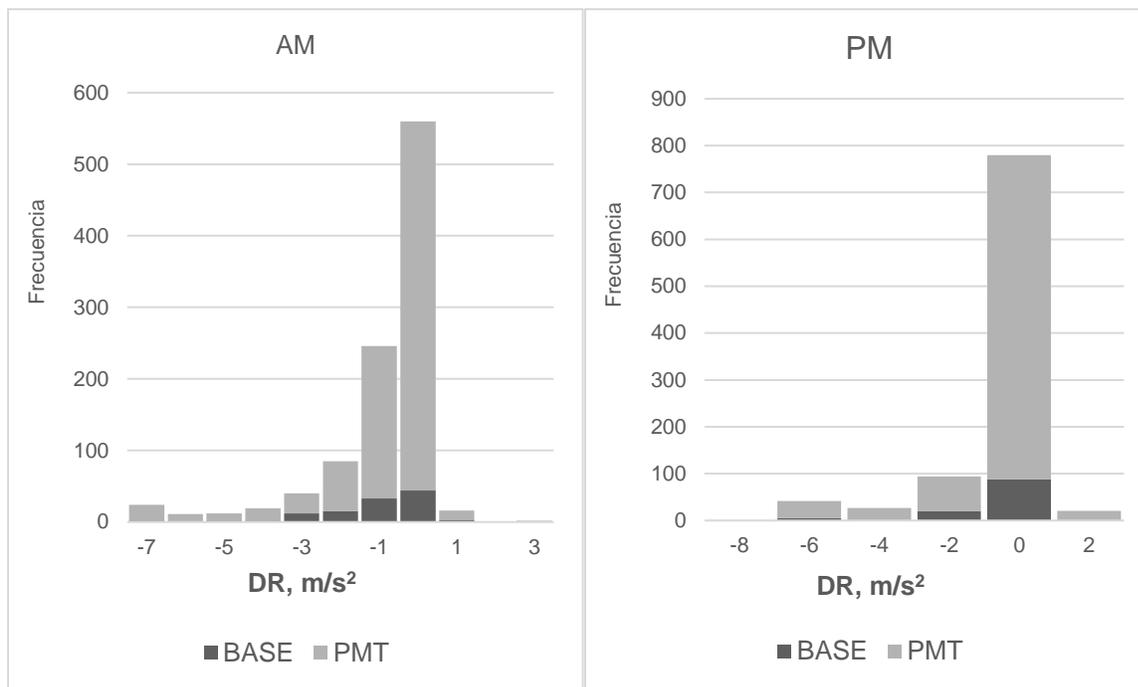


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de salida de SSAM

- **Diferencia en las velocidades de los vehículos (DeltaS):** valor absoluto de la diferencia en las velocidades conflictivas de dos vehículos en conflicto, en m/s (Gettman y Head, 2003). Esta grafica evidencia que las velocidades del sistema y/o de los vehículos en conflicto de m/s es baja, es decir, los conflictos se presentan en velocidades uniformes mayoritariamente en el escenario base y en el periodo am. En el escenario con PMT en el periodo de la tarde se observa diferencias en las velocidades de 4 m/s (14,4 km/h). Si el comportamiento en HMD en periodo PM presenta mayor volumen vehicular es consecuente que el acceso afectado tenga menores velocidades respecto de los otros.

En la **Figura 2-26** Tasa de desaceleración inicial (DR): cuantifica la magnitud de la acción de desaceleración de un conductor en el momento en que comienza una maniobra de frenado evasivo, en  $m/s^2$  (Johnsson, Laureshyn y De Ceunynck, 2018). Se observa que bajo los escenarios de temporalidad y de condiciones de operación producto de la implementación de planes de manejo de tránsito manejan las mismas tendencias.

**Figura 2-26 Tasa de desaceleración inicial**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de salida de SSAM

## **3. Conclusiones y recomendaciones**

### **3.1 Conclusiones**

La Metodología planteada en este trabajo de grado permite hacer un análisis de seguridad vial mediante el uso de programas de simulación para representar las condiciones actuales de operación como en implementaciones de planes de manejo de tránsito en la ciudad de Bogotá, usando PTV Vissim y SSAM, sin embargo, cualquier programa de micro modelación y simulación cuyo procesamiento genere archivos de trayectorias con extensiones. trj puede ser usado para estos procedimientos.

Existen diferentes métodos y técnicas de varios países para obtener y calibrar la información de conflictos de tránsito tanto en una intersección como en tramo vial, de este modo, uno de esos métodos se desarrolla a través de programas de simulación como Vissim y SSAM, el cual fue usado y analizado para el desarrollo del presente trabajo de grado.

La generación de conflictos de tránsito a través de la calibración de modelos de simulación ofrece una alternativa practica para la obtención de conflictos en los análisis de seguridad vial aplicado a la elaboración y gestión los planes de manejo de tránsito en la ciudad Bogotá.

Para el estudio de caso se evidencio un crecimiento de conflictos de tránsito de un 740% y 790% aproximadamente, para este trabajo de grado se descarta la relación que pudo generar este incremento con la variación en el número de vehículos atendidos por el corredor, puesto que como se observó en la calibración del modelo en Vissim la variación de este parámetro fue de aproximadamente 3.5%.

Las medidas sustitutas de seguridad vial generadas por el programa SSAM bajo la técnica americana de conflictos de tránsito, proporcionan datos con los cuales se puede evaluar y analizar el impacto ocasionado por la implementación de planes de manejo de tránsito en la seguridad vial de un corredor. Para este trabajo de grado se obtuvieron resultados producto de la comparación de escenarios de línea base, y en los periodos am y pm como respuesta a la implementación de planes de manejo de tránsito en una intersección semaforizada en la ciudad de Bogotá; según los histogramas de las medidas sustitutas de seguridad vial donde se comparan los dos escenarios se observa que para tiempo de colisión TTC, tiempo posterior a la invasión PET y tasa de desaceleración inicial DR las gráficas tienen tendencias similares en cuanto a agrupación de datos, mientras que para velocidades máxima de conflicto MaxS los valores máximos cambian de un escenario a otro con mayor agrupación en velocidades de 8 m/s en escenario base y 4 m/s en escenario con PMT.

El estudio de caso presentado en este trabajo se realizó bajo la HMD de acuerdo con la metodología para elaborar planes de manejo de tránsito de la **Secretaría Distrital de Bogotá**, sin embargo, vale la pena resaltar que se puede aplicar la metodología a los días y horas que han sido identificadas como las que presentan mayor número de siniestros con fatalidades en la ciudad de Bogotá

## 3.2 Recomendaciones

Se sugiere que los análisis de seguridad vial mediante la generación de conflictos y medidas sustitutas de seguridad vial con el programa SSAM versión 3.0 debe tener como entrada archivos trj generados con una versión de PTV Vissim no posterior al año 2020, puesto que en el trabajo de grado realizado se encontraron incompatibilidades con las versiones 2022 y 2023.

En la ciudad de Bogotá, la Secretaría Distrital de Movilidad sugiere unos parámetros para la calibración del comportamiento del usuario o “Driving Behavior” para el programa Vissim

---

en condiciones normales de operación de tránsito, sin embargo, la generación de conflictos y sus respectivas medidas sustitutas de seguridad vial podrían verse susceptibles a cambio si estos parámetros de calibración se ajustan el comportamiento del usuario bajo escenarios de implementación de planes de manejo de tránsito. En el campo de la modelación podría validarse una nueva configuración para este tipo de usuarios y adicionalmente para otras ciudades del país.

Se recomienda hacer seguimiento de la información generada bajo esta metodología con los indicadores de siniestralidad de los Planes de Manejo de Tránsito implementados para poder relacionar la cantidad de conflictos calculados con los eventos presentados en estos escenarios.

## Bibliografía

- Aliaksei Lareshyn, & Varhelyi, A. (2018). *The Swedish Traffic Conflict Technique - Observer's Manual. January.*
- Almqvist, S. and Hyden, C. (1994) 'Methods for Assessing Traffic Safety in Developing Countries', *Building Issues (LCHS).*
- ANSV. (2021a). *BOLETÍN ESTADÍSTICO BOGOTÁ, D.C. Fallecidos y Lesionados por Siniestros Viales.* [https://ansv.gov.co/sites/default/files/2022-03/boletin\\_mensual\\_nacional\\_diciembre\\_0.pdf](https://ansv.gov.co/sites/default/files/2022-03/boletin_mensual_nacional_diciembre_0.pdf)
- ANSV. (2021b). *BOLETÍN ESTADÍSTICO COLOMBIA Fallecidos y Lesionados por Siniestros Viales.* [https://ansv.gov.co/sites/default/files/2022-03/boletin\\_mensual\\_nacional\\_diciembre\\_0.pdf](https://ansv.gov.co/sites/default/files/2022-03/boletin_mensual_nacional_diciembre_0.pdf)
- Bulla-Cruz, L. A., Lareshyn, A. and Lyons, L. (2020) 'Event-based road safety assessment: A novel approach towards risk microsimulation in roundabouts', *Measurement*, 165, pp. 1–13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108192>.
- Bulla-Cruz, L. A. (2021). Methodology for event-based traffic risk assessment of Bus Rapid Transit systems and its simulation. *Universidad Nacional De Colombia*, 250.
- Bulla-Cruz, L. A. and Lyons, L. (2020) 'Estado del arte en la evaluación de la seguridad vial por medio de conflictos de tráfico: aplicación al estudio de caso de una glorieta en Bogotá', in Dirección Nacional Simit (ed.) *Transitemos 2018*. 5th edn. Bogotá: Federación Colombiana de Municipios, pp.10–26. Available at: <https://www.simit.org.co/estadisticas>.
- Bulla-Cruz, L., Lyons, L., & Darghan, E. (2021). Complete-linkage clustering analysis of surrogate measures for road safety assessment in roundabouts. *Revista Colombiana de Estadística*, 44(1), 91–121. <https://doi.org/10.15446/rce.v44n1.81937>
- Douglas Gettman, L. H. (2003). *Surrogate Safety Measures From Traffic Simulation Models Final Report*. 126.
- Fan, R. et al. (2013) 'Using VISSIM simulation model and Surrogate Safety Assessment Model for estimating field measured traffic conflicts at freeway merge areas', *IET Intelligent Transport Systems*, 7, pp. 68–77. doi: 10.1049/iet-its.2011.0232.

- Federal Highway Administration (2006) *Road Safety Audit Guidelines Publication No. FHWA-SA-06-06*. Available at: [https://safety.fhwa.dot.gov/rsa/guidelines/documents/FHWA\\_SA\\_06\\_06.pdf](https://safety.fhwa.dot.gov/rsa/guidelines/documents/FHWA_SA_06_06.pdf).
- Gettman, D., Pu, L., Sayed, T., & Shelby, S. (2008). Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report. *Publication No. FHWA-HRT-08-051, June*, 1–324.
- Hayward, J. C. (1972). Near-Miss Determination Through. *Highway Research Board*, 24–35. <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrr/1972/384/384-004.pdf>
- Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C. and Baptista Lucio, P. (2006) *Metodología de la investigación, México Trillas*. Available at: [http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/020090/020090\\_Cap1.pdf](http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/020090/020090_Cap1.pdf).
- Huang, F., Liu, P., Yu, H., & Wang, W. (2013). Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 50, 1014–1024. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.08.018>
- Hydén, C. (1987). The Development of a Method for Traffic Safety Evaluation: the Swedish Traffic Conflict Technique. In *Bulletin Lund University of Technology* (Issue 70, p. 229). [https://www.ictct.net/media/Hyden\\_1987.pdf](https://www.ictct.net/media/Hyden_1987.pdf)
- Johnsson, C., Laureshyn, A., & De Ceunynck, T. (2018). In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators. *Transport Reviews*, 38(6), 765–785. <https://doi.org/10.1080/01441647.2018.1442888>
- Laureshyn, A., De Ceunynck, T., Karlsson, C., Svensson, Å., & Daniels, S. (2017). In search of the severity dimension of traffic events: Extended Delta-V as a traffic conflict indicator. *Accident Analysis and Prevention*, 98(January), 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.09.026>
- Laureshyn, A. and Varhelyi, A. (2018) *The Swedish Traffic Conflict technique: observer's manual*. Lund. Available at: [http://www.tft.lth.se/fileadmin/tft/images/Update\\_2018/Swedish\\_TCT\\_Manual.pdf](http://www.tft.lth.se/fileadmin/tft/images/Update_2018/Swedish_TCT_Manual.pdf).
- OMS. (2021). Plan Mundial - Decenio de acción para la seguridad vial. 2021.
- Otero Niño, J. D. et al. (2019) 'Road safety assessment in preferential bus lanes through field analysis and microsimulation of traffic conflicts', *Revista de Ingeniería Universidad de Antioquia*. doi: <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n90a10>.
- Perkins, S. R., & Harris, J. I. (1967). Traffic Conflict Characteristics-Accident Potential at Intersections. *HRB Rec. 225, Highway Res. Bd*, 225, 35–44.
- PTV AG (2020) *PTV VISSIM 2020 User Manual*. Karlsruhe, Germany.
- Rosén, E., & Sander, U. (2009). Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed.

*Accident Analysis and Prevention*, 41(3), 536–542.  
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.02.002>

SDM. (2020). *concepto\_tecnico\_para\_gestionar\_los\_planos\_de\_manejo\_de Tránsito*. 1–23.

Secretaría Distrital de Movilidad (2018) Anuario de siniestralidad vial. Bogotá.

Secretaría Distrital de Movilidad (2019) *Guía de Auditorías de Seguridad Vial en Vías Urbanas*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá. Available at: <https://www.movilidadbogota.gov.co/web/direccion-seguridad-vial>.

Tarko, A. et al. (2009) Surrogate measures of safety, white paper. Washington, D.C. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/245584894\\_Surrogate\\_Measures\\_of\\_Safety](https://www.researchgate.net/publication/245584894_Surrogate_Measures_of_Safety).

Torres, J. (2012). *Metodología de evaluación de la seguridad vial em intersecciones basadas en el analisis cuantitativo de conflictos entre vehiculos*.

Velez-Jaramillo, D. A., Lugo-Agudelo, L. H., Cano-Restrepo, B. C., Castro-García, P. A., & García-García, H. I. (2016). Treatment and rehabilitation costs of patients with injuries caused by traffic accidents in the world. *Revista Facultad Nacional de Salud Publica*, 34(2), 220–229. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v34n2a11>

Wang, C., & Stamatiadis, N. (2013). Surrogate safety measure for simulation-based conflict study. *Transportation Research Record*, 2386, 72–80. <https://doi.org/10.3141/2386-09>