

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA VIAL**

**DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL MODO DE  
OPERACIÓN DE UN SISTEMA SEMAFÓRICO EN EL CORREDOR AVENIDA CALLE  
80 ENTRE CARRERA 112 Y CARRERA 120 EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE MAGÍSTER EN INFRAESTRUCTURA VIAL**

**Por:  
CHRISTIAN ROQUEME SALAZAR  
JOSÉ MARIO VIDAL ESQUIVIA**

**Director:  
Ing. JESÚS DAVID GARCÍA QUINTERO, PhD.**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
BOGOTÁ D.C.  
2025**

## TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN.....	6
2	ABSTRACT.....	7
3	INTRODUCCIÓN.....	8
4	JUSTIFICACIÓN.....	10
4.1	DIMENSIÓN ECONÓMICA .....	10
4.2	DIMENSIÓN SOCIAL .....	11
4.3	DIMENSIÓN AMBIENTAL .....	11
4.4	DIMENSIÓN TECNOLÓGICA .....	12
4.5	DIMENSIÓN ACADÉMICA Y DE POLÍTICA PÚBLICA .....	13
5	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
5.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	15
5.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	15
6	OBJETIVOS.....	16
6.1	OBJETIVO GENERAL.....	16
6.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
7	MARCO TEÓRICO .....	17
7.1	NORMATIVA APLICABLE AL CASO DE ESTUDIO.....	17
7.1.1	Código Nacional de Tránsito Terrestre (Ley 769 de 2002, modificado por la Ley 1383 de 2010 y normas posteriores).....	17
7.1.2	Manual de Señalización Vial 2024 (Agencia Nacional de Seguridad Vial – Ministerio de Transporte). .....	17
7.1.3	Especificaciones Técnicas de Semaforización – Secretaría Distrital de Movilidad (Bogotá, 2019) .....	18
7.1.4	Lineamientos Técnicos de Seguridad Vial sobre Semáforos (ANSV, 2021)...	18
7.1.5	Otros marcos complementarios .....	18
7.2	PLANEACIÓN EN TIEMPOS FIJOS (TF).....	19
7.3	PLANEACIÓN ACTUADA (TA).....	19
7.3.1	POR DEMANDA .....	19
7.3.2	POR MEDICIÓN DE BRECHAS .....	19
7.4	PLANEACIÓN ADAPTATIVA (ADP).....	19
7.5	CAMBIO DE DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS EN UN PLAN SELECCIONADO. .	20
7.6	CAMBIO EN EL DESFASE ENTRE EL GRUPO DE INTERSECCIONES. ....	20
7.7	ESTABLECIMIENTO DEL TIEMPO DE VERDE EN FUNCIÓN DE LAS COLAS TOLERABLES. ....	20
7.8	SELECCIÓN DE LA PLANEACIÓN.....	20
7.9	SELECCIÓN HORARIA (SH) .....	21
7.10	SELECCIÓN RESPONSIVA (RES).....	21
7.11	DEFINICIÓN DE MODOS DE OPERACIÓN .....	21
7.11.1	Selección basada en el tiempo o responsiva .....	21
7.11.2	Selección responsiva .....	22
7.11.3	Selección de la planeación .....	22
8	ESTADO DEL ARTE .....	22
8.1	MADRID (ESPAÑA).....	22
8.2	BARCELONA (ESPAÑA).....	23

8.3	LONDRES (REINO UNIDO) .....	24
8.4	NUEVA YORK (ESTADOS UNIDOS).....	25
8.5	SÃO PAULO (BRASIL).....	26
8.6	SÍNTESIS COMPARADA Y TRANSFERENCIA AL CASO CALLE 80 .....	27
9	METODOLOGÍA.....	29
9.1	CONSTRUCCIÓN HERRAMIENTA METODOLÓGICA PARA ASIGNACIÓN DE MODOS .....	29
9.1.1	CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA SEMAFÓRICO ACTUAL .....	30
9.1.2	DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES FÍSICO-OPERATIVAS .....	32
9.1.3	METODOLOGÍA DE AGRUPACIÓN .....	34
9.1.4	ASIGNACIÓN MODOS DE OPERACIÓN.....	34
10	ESTUDIO DE CASO.....	37
10.1	CORREDOR AVENIDA CALLE 80 ENTRE CARRERA 112 Y CARRERA 120	37
10.1.1	CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA SEMAFÓRICO ACTUAL .....	38
10.1.2	MICRO MODELACIÓN PARA EL ESCENARIO ACTUAL.....	139
10.1.3	ASIGNACIÓN MODOS DE OPERACIÓN ZONA DE ESTUDIO.....	158
10.1.4	MICRO MODELACIÓN PARA EL ESCENARIO OPTIMIZADO.....	169
11	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	189
12	BIBLIOGRAFÍA.....	192

### **LISTADO DE TABLAS**

Tabla 1.	Definición modos de operación .....	20
Tabla 2.	Condiciones de saturación .....	33
Tabla 3.	Evaluación cualitativa.....	33
Tabla 4.	Iteración 1.....	35
Tabla 5.	Iteración 2.....	35
Tabla 6.	Iteración 3.....	36
Tabla 7.	Iteración 5.....	36
Tabla 8	Asignacion día de la semana al plan diario. ....	76
Tabla 9	Factores de equivalencia de siniestralidad.....	79
Tabla 10	Siniestros por clase de accidente y mes. ....	79
Tabla 11	Siniestros por clase de accidente y año. ....	80
Tabla 12	Siniestros por clase de accidente y día. ....	81
Tabla 13	Siniestros por gravedad y mes .....	82
Tabla 14	Siniestros por gravedad y año.....	83
Tabla 15	Siniestros por gravedad y día.....	84
Tabla 16.	Requerimientos ideales de instalación .....	94
Tabla 17	Intersecciones aforadas. ....	98
Tabla 18.	Estaciones toma de información modos motorizados .....	99
Tabla 19	Resumen de toma de información día típico MS01.....	105
Tabla 20	Resumen de toma de información día típico MS02.....	108
Tabla 21	Resumen de toma de información día típico SC01. ....	113
Tabla 22	Resumen de toma de información día típico SC02. ....	116
Tabla 23	Resumen de toma de información día típico CM01.....	120
Tabla 24	Resumen de toma de información día típico CM02.....	123

Tabla 25 Histograma de toma de información día típico CM02.....	124
Tabla 26 Resumen de toma de información día típico CM03.....	126
Tabla 27 Resumen de toma de información día típico CM04.....	129
Tabla 28 Resumen de toma de información día típico CM05.....	132
Tabla 29 Resumen de toma de información día típico CM06.....	135
Tabla 30 Indicadores medición. ....	139
Tabla 31 Calibración para la tipología autos. ....	146
Tabla 32 Calibración para la tipología camiones.....	147
Tabla 33 Calibración para la tipología motos. ....	149
Tabla 34 Velocidades observadas en campo.....	151
Tabla 35 Calibración de velocidad realizada. ....	152
Tabla 36 Indicadores de red para la situación actual. ....	153
Tabla 37 Nivel de servicio de las diferentes intersecciones. ....	154
Tabla 38 Colas generadas en la red. ....	156
Tabla 39. Iteración 1.....	159
Tabla 40 Clasificación por acceso según grado de saturación. ....	160
Tabla 41 Conteo de periodos según nivel de saturación.....	161
Tabla 42 Identificación de tramos de concentración de accidentes (TCA) y asignación del modo de operación por intersección. ....	165
Tabla 43 Evaluación del modo de operación a nivel de corredor arterial.....	168
Tabla 44 Ejemplo de matriz MI.....	172
Tabla 45 Asignación del modo de operación por intersección según resultados integrados de saturación, variabilidad y seguridad vial.....	173
Tabla 46 Indicadores de red para la situación optimizada. ....	180
Tabla 47 Nivel de servicio de las diferentes intersecciones en la optimización... ..	182
Tabla 48 Colas generadas en la red optimizada. ....	184
Tabla 49 Comparativa de los resultados. ....	185

## **LISTA DE FIGURA**

Figura 5-1 Presentación grafica modos de operación.....	21
Figura 7-1. Fases construcción herramienta metodológica para asignación modos de operación .....	30
Figura 8-1 Ubicación espacial de las intersecciones semaforizadas. ....	39
Figura 8-2 Esquema intersección Ext. 1503 Ac 80 x Kr 112 A.....	40
Figura 8-3 Programa de señales 1 – externo 1503.....	41
Figura 8-4 Programa de señales 2 – externo 1503.....	42
Figura 8-5 Programa de señales 3 – externo 1503.....	42
Figura 8-6 Programa de señales 4 – externo 1503.....	43
Figura 8-7 Programa de señales 5 – externo 1503.....	43
Figura 8-8 Programa de señales 6 – externo 1503.....	44
Figura 8-9 Programa de señales 7 – externo 1503.....	44
Figura 8-10 Programa de señales 8 – externo 1503.....	45
Figura 8-11 Programa de señales 9 – externo 1503.....	45
Figura 8-12 Esquema intersección Ext. 1505 Ac 80 x Kr 114.....	47
Figura 8-13 Programa de señales 1 – externo 1505.....	48

Figura 8-14 Programa de señales 2 – externo 1505.....	49
Figura 8-15 Programa de señales 3 – externo 1505.....	50
Figura 8-16 Programa de señales 4 – externo 1505.....	51
Figura 8-17 Programa de señales 5 – externo 1505.....	52
Figura 8-18 Programa de señales 6 – externo 1505.....	53
Figura 8-19 Programa de señales 7 – externo 1505.....	53
Figura 8-20 Programa de señales 8 – externo 1505.....	54
Figura 8-21 Programa de señales 9 – externo 1505.....	56
Figura 8-22 Esquema intersección Ext. 1508 Ac 80 x Kr 115.....	58
Figura 8-23 Programa de señales 1 – externo 1508.....	59
Figura 8-24 Programa de señales 2 – externo 1508.....	60
Figura 8-25 Programa de señales 3 – externo 1508.....	60
Figura 8-26 Programa de señales 4 – externo 1508.....	61
Figura 8-27 Programa de señales 5 – externo 1508.....	61
Figura 8-28 Programa de señales 6 – externo 1508.....	62
Figura 8-29 Programa de señales 7 – externo 1508.....	62
Figura 8-30 Programa de señales 8 – externo 1508.....	63
Figura 8-31 Programa de señales 9 – externo 1508.....	63
Figura 8-32 Esquema intersección Ext. 1509 Ac 80 x Kr 119 – 120 y puente Guadua .....	65
Figura 8-33 Programa de señales 1 – externo 1509.....	66
Figura 8-34 Programa de señales 2 – externo 1509.....	67
Figura 8-35 Programa de señales 3 – externo 1509.....	68
Figura 8-36 Programa de señales 4 – externo 1509.....	69
Figura 8-37 Programa de señales 5 – externo 1509.....	70
Figura 8-38 Programa de señales 6 – externo 1509.....	71
Figura 8-39 Programa de señales 7 – externo 1509.....	72
Figura 8-40 Programa de señales 8 – externo 1509.....	73
Figura 8-41 Programa de señales 9 – externo 1509.....	74
Figura 8-42 Representación gráfica siniestros por clase de accidente y mes.....	79
Figura 8-43 Representación gráfica siniestros por clase de accidente y año.....	80
Figura 8-44 Representación gráfica siniestros por clase de accidente y día.....	81
Figura 8-45 Representación gráfica siniestros por gravedad y mes.....	82
Figura 8-46 Representación grafica siniestros por gravedad y año.....	83
Figura 8-47 Representación gráfica siniestros por gravedad y día.....	84
Figura 8-48 Mapa de calor obtenido a partir de los registros de siniestralidad. ....	85
Figura 8-49 Sistema integrado de transporte público (SITP) - Componente troncal.....	87
Figura 8-50 Infraestructura de patios zonales y troncales.....	88
Figura 8-51 Sistema integrado de transporte público - Componente zonal.....	88
Figura 8-52 Paraderos -componente zonal.....	89
Figura 8-53 Transporte intermunicipal - Rutas y paraderos.....	89
Figura 8-54 Zonas amarillas.....	90
Figura 8-55 jerarquización de la red vial.....	92
Figura 8-56. Codificación de movimientos.....	93
Figura 8-57. Proceso Deep Learning.....	95
Figura 8-58. Ejemplo de funcionamiento de Software.....	95

Figura 8-59 Ubicación de estaciones maestras, secundarias y complementarias en el área de estudio. ....	97
Figura 8-60 Histograma de toma de información día típico MS01. ....	106
Figura 8-61 Histograma de toma de información día típico MS02. ....	109
Figura 8-62 Histograma de toma de información día típico MS03. ....	111
Figura 8-63 Histograma de toma de información día típico SC01. ....	114
Figura 8-64 Histograma de toma de información día típico SC02. ....	117
Figura 8-65 Histograma de toma de información día típico CM01. ....	121
Figura 8-66 Histograma de toma de información día típico CM03. ....	127
Figura 8-67 Histograma de toma de información día típico CM04. ....	130
Figura 8-68 Histograma de toma de información día típico CM05. ....	133
Figura 8-69 Histograma de toma de información día típico CM06. ....	136
Figura 8-70 Red de modelación actual. ....	143
Figura 8-71 Velocidades de la red a partir de la modelación realizada. ....	152
Figura 8-72 Curvas de coordinación / diagrama de offsets. ....	175
Figura 8-73 Tiempos semafóricos implementados en la Carrera 112A. ....	177
Figura 8-74 Tiempos semafóricos implementados en la Carrera 114. ....	178
Figura 8-75 Tiempos semafóricos implementados en la Carrera 115. ....	178
Figura 8-76 Tiempos semafóricos implementados en la Carrera 120. ....	179
Figura 8-77 Representación gráfica de usuarios a través del tiempo. ....	185
Figura 8-78 Representación gráfica de viajes a través del tiempo. ....	186
Figura 8-79 Representación gráfica de velocidad media a través del tiempo. ...	186

## 1 RESUMEN

La presente investigación tiene como propósito diseñar una metodología para determinar el modo de operación más adecuado de un sistema semafórico en corredores urbanos, tomando como caso de estudio la Avenida Calle 80 entre las Carreras 112 y 120 en la ciudad de Bogotá D.C. El estudio parte de la necesidad de mejorar la gestión del tránsito en zonas con alta demanda vehicular, presencia de transporte público, transporte de carga, peatones y ciclistas, donde los esquemas semafóricos tradicionales pueden resultar insuficientes frente a la variabilidad del tráfico.

Para el desarrollo de la investigación se realizó la caracterización del sistema semafórico actual, el análisis de las condiciones físico-operativas del corredor, la evaluación de indicadores como saturación, variabilidad de la demanda, seguridad vial y coordinación entre intersecciones. Posteriormente, se aplicó una metodología estructurada en cinco pasos, orientada a asignar modos de operación semafórica, tales como tiempos fijos, actuados, responsivos o adaptativos, de acuerdo con las condiciones reales de cada intersección.

Adicionalmente, se desarrolló una micro modelación del escenario actual y del escenario optimizado, con el fin de comparar el comportamiento operacional del corredor. Los resultados evidencian que la optimización semafórica permite mejorar la velocidad media de la red, reducir retardos, fortalecer la coordinación entre intersecciones y aumentar la eficiencia en el procesamiento del flujo vehicular. En este sentido, la metodología propuesta constituye una herramienta técnica útil para apoyar la toma de decisiones en la gestión semafórica urbana y puede ser replicada en otros corredores con características similares.

### **Palabras clave**

Sistema semafórico; modos de operación; semaforización inteligente; movilidad urbana; micro modelación; control adaptativo; congestión vehicular; seguridad vial; Avenida Calle 80; Bogotá D.C.

## 2 ABSTRACT

This research aims to design a methodology to determine the most appropriate operating mode for a traffic signal system in urban corridors, using Avenida Calle 80 between Carrera 112 and Carrera 120 in Bogotá D.C. as a case study. The study arises from the need to improve traffic management in areas with high vehicular demand, public transport, freight transport, pedestrians, and cyclists, where traditional traffic signal schemes may be insufficient to respond to traffic variability.

The research included the characterization of the current traffic signal system, the analysis of the physical and operational conditions of the corridor, and the evaluation of indicators such as saturation, demand variability, road safety, and coordination between intersections. Subsequently, a five-step methodology was applied to assign traffic signal operating modes, including fixed-time, actuated, responsive, and adaptive control, according to the actual conditions of each intersection.

Additionally, a microscopic traffic simulation was developed for both the current and optimized scenarios in order to compare the operational performance of the corridor. The results show that traffic signal optimization improves the average network speed, reduces delays, strengthens coordination between intersections, and increases the efficiency of vehicular flow processing. Therefore, the proposed methodology represents a useful technical tool to support decision-making in urban traffic signal management and may be replicated in other corridors with similar characteristics.

### **Keywords**

Traffic signal system; operating modes; intelligent traffic signals; urban mobility; microscopic simulation; adaptive control; traffic congestion; road safety; Avenida Calle 80; Bogotá D.C.

### 3 INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y la concentración en las áreas urbanas constituye un fenómeno cada vez más evidente en las últimas décadas, tanto a nivel global como nacional. En América Latina, las ciudades capitales han experimentado un proceso acelerado de expansión urbana acompañado por un incremento sostenido en la motorización. Este contexto plantea enormes retos para los sistemas de movilidad, en particular en ciudades como Bogotá D.C., donde el parque automotor ha crecido de manera significativa y los patrones de viaje se han hecho cada vez más complejos.

La capital de Colombia concentra gran parte de la actividad económica, educativa e industrial del país, lo que genera una alta demanda de desplazamientos diarios. Sin embargo, el crecimiento de la infraestructura vial no ha seguido el mismo ritmo del aumento en la cantidad de vehículos, lo cual ha conducido a fenómenos persistentes de congestión, deterioro en la calidad del aire, mayor consumo energético y pérdida de competitividad urbana. Dentro de este panorama, la gestión del tránsito emerge como un componente clave para mitigar estos problemas y favorecer un uso más eficiente de la infraestructura disponible.

El tráfico urbano es, por tanto, un desafío constante en las ciudades modernas. La presencia de altos volúmenes vehiculares en las vías arteriales genera saturaciones recurrentes, especialmente en los accesos y corredores estratégicos de Bogotá. Uno de estos casos corresponde al corredor de la Avenida Calle 80 entre la Carrera 112 y la Carrera 120, el cual constituye una de las principales puertas de entrada y salida del occidente de la ciudad. La importancia de este tramo radica en su papel como enlace de flujos metropolitanos y regionales, así como en su interacción con el transporte público, el transporte de carga y los modos sostenibles (peatones y ciclistas). El comportamiento heterogéneo de la demanda, sumado a la presencia de intersecciones semaforizadas, exige mecanismos de control que se ajusten dinámicamente a las condiciones reales de operación.

En este sentido, el diseño de metodologías que permitan determinar de manera objetiva el modo de operación de los sistemas semafóricos se convierte en un aporte relevante para la gestión de la movilidad. Tradicionalmente, la operación semafórica en Bogotá se ha apoyado en planes fijos de tiempos, actualizados de manera periódica a partir de aforos y simulaciones. No obstante, este enfoque resulta limitado frente a la creciente variabilidad del tráfico urbano, donde las condiciones pueden cambiar significativamente entre horas valle y picos, o incluso entre días de la semana. Por ello, las metodologías adaptativas y basadas en criterios de desempeño representan una alternativa de gran valor para mejorar la eficiencia del sistema vial.

El presente trabajo de grado propone una metodología de asignación del modo de operación semafórico en corredores urbanos estratégicos, la cual combina criterios de saturación, variabilidad de la demanda, seguridad vial y coherencia en la coordinación de intersecciones. La propuesta busca trascender las prácticas tradicionales de planeación horaria para incorporar elementos responsivos y adaptativos que respondan

en tiempo real a las necesidades del tráfico. Adicionalmente, se enfatiza la importancia de dar prioridad a los modos de transporte sostenibles, en línea con los objetivos de movilidad urbana sostenible establecidos en políticas nacionales y distritales.

La investigación no solo aporta al campo académico mediante la construcción de un marco metodológico replicable en diferentes contextos urbanos, sino que también genera implicaciones prácticas para la administración de tránsito en Bogotá y otras ciudades de características similares. Implementar sistemas semafóricos más inteligentes y flexibles puede traducirse en reducciones de tiempo de viaje, menores emisiones contaminantes y una movilidad más segura e inclusiva.

## 4 JUSTIFICACIÓN

La congestión vehicular constituye uno de los principales problemas de movilidad en las ciudades latinoamericanas y, en particular, en Bogotá D.C. De acuerdo con el Banco Mundial, las pérdidas económicas asociadas a la congestión urbana pueden representar entre el 2 % y el 4 % del PIB en países de ingresos medios, como resultado de mayores costos logísticos, incremento en el consumo de combustible y reducción de la productividad laboral (Banco Mundial, 2022). Estos impactos no solo afectan el desempeño económico de las ciudades, sino que también generan externalidades negativas en términos ambientales y de seguridad vial.

En el caso de Bogotá, diversos estudios institucionales y reportes internacionales coinciden en señalar que los usuarios de vehículos motorizados, en particular conductores de automóvil particular y transporte público, experimentan elevados tiempos de desplazamiento como consecuencia de la congestión urbana. De acuerdo con el TomTom Traffic Index (2022), la ciudad se ubica de manera recurrente entre las áreas urbanas con mayores niveles de congestión en América Latina, registrando incrementos promedio en los tiempos de viaje del orden del 30 % al 50 % durante los periodos pico, en comparación con condiciones de flujo libre. Esto implica que desplazamientos típicos de 30 minutos pueden extenderse hasta aproximadamente 40–45 minutos en las horas de mayor demanda. Estas condiciones afectan de manera directa la eficiencia del sistema vial y la calidad de los desplazamientos de los usuarios motorizados, sin que ello represente necesariamente una medición sobre la totalidad de la población urbana.

El corredor Avenida Calle 80 entre las Carreras 112 y 120, objeto de este estudio, constituye un acceso estratégico al occidente de la ciudad y concentra un flujo vehicular elevado, conformado por transporte particular, transporte público, vehículos de carga y usuarios vulnerables (peatones y ciclistas). La combinación de alta demanda, crecimiento sostenido del parque automotor —documentado por registros oficiales como el RUNT— y limitaciones geométricas y operativas de la infraestructura vial genera condiciones críticas de operación, especialmente en las intersecciones semaforizadas. Estas condiciones evidencian la necesidad de diseñar e implementar metodologías técnicas que permitan optimizar la operación semafórica y mejorar el desempeño del corredor, particularmente durante los periodos de mayor demanda.

La justificación de este trabajo se fundamenta en cinco dimensiones principales:

### 4.1 DIMENSIÓN ECONÓMICA

La congestión vehicular en Bogotá genera impactos económicos significativos asociados al aumento de los tiempos de viaje, el mayor consumo de combustible y la pérdida de productividad. De acuerdo con estimaciones del Banco Mundial, en ciudades de países de ingresos medios las pérdidas económicas derivadas de la congestión urbana pueden representar entre el 2 % y el 4 % del Producto Interno Bruto (PIB), debido principalmente a sobrecostos logísticos, ineficiencias en la cadena de suministro y reducción del tiempo efectivo de trabajo (Banco Mundial, 2022).

En el contexto colombiano, estudios y análisis institucionales coinciden en que los costos logísticos asociados al transporte urbano y de carga representan una proporción elevada del PIB, situándose en rangos superiores al promedio de países desarrollados, donde estos costos suelen oscilar alrededor del 8 % (CEPAL, 2022). En áreas metropolitanas como Bogotá, la congestión recurrente en corredores estratégicos incrementa los costos de operación vehicular y reduce la confiabilidad de los tiempos de desplazamiento, afectando de manera directa la competitividad urbana y regional.

En este marco, una gestión semafórica más eficiente —basada en criterios técnicos de capacidad, variabilidad de la demanda y coordinación a nivel de corredor— constituye una herramienta de alto impacto económico. La optimización de los tiempos semafóricos permite reducir los costos de operación de los vehículos, mejorar la regularidad de los desplazamientos y disminuir las pérdidas asociadas a demoras innecesarias, contribuyendo así a una utilización más eficiente de la infraestructura vial existente y a una mejora en la productividad del sistema de transporte urbano.

## **4.2 DIMENSIÓN SOCIAL**

El tráfico excesivo disminuye la calidad de vida de los usuarios del sistema vial, en especial de quienes se movilizan en modos motorizados y deben enfrentar demoras recurrentes en horas pico. En Bogotá, el TomTom Traffic Index reporta que, para un desplazamiento representativo de 10 km, el tiempo medio de viaje se ubica alrededor de 29 min 23 s, mientras que en hora pico puede incrementarse hasta aproximadamente 33 min 6 s (pico mañana) y 39 min 9 s (pico tarde), reflejando condiciones de circulación con bajas velocidades y alta fricción operacional.

Estas demoras afectan el bienestar al ampliar los tiempos de exposición a congestión (ruido, estrés, incertidumbre de llegada y fatiga), y al reducir el tiempo disponible para actividades productivas y de cuidado. En este contexto, una metodología orientada a seleccionar modos de operación semafórica con mayor capacidad de respuesta (p. ej., planes con ajuste a la variabilidad y medidas de seguridad para usuarios vulnerables) contribuye a mejorar la experiencia de viaje, aumentar la regularidad operativa del corredor y favorecer entornos urbanos más equitativos y seguros.

## **4.3 DIMENSIÓN AMBIENTAL**

El sector transporte constituye una de las principales fuentes de presión ambiental en las ciudades, debido a las emisiones de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero asociadas a la operación vehicular, especialmente bajo condiciones de congestión. De acuerdo con la Secretaría Distrital de Ambiente y los inventarios de emisiones de Bogotá, las fuentes móviles aportan una proporción significativa de las emisiones urbanas de material particulado fino ( $PM_{2.5}$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ), en conjunto con otras fuentes fijas y de área, superando en varios corredores los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud (SDA, 2022; OMS, 2021).

En particular, los escenarios de tráfico con bajas velocidades, detenciones frecuentes y operación tipo stop-and-go incrementan el consumo específico de combustible y las emisiones por kilómetro recorrido. Según la Agencia Internacional de Energía, la congestión urbana puede aumentar el consumo de combustible entre un 5 % y un 10 % en comparación con condiciones de circulación fluida, efecto que se intensifica en corredores con alta densidad semafórica (IEA, 2022).

Diversos estudios internacionales sobre control semafórico adaptativo señalan que la optimización de tiempos de ciclo, la reducción de detenciones y la mejora de la progresión vehicular permiten disminuir tanto los tiempos de espera como el consumo de combustible. Investigaciones académicas y reportes técnicos indican reducciones del orden del 5 % al 15 % en consumo energético y emisiones asociadas, como resultado de la implementación de estrategias de control adaptativo frente a esquemas de tiempos fijos (Stanford University, 2022; IEEE, 2022).

En este contexto, la optimización de la operación semafórica en el corredor de estudio no solo representa una mejora en términos de movilidad, sino que constituye una medida efectiva de gestión ambiental, al contribuir a la mitigación de emisiones contaminantes y a la reducción de la huella energética del transporte urbano durante los periodos de mayor demanda.

#### **4.4 DIMENSIÓN TECNOLÓGICA**

En Colombia, la operación semafórica urbana presenta un nivel de incorporación tecnológica limitado, caracterizado principalmente por el uso de planes de tiempos fijos y programaciones horarias predefinidas. De acuerdo con diagnósticos institucionales y documentos técnicos asociados a la modernización de la semaforización en ciudades latinoamericanas, una proporción mayoritaria de las intersecciones aún no cuenta con sistemas capaces de responder dinámicamente a variaciones de flujo, eventos no recurrentes o condiciones externas como incidentes, obras o factores climáticos (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2017).

Este rezago tecnológico implica que gran parte de la red semaforizada opere bajo esquemas rígidos, cuya eficiencia disminuye de forma significativa durante periodos de alta variabilidad de la demanda. En contraste, estudios académicos y desarrollos recientes en ingeniería de tránsito señalan que los sistemas de control semafórico adaptativo y responsivo permiten ajustar los tiempos de verde en función de las condiciones reales de operación, mejorando el desempeño del sistema tanto en términos de movilidad como de seguridad vial.

Según investigaciones reportadas por la IEEE y por centros académicos como la Universidad de Stanford, la implementación de estrategias de control adaptativo puede generar reducciones significativas en los tiempos de espera en intersecciones urbanas, con mejoras del orden del 15 % al 30 % en escenarios de congestión recurrente, además de una disminución en el número de detenciones y conflictos vehiculares (IEEE, 2022; Stanford University, 2022). Estos resultados evidencian el potencial de las tecnologías inteligentes como soporte para metodologías avanzadas de gestión semafórica,

particularmente en corredores urbanos con alta demanda y fuerte variabilidad temporal, como el analizado en el presente estudio.

#### **4.5 DIMENSIÓN ACADÉMICA Y DE POLÍTICA PÚBLICA**

En el contexto colombiano, la literatura académica y técnica relacionada con la operación semafórica se ha centrado principalmente en aspectos normativos, manuales de diseño y estudios puntuales de capacidad o nivel de servicio, siendo menos frecuentes los trabajos que desarrollan metodologías integrales para la determinación del modo de operación de sistemas semafóricos a nivel de corredor urbano. Diferentes autores y organismos internacionales coinciden en que la toma de decisiones en materia de control semafórico suele apoyarse en criterios empíricos o en ajustes incrementales de planes existentes, más que en marcos metodológicos sistemáticos que integren simultáneamente capacidad, variabilidad temporal de la demanda, seguridad vial y coordinación entre intersecciones (FHWA, 2015; IEEE, 2022).

En este sentido, la presente investigación busca aportar a dicho vacío académico mediante el desarrollo y aplicación de una metodología estructurada en cinco pasos, basada en criterios cuantificables y reproducibles, que permite justificar técnicamente la asignación de modos de operación (tiempos fijos, actuados, responsivos y adaptativos) en corredores urbanos complejos. Este enfoque no solo contribuye al avance del conocimiento en el campo de la ingeniería de tránsito y la gestión de sistemas inteligentes de transporte, sino que también ofrece una herramienta metodológica susceptible de ser replicada y adaptada a otros contextos urbanos del país.

Desde la perspectiva de política pública, los resultados de este trabajo constituyen un insumo técnico relevante para los procesos de planeación, actualización y evaluación de la semaforización urbana. La posibilidad de sustentar decisiones operativas a partir de indicadores objetivos —como la relación V/C, la variabilidad horaria y la identificación de tramos de concentración de accidentes— se alinea con los principios de gestión basada en evidencia promovidos por entidades nacionales e internacionales en materia de movilidad y seguridad vial (Banco Mundial, 2022; CEPAL, 2022). De esta manera, la metodología propuesta puede apoyar la formulación de políticas públicas orientadas a la optimización de la infraestructura existente, la priorización de usuarios vulnerables y la mejora de la eficiencia operacional del sistema vial.

En síntesis, la presente investigación se justifica por la necesidad de responder de manera técnica y sistemática a los retos actuales de movilidad, sostenibilidad y seguridad vial en entornos urbanos de alta complejidad. La metodología desarrollada constituye una alternativa viable e innovadora para mejorar la gestión de los sistemas semafóricos en Bogotá y, en particular, en el corredor de la Avenida Calle 80, generando beneficios que trascienden el ámbito operativo y aportan valor académico y estratégico para la toma de decisiones en el sector público.

## 5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La movilidad urbana en las grandes ciudades enfrenta crecientes dificultades debido al aumento acelerado del parque automotor, el crecimiento poblacional, la expansión urbana desordenada y la falta de infraestructura acorde con las demandas actuales. En este contexto, Bogotá D.C. se posiciona como una de las ciudades más congestionadas del mundo, con tiempos de viaje significativamente más largos que el promedio global. El corredor de la Avenida Calle 80, entre las Carreras 112 y 120, constituye un claro ejemplo de este fenómeno, al concentrar flujos de transporte particular, público y de carga, que sobrepasan de manera constante la capacidad vial disponible.

El tráfico urbano, por su naturaleza dinámica, presenta fluctuaciones continuas debidas a factores como condiciones climáticas, incidentes viales, variaciones horarias y eventos no planificados. Los sistemas de semaforización tradicionales, fundamentados en planes fijos o esquemas horarios predefinidos, resultan insuficientes frente a estas variaciones, ya que no incorporan mecanismos de respuesta en tiempo real. Esta rigidez genera congestiones prolongadas, pérdidas económicas, altos niveles de emisiones contaminantes, reducción en la calidad de vida de los ciudadanos y deterioro de la seguridad vial.

La falta de metodologías claras y estandarizadas para la determinación del modo de operación de los sistemas semafóricos limita la capacidad de gestión de la movilidad en ciudades como Bogotá. Aunque existen iniciativas puntuales de modernización tecnológica como la integración de sensores y sistemas de control adaptativo— estas no se han implementado de forma sistemática ni bajo criterios metodológicos replicables. En consecuencia, el potencial de las tecnologías inteligentes para optimizar la operación semafórica no se ha aprovechado plenamente.

La problemática de la congestión vehicular en el corredor de estudio se manifiesta en múltiples dimensiones:

- Económica: la congestión incrementa los costos logísticos y operativos del transporte urbano, generando pérdidas económicas significativas asociadas al mayor consumo de combustible, tiempos improductivos y sobrecostos en la cadena de movilidad.

- Social: los usuarios del sistema vial, en particular los conductores de vehículos motorizados, experimentan tiempos de viaje elevados durante los periodos de mayor demanda, lo que afecta la productividad, el bienestar y la calidad de vida urbana.
- Ambiental: el sector transporte constituye una de las principales fuentes de emisiones contaminantes en la ciudad, aportando de manera relevante a las emisiones de CO<sub>2</sub> y material particulado, con impactos negativos sobre la calidad del aire y la salud pública.
- Tecnológica: una proporción importante de las intersecciones urbanas aún opera con esquemas semafóricos estáticos o de baja capacidad de adaptación, limitando la respuesta del sistema ante la variabilidad de la demanda y eventos operacionales.

La carencia de una metodología que permita definir, de manera objetiva y en función de indicadores de desempeño, el modo de operación semafórica más adecuado para cada tramo o zona urbana, constituye una limitación crítica. En el caso específico del corredor Avenida Calle 80, la falta de criterios estandarizados dificulta la selección entre modos tradicionales (tiempos fijos), actuados (por demanda) o adaptativos (basados en datos en tiempo real), lo que impide garantizar una movilidad eficiente y sostenible.

## **5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El reto principal consiste en desarrollar una metodología que permita evaluar y seleccionar de manera sistemática el modo de operación de un sistema semafórico, considerando las condiciones dinámicas del tráfico, la seguridad vial y la priorización de modos sostenibles como peatones, ciclistas y transporte público. Este vacío metodológico se traduce en la ausencia de lineamientos que permitan una gestión inteligente del tránsito en Bogotá y en ciudades con características similares.

## **5.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

A partir de lo anterior, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cómo diseñar una metodología que permita determinar el modo de operación más adecuado de un sistema semafórico en un corredor urbano estratégico como la Avenida Calle 80 (entre Carreras 112 y 120) en Bogotá D.C.?
- ¿De qué manera los distintos modos de operación semafórica (tiempos fijos, actuados, adaptativos) pueden adaptarse a las condiciones dinámicas del tráfico para optimizar la movilidad en tiempo real?
- ¿Qué impacto tendría la aplicación de una metodología adaptativa en términos de eficiencia operacional, reducción de emisiones contaminantes y mejora de la calidad de vida de los usuarios?

## **6 OBJETIVOS**

Los objetivos de este trabajo de investigación establecen la ruta metodológica para abordar el problema identificado y garantizar la coherencia entre la justificación planteada y la propuesta metodológica. A través de ellos se busca orientar el diseño, aplicación y validación de la metodología destinada a determinar el modo de operación de los sistemas semafóricos en entornos urbanos.

### **6.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una metodología para la determinación del modo de operación de los sistemas semafóricos en entornos urbanos, aplicándola al caso de estudio del corredor Avenida Calle 80 entre las Carreras 112 y 120 en Bogotá D.C., con el fin de optimizar la gestión del tráfico y mejorar la movilidad.

### **6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recolectar y sistematizar la información de tránsito y operación semafórica del corredor Avenida Calle 80 (Carrera 112 – Carrera 120) en la ciudad de Bogotá.
- Analizar los parámetros de operación y los indicadores de desempeño del sistema semafórico en el corredor de estudio, considerando saturación, variabilidad, seguridad y priorización de modos sostenibles.
- Aplicar la metodología propuesta para la definición del modo de operación semafórica en el corredor seleccionado, evaluando los distintos escenarios de control.
- Evaluar y analizar los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología, identificando mejoras en movilidad, seguridad vial y sostenibilidad.

## 7 MARCO TEÓRICO

Este capítulo presenta los fundamentos conceptuales y normativos que sustentan la propuesta metodológica. Se abordan primero las estrategias de planeación y selección del control semafórico, y luego se definen los distintos modos de operación que surgen de la combinación de estas estrategias.

### 7.1 NORMATIVA APLICABLE AL CASO DE ESTUDIO

Para fortalecer el sustento técnico y jurídico de esta investigación, se incorporan los principales marcos normativos vigentes en materia de tránsito, señalización y semaforización en Colombia, los cuales orientan el diseño y la operación de los sistemas semafóricos urbanos.

#### 7.1.1 Código Nacional de Tránsito Terrestre (Ley 769 de 2002, modificado por la Ley 1383 de 2010 y normas posteriores).

Este código constituye el marco legal fundamental del tránsito en Colombia. Define al semáforo como un dispositivo regulador del tránsito encargado de ordenar la circulación de peatones, ciclistas y vehículos mediante señales luminosas estandarizadas. Regula su simbología, clasificación, funciones y establece sanciones por incumplimiento. Además, incorpora lineamientos de seguridad vial asociados al respeto de las fases semafóricas, un aspecto crítico en corredores de alto flujo como la Avenida Calle 80 en Bogotá, donde la desobediencia semafórica contribuye a la accidentalidad.

#### 7.1.2 Manual de Señalización Vial 2024 (Agencia Nacional de Seguridad Vial – Ministerio de Transporte).

Este manual actualiza y unifica la normativa en materia de señalización en Colombia. Para los sistemas semafóricos, establece normas sobre diseño, ubicación, accesibilidad, tiempos de respuesta, visibilidad y mantenimiento. Introduce innovaciones como los semáforos de piso para peatones, pensados para mejorar la seguridad de actores vulnerables, y define estándares técnicos de visibilidad que garantizan que los dispositivos sean percibidos en distintas condiciones de iluminación y clima. La aplicación de este manual resulta esencial en Bogotá, dado el crecimiento de flujos peatonales y ciclistas en corredores como el analizado.

### **7.1.3 Especificaciones Técnicas de Semaforización – Secretaría Distrital de Movilidad (Bogotá, 2019)**

Este documento técnico detalla los requerimientos específicos para la implementación, modernización y mantenimiento de los semáforos en la ciudad. Define aspectos constructivos (canalizaciones, cimentaciones, postes, brazos estructurales), operativos (tipos de controladores, sistemas de respaldo de energía, compatibilidad con software de gestión central), y tecnológicos (uso de luminarias LED, detectores, cámaras, botones peatonales y sistemas de comunicación). Su aplicación garantiza que los sistemas instalados en Bogotá cumplan estándares de seguridad y durabilidad. En el caso de la Avenida Calle 80, esta normativa asegura que cualquier propuesta metodológica esté alineada con los lineamientos distritales vigentes.

### **7.1.4 Lineamientos Técnicos de Seguridad Vial sobre Semáforos (ANSV, 2021)**

Complementan la regulación existente al proporcionar criterios específicos para la operación de semáforos en entornos urbanos, con énfasis en la protección de usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y personas con movilidad reducida). Incluyen disposiciones sobre tiempos de verde peatonal, incorporación de fases exclusivas, implementación de señales sonoras y sistemas accesibles, así como recomendaciones sobre coordinación semaforica en zonas escolares y residenciales. Estos lineamientos son relevantes para garantizar que la metodología propuesta incorpore una perspectiva de seguridad vial integral y no se limite únicamente a la optimización del flujo vehicular.

### **7.1.5 Otros marcos complementarios**

- Política Nacional de Seguridad Vial (CONPES 3991 de 2020): plantea la necesidad de modernizar la infraestructura semaforica como estrategia para reducir la siniestralidad.
- Normas ICONTEC (NTC 4732 y NTC 4742): relacionadas con la instalación y desempeño de dispositivos luminosos en la vía.
- Planes de Ordenamiento Territorial (POT – Bogotá, 2022): que incluyen la gestión de la movilidad como componente central del ordenamiento urbano, estableciendo lineamientos para priorizar transporte público y modos sostenibles.

## **7.2 PLANEACIÓN EN TIEMPOS FIJOS (TF)**

Es la programación más básica, la cual parte de la selección de un plan de señales calculado previamente en función de las características del tránsito en los periodos de máxima demanda definidas a partir de toma de información y/o experiencia del ingeniero de tráfico. La selección del plan se activa localmente (automático interno) en función del periodo del día (mañana, medio día, tarde, noche) u otras condiciones para días atípicos o condiciones especiales.

## **7.3 PLANEACIÓN ACTUADA (TA)**

Se define como una programación que puede realizar variaciones en tiempo real y de manera local a un plan de señales preestablecido. Su planeación se realiza utilizando una programación algorítmica que permite optimizar la operación de la INTERSECCIÓN en función de información recopilada o suministrada a través de sensores o botones de demanda. Para esta programación se identifican dos tipos:

### **7.3.1 POR DEMANDA**

Parte de un planeamiento con tiempos fijos, en el cual la programación del algoritmo modifica la secuencia de fases definida previamente, de acuerdo con la demanda vehicular o peatonal en aquellos grupos donde se evidencia que solo acceden o requieren ocasionalmente.

### **7.3.2 POR MEDICIÓN DE BRECHAS**

Al igual que la planeación por demanda parte de un planeamiento con tiempos fijos, en el cual la programación del algoritmo modifica los tiempos conforme a las fluctuaciones de tráfico de la vía secundaria y limitándola a unos tiempos de verde máximo y mínimos preestablecidos.

La prolongación y/o acortamiento de verde se da bajo el parámetro de medición de brechas en tiempo real, para lo cual es necesario que la INTERSECCIÓN cuente con detectores sobre la vía secundaria que permitan establecer la brecha neta bajo un parámetro establecido.

## **7.4 PLANEACIÓN ADAPTATIVA (ADP)**

La planeación adaptativa se realiza a nivel red, en donde la definición del plan de señales a utilizar y las modificaciones sobre la distribución de tiempos de este son dependientes de las condiciones de tráfico en el momento de la toma de decisiones, es decir la INTERSECCIÓN o el grupo de Intersecciones revisa el comportamiento del tráfico a lo largo del día, y su selección de planes como el ajuste de los tiempos del plan de señales dependen del tráfico en cada instante del día.

Esta planeación interviene en el proceso del controlador local, los datos para la selección de programas (datos de detector, tiempos de verde, entre otros), y las variables de transferencia de datos OCIT entre el controlador y el sistema adaptativo.

Requiere un tipo de regulación alimentado en el controlador y desarrollado para la iteración con la central adaptativa, la frecuencia con la que el control proporciona los parámetros dinámicos es variable, y ajustable.

La planeación adaptativa incluye tres tipos de intervención:

### **7.5 CAMBIO DE DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS EN UN PLAN SELECCIONADO.**

Esta intervención realiza ajustes a los tiempos de verde de un plan de señales seleccionado, y su distribución se define a partir de los lineamientos de permisividad definidos en la estrategia de planeación. Los lineamientos de permisividad consideran:

- Análisis de saturación de los grupos controlados.
- Repartición del tiempo de verde equitativa o priorizada según estrategia definida por el grupo de planeamiento,
- Los ciclos y distribución de fases no se afectan.

### **7.6 CAMBIO EN EL DESFASE ENTRE EL GRUPO DE INTERSECCIONES.**

En consecuencia, a la distribución de tiempos de un plan seleccionado, puede o no requerirse un ajuste a la coordinación, para lo cual la central adaptativa calcula el desfase y envía al sistema, en el entendido que los rangos de permisividad también se desplazan.

### **7.7 ESTABLECIMIENTO DEL TIEMPO DE VERDE EN FUNCIÓN DE LAS COLAS TOLERABLES.**

Este tipo de intervención realiza una verificación de las colas sobre los corredores secundarios, y establece el tiempo de verde asignar sobre el corredor principal, esta intervención se conoce como ola de verde y se plantea como estrategia para mitigar saturación de corredores críticos.

### **7.8 SELECCIÓN DE LA PLANEACIÓN**

Este mecanismo de administración o selección de la planeación considera cambios del tráfico en de zonas o corredores en la red, bajo condiciones preestablecidas o medidas.

Los planes de señales son automáticamente seleccionados de una lista existente que asigna un determinado programa a una condición específica del tráfico. La librería de programas es previamente diseñada en la fase de planeamiento de tráfico. Los programas se eligen para determinados periodos de tiempo, bajo criterios que dependen del periodo del día (selección horaria) y/o de las condiciones de tráfico (responsivo).

## 7.9 SELECCIÓN HORARIA (SH)

En el ámbito regional es conocido como “automático de semana”, la selección de los planes de señales preestablecido para cada INTERSECCIÓN con control semafórico se realiza a nivel de red en función del periodo del día (mañana, medio día, tarde, noche) u otras condiciones para días atípicos o condiciones especiales.

Puede ser programado manual o automático en el sistema de gestión de tráfico.

## 7.10 SELECCIÓN RESPONSIVA (RES)

Herramienta de selección macro, basado en la selección automática de un plan semafórico disponible en una librería de planes y previamente diseñados fuera línea, para unas condiciones determinadas. La selección se realiza por parte del sistema central en función de los de los siguientes datos de tráfico.

- Volúmenes de tráfico
- Interrelación entre volúmenes de tráfico.
- Ocupación
- Velocidad

Estos indicadores básicos de tránsito son procesados y evaluados por la central adaptativa, generando un pronóstico para una subzona o subred en función del grado de saturación para cada plan de señal disponible en la biblioteca. El plan de señal seleccionado es aquel que resulta ser más óptimo a luz de la evaluación de utilidad de cada uno de los planes de señales en función del flujo.

## 7.11 DEFINICIÓN DE MODOS DE OPERACIÓN

La combinación de los mecanismos de selección y planeación, en conjunto con los parámetros de decisión estáticos y/o dinámicos que el equipo de control opera de manera independiente o a través de la transmisión de información a central, conforman los modos de operación:

### 7.11.1 Selección basada en el tiempo o responsiva

- **Parámetros:** Estáticos.
- **Dispositivos de control:** El equipo de control toma la decisión.
- **Estrategia de planeamiento:**
  - **Planeamiento en tiempos fijos (TF):** Selección de un plan de señales previamente calculado basado en las características del tránsito durante los periodos de máxima demanda definidos mediante información o experiencia del ingeniero de tráfico.
  - **Planeamiento actuado (TA):** Ajusta en tiempo real la secuencia de fases preestablecidas según la demanda vehicular o peatonal, utilizando algoritmos que optimizan la operación de la intersección.

- **Acción:**
  - **Por demanda:** Modifica la secuencia de fases basada en la demanda vehicular o peatonal.
  - **Por medición de brechas:** Ajusta los tiempos de verde según las fluctuaciones de tráfico en la vía secundaria, bajo parámetros preestablecidos.

### 7.11.2 Selección responsiva

- **Parámetros:** Dinámicos.
- **Dispositivos de control:** La central toma las decisiones.
- **Estrategia de planeamiento:**
  - **Planeamiento en tiempos fijos (TF):** Ajusta y redistribuye el tiempo verde de un plan seleccionado.
  - **Cambio en el desfasaje de un grupo de intersecciones:** Ajusta la coordinación entre las intersecciones de acuerdo con la distribución de tiempos de un plan seleccionado.
  - **Establecimiento del tiempo de verde en función de las colas tolerables:** Optimiza el tiempo de verde asignado en función de las colas en los corredores secundarios, conocida como “ola de verde”.
- **Acción:**
  - **Cambio de distribución de tiempos:** Ajusta los tiempos de verde bajo lineamientos de permisividad definidos.
  - **Cambio en el desfasaje entre grupos de intersecciones:** Ajusta la coordinación basada en la distribución de tiempos de un plan seleccionado.
  - **Establecimiento del tiempo de verde en función de las colas tolerables:** Optimiza la gestión de tráfico para mitigar la saturación de corredores críticos.

### 7.11.3 Selección de la planeación

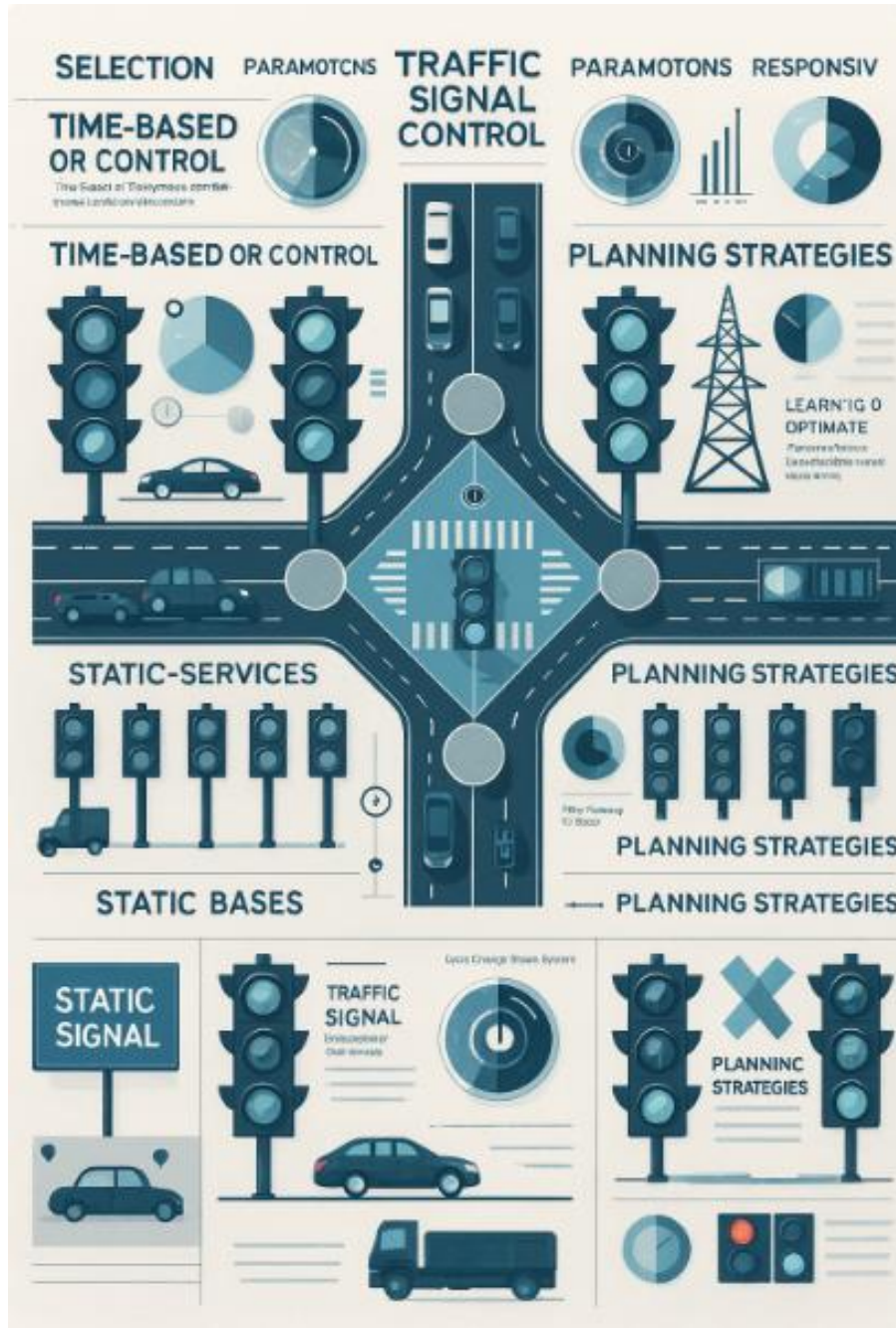
- Considera los cambios de tráfico en zonas o corredores de la red bajo condiciones específicas.
- **Dispositivos de control:** Los planes de señales se seleccionan automáticamente de una librería predefinida.
- **Estrategia de planeamiento:**
  - **Selección horaria (SH):** Selección automática de planes de señales preestablecidos en función del periodo del día.
  - **Selección responsiva (RES):** Selección basada en datos de tráfico, como volúmenes, interrelaciones, ocupación y velocidad, procesados por la central adaptativa para optimizar la operación de la red.

En la siguiente tabla presenta la matriz con la descripción de los modos de operación.

Tabla 1. Definición modos de operación

SELECCIÓN	SELECCIÓN HORARIA	SELECCIÓN RESPONSIVA
PLANEACIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN
<b>PLANEACIÓN TIEMPOS FIJOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Asignación de planes de señales semafóricos a través de un automático de semana en comunicación con central de semaforización.</li> <li><input type="checkbox"/> Se realiza el diseño de planeamiento y se asignan tiempos de verde en proceso local para alimentación en equipo de control.</li> <li><input type="checkbox"/> Los planes de señales corresponden a los diseñados en el planeamiento y no tienen cambios ni modificaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Asignación de planes de señales a través de control central de semaforización de manera dinámica.</li> <li><input type="checkbox"/> Se realiza el diseño de planeamiento y se asignan tiempos de verde en proceso local para alimentación en equipo de control.</li> <li><input type="checkbox"/> Los planes de señales corresponden a los diseñados en el planeamiento y no tienen cambios ni modificaciones</li> </ul>
<b>PLANEACIÓN ACTUADA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Asignación de planes de señales semafóricos a través de un automático de semana en comunicación con central de semaforización.</li> <li><input type="checkbox"/> Se realiza el diseño de planeamiento y se asignan tiempos de verde en proceso local para alimentación en equipo de control.</li> <li><input type="checkbox"/> Los planes de señales diseñados en el planeamiento cuentan con una programación previa que se ajusta según la activación del dispositivo de demanda.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Asignación de planes de señales a través de control central de semaforización de manera dinámica.</li> <li><input type="checkbox"/> Los tiempos de verde dados para el plan de señales son basados en tráfico actuado con selección de fases por demanda.</li> <li><input type="checkbox"/> Los planes de señales se ajustan según la demanda.</li> </ul>
<b>PLANEACIÓN ADAPTATIVA TIEMPOS FIJOS</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Asignación de planes de señales a través de control central de semaforización de manera dinámica.</li> <li><input type="checkbox"/> Ajuste de desfasaje de la INTERSECCIÓN.</li> <li><input type="checkbox"/> Los tiempos de verde dados para el plan de señale son establecidos de acuerdo a la variabilidad.</li> <li><input type="checkbox"/> Posibilidad de ajuste de tiempo de verde en función de colas.</li> </ul>
<b>PLANEACIÓN ADAPTATIVA TRAFICO ACTUADO</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Asignación de planes de señales a través de control central de semaforización de manera dinámica.</li> <li><input type="checkbox"/> Ajuste de desfasaje de la INTERSECCIÓN.</li> <li><input type="checkbox"/> Los tiempos de verde dados para el plan de señale son establecidos con base en tráfico actuado con medición de brechas.</li> </ul> <p>Los planes de señales se ajustan según la medición de brechas y se adapta a los captado en la INTERSECCIÓN.</p>

Figura 7-1 Presentación grafica modos de operación.



Fuente: Elaboración propia a partir de generación IA.

Estos enfoques son coherentes con los principios de control de intersecciones urbanas establecidos en la literatura clásica de ingeniería de tránsito, como el Highway Capacity Manual (HCM), donde la saturación, la variabilidad de la demanda y la coordinación por corredores constituyen variables clave en la gestión semafórica.

## 8 ESTADO DEL ARTE<sup>1</sup>

El análisis del estado del arte en gestión semafórica y control adaptativo se fundamenta en experiencias internacionales documentadas en fuentes técnicas y reportes institucionales. La selección de casos considera ciudades con problemáticas comparables a la del corredor Calle 80 en Bogotá, así como soluciones relevantes para la implementación de metodologías basadas en modos de operación (tiempo fijo, semiactuado, responsivo/adaptativo). A continuación, se presentan cinco referentes internacionales de alta pertinencia.

### 8.1 MADRID (ESPAÑA)

La ciudad de Madrid enfrenta una red viaria densa y altamente multimodal, caracterizada por una marcada variabilidad horaria y espacial de la demanda. Esta condición exige un esquema de gestión del tráfico con capacidad de supervisión centralizada y respuesta operativa en tiempo casi real frente a episodios de congestión, incidentes viales y fluctuaciones no previstas del flujo vehicular.

Como respuesta a este contexto, el Ayuntamiento de Madrid dispone de un sistema integral de control de tráfico basado en una arquitectura centralizada, soportada en herramientas GIS, que integra los reguladores semafóricos, la sensorización de la red (lazos inductivos, cámaras y sistemas automáticos de captación de datos) y otros subsistemas de transporte inteligente (ITS), todo ello operado desde un centro de gestión de la movilidad. Los documentos técnicos municipales establecen este sistema como el núcleo del control de tráfico urbano, promoviendo la interoperabilidad entre equipos, la estandarización de protocolos de comunicación y la compatibilidad entre distintos fabricantes, con el fin de asegurar la escalabilidad y sostenibilidad del sistema en el tiempo.

La implementación de este esquema ha permitido a la ciudad desarrollar planes de coordinación horaria por corredores, gestionar de manera dinámica situaciones de congestión e incidentes, y aplicar estrategias de priorización en ejes viales de alta demanda. En conjunto, estas prácticas han consolidado a Madrid como un referente en la integración de tecnologías ITS para la optimización de progresiones semafóricas y la mejora del desempeño operativo de su red arterial.

Para el caso de Bogotá, y específicamente para el corredor de la Avenida Calle 80, la experiencia de Madrid aporta enseñanzas relevantes en tres aspectos principales. En primer lugar, evidencia la importancia de contar con un núcleo centralizado de gestión que permita una operación táctica en tiempo real, complementada con procesos de planificación estratégica a mediano y largo plazo. En segundo lugar, resalta el valor de los protocolos de comunicación estandarizados como mecanismo para evitar la dependencia tecnológica y facilitar futuras expansiones del sistema. Finalmente, subraya

---

<sup>1</sup> Tomado de informe “*Revisión De Modos De Operación En El Semafórico En Diferentes Ciudades Del, Mundo*”; Consorcio C&M – IDOM – 2017, y complementado por los desarrolladores del presente informe

la necesidad de una sensorización exhaustiva de la red como insumo básico para habilitar modos de operación responsivos o adaptativos en corredores de alta demanda.

## **8.2 BARCELONA (ESPAÑA)**

La ciudad de Barcelona presenta una trama urbana compacta, caracterizada por una elevada intensidad peatonal y una alta participación del transporte público colectivo, en particular buses y tranvías. Esta configuración urbana exige una estrecha coherencia entre las políticas de priorización modal y la programación semafórica, convirtiendo a la gestión del control de tráfico en un componente clave para la movilidad sostenible y la seguridad vial.

Para atender estas condiciones, Barcelona opera un sistema centralizado de gestión semafórica que coordina los reguladores y define planes de señalización a nivel de subred y de corredor. Los documentos técnicos municipales establecen lineamientos específicos para el diseño semafórico por grupos de intersecciones, la obligatoriedad de estudios de ingeniería para nuevas instalaciones y modificaciones relevantes, así como criterios para la actualización progresiva de la infraestructura y los equipos de control. Este marco técnico se complementa con el rediseño estructural de la red de buses urbanos —conocido como la Nueva Xarxa de Bus—, el cual integra carriles exclusivos y estrategias de prioridad semafórica orientadas a mejorar la regularidad y confiabilidad del transporte público colectivo.

La experiencia de Barcelona evidencia que la combinación de prioridad semafórica al transporte público, ajustes geométricos y coordinación por corredores permite mejorar de manera consistente la regularidad de los recorridos y reducir los conflictos entre modos en las intersecciones. Adicionalmente, la incorporación de criterios específicos de protección peatonal en el diseño semafórico ha contribuido a fortalecer la seguridad vial en cruces de alta demanda, alineando la operación del sistema con los principios de movilidad sostenible y jerarquización modal.

Para el caso de Bogotá, y particularmente para el corredor de la Avenida Calle 80, la experiencia de Barcelona ofrece lecciones relevantes. En primer lugar, demuestra la importancia de articular la programación semafórica con la política de transporte público colectivo, evitando que la priorización al bus sea una medida aislada y asegurando su respaldo mediante criterios técnicos claros. En segundo lugar, resalta la necesidad de abordar la operación semafórica a escala de corredor y subred, integrando la presión peatonal y la multimodalidad como variables centrales del diseño. Estas enseñanzas refuerzan la pertinencia de una metodología que combine análisis de saturación, variabilidad y seguridad vial para definir modos de operación coherentes con la estructura funcional del corredor.

### **8.3 LONDRES (REINO UNIDO)**

La ciudad de Londres enfrenta una problemática estructural de congestión, asociada a una altísima demanda peatonal y a la operación de una de las redes de transporte público colectivo más extensas de Europa, en particular la red de buses urbanos. En este contexto, la confiabilidad de los tiempos de viaje se ha consolidado como un objetivo estratégico de la gestión del tráfico, dado que la variabilidad excesiva en los recorridos afecta tanto la eficiencia operativa del sistema como la percepción de calidad por parte de los usuarios.

Para atender estas condiciones, Londres ha implementado el sistema SCOOT (Split Cycle Offset Optimisation Technique), un esquema de control adaptativo a nivel de red que ajusta en tiempo real el ciclo, la distribución de verdes y los desfases semafóricos a partir de información proveniente de detectores instalados en los accesos. Este sistema permite que las intersecciones respondan de manera continua a las fluctuaciones de la demanda, manteniendo la coordinación a escala de corredor y priorizando los movimientos dominantes. Adicionalmente, se han desarrollado extensiones funcionales orientadas a la priorización del transporte público colectivo y a la mejora de la operación peatonal, integrando criterios de seguridad vial dentro del control adaptativo.

La literatura técnica y los reportes institucionales asociados a la implementación de SCOOT documentan mejoras consistentes en el desempeño operacional de los corredores intervenidos, reflejadas principalmente en la reducción de demoras y en una operación más estable del sistema frente a la variabilidad de la demanda. Estas experiencias han sido replicadas en distintos contextos urbanos, lo que confirma la escalabilidad del enfoque adaptativo y su capacidad para ajustarse a redes con alta complejidad operacional y multimodal.

Para el caso de Bogotá, y específicamente para el corredor de la Avenida Calle 80, la experiencia de Londres aporta enseñanzas relevantes en tres aspectos fundamentales. En primer lugar, demuestra la necesidad de adoptar esquemas de coordinación adaptativa continua entre intersecciones cuando la demanda presenta variabilidad intradiaria significativa. En segundo lugar, evidencia la conveniencia de integrar mecanismos de prioridad dinámica al transporte público colectivo en corredores con alta participación modal, como estrategia para mejorar la confiabilidad de los tiempos de viaje. Finalmente, resalta la importancia de incorporar la seguridad peatonal como un componente intrínseco del control semafórico, mediante ajustes en tiempo real que reduzcan conflictos y mejoren las condiciones de cruce. Estos elementos refuerzan la pertinencia de una metodología basada en la evaluación de saturación, variabilidad y seguridad vial para la definición de modos de operación en corredores urbanos de alta demanda.

## 8.4 NUEVA YORK (ESTADOS UNIDOS)

La ciudad de Nueva York constituye uno de los entornos urbanos más complejos del mundo en términos de movilidad, con una red semaforizada de gran escala, alta densidad vehicular, elevada demanda peatonal y una fuerte dependencia del transporte público colectivo, particularmente del sistema de buses urbanos. Estas condiciones generan escenarios recurrentes de congestión y alta variabilidad operacional, lo que exige soluciones de gestión capaces de responder dinámicamente a cambios en la demanda y de integrar múltiples objetivos de control en una misma estrategia.

Con el propósito de atender esta complejidad, el Departamento de Transporte de Nueva York (NYCDOT) ha desarrollado e implementado plataformas avanzadas de apoyo a la decisión para el control semafórico, entre ellas sistemas de control adaptativo que combinan información de campo con modelos de evaluación en tiempo casi real. Estas herramientas permiten ajustar parámetros como ciclos, repartos de verde y desfases en función de la evolución del tránsito, priorizando simultáneamente la reducción de colas, la mejora de progresiones y la regularidad del transporte público. De manera complementaria, la ciudad ha desplegado de forma progresiva estrategias de prioridad semafórica al bus (Transit Signal Priority, TSP), aprovechando tecnologías existentes de localización y monitoreo de flotas, lo que reduce la necesidad de infraestructura adicional en las intersecciones.

La evidencia técnica y los reportes institucionales asociados a estas intervenciones indican mejoras consistentes en la operación del transporte público y en el desempeño general de los corredores intervenidos, particularmente en términos de confiabilidad de los tiempos de viaje y eficiencia del uso de la capacidad disponible. Más allá de valores puntuales, la experiencia de Nueva York destaca por la consolidación de la prioridad semafórica al transporte público como una política estructural de movilidad, integrada dentro de esquemas de control adaptativo y coordinado a escala de red.

Para el caso del corredor de la Avenida Calle 80 en Bogotá, la experiencia de Nueva York resulta especialmente relevante en tres aspectos. En primer lugar, resalta la importancia de adoptar esquemas de control adaptativo con múltiples objetivos de optimización, superando enfoques tradicionales centrados exclusivamente en el flujo vehicular. En segundo lugar, demuestra la viabilidad de implementar prioridad semafórica escalable al transporte público colectivo mediante el uso de tecnologías ya disponibles, lo que reduce barreras técnicas y económicas para su adopción. Finalmente, evidencia la necesidad de que las intervenciones semafóricas produzcan resultados operacionales medibles y verificables, condición indispensable para justificar su implementación en corredores estratégicos de alta demanda como el analizado en esta investigación.

## 8.5 SÃO PAULO (BRASIL)

La ciudad de São Paulo, considerada la mayor metrópoli de Latinoamérica, enfrenta una red de movilidad de gran escala y elevada complejidad, caracterizada por una marcada heterogeneidad tecnológica. La coexistencia de reguladores de generaciones antiguas con equipos de control más recientes, sumada a limitaciones en infraestructura de energía y comunicaciones, representa un desafío estructural para garantizar una operación semafórica eficiente y confiable. A ello se añade la necesidad progresiva de migrar desde esquemas tradicionales de tiempo fijo hacia modalidades de control en tiempo real, capaces de responder a la variabilidad de la demanda vehicular y peatonal.

Con el fin de abordar esta problemática, la Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP) ha desarrollado lineamientos técnicos y notas de evaluación comparativa entre la operación en tiempo fijo y sistemas de control adaptativo, incluyendo plataformas como SCOOT. Estos documentos técnicos resaltan las ventajas operacionales de los esquemas adaptativos en contextos de alta variabilidad, especialmente en términos de utilización más eficiente de la capacidad y mejor gestión de la congestión. De forma complementaria, la ciudad ha promovido el uso de protocolos de comunicación estandarizados, tales como OCIT y UTMC, con el objetivo de garantizar interoperabilidad entre fabricantes y reducir la dependencia tecnológica, aspecto clave para una red semafórica de gran extensión.

En paralelo, São Paulo ha incorporado políticas específicas orientadas a la seguridad de los usuarios vulnerables, mediante la adopción de estrategias de priorización peatonal y el uso selectivo de sistemas como PUFFIN. Asimismo, se ha optado por esquemas de modernización progresiva de la infraestructura, permitiendo actualizar componentes críticos del sistema semafórico sin generar afectaciones significativas a la operación cotidiana de la red.

La evidencia técnica disponible señala que los pilotos de control en tiempo real implementados en la ciudad presentan mejoras consistentes frente a esquemas tradicionales, tanto en reducción de demoras como en optimización del desempeño de las intersecciones. Adicionalmente, la racionalización en el uso de contadores regresivos —limitándolos a cruces peatonales estratégicos— refleja un enfoque prudente, orientado a la seguridad vial y a la mitigación de comportamientos de riesgo asociados a una señalización excesiva o inadecuada.

Para el caso de Bogotá, el ejemplo de São Paulo resulta particularmente relevante al constituirse en un referente regional con condiciones de demanda, escala y restricciones institucionales comparables. De esta experiencia se derivan tres lecciones clave para el corredor de la Avenida Calle 80: (i) la conveniencia de establecer una hoja de ruta técnica que permita una transición gradual desde esquemas de tiempo fijo o semiactuados hacia sistemas adaptativos con prioridad al transporte público; (ii) la importancia estratégica de asegurar interoperabilidad tecnológica como condición de sostenibilidad y autonomía en la gestión semafórica; y (iii) la necesidad de integrar de manera transversal criterios de

seguridad peatonal, respaldados por evidencia técnica, dentro de los procesos de modernización del sistema semafórico urbano.

## **8.6 SÍNTESIS COMPARADA Y TRANSFERENCIA AL CASO CALLE 80**

El análisis comparado de las cinco ciudades revisadas permite identificar un conjunto de lineamientos estratégicos con alto potencial de transferencia al contexto de Bogotá y, en particular, al corredor de la Avenida Calle 80, objeto de esta investigación.

En primer lugar, en materia de gobernanza y plataformas de control, las experiencias de Madrid y Barcelona evidencian la importancia de contar con núcleos centrales de gestión unificados, sustentados en criterios técnicos definidos a nivel municipal y soportados por sistemas de información robustos. De forma complementaria, los casos de Londres y Nueva York muestran la aplicabilidad de esquemas de control adaptativo en redes densas y multimodales, mientras que São Paulo aporta un referente regional relevante en cuanto a la adopción de protocolos de interoperabilidad y estrategias de modernización progresiva de la infraestructura semafórica.

En relación con la prioridad al transporte público colectivo (TPC), los cinco casos analizados incorporan, en distintos grados, mecanismos explícitos de priorización al bus o al tranvía dentro de su lógica semafórica. Experiencias como las documentadas en Nueva York y Londres reportan reducciones significativas en tiempos de viaje y demoras del transporte público, lo que refuerza la justificación técnica para considerar estrategias de Transit Signal Priority (TSP) en corredores estratégicos con alta participación modal, como la Avenida Calle 80. Estas experiencias internacionales constituyen un respaldo conceptual para la adopción de esquemas similares, ajustados a las condiciones locales de demanda y operación.

La seguridad peatonal emerge también como un eje transversal en los casos estudiados. Londres y Barcelona han incorporado soluciones específicas orientadas a la protección de los peatones, tales como fases exclusivas, ajustes adaptativos y dispositivos de información temporal, mientras que São Paulo introduce una aproximación más conservadora al racionalizar el uso de contadores regresivos únicamente en cruces estratégicos. En conjunto, estas prácticas resaltan la necesidad de integrar criterios sólidos de seguridad vial dentro del diseño y operación de los sistemas semafóricos, especialmente en corredores con alta exposición de usuarios vulnerables.

Finalmente, la escalabilidad y la interoperabilidad tecnológica se consolidan como condiciones críticas para la sostenibilidad de los sistemas de control semafórico en el largo plazo. Los casos de Madrid y São Paulo, en particular, subrayan la importancia de adoptar protocolos estandarizados que reduzcan la dependencia de soluciones propietarias y faciliten la expansión gradual de proyectos piloto hacia redes urbanas completas, sin comprometer la continuidad operativa.

En síntesis, el estado del arte revisado confirma que la transición de Bogotá hacia esquemas de control semafórico adaptativo y responsivo no depende exclusivamente de la incorporación de equipamiento o software especializado. Resulta indispensable consolidar un marco institucional coherente, articular la prioridad al transporte público colectivo, fortalecer la seguridad peatonal y establecer estándares técnicos de interoperabilidad. Estos elementos constituyen el soporte conceptual sobre el cual se fundamenta la metodología propuesta en esta tesis y orientan su aplicación práctica en el corredor de la Avenida Calle 80.

## 9 METODOLOGÍA

Para la asignación de modos de operación, las intersecciones son inicialmente caracterizadas y agrupadas a partir de sus condiciones físico-operativas y del modo de control actualmente implementado. Este proceso considera indicadores clave de tránsito como niveles de saturación, variabilidad horaria de la demanda, jerarquía vial, presencia de corredores BRT o de carga, y localización de puntos críticos de accidentalidad que permiten establecer una clasificación preliminar del modo de operación más adecuado. Dicho resultado constituye una propuesta inicial que posteriormente es revisada por el grupo de planeación de tránsito, instancia responsable de validar, ajustar y asignar de manera definitiva el modo de operación, asegurando coherencia con la estrategia global de diseño del plan de señales y con los objetivos de movilidad, seguridad vial y priorización del transporte público definidos por la administración.

### 9.1 CONSTRUCCIÓN HERRAMIENTA METODOLÓGICA PARA ASIGNACIÓN DE MODOS

El desarrollo de la herramienta metodológica para la asignación de modos de operación tiene como propósito identificar los diferentes tipos de intersecciones existentes en la red vial y agrupar them de acuerdo con sus características físico-operativas, con el fin de establecer el modo de operación más adecuado para cada grupo.

La línea base de la herramienta surge de la combinación entre:

El análisis preliminar de la información secundaria disponible (planes de señalización vigentes, políticas de seguridad vial, registros históricos de accidentalidad, aforos vehiculares, jerarquización vial, entre otros).

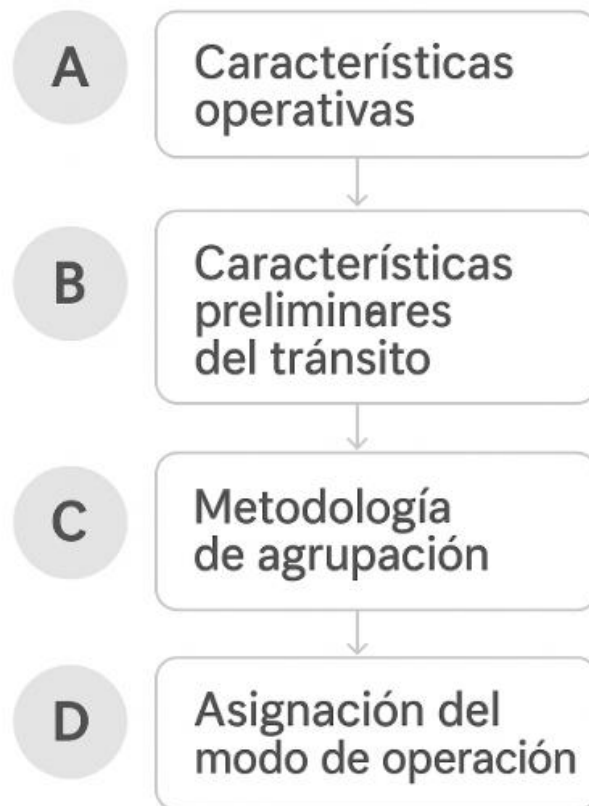
La caracterización de campo de las condiciones físico-operativas (geometría, saturación, variabilidad horaria, flujos peatonales y de transporte público, etc.), obtenida a partir de campañas específicas.

De esta manera, la herramienta se estructura en cuatro fases principales:

- A. Caracterización del sistema semafórico actual: Revisión y consolidación de la información existente sobre el parque semafórico, sus configuraciones de control y la infraestructura disponible.
- B. Diagnóstico de las condiciones físico-operativas: Evaluación del desempeño actual de las intersecciones a partir de indicadores como grado de saturación, variabilidad de flujos, conflictividad peatonal y vehicular, y niveles de accidentalidad.
- C. Metodología de agrupación: Clasificación de las intersecciones en grupos homogéneos según criterios de operación, jerarquía vial, presencia de transporte público masivo, corredores de carga y condiciones críticas de seguridad vial.

- D. Asignación de modos de operación. Determinación del modo de control más adecuado (tiempos fijos, actuado o adaptativo), validado posteriormente por la unidad de planeación de tránsito, asegurando coherencia con la estrategia global de movilidad de la ciudad.

Figura 9-1. Fases construcción herramienta metodológica para asignación modos de operación



Fuente: Elaboración propia a partir de generación IA.

### 9.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA SEMAFÓRICO ACTUAL

La caracterización del sistema semafórico constituye el punto de partida para la construcción de la herramienta metodológica de asignación de modos de operación. Este proceso requiere recopilar y analizar la información existente bajo responsabilidad de la administración del tránsito municipal y de otras entidades competentes, de manera que se cuente con una línea base robusta sobre el estado actual de la red semafórica.

Dicha información permite diagnosticar con precisión aspectos como la condición operativa de las intersecciones, el nivel de servicio que prestan, las problemáticas de seguridad vial recurrentes, la integración con sistemas de transporte público masivo (BRT) y la jerarquización vial que define la función de cada corredor en la movilidad urbana.

A. Fuentes de información obligatorias (ciudades principales y corredores estratégicos):

- Programación actual de las intersecciones: planes de tiempo y fases implementadas.
- Automático diario y semanal: registros de planes operativos según franjas horarias y días.
- Políticas de seguridad vial de la ciudad: lineamientos estratégicos sobre control y priorización modal.
- Registro histórico de siniestralidad: identificación de puntos críticos y tramos de concentración de accidentes (TCA).
- Capa de intersecciones con control semafórico: información georreferenciada de nodos de control.
- Capa de rutas de transporte público: identificación de corredores BRT o rutas alimentadoras en interacción con el sistema semafórico.
- Capa de red vial: jerarquización y características geométricas.
- Aforos vehiculares: volúmenes desagregados por tipo de vehículo y horario, insumo básico para indicadores de saturación y capacidad.

B. Fuentes de información opcionales (complementarias):

- Proyectos a nivel ciudad viabilizados: iniciativas de infraestructura o transporte con impacto futuro.
- Registro histórico del parque automotor: tendencias de motorización que condicionan la demanda futura.
- Base de datos de tráfico de Google Maps o equivalentes: velocidades de operación y congestión en tiempo real o histórico, útil como insumo adicional.
- Encuestas de movilidad u origen-destino: cuando se requiera caracterizar patrones de viaje que no están cubiertos en aforos tradicionales.
- Sistemas de conteo automático o sensores adicionales: como detectores inductivos, cámaras de visión artificial o Bluetooth, según disponibilidad.

En conjunto, las fuentes obligatorias garantizan una caracterización mínima y robusta para las ciudades principales, mientras que las opcionales enriquecen el diagnóstico en aquellas municipalidades que cuentan con más recursos técnicos y de información. Esta separación permite que la metodología sea flexible y escalable según el tamaño de la ciudad y la capacidad institucional.

## 9.1.2 DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES FÍSICO-OPERATIVAS

El diagnóstico de las condiciones físico-operativas tiene como propósito cuantificar y describir el desempeño actual de las intersecciones del corredor, considerando tanto la demanda (volúmenes, variabilidad horaria) como la oferta (capacidad, geometría y control semafórico vigente), además de factores de seguridad vial y la interacción con el transporte público y peatones. Para ello se emplea un enfoque mixto: (i) análisis cuantitativo, a partir de aforos, registros de operación y cálculos de indicadores (p. ej., razón volumen/capacidad, demoras y colas); y (ii) análisis cualitativo, utilizando observación en campo y capas de tráfico de fuentes abiertas para contrastar patrones de congestión. Los resultados de este diagnóstico constituyen la línea base que alimenta la metodología de agrupación de intersecciones y la asignación de modos de operación.

### 9.1.2.1 EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LA SATURACIÓN

La saturación constituye uno de los indicadores fundamentales del tránsito, pues permite evaluar de manera cualitativa y cuantitativa las condiciones de congestión que pueden presentarse en una intersección. Se define a partir de la relación entre el volumen observado de tránsito ( $V$ ) y la capacidad teórica de la infraestructura ( $C$ ). Este cociente, conocido como grado de saturación ( $X$ ), se expresa de la siguiente forma:

$$X_i = \frac{V_i}{C_i}$$

Donde:

- $X_i$ =Grado de saturación en la intersección  $i$ .
- $V_i$ =Volumen de tránsito observado en la intersección  $i$ .
- $C_i$ =Capacidad de la intersección  $i$ .

Según esta formulación:

- Cuando  $V=0$ , se obtiene  $X=0$ .
- Cuando  $V=C$ , el sistema está al límite de capacidad con  $X=1$ .
- Valores  $X>1$  representan un estado de sobresaturación, es decir, una demanda mayor a la capacidad disponible.

De acuerdo con lo anterior, la condición de saturación puede clasificarse según los siguientes parámetros:

Tabla 2. Condiciones de saturación

Condición	Saturación V/C
No saturada	Menor que 0.5
Medianamente saturada	Entre 0.5 y 0.7
Saturada	Entre 0.7 y 1.0
Sobresaturada	Mayor que 1.0


### 9.1.2.2 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA SATURACIÓN

Si bien la determinación de la saturación se realiza principalmente a través del cálculo numérico del grado de saturación (V/C), resulta pertinente complementar este análisis con una evaluación cualitativa basada en fuentes de información de libre acceso.

En particular, se propone el uso de los registros de tráfico disponibles en Google Maps, los cuales generan archivos KML que almacenan datos espaciales en forma vectorial y permiten su visualización sobre capas de información georreferenciada. La capa de tráfico constituye una herramienta de apoyo, ya que refleja las condiciones de tránsito en función de la velocidad promedio registrada en tiempo real o bajo escenarios históricos de un día típico.

Esta representación se realiza mediante un código de colores (verde, naranja, rojo y rojo oscuro), el cual puede correlacionarse con los niveles de saturación previamente definidos. De esta manera, se obtiene una aproximación alternativa que permite validar de forma visual las condiciones de congestión, sin sustituir el análisis cuantitativo, sino complementándolo y facilitando la identificación de tramos críticos en el corredor.

Tabla 3. Evaluación cualitativa

Relación colores velocidad			
<i>Rápido</i>  <i>Lento</i>			
Color	Descripción	Condición	Saturación
<b>Verde</b>	Flujo libre - Condiciones ideales, los autos pueden desplazarse a la velocidad límite.	No saturada	Menor que 0.5
<b>Naranja</b>	Tránsito ligero - Ligera congestión, aun así, los conductores pueden viajar a velocidades relativas.	Medianamente saturada	Entre 0.5 y 0.7
<b>Rojo</b>	Tránsito pesado - Las velocidades se reducen, espera demoras importantes.	Saturada	Entre 0.7 y 1.0
<b>Rojo Oscuro</b>	Tránsito casi detenido.	Sobresaturada	Mayor que 1.0

Elaboración propia

### **9.1.3 METODOLOGÍA DE AGRUPACIÓN**

El diagnóstico de saturación debe complementarse con un enfoque metodológico de agrupación de intersecciones, orientado a identificar patrones de comportamiento similares y definir grupos homogéneos para la asignación de modos de operación.

Este enfoque parte de la información obtenida en el diagnóstico físico-operativo y busca correlaciones entre las condiciones de tránsito, la importancia de cada corredor y la función de las intersecciones dentro del sistema vial.

Como criterio mínimo, las intersecciones deben agruparse bajo los siguientes parámetros:

- Intersecciones por indicadores
  - Intersecciones por condiciones operativas críticas
  - Intersecciones por condiciones operativas intermedias
  - Intersecciones por condiciones operativas no críticas
- Intersecciones sobre corredores BRT
- Intersecciones sobre corredores de carga
- Intersecciones transporte público
- Intersecciones en sitios especiales
- Intersecciones por tipo de programación

Este proceso metodológico de agrupación permite simplificar el análisis, identificar prioridades de intervención y definir modos de operación adecuados de manera escalable, alineando la asignación técnica con las condiciones reales de cada grupo de intersecciones.

### **9.1.4 ASIGNACIÓN MODOS DE OPERACIÓN**

La asignación de los modos de operación constituye la fase central de la metodología, en la cual se traduce el diagnóstico físico-operativo en lineamientos concretos de control semafórico. El objetivo es definir, para cada intersección y posteriormente para los corredores, el modo de operación más adecuado en función de parámetros de saturación, variabilidad del flujo, seguridad vial y jerarquía vial.

El procedimiento se desarrolla en cinco pasos iterativos, donde cada fase aporta un criterio adicional para afinar la decisión. De esta manera, la metodología asegura que la selección no solo obedezca a un análisis técnico puntual, sino que integre consideraciones de congestión, adaptabilidad horaria, condiciones de accidentalidad y coherencia en red.

### 9.1.4.1 PASO 1

En una primera etapa se clasifica la operación de cada intersección con base en el grado de saturación (V/C). Este parámetro permite identificar si la intersección se encuentra en condiciones de operación fluidas, críticas o colapsadas.

La herramienta de selección asociada parte de la lógica de que intersecciones no saturadas o medianamente saturadas pueden gestionarse mediante programaciones horarias fijas, mientras que aquellas en estado saturado o sobresaturado requieren esquemas responsivos, capaces de ajustarse a la demanda en tiempo real.

Tabla 4. Iteración 1

Grado de saturación	Valor del parámetro	Herramienta de selección
No saturada	Menor que 0.5	Selección horaria
Medianamente saturada	Entre 0.5 y 0.7	Selección horaria
Saturada	Entre 0.7 y 1.0	Selección responsiva
Sobresaturada	Mayor que 1.0	Selección responsiva

### 9.1.4.2 PASO 2

El segundo paso incorpora la variabilidad temporal de la saturación, es decir, la fluctuación que puede presentarse en diferentes periodos horarios o accesos de la intersección.

Cuando la saturación presenta alta o media variabilidad, se recomienda la adopción de modos adaptativos, los cuales ajustan los tiempos de verde en función de la evolución del flujo. Por el contrario, en casos sin variabilidad, la operación puede mantenerse con tiempos fijos sin comprometer eficiencia.

Tabla 5. Iteración 2

Variabilidad	Valor del parámetro	Modo de operación
Alta	2 o más periodos	Adaptativa
Media	1 periodo	Adaptativa
Sin variabilidad	Sin variación	Tiempos fijos

### 9.1.4.3 PASO 3

El tercer paso introduce la dimensión de seguridad vial. Se verifica la existencia de tramos de concentración de accidentes (TCA) en los accesos de la intersección.

En caso afirmativo, la operación se ajusta hacia un esquema actuado por demanda, incorporando actuadores que prioricen cruces peatonales seguros o detección de usuarios vulnerables. En intersecciones sin esta condición, se mantiene la lógica previamente asignada.

Tabla 6. Iteración 3

TCA	Valor del parámetro	Modo de operación
Si	Punto crítico	Actuado por demanda
No	No punto crítico	No actuado

#### 9.1.4.4 PASO 4

En este paso se integran los resultados de los criterios anteriores para consolidar la asignación.

Si la planeación obtenida corresponde a un modo responsivo y adicionalmente la intersección evidencia variabilidad horaria, la metodología recomienda asignar un modo adaptativo–responsivo, con el fin de garantizar un mayor nivel de control y flexibilidad.

#### 9.1.4.5 PASO 5

Finalmente, una vez asignados los modos individuales, se realiza la evaluación a nivel de corredores. Esto permite asegurar la coherencia de operación en arterias principales, corredores BRT o ejes secundarios, evitando que las intersecciones funcionen de manera aislada.

Se establece que al menos un 30% de las intersecciones de un corredor arterial o BRT deben operar de manera actuada/adaptativa para justificar la coordinación, mientras que en corredores de menor jerarquía el umbral se fija en 40%.

Tabla 7. Iteración 5

Corredor	% de intersecciones requerido sobre el corredor para coordinar actuado / adaptativo	Modo de operación
Arterial	30%	Determinado por corredor
BRT	30%	Determinado por corredor
Otros	40%	Determinado por corredor

## **10 ESTUDIO DE CASO**

La semaforización inteligente se presenta como una solución crucial para gestionar de manera eficiente el creciente y complejo tránsito en Bogotá. Esta tecnología permite optimizar el flujo vehicular, reducir los tiempos de espera y mejorar la seguridad vial mediante el uso de algoritmos avanzados y sensores que monitorean las condiciones de tráfico en tiempo real. En una ciudad como Bogotá, donde las dinámicas urbanas y el crecimiento poblacional han incrementado la demanda de movilidad, la implementación de semaforización inteligente se convierte en una herramienta esencial para manejar eficazmente la congestión y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

El tramo de la Calle 80 entre la Carrera 112 y la Carrera 120 ha sido seleccionado como estudio de caso debido a su inclusión dentro de un grupo de intersecciones que actualmente operan bajo una programación automática definida por la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM). Este segmento es representativo de las características de intersecciones semaforizadas dentro de la ciudad, donde la gestión del tráfico es crucial para mantener la fluidez y la seguridad vial.

La inclusión de este tramo en el sistema de semaforización inteligente permite evaluar de manera efectiva cómo las tecnologías avanzadas pueden optimizar el control de tráfico, adaptando los tiempos de verde y las secuencias semafóricas según las variaciones del tráfico diurno y las condiciones estacionales.

En este sentido, el estudio de caso no solo busca analizar el comportamiento de un corredor específico, sino también validar la metodología propuesta en este documento. La aplicación de los pasos definidos para caracterización, diagnóstico y asignación de modos de operación permite comprobar la eficacia de la herramienta metodológica planteada, facilitando su replicabilidad en otros corredores de Bogotá y en diferentes ciudades del país.

### **10.1 CORREDOR AVENIDA CALLE 80 ENTRE CARRERA 112 Y CARRERA 120**

El corredor vial de la Calle 80 entre la Carrera 112 y la Carrera 120 ha sido seleccionado como estudio de caso debido a su significativa relevancia como una importante vía de acceso y salida en Bogotá. Este tramo de la Calle 80 es crucial debido a su conectividad con otros sectores clave de la ciudad, facilitando el movimiento tanto de vehículos particulares como del transporte público. Su condición como corredor regulado por control semafórico es esencial para gestionar de manera eficiente el flujo vehicular y minimizar los tiempos de espera y las congestiones, factores críticos dada la alta demanda de tránsito y la presión del crecimiento urbano.

El comportamiento del tráfico en este corredor está directamente influenciado por las dinámicas urbanas de la ciudad, reflejando la interrelación entre el uso del suelo, el crecimiento residencial y comercial, y las políticas de movilidad urbana implementadas por la administración local. Las condiciones de tráfico varían significativamente a lo largo del día, siendo más intensas en las horas pico, y están sujetas a cambios estacionales, como los incrementos en el flujo vehicular durante meses específicos debido a factores como el regreso de vacaciones o eventos especiales. Además, las condiciones de tráfico se ven afectadas por el comportamiento dinámico de los usuarios, incluyendo la preferencia por ciertos modos de transporte, como el BRT (TransMilenio) y otros sistemas de transporte público, lo que complica la gestión del tráfico y la asignación de tiempos de verde en el sistema semafórico.

Por lo tanto, el estudio de este corredor es crucial para entender y analizar cómo las condiciones del tráfico varían según el día, la hora y las dinámicas urbanas de la ciudad. Este análisis permitirá poner a prueba la metodología planteada y diseñar estrategias de gestión de tráfico más efectivas y adaptativas, optimizando la operación de la intersección y contribuyendo al bienestar urbano de Bogotá.

### **10.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA SEMAFÓRICO ACTUAL**

La caracterización del sistema semafórico actual constituye el punto de partida para comprender las condiciones de operación del corredor en estudio. Este diagnóstico inicial permite identificar cómo funcionan las intersecciones en la situación presente, cuáles son sus limitaciones y qué oportunidades de mejora existen frente a la implementación de esquemas de semaforización inteligente. Para ello, se analizan aspectos relacionados con la programación de los semáforos, los planes horarios diarios y semanales, así como las políticas de seguridad vial que enmarcan la gestión del tránsito en la ciudad.

Adicionalmente, se incorporan insumos técnicos como el registro histórico de siniestralidad, la georreferenciación de intersecciones con control semafórico, la interacción con rutas de transporte público masivo y alimentador, y la red vial jerarquizada que soporta la movilidad del sector. Finalmente, se incluyen los resultados de los aforos vehiculares, desagregados por tipo de vehículo y franja horaria, los cuales representan la base fundamental para el cálculo de indicadores de capacidad y niveles de saturación en las intersecciones.

De esta manera, la caracterización del sistema semafórico actual permite establecer un marco de referencia integral que facilitará la aplicación de la metodología de asignación de modos de operación y la posterior evaluación de la viabilidad de implementar semaforización inteligente en el corredor objeto de estudio.

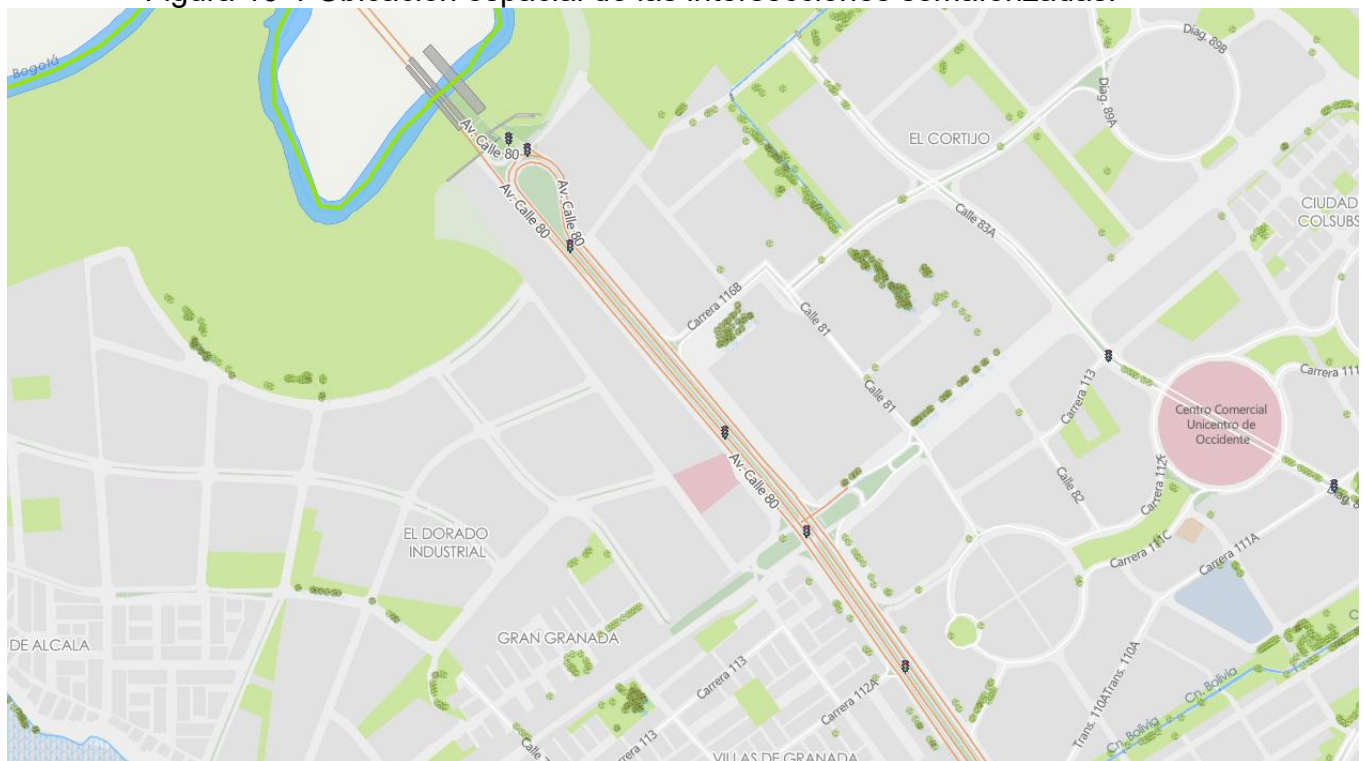
### 10.1.1.1 CAPA DE INTERSECCIONES CON CONTROL SEMAFÓRICO: INFORMACIÓN GEORREFERENCIADA DE NODOS DE CONTROL.

En el corredor de la Avenida Calle 80, dentro del tramo comprendido entre el puente sobre el río Bogotá y el sector de Unicentro de Occidente, se identifican las principales intersecciones semaforizadas que regulan la movilidad vehicular y peatonal. Estas intersecciones corresponden a nodos de control estratégicos, cuya operación está coordinada a través de los planes automáticos de las zonas semaforizadas previamente descritas.

La información se presenta en una capa georreferenciada, donde se localizan espacialmente los nodos de control semaforizado sobre la red vial. Esta capa constituye un insumo técnico esencial para la caracterización del sistema de semaforización, dado que permite reconocer de manera precisa las intersecciones que cuentan con dispositivos de control electrónico, facilitando el análisis de coordinación, priorización modal y evaluación de la seguridad vial.

La figura siguiente muestra la localización espacial de los semáforos instalados en el corredor de la Av. Calle 80, destacando puntos de control en intersecciones críticas como la Carrera 120, 119, 115, la Carrera 114 y la Carrera 112, entre otros accesos. Esta representación cartográfica se convierte en la base para posteriores análisis de tiempos semaforizados, coordinación entre intersecciones y validación de condiciones operativas del sistema de movilidad.

Figura 10-1 Ubicación espacial de las intersecciones semaforizadas.



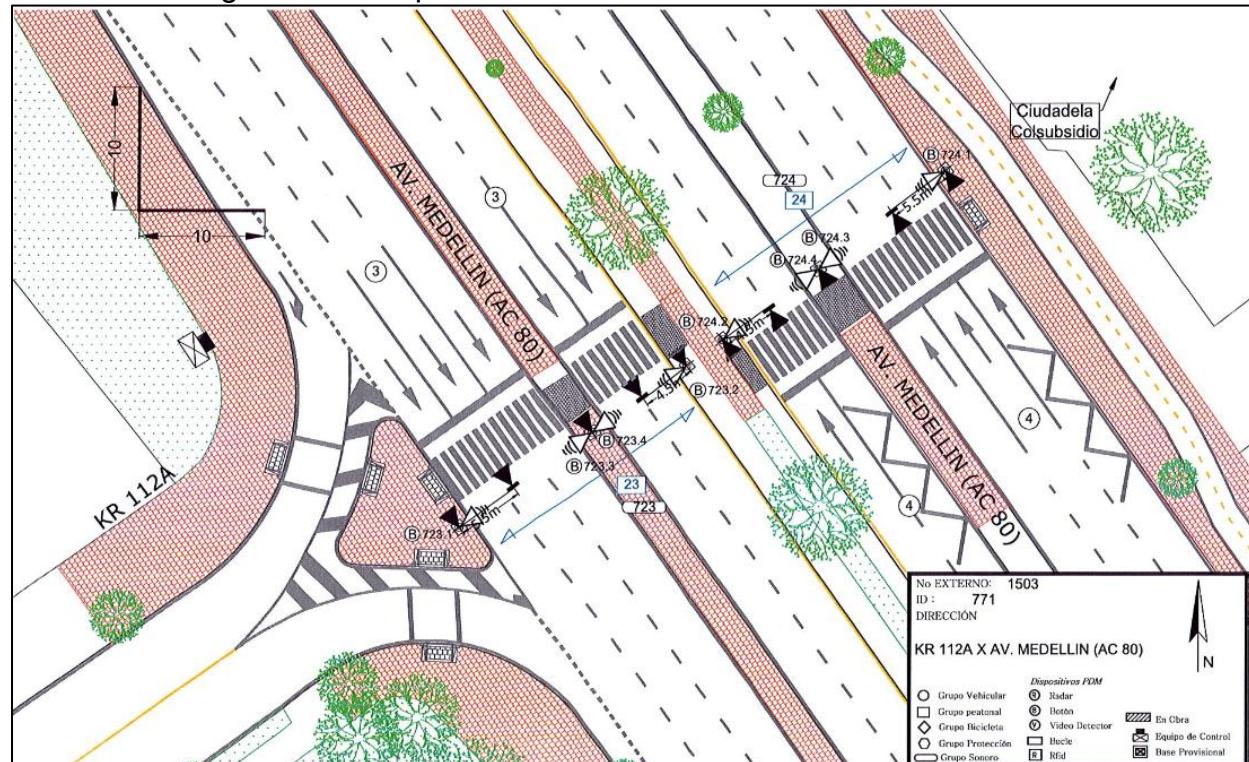
Fuente: Subdirección de planes de manejo de tránsito.

### 10.1.1.2 PROGRAMACIÓN ACTUAL

El corredor seleccionado cuenta con cuatro intersecciones semaforizadas, identificadas mediante los externos 1503, 1505, 1508 y 1509, las cuales conforman el núcleo del sistema de control analizado. Para cada una de estas intersecciones, la Secretaría Distrital de Movilidad ha definido planes de tiempo y fases específicas, ajustadas a las condiciones de tránsito observadas en distintos periodos horarios. Con el fin de comprender de manera detallada la operación actual, se presentan a continuación los planes semafóricos establecidos, los cuales serán objeto de análisis comparativo para identificar su coherencia, eficiencia y pertinencia frente a las dinámicas de demanda vehicular y peatonal en el corredor.

A. Intersección de la Avenida Calle 80 x Carrera 112 A identificada bajo el externo 1503:

Figura 10-2 Esquema intersección Ext. 1503 Ac 80 x Kr 112 A.



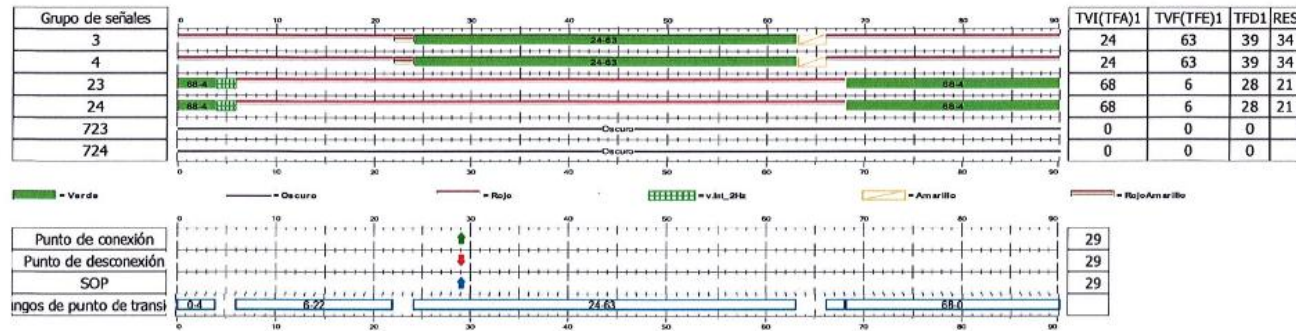
Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM).

La intersección presenta una geometría compleja de cruce en “T” canalizado sobre la Av. Medellín (Calle 80), con isletas de separación, pasos peatonales en ambos frentes y movimientos predominantes sobre el eje arterial. En operación, dispone de nueve programaciones semafóricas que responden a condiciones horarias y de demanda, con familias de ciclo de 75 s, 90 s, 120 s y 150 s. Los grupos 3, 4, 23 y 24 corresponden a movimientos vehiculares principales (arterial y accesos) y los grupos 723 y 724 atienden los cruces peatonales asociados. Todos los planes contemplan intermedios de seguridad (amarillo y todo-rojo) y muestran coordinación activa a nivel de corredor mediante puntos de conexión/desconexión y desfases definidos.

Figura 10-3 Programa de señales 1 – externo 1503.

Programas de señal \ PS\_1\_C900V\_1503

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
1	1	PS_1_C900V_1503	PS_1_C900V_1503		90	1	SG	0		MI_C900V_1503			1	PC_C900V_1503	PD_C900V_1503	0

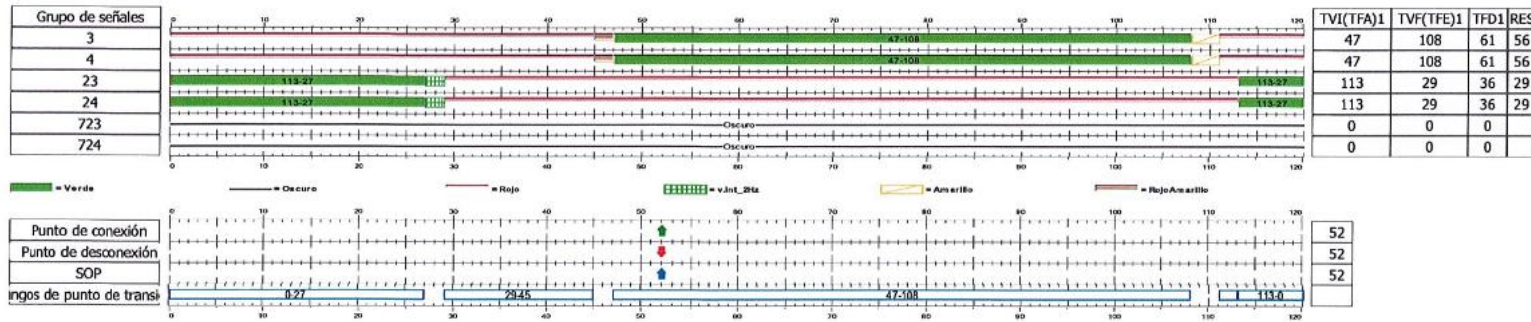


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-4 Programa de señales 2 – externo 1503.

Programas de señal \ PS\_2\_C900V\_1503

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Corn. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
2	2	PS_2_C900V_1503	PS_2_C900V_1503		120	2	SG	0		MI_C900V_1503			1	PC_C900V_1503	PD_C900V_1503	0

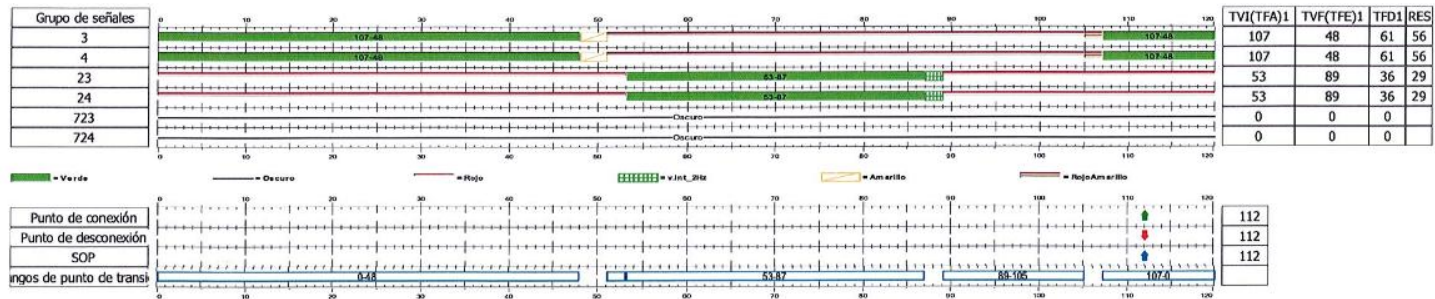


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-5 Programa de señales 3 – externo 1503.

Programas de señal \ PS\_3\_C900V\_1503

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Corn. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
3	3	PS_3_C900V_1503	PS_3_C900V_1503		120	3	SG	0		MI_C900V_1503			1	PC_C900V_1503	PD_C900V_1503	0

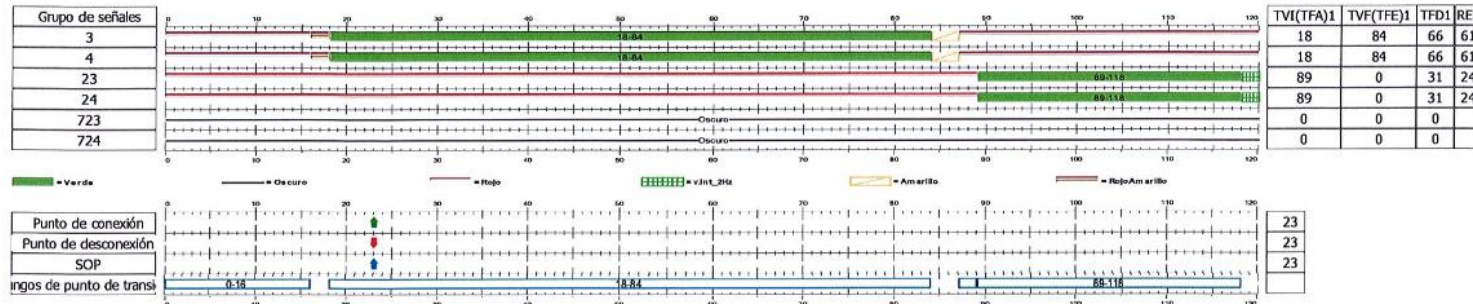


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-6 Programa de señales 4 – externo 1503.

Programas de señal \ PS\_4\_C900V\_1503

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
4	4	PS_4_C900V_1503	PS_4_C900V_1503		120	4	SG	0		MI_C900V_1503			1	PC_C900V_1503	PD_C900V_1503	0

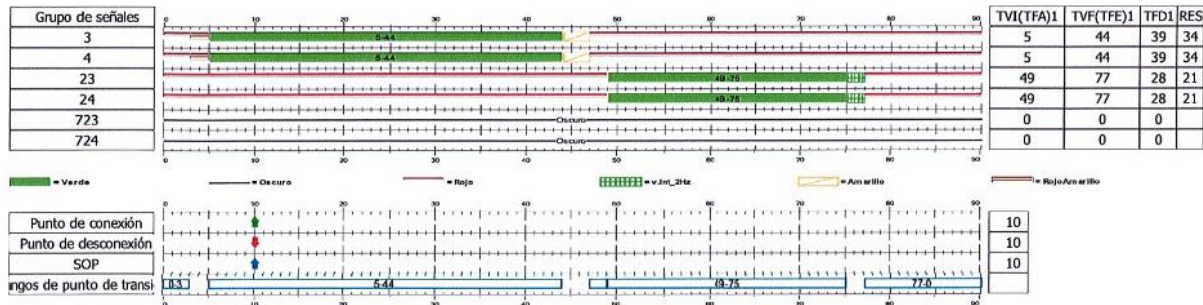


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-7 Programa de señales 5 – externo 1503.

Programas de señal \ PS\_5\_C900V\_1503

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
5	5	PS_5_C900V_1503	PS_5_C900V_1503		90	5	SG	0		MI_C900V_1503			1	PC_C900V_1503	PD_C900V_1503	0

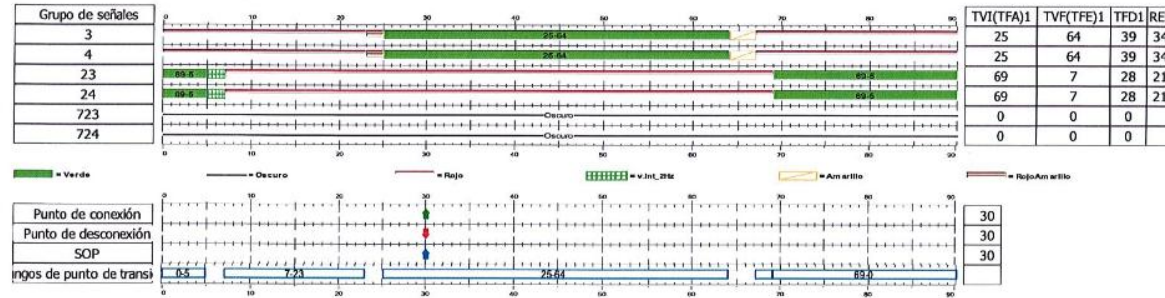


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-8 Programa de señales 6 – externo 1503.

Programas de señal \ PS\_6\_C900V\_1503

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
6	6	PS_6_C900V_1503	PS_6_C900V_1503		90	6	SG	0		MI_C900V_1503			1	PC_C900V_1503	PD_C900V_1503	0

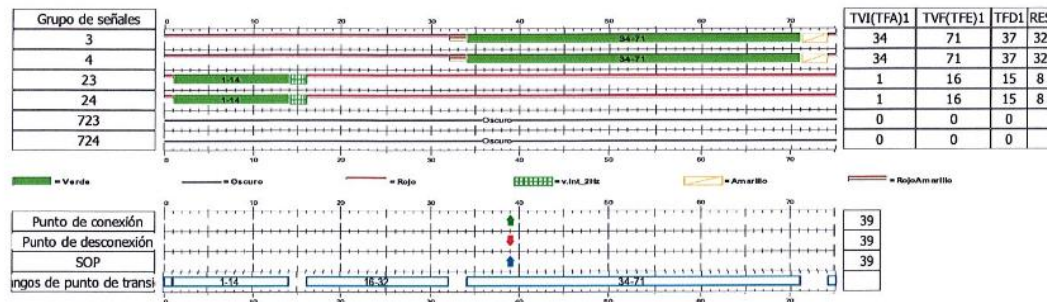


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-9 Programa de señales 7 – externo 1503.

Programas de señal \ PS\_7\_C900V\_1503

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
7	7	PS_7_C900V_1503	PS_7_C900V_1503		75	7	SG	0		MI_C900V_1503			1	PC_C900V_1503	PD_C900V_1503	0



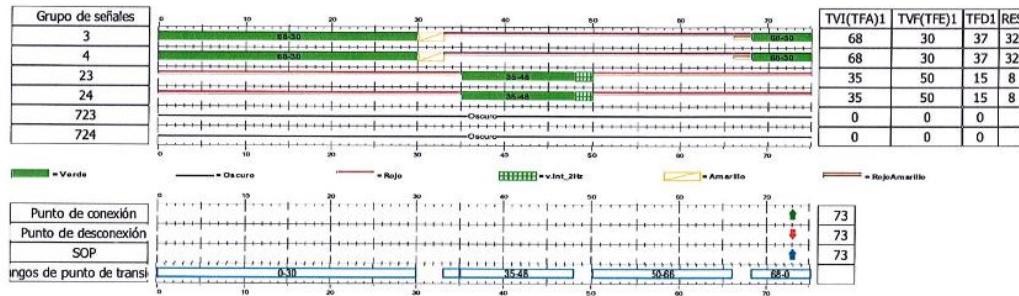
Último usuario / Última actualización = Ing. Pablo E. Villamarín / 20/11/2020 5:48:31 p. m.

Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-10 Programa de señales 8 – externo 1503.

Programas de señal \ PS\_8\_C900V\_1503

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
8	8	PS_8_C900V_1503	PS_8_C900V_1503		75	8	SG	0		MI_C900V_1503			1	PC_C900V_1503	PD_C900V_1503	0



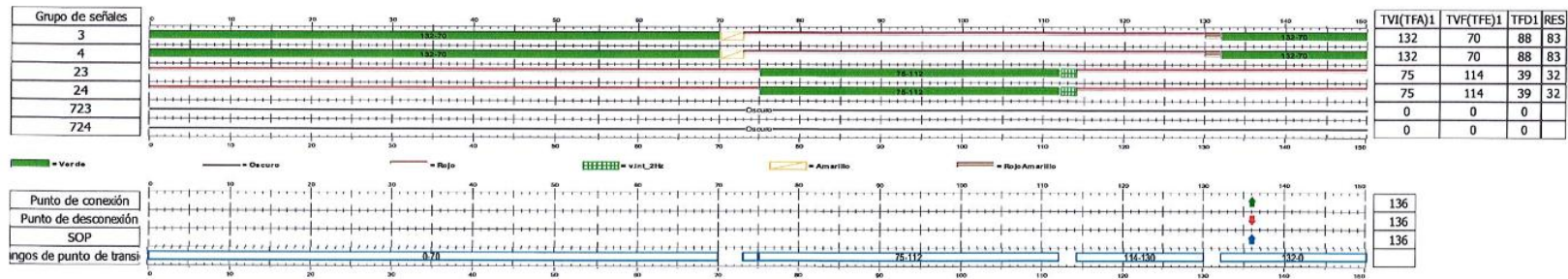
Último usuario / Última actualización = Ing. Pablo E. Villamarín / 20/11/2020 5:47:51 p. m.

Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-11 Programa de señales 9 – externo 1503.

Programas de señal \ PS\_9\_C900V\_1503

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
9	9	PS_9_C900V_1503	PS_9_C900V_1503		150	9	SG	0		MI_C900V_1503			1	PC_C900V_1503	PD_C900V_1503	0



Último usuario / Última actualización = Ing. Pablo E. Villamarín / 20/11/2020 5:47:27 p. m.

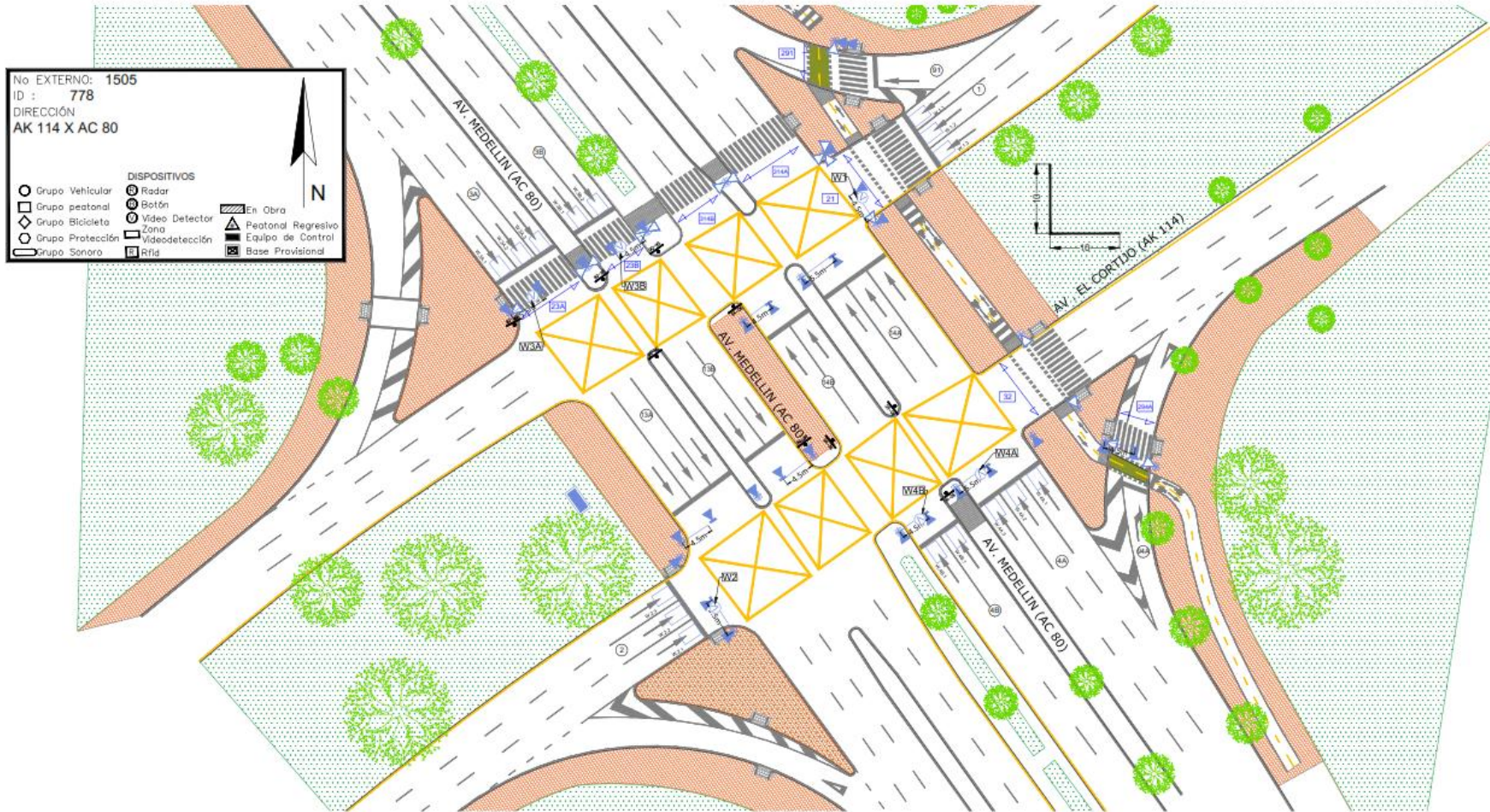
Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

En términos funcionales, los ciclos cortos (75 s) se asocian a escenarios de valle o baja demanda, privilegiando la agilidad (mayor frecuencia de servicio por fase y menores tiempos de espera). Los ciclos medios (90 s) operan típicamente en transiciones y valles con algo de carga, buscando equilibrar la rotación de fases secundarias con la progresión del eje principal. Los ciclos largos (120 s) se emplean en periodos de pico o cercanos al pico, con repartos de verde más extensos para los grupos dominantes de la Calle 80 a fin de absorber colas y sostener la coordinación entre intersecciones del corredor. Finalmente, el ciclo de 150 s se reserva para condiciones de sobresaturación (picos muy cargados, eventos o incidencias), maximizando la capacidad efectiva del eje arterial y reduciendo cambios de fase que penalizan la progresión; en este régimen, las ventanas peatonales se conservan, pero su activación se integra de forma que no rompa la “ola” del corredor.

De manera general, la lógica de los planes mantiene dos fases vehiculares predominantes para la Calle 80 en sentidos alternos, una atención específica a los accesos de la KR 112A (con verde efectivo escalonado según el plan) y ventanas peatonales coordinadas con los intermedios de seguridad. Los repartos de verde se incrementan en los grupos del eje arterial a medida que aumenta el ciclo (90 → 120 → 150 s), mientras que en los ciclos de 75–90 s se prioriza la reducción de demoras y la frecuencia de servicio para movimientos secundarios. La presencia de desfases y puntos de conexión confirma la intención de progresión longitudinal en el corredor, coherente con su jerarquía de acceso/salida de ciudad.

B. Intersección de la Avenida Calle 80 x Carrera 114 identificada bajo el externo 1505:

Figura 10-12 Esquema intersección Ext. 1505 Ac 80 x Kr 114.



Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM).

La intersección 1505, localizada en el cruce de la Avenida Medellín (AC 80) con la Avenida El Cortijo (AK 114), corresponde a un nodo de alta jerarquía dentro del corredor de estudio, dado que articula flujos metropolitanos de la AC 80 con accesos complementarios de carácter local y de conexión hacia la zona industrial. La geometría de la intersección se caracteriza por contar con múltiples accesos y giros, lo cual ha demandado una programación semafórica con nueve planes operativos que se adaptan a las variaciones horarias de la demanda. Dichos planes incluyen ciclos de 75, 90, 120 y 150 segundos, distribuidos en diferentes franjas de operación a lo largo del día.

Figura 10-13 Programa de señales 1 – externo 1505.

Programas de señal \ PS\_1\_C900\_1505

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
1	1	PS_1_C900_1505	PS_1_C900_1505		90	1	SG	0		MI_C900_1505			1	PC_C900_1505	PD_C900_1505	0

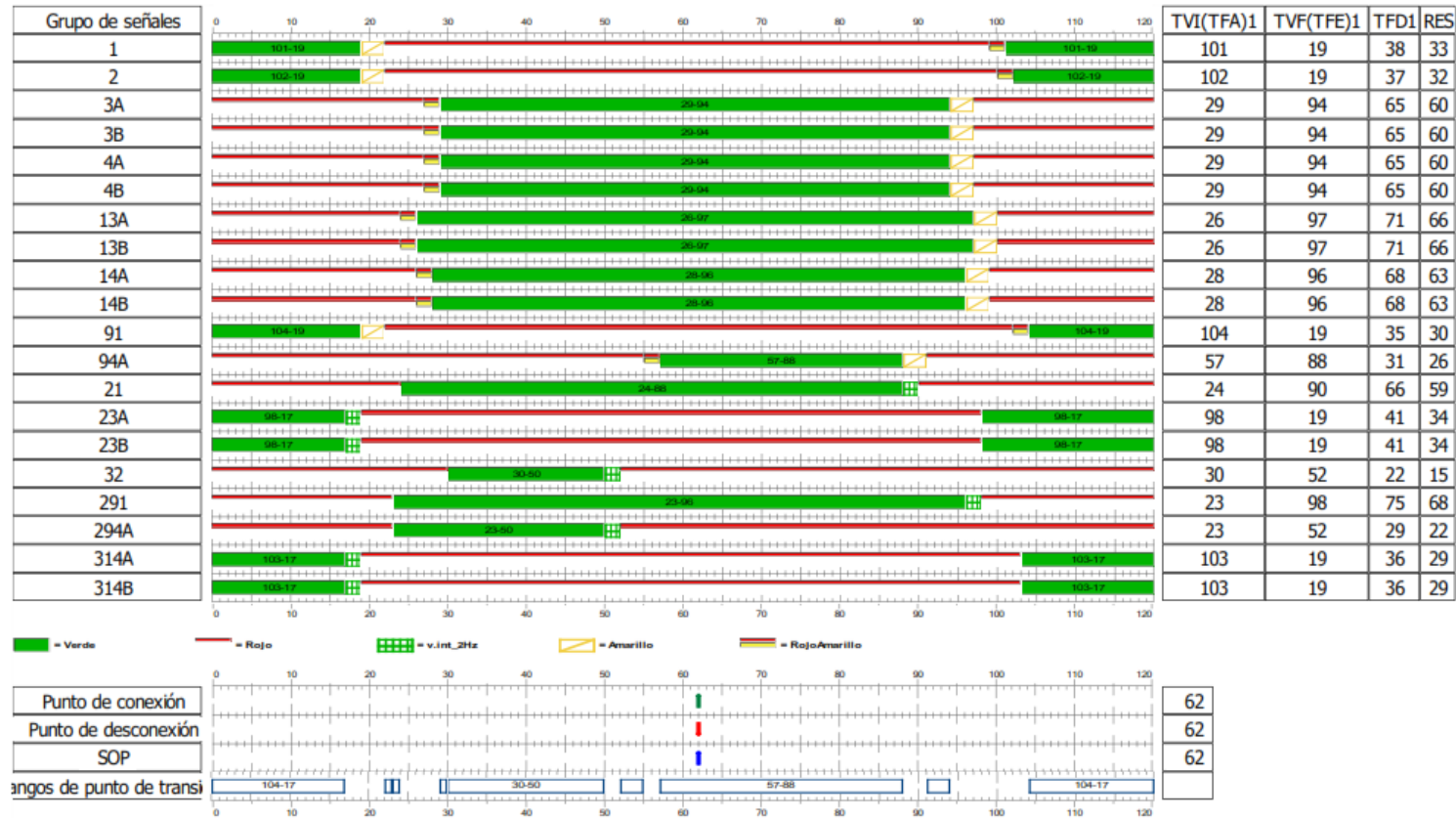


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-14 Programa de señales 2 – externo 1505.

Programas de señal \ PS\_2\_C900\_1505

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
2	2	PS_2_C900_1505	PS_2_C900_1505		120	2	SG	0		MI_C900_1505			1	PC_C900_1505	PD_C900_1505	0



Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-15 Programa de señales 3 – externo 1505.

Programas de señal \ PS\_3\_C900\_1505

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
3	3	PS_3_C900_1505	PS_3_C900_1505		120	3	SG	0		MI_C900_1505			1	PC_C900_1505	PD_C900_1505	0

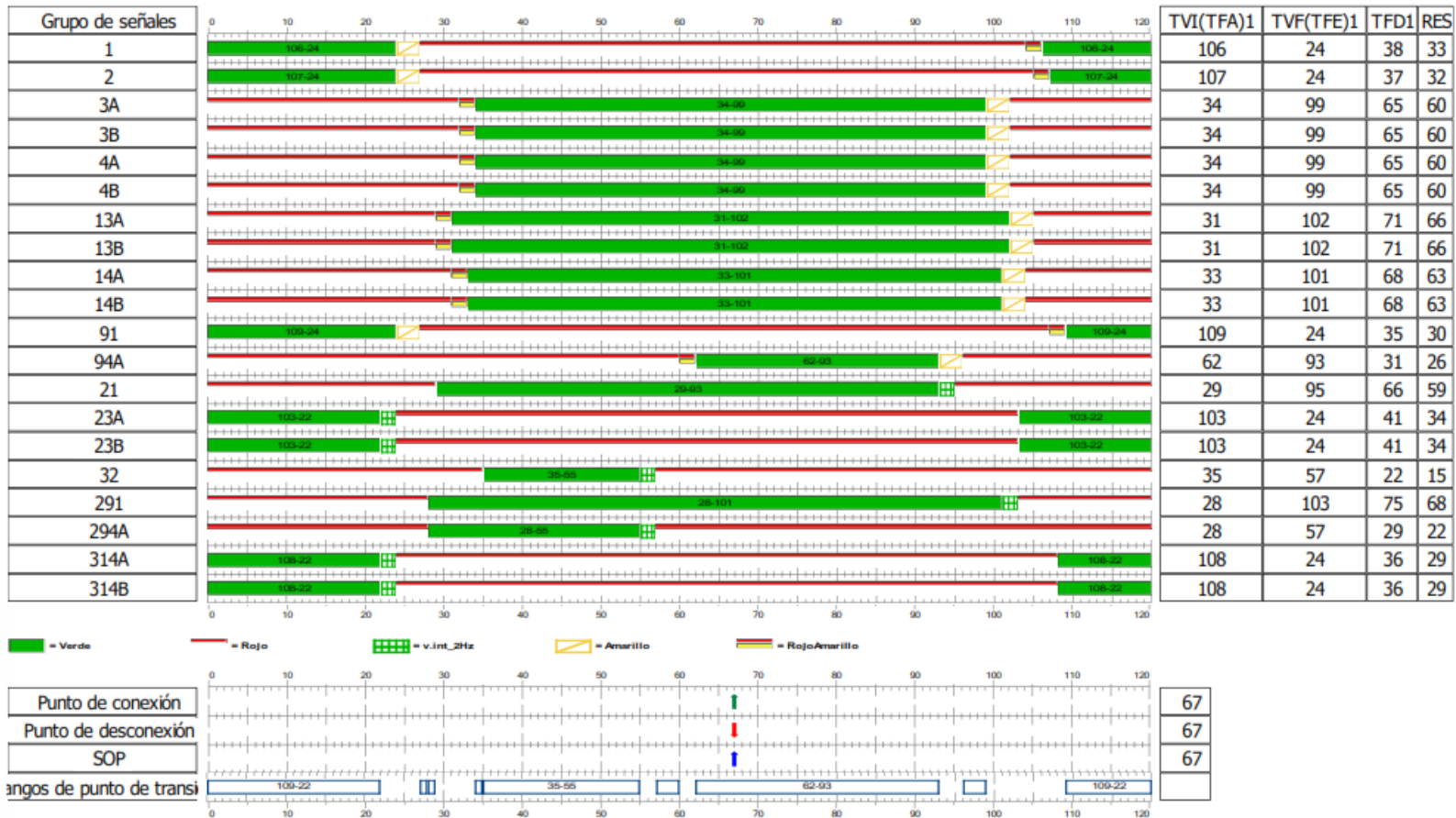


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-16 Programa de señales 4 – externo 1505.

Programas de señal \ PS\_4\_C900\_1505

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
4	4	PS_4_C900_1505	PS_4_C900_1505		120	4	SG	0		MI_C900_1505			1	PC_C900_1505	PD_C900_1505	0

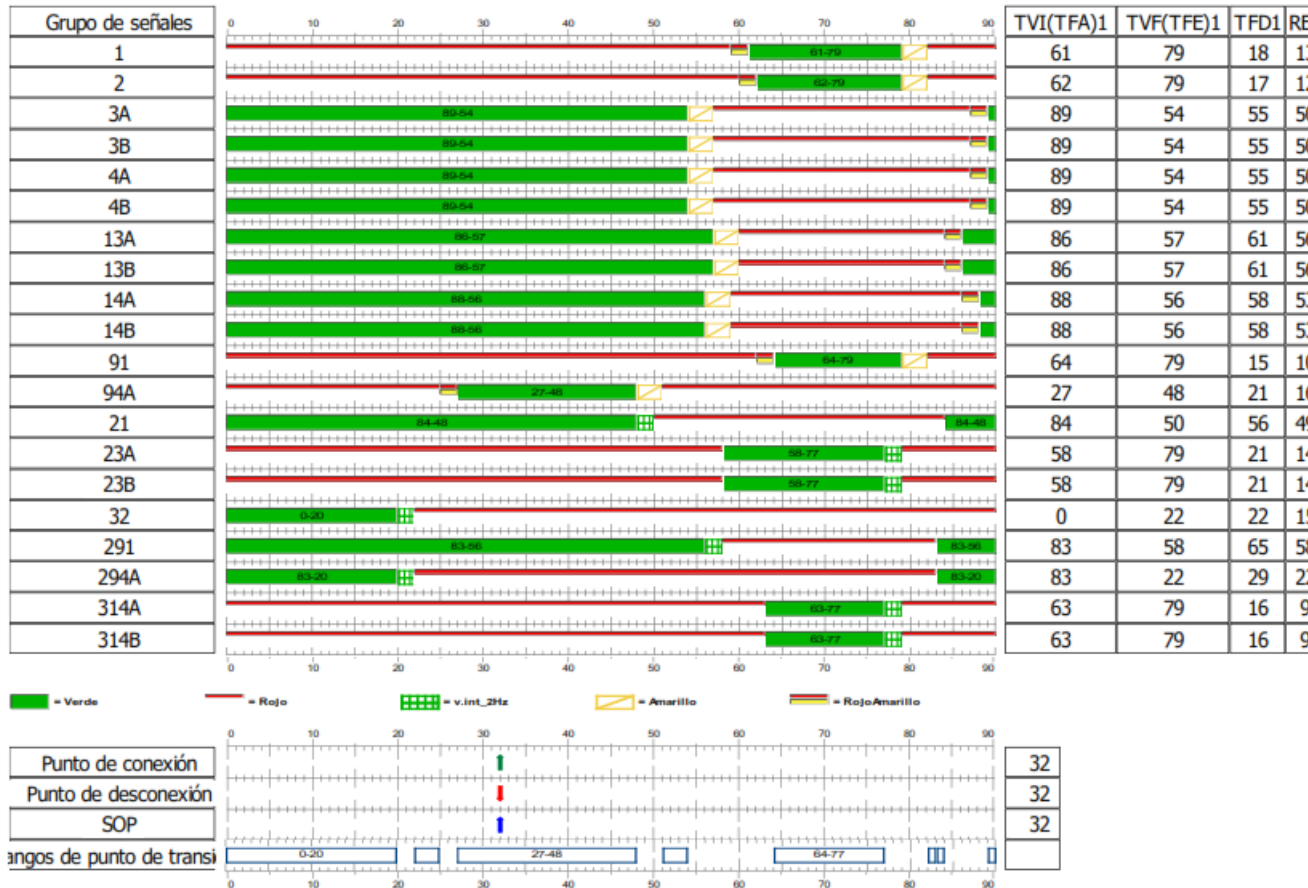


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-17 Programa de señales 5 – externo 1505.

Programas de señal \ PS\_5\_C900\_1505

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
5	5	PS_5_C900_1505	PS_5_C900_1505		90	5	SG	0		MI_C900_1505			1	PC_C900_1505	PD_C900_1505	0

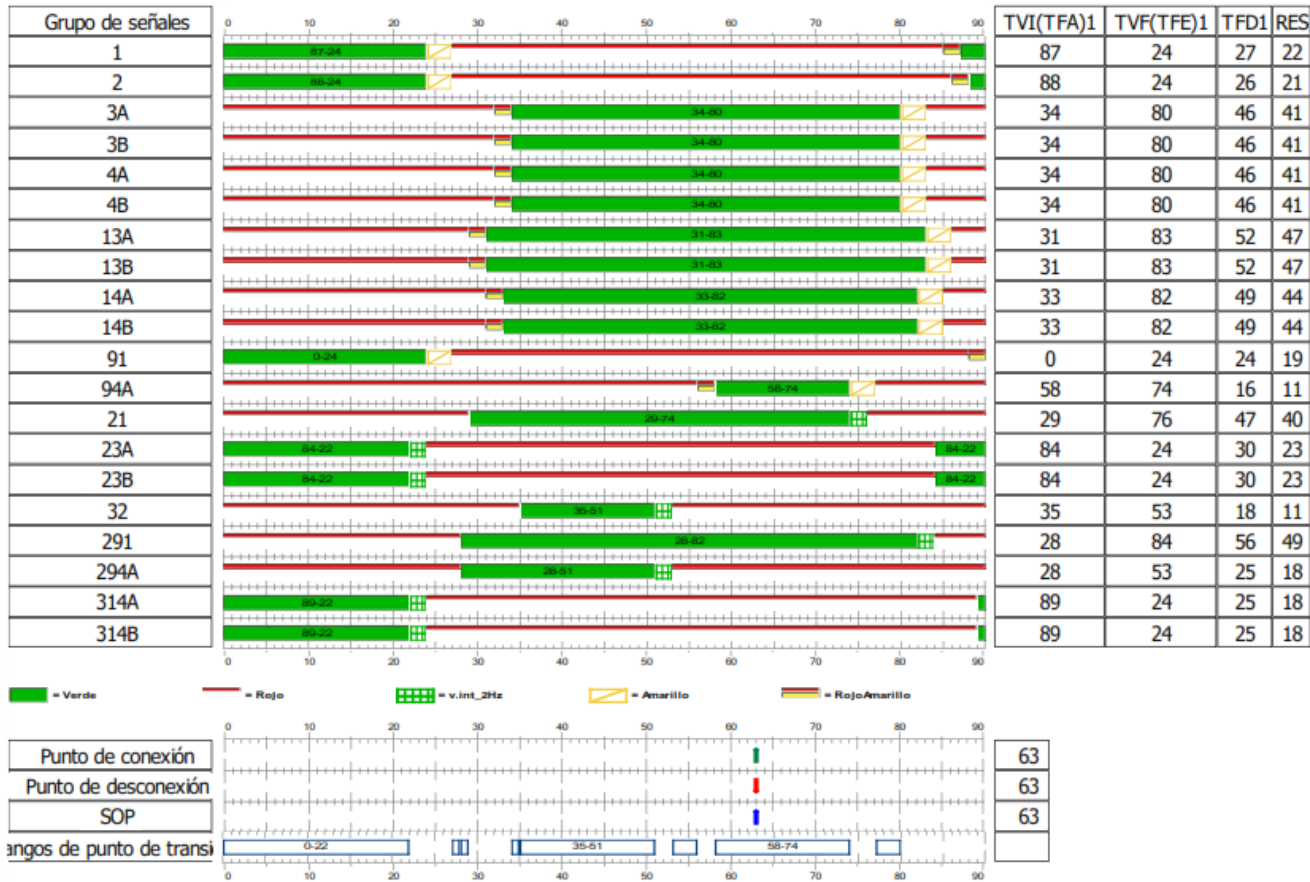


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-18 Programa de señales 6 – externo 1505

Programas de señal \ PS\_6\_C900\_1505

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
6	6	PS_6_C900_1505	PS_6_C900_1505		90	6	SG	0		MI_C900_1505			1	PC_C900_1505	PD_C900_1505	0



Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)  
Figura 10-19 Programa de señales 7 – externo 1505.

Programas de señal \ PS\_7\_C900\_1505

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
7	7	PS_7_C900_1505	PS_7_C900_1505		75	7	SG	0		MI_C900_1505			1	PC_C900_1505	PD_C900_1505	0

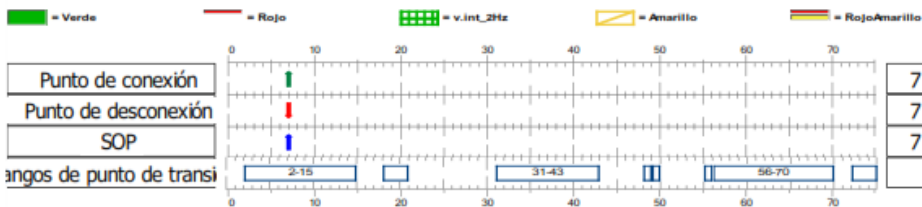


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-20 Programa de señales 8 – externo 1505.

Programas de señal \ PS\_8\_C900\_1505

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
8	8	PS_8_C900_1505	PS_8_C900_1505		75	8	SG	0		MI_C900_1505			1	PC_C900_1505	PD_C900_1505	0

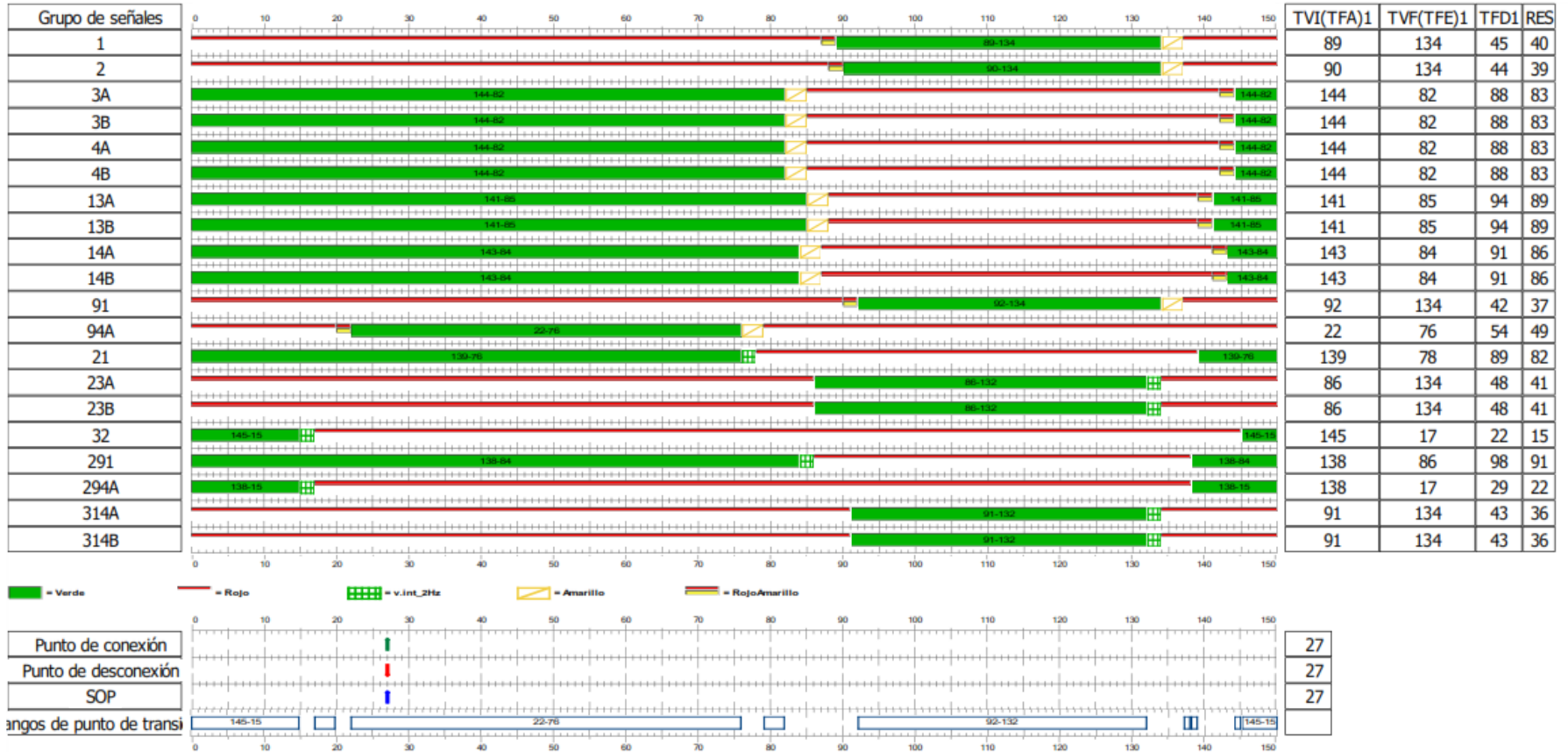


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-21 Programa de señales 9 – externo 1505.

Programas de señal \ PS\_9\_C900\_1505

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
9	9	PS_9_C900_1505	PS_9_C900_1505		150	3	SG	0		MI_C900_1505			1	PC_C900_1505	PD_C900_1505	0



Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

En términos de fases, la programación busca priorizar los movimientos principales de la Avenida Medellín, asignando los mayores tiempos de verde a los desplazamientos rectos y giros críticos de esta vía, mientras que los accesos secundarios reciben menores asignaciones temporales, en coherencia con la jerarquización vial. La distribución de los tiempos de verde varía según el ciclo seleccionado, llegando a superar los 90 segundos en fases de la AC 80 durante los planes de mayor capacidad, lo que evidencia la necesidad de evacuar altos volúmenes en horas de máxima demanda.

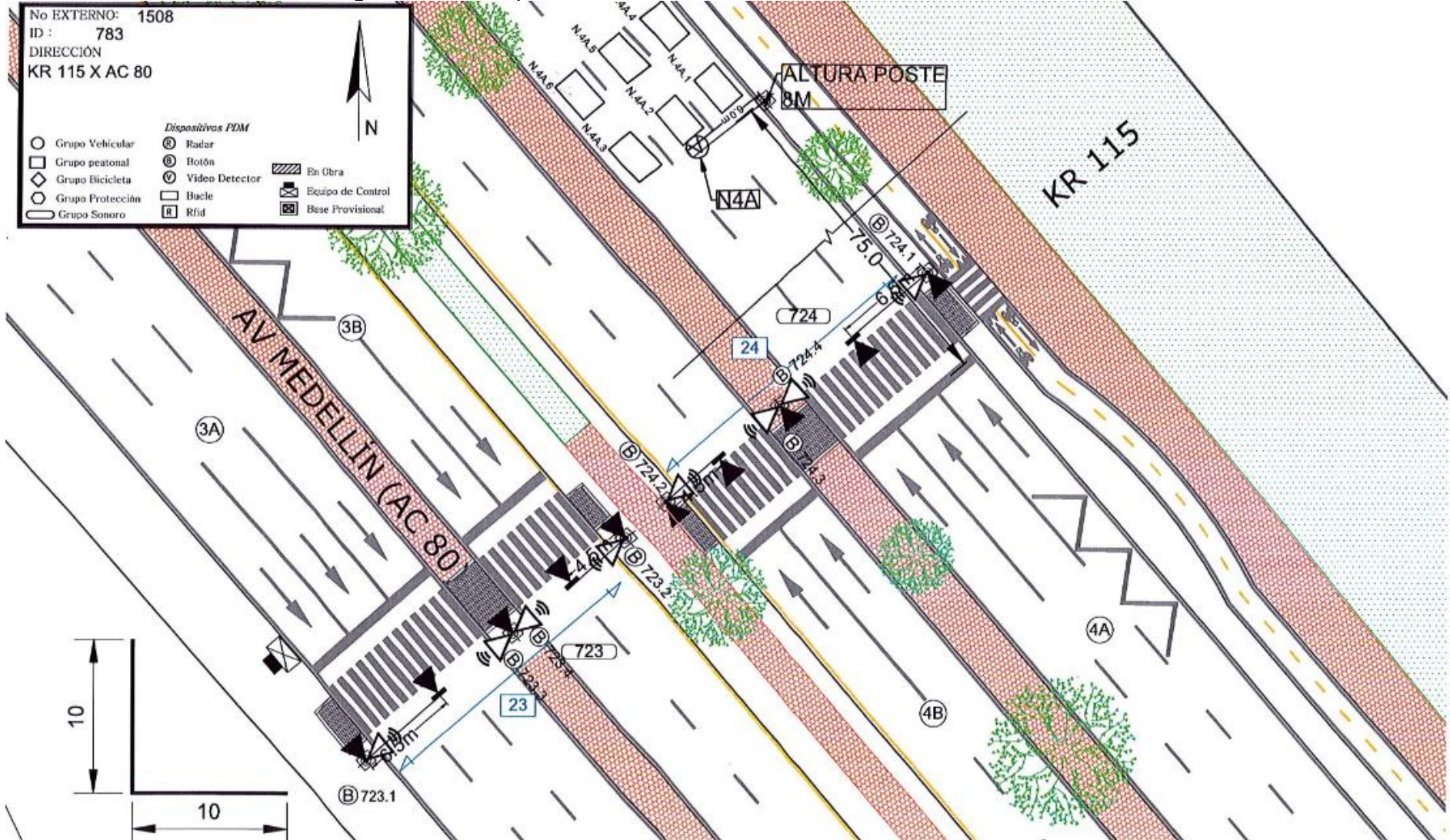
Los planes con ciclos de 90 segundos constituyen la base de la operación en condiciones de flujo medio, siendo utilizados principalmente en horas valle. Estos otorgan tiempos de verde equilibrados entre 27 y 67 segundos, lo cual resulta suficiente para mantener la fluidez sin generar tiempos de espera excesivos en los accesos de menor jerarquía. Por su parte, los ciclos de 120 segundos son empleados en horas pico de la mañana y tarde, donde los altos volúmenes de tránsito exigen mayores tiempos de servicio. En este caso, los movimientos principales reciben verdes extendidos que superan los 90 segundos, reforzando la jerarquía de la vía principal y garantizando la capacidad de evacuación de colas.

En contraste, los ciclos de 75 segundos se aplican en horarios nocturnos o de baja demanda, cuando los flujos vehiculares disminuyen significativamente. Estos planes buscan reducir los tiempos de espera innecesarios y mantener la seguridad operacional de todos los movimientos, con tiempos de verde más cortos pero suficientes para la magnitud del tránsito en dichos periodos. Finalmente, el plan de 150 segundos constituye el esquema más robusto de la intersección, diseñado para condiciones críticas de congestión o eventos extraordinarios de flujo. En este plan, los movimientos principales alcanzan verdes de hasta 145 segundos, priorizando la evacuación de colas extensas y mitigando riesgos de saturación severa, aunque a costa de mayores tiempos de espera en accesos secundarios.

En conclusión, la programación de la intersección 1505 refleja una alta flexibilidad operativa, con ciclos que se ajustan a diferentes escenarios de demanda y que refuerzan la jerarquización de la Avenida Medellín como corredor prioritario. Mientras los planes de 90 y 120 segundos constituyen la base de la operación ordinaria, los de 75 y 150 segundos funcionan como escenarios extremos que permiten enfrentar condiciones de baja demanda o de congestión crítica, respectivamente. Esta estrategia evidencia una gestión semafórica adaptativa orientada a mantener la funcionalidad del corredor en diversas condiciones de operación.

C. Intersección de la Avenida Calle 80 x Carrera 115 identificada bajo el externo 1508:

Figura 10-22 Esquema intersección Ext. 1508 Ac 80 x Kr 115.



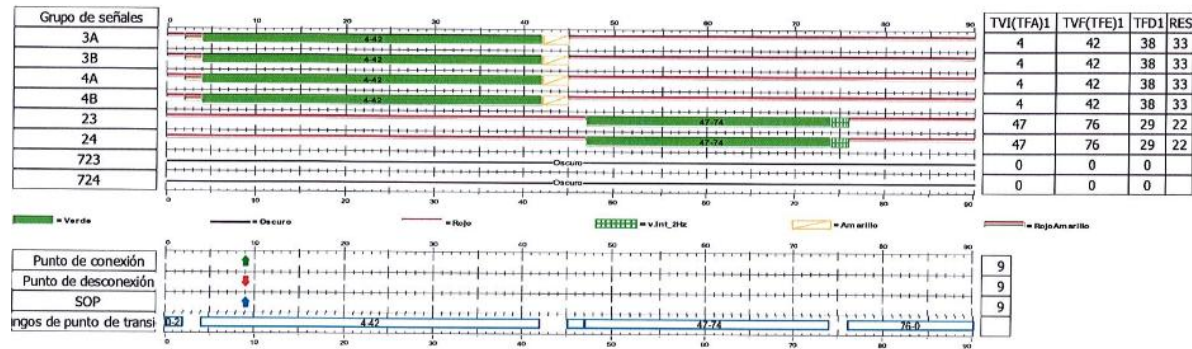
Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

La intersección 1508, ubicada en el cruce de la Avenida Medellín (Calle 80) con la Carrera 115, corresponde a un punto de control que cumple exclusivamente la función de paso peatonal sobre un corredor arterial. Su configuración geométrica no contempla ingresos, giros ni salidas vehiculares, por lo que el diseño está orientado únicamente a habilitar el cruce seguro de los peatones a través de la calzada, mientras se garantiza la continuidad del flujo vehicular en la arteria. La infraestructura se compone de andenes amplios, franjas peatonales demarcadas a ambos costados y semáforos peatonales con apoyo visual y acústico que regulan las maniobras de cruce.

Figura 10-23 Programa de señales 1 – externo 1508.

Programas de señal \PS\_1\_C900V\_1508

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Corn. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
1	1	PS_1_C900V_1508	PS_1_C900V_1508		90	1	SG	0		MI_C900V_1508			1	PC_C900V_1508	PD_C900V_1508	0

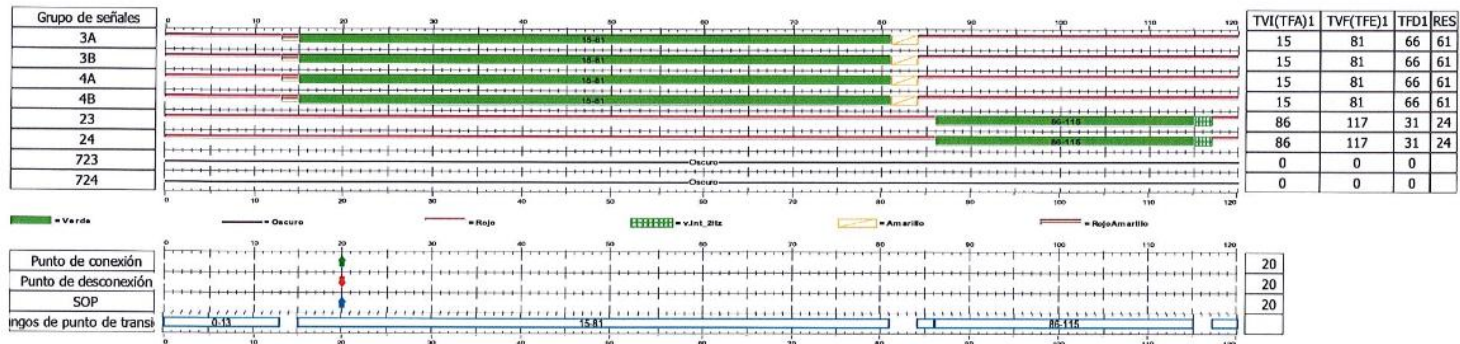


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-24 Programa de señales 2 – externo 1508.

Programas de señal \ PS\_2\_C900V\_1508

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
2	2	PS_2_C900V_1508	PS_2_C900V_1508		120	2	SG	0		MI_C900V_1508			1	PC_C900V_1508	PD_C900V_1508	0



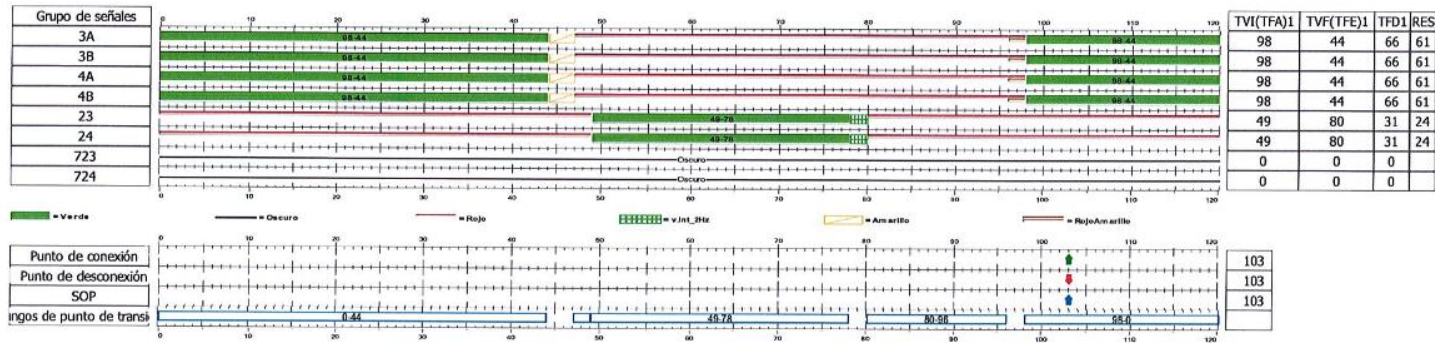
Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)  
Figura 10-25 Programa de señales 3 – externo 1508.

Bogotá SSI

Secretaría Distrital de Movilidad

Programas de señal \ PS\_3\_C900V\_1508

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
3	3	PS_3_C900V_1508	PS_3_C900V_1508		120	3	SG	0		MI_C900V_1508			1	PC_C900V_1508	PD_C900V_1508	0

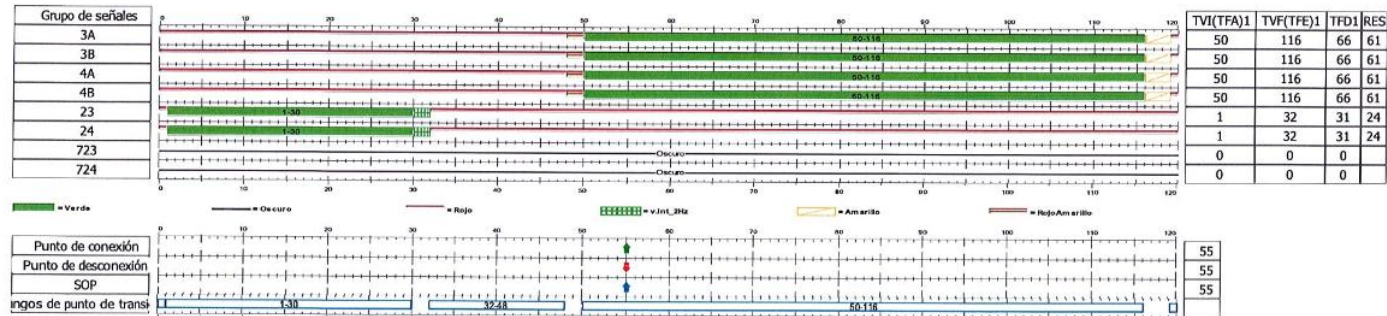


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-26 Programa de señales 4 – externo 1508

Programas de señal \ PS\_4\_C900V\_1508

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Corn. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
4	4	PS_4_C900V_1508	PS_4_C900V_1508		120	4	SG	0		MI_C900V_1508			1	PC_C900V_1508	PD_C900V_1508	0

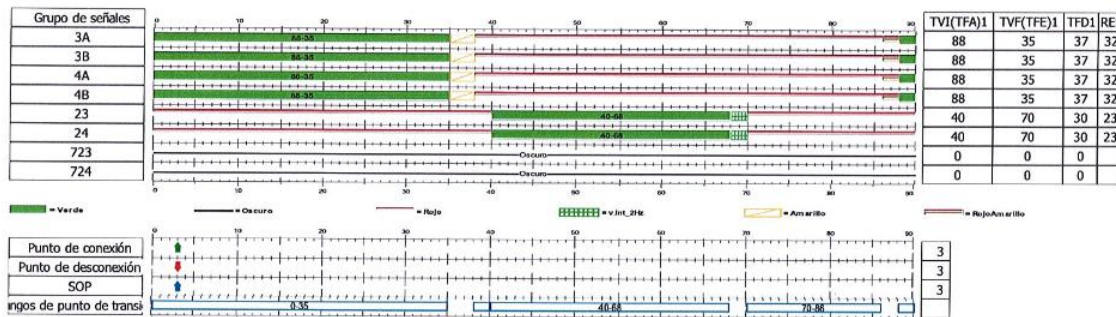


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM).

Figura 10-27 Programa de señales 5 – externo 1508.

Programas de señal \ PS\_5\_C900V\_1508

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Corn. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
5	5	PS_5_C900V_1508	PS_5_C900V_1508		90	5	SG	0		MI_C900V_1508			1	PC_C900V_1508	PD_C900V_1508	0

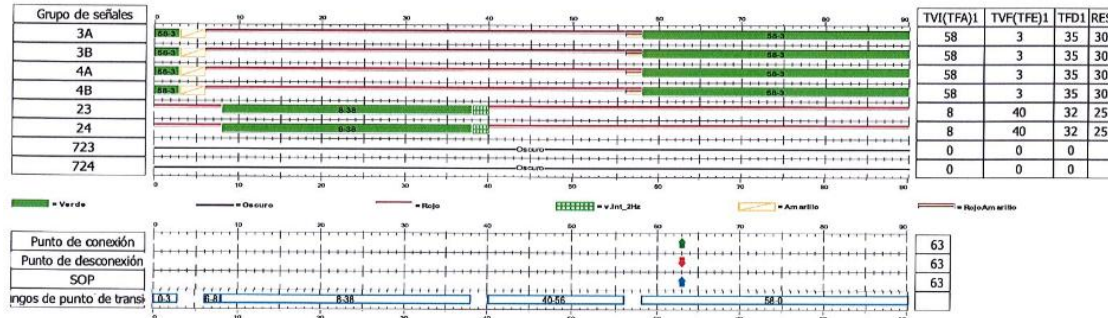


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-28 Programa de señales 6 – externo 1508

Programas de señal \ PS\_6\_C900V\_1508

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Corn. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
6	6	PS_6_C900V_1508	PS_6_C900V_1508		90	6	SG	0		MI_C900V_1508			1	PC_C900V_1508	PD_C900V_1508	0

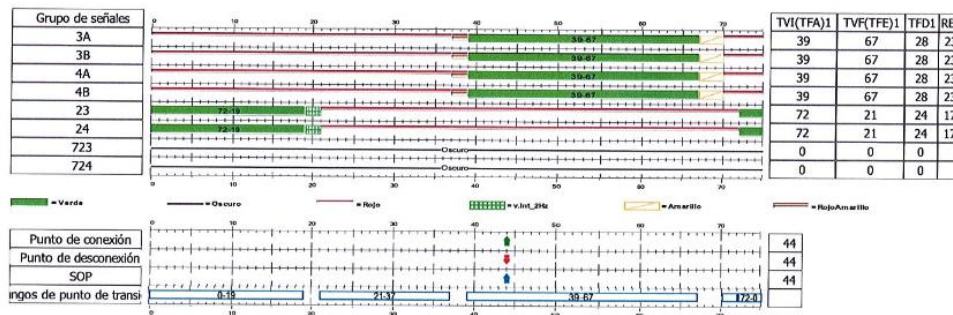


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-29 Tipo Programa de señales 7 – externo 1508.

Programas de señal \ PS\_7\_C900V\_1508

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Corn. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
7	7	PS_7_C900V_1508	PS_7_C900V_1508		75	7	SG	0		MI_C900V_1508			1	PC_C900V_1508	PD_C900V_1508	0



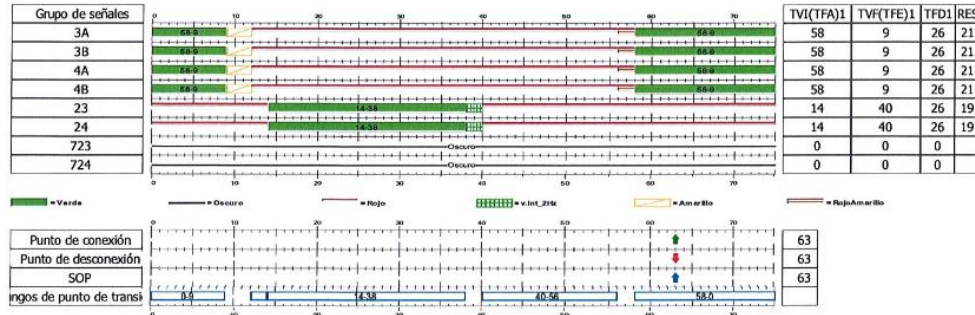
Último usuario / Última actualización = Ing. Pablo E. Villamarín / 20/11/2020 10:46:17 a. m.

Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-30 Programa de señales 8 – externo 1508

Programas de señal \ PS\_8\_C900V\_1508

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Corn. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
8	8	PS_8_C900V_1508	PS_8_C900V_1508		75	8	SG	0		MI_C900V_1508			1	PC_C900V_1508	PD_C900V_1508	0

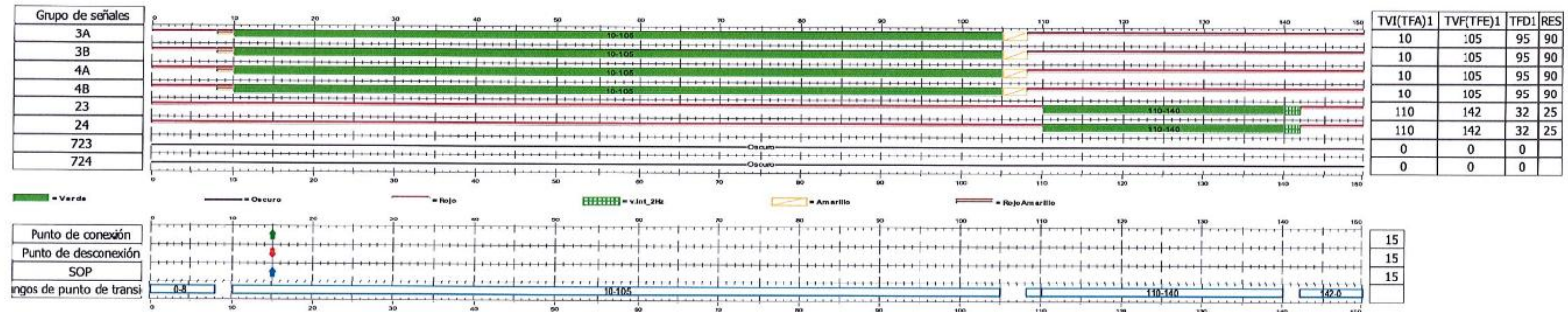


Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM).

Figura 10-31 Programa de señales 9 – externo 1508.

Programas de señal \ PS\_9\_C900V\_1508

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Corn. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off	@Point-in-time values based on
9	9	PS_9_C900V_1508	PS_9_C900V_1508		150	9	SG	0		MI_C900V_1508			1	PC_C900V_1508	PD_C900V_1508	0



Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

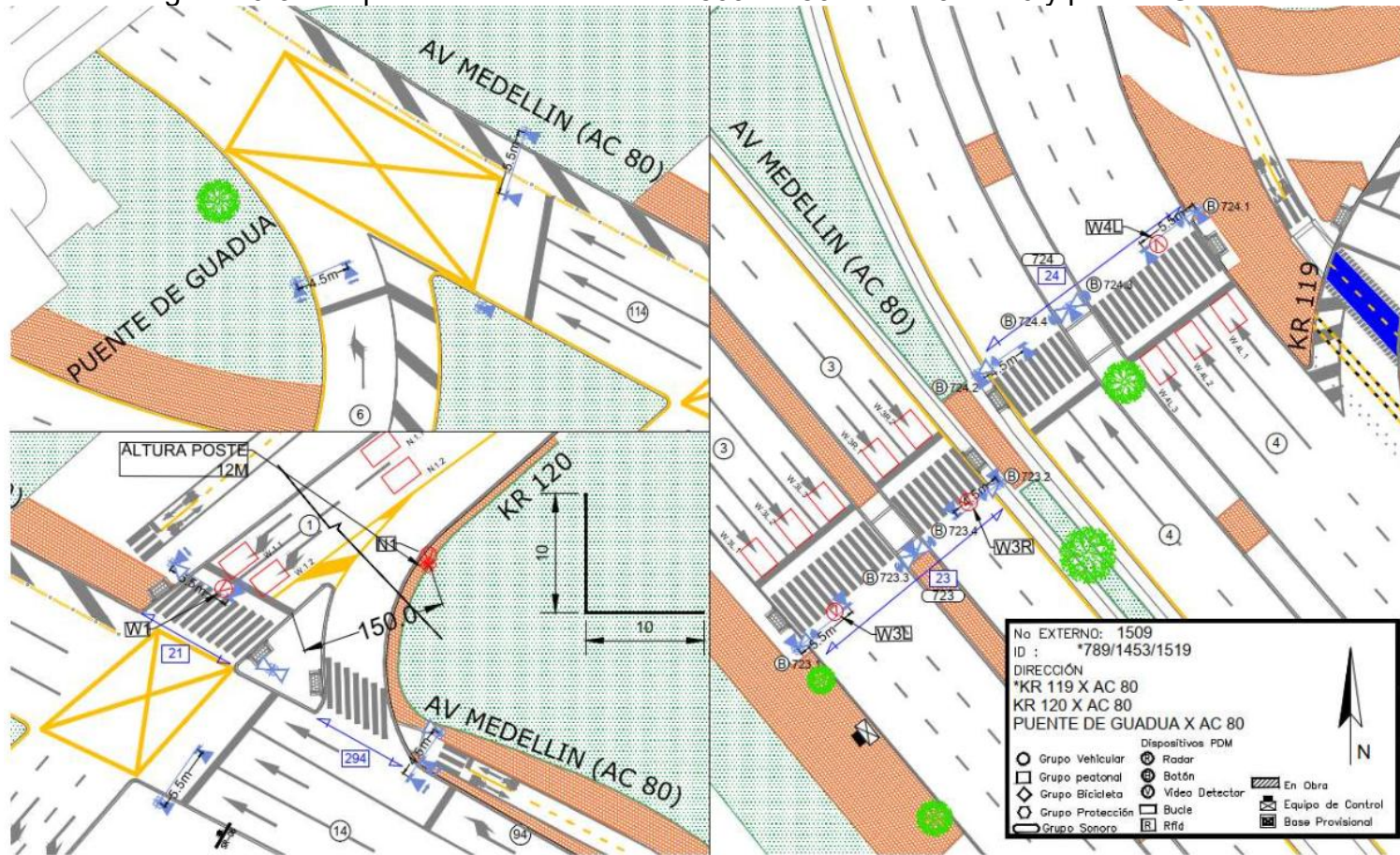
En términos de operación, los grupos semafóricos principales asociados al flujo vehicular (3A, 3B, 4A y 4B) permanecen en verde durante largos periodos, no para atender movimientos específicos, sino para asegurar la progresión continua del tránsito por la Calle 80. Estos se interrumpen únicamente en los intervalos destinados a los grupos peatonales (23, 24, 723 y 724), los cuales disponen de fases de invitación y despeje que permiten un cruce seguro y ordenado de las personas. De esta manera, el controlador actúa de manera bifásica, alternando entre la fase vehicular de paso continuo y la fase peatonal de habilitación exclusiva.

La programación semafórica de la intersección cuenta con diferentes planes de ciclo de 75, 90, 120 y 150 segundos, los cuales se aplican de acuerdo con las condiciones de demanda y la coordinación del corredor. Los planes de 75 y 90 segundos se utilizan en periodos de menor carga vehicular, favoreciendo la frecuencia de aperturas peatonales con interrupciones breves sobre el tránsito de la arteria. El ciclo de 120 segundos se emplea en horas de mayor demanda, donde se amplía la duración del verde vehicular y se concentran los cruces peatonales en intervalos más definidos para reducir pérdidas de capacidad en el corredor. Finalmente, el ciclo de 150 segundos corresponde a la condición de saturación, en la cual se prioriza la progresión de la vía principal y se reducen las frecuencias de cruce peatonal, compensando esta reducción con intervalos más amplios de paso para evacuar la acumulación de personas en espera.

En conclusión, la intersección 1508 presenta un carácter particular dentro del sistema de control semafórico, al estar destinada exclusivamente a la atención de peatones en un corredor de alta jerarquía. Su función operativa radica en proporcionar ventanas seguras de cruce en medio de un flujo vehicular continuo, adaptando la frecuencia y duración de dichas ventanas según las condiciones de demanda y garantizando tanto la seguridad peatonal como la eficiencia de la movilidad sobre la Calle 80.

D. Intersección de la Avenida Calle 80 x Carrera 119 y Carrera 120 identificada bajo el externo 1509:

Figura 10-32 Esquema intersección Ext. 1509 Ac 80 x Kr 119 – 120 y puente Guadua



Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

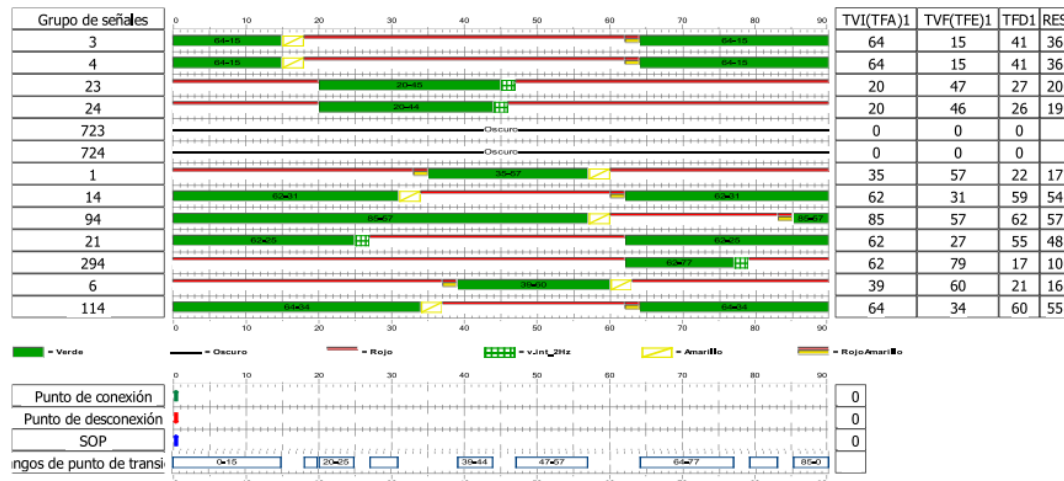
La intersección identificada con el código 1509 constituye un punto de especial relevancia dentro del corredor de estudio, ya que se trata de la única intersección doble de la red y, además, corresponde al tramo de salida de Bogotá por la Avenida Medellín (Calle 80). Su geometría es amplia y compleja, con pasos peatonales múltiples que cruzan tanto las calzadas principales de la vía como los ramales de conexión hacia la Carrera 119 y la Carrera 120, lo que la convierte en un nodo de alta interacción modal entre flujos vehiculares y peatonales. La disposición de los cruces peatonales evidencia que esta intersección prioriza la conectividad peatonal, regulando accesos en una infraestructura donde los giros vehiculares se reducen, pero la magnitud de los flujos de salida y entrada de la ciudad exige un control semafórico de gran precisión y coordinación.

Figura 10-33 Programa de señales 1 – externo 1509.

Programas de señal \ PS\_1\_C900V\_1509

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off
1	1	PS_1_C900V_1509	PS_1_C900V_1509		90	1	SG	0		ML_C900V_1509			1	PC_C900V_1509	PD_C900V_1509

Ser. no.	@Point-in-time values based on
1	0



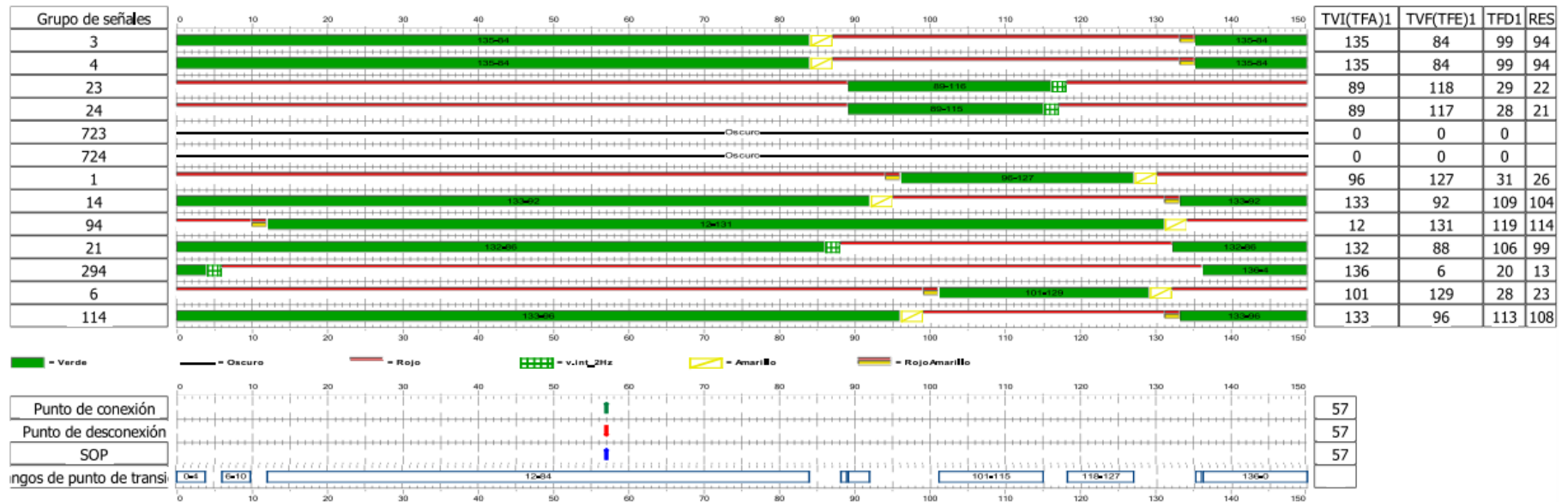
Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-34 Programa de señales 2 – externo 1509.

Programas de señal \ PS\_2\_C900V\_1509

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off
2	2	PS_2_C900V_1509	PS_2_C900V_1509		150	2	SG	0		ML_C900V_1509			1	PC_C900V_1509	PD_C900V_1509

Ser. no.	@Point-in-time values based on
2	0



Último usuario / Última actualización = Ing. Jaime Rico Torres / 2/08/2022 12:17:02 p. m.

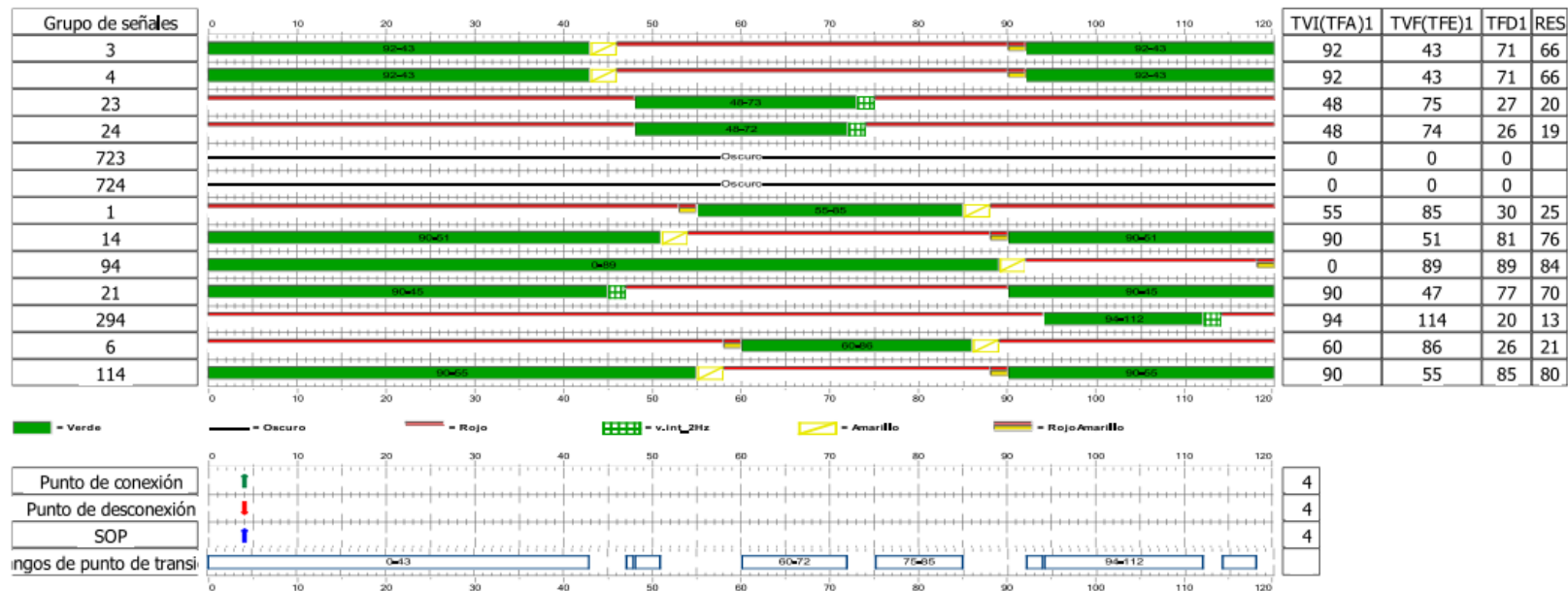
Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-35 Programa de señales 3 – externo 1509.

Programas de señal \ PS\_3\_C900V\_1509

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Cido	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off
3	3	PS_3_C900V_1509	PS_3_C900V_1509		120	3	SG	0		MI_C900V_1509			1	PC_C900V_1509	PD_C900V_1509

Ser. no.	@Point-in-time values based on
3	0



Último usuario / Última actualización = Ing. Jaime Rico Torres / 2/08/2022 12:17:19 p. m.

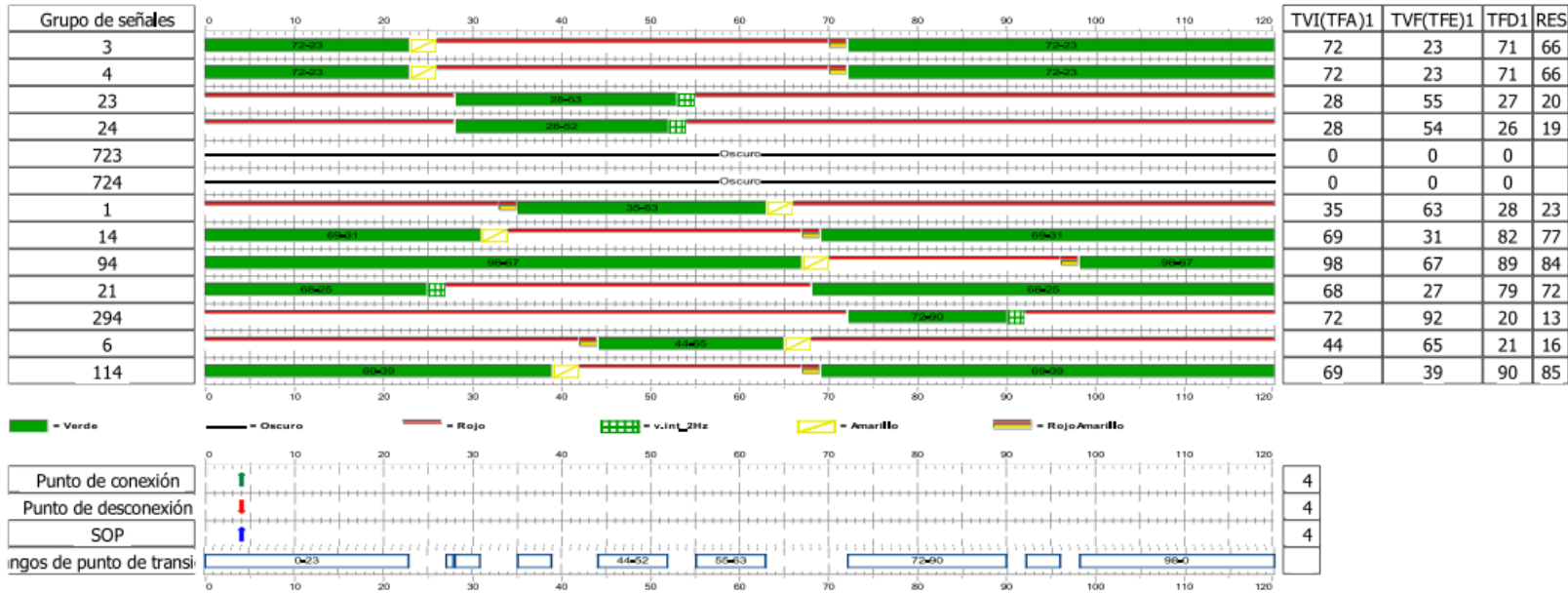
Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-36 Programa de señales 4 – externo 1509

Programas de señal \ PS\_4\_C900V\_1509

Ser. no.	C-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off
4	4	PS_4_C900V_1509	PS_4_C900V_1509		120	4	SG	0		MI_C900V_1509			1	PC_C900V_1509	PD_C900V_1509

Ser. no.	@Point-in-time values based on
4	0



Último usuario / Última actualización = Ing. Jaime Rico Torres / 2/08/2022 12:18:32 p. m.

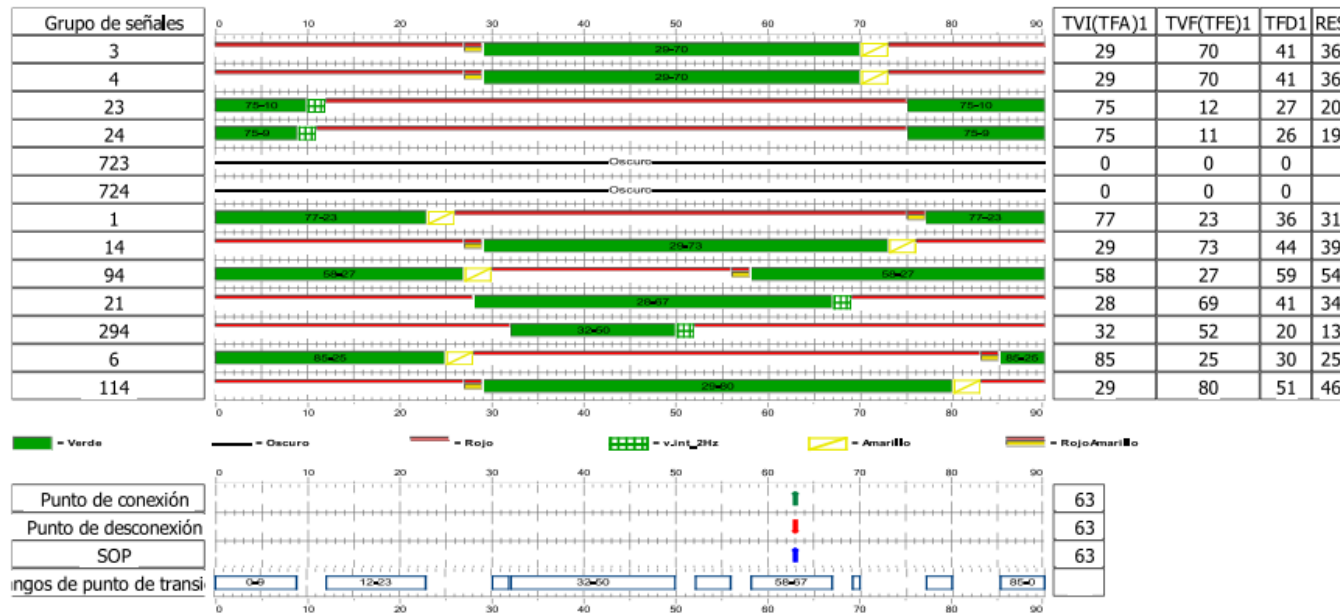
Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-37 Programa de señales 5 – externo 1509.

Programas de señal \ PS\_5\_C900V\_1509

Ser. no.	C-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off
5	5	PS_5_C900V_1509	PS_5_C900V_1509		90	5	SG	0		MI_C900V_1509			1	PC_C900V_1509	PD_C900V_1509

Ser. no.	@Point-in-time values based on
5	0



Último usuario / Última actualización = Ing. Jaime Rico Torres / 2/08/2022 12:18:56 p. m.

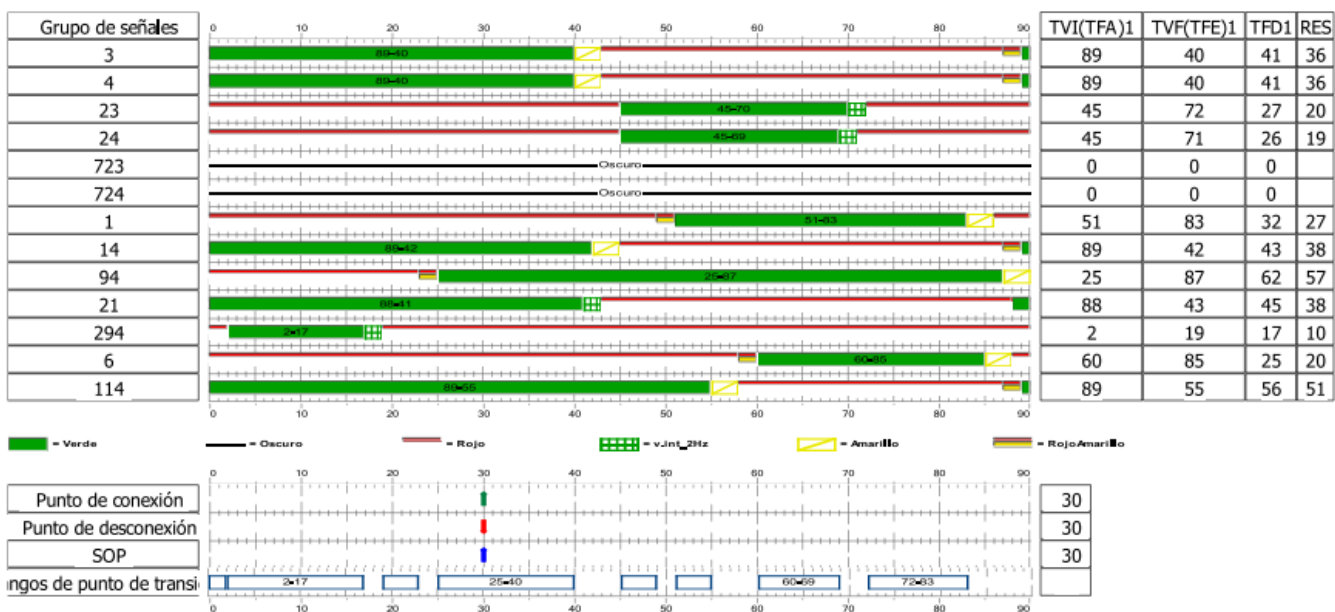
Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-38 Programa de señales 6 – externo 1509

Programas de señal \ PS\_6\_C900V\_1509

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off
6	6	PS_6_C900V_1509	PS_6_C900V_1509		90	6	SG	0		ML_C900V_1509			1	PC_C900V_1509	PD_C900V_1509

Ser. no.	@Point-in-time values based on
6	0



Último usuario / Última actualización = Ing. Jaime Rico Torres / 2/08/2022 12:19:07 p. m.

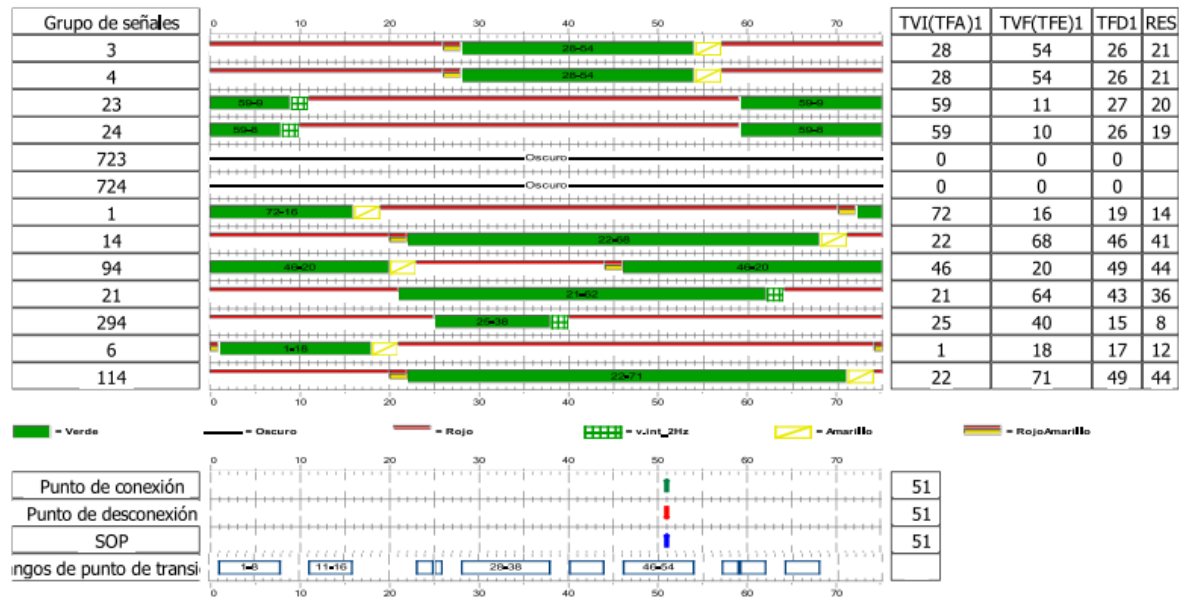
Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-39 Programa de señales 7 – externo 1509.

Programas de señal \ PS\_7\_C900V\_1509

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off
7	7	PS_7_C900V_1509	PS_7_C900V_1509		75	7	SG	0		MI_C900V_1509			1	PC_C900V_1509	PD_C900V_1509

Ser. no.	@Point-in-time values based on
7	0



Último usuario / Última actualización = Ing. Jaime Rico Torres / 2/08/2022 12:19:22 p. m.

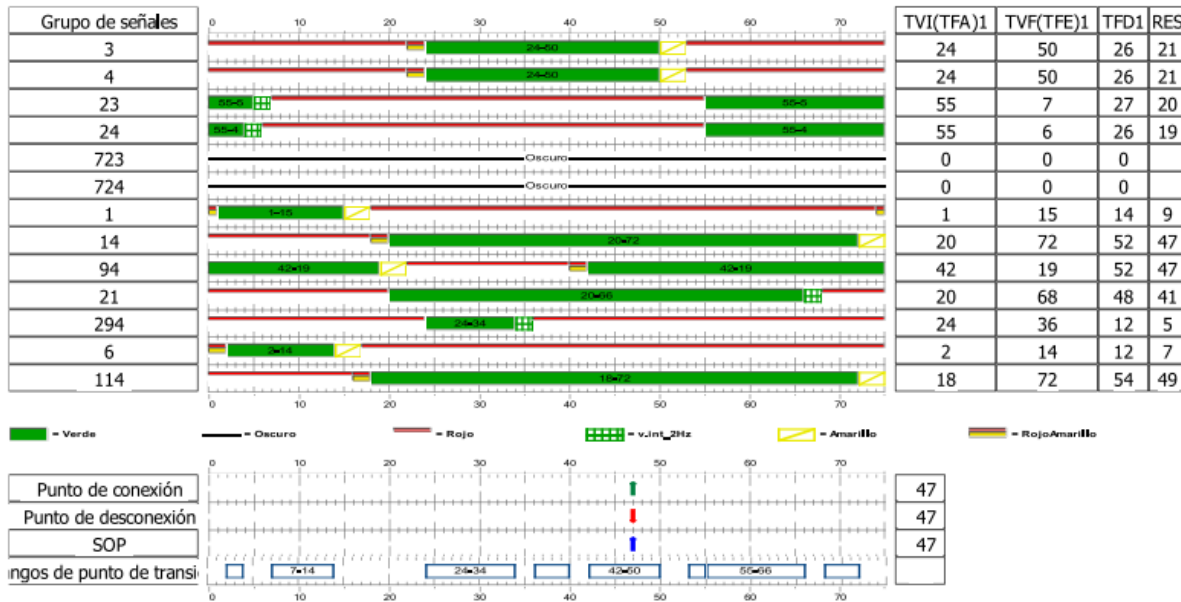
Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-40 Programa de señales 8 – externo 1509

Programas de señal \ PS\_8\_C900V\_1509

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Ciclo	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off
8	8	PS_8_C900V_1509	PS_8_C900V_1509		75	8	SG	0		MI_C900V_1509			1	PC_C900V_1509	PD_C900V_1509

Ser. no.	@Point-in-time values based on
8	0



Último usuario / Última actualización = Ing. Jaime Rico Torres / 2/08/2022 12:19:45 p. m.

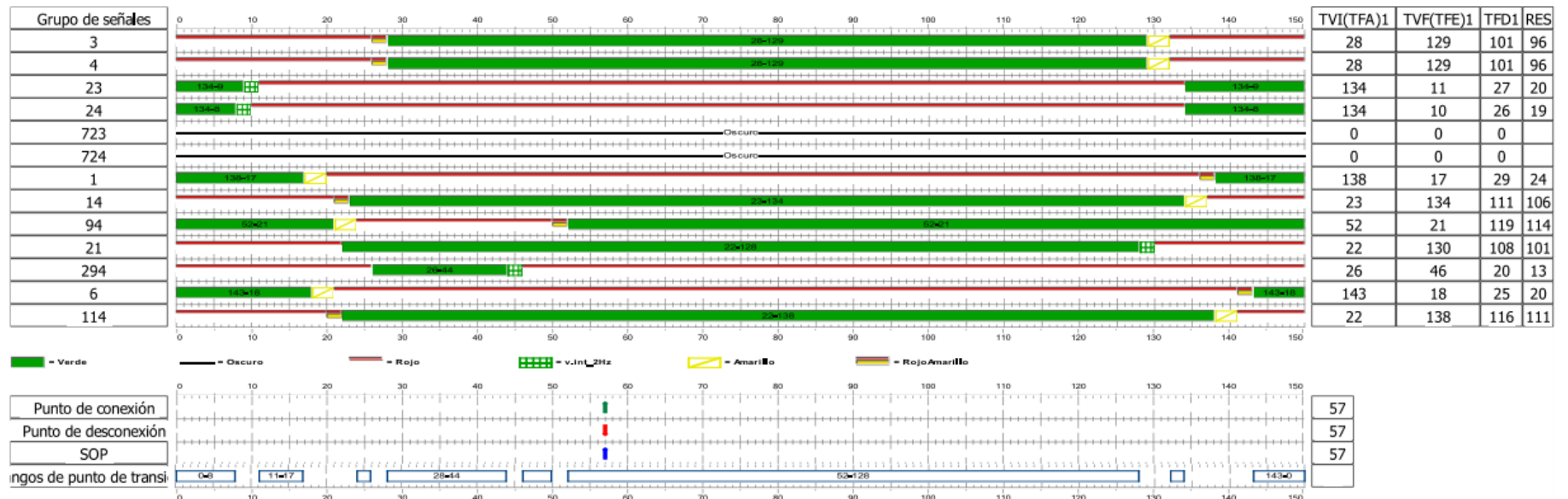
Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

Figura 10-41 Programa de señales 9 – externo 1509.

Programas de señal \ PS\_9\_C900V\_1509

Ser. no.	O-Nr.	Nombre corto	Nombre	Descripción	Tiempo de Cido	No de Com. Dispo.	Tipo	Desfase	Tabla de volúmenes	MTI(ZZ)	MDI	MDF	COORDINACION	S-Encendido	S-Off
9	9	PS_9_C900V_1509	PS_9_C900V_1509		150	9	SG	0		MI_C900V_1509			1	PC_C900V_1509	PD_C900V_1509

Ser. no.	@Point-in-time values based on
9	0



Último usuario / Última actualización = Ing. Jaime Rico Torres / 2/08/2022 12:19:58 p. m.

Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM)

El análisis de su programación muestra una amplia variedad de planes de tiempo, con ciclos que oscilan entre 75, 90, 120 y 150 segundos, diseñados para adaptarse a diferentes condiciones de tránsito. El ciclo de 150 segundos se emplea en horas de mayor congestión y permite garantizar tiempos verdes más largos para las fases principales (grupos vehiculares 3, 4 y 14), asegurando la evacuación de los altos volúmenes de vehículos que buscan salir de la ciudad. En contraste, los planes de 75 y 90 segundos están orientados a periodos de menor flujo, donde se prioriza la reducción de tiempos de espera para peatones y buses, manteniendo la operación fluida sin sobredimensionar los intervalos de verde. Los planes de 120 segundos, por su parte, ofrecen un balance intermedio que combina adecuadamente la atención a la demanda vehicular con la garantía de seguridad y accesibilidad peatonal.

Un aspecto clave de esta intersección es la presencia de numerosos grupos semafóricos peatonales (21, 23, 24, 723, 724, entre otros), los cuales se coordinan cuidadosamente con las fases vehiculares para evitar conflictos y mejorar la seguridad de los cruces. En los planes analizados, los tiempos verdes para peatones se ubican generalmente entre 20 y 40 segundos, con una clara intención de facilitar el cruce completo de las calzadas de múltiples carriles. Esta asignación refuerza la función de la intersección como punto de alta interacción modal, especialmente relevante al ser un acceso estratégico hacia zonas residenciales y de transporte público.

La alternancia de planes y la incorporación de fases prolongadas en horarios de alta demanda indican que esta intersección ya incorpora una lógica de operación flexible, orientada a responder a variaciones temporales de la saturación.

### **10.1.1.3 AUTOMÁTICO DIARIO Y SEMANAL:**

En el corredor analizado se encuentran definidas dos zonas automáticas de control semafórico. La primera corresponde a la zona 1134, que agrupa las intersecciones identificadas bajo los externos 1509 y 1505; la segunda es la zona 1109, que agrupa las intersecciones bajo los externos 1508 y 1503. Aunque se trata de dos zonas distintas dentro del esquema de automatización, ambas comparten exactamente la misma programación diaria y semanal, lo cual permite mantener una operación uniforme a lo largo del corredor, garantizando la coherencia y coordinación entre los diferentes cruces.

La asignación de planes automáticos se organiza de acuerdo con el día de la semana. De lunes a jueves se aplica el plan diario WD1, el cual inicia con el Plan 2 desde las 05:00 horas, continúa con el Plan 3 a las 10:00, pasa al Plan 4 a las 15:30, avanza al Plan 6 a las 23:30 y finaliza con el Plan 7 a las 23:59. Para el día viernes se emplea el plan WD4, que conserva la misma secuencia de planes, aunque ajustando los horarios de transición a las condiciones de mayor demanda propias de ese día, comenzando a las 05:00 con el Plan 2, a las 10:00 con el Plan 3, a las 15:30 con el Plan 4, a las 23:30 con el Plan 6 y cerrando a las 23:59 con el Plan 7.

Durante los sábados se ejecuta el plan WD2, que responde a un patrón de movilidad diferente. Este plan inicia a las 05:00 con el Plan 2, cambia al Plan 3 a las 10:30, continúa con el Plan 4 a las 13:30, avanza al Plan 6 a las 22:30 y termina con el Plan 7 a las 23:59. Finalmente, los domingos y días festivos se aplica el plan WD3, el cual se caracteriza por arrancar más tarde en la jornada, iniciando a las 07:00 con el Plan 5, seguido por el Plan 2 a las 10:00, el Plan 4 a las 16:30, el Plan 6 a las 22:00 y concluyendo con el Plan 7 a las 23:00.

La programación descrita refleja una lógica de adaptación horaria que busca responder a las variaciones en la demanda de tránsito. Mientras que en los días hábiles los cambios se concentran en las horas de la mañana, el mediodía y la tarde para atender los picos de movilidad, en los fines de semana y festivos la programación se ajusta a dinámicas diferentes, con arranques más tardíos y periodos de menor carga vehicular.

En conclusión, la aplicación de una misma programación tanto en la zona 1134 como en la zona 1109 asegura que el corredor mantenga una operación homogénea y continua. Esto no solo facilita la coordinación entre intersecciones, sino que también garantiza que el sistema semafórico responda de manera eficiente a los distintos escenarios de tránsito a lo largo de la semana, contribuyendo así a la optimización del flujo vehicular y a la seguridad de los usuarios.

Tabla 8 Asignación día de la semana al plan diario.

ASIGNACIÓN DÍA DE LA SEMANA AL PLAN DIARIO

DÍA DE LA SEMANA	AUTOMÁTICO DE SEMANA
Lunes a Jueves	1
Viernes	4
Sábado	2
Domingo / Festivo	3

WD1		
HORA	MINUTO	PLAN
5	00	2
10	00	3
15	30	4
23	30	6
23	59	7

WD4		
HORA	MINUTO	PLAN
5	00	2
10	00	3
15	30	4
23	30	6
23	59	7

WD2		
HORA	MINUTO	PLAN
5	00	2
10	30	3
13	30	4
22	30	6
23	59	7

WD3		
HORA	MINUTO	PLAN
7	00	5
10	00	4
16	30	2
22	00	6
23	00	7

Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM).

#### **10.1.1.4 POLÍTICAS DE SEGURIDAD VIAL DE LA CIUDAD: LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS SOBRE CONTROL Y PRIORIZACIÓN MODAL.**

Bogotá ha incorporado, dentro de su marco normativo y programático, un conjunto de políticas de seguridad vial con enfoque en la priorización modal y la regulación inteligente del espacio público. El Plan Distrital de Seguridad Vial 2017–2026, amparado por el Decreto Distrital 813 de 2017 y alineado con el Decreto Nacional 1430 de 2022, constituye el eje rector de estas políticas, con la finalidad de implementar acciones concretas en infraestructura, control y legislación para proteger a los usuarios más vulnerables del sistema de movilidad. Este plan no solo estructura los pilares de prevención y reducción de siniestralidad, sino que también apela directamente al enfoque de Visión Cero, cuyo objetivo es eliminar muertes y lesiones graves en las vías.

En el ámbito operativo, se ha priorizado el desarrollo de infraestructuras para peatones y ciclistas, reforzando su seguridad a través de dispositivos físicos como resaltes parabólicos en zonas críticas y cámaras de foto detección para controlar infracciones graves como el exceso de velocidad, el paso en rojo y bloqueos de calzada. Estas cámaras han logrado una reducción significativa del 25 % en siniestros viales con víctimas mortales, lo que equivaldría a salvar aproximadamente 30 vidas al año. Además, dentro de los estándares de diseño vial, la velocidad máxima autorizada en corredores principales se ha mantenido en 50 km/h tras analizar las condiciones de siniestralidad, tiempo de desplazamiento y tránsito

Paralelamente, el Distrito ha implementado medidas para priorizar modos de movilidad sostenibles y reducir el dominio del automóvil privado mediante la construcción de ciclorrutas, la realización del “Día sin carro” y la promoción de la movilidad activa, consolidando el principio de “peatones primero” de la pirámide de movilidad urbana. En ese sentido, la política pública del peatón refuerza la necesidad de proteger especialmente a este grupo desde la infraestructura, reconociendo su vulnerabilidad ante otros actores viales

Finalmente, estas estrategias de priorización modal y control vial se enmarcan en una visión integral de movilidad urbana que busca armonizar la seguridad, la equidad, y la sostenibilidad, alineadas con los principios constitucionales de bienestar general y protección de las personas en el espacio público

#### **10.1.1.5 REGISTRO HISTÓRICO DE SINIESTRALIDAD: IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS Y TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES (TCA).**

Para el presente estudio, el análisis de siniestralidad se fundamenta en los datos históricos recopilados de la zona de influencia del proyecto, provenientes del visor de datos “Datos Abiertos Bogotá” de la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM). Esta base contiene registros oficiales de accidentalidad entre los años 2021 y 2024, los cuales constituyen la referencia principal para el diagnóstico de seguridad vial en el corredor objeto de análisis.

Se entiende por tramo de concentración de accidentes (TCA) aquel segmento vial en el cual, con mayor frecuencia, ocurren siniestros de tránsito. De acuerdo con lo señalado por Yamada y Thill (2004, citados en Bulent et al., 2011), los siniestros tienden a repetirse en determinadas zonas geográficas, lo que resalta la importancia de su registro espacial con el fin de establecer correlaciones entre los puntos de ocurrencia y las causas que los originan. Los puntos de mayor recurrencia se denominan sectores críticos o TCA, y su identificación constituye un insumo esencial para orientar la gestión de la seguridad vial. La metodología aplicada en este estudio comprende varias etapas: en primer lugar, se efectuó la depuración y filtrado de la base de datos de siniestros, restringiéndola a los eventos registrados dentro del área de influencia del proyecto. Posteriormente, se realizó la clasificación de los registros en tres categorías de severidad: accidentes con solo daños materiales, accidentes con heridos y accidentes con muertos.

Con el propósito de homogeneizar los registros y permitir la comparación entre eventos de distinta severidad, se aplicó el método de los siniestros equivalentes, el cual asigna un peso relativo a cada tipo de accidente según su impacto. Este enfoque es utilizado en estudios de seguridad vial a nivel nacional e internacional, y su validez radica en que permite convertir los eventos en una unidad común comparable, integrando la magnitud de las consecuencias. En el caso colombiano, y en concordancia con experiencias de la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV) y metodologías adoptadas por la Secretaría Distrital de Movilidad, se emplearon los factores de equivalencia mostrados en la Tabla 9, donde un accidente con solo daños equivale a 1, con heridos a 2, y con muertos a 13,4. Dichos valores corresponden a ponderaciones derivadas de la importancia relativa de los desenlaces, con base en estudios de carga social y económica de la accidentalidad (ANSV, 2021; PIARC, 2013; HCM, 2016).

Una vez calculados los siniestros equivalentes, se procedió a su análisis en un entorno de sistemas de información geográfica (SIG), donde se representaron espacialmente los registros y se evaluó la recurrencia de los mismos en el corredor. Para la identificación de los TCA se utilizó una técnica geoestadística de densidad de puntos (kernel density), que permite reconocer las zonas de mayor concentración de accidentes ponderados. Esta herramienta es ampliamente empleada en estudios de movilidad y seguridad vial, dado que posibilita visualizar patrones espaciales, priorizar segmentos viales y establecer jerarquías de criticidad.

Tabla 9 Factores de equivalencia de siniestralidad.

Factor de equivalencia	SOLO DAÑOS	CON HERIDOS	CON MUERTOS
	1	2	13.4

Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad (SDM).

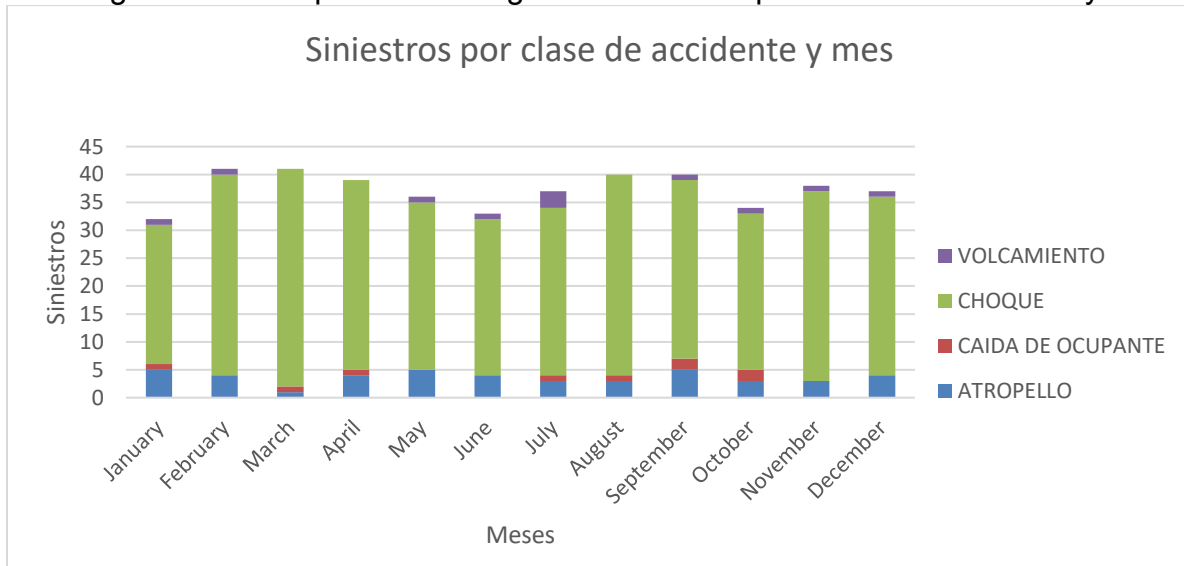
Con el fin de comprender la dinámica de la siniestralidad en la zona de estudio, se organizaron los registros históricos de accidentes en tablas que permiten identificar su ocurrencia según mes, año y día de la semana, desagregados por clase de accidente: atropello, caída de ocupante, choque y volcamiento. Este análisis facilita determinar los patrones más frecuentes y los periodos críticos que requieren atención prioritaria en la planeación de medidas de seguridad vial.

Tabla 10 Siniestros por clase de accidente y mes.

MES	ATROPELLO	CAÍDA DE OCUPANTE	CHOQUE	VOLCAMIENTO	Total, general
January	5	1	25	1	32
February	4		36	1	41
March	1	1	39		41
April	4	1	34		39
May	5		30	1	36
June	4		28	1	33
July	3	1	30	3	37
August	3	1	36		40
September	5	2	32	1	40
October	3	2	28	1	34
November	3		34	1	38
December	4		32	1	37

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-42 Representación gráfica siniestros por clase de accidente y mes.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis mensual refleja que los choques constituyen la categoría dominante, con valores que oscilan entre 25 y 39 casos mensuales, siendo febrero y marzo los meses de mayor ocurrencia (41 siniestros). Los atropellos presentan una participación constante (entre 1 y 5 casos), con picos en mayo y septiembre. Los volcamientos se registran con baja frecuencia, pero con episodios concentrados en julio (3 casos). En general, la tendencia muestra que los siniestros se mantienen relativamente altos durante todo el año, con mayor riesgo en el primer trimestre y en meses de mitad de año.

Los choques constituyen la principal problemática de tránsito en la zona, mientras que los atropellos, aunque menos frecuentes, mantienen una recurrencia significativa que impacta directamente la seguridad de los usuarios vulnerables.

Tabla 11 Siniestros por clase de accidente y año.

AÑO	ATROPELLO	CAÍDA DE OCUPANTE	CHOQUE	VOLCAMIENTO	Total, general
2021	8	1	145	3	157
2022	10	1	141	5	157
2023	11	4	55	2	72
2024	15	3	43	1	62

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-43 Representación gráfica siniestros por clase de accidente y año.



Fuente: Elaboración propia.

La distribución anual evidencia que los años 2021 y 2022 concentran el mayor número de siniestros (157 cada uno), principalmente asociados a choques. A partir de 2023 se observa una reducción marcada en el total de casos (72 en 2023 y 62 en 2024), lo cual puede estar relacionado con variaciones en la movilidad postpandemia o en la dinámica operacional del corredor. Sin embargo, los atropellos aumentan progresivamente, pasando de 8 en 2021 a 15 en 2024, lo cual representa un punto de alerta en términos de seguridad vial peatonal.

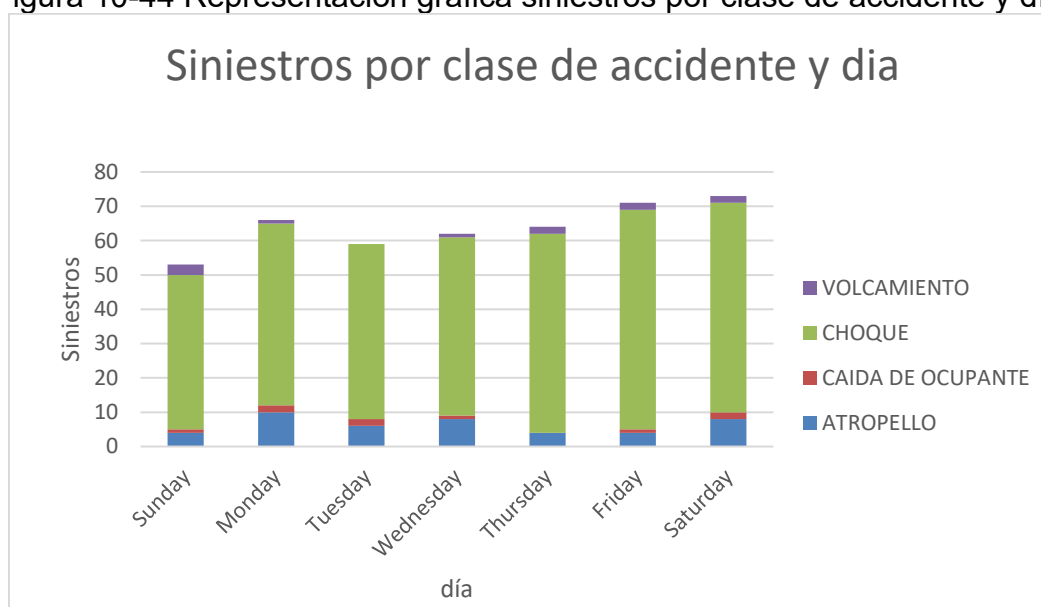
Aunque la siniestralidad general disminuye en los últimos años, la persistencia y crecimiento de atropellos revela un problema crítico de protección a usuarios vulnerables.

Tabla 12 Siniestros por clase de accidente y día.

DIA	ATROPELLO	CAÍDA DE OCUPANTE	CHOQUE	VOLCAMIENTO	Total, general
Sunday	4	1	45	3	53
Monday	10	2	53	1	66
Tuesday	6	2	51		59
Wednesday	8	1	52	1	62
Thursday	4		58	2	64
Friday	4	1	64	2	71
Saturday	8	2	61	2	73

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-44 Representación gráfica siniestros por clase de accidente y día.



Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento semanal muestra que los viernes y sábados concentran el mayor número de siniestros (71 y 73, respectivamente), lo cual está asociado a un incremento de la movilidad recreativa y social, así como al mayor uso de la vía en horarios nocturnos. Los choques son la categoría dominante en estos días, mientras que los atropellos se intensifican los lunes y miércoles (10 y 8 casos, respectivamente).

La concentración de siniestros en fin de semana sugiere un vínculo con factores de comportamiento y exposición horaria, mientras que los atropellos en días laborales reflejan la vulnerabilidad de los peatones en periodos de alta actividad urbana.

Adicionalmente, los registros fueron reorganizados según la gravedad del siniestro en tres categorías: con heridos, con muertos y solo daños. Este análisis permite priorizar la severidad de los impactos y orientar medidas que reduzcan la exposición de los usuarios más vulnerables.

Tabla 13 Siniestros por gravedad y mes

MES	Con Heridos	Con Muertos	Solo Daños	Total, general
January	13	3	16	32
February	13	2	26	41
March	14	1	26	41
April	21		18	39
May	19	1	16	36
June	18	3	12	33
July	22	1	14	37
August	21		19	40
September	23	1	16	40
October	19	2	13	34
November	22	1	15	38
December	16	2	19	37

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-45 Representación gráfica siniestros por gravedad y mes



Fuente: Elaboración propia.

El análisis mensual revela que los siniestros con heridos representan el componente más alto, con picos en abril (21), julio (22) y septiembre (23). Los siniestros con muertos, aunque de menor frecuencia, se distribuyen durante todo el año con un máximo de 3 casos en junio y 2 en varios meses. Los siniestros con solo daños mantienen una proporción estable, entre 12 y 26 casos mensuales.

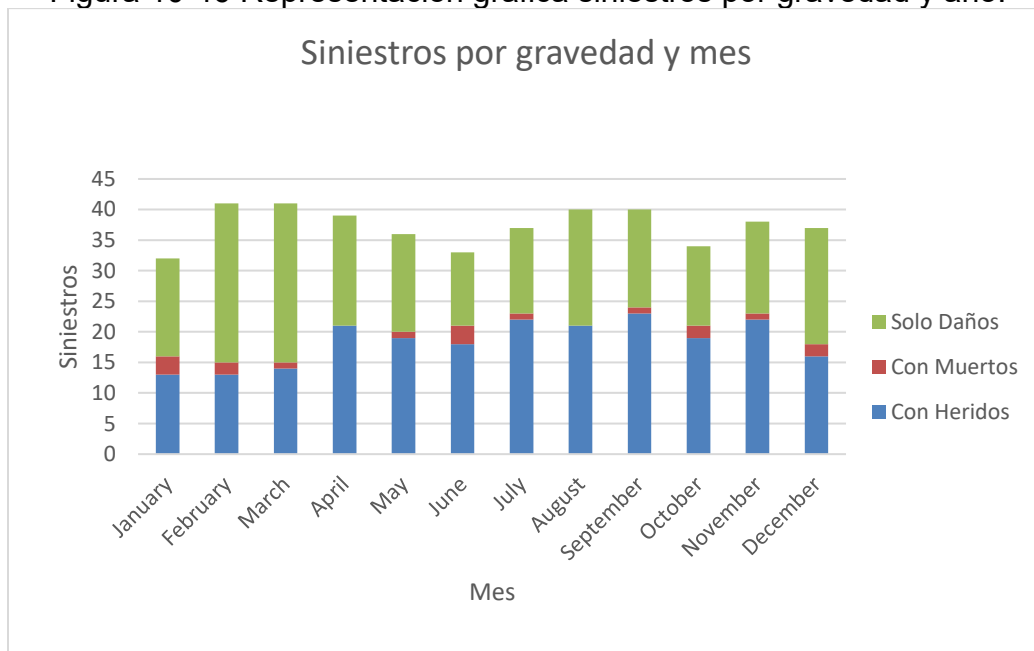
La mayor carga de siniestralidad se relaciona con lesiones personales, mientras que las muertes, aunque menos frecuentes, se mantienen presentes todos los años, evidenciando la necesidad de intervenciones preventivas sostenidas.

Tabla 14 Siniestros por gravedad y año.

AÑO	Con Heridos	Con Muertos	Solo Daños	Total, general
2021	41	3	113	157
2022	64	4	89	157
2023	60	6	6	72
2024	56	4	2	62

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-46 Representación grafica siniestros por gravedad y año.



Fuente: Elaboración propia.

Por año, se observa que 2021 y 2022 registran los mayores valores (157 siniestros cada uno), destacando que la mayoría corresponden a daños materiales (113 y 89 casos, respectivamente). Sin embargo, el número de siniestros con heridos aumenta significativamente en 2022 (64 casos) y se mantiene alto en 2023 y 2024. Por otro lado, los siniestros con muertos se duplican entre 2021 y 2023, alcanzando su máximo (6) en 2023.

Los últimos años reflejan una menor frecuencia de accidentes en total, pero con mayor severidad, lo que implica que la accidentalidad, aunque menos frecuente, tiende a ser más grave.

Tabla 15 Siniestros por gravedad y día.

DIA	Con Heridos	Con Muertos	Solo Daños	Total, general
Sunday	32	2	19	53
Monday	40	1	25	66
Tuesday	26	2	31	59
Wednesday	28	4	30	62
Thursday	29	2	33	64
Friday	34	1	36	71
Saturday	32	5	36	73

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-47 Representación gráfica siniestros por gravedad y día.

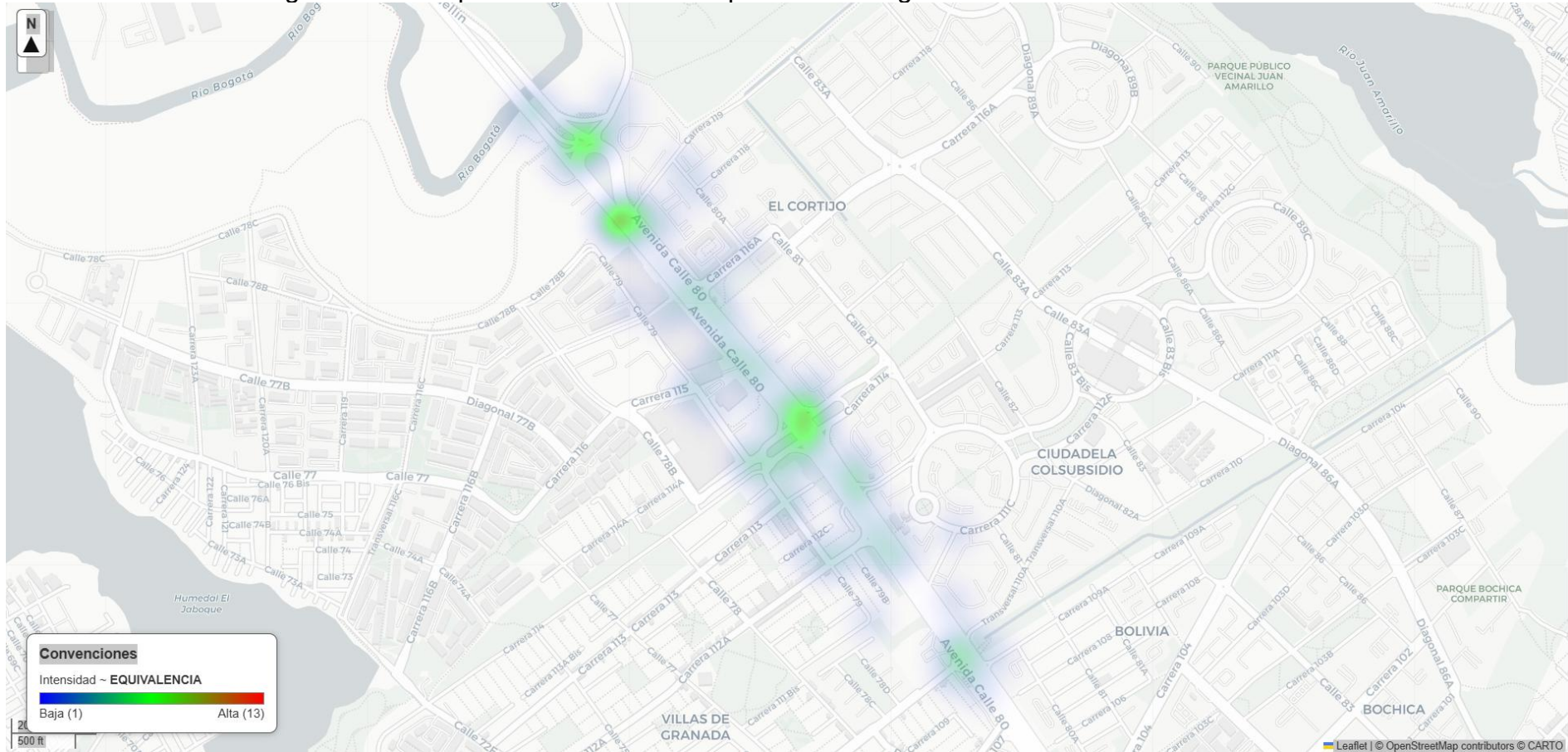


Fuente: Elaboración propia.

El análisis semanal confirma que el sábado es el día más crítico (73 siniestros), seguido del viernes (71). En estos días se presentan los mayores registros de muertes (5 en sábado y 4 en miércoles), lo que refleja condiciones de mayor riesgo en fines de semana y mitad de semana. Los siniestros con heridos son frecuentes los lunes y viernes (40 y 34 casos).

Conclusión parcial: los fines de semana constituyen periodos de mayor riesgo tanto en frecuencia como en gravedad, concentrando un número relevante de muertes y lesionados.

Figura 10-48 Mapa de calor obtenido a partir de los registros de siniestralidad.



Fuente: Elaboración propia a partir de py creado.

El mapa de calor presentado corresponde a la distribución espacial de los siniestros viales a lo largo del corredor de la Avenida Calle 80 en Bogotá, entre el río Bogotá y la zona de influencia de los sectores de Colsubsidio y Bolivia. La representación utiliza la intensidad de color para señalar la equivalencia de siniestros, donde los tonos verdes más intensos reflejan áreas con mayor concentración (puntos críticos) y los tonos azulados muestran zonas de menor ocurrencia.

El análisis permite identificar varios tramos de concentración de accidentes (TCA). En primer lugar, se observa un foco de alta intensidad en el acceso al puente sobre el río Bogotá, punto de entrada y salida de la ciudad. Este comportamiento responde al carácter de transición urbano regional de la vía, que concentra un alto flujo vehicular, especialmente de carga, y cuya geometría compleja favorece la ocurrencia de siniestros. Un segundo punto crítico se ubica en la intersección de la Carrera 119 con la Avenida Calle 80. Este nodo, semaforizado y de alta demanda, articula flujos residenciales, industriales y de transporte público, además de una significativa presencia de peatones. La combinación de estos factores explica la elevada recurrencia de accidentes en este sector.

De igual manera, se identifica una alta concentración de siniestros en la zona de la Carrera 114, que conecta con el centro comercial Unicentro de Occidente. Allí convergen flujos vehiculares, transporte público y una notable afluencia de peatones y ciclistas, lo cual incrementa la vulnerabilidad en los cruces y refuerza la condición de riesgo.

Por último, en el tramo de la Carrera 111–112 se aprecia una concentración media–alta de siniestros. Aunque menor que en los puntos anteriores, esta zona representa un sector de transición con entradas y salidas hacia la vía principal, por lo que mantiene un nivel significativo de riesgo vial.

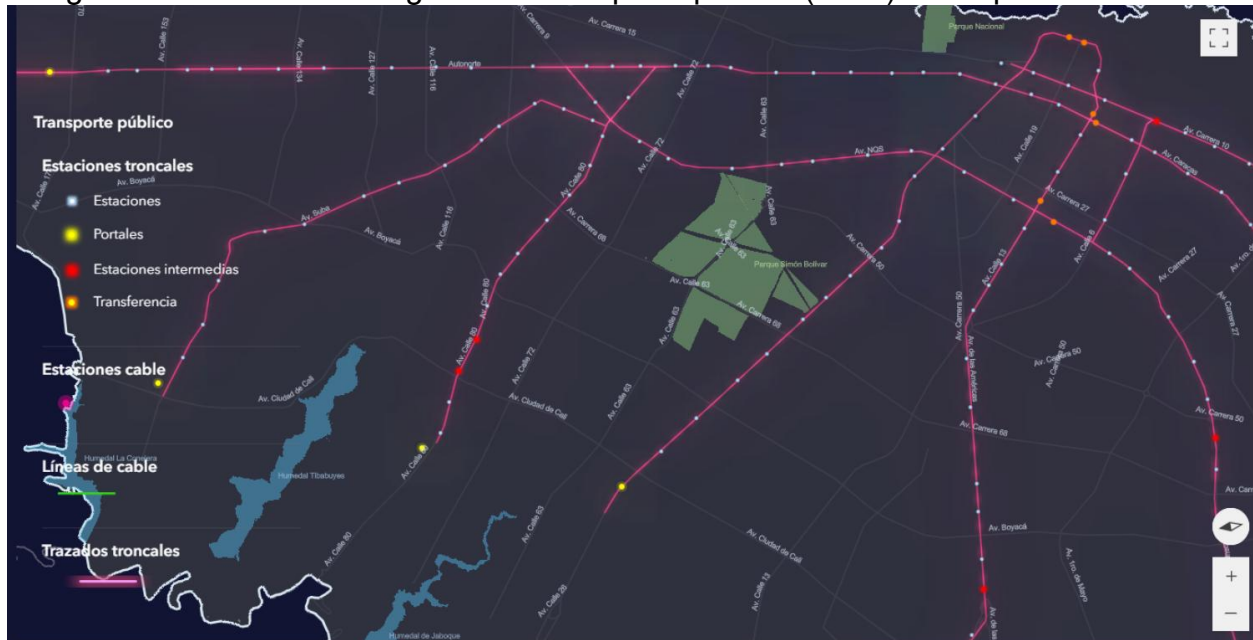
En términos generales, el corredor evidencia un patrón lineal de siniestralidad en el que los puntos de mayor riesgo coinciden con las intersecciones semaforizadas y accesos principales. Este comportamiento coincide con lo señalado en la literatura, donde se indica que los siniestros tienden a repetirse en nodos de alta interacción modal y de flujos de tráfico diversos.

En conclusión, los puntos críticos de mayor concentración se localizan en el acceso al puente de ingreso al corredor, la intersección de la Carrera 119 y la conexión con la Carrera 114, sectores que agrupan condiciones de alta demanda vehicular y peatonal. Estos hallazgos resaltan la necesidad de implementar medidas de control semafórico inteligente, una mejor gestión de accesos, fortalecimiento de cruces peatonales y priorización del transporte público como estrategias clave para la reducción de la siniestralidad en el corredor.

### 10.1.1.6 CAPA DE RUTAS DE TRANSPORTE PÚBLICO: IDENTIFICACIÓN DE CORREDORES BRT O RUTAS ALIMENTADORAS EN INTERACCIÓN CON EL SISTEMA SEMAFÓRICO.

El análisis de la capa de transporte público es fundamental para comprender la interacción del sistema de movilidad masiva y zonal con la red semafórica del área de estudio. La presencia de corredores troncales tipo BRT (TransMilenio), patios de operación, rutas zonales del SITP, rutas intermunicipales y zonas amarillas, permite identificar la magnitud de la demanda de transporte en la zona y la presión ejercida sobre la infraestructura vial y semafórica. La integración de estos elementos ofrece un panorama amplio de los puntos de mayor congestión, la superposición de rutas, la cercanía a paraderos estratégicos y la conectividad intermunicipal, todos ellos aspectos que condicionan la programación semafórica y la seguridad vial.

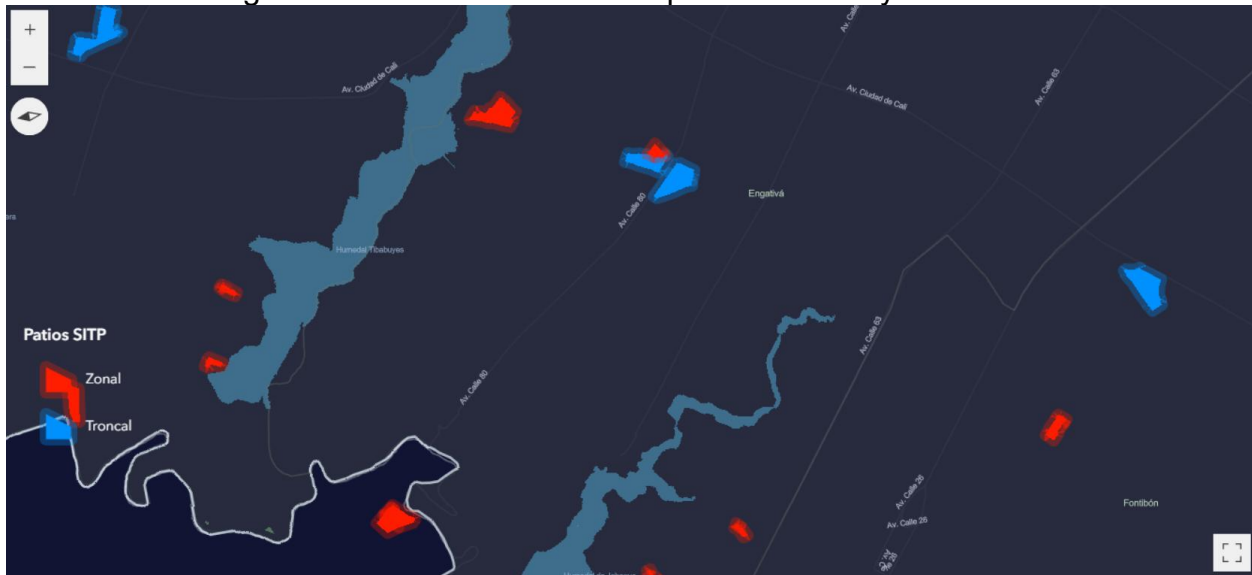
Figura 10-49 Sistema integrado de transporte público (SITP) - Componente troncal.



Fuente: Libro Digital de Mapas.

El primer mapa evidencia la red troncal de Transmilenio en el sector de influencia, destacando portales, estaciones intermedias y de transferencia. La Av. Calle 80 es uno de los principales corredores troncales, con estaciones distribuidas de manera estratégica para captar la demanda de pasajeros provenientes del occidente de la ciudad. La interacción de estas estaciones con el sistema semafórico es crítica, dado que los cruces peatonales asociados a los accesos generan necesidades adicionales de fases semafóricas para garantizar seguridad y accesibilidad. La concentración de estaciones hacia el oriente incrementa la presión sobre los cruces vehiculares, lo que refuerza la importancia de una coordinación semafórica eficiente.

Figura 10-50 Infraestructura de patios zonales y troncales.



Fuente: Libro Digital de Mapas.

El segundo mapa presenta la localización de los patios del SITP, diferenciando entre patios troncales y zonales. Estos elementos constituyen nodos logísticos esenciales para la operación del sistema, ya que desde ellos se despachan y regulan los buses que circulan en el corredor. La presencia de patios cercanos a la zona de análisis refleja un aumento en el número de buses que ingresan y salen en horarios de punta, lo cual puede generar sobrecargas puntuales en los semáforos cercanos.

Figura 10-51 Sistema integrado de transporte público - Componente zonal.



Fuente: Libro Digital de Mapas.

El tercer mapa muestra la densidad de rutas del SITP zonal, evidenciando corredores con alta superposición de servicios, principalmente en el occidente y suroriente del área. La Av. Calle 80 y la Av. Ciudad de Cali se identifican como ejes de mayor densidad, lo que sugiere una fuerte interacción entre buses zonales y la semaforización. Esta alta concentración de rutas genera mayores tiempos de cruce en intersecciones, requiriendo estrategias de priorización semafórica, particularmente en horarios de máxima demanda.

Figura 10-52 Paraderos -componente zonal.



Fuente: Libro Digital de Mapas.

El cuarto mapa presenta la distribución de los paraderos zonales, mostrando una cobertura extensa y homogénea en la zona occidental. La alta concentración de paraderos indica una elevada demanda de ascensos y descensos de pasajeros, lo cual impacta directamente la operación semafórica debido a la necesidad de mayor control peatonal en los cruces cercanos. La dispersión de paraderos también genera variabilidad en los flujos de buses, aumentando la complejidad de la gestión semafórica.

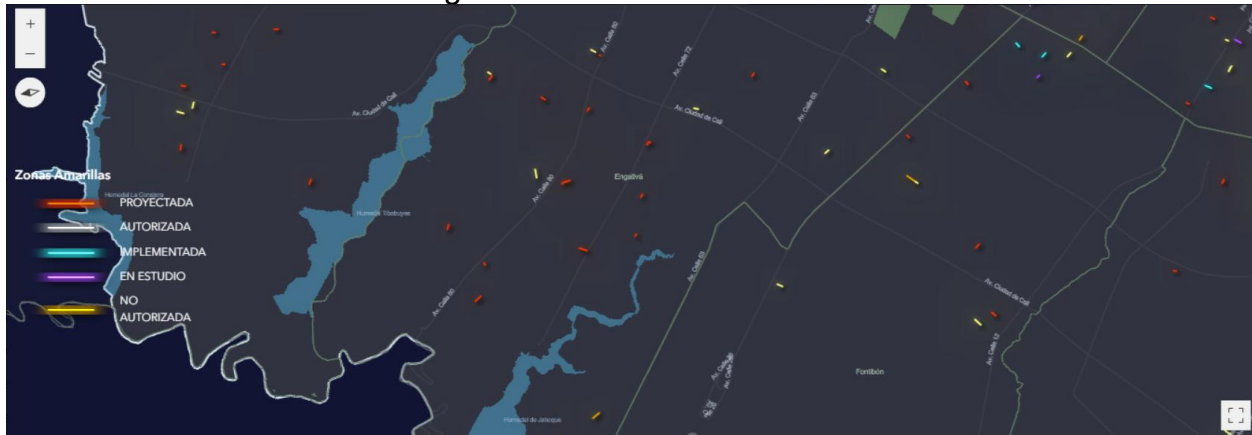
Figura 10-53 Transporte intermunicipal - Rutas y paraderos



Fuente: Libro Digital de Mapas.

El quinto mapa refleja la presencia de rutas intermunicipales que conectan municipios aledaños con la ciudad, convergiendo en corredores como la Calle 80. Estos servicios de larga y corta distancia comparten infraestructura con el SITP y Transmilenio, lo cual intensifica los conflictos operativos en las intersecciones semaforizadas. La coexistencia de transporte urbano e intermunicipal subraya la necesidad de planes semafóricos adaptativos que regulen el flujo mixto, priorizando la seguridad y la eficiencia.

Figura 10-54 Zonas amarillas.



Fuente: Libro Digital de Mapas.

El último mapa muestra la distribución de zonas amarillas, incluyendo aquellas proyectadas, implementadas, autorizadas y en estudio. Estas zonas corresponden a áreas de regulación especial de estacionamiento y operación de taxis, lo que impacta directamente la dinámica de carga y descarga en los corredores. La presencia de estas zonas cerca de los nodos semaforizados puede generar detenciones adicionales y congestión localizada, requiriendo ajustes en los ciclos semafóricos para mitigar su impacto.

El conjunto de mapas evidencia la complejidad del sistema de transporte público en la zona de análisis, donde confluyen corredores troncales de alta demanda, rutas zonales de densidad variable, servicios intermunicipales y áreas de operación regulada. La interacción de todos estos componentes con el sistema semafórico exige un diseño y coordinación robustos, capaces de adaptarse a la dinámica multimodal del sector. De esta manera, se garantiza no solo la eficiencia operativa del transporte público, sino también la seguridad vial para todos los usuarios.

### **10.1.1.7 CAPA DE RED VIAL: JERARQUIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS.**

La caracterización de la red vial constituye un insumo esencial dentro del diagnóstico de la infraestructura de movilidad del corredor de estudio, ya que permite comprender el nivel de jerarquía de cada vía, su función dentro de la estructura urbana y la relación que guarda con el sistema semafórico. La Secretaría Distrital de Movilidad, a través de la Subdirección de Planes de Manejo de Tránsito, dispone de la cartografía oficial que define la malla vial integral, en la cual se clasifican las vías de la ciudad en arteriales, intermedias, locales, peatonales y rurales, además de aquellas proyectadas o aún sin definir.

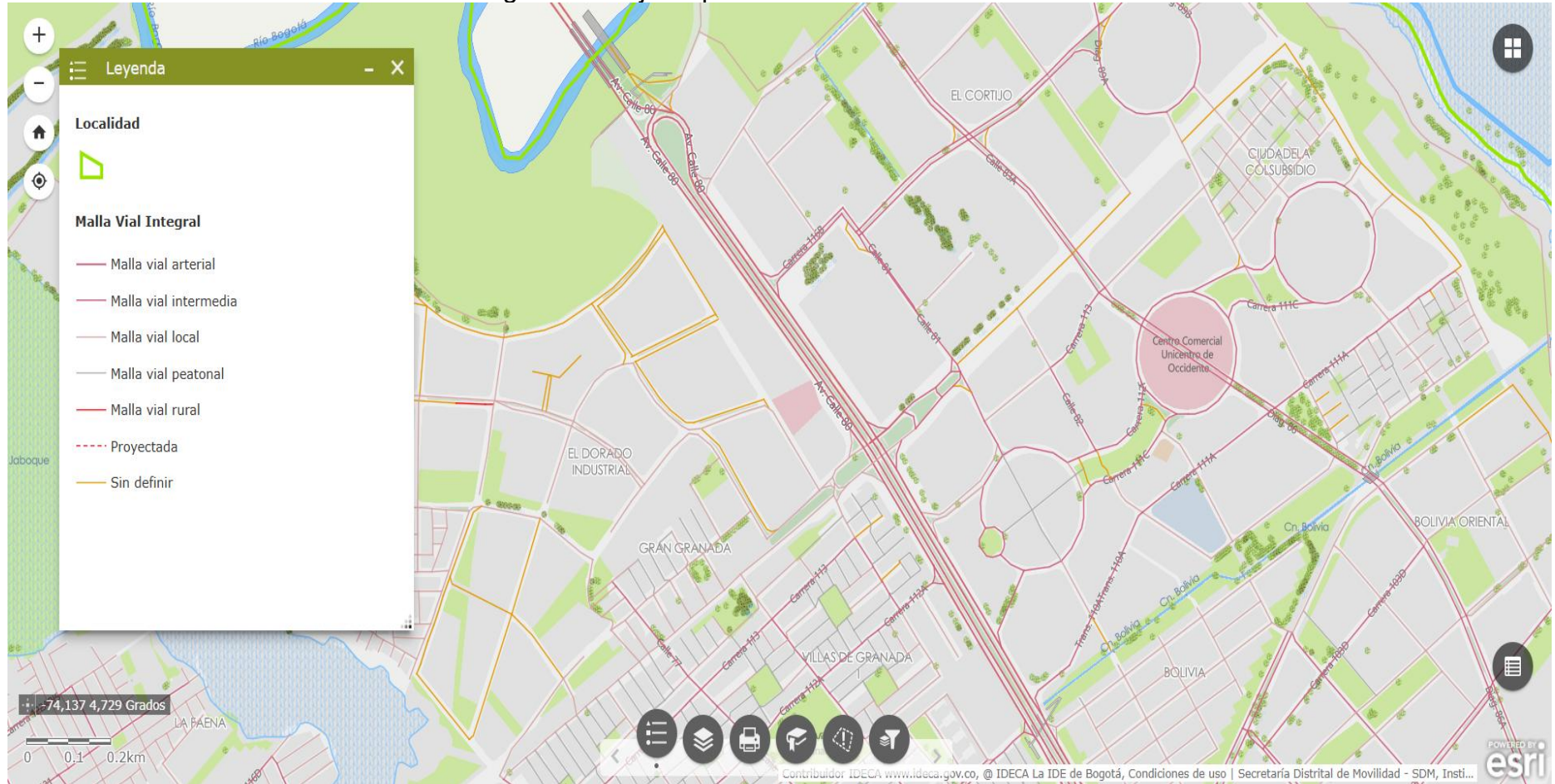
En la zona de influencia del corredor de la Calle 80 entre las carreras 112 y 120, se observa una clara predominancia de la malla vial arterial, representada por la Avenida Calle 80 (AC 80), que actúa como uno de los principales ejes de conexión oriente–occidente de Bogotá y articula tanto el tránsito local como el intermunicipal. Esta vía concentra gran parte de la demanda vehicular y soporta flujos mixtos de transporte público, transporte de carga y vehículos particulares, lo que refuerza su importancia estratégica dentro de la jerarquización vial.

Alrededor de este corredor principal, se identifican vías intermedias y locales que cumplen la función de distribuir el tránsito hacia zonas residenciales, industriales y comerciales, tales como los sectores de Gran Granada, El Cortijo y Bolivia. Estas vías aportan al flujo de ingreso y salida de vehículos que terminan confluyendo en la Calle 80, lo que explica la necesidad de una programación semafórica adecuada en las intersecciones analizadas. Asimismo, la presencia de malla vial peatonal asociada a cruces regulados y accesos a equipamientos (como el centro comercial Unicentro de Occidente) refleja la importancia de garantizar condiciones seguras para los usuarios vulnerables.

Por otro lado, el mapa también evidencia la existencia de tramos proyectados que en un futuro podrían ampliar la conectividad de la zona, así como segmentos sin definir, lo cual pone de manifiesto la necesidad de procesos de planificación vial a mediano y largo plazo. Estos elementos resultan relevantes en la medida en que cualquier modificación en la red vial tendrá un impacto directo en la demanda vehicular y, en consecuencia, en el desempeño de los semáforos del sector.

En síntesis, la capa de red vial muestra un corredor con fuerte predominancia arterial y un entorno compuesto por vías locales e intermedias que confluyen hacia él, lo que convierte a la Calle 80 en un punto neurálgico de la movilidad urbana y regional. Este contexto geométrico y jerárquico refuerza la necesidad de contar con una gestión semafórica inteligente y coordinada que permita responder a los retos de congestión, seguridad vial y conectividad que presenta la zona de estudio.

Figura 10-55 jerarquización de la red vial.



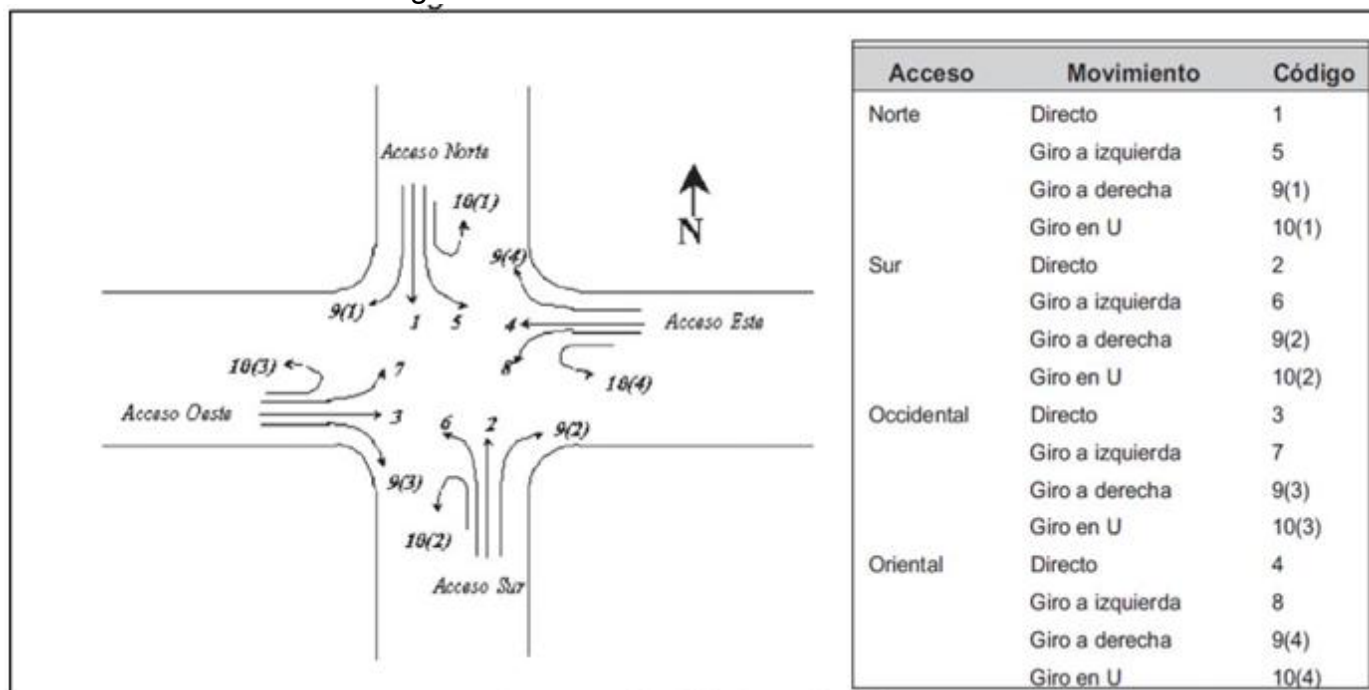
Fuente: Subdirección de planes de manejo de tránsito SDM.

### 10.1.1.8 AFOROS VEHICULARES: VOLÚMENES DESAGREGADOS POR TIPO DE VEHÍCULO Y HORARIO.

La metodología implementada para la recopilación de información primaria se basó en el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005), normativa de referencia obligatoria en estudios de tránsito urbano. Este procedimiento establece que los conteos deben realizarse en intervalos de 15 minutos, permitiendo analizar tanto la variabilidad horaria como la composición modal del flujo vehicular en los diferentes periodos del día. La discriminación se efectuó considerando la tipología vehicular y la direccionalidad de los movimientos, lo cual constituye un insumo esencial para estimar la capacidad, la saturación y los factores de máxima demanda a lo largo del corredor de estudio.

La información recolectada fue organizada en hojas de cálculo y bases de datos especializadas, siguiendo la nomenclatura definida por la Resolución RILSA (Reglamento de Intersecciones y Señalización Semafórica en Áreas Urbanas), que estandariza la codificación de movimientos y maniobras en intersecciones. Este esquema normativo garantiza que los resultados sean comparables con estudios previos y que las categorías de análisis respondan a criterios técnicos homologados. El objetivo principal de este procesamiento consistió en determinar los volúmenes totales y desagregados por tipo de vehículo, la composición vehicular porcentual en cada tramo y horario, la identificación de los volúmenes horarios pico en la mañana y tarde.




Figura 10-56. Codificación de movimientos



Manual de Planeación y Diseño para la administración del tránsito y transporte

La captura de información se realizó mediante cámaras IP o CCTV de 2 megapíxeles con visión nocturna, capaces de operar de manera autónoma por un periodo de 72 horas gracias a sistemas de respaldo en batería y almacenamiento. Los equipos fueron instalados sobre mobiliario urbano o estructuras rígidas, con el fin de evitar vibraciones u oscilaciones en la escena grabada y asegurar registros estables y confiables. Para garantizar la calidad del registro se establecieron condiciones de instalación que incluyeron una altura promedio de montaje de 4 metros sobre el nivel de calzada, un ángulo vertical máximo de 35 grados, un ángulo horizontal máximo también de 35 grados y un campo de visión libre de obstáculos que permitiera cubrir en su totalidad los carriles de circulación y registrar con precisión las trayectorias de los vehículos. Estos criterios fueron sintetizados en una tabla de requerimientos ideales de instalación, que sirvió de referencia para los equipos desplegados en campo.

Tabla 16. Requerimientos ideales de instalación

Requerimientos ideales de instalación	
	
<p>Angulo vertical máximo</p>	<p>Angulo horizontal máximo</p>
	
<p>Visual de las cámaras de manera posterior</p>	

La digitalización de los registros se efectuó mediante un software de conteo automático basado en técnicas de Deep Learning, que opera en módulos de detección, clasificación, seguimiento de trayectorias y exportación de datos. En primera instancia, el sistema detecta objetos en movimiento en la escena, posteriormente realiza una clasificación inicial de acuerdo con cinco categorías básicas (automóviles, buses, camiones, motocicletas y bicicletas), continúa con el seguimiento de trayectorias para reducir errores de duplicación y mejorar la precisión en intersecciones complejas y finalmente exporta los resultados en tablas desagregadas en intervalos de 15 minutos para su análisis posterior. Este proceso fue supervisado por personal técnico especializado, responsable de validar los resultados y corregir eventuales inconsistencias detectadas en el proceso de reconocimiento automático.

Figura 10-57. Proceso Deep Learning



Figura 10-58. Ejemplo de funcionamiento de Software



Fuente: Software de video conteo.

Cabe aclarar que, aunque el software permitió una clasificación preliminar en cinco categorías, el presente estudio requirió un mayor nivel de desagregación modal para dar

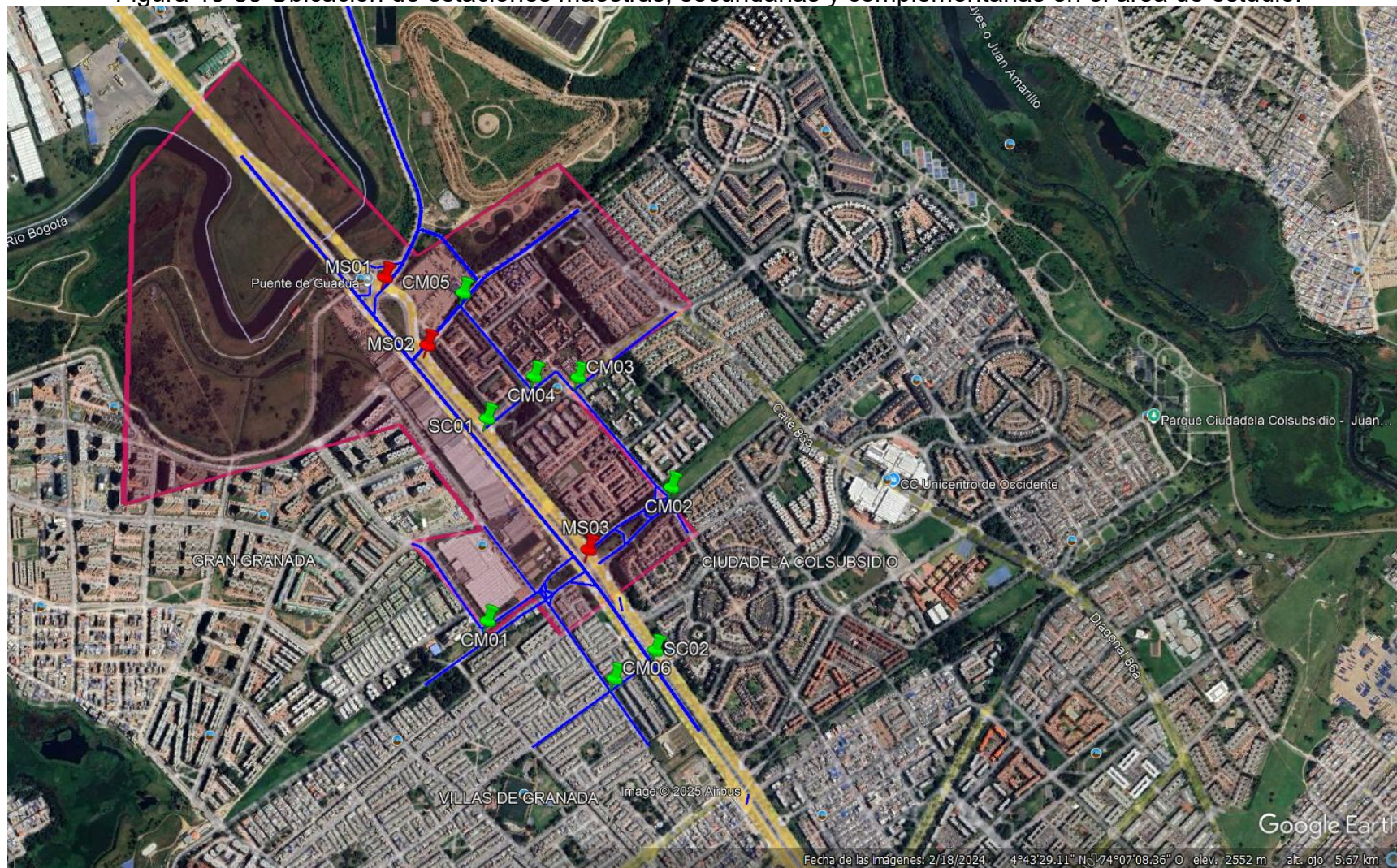
cuenta de la complejidad del corredor. En consecuencia, se llevó a cabo una clasificación manual complementaria aplicada sobre los registros automáticos. Esta segregación se realizó con base en la nomenclatura adoptada por la normativa RILSA y en prácticas internacionales de aforo, permitiendo ampliar la categorización hacia grupos específicos como buses SITP, buses intermunicipales, transporte especial, duales y alimentadores, así como una diferenciación más detallada de los vehículos de carga de acuerdo con su número de ejes (C2P, C2G, C3, C4, 2S1, 2S2, 2S3, 3S1, 3S2 y 3S3). Adicionalmente se incluyó la contabilización independiente de motocicletas y bicicletas, lo cual permitió reflejar con mayor precisión la diversidad de actores en la vía. Este procedimiento híbrido, que combinó conteo automático con clasificación manual, aseguró que la base de datos resultante fuese no solo confiable sino también lo suficientemente detallada para representar la realidad modal del corredor en estudio.

El propósito de esta metodología integral es garantizar la fiabilidad de la información primaria para la caracterización del tránsito y, con ello, aportar datos consistentes al diagnóstico y modelación de la movilidad en el área de influencia del proyecto. Los resultados obtenidos permiten determinar parámetros fundamentales como el volumen total de tránsito en hora pico y hora valle, la participación relativa de transporte público, carga, motocicletas y movilidad activa, los niveles de saturación en las intersecciones y la priorización modal en concordancia con las políticas de movilidad sostenible. En síntesis, la combinación de tecnología de conteo automatizado, validación técnica manual y clasificación normativa estandarizada constituye un enfoque robusto y metodológicamente válido, que asegura la calidad de los datos recolectados y la pertinencia de los análisis derivados para la planificación y gestión del tránsito en el corredor evaluado.

En continuidad con la metodología descrita para la recopilación de información de volúmenes vehiculares, se definió un esquema de aforos que incluyó tres estaciones maestras, dos estaciones secundarias y seis estaciones complementarias, distribuidas estratégicamente a lo largo del corredor de estudio. Estas estaciones se seleccionaron en función de su representatividad en la dinámica vehicular del sector, permitiendo cubrir tanto la Avenida Calle 80 como sus intersecciones de conexión con la malla vial local y complementaria.

La siguiente figura presenta la ubicación geográfica de cada uno de los puntos de conteo definidos en el estudio:

Figura 10-59 Ubicación de estaciones maestras, secundarias y complementarias en el área de estudio.



Fuente: Elaboración propia-Fondo de Google Earth.

En la Tabla 17 se presentan las estaciones definidas para el proceso de aforos vehiculares, organizadas según su clasificación en maestras, secundarias y complementarias, junto con la localización específica de cada una de ellas. Esta estructuración permite identificar claramente la jerarquía de los puntos de observación y su función dentro de la metodología adoptada para el estudio.

Tabla 17 Intersecciones aforadas.

ID	Dirección	Clasificación
MS01	Avenida Calle 80 x Carrera 120	Estación Maestra
MS02	Avenida Calle 80 x Carrera 119	Estación Maestra
MS03	Avenida Calle 80 x Carrera 114	Estación Maestra
SC01	Avenida Calle 80 x Carrera 116B	Estación Secundaria
SC02	Avenida Calle 80 x Carrera 112A	Estación Secundaria
CM01	Carrera 114 x Calle 78B	Estación Complementaria
CM02	Carrera 114 x Calle 81	Estación Complementaria
CM03	Carrera 116A x Calle 81	Estación Complementaria
CM04	Carrera 116B x Calle 80A	Estación Complementaria
CM05	Carrera 119 x Calle 80A	Estación Complementaria
CM06	Carrera 112A x Calle 79	Estación Complementaria

Fuente: Elaboración propia.

La metodología implementada consistió en iniciar la captura de información en las estaciones maestras, las cuales se monitorearon durante dos jornadas: un día típico (martes 17 de septiembre de 2024) y un día atípico (sábado 14 de septiembre de 2024), con registros de 24 horas continuas. A partir de estos aforos iniciales se identificaron los periodos de mayor demanda vehicular (HMD), lo que permitió seleccionar el día con mayor volumen como referencia para el conteo en las estaciones secundarias. En estas últimas, los aforos se realizaron en un único día, correspondiente al de mayor flujo registrado en las maestras, abarcando 12 horas de observación segmentadas en dos franjas de 6 horas: una en la mañana y otra en la tarde. Para definir dichas franjas se consideró un intervalo de 2 horas y 30 minutos antes y después del periodo de máxima demanda identificado en la estación maestra.

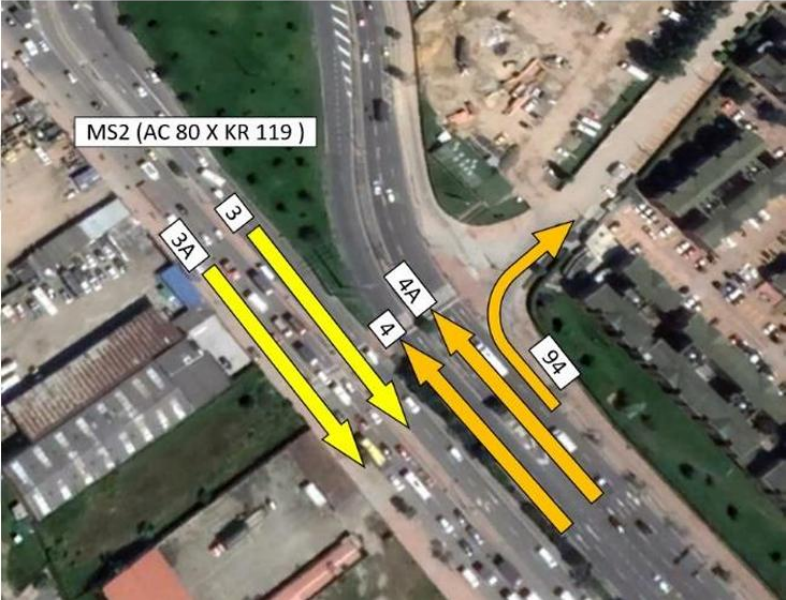

Finalmente, se procedió con la toma de información en las estaciones complementarias, que se desarrolló durante 6 horas de observación, repartidas en 3 horas en la mañana y 3 horas en la tarde. La definición de estos intervalos siguió la lógica de centrarse en el periodo de máxima demanda de la estación maestra de referencia. En este caso, se tomó una hora antes y una hora después del periodo crítico, ajustando el conteo para no exceder la franja horaria determinada. Por ejemplo, si la HMD se establecía en la franja de 11:00 a 12:00 horas, el conteo se extendía tres horas hacia atrás desde las 12:00, cubriendo de 9:00 a 12:00 horas.

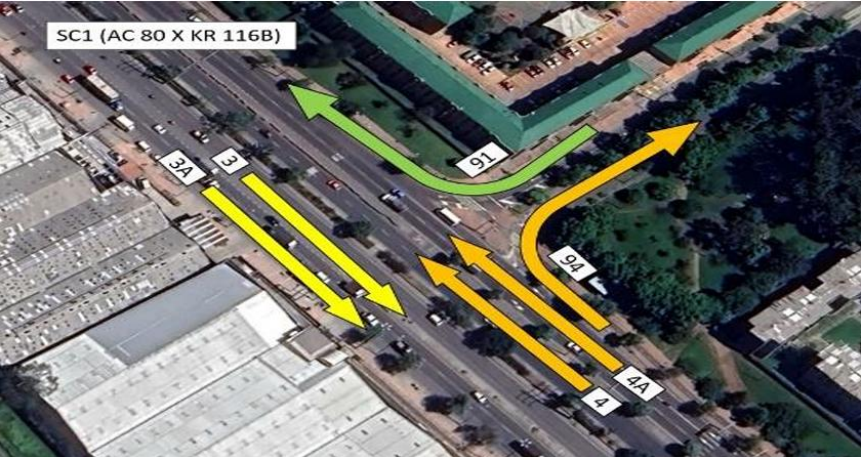

Este procedimiento escalonado permitió estructurar una base de datos robusta y representativa, optimizando los recursos de observación y asegurando la captura de los periodos de mayor relevancia para el análisis del tránsito.

Con el fin de estructurar de manera clara y ordenada el proceso de conteo vehicular, se definieron los movimientos específicos a aforar en cada una de las intersecciones incluidas en el estudio. Estos movimientos se establecieron teniendo en cuenta la geometría de las intersecciones, los giros permitidos y la direccionalidad del flujo vehicular, siguiendo la codificación y nomenclatura estipulada en la normativa RILSA y en el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte (Alcaldía de Bogotá, 2005). La tabla siguiente presenta el listado de movimientos que serán objeto de aforo, constituyendo la base para la posterior caracterización de volúmenes y análisis de demanda en el corredor.

Tabla 18. Estaciones toma de información modos motorizados

ID	DIRECCIÓN	PERIODO	MOVIMIENTOS
MS01	AC 80 X KR 120 (CONEXIÓN LISBOA)	24 HORAS	

ID	DIRECCIÓN	PERIODO	MOVIMIENTOS
MS02	AC 80 X KR 119	24 HORAS	 <p>MS2 (AC 80 X KR 119)</p>
MS03	AC 80 X KR 114	24 HORAS	 <p>MS3 (AC 80 X KR 114)</p>

ID	DIRECCIÓN	PERIODO	MOVIMIENTOS
SC01	AC 80 X KR 116B	12 HORAS	 <p>SC1 (AC 80 X KR 116B)</p>
SC02	AC 80 X KR 112A	12 HORAS	 <p>SC2 (AC 80 X KR 112A)</p>

ID	DIRECCIÓN	PERIODO	MOVIMIENTOS
CM01	Carrera 114 x Calle 78B	06 HORAS	
CM02	Carrera 114 x Calle 81	06 HORAS	

ID	DIRECCIÓN	PERIODO	MOVIMIENTOS
CM03	Carrera 116A x Calle 81	06 HORAS	
CM04	Carrera 116B x Calle 80A	06 HORAS	



### 10.1.1.8.1 PRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN OBTENIDA MODOS MOTORIZADOS

A continuación, se presenta el resumen de la toma de información realizada en las diferentes estaciones de aforo, consolidando los volúmenes vehiculares registrados en cada punto de observación. Es importante señalar que las bases de datos detalladas, con los conteos desagregados en intervalos de 15 minutos, se encuentran disponibles en los anexos de este documento, con el fin de respaldar el análisis y permitir su verificación o utilización en estudios posteriores.

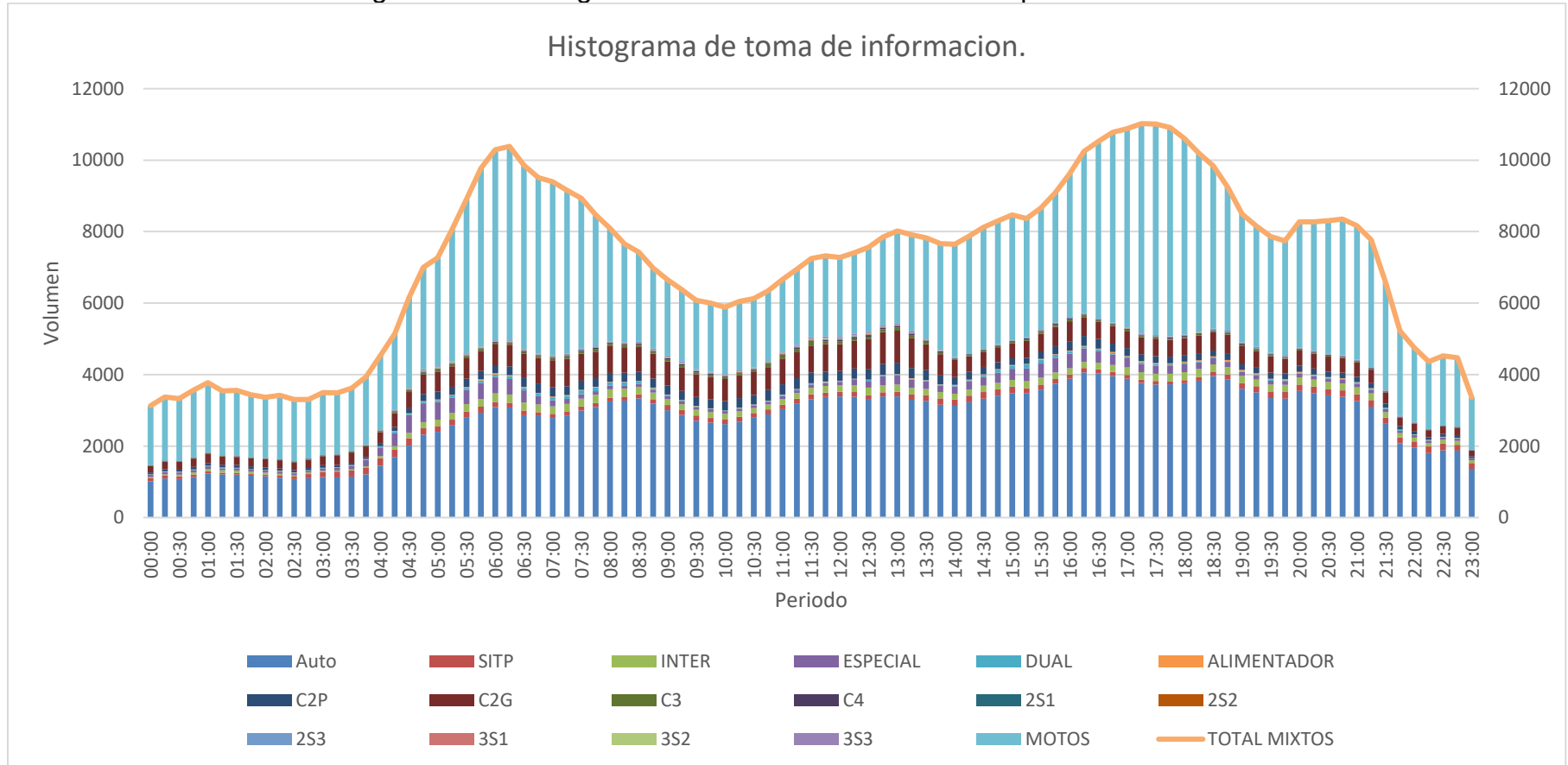
- Avenida Calle 80 x Carrera 120: La primera intersección analizada corresponde a la Avenida Calle 80 con Carrera 120, punto de acceso estratégico al corredor vial y de alta relevancia dentro del área de estudio. En este apartado se presentan los resúmenes de volúmenes vehiculares registrados en dicha intersección.

Tabla 19 Resumen de toma de información día típico MS01.

TIPO		Auto	SITP	INTER	ESPECIAL	DUAL	ALIMENTADOR	C2P	C2G	C3	C4	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	MOTOS	TOTAL, MIXTOS	TOTAL, EQUIVALENTES
VOLUMEN TOTAL		47,653	1,210	3,885	2,905	344	112	9,702	6,383	760	31	14	403	38	4	379	547	72,432	146,802	146,434
		32%	1%	3%	2%	0%	0%	7%	4%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	49%	100%
VHMD INTERSECCIÓN AM		2,612	78	251	309	34	8	477	344	28	13	-	10	3	-	20	20	6,105	10,312	9,312
06:15	07:15:00	25%	1%	2%	3%	0%	0%	5%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	59%	100%	100%
VHMD INTERSECCIÓN PM		2,336	54	174	231	17	8	465	289	45	2	1	23	4	1	27	23	4,272	7,972	7,640
16:15	17:15:00	29%	1%	2%	3%	0%	0%	6%	4%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	54%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-60 Histograma de toma de información día típico MS01.



Fuente: Elaboración propia.

En la intersección MS01 (Avenida Calle 80 x Carrera 120) se registró un volumen total de 146.802 vehículos mixtos a lo largo del periodo de observación, cifra que constituye el consolidado de todos los modos vehiculares identificados. Dentro de esta composición, las motocicletas alcanzaron los 72.432 registros, lo que representa un 49% del total, confirmando su papel protagónico en la dinámica de movilidad del sector.

Los automóviles ocuparon la segunda posición con 47.653 unidades (32%), seguidos por los vehículos de carga liviana C2P (9.702, 7%) y C2G (6.383, 4%). Los buses intermunicipales e interurbanos (INTER) aportaron 3.885 registros (3%), mientras que el transporte especial registró 2.905 (2%). Los demás modos (SITP, buses duales, alimentadores, camiones pesados C3 y C4, y configuraciones de remolques 2S y 3S) aportaron en conjunto un porcentaje marginal (igual o inferior al 1% cada uno), pero que no deja de tener relevancia operativa al incidir en la capacidad de la intersección.

En cuanto a la hora de máxima demanda (HMD), se evidenciaron dos picos importantes. En la mañana, entre las 06:15 y las 07:15 horas, se contabilizaron 6.105 vehículos mixtos, equivalentes a 10.312 vehículos equivalentes. En esta franja predominaron las motocicletas con un 59% y los automóviles con un 25%, mientras que la participación del transporte público y de carga fue reducida. Por su parte, en la tarde, entre las 16:15 y las 17:15 horas, se registraron 4.272 vehículos mixtos, con un total equivalente de 7.972 vehículos equivalentes. En este caso, las motocicletas representaron el 54% y los automóviles el 29%, manteniendo su peso sobre la composición del tránsito.

Este análisis evidencia tres aspectos fundamentales. Primero, la altísima participación de motocicletas, que incluso supera la de los automóviles y plantea retos significativos en materia de seguridad vial y ordenamiento de flujos. Segundo, la existencia de dos picos claros de congestión, siendo más fuerte el de la mañana respecto al de la tarde. Y tercero, la incidencia de vehículos pesados y transporte intermunicipal, que aunque minoritarios en proporción, generan un impacto considerable en la operación semafórica debido a sus mayores tiempos de cruce y la ocupación de espacio vial que demandan.

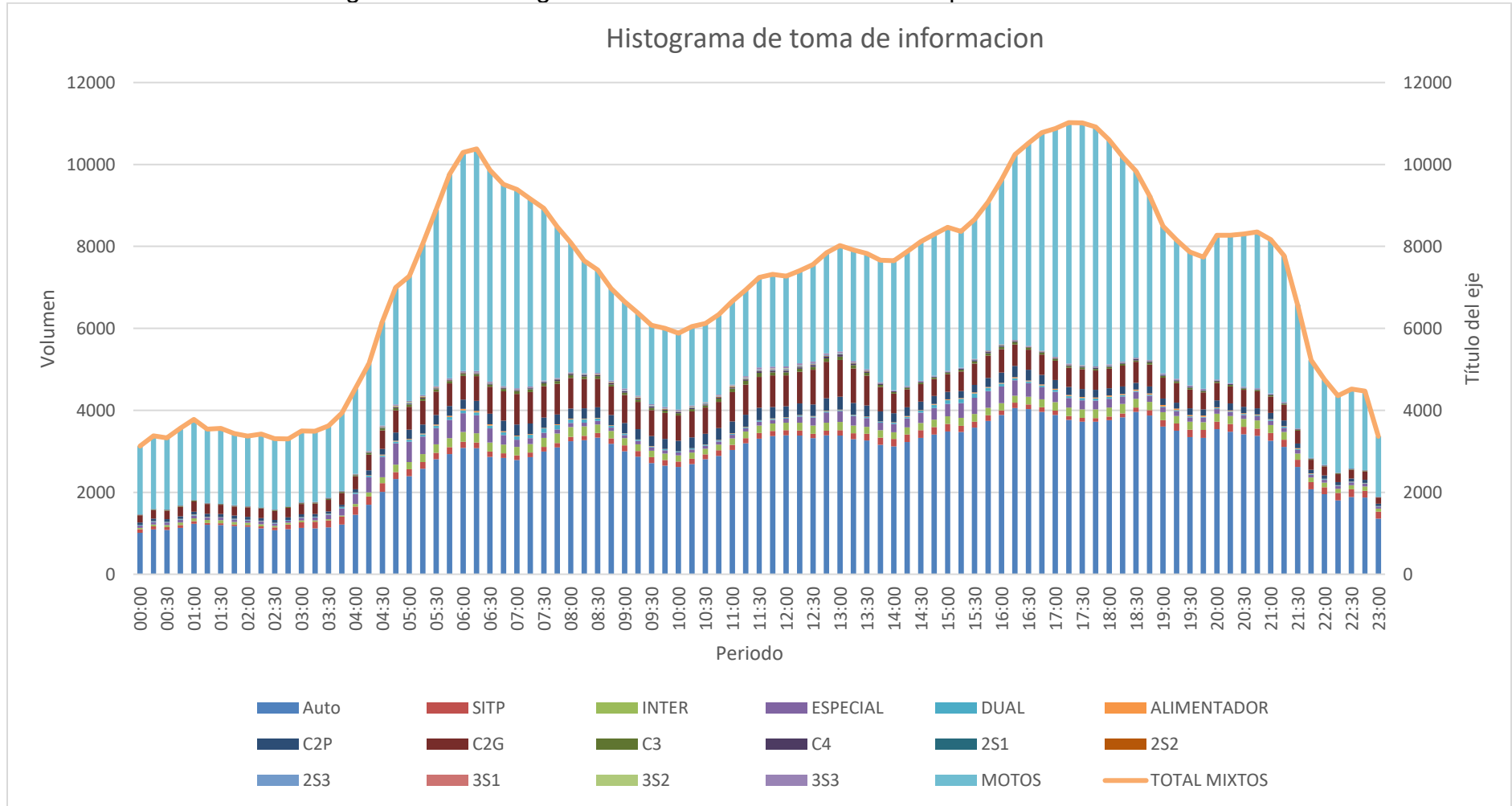
- Avenida Calle 80 x Carrera 119: La segunda intersección analizada corresponde a la Avenida Calle 80 con Carrera 119, la cual se caracteriza principalmente por su función peatonal, ya que constituye un cruce diseñado para garantizar la conectividad segura de los peatones a lo largo del corredor. En este apartado se presentan los resúmenes de volúmenes vehiculares registrados en dicha intersección.

Tabla 20 Resumen de toma de información día típico MS02.

TIPO		Auto	SITP	INTER	ESPECIAL	DUAL	ALIMENTADOR	C2P	C2G	C3	C4	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	MOTOS	TOTAL, MIXTOS	TOTAL, EQUIVALENTES
VOLUMEN TOTAL		46,021	1,170	3,881	2,923	663	224	9,675	5,834	719	29	14	396	38	4	369	538	67,411	139,909	141,489
		33%	1%	3%	2%	0%	0%	7%	4%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	48%	100%
VHMD INTERSECCIÓN AM		2,333	77	249	290	57	16	472	290	23	13	-	10	3	-	19	20	5,203	9,075	8,438
06:15	07:15:00	26%	1%	3%	3%	1%	0%	5%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	57%	100%	100%
VHMD INTERSECCIÓN PM		2,335	52	174	244	34	16	461	266	44	2	1	22	4	1	25	22	4,071	7,774	7,531
16:15	17:15:00	30%	1%	2%	3%	0%	0%	6%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	52%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-61 Histograma de toma de información día típico MS02.



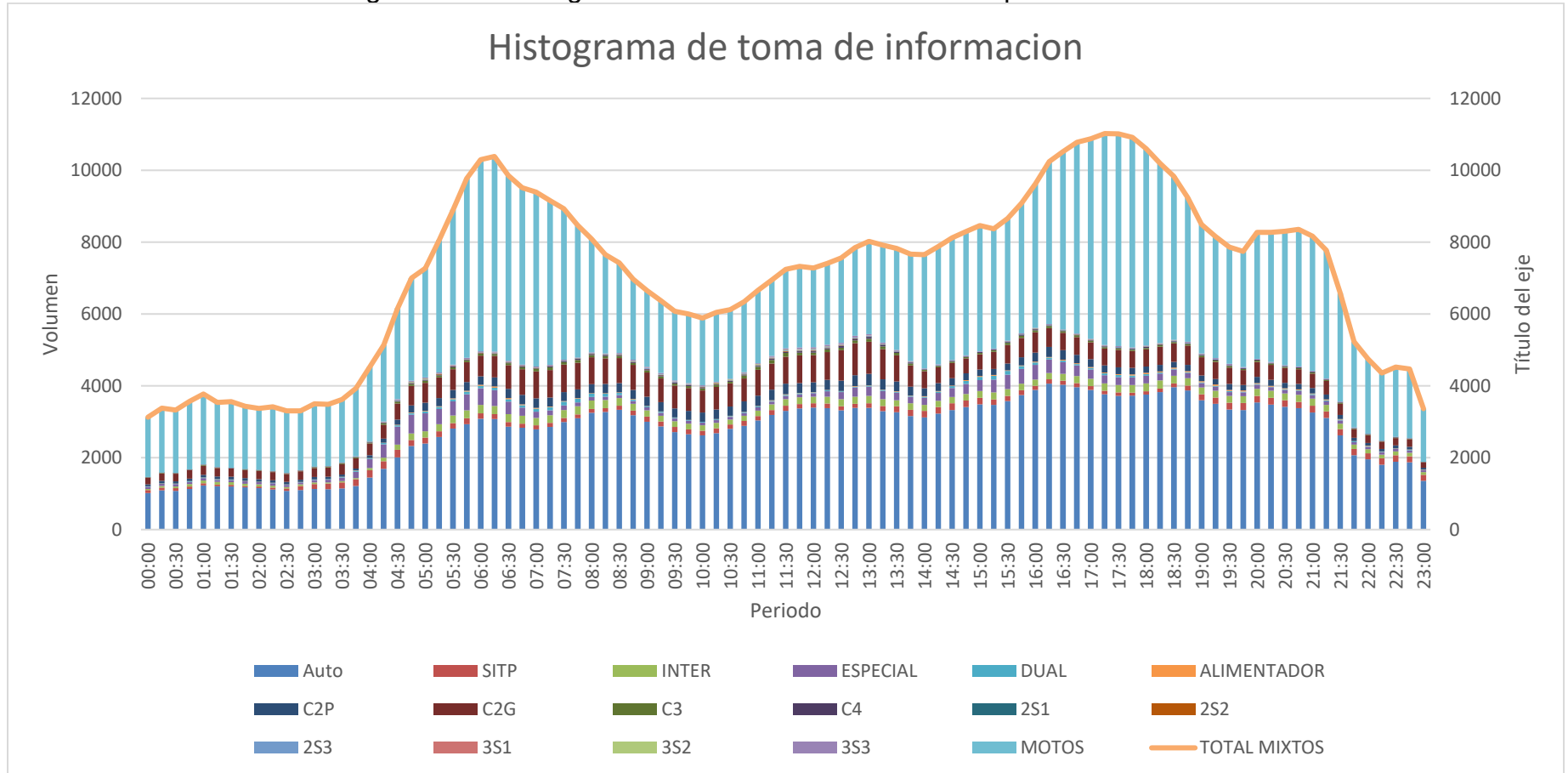
Fuente: Elaboración propia.

En la intersección de la Avenida Calle 80 con Carrera 119, el volumen total registrado fue de 139.909 vehículos mixtos y 141.489 vehículos equivalentes. Dentro de ese total, las motocicletas sumaron 67.411, lo que corresponde aproximadamente al 48% y las consolida como el modo predominante en esta intersección. Los automóviles alcanzaron 46.021 vehículos ( $\approx 33\%$ ), mientras que en carga liviana destacan los C2P con 9.675 ( $\approx 7\%$ ) y los C2G con 5.834 ( $\approx 4\%$ ). El transporte público presenta una participación menor: SITP con 1.170 ( $\approx 1\%$ ), intermunicipal con 3.881 ( $\approx 3\%$ ), especial con 2.923 ( $\approx 2\%$ ), además de dual con 663 y alimentador con 224. Las configuraciones pesadas (C3, C4, 2S1–3S3) en conjunto representan menos del 2% del total vehicular observado.

En la hora de máxima demanda (HMD) de la mañana, registrada entre las 06:15 y las 07:15, se contabilizaron 5.203 vehículos mixtos, equivalentes a 9.075 vehículos equivalentes. En esta franja, las motocicletas concentraron cerca del 57% del flujo, seguidas por los automóviles con el 26% y los C2P con el 5%, lo que refleja un patrón característico de ingreso laboral y escolar. Por su parte, en la HMD de la tarde, entre las 16:15 y las 17:15, se registraron 4.071 vehículos mixtos (7.774 equivalentes), donde las motocicletas representaron el 52%, mientras que los automóviles alcanzaron el 30% y los C2P tuvieron una participación del 6%.

En conclusión, esta intersección, aunque cuenta con un carácter principalmente peatonal evidencia una carga vehicular significativa sobre la calzada principal, dominada por motocicletas y automóviles en ambas franjas críticas. La marcada participación de las motocicletas, cercanas al 48% en el consolidado diario y superiores al 50% en las horas de máxima demanda, resalta la necesidad de implementar medidas de seguridad vial y calmado de tráfico, particularmente en los puntos de interacción con los flujos peatonales.

Figura 10-62 Histograma de toma de información día típico MS03.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de los volúmenes registrados en la intersección de la Avenida Calle 80 con Carrera 114 (MS03) evidencia una participación vehicular heterogénea, con un claro predominio de los automóviles particulares y las motocicletas, que en conjunto representan más del 80% del total del tránsito mixto observado. El volumen total mixto asciende a 168,112 vehículos, mientras que el cálculo de equivalentes vehiculares, que incorpora los factores de ponderación según tipología, alcanza los 171,890 vehículos equivalentes. Dentro de este total, las motocicletas alcanzan 72,508 unidades, lo que corresponde al 43% del tránsito mixto, consolidándose como el modo con mayor presencia en esta intersección, seguido de los automóviles con 64,786 unidades (39%).

En cuanto al análisis de los periodos de máxima demanda, se observa que la hora de máxima demanda en la mañana (VHMD AM) se presenta entre las 06:15 y 07:15 horas, con un total de 10,382 vehículos mixtos y 10,036 equivalentes. En este intervalo, los automóviles aportan 3,076 vehículos (30% del total) y las motocicletas 5,425 unidades (52%), lo que evidencia que el tránsito matinal está altamente influenciado por este último modo. Asimismo, los buses del SITP y el transporte intermunicipal aportan 137 y 230 unidades respectivamente, con participaciones relativamente bajas pero constantes dentro de la oferta modal.

Por su parte, la hora de máxima demanda en la tarde (VHMD PM) se concentra entre las 16:15 y 17:15 horas, con un total de 10,242 vehículos mixtos y 10,096 equivalentes. En este caso, los automóviles incrementan su participación hasta los 4,058 vehículos (40%), mientras que las motocicletas alcanzan 4,524 unidades (44%), manteniéndose como el modo predominante, aunque con menor diferencia respecto a los automóviles en comparación con la franja matinal. Los modos de transporte público (SITP, intermunicipales y especiales) en conjunto suman cerca de 676 vehículos en esta franja, lo que representa un peso importante para la operación semafórica de la intersección.

En síntesis, esta intersección refleja una dinámica particular donde las motocicletas y los automóviles concentran la mayoría del tránsito, con ligeras variaciones entre la mañana y la tarde. La demanda matinal muestra un dominio claro de las motos, mientras que en la tarde los autos incrementan su peso relativo, equilibrando parcialmente la composición modal. Estas características resaltan la necesidad de estrategias de control específicas que consideren la alta participación de las motos y el significativo volumen de vehículos particulares que confluyen en este punto estratégico del corredor.

Una vez identificadas las horas de máxima demanda vehicular en cada una de las tres estaciones maestras (MS01, MS02 y MS03), se realizó una comparación conjunta de los resultados con el fin de establecer el periodo crítico más representativo del corredor. El análisis evidenció que el día típico presentó los mayores volúmenes de tránsito en comparación con el día atípico, razón por la cual se definió este como referencia para continuar con los aforos en las estaciones secundarias y complementarias. De esta manera, se garantizó la coherencia metodológica en la captura de datos, enfocando los esfuerzos de observación en el escenario de mayor exigencia de la red vial.

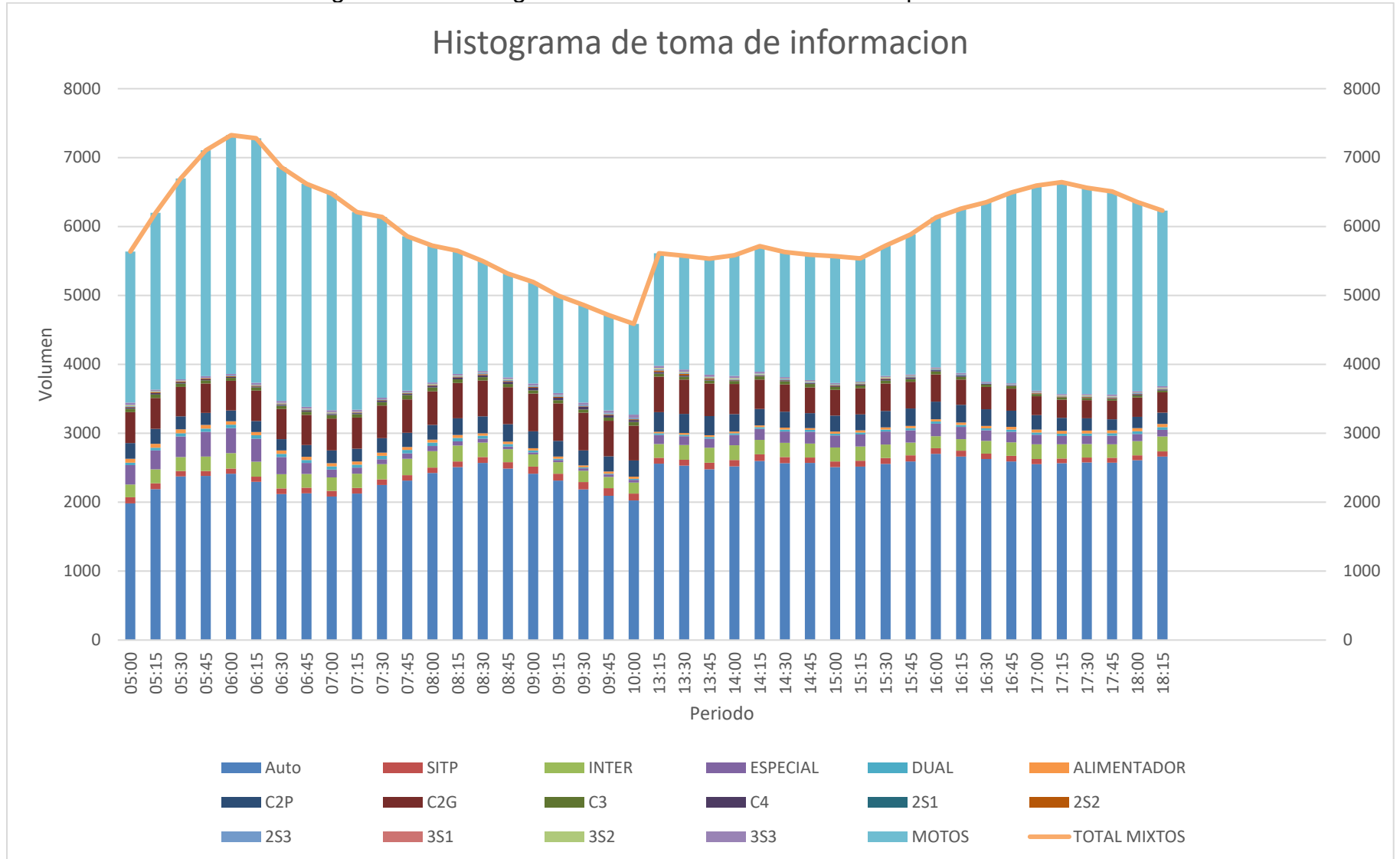
- Avenida Calle 80 x Carrera 116B: La intersección correspondiente a la Avenida Calle 80 con Carrera 116B (SC01) constituye un punto estratégico de conexión, ya que funciona principalmente como vía de salida del barrio Cortijo hacia la Calle 80 en sentido oriente–occidente. Su relevancia radica en que se convierte en una alternativa de evacuación vehicular cuando la Carrera 114 presenta altos niveles de ocupación, lo que la convierte en un punto de alivio para la movilidad del sector. En este apartado se presentan los volúmenes vehiculares registrados en la estación secundaria SC01.

Tabla 21 Resumen de toma de información día típico SC01.

TIPO		Auto	SITP	INTER	ESPECIAL	DUAL	ALIMENTADOR	C2P	C2G	C3	C4	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	MOTOS	TOTAL MIXTOS	TOTAL EQUIVALENTES
VOLUMEN TOTAL		24,851	870	2,276	1,830	361	205	1,835	6,490	618	299	8	50	139	11	47	301	31,107	71,298	75,984
		35%	1%	3%	3%	1%	0%	3%	9%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	44%	100%
VHMD INTERSECCIÓN AM		2,427	68	223	355	49	32	164	544	48	16	-	9	11	-	4	28	4,367	8,345	8,125
06:15	07:15:00	29%	1%	3%	4%	1%	0%	2%	7%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	52%	100%	100%
VHMD INTERSECCIÓN PM		2,327	62	194	182	27	16	183	459	43	14	-	1	8	3	1	19	3,735	7,274	6,984
16:45	17:45:00	32%	1%	3%	3%	0%	0%	3%	6%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	51%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-63 Histograma de toma de información día típico SC01.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de los volúmenes vehiculares registrados en la intersección Avenida Calle 80 con Carrera 116B (SC01) permite identificar patrones importantes de movilidad. En términos de volumen total, se contabilizaron 71.298 vehículos mixtos, que corresponden al conjunto de todas las tipologías registradas, lo que equivale a 75.984 vehículos equivalentes tras aplicar los factores de conversión. Dentro de esta composición, los automóviles representan la mayor proporción con 24.851 vehículos (35%), seguidos por las motocicletas con 31.107 unidades (44%), lo que evidencia una fuerte presencia de este modo en la intersección. Otros actores de relevancia son los camiones de dos ejes C2G, que alcanzan 6.490 unidades (9%), constituyéndose en un flujo de carga significativo para este punto de conexión.

En cuanto a las horas de máxima demanda (HMD), se observa que la franja de la mañana, comprendida entre 06:15 y 07:15 horas, concentra el volumen más alto con 8.345 vehículos mixtos (8.125 equivalentes). La composición en este periodo muestra predominio de automóviles (2.427 unidades, 29%) y motocicletas (4.367 unidades, 52%), además de una participación destacada de los camiones C2G (544 unidades, 7%). Esta estructura revela el carácter de la intersección como salida matutina del barrio Cortijo hacia la Calle 80, marcada por un flujo elevado de vehículos livianos y motos que buscan incorporarse al corredor principal.

Por su parte, en la franja de la tarde, específicamente entre 16:45 y 17:45 horas, el volumen registrado fue de 7.274 vehículos mixtos (6.984 equivalentes), ligeramente menor que en la mañana. Nuevamente, los automóviles aportan una proporción significativa (2.327 unidades, 32%), seguidos por las motocicletas (3.735 unidades, 51%) y los camiones C2G (459 unidades, 6%). Esto refleja la dinámica de retorno hacia el occidente de la ciudad, aunque con una intensidad levemente inferior a la observada en la mañana.

En síntesis, la intersección SC01 se caracteriza por una alta participación de motocicletas y automóviles, que en conjunto representan cerca del 80% del tránsito total, complementado por un flujo de carga relevante en los camiones de dos ejes. La predominancia de la demanda en horas de la mañana confirma su función como vía de salida prioritaria del sector, mientras que en la tarde mantiene un flujo constante, aunque de menor magnitud.

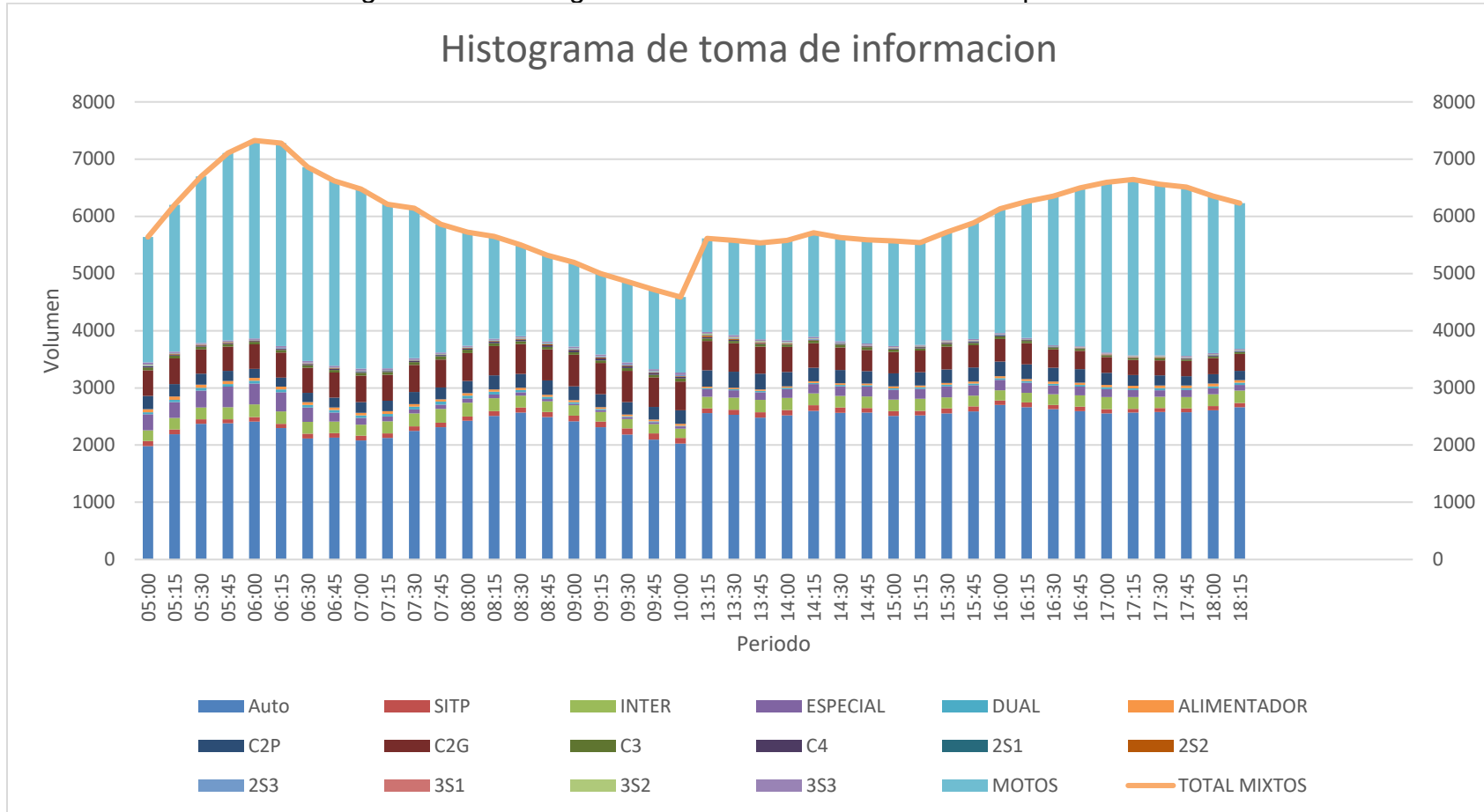
- Avenida Calle 80 x Carrera 112A: La intersección correspondiente a la Avenida Calle 80 con Carrera 112A (SC02) constituye un punto de conexión clave para el flujo vehicular proveniente del sector comercial de Villas de Granada, que utiliza este acceso como salida hacia la Calle 80 en sentido occidente-oriente. No obstante, durante el periodo de aforamiento esta intersección presentó una condición particular: la ejecución de obras viales para la implementación del proyecto calles comerciales a cielos abiertos, lo que modificó temporalmente las dinámicas habituales de tránsito.

Tabla 22 Resumen de toma de información día típico SC02.

TIPO		Auto	SITP	INTER	ESPECIAL	DUAL	ALIMENTADOR	C2P	C2G	C3	C4	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	MOTOS	TOTAL MIXTOS	TOTAL EQUIVALENTES
VOLUMEN TOTAL		28,910	1,016	2,388	1,767	395	465	2,626	5,134	522	229	7	109	143	13	87	312	26,826	70,949	77,340
		41%	1%	3%	2%	1%	1%	4%	7%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	38%	100%
VHMD INTERSECCION AM		2,412	77	222	366	49	49	158	429	43	15	-	9	10	1	1	22	3,463	7,326	7,390
06:00	07:00:00	33%	1%	3%	5%	1%	1%	2%	6%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	47%	100%	100%
VHMD INTERSECCION PM		2,558	86	200	132	23	22	285	516	42	26	-	22	17	2	16	32	1,633	5,612	6,696
13:15	14:15:00	46%	2%	4%	2%	0%	0%	5%	9%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	29%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 10-64 Histograma de toma de información día típico SC02.



Fuente: Elaboración propia.

En la intersección Avenida Calle 80 con Carrera 112A (SC02), los volúmenes totales registrados alcanzaron 70.949 vehículos mixtos y 77.340 vehículos equivalentes, lo que refleja una intensidad vehicular significativa pese a las condiciones atípicas por las obras y la actividad comercial circundante. La composición modal muestra una alta participación de automóviles (28.910, equivalentes al 41%), seguidos por las motocicletas (26.826, con una representación del 38%), evidenciando la importancia de este modo dentro del flujo del sector. Otros aportes relevantes corresponden a camiones de dos ejes pequeños (C2P, 2.626; 4%) y camiones de dos ejes grandes (C2G, 5.134; 7%), lo que indica un papel destacado del transporte de carga ligera en esta salida. Los buses del SITP (1.016) y los intermunicipales (2.388) también mantienen una presencia constante, complementando la participación del transporte público en la zona.

En cuanto a las horas de máxima demanda, en el periodo de la mañana (06:00–07:00), se alcanzó un flujo de 7.326 vehículos mixtos y 7.390 equivalentes, con predominio de automóviles (2.412, 33%) y una fuerte presencia de motocicletas (3.463, 47%). Esto sugiere que, durante el inicio de la jornada laboral y comercial, las motos constituyen un modo preferente para los desplazamientos desde este sector hacia la Calle 80. Por su parte, en la tarde (13:15–14:15) la demanda vehicular se redujo a 5.612 vehículos mixtos y 6.696 equivalentes, con un mayor peso relativo de los automóviles (2.558, 46%) frente a las motocicletas (1.633, 29%). La diferencia entre periodos evidencia un cambio en la composición modal: en la mañana predominan claramente las motocicletas, mientras que en la tarde los automóviles recuperan mayor protagonismo.

Estos resultados reflejan cómo las condiciones particulares de la intersección influenciadas por obras y aperturas comerciales alteraron la dinámica usual, reforzando la participación de las motocicletas como alternativa rápida para sortear la congestión local en la franja matutina.

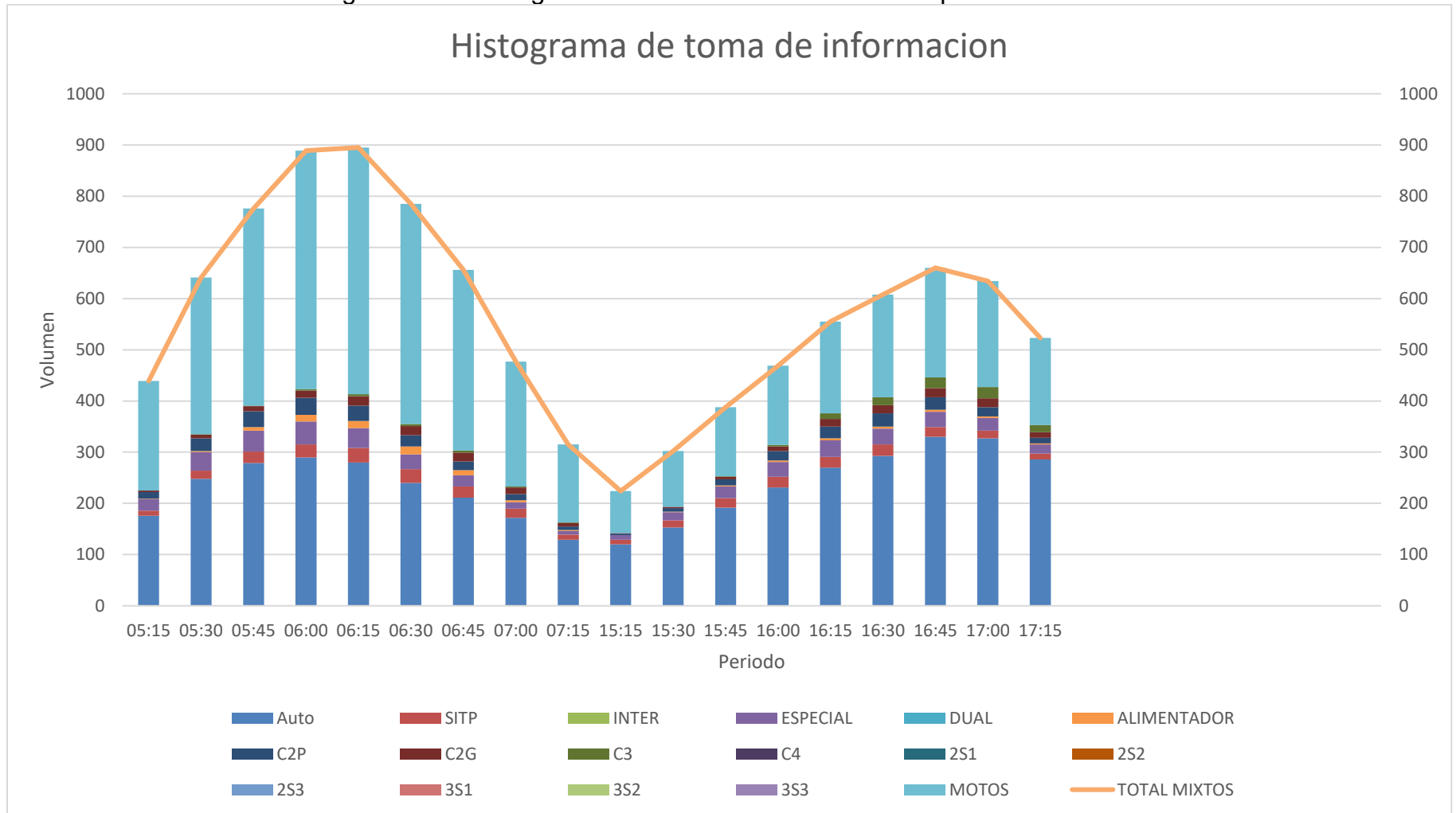
- Carrera 114 x Calle 78B: La intersección corresponde a la primera estación complementaria analizada dentro del estudio. Esta intersección cumple un papel importante como salida del barrio Granada y funciona como un punto de conexión hacia la vía destapada que, en los planes futuros, se proyecta como ampliación de la Carrera 114 y que actualmente, actúa como una vía alterna utilizada principalmente cuando la salida directa por la Carrera 114 se encuentra saturada.

Tabla 23 Resumen de toma de información día típico CM01.

TIPO		Auto	SITP	INTER	ESPECIAL	DUAL	ALIMENTADOR	C2P	C2G	C3	C4	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	MOTOS	TOTAL MIXTOS	TOTAL EQUIVALENTES
VOLUMEN TOTAL		2,062	9	9	303	-	42	117	89	11	-	-	-	-	-	-	-	2,108	4,750	4,385
		43%	0%	0%	6%	0%	1%	2%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	44%	100%
VHMD INTERSECCION AM		392	1	-	86	-	7	15	8	1	-	-	-	-	-	-	-	403	913	842
05:30	06:30:00	43%	0%	0%	9%	0%	1%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	44%	100%	100%
VHMD INTERSECCION PM		331	4	4	56	-	8	24	24	4	-	-	-	-	-	-	-	353	808	782
15:45	16:45:00	41%	0%	0%	7%	0%	1%	3%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	44%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-65 Histograma de toma de información día típico CM01.



Fuente: Elaboración propia.

En la intersección Carrera 114 con Calle 78B (CM01) se observa un volumen vehicular total de 4.750 vehículos mixtos, que al ser transformados en equivalentes suman 4.385 unidades. La composición modal refleja un predominio de los automóviles con 2.062 registros (43%), seguidos por las motocicletas con 2.108 registros (44%), lo que indica que estos dos modos concentran la gran mayoría del flujo vehicular de la intersección. En contraste, los vehículos pesados e institucionales tienen una participación marginal, destacándose únicamente el transporte especial con 303 registros (6%), mientras que categorías como SITP, intermunicipales, alimentadores y camiones aportan porcentajes inferiores al 2%.

En cuanto a los periodos de máxima demanda, durante la hora pico de la mañana (05:30 – 06:30) se registraron 913 vehículos mixtos (842 equivalentes). En este intervalo los automóviles representaron el 43% del flujo, mientras que las motocicletas mantuvieron el 44%, confirmando la alta dependencia de la intersección hacia estos dos modos. Es relevante el aporte del transporte especial en este periodo con 86 registros (9%), que, aunque minoritario en términos absolutos, resalta como el tercer modo en importancia en este acceso.

Por su parte, en la hora pico de la tarde (15:45 – 16:45) se contabilizaron 808 vehículos mixtos (782 equivalentes), mostrando un volumen levemente inferior al de la mañana. La distribución modal se mantiene similar, con automóviles y motocicletas como los modos dominantes, representando en conjunto cerca del 85% del flujo. En este caso, el transporte especial reduce su participación con 56 registros (7%), mientras que los demás modos se mantienen en valores poco significativos.

En síntesis, la intersección CM01 se caracteriza por un alto peso relativo de los vehículos livianos (autos y motos), lo que la convierte en un punto de flujo predominantemente barrial con baja presencia de transporte público organizado y carga pesada.

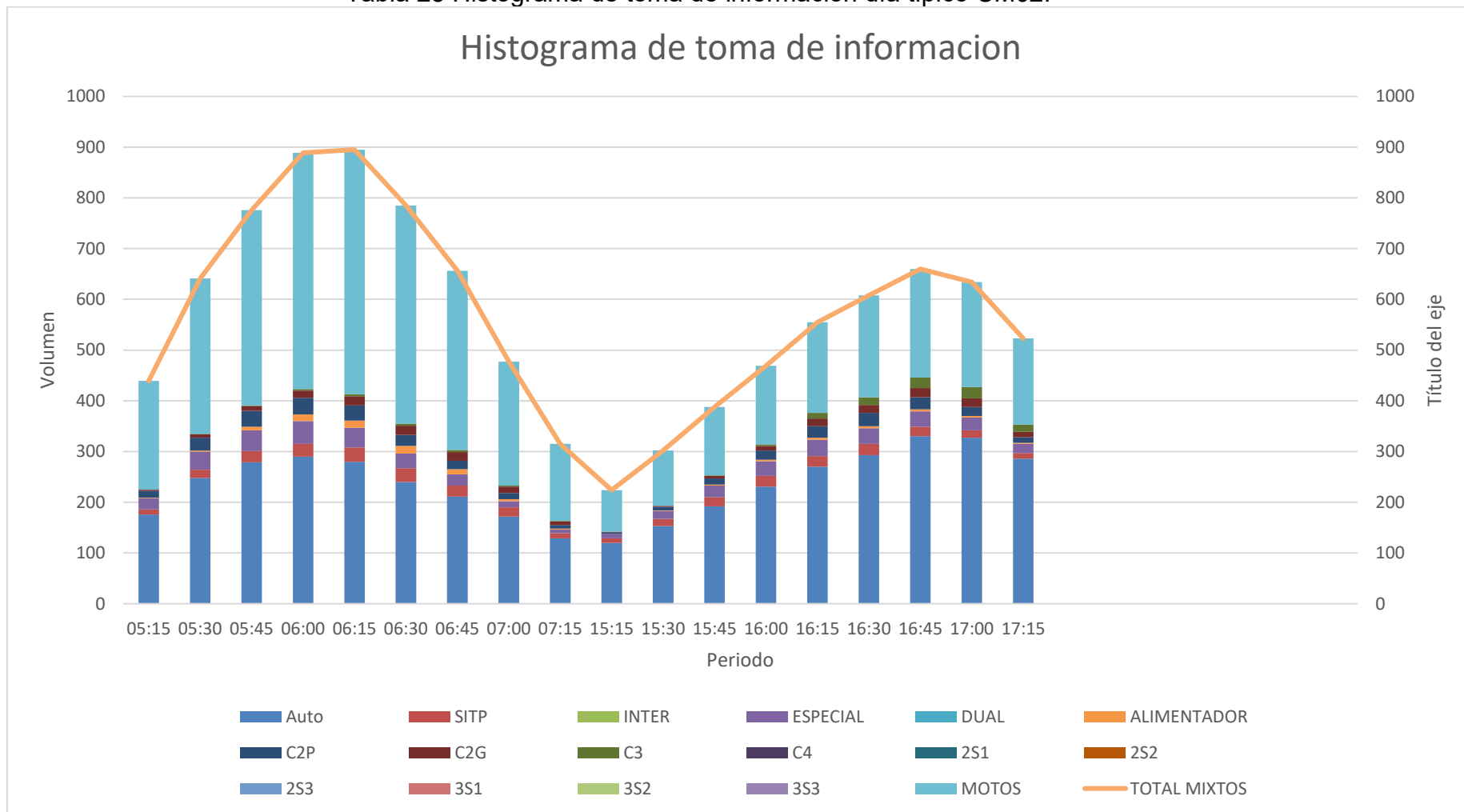
- Carrera 114 x Calle 78B: La segunda intersección complementaria corresponde a la Carrera 114 con Calle 81 (CM02), localizada en un punto estratégico que articula la movilidad entre los barrios Ciudadela y El Cortijo, sirviendo como conexión directa hacia la Carrera 114 y, en consecuencia, hacia el corredor principal de la Avenida Calle 80. Esta intersección cumple un papel de redistribución del tráfico local, facilitando los desplazamientos de corta y media distancia entre sectores residenciales, al tiempo que opera como vía de acceso alternativo hacia la red arterial principal. En este apartado se presentan los resultados de los aforos vehiculares realizados en la CM02, que permiten caracterizar su dinámica operativa y analizar su relevancia dentro del conjunto de intersecciones complementarias del área de estudio.

Tabla 24 Resumen de toma de información día típico CM02.

TIPO		Auto	SITP	INTER	ESPECIAL	DUAL	ALIMENTADOR	C2P	C2G	C3	C4	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	MOTOS	TOTAL MIXTOS	TOTAL EQUIVALENTES
VOLUMEN TOTAL		5,177	120	-	749	-	69	333	230	15	-	-	-	-	-	1	-	6,229	12,923	11,615
		40%	1%	0%	6%	0%	1%	3%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	48%	100%
VHMD INTERSECCIÓN AM		896	20	-	97	-	9	67	60	2	-	-	-	-	-	-	-	1,122	2,273	2,032
07:15	08:15:00	39%	1%	0%	4%	0%	0%	3%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	49%	100%	100%
VHMD INTERSECCIÓN PM		1,096	18	-	84	-	12	86	42	-	-	-	-	-	-	-	-	814	2,152	2,051
15:30	16:30:00	51%	1%	0%	4%	0%	1%	4%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	38%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25 Histograma de toma de información día típico CM02.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la intersección complementaria CM02: Carrera 114 con Calle 81 refleja una dinámica vehicular propia de un nodo de conexión barrial con función de acceso hacia la red arterial. En términos de volúmenes totales, se contabilizaron 12.923 vehículos mixtos a lo largo de la jornada, lo que equivale a 11.615 vehículos equivalentes al aplicar los factores de ponderación establecidos en la metodología. De este total, la mayor participación corresponde a los automóviles, que alcanzaron 5.177 registros (40% del total), seguidos por las motocicletas, con 6.229 registros (48%), lo que reafirma la importancia de este modo en el tráfico local. En menor proporción aparecen los vehículos de transporte público (SITP con 120 registros) y los de transporte especial (749 registros), mientras que los camiones de dos y tres ejes apenas alcanzan porcentajes marginales.

En cuanto a la hora de máxima demanda de la mañana (VHMD AM), comprendida entre las 07:15 y 08:15 horas, se registraron 2.273 vehículos mixtos, equivalentes a 2.032. En esta franja, los automóviles representan el 39% del volumen, mientras que las motocicletas alcanzan cerca del 49%, consolidándose como el modo predominante en los desplazamientos de acceso temprano hacia el corredor. Los vehículos de carga y especiales tienen una participación muy baja en esta franja, aunque se evidencia presencia de transporte especial y camiones de dos ejes, asociados posiblemente con actividades de abastecimiento y servicios.

En la hora de máxima demanda de la tarde (VHMD PM), registrada entre las 15:30 y 16:30 horas, el flujo vehicular totaliza 2.152 vehículos mixtos, equivalentes a 2.051. En esta franja, se observa un incremento relativo en la proporción de automóviles (51%) y una disminución de la participación de motocicletas (38%), aunque estas siguen siendo relevantes en el flujo. El transporte especial y los camiones mantienen su presencia marginal, pero su concentración en esta franja sugiere relación con actividades laborales o de retorno.

En síntesis, el comportamiento de la intersección CM02 muestra un patrón en el cual las motocicletas y los automóviles constituyen los modos dominantes, representando en conjunto cerca del 88% del total de vehículos. La distribución horaria refleja que en la mañana predominan los viajes de motociclistas hacia el corredor principal, mientras que en la tarde se fortalece el protagonismo de los automóviles.

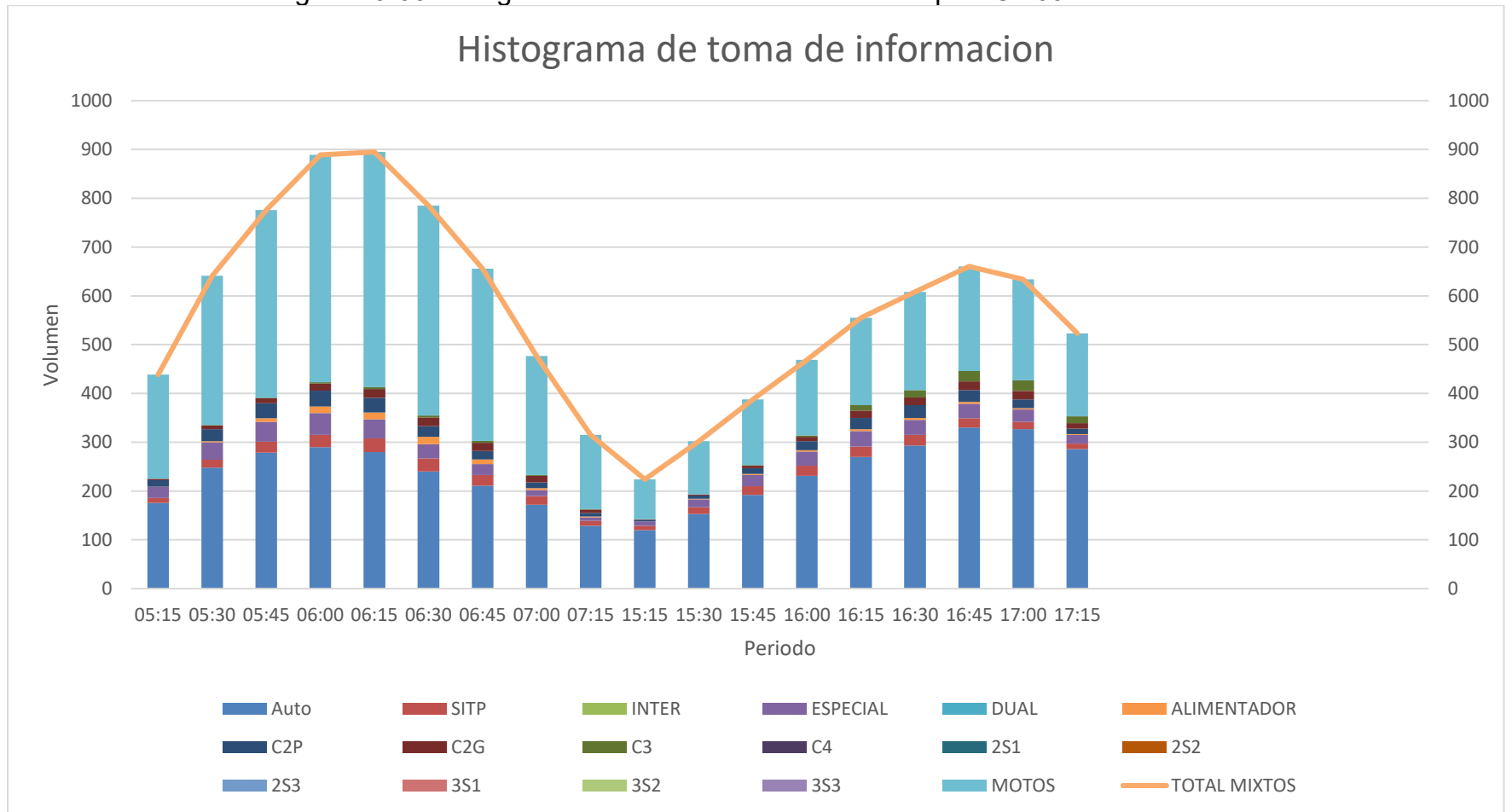
- Carrera 116A x Calle 81: La intersección Carrera 116A con Calle 81 (CM03) se ubica en el barrio El Cortijo y cumple principalmente una función de conexión interna entre las avenidas Carrera 114 y Carrera 116B, además de servir como punto de acceso al comercio local de baja escala presente en la zona. Su papel en la red vial es complementario, ya que no canaliza grandes volúmenes de tránsito regional.

Tabla 26 Resumen de toma de información día típico CM03.

TIPO		Auto	SITP	INTER	ESPECIAL	DUAL	ALIMENTADOR	C2P	C2G	C3	C4	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	MOTOS	TOTAL MIXTOS	TOTAL EQUIVALENTES
VOLUMEN TOTAL		2,310	81	9	342	-	54	212	177	61	18	9	9	-	-	-	9	3,896	7,187	6,468
		32%	1%	0%	5%	0%	1%	3%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	54%	100%
VHMD INTERSECCION AM		385	7	1	70	-	9	21	22	4	1	-	1	-	-	-	-	666	1,187	1,015
05:15	06:15:00	32%	1%	0%	6%	0%	1%	2%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	56%	100%	100%
VHMD INTERSECCION PM		392	24	4	80	-	12	44	40	24	8	4	4	-	-	-	4	652	1,292	1,278
15:15	16:15:00	30%	2%	0%	6%	0%	1%	3%	3%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-66 Histograma de toma de información día típico CM03.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la intersección Carrera 116A con Calle 81 (CM03) evidencia un comportamiento vehicular de carácter predominantemente local, con volúmenes totales relativamente bajos en comparación con otras estaciones del corredor. El volumen total alcanzó los 7.187 vehículos mixtos, equivalentes a 6.468 vehículos homogéneos, lo que confirma que esta intersección concentra flujos de corta distancia, asociados principalmente a la movilidad barrial y a la conexión entre vías secundarias de la red vial del sector. La distribución modal muestra una marcada predominancia de los automóviles (2.310 registros, 32%), seguidos por las motocicletas (3.896, 54%), que constituyen más de la mitad del flujo vehicular y reflejan la importancia de este modo en los viajes de corta distancia dentro del área de influencia. En menor proporción aparecen los camiones de dos ejes (C2G y C2P, con un total de 389 registros combinados), además de volúmenes puntuales de buses SITP (81 registros) y vehículos de servicio especial (342), lo cual confirma el carácter local y complementario de esta intersección frente a corredores de mayor jerarquía.

En cuanto a la hora de máxima demanda (HMD), en la franja de la mañana (05:15–06:15) se registraron 1.187 vehículos mixtos (1.015 equivalentes), con predominancia de automóviles (385, 32%) y motocicletas (666, 56%), lo que refleja la salida temprana de residentes hacia corredores principales. En la franja de la tarde (15:15–16:15), el volumen alcanzó los 1.292 vehículos mixtos (1.278 equivalentes), nuevamente con alta participación de automóviles (392, 30%) y motocicletas (652, 50%), pero con un incremento proporcional de camiones livianos y medianos, posiblemente vinculados a actividades logísticas y de abastecimiento del comercio local.

En síntesis, esta intersección CM03 se caracteriza por ser un nodo secundario con fuerte presencia de motocicletas y automóviles, modos que concentran más del 80% del flujo vehicular total. La baja participación de transporte público y de vehículos de carga mayor confirma su función principalmente barrial y de soporte a la movilidad interna, aunque su conexión entre la Carrera 114 y la 116B le otorga un papel estratégico como vía de desahogo en escenarios de alta congestión en el corredor principal.

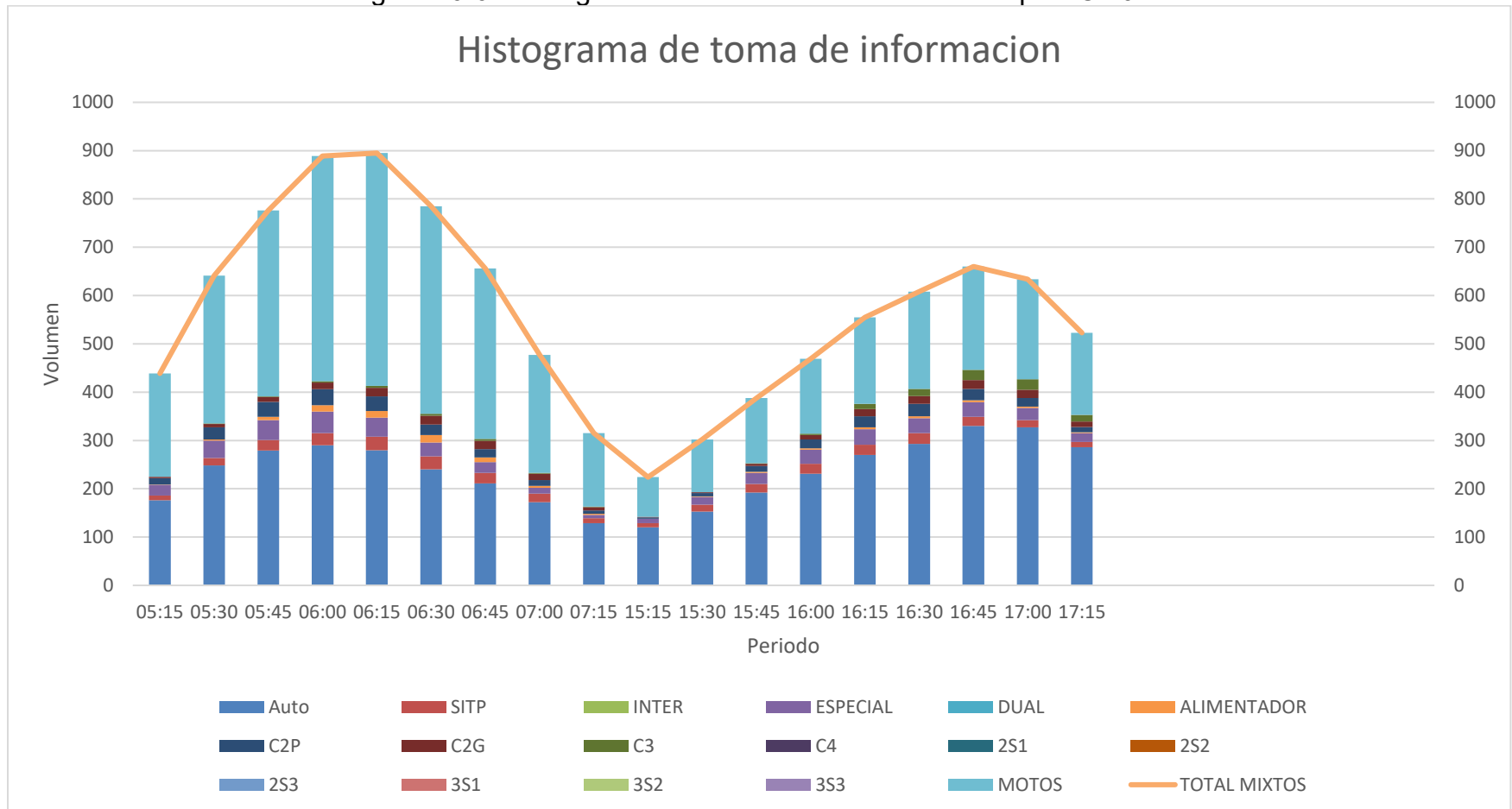
- Carrera 116B x Calle 80A: La intersección ubicada en la Carrera 116B con Calle 80A (CM04) corresponde a un cruce de carácter local cuya principal función es articular los accesos de los conjuntos residenciales del sector con la Carrera 116B, facilitando la conexión de los viajes de origen-destino barrial hacia las vías de mayor jerarquía. Se trata de una intersección con flujos vehiculares reducidos y predominantemente locales, donde el tránsito responde más a los patrones de movilidad residencial y de servicios inmediatos que a dinámicas de paso o tránsito de largo recorrido.

Tabla 27 Resumen de toma de información día típico CM04.

TIPO		Auto	SITP	INTER	ESPECIAL	DUAL	ALIMENTADOR	C2P	C2G	C3	C4	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	MOTOS	TOTAL MIXTOS	TOTAL EQUIVALENTES
VOLUMEN TOTAL		1,529	53	28	272	-	-	210	186	48	-	9	-	9	-	9	-	3,097	5,450	4,961
		28%	1%	1%	5%	0%	0%	4%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	57%	100%
VHMD INTERSECCION AM		220	1	2	25	-	-	32	32	7	-	-	-	1	-	-	-	704	1,024	808
06:15	07:15:00	21%	0%	0%	2%	0%	0%	3%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	69%	100%	100%
VHMD INTERSECCION PM		264	20	12	64	-	-	48	40	16	-	4	-	4	-	4	-	529	1,005	1,011
15:30	16:30:00	26%	2%	1%	6%	0%	0%	5%	4%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	53%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-67 Histograma de toma de información día típico CM04.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la intersección localizada en la Carrera 116B con Calle 80A (CM04) evidencia un comportamiento vehicular de carácter eminentemente local, con volúmenes reducidos en comparación con las intersecciones principales del corredor. El volumen total registrado fue de 5.450 vehículos mixtos, equivalente a 4.961 vehículos equivalentes, lo que refleja la baja magnitud de tránsito asociada principalmente a viajes residenciales y de conexión barrial. En términos de composición modal, se observa un predominio de automóviles con 1.529 registros (28%), seguidos por motocicletas con 3.097 registros (57%), lo que confirma una fuerte presencia de este modo en la dinámica de la zona. El transporte de carga ligera (C2P y C2G) también tiene participación, aunque moderada, con valores de 210 y 186 vehículos respectivamente, lo cual sugiere un aporte de abastecimiento local y movilidad de pequeña escala. Otros modos como el SITP (53), vehículos especiales (272) e intermunicipales (28) representan proporciones marginales, reafirmando el carácter secundario de esta intersección respecto al sistema de transporte público formal y a los corredores principales.

En cuanto a la hora de máxima demanda (HMD), se identificaron dos picos diferenciados. En la franja matutina (06:15 – 07:15), la intersección registró un total de 1.024 vehículos mixtos (808 equivalentes), donde los automóviles (220), motocicletas (704) y una baja proporción de carga ligera dominan el flujo. Este comportamiento sugiere que la intersección funciona como un punto de salida del sector residencial hacia las arterias principales en el inicio de la jornada laboral y académica. Por su parte, en la franja vespertina (15:30 – 16:30) se reportaron 1.005 vehículos mixtos (1.011 equivalentes), con un leve aumento en la participación de transporte especial (64) y carga ligera (48 C2P y 40 C2G), lo que refleja tanto retornos de viajes como actividades de apoyo logístico y escolar.

En síntesis, la intersección CM04 presenta un patrón de movilidad caracterizado por el dominio de motocicletas y automóviles, lo que la define como un nodo barrial de bajo impacto en el sistema principal, pero fundamental para la movilidad interna y la articulación con la Carrera 116B.

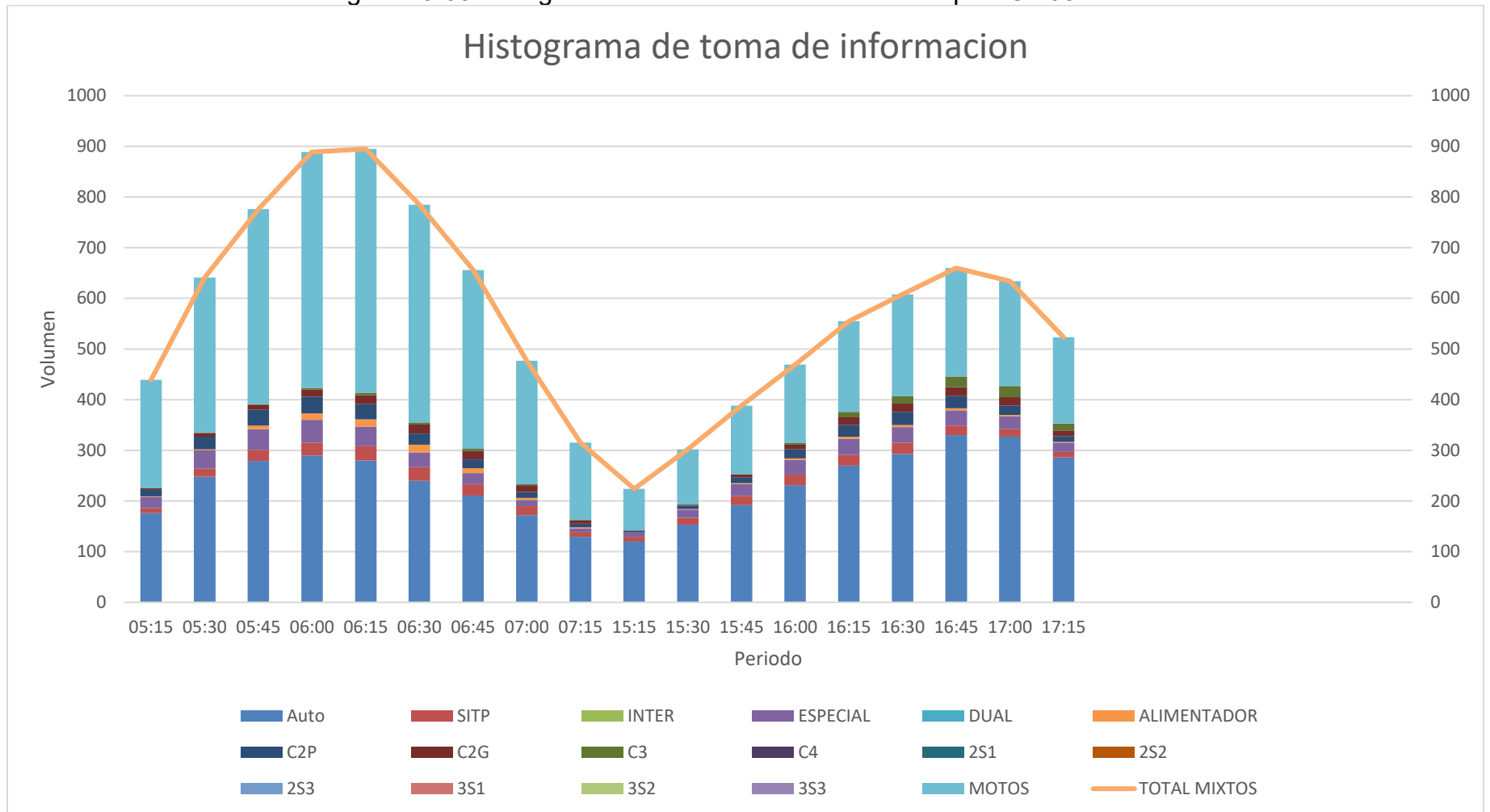
- Carrera 119 x Calle 80A: La intersección ubicada en la Carrera 119 con Calle 80A (CM05) corresponde a un nodo claramente local dentro del área de estudio. Su función principal se relaciona con la conexión de pequeños conjuntos residenciales y vías internas del barrio con la Calle 80, actuando como punto de salida y acceso de baja jerarquía en comparación con las arterias principales del corredor. El tránsito que allí se concentra responde, en gran medida, a dinámicas barriales de carácter residencial y de servicios básicos, con una limitada participación de transporte público estructurado o de tránsito de paso.

Tabla 28 Resumen de toma de información día típico CM05.

TIPO		Auto	SITP	INTER	ESPECIAL	DUAL	ALIMENTADOR	C2P	C2G	C3	C4	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	MOTOS	TOTAL MIXTOS	TOTAL EQUIVALENTES
VOLUMEN TOTAL		177	19	-	87	-	-	72	54	50	18	-	-	-	-	-	9	562	1,048	1,178
		17%	2%	0%	8%	0%	0%	7%	5%	5%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	54%	100%
VHMD INTERSECCIÓN AM		36	-	-	27	-	-	12	10	7	-	-	-	-	-	-	-	132	224	229
05:15	06:15:00	16%	0%	0%	12%	0%	0%	5%	4%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	59%	100%	100%
VHMD INTERSECCIÓN PM		34	8	-	24	-	-	20	12	20	8	-	-	-	-	-	4	96	226	306
15:30	16:30:00	15%	4%	0%	11%	0%	0%	9%	5%	9%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	42%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-68 Histograma de toma de información día típico CM05.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de los volúmenes registrados en la intersección de la Carrera 119 con Calle 80A (CM05) evidencia claramente su carácter local y su baja relevancia en comparación con las intersecciones principales del corredor. El volumen total registrado alcanzó 1.048 vehículos mixtos, con un equivalente de 1.178 unidades. Este dato refleja la limitada magnitud del tránsito, donde predominan los movimientos de corto alcance y de conexión barrial más que el tránsito de paso o interurbano. La composición vehicular muestra una distribución relativamente equilibrada, destacándose los automóviles (17%), seguidos por los vehículos de carga liviana tipo C2P (7%) y C2G (5%), además de una proporción importante de motocicletas (54%), lo que confirma la función de la intersección como acceso a barrios residenciales donde el uso de la moto es altamente representativo.

En la hora de máxima demanda de la mañana (05:15 – 06:15) se contabilizaron 224 vehículos mixtos (229 equivalentes), con un predominio de automóviles y motocicletas que concentran en conjunto más del 70% del flujo total, mientras que se registraron aportes menores de carga liviana y de transporte especial. Este comportamiento refleja la dinámica de salida temprana de los residentes hacia la Calle 80, utilizada como acceso principal a la movilidad interbarrial. Por su parte, en la hora de máxima demanda de la tarde (15:30 – 16:30) se observó un flujo de 226 vehículos mixtos (306 equivalentes), con una distribución más equilibrada entre automóviles, motocicletas y vehículos de carga liviana. En este caso, el peso relativo de los camiones pequeños y medianos aumentó (alrededor del 18%), lo cual puede explicarse por el abastecimiento de comercios locales o por trayectos de distribución barrial en horas de menor congestión sobre las arterias principales.

En conclusión, la CM05 presenta volúmenes reducidos y un perfil eminentemente local, donde las motocicletas se consolidan como el modo dominante y la carga liviana adquiere un rol secundario pero constante. Este comportamiento confirma que la intersección no representa un nodo estratégico para la movilidad del corredor Calle 80, pero sí constituye un punto clave para la dinámica de acceso y salida de los barrios aledaños, aportando al entendimiento de cómo los flujos locales interactúan con el tránsito arterial principal.

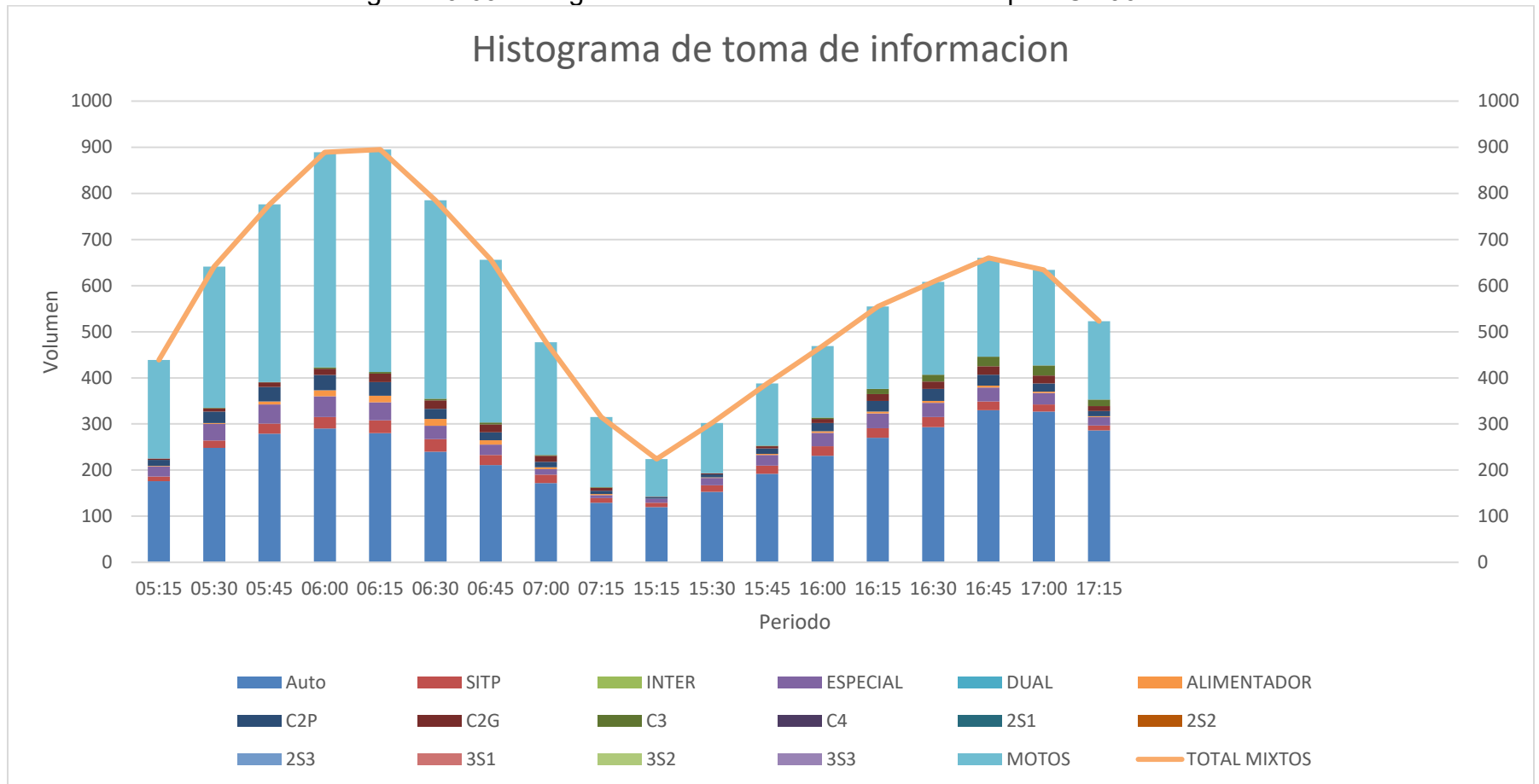
- Carrera 112A x Calle 79 La intersección de la Carrera 112A con Calle 79 (CM06) corresponde a un punto complementario dentro del área de estudio, cuya función principal es servir como salida de la zona comercial de Villas de Granada y facilitar la conexión hacia el sector de Gran Granada.

Tabla 29 Resumen de toma de información día típico CM06.

TIPO		Auto	SITP	INTER	ESPECIAL	DUAL	ALIMENTADOR	C2P	C2G	C3	C4	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	MOTOS	TOTAL, MIXTOS	TOTAL, EQUIVALENTES
VOLUMEN TOTAL		1,261	89	-	127	-	23	87	55	30	-	-	-	-	-	-	-	1,279	2,951	2,809
		43%	3%	0%	4%	0%	1%	3%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	43%	100%
VHMD INTERSECCIÓN AM		290	25	-	45	-	13	33	14	3	-	-	-	-	-	-	-	466	889	814
06:00	07:00:00	33%	3%	0%	5%	0%	1%	4%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	52%	100%	100%
VHMD INTERSECCIÓN PM		330	19	-	30	-	4	24	18	21	-	-	-	-	-	-	-	214	660	701
16:45	17:45:00	50%	3%	0%	5%	0%	1%	4%	3%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	32%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-69 Histograma de toma de información día típico CM06.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de los volúmenes vehiculares en la intersección de la Carrera 112A con Calle 79 (CM06) evidencia su carácter local y de soporte a la movilidad interna de la zona comercial de Villas de Granada. En el volumen total se registraron 2.951 vehículos mixtos, equivalentes a 2.809 vehículos al aplicar los factores de equivalencia. La mayor participación corresponde a los automóviles (43%), seguidos por las motocicletas (43%), lo que confirma que este punto concentra flujos de viajes de corta distancia y de carácter local, con mínima presencia de transporte público (3%) y vehículos pesados en categorías como C2P o C2G (5% en conjunto).

En cuanto a las horas de máxima demanda, durante la franja de la mañana (06:00–07:00) se alcanzó un volumen de 889 vehículos mixtos (814 equivalentes). La composición en este periodo estuvo dominada por automóviles (33%) y motos (52%), con presencia marginal de categorías especiales o de carga. Este patrón refleja la salida temprana de residentes y usuarios hacia los corredores principales, aprovechando esta intersección como alternativa de conexión.

En la hora pico de la tarde (16:45–17:45) se registró un flujo de 660 vehículos mixtos (701 equivalentes), con predominio todavía mayor de los automóviles (50%) frente a las motocicletas (32%). Se evidencia un incremento relativo de vehículos livianos en comparación con la mañana, lo que se asocia al retorno de usuarios y al uso intensivo del parque automotor privado en la franja de salida de actividades laborales y comerciales.

En síntesis, la intersección de la Carrera 112A con Calle 79 se caracteriza por un flujo reducido, pero altamente dependiente del automóvil y la motocicleta, lo cual resalta su rol como punto de descarga local hacia la red principal. La baja presencia de transporte público y carga confirma que su relevancia está más ligada a la movilidad barrial que a los corredores estructurantes.

### **10.1.1.9 PROYECTOS A NIVEL CIUDAD VIABILIZADOS: INICIATIVAS DE INFRAESTRUCTURA O TRANSPORTE CON IMPACTO FUTURO.**

Dentro de la planeación urbana y de movilidad de Bogotá, existen varios proyectos estratégicos que impactarán de manera directa la operación del corredor de la Calle 80 y sus intersecciones aledañas. Estas iniciativas, lideradas por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y respaldadas por la Región Metropolitana Bogotá–Cundinamarca, buscan mejorar la capacidad de la red vial, garantizar una operación más eficiente y fortalecer la integración con los sistemas de transporte masivo.

El primero de ellos corresponde al intercambiador vial Calle 80 – Avenida Las Quintas (Carrera 119) y Carrera 120, cuya ejecución se prevé iniciar en septiembre de 2025, tras culminar los estudios y diseños que ya alcanzan un avance cercano al 95%. Este proyecto contempla la construcción de un puente elevado sobre la Calle 80, una glorieta distributiva a nivel y la habilitación de nuevos accesos peatonales y vehiculares. Asimismo, se proyecta la implementación de un retorno operacional para TransMilenio, pasos seguros para peatones y ciclistas, así como la ampliación de carriles sobre la calzada norte en un tramo aproximado de 100 metros. Con una inversión de 110.000 millones de pesos, financiada por la Región Metropolitana, el proyecto beneficiará de manera directa a más de 250.000 personas y de forma indirecta a cerca de 800.000 habitantes de sectores como Suba, Engativá, Lisboa, Bilbao y Gran Granada. La ejecución estará a cargo del Consorcio PROBOGOTÁ 20, conformado por JMV Ingenieros y TECCIVIL, con un plazo de construcción estimado entre 15 y 25 meses.

De forma complementaria, se encuentra el proyecto de ampliación de la Carrera 114, vinculado al desarrollo de la Avenida Longitudinal de Occidente (ALO Sur). Esta vía, también denominada Carrera 96, constituye uno de los corredores estructurantes del borde occidental de la ciudad, extendiéndose desde Soacha hasta la Calle 13 y con proyección de conexión hacia el norte. El tramo sur ya fue adjudicado bajo un esquema de concesión, que contempla la construcción de una doble calzada, la incorporación de carriles adicionales, puentes vehiculares y peatonales, ciclorrutas y espacios públicos de calidad. Si bien la conexión directa con la Carrera 114 aún no es explícita en todas las fuentes, el proyecto se perfila como un complemento esencial para descongestionar el occidente de la ciudad y reforzar la conectividad de sectores residenciales e industriales con el sistema vial metropolitano.

En síntesis, ambos proyectos aportan elementos clave para el futuro del corredor Calle 80 y su área de influencia. El intercambiador vial permitirá una mejora operativa integral, reduciendo tiempos de viaje y mitigando puntos de congestión críticos como Lisboa y Gran Granada. A su vez, la ampliación de la ALO fortalecerá la accesibilidad y conectividad regional, generando nuevas alternativas de flujo vehicular. Estos avances consolidan una previsibilidad en infraestructura, al contar con obras ya licitadas y con cronogramas de ejecución definidos. Finalmente, se destaca la convergencia tecnológica y territorial de estas intervenciones, que integran criterios de movilidad sostenible, transporte masivo y seguridad vial, constituyéndose en un soporte fundamental para el desarrollo urbano y la calidad de vida en Bogotá.

### 10.1.2 MICRO MODELACIÓN PARA EL ESCENARIO ACTUAL

Con el propósito de analizar el desempeño operativo de la red vial en la zona de influencia del proyecto, se desarrolló un modelo de micro simulación para el escenario actual. Este modelo se construyó con base en las demandas de modos motorizados previamente estimadas y tiene como finalidad representar de manera realista las condiciones de circulación, evaluando tanto la operación vehicular como la interacción con los diferentes actores viales. La herramienta utilizada fue el software TransModeler versión 6.1, el cual se apoya en un sistema de información geográfico (SIG) que permite asociar múltiples elementos del tránsito, tales como la red vial y sus características geométricas, el ordenamiento y señalización vial, la programación semafórica y las demandas vehiculares, peatonales y de bicicletas.

La utilización de micro simulación posibilita obtener indicadores representativos del comportamiento del tránsito en la red evaluada, lo cual permite comparar cuantitativamente la situación actual con escenarios futuros bajo distintas condiciones de intervención. En particular, se analizaron parámetros como demoras, velocidades promedio, densidades de flujo y tiempos de viaje, aplicando metodologías reconocidas como el Highway Capacity Manual (HCM, versión 2010) y el modelo de Intersection Capacity Utilization (ICU 2000), ambos incorporados en el software. Adicionalmente, la Tabla 30 presenta la relación de indicadores usuales de medición de niveles de servicio según el tipo de red o intersección, destacándose que, para redes semaforizadas, glorietas e intersecciones de prioridad, el análisis se concentra en los tiempos de demora.

Tabla 30 Indicadores medición.

TIPO DE RED O INTERSECCIÓN	DENSIDAD	VELOCIDAD	DEMORAS
Autopistas	X		
Vías multicarril	X		
Carreteras	X	X	
Rampas	X		
Corredores Urbanos		X	
Redes semaforizadas			X
Intersecciones de Prioridad			X
Glorieta			X

Fuente: Elaboración propia.

El software Transmodeler, funciona a través de un sistema de información geográfico al cual pueden ser asociados los elementos del tránsito tales como red vial y características físicas, ordenamiento vial, señalización y prioridad de la red, planeamiento semafórico y demanda. Permite la evaluación de sistemas de tránsito integrando de manera conjunta, si así se requiere, intersecciones reguladas mediante control semafórico e intersecciones de prioridad glorietas y redes de flujo continuo, utilizando la metodología e indicadores del Manual Americano de Capacidad (HCM) versión año 2010 y/o la metodología del ICU 2000 (Intersection Capacity Utilización) incorporada en el modelo.

Los resultados que se obtendrán proporcionarán información general sobre el desempeño del sistema bajo diferentes condiciones de operación de este. Entre otros, se tendrán datos sobre:

- Recorridos totales, en términos de veh-km/-h.
- Tiempo medio de viaje.
- Velocidades medias del sistema.
- Demoras por período en veh-h/h.
- Demoras en accesos (segundos).

#### **10.1.2.1.1 MATRICES O/D SITUACIÓN ACTUAL**

Para el escenario de año base del proyecto de la Avenida Calle 80, el modelo de micro simulación se alimentó con una matriz origen–destino (O/D) semilla, construida a partir de los volúmenes vehiculares clasificados por movimiento y tipo de vehículo obtenidos en los aforos de campo realizados en las intersecciones del área de influencia.

Inicialmente, con base en los conteos por giro (izquierda, derecha y directos) y su distribución por clase vehicular, se elaboró una matriz O/D asimétrica preliminar, representando la cantidad de viajes entre los distintos accesos de la red modelada. Esta matriz semilla permitió establecer una distribución inicial de flujos coherente con la dirección predominante de los movimientos y con los totales registrados en campo.

Posteriormente, esta matriz semilla fue procesada en el software TransModeler 6.0, utilizando la herramienta O–D Matrix Estimation, la cual ajusta los pares origen–destino mediante un procedimiento iterativo que busca minimizar la diferencia entre los volúmenes simulados y los observados. Durante este proceso se aplicó el método N-Conjugate UE (User Equilibrium), con función de retardo Bureau of Public Roads (BPR), parámetros  $\alpha = 0.15$  y  $\beta = 4.0$ , estableciendo un número máximo de 500 iteraciones y un Relative Gap de 0.0001 como criterio de convergencia. La estimación se realizó bajo la configuración de Multiple Paths, con 50 iteraciones internas y una tolerancia de convergencia de 0.0001, asegurando estabilidad numérica y una adecuada representación de los costos de viaje bajo condiciones de congestión.

El procedimiento se ejecutó de forma iterativa, actualizando la matriz O/D con base en los resultados obtenidos en cada corrida, hasta alcanzar niveles aceptables de correspondencia entre los flujos asignados y los volúmenes observados. Este enfoque

permitió refinar la matriz semilla inicial sin requerir modificaciones manuales extensas, garantizando una convergencia progresiva hacia una distribución realista de la demanda vehicular.

Las matrices resultantes fueron organizadas dentro de la carpeta "3.M2\_CL80\_SP\_V0\MATRICES", correspondiente al archivo de modelación del escenario base.

#### **10.1.2.1.2 PARÁMETROS DE LA RED.**

Para la construcción del modelo de microsimulación se incorporaron múltiples criterios técnicos de parametrización que garantizan una representación realista y coherente del comportamiento vehicular observado en campo. La red se calibró a partir de datos empíricos, características operativas de los corredores y parámetros de comportamiento vehicular ajustados a las condiciones locales del corredor Avenida Calle 80.

En primer lugar, la categorización vial se obtuvo a partir de la plataforma de Datos Abiertos de la Subdirección de Planes de Manejo de Tránsito de la Secretaría Distrital de Movilidad, identificando tres clases funcionales: vías arteriales, intermedias y locales. Cada categoría recibió un tratamiento diferenciado en términos de límites de velocidad, capacidad y comportamiento operacional.

Las velocidades de operación fueron calibradas mediante viajes de reconocimiento en campo, lo que permitió ajustar los valores predeterminados del software a velocidades reales observadas para cada categoría vial, garantizando una representación más precisa de las condiciones actuales del corredor.

En cuanto al comportamiento vehicular, se utilizó el modelo de seguimiento Wiedemann 74, ampliamente empleado en contextos urbanos debido a su capacidad para representar con precisión los procesos de aceleración, desaceleración y las interacciones entre vehículos en condiciones de tráfico mixto. Los parámetros principales aplicados fueron:

- Distancia de parada promedio (AX): 0.50 m
- Distancia de seguridad deseada (BX): 0.50 m + 2.00 m
- Distancia máxima de seguimiento (SDX): 0.50 m + 1.00 m
- Parámetro de cierre (CX): 1.00 m
- Diferencia de velocidad creciente (OPDV): 1.00 m
- Tasa máxima de deceleración (BMIN): -1.00 m

Adicionalmente, se incorporaron valores aleatorios normalizados para representar la variabilidad Inter conductores, permitiendo simular distintas percepciones de distancia, niveles de agresividad y variaciones en la respuesta al frenado.

Los umbrales de headway se definieron en un rango uniforme de 0.04 a 1.40 segundos para el 100 % de los conductores, asegurando consistencia en la calibración del comportamiento de seguimiento vehicular. Asimismo, se estableció una distancia de

parada de 0.1 m para vehículos livianos y 0.2 m para vehículos pesados, con una desviación estándar común de 0.1 m.

En el caso particular del modo motocicletas, se implementó una parametrización específica para reproducir su comportamiento real en el corredor. Se habilitó el desplazamiento en paralelo dentro de un mismo carril cuando el ancho lo permite, así como la posibilidad de avanzar entre vehículos en condiciones de congestión moderada. Estas configuraciones reflejan de manera más precisa la dinámica espacial y operativa de este modo de transporte.

Respecto al transporte público, los vehículos padrón fueron empleados como tipología base del SITP, configurando dimensiones, capacidades y velocidades máximas. El sistema de rutas se implementó mediante trayectos con frecuencias expresadas en segundos, de manera que la generación de buses se basa en intervalos regulares. Cuando varias rutas comparten un mismo recorrido geométrico, se representaron como una única ruta con frecuencia equivalente total, dado que en términos de microsimulación el parámetro relevante es el volumen agregado de buses y no la distinción nominal entre rutas.

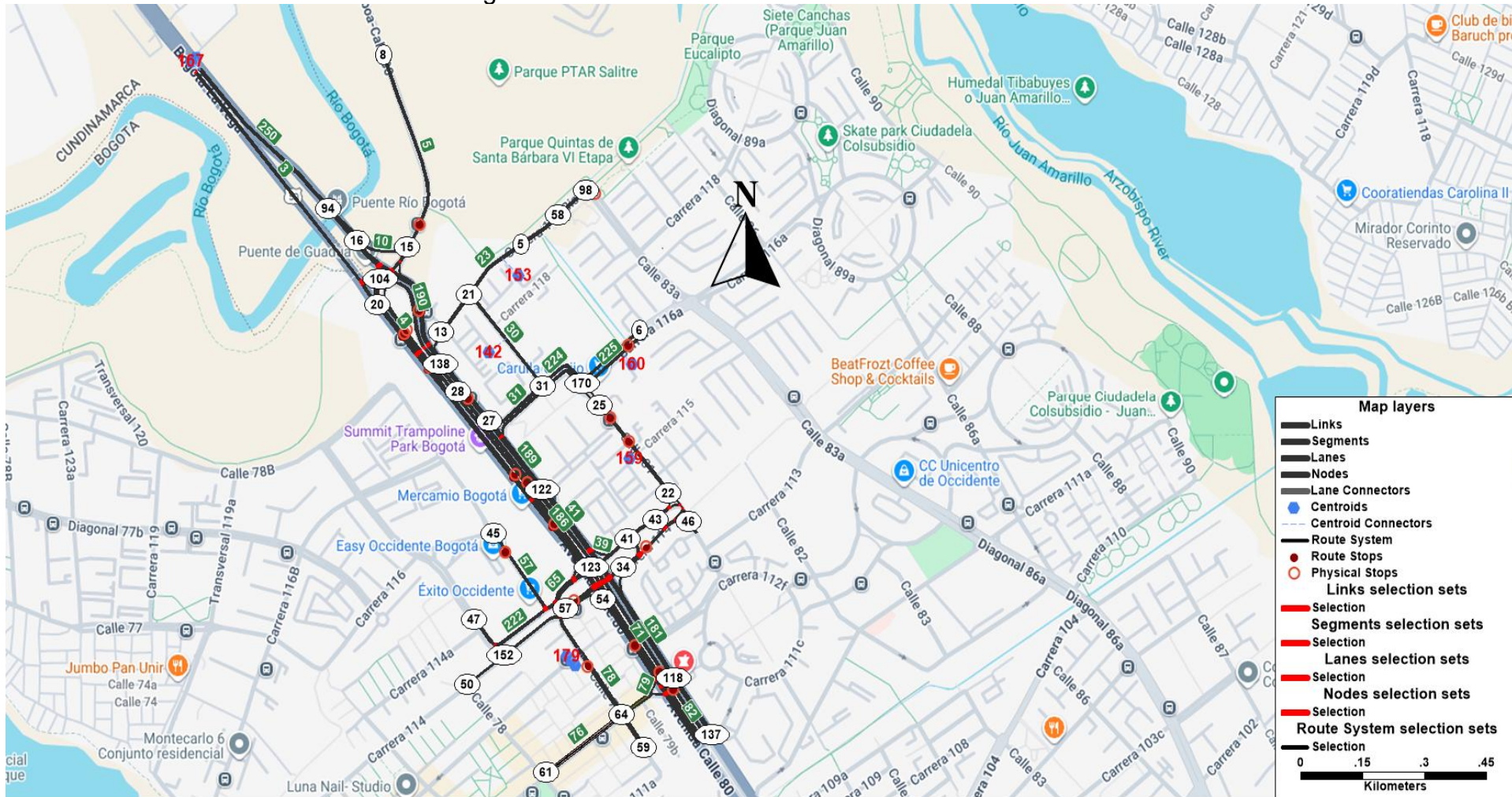
Los paraderos se modelaron con un tiempo de detención de 30 segundos para rutas troncales y zonales, mientras que para rutas de tipo dual se adoptó un tiempo de detención de 60 segundos, consistente con los tiempos reales observados y con la mayor demanda de ascenso y descenso característica de este tipo de servicio.

Finalmente, durante la inicialización del modelo se configuraron los parámetros de precarga mediante el panel Initialization Parameters de TransModeler. Se estableció un intervalo de evaluación de 60 segundos y se definió que la red alcanzaba estabilidad cuando la variación en el número de vehículos fuese menor al 8 % o 5 vehículos respecto al intervalo inmediatamente anterior, y menor al 12 % o 10 vehículos respecto a los dos intervalos previos. Aunque se fijó un tiempo máximo de precarga de 15 minutos, la simulación alcanzó los criterios de estabilidad antes de dicho límite. Esto es consistente con el funcionamiento del software, que analiza continuamente el comportamiento del sistema y finaliza la precarga una vez se verifican las condiciones de estabilidad configuradas.

Los parámetros aplicados —intervalos de evaluación de 60 segundos y umbrales de 8 %/5 vehículos y 12 %/10 vehículos— resultan adecuados para la red analizada, dado que permiten detectar variaciones relevantes sin extender innecesariamente la fase de inicialización. La precarga se completó correctamente y dentro de los valores esperados, asegurando que la red iniciara cada simulación en un estado estable y representativo del régimen operativo real del corredor.

A continuación, se presenta la red de modelación implementada en TransModeler, en la cual se integran todos los parámetros descritos, permitiendo simular con fidelidad las condiciones actuales de operación del corredor y sus intersecciones bajo un marco metodológico coherente y validado.

Figura 10-70 Red de modelación actual.



Fuente: A partir de Micro modelación en Transmodeler – Fondo Google Maps.

### 10.1.2.1.3 Convergencia del modelo

La verificación de la convergencia del modelo se realizó mediante la ejecución de una Batch Simulation compuesta por cinco corridas independientes, cada una configurada con un valor distinto de semilla aleatoria, controladas a través de la herramienta Fix Random Seeds del software TransModeler. Esta función permite asignar números aleatorios específicos al simulador, garantizando que la variabilidad entre corridas refleje únicamente el componente estocástico del comportamiento vehicular, sin afectar la estructura ni los parámetros del modelo.

Los resultados obtenidos de las cinco corridas fueron promediados con el fin de evaluar la estabilidad estadística del modelo en dos dimensiones principales: velocidades de operación y volúmenes vehiculares simulados.

Para el análisis de velocidades, la convergencia se consideró alcanzada cuando se cumplió al menos uno de los siguientes criterios definidos en los lineamientos técnicos:

1. La velocidad promedio simulada difiere en menos del 10 % respecto a la velocidad observada en campo.
2. La velocidad simulada se encuentra dentro del  $\pm 15$  % de la velocidad observada.

En cuanto a los volúmenes, la validación se desarrolló de forma desagregada por tipo de vehículo (automóviles, buses, camiones y motocicletas), aplicando el estadístico GEH a los valores promedio obtenidos de las cinco corridas. Este indicador, reconocido internacionalmente como estándar de comparación entre volúmenes simulados y observados, se evaluó con base en los siguientes cuatro criterios de aceptación:

1. Flujos de arcos individuales.
2. Suma total de flujos por arco.
3. GEH para flujos por arco individual (criterio obligatorio).
4. GEH para la suma de flujos de arco.

De acuerdo con los Lineamientos para Gestionar los Estudios de Tránsito y Transporte (ET) de Instrumentos de Malla Vial, la convergencia del modelo se considera satisfactoria cuando los volúmenes cumplen al menos dos de los cuatro criterios anteriores, siendo de carácter obligatorio el cumplimiento del tercero. Para las velocidades, basta con que se cumpla uno de los dos criterios establecidos.

El cumplimiento simultáneo de estos parámetros confirma que el modelo presenta consistencia interna, estabilidad estadística y representatividad del comportamiento real del sistema vial, garantizando que los resultados obtenidos en las simulaciones son confiables tanto en términos de volúmenes vehiculares como de velocidades de operación para obtener los respectivos indicadores.

#### 10.1.2.1.4 CALIBRACIÓN POR VOLÚMENES

Los datos de entrada del modelo de micro simulación provienen de la matriz de viajes, la cual integra todas las categorías vehiculares aforadas en campo. Con base en estos insumos, se evaluó la consistencia del modelo mediante la comparación entre los volúmenes observados y los flujos vehiculares modelados. Para esta evaluación, se utilizó la herramienta “Sensors” del software TransModeler, la cual permite implementar sensores virtuales sobre los enlaces de la red para registrar de forma segregada la cantidad de vehículos que circulan por cada sección modelada.

Cada sensor instalado en la red contabiliza los vehículos que lo atraviesan, identificando la secuencia de paso entre sensores consecutivos. De esta manera, el programa reconoce y registra los vehículos que transitan, por ejemplo, primero por el sensor 1 y posteriormente por el sensor 2, generando una matriz de conteos por trayectorias sensoriales.

La información registrada por la herramienta Sensors se exportó posteriormente a una tabla que consolida los conteos vehiculares diferenciados por tipología (autos, motos, camiones, transporte público, entre otros). Esta tabla fue incorporada en la hoja denominada “REPORTE\_SENSORES” del archivo de calibración, donde se vincula directamente con las matrices de aforo y los valores observados en campo.

Mediante formulaciones en Excel, los conteos obtenidos de los sensores se transfieren automáticamente a la columna “Flujo Vehicular Modelado” de la hoja de calibración correspondiente a cada tipología vehicular. Con estos valores se calculó el indicador GEH, que permite cuantificar la desviación entre el volumen observado y el volumen simulado, de acuerdo con la ecuación (1). Cuando el error global o ponderado entre los valores observados y modelados es inferior al 15 %-20 %, el modelo se considera adecuadamente calibrado.

$$GEH = \sqrt{\frac{(q_{obs} - q_{sim})^2}{0.5(q_{obs} + q_{sim})}} \quad (1)$$

Donde,

$q_{obs}$  flujo vehicular observado en el periodo considerado

$q_{sim}$  flujo vehicular simulado en el periodo considerado

Tabla 31 Calibración para la tipología autos.

No.	PUNTO - ARCO	FLUJO VEHICULAR OBSERVADO	FLUJO VEHICULAR MODELADO	CALIBRACIÓN GEH		CALIBRACIÓN FLUJOS		
				GEH	ACEPTACIÓN	INT. 1	INT. 2	INT. 3
1	CL 79 X KR 112A Mov 91			1.9	1	1	-	-
2	CL 79 X KR 112A Mov 2			-	-	1	-	-
3	CL 79 X KR 112A Mov 6			-	-	1	-	-
4	CL 79 X KR 112A Mov 92			-	-	1	-	-
5	CL 79 X KR 112A Mov 94			2.4	1	1	-	-
6	CL 79 X KR 112A Mov 4			7.4	0	1	-	-
7	CL 81 X KR 114 Mov 101			9.6	0	1	-	-
8	CL 81 X KR 114 Mov 6			0.9	1	1	-	-
9	CL 81 X KR 114 Mov 102			2.0	1	1	-	-
10	CL 81 X KR 114 Mov 92			4.7	1	1	-	-
11	CL 81 X KR 114 Mov 93			1.7	1	1	-	-
12	CL 81 X KR 114 Mov 4			0.8	1	1	-	-
13	CL 81 X KR 114 Mov 8			2.1	1	1	-	-
14	CL 81 X KR 116A Mov 91			0.9	1	1	-	-
15	CL 81 X KR 116A Mov 5			0.0	1	1	-	-
16	CL 81 X KR 116A Mov 7			2.2	1	1	-	-
17	CL 81 X KR 116A Mov 3			4.9	1	1	-	-
18	CL 81 X KR 116A Mov 94			0.8	1	1	-	-
19	CL 81 X KR 116A Mov 4			2.0	1	1	-	-
20	CL 80A X KR 116B Mov 91			0.0	1	1	-	-
21	CL 80A X KR 116B Mov 101			3.5	1	1	-	-
22	CL 80A X KR 116B Mov 1			0.9	1	1	-	-
23	CL 80A X KR 116B Mov 6			1.4	1	1	-	-
24	CL 80A X KR 116B Mov 102			-	-	1	-	-
25	CL 80A X KR 116B Mov 2			0.0	1	1	-	-
26	CL 80A X KR 116B Mov 7			0.0	1	1	-	-
27	CL 80A X KR 116B Mov 93			0.0	1	1	-	-
28	CL 80A X KR 119 Mov 5			0.0	1	1	-	-
29	CL 80A X KR 119 Mov 2			-	-	1	-	-
30	CL 80A X KR 119 Mov 92			0.2	1	1	-	-
31	CL 80A X KR 119 Mov 94			0.0	1	1	-	-
32	CL 80A X KR 119 Mov 8			-	-	1	-	-
33	CL 78B X KR 114 Mov 1			1.1	1	1	-	-
34	CL 78B X KR 114 Mov 2A			4.0	1	1	-	-
35	CL 78B X KR 114 Mov 2			0.2	1	1	-	-
36	CL 78B X KR 114 Mov 7			0.0	1	1	-	-
37	CL 78B X KR 114 Mov 7A			0.5	1	1	-	-
38	CL 78B X KR 114 Mov 93			1.7	1	1	-	-
39	CL 80 X KR 120 Mov 91			1.6	1	1	-	-
40	CL 80 X KR 120 Mov 5			1.2	1	1	-	-
41	CL 80 X KR 120 Mov 5A			0.6	1	1	-	-
42	CL 80 X KR 120 Mov 103			0.5	1	1	-	-
43	CL 80 X KR 120 Mov 3			0.8	1	1	-	-
44	CL 80 X KR 120 Mov 3A			3.0	1	-	1	-
45	CL 80 X KR 120 Mov 94			0.1	1	1	-	-
46	CL 80 X KR 120 Mov 4A			2.8	1	-	1	-
47	CL 80 X KR 120 Mov 104			-	-	1	-	-
48	CL 80 X KR 119 Mov 3			10.7	0	0	-	-
49	CL 80 X KR 119 Mov 3A			3.2	1	-	1	-
50	CL 80 X KR 119 Mov 94			1.3	1	1	-	-
51	CL 80 X KR 119 Mov 4A			9.6	0	-	0	-
52	CL 80 X KR 119 Mov 4			-	-	1	-	-
53	CL 80 X KR 114 Mov 91			11.4	0	1	-	-
54	CL 80 X KR 114 Mov 1			2.9	1	1	-	-
55	CL 80 X KR 114 Mov 2			0.0	1	1	-	-
56	CL 80 X KR 114 Mov 102			2.7	1	1	-	-
57	CL 80 X KR 114 Mov 6			1.4	1	1	-	-



No.	PUNTO - ARCO	FLUJO VEHICULAR OBSERVADO	FLUJO VEHICULAR MODELADO	CALIBRACIÓN GEH		CALIBRACIÓN FLUJOS		
				GEH	ACEPTACIÓN	INT. 1	INT. 2	INT. 3
21	CL 80A X KR 116B Mov 101			-	-	1	-	-
22	CL 80A X KR 116B Mov 1			1.1	1	1	-	-
23	CL 80A X KR 116B Mov 6			-	-	1	-	-
24	CL 80A X KR 116B Mov 102			-	-	1	-	-
25	CL 80A X KR 116B Mov 2			-	-	1	-	-
26	CL 80A X KR 116B Mov 7			0.0	1	1	-	-
27	CL 80A X KR 116B Mov 93			0.0	1	1	-	-
28	CL 80A X KR 119 Mov 5			0.0	1	1	-	-
29	CL 80A X KR 119 Mov 2			-	-	1	-	-
30	CL 80A X KR 119 Mov 92			0.0	1	1	-	-
31	CL 80A X KR 119 Mov 94			0.0	1	1	-	-
32	CL 80A X KR 119 Mov 8			-	-	1	-	-
33	CL 78B X KR 114 Mov 1			1.4	1	1	-	-
34	CL 78B X KR 114 Mov 2A			3.5	1	1	-	-
35	CL 78B X KR 114 Mov 2			0.3	1	1	-	-
36	CL 78B X KR 114 Mov 7			2.0	1	1	-	-
37	CL 78B X KR 114 Mov 7A			1.7	1	1	-	-
38	CL 78B X KR 114 Mov 93			0.6	1	1	-	-
39	CL 80 X KR 120 Mov 91			0.0	1	1	-	-
40	CL 80 X KR 120 Mov 5			1.4	1	1	-	-
41	CL 80 X KR 120 Mov 5A			4.0	1	1	-	-
42	CL 80 X KR 120 Mov 103			4.9	1	1	-	-
43	CL 80 X KR 120 Mov 3			0.5	1	1	-	-
44	CL 80 X KR 120 Mov 3A			1.5	1	1	-	-
45	CL 80 X KR 120 Mov 94			0.1	1	1	-	-
46	CL 80 X KR 120 Mov 4A			2.4	1	1	-	-
47	CL 80 X KR 120 Mov 104			-	-	1	-	-
48	CL 80 X KR 119 Mov 3			0.4	1	1	-	-
49	CL 80 X KR 119 Mov 3A			0.4	1	1	-	-
50	CL 80 X KR 119 Mov 94			0.8	1	1	-	-
51	CL 80 X KR 119 Mov 4A			2.2	1	1	-	-
52	CL 80 X KR 119 Mov 4			-	-	1	-	-
53	CL 80 X KR 114 Mov 91			1.5	1	1	-	-
54	CL 80 X KR 114 Mov 1			0.5	1	1	-	-
55	CL 80 X KR 114 Mov 2			1.4	1	1	-	-
56	CL 80 X KR 114 Mov 102			0.1	1	1	-	-
57	CL 80 X KR 114 Mov 6			-	-	1	-	-
58	CL 80 X KR 114 Mov 6A			-	-	1	-	-
59	CL 80 X KR 114 Mov 92			0.0	1	1	-	-
60	CL 80 X KR 114 Mov 3			0.7	1	1	-	-
61	CL 80 X KR 114 Mov 3A			1.2	1	1	-	-
62	CL 80 X KR 114 Mov 93			1.2	1	1	-	-
63	CL 80 X KR 114 Mov 94			0.1	1	1	-	-
64	CL 80 X KR 114 Mov 4A			0.2	1	1	-	-
65	CL 80 X KR 114 Mov 4			0.1	1	1	-	-
66	CL 79 X KR 114 Mov 91'			0.2	1	1	-	-
67	CL 79 X KR 114 Mov 101'			0.5	1	1	-	-
68	CL 79 X KR 114 Mov 5'			0.8	1	1	-	-
69	CL 79 X KR 114 Mov 6'			1.0	1	1	-	-
70	CL 79 X KR 114 Mov 92B'			0.7	1	1	-	-
71	CL 79 X KR 114 Mov 92A'			-	-	1	-	-
72	CL 79 X KR 114 Mov 92'			-	-	1	-	-
73	CL 79 X KR 114 Mov 94'			0.8	1	1	-	-
74	CL 80 X KR 116B Mov 91			0.8	1	1	-	-
75	CL 80 X KR 116B Mov 3			0.7	1	1	-	-
76	CL 80 X KR 116B Mov 3A			3.1	1	1	-	-
77	CL 80 X KR 116B Mov 94			-	-	1	-	-
78	CL 80 X KR 116B Mov 4A			1.8	1	1	-	-
79	CL 80 X KR 116B Mov 4			0.1	1	1	-	-
80	CL 80 X KR 112A Mov 92			0.0	1	1	-	-
81	CL 80 X KR 112A Mov 3			0.7	1	1	-	-
82	CL 80 X KR 112A Mov 3A			0.6	1	1	-	-
83	CL 80 X KR 112A Mov 93			0.2	1	1	-	-
84	CL 80 X KR 112A Mov 4A			0.2	1	1	-	-
85	CL 80 X KR 112A Mov 4			0.0	1	1	-	-





Tabla 34 Velocidades observadas en campo.

VELOCIDADES AM																		
TRAMO	SENTIDO	RECORRIDO	DISTANCIA (Km)	PASO 1	LLEGADA 1	TIEMPO 1	VELOCIDAD 1	PASO 2	LLEGADA 2	TIEMPO 2	VELOCIDAD 2	PASO 3	LLEGADA 3	TIEMPO 3	VELOCIDAD 3	PROMEDIO TIEMPO	TIEMPO (h)	VELOCIDAD PROMEDIO
1	E-W	Av. Calle 80 (Carrera 102 - Carrera 120 - 480m al Occidente)	2.3	5:40:45	5:53:10	0:12:25	11.11	6:12:16	6:25:52	0:13:36	10.15	6:47:13	7:01:35	0:14:22	9.61	0:13:28	0.22	10.25
	W-E	Av. Calle 80 (Carrera 102 - Carrera 120 - 480m al Occidente)	2.3	5:17:28	5:28:01	0:10:33	13.08	5:58:22	6:08:50	0:10:28	13.18	6:32:05	6:46:43	0:14:38	9.43	0:11:53	0.20	11.61
2	S-N	Conexión Lisboa - Calle 80 - Carrera 120 (Calle 80 - Calle 80 - 900m al Norte)	0.9	5:16:41	5:22:10	0:05:29	9.85	6:21:34	6:30:16	0:08:42	6.21	6:51:16	6:54:54	0:03:38	14.86	0:05:56	0.10	9.09
	N-S	Conexión Lisboa - Calle 80 - Carrera 120 (Calle 80 - Calle 80 - 900m al Norte)	0.9	5:22:13	5:25:03	0:02:50	19.06	6:16:41	6:19:51	0:03:10	17.05	6:47:29	6:50:34	0:03:05	17.51	0:03:02	0.05	17.83
3	S-N	Carrera 119 (Calle 80 - Calle 83A) S-N	0.5	5:28:07	5:31:19	0:03:12	9.38	6:19:24	6:21:27	0:02:03	14.63	6:52:03	6:55:43	0:03:40	8.18	0:02:58	0.05	10.09
	N-S	Carrera 119 (Calle 83A - Calle 80A) N-S	0.35	5:35:07	5:37:02	0:01:55	10.96	6:24:16	6:26:31	0:02:15	9.33	6:53:27	6:56:49	0:03:22	6.24	0:02:31	0.04	8.36

Fuente: A partir de toma de información en campo realizada.

Figura 10-71 Velocidades de la red a partir de la modelación realizada.



Fuente: A partir de Micro modelación en Transmodeler.

Tabla 35 Calibración de velocidad realizada.

No.	PUNTO - ARCO	VELOCIDAD OBSERVADA	VELOCIDAD RESULTANTE MODELO	CALIBRACIÓN ALT 1		CALIBRACIÓN ALT 2	
				DIFERENCIA	ACEPTACIÓN	DIFERENCIA	ACEPTACIÓN
1	Av. Calle 80 (Carrera 112A - Carrera 120 - 480m al Occidente)	10.25	11.79	1.5	0	1.5	1
2	Av. Calle 80 (Carrera 112A - Carrera 120 - 480m al Occidente)	11.61	10.68	0.9	1	0.9	1
3	Conexión Lisboa - Calle 80 - Carrera 120 ( Calle 80 - Calle 80 - 900m al Norte)	9.09	9.37	0.3	1	0.3	1
4	Conexión Lisboa - Calle 80 - Carrera 120 ( Calle 80 - Calle 80 - 900m al Norte)	17.83	16.05	1.8	1	1.8	1
5	Carrera 119 (Calle 80 - Calle 83A) S-N	10.09	9.39	0.7	1	0.7	1
6	Carrera 119 (Calle 83A - Calle 80A) N-S	8.36	9.28	0.9	0	0.9	1

**67%**  
**% ACEPTACIÓN ALT. 1**

**100%**  
**% ACEPTACIÓN ALT. 2**

✘	<b>1</b>	<b>Velocidad promedio relativa a lo observado (10%)</b>
✔	<b>2</b>	<b>Velocidad dentro del 15% de la velocidad observada</b>

Fuente: A partir de Micro modelación en Transmodeler.

### 10.1.2.1.6 INDICADORES DE SERVICIO SITUACIÓN SIN PROYECTO AÑO 2024

La siguiente tabla muestra los principales indicadores operativos obtenidos a partir del modelo de micro simulación, permitiendo caracterizar el desempeño de los viajes terminados, los que permanecen en red y aquellos que se encuentran en condición de cola. Estos indicadores reflejan de manera integral las condiciones de movilidad bajo el escenario evaluado, incluyendo métricas asociadas al uso de la red vial, niveles de demoras, tiempos detenidos, desempeño de velocidad y comportamiento de parada de los vehículos.

Tabla 36 Indicadores de red para la situación actual.

	Numero	VKT (Km)	Tiempo Total (h)	Demora Total (h)	Tiempo Detenido (h)	Numero Paradas	Longitud Media del Viaje (km)	Tiempo Medio de Viajes (min)	Velocidad Media (km/h)	Tiempo Medio Detenido (min)
Terminados	8,718	-	1,117	536	423	84,090	1.7	7.7	12.1	2.91
En red	3,386	-	263	191	101	9,741	0.5	4.7	8.3	1.79
En Cola	167									
Total/Media	12271						1.4	6.8	11.0	2.6
% En cola	1.36									

Fuente: A partir de Micro modelación en Transmodeler.

Los viajes terminados, que representan 8.718 movimientos dentro del escenario simulado, evidencian un comportamiento típico de una red urbana con altos niveles de fricción operacional. Aunque no se incluye el VKT correspondiente, los indicadores asociados muestran que el tiempo total acumulado fue de 1.117 horas, de las cuales 536 horas corresponden a demora y 423 horas a tiempo detenido. Esto significa que una proporción importante del recorrido se realizó en condiciones de velocidad reducida o completamente detenido. La longitud media de los viajes es de apenas 1.7 km y el tiempo promedio para completarlos es de 7.7 minutos, lo que da como resultado una velocidad media de 12.1 km/h. Además, los vehículos experimentaron un tiempo detenido promedio de 2.91 minutos, lo que confirma una operación lenta, caracterizada por una alta frecuencia de paradas 84.090 en total debido a intersecciones semaforizadas, congestión localizada o maniobras propias del entorno.

En cuanto a los vehículos que permanecieron en la red al finalizar la simulación, que suman 3.386, su comportamiento evidencia todavía más claramente las restricciones de capacidad del sistema. Estos vehículos acumularon 263 horas de demora y 191 horas de tiempo detenido, lo que se relaciona con la imposibilidad de completar sus recorridos debido a condiciones de saturación en ciertos tramos. Su longitud media de viaje es de solo 0.5 km, reflejando que la mayoría se encuentra atrapada en segmentos congestionados sin lograr avanzar significativamente. El tiempo promedio recorrido es de 4.7 minutos con una velocidad media de 8.3 km/h y un tiempo detenido promedio de 1.79 minutos, valores que demuestran un estado operativo más crítico que el observado para los viajes completados.

Por su parte, la simulación registra 167 vehículos en condición de cola, equivalentes al 1.36% del total. Aunque la proporción es relativamente baja, su presencia indica la existencia de cuellos de botella específicos en la red que no lograron resolverse dentro del periodo simulado. Estos puntos críticos suelen tener un impacto desproporcionado sobre el desempeño general, ya que generan tiempos detenidos prolongados y afectan las velocidades de operación en los alrededores.

Al observar los valores promedios para toda la red, se obtiene una longitud media de viaje de 1.4 km, un tiempo promedio de 6.8 minutos, una velocidad promedio global de 11 km/h y un tiempo detenido de 2.6 minutos. Estos indicadores consolidan la lectura general del sistema: se trata de una red que opera bajo condiciones propias de zonas urbanas saturadas o cercanas a la saturación, donde la interacción constante entre vehículos, las intersecciones semaforizadas y la demanda elevada generan disminuciones sostenidas en la velocidad y aumentos importantes en los niveles de demora.

En conjunto, los resultados muestran que la red presenta un desempeño comprometido, con tiempos elevados de pérdida por fricción operacional y evidencia de segmentos donde la demanda supera o iguala la capacidad efectiva. La presencia de viajes no completados y de colas residuales refuerza la necesidad de considerar estrategias de optimización tales como mejoras en coordinación semafórica, gestión de flujos, control adaptativo, redistribución de cargas o intervenciones físicas en puntos críticos.

**Tabla 37 Nivel de servicio de las diferentes intersecciones.**

Acceso	VOLUMEN VEH MIXTOS	DEMORA PROMEDIO (s)	NIVEL DE SERVICIO	TIPO
Avenida Calle 80 x Carrera 112A				
Occidente Rapida	944	13	B	Semaforizada
Occidente Lenta	2623	4	A	
Oriente Rapida	1689	19	B	
Oriente Lenta	1316	24	C	
Total	6572	13.2	B	
Avenida Calle 80 x Carrera 114				
Occidente Rapida	944	13	B	Semaforizada
Occidente Lenta	2460	6	A	
Oriente Rapida	1689	19	B	
Oriente Lenta	1316	24	C	
Norte	532	24	C	
Sur	734	112	F	
Total	7675	24.1	C	
Avenida Calle 80 x Carrera 115				
Occidente Rapida	937	13	B	Semaforizada
Occidente Lenta	3021	28	C	

Oriente Rápida	1703	30	C	
Oriente Lenta	1316	24	C	
Total	6976.4	25.8	D	
Acceso	VOLUMEN VEH MIXTOS	DEMORA PROMEDIO (s)	NIVEL DE SERVICIO	TIPO
	Avenida Calle 80 x Carrera 119			Semaforizada
Occidente Rápida	541	12	B	
Occidente Lenta	3428	46	D	
Oriente Rápida	28	53	D	
Oriente Lenta	3289	21	C	
Total	7285	32.0	D	
Acceso	VOLUMEN VEH MIXTOS	DEMORA PROMEDIO (s)	NIVEL DE SERVICIO	
	Avenida Calle 80 x Carrera 120			Semaforizada
Retorno	71	20	B	
Oriente antes Carrera 120	2895	10	A	
Oriente despues Carrera 120	2892	0	A	
Norte	974	188	F	
Total	6831	31.3	D	

Fuente: A partir de Micro modelación en Transmodeler.

La intersección de Avenida Calle 80 con Carrera 112A presenta un comportamiento predominantemente favorable, con un volumen total de 6.572 vehículos y una demora promedio de 13,2 s correspondiente a un Nivel de Servicio B. Los accesos de Occidente Rápida y Oriente Rápida registran demoras moderadas (13 s y 19 s respectivamente) clasificadas como LOS B, mientras que Occidente Lenta se comporta de manera más eficiente con 4 s (LOS A). El acceso más crítico es Oriente Lenta, con 24 s de demora y un Nivel C, aunque aún dentro de condiciones aceptables. En general, esta intersección funciona de manera estable, sin evidencias de congestión significativa.

En la intersección de Calle 80 con Carrera 114 se observa un deterioro notorio del desempeño, alcanzando un volumen total de 7.675 vehículos y una demora promedio de 24,1 s que la ubica en Nivel de Servicio C. Aunque los accesos principales de la 80 se mantienen entre LOS A, B y C, el acceso Sur se convierte en el punto crítico, con una demora de 112 s y un Nivel de Servicio F, lo que evidencia una sobresaturación puntual asociada posiblemente a retornos, movimientos secundarios o tiempos semafóricos insuficientes. Este acceso afecta el balance global de la intersección y refleja la necesidad de ajustes específicos en su fase semafórica.

La intersección de Calle 80 con Carrera 115 muestra una operación más comprometida, con un total de 6.976 vehículos y una demora promedio de 25,8 s que la ubica en un Nivel de Servicio D. Los accesos lentos de Occidente y Oriente presentan demoras elevadas (28 s y 24–30 s respectivamente), todas clasificadas en Nivel C. El comportamiento revela que la carga vehicular de los carriles lentos está generando pérdidas de eficiencia debido a tiempos de verde insuficientes o saturación de la capacidad. Aunque los accesos rápidos operan razonablemente, el impacto de los accesos lentos arrastra el desempeño general a un nivel menos favorable.

En la intersección con Carrera 119 se identifica uno de los escenarios más críticos. El volumen total asciende a 7.285 vehículos y la demora promedio alcanza los 32 s, ubicándose también en Nivel de Servicio D. Destaca particularmente el comportamiento de los accesos Occidente Lenta y Oriente Rápida, con demoras de 46 s y 53 s respectivamente, ambos clasificados como Nivel D, lo que evidencia condiciones de saturación en estos movimientos. Aunque Oriente Lenta opera mejor (21 s, Nivel C), el rendimiento global se ve marcado por la acumulación de demoras en los accesos que concentran mayor demanda.

Finalmente, la intersección de Avenida Calle 80 con Carrera 120 exhibe condiciones mixtas. Con un volumen total de 6.831 vehículos y una demora promedio de 31,3 s, alcanza también un Nivel de Servicio D. Los accesos desde Oriente presentan un comportamiento muy eficiente (10 s y 0 s, Nivel A), lo que indica adecuada asignación de verde para los flujos principales. No obstante, el acceso Norte presenta una demora extremadamente alta de 188 s y un Nivel de Servicio F, evidenciando una sobresaturación severa. Este acceso puntual es el responsable de elevar la demora promedio total, siendo claramente un punto crítico que requiere intervención.

En conjunto, el análisis revela que el corredor de la Calle 80 presenta una operación progresivamente más demandante hacia el oriente, donde varios accesos secundarios y lentos muestran altos niveles de demora asociados a saturación, tiempos semafóricos insuficientes o interacciones complejas con flujos peatonales y giros. La condición recurrente de LOS D en varias intersecciones y la presencia de accesos aislados con LOS F indican la necesidad de ajustes en coordinación, redistribución de tiempos de verde, priorización por demanda y posiblemente intervenciones físicas o de gestión para reducir las colas y mejorar la eficiencia global del corredor.

**Tabla 38 Colas generadas en la red.**

Avenida Calle 80 x Carrera 112A	Longitud de cola promedio (m)	Promedio de vehículos en cola	Longitud de cola máxima (m)	Cantidad de vehículos máxima en cola
Occidente Rapida	14.8	46.6	15.3	15.3
Occidente Lenta	28.4	177.4	57.6	57.6
Oriente Rapida	23.8	57.1	29.1	29.1
Oriente Lenta	22.0	70.2	35.2	35.2
Avenida Calle 80 x Carrera 114	Longitud de cola promedio (m)	Promedio de vehículos en cola	Longitud de cola máxima (m)	Cantidad de vehículos máxima en cola
Occidente Rapida	14.8	46.6	15.3	15.3
Occidente Lenta	28.4	177.4	57.6	57.6
Oriente Rapida	23.8	57.1	29.1	29.1
Oriente Lenta	22.0	70.2	35.2	35.2
Norte	17.8	84.1	24.6	24.6
Sur	134.8	362.9	107.1	107.1
Avenida Calle 80 x Carrera 115	Longitud de cola promedio (m)	Promedio de vehículos en cola	Longitud de cola máxima (m)	Cantidad de vehículos máxima en cola
Occidente Rapida	8.6	49.8	13.0	13.0
Occidente Lenta	34.0	152.3	71.1	71.1

Oriente Rapida	25.6	113.3	30.0	30.0
Oriente Lenta	6.2	75.3	2.3	2.3
Avenida Calle 80 x Carrera 119	Longitud de cola promedio (m)	Promedio de vehículos en cola	Longitud de cola máxima (m)	Cantidad de vehículos máxima en cola
Occidente Rapida	1.6	19.5	1.1	1.1
Occidente Lenta	200.0	780.9	154.4	154.4
Oriente Rapida	0.2	2.5	0.1	0.1
Oriente Lenta	62.4	197.0	33.6	33.6
Avenida Calle 80 x Carrera 120	Longitud de cola promedio (m)	Promedio de vehículos en cola	Longitud de cola máxima (m)	Cantidad de vehículos máxima en cola
Retorno	3.4	17.1	2.4	2.4
Oriente antes Carrera 120	2.4	13.7	0.5	0.5
Oriente despues Carrera 120	0.8	3.3	0.1	0.1
Norte	124.4	491.4	123.9	123.9

Fuente: A partir de Micro modelación en Transmodeler.

La intersección de la Avenida Calle 80 con Carrera 112A presenta colas moderadas y relativamente estables. Los accesos principales mantienen longitudes de cola promedio entre 14,8 m y 28,4 m, siendo el acceso de Occidente Lenta el más cargado tanto en longitud promedio como en número de vehículos retenidos, con 177 vehículos promedio y un máximo de 57,6. Este comportamiento refleja una demanda elevada en los carriles lentos del corredor, aunque todavía dentro de un rango manejable y sin evidencia de saturación extrema. Las colas máximas por acceso no superan los 60 m, lo que confirma que la operación en esta intersección permanece controlada y sin riesgos de bloqueo de intersecciones adyacentes.

En la intersección de la Avenida Calle 80 con Carrera 114 se observa un incremento significativo en la formación de colas, especialmente en el acceso Sur, donde la longitud promedio alcanza 134,8 m y el número promedio de vehículos en cola supera los 360, con un máximo superior a 107 vehículos. Este comportamiento evidencia una sobresaturación marcada del movimiento sur, probablemente asociada a un giro no prioritario o un acceso con tiempos de verde insuficientes. Por su parte, los accesos lentos y rápidos mantienen valores similares a los de la intersección anterior, lo que indica que la criticidad está claramente focalizada en el acceso Sur. Esta concentración de colas sugiere la necesidad de ajustes puntuales de fase o incremento del tiempo efectivo de verde para mitigar la acumulación a lo largo del ciclo.

Una condición similar, pero menos severa, se presenta en la intersección con Carrera 115, donde el acceso de Occidente Lenta vuelve a mostrar una ocupación elevada, con colas promedio de 34 m y hasta 71 vehículos en máxima acumulación. El acceso de Oriente Rápida también muestra colas promedio altas (113 vehículos), aunque con longitudes físicas moderadas, lo cual puede estar asociado a la presencia de vehículos cortos o alta densidad en los carriles disponibles. En general, esta intersección muestra un patrón recurrente del corredor: los carriles lentos concentran la mayor proporción de detención, mientras que los carriles rápidos mantienen colas pequeñas y tiempos de

vaciado adecuados. Aunque la situación no alcanza niveles críticos, sí evidencia presión operacional creciente hacia el oriente del corredor.

El punto más crítico de todo el corredor se identifica en la intersección de la Calle 80 con Carrera 119. En este caso, el acceso Occidente Lenta presenta una longitud de cola promedio de 200 m, con acumulaciones máximas de hasta 154 m y cerca de 781 vehículos promedio en cola, valores que caracterizan un estado de saturación severa. Este comportamiento refleja un desequilibrio importante entre oferta de tiempos semafóricos y demanda, posiblemente agravado por interacciones con accesos secundarios, giros o restricciones geométricas en la zona. El acceso Oriente Lenta también presenta valores elevados (62 m y hasta 33 vehículos), lo que consolida esta intersección como un punto de congestión estructural dentro del corredor. El acceso rápido en sentido oriente prácticamente no presenta colas, lo cual evidencia una marcada asimetría entre los flujos y un reparto de verde poco equilibrado.

Finalmente, en la intersección con Carrera 120 se mantiene la tendencia de criticidad en accesos secundarios. El acceso Norte exhibe una cola promedio de 124 m con una demanda retenida superior a 491 vehículos promedio, alcanzando colas máximas superiores a los 123 m. Este comportamiento destaca nuevamente la existencia de un movimiento puntual altamente penalizado por la asignación semafórica actual. Los accesos desde el oriente, en contraste, presentan colas mínimas entre 0,8 m y 2,4 m lo que sugiere una operación muy eficiente para los flujos principales de la 80.

### **10.1.3 ASIGNACIÓN MODOS DE OPERACIÓN ZONA DE ESTUDIO**

La asignación de modos de operación en la zona de estudio se desarrolla a partir de la metodología definida, la cual contempla un proceso estructurado en cinco pasos. Este enfoque metodológico permite garantizar que la decisión final sobre el modo de operación de cada intersección responda a criterios de demanda vehicular, variabilidad horaria, condiciones de seguridad vial y coherencia con los sistemas de transporte público que confluyen en el corredor.

El procedimiento asegura que cada paso se articule de forma lógica y secuencial, desde la clasificación inicial de las intersecciones hasta la coordinación integral del corredor. De esta manera, la aplicación de la metodología no solo aporta rigurosidad técnica, sino que también proporciona un marco de referencia para la toma de decisiones operativas que responda a las necesidades actuales y futuras del sistema vial.

### 10.1.3.1 PASO 1

En una primera etapa se clasifica la operación de cada intersección con base en el grado de saturación (V/C). Este parámetro permite identificar si la intersección se encuentra en condiciones de operación fluidas, críticas o colapsadas.

La herramienta de selección asociada parte de la lógica de que intersecciones no saturadas o medianamente saturadas pueden gestionarse mediante programaciones horarias fijas, mientras que aquellas en estado saturado o sobresaturado requieren esquemas responsivos, capaces de ajustarse a la demanda en tiempo real.

Tabla 39. Iteración 1

Grado de saturación	Valor del parámetro	Herramienta de selección
No saturada	Menor que 0.5	Selección horaria
Medianamente saturada	Entre 0.5 y 0.7	Selección horaria
Saturada	Entre 0.7 y 1.0	Selección responsiva
Sobresaturada	Mayor que 1.0	Selección responsiva

Para determinar los valores de V/C, se aplicó la metodología desarrollada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia (2002), la cual establece la relación entre el flujo de saturación (S), el ancho de calzada, y la composición vehicular.

Dicha metodología permitió estimar el flujo de saturación mediante funciones empíricas específicas por zona; para la zona norte de pendiente suave, la relación empleada fue:

$$S = 443.84 * (A_c)^{0.9897}$$

donde:

- S = flujo de saturación [veh–equiv/h/carril]
- Ac = ancho del carril [m]

Los valores de S obtenidos se contrastaron con los flujos equivalentes horarios  $V_{eq}$  por acceso, generando las ratios V/C y permitiendo identificar las condiciones operativas predominantes.

Con base en estos resultados se determinó el porcentaje de tiempo en que cada acceso opera bajo condición no saturada, medianamente saturada, saturada o sobresaturada, tal como se presenta en la Tabla 40:

Tabla 40 Clasificación por acceso según grado de saturación.

ID	ACCESO	% No Saturada	% Medianamente Saturada	% Saturada	% Sobresaturada	Hora Crítica
1	NORTE	100	0	0	0	06:00-07:00
1	OCCIDENTE	100	0	0	0	13:00-14:00
1	OCCIDENTE L	29.17	33.33	37.5	0	06:00-07:00
1	OCCIDENTE R	100	0	0	0	16:00-17:00
1	ORIENTE	100	0	0	0	08:00-09:00
1	ORIENTE L	29.17	41.67	29.17	0	07:00-08:00
2	OCCIDENTE L	29.17	41.67	29.17	0	06:00-07:00
2	OCCIDENTE R	100	0	0	0	16:00-17:00
2	ORIENTE L	29.17	50	20.83	0	07:00-08:00
2	ORIENTE R	100	0	0	0	08:00-09:00
3	NORTE	100	0	0	0	18:00-19:00
3	OCCIDENTE L	95.83	4.17	0	0	08:00-09:00
3	OCCIDENTE R	95.83	4.17	0	0	06:00-07:00
3	ORIENTE L	100	0	0	0	13:00-14:00
3	ORIENTE R	100	0	0	0	06:00-07:00
3	SUR	100	0	0	0	16:00-17:00
4	NORTE	100	0	0	0	06:00-07:00
4	OCCIDENTE L	92.31	7.69	0	0	08:00-09:00
4	OCCIDENTE R	92.31	7.69	0	0	06:00-07:00
4	ORIENTE L	100	0	0	0	06:00-07:00
4	ORIENTE R	100	0	0	0	06:00-07:00
5	OCCIDENTE L	100	0	0	0	08:00-09:00
5	OCCIDENTE R	92.31	7.69	0	0	06:00-07:00

ID	ACCESO	% No Saturada	% Medianamente Saturada	% Saturada	% Sobresaturada	Hora Crítica
5	ORIENTE L	46.15	53.85	0	0	14:00-15:00
5	ORIENTE R	100	0	0	0	06:00-07:00
5	SUR	100	0	0	0	06:00-07:00

Fuente: Elaboración propia a partir V/C.

Posteriormente, se consolidaron los conteos de periodos en cada categoría operativa, agrupando la información por intersección y acceso. El resultado se presenta en la Tabla 41, que permite visualizar la distribución de las condiciones de saturación dentro del corredor Calle 80.

Tabla 41 Conteo de periodos según nivel de saturación.

Ubicación/Acceso	Medianamente saturada	No saturada	Saturada
<b>CL 80 X KR 112A</b>	<b>8</b>	<b>57</b>	
OCCIDENTE L	0	13	0
OCCIDENTE R	1	12	0
ORIENTE L	7	6	0
ORIENTE R	0	13	0
SUR	0	13	0
<b>CL 80 X KR 114</b>	<b>2</b>	<b>142</b>	<b>0</b>
NORTE	0	24	0
OCCIDENTE L	1	23	0
OCCIDENTE R	1	23	0
ORIENTE L	0	24	0
ORIENTE R	0	24	0
SUR	0	24	0
<b>CL 80 X KR 116B</b>	<b>2</b>	<b>63</b>	<b>0</b>
NORTE	0	13	0
OCCIDENTE L	1	12	0
OCCIDENTE R	1	12	0
ORIENTE L	0	13	0
ORIENTE R	0	13	0

Ubicación/Acceso	Medianamente saturada	No saturada	Saturada
<b>CL 80 X KR 119</b>	<b>22</b>	<b>62</b>	<b>12</b>
OCCIDENTE L	10	7	7
OCCIDENTE R	0	24	0
ORIENTE L	12	7	5
ORIENTE R	0	24	0
<b>CL 80 X KR 120</b>	<b>18</b>	<b>110</b>	<b>16</b>
NORTE	0	24	0
OCCIDENTE	0	24	0
OCCIDENTE L	8	7	9
OCCIDENTE R	0	24	0
ORIENTE	0	24	0
ORIENTE L	10	7	7

Fuente: Elaboración propia a partir V/C.

El análisis de resultados muestra que los accesos de la mayoría de las intersecciones alternan entre condiciones de baja y media saturación, reflejando un comportamiento típico de corredores urbanos donde coexisten periodos valle con amplia capacidad remanente y periodos pico con utilización significativa de la infraestructura. En los intervalos de menor demanda particularmente entre las 9:00 y 15:00 h la operación se mantiene con  $V/C < 0.5$ , mientras que en las horas críticas (6:00–8:00 h y 16:00–18:00 h) algunos accesos alcanzan relaciones superiores a 0.7, indicando fases cercanas al límite de capacidad.

Los accesos con mayores niveles de saturación corresponden principalmente a los costados occidente y oriente de las intersecciones CL 80 × KR 119 y CL 80 × KR 120, donde la proporción de periodos saturados supera el 20 %. Estas condiciones evidencian una alta concentración de flujos direccionales en los tramos de conexión entre sectores residenciales y comerciales, además de la influencia de configuraciones geométricas con uno o dos carriles efectivos que limitan la capacidad de descarga durante los picos.

En contraste, las intersecciones CL 80 × KR 112A, CL 80 × KR 114 y CL 80 × KR 116B presentan valores de  $V/C$  moderados en todos los accesos, lo que indica que su nivel de utilización se mantiene dentro de rangos aceptables, incluso durante las horas de máxima demanda. Esto sugiere que la saturación observada no se distribuye de manera uniforme a lo largo del corredor, sino que se concentra en puntos específicos donde convergen flujos de alta intensidad.

El análisis del Paso 1 evidencia que el comportamiento operativo del corredor es heterogéneo en el tiempo y el espacio. Las condiciones varían entre accesos y periodos, alternando fases de operación fluida en horas valle con episodios de saturación localizada en los periodos punta. Esta caracterización inicial permite reconocer la existencia de tramos con potencial de congestión recurrente.

### **10.1.3.2 PASO 2**

El segundo paso de la metodología corresponde al análisis de la variabilidad temporal del grado de saturación (V/C) en cada una de las intersecciones evaluadas. Este indicador permite identificar la magnitud de las fluctuaciones operativas que experimenta una intersección a lo largo del día, determinando si su comportamiento es estable o si presenta transiciones significativas entre condiciones de baja, media o alta ocupación. La variabilidad es, por tanto, un criterio fundamental para definir la flexibilidad requerida en los planes de control semafórico.

De acuerdo con los lineamientos metodológicos, la clasificación de la variabilidad se establece considerando el número de periodos horarios en los que la intersección presenta estados de saturación. Se define alta variabilidad cuando se registran dos o más periodos saturados, variabilidad media cuando existe al menos un periodo con saturación, y sin variabilidad cuando todos los periodos se mantienen en condición no saturada. Esta clasificación será determinante en la posterior selección de los modos de operación.

En la Tabla 41 se presenta la cantidad de periodos que registraron condiciones de saturación, medianamente saturación o no saturación para cada acceso e intersección del corredor Calle 80, en el tramo comprendido entre las carreras 112A y 120.

El análisis de los resultados evidencia que, en términos generales, todas las intersecciones presentan cierto grado de variabilidad operativa, lo que refleja una dinámica propia de corredores urbanos con comportamiento no estacionario. Si bien existen diferencias en la magnitud de las fluctuaciones, ninguna intersección mantiene una condición uniforme a lo largo de los periodos evaluados, debido a la coexistencia de horas valle con bajo nivel de ocupación y horas punta donde la demanda se aproxima o supera el umbral de capacidad.

En las intersecciones CL 80 × KR 112A, CL 80 × KR 114 y CL 80 × KR 116B, se observa una variabilidad baja a media, con predominio de periodos no saturados (57, 142 y 63 respectivamente) y solo algunos intervalos medianamente saturados. Estos comportamientos sugieren que la operación en dichas intersecciones se mantiene estable durante la mayor parte del día, presentando únicamente incrementos puntuales en los periodos de máxima demanda principalmente entre las 6:00–8:00 y 16:00–18:00 horas, asociados a los flujos de ingreso y salida del sector residencial y comercial.

Por otro lado, las intersecciones CL 80 × KR 119 y CL 80 × KR 120 evidencian niveles de variabilidad significativamente mayores, con 22 y 18 periodos medianamente saturados y 12 y 16 periodos saturados, respectivamente. Estos valores son indicativos de una alta inestabilidad operativa, en la cual los accesos alternan entre fases de sobrecarga y recuperación a lo largo del día. Los accesos occidente L y oriente L son los más afectados, lo que concuerda con su papel como puntos de conexión entre flujos troncales del corredor y vías locales de alta atracción de tránsito. En estas intersecciones, la ocurrencia recurrente de varios periodos en estado de saturación confirma una demanda fluctuante y sensible a las variaciones horarias, lo que reduce la efectividad de esquemas de tiempos fijos.

Desde una perspectiva metodológica, aunque el análisis de V/C se realiza por acceso, la interpretación y asignación del nivel de variabilidad se consolidan a nivel de intersección, dado que el control semafórico actúa sobre el sistema completo. Así, basta con que uno o más accesos presenten saturación en distintos periodos para que la intersección se clasifique con variabilidad media o alta.

En consecuencia, se concluye que todas las intersecciones del corredor Calle 80 presentan variabilidad temporal, con intensidades que van de moderadas a altas. Esta condición implica que el comportamiento operativo del corredor es fluctuante en el tiempo, alternando entre periodos de amplia capacidad remanente y episodios de saturación localizada. Bajo este escenario, las intersecciones requieren esquemas de control capaces de responder a la dinámica horaria de la demanda. Por lo tanto, a nivel de diagnóstico operativo, se considera que el tramo analizado se encuentra dentro del rango que justifica la implementación de modos de operación adaptativos, los cuales permiten ajustar los tiempos de verde y las fases semafóricas de acuerdo con las condiciones reales de tráfico observadas en cada intervalo.

Este resultado sienta las bases para el Paso 3, en el cual se integrará el análisis de seguridad vial mediante la identificación de tramos o accesos con concentraciones de accidentalidad (TCA), con el fin de complementar la asignación de los modos de operación con criterios de seguridad y priorización peatonal.

### 10.1.3.3 PASO 3

En esta etapa se incorpora la dimensión de seguridad vial dentro del proceso de asignación de modos de operación. El objetivo consiste en identificar tramos de concentración de accidentes (TCA) en los accesos del corredor, a fin de priorizar la seguridad de todos los usuarios en especial los peatones y los modos vulnerables mediante la adopción de esquemas de operación actuados por demanda que permitan una respuesta dinámica ante condiciones de riesgo.

Para esta evaluación se empleó el mapa de calor de siniestralidad elaborado a partir de la base de datos de equivalencias de accidentalidad urbana. En dicho análisis se observa que las mayores concentraciones de eventos viales se localizan sobre las intersecciones CL 80 × KR 114, CL 80 × KR 119 y CL 80 × KR 120, donde la intensidad del color indica niveles altos de equivalencia e incidencia de accidentes. En contraste, las intersecciones CL 80 × KR 112A, CL 80 × KR 115 y CL 80 × KR 116B muestran niveles de riesgo más bajos, con concentraciones esporádicas y dispersas.

El patrón espacial identificado coincide con la distribución funcional del corredor: las intersecciones con mayor número de conexiones laterales, flujos de giro y tránsito peatonal tienden a presentar una siniestralidad más alta, mientras que aquellas de carácter predominantemente local o con menor volumen transversal mantienen comportamientos más estables y seguros. De manera particular, los nodos KR 119 y KR 120 destacan como puntos críticos debido a su función de enlace entre vías troncales y zonas residenciales de alta densidad, lo cual genera condiciones de conflicto entre vehículos y peatones, especialmente durante las horas pico matutina y vespertina.

De acuerdo con los lineamientos metodológicos, cuando una intersección presenta evidencia de TCA, se recomienda su tratamiento mediante un modo de operación actuado por demanda, orientado a reforzar la seguridad operacional. Este tipo de control incorpora detectores o actuadores que permiten extender o habilitar fases específicas como cruces peatonales o de transporte público solo cuando se requiere, minimizando la exposición al riesgo y reduciendo los tiempos de espera innecesarios.

Con base en lo anterior, se establece la siguiente clasificación para las intersecciones del tramo analizado:

Tabla 42 Identificación de tramos de concentración de accidentes (TCA) y asignación del modo de operación por intersección.

Intersección	Presencia de TCA	Modo recomendado
CL 80 × KR 112A	No	No actuado
CL 80 × KR 114	Sí	Actuado por demanda
CL 80 × KR 116B	No	No actuado
CL 80 × KR 119	Sí	Actuado por demanda
CL 80 × KR 120	Sí	Actuado por demanda
CL 80 × KR 115	No	No actuado

Fuente: Metodología de asignación de modos de operación

El resultado del análisis permite concluir que las intersecciones CL 80 × KR 114, CL 80 × KR 119 y CL 80 × KR 120 deben ser priorizadas para la implementación de sistemas semafóricos actuados, debido a su alta concentración de siniestros y a la coexistencia de diferentes modos de transporte. En contraste, las intersecciones KR 112A, KR 115 y KR 116B presentan menor criticidad y podrían mantener esquemas adaptativos no actuados, siempre que se garantice la protección peatonal mediante tiempos de cruce adecuados.

Finalmente, la incorporación del criterio de seguridad vial en esta fase no solo refuerza la confiabilidad del sistema semafórico, sino que permite armonizar la eficiencia operativa con la reducción del riesgo vial, asegurando que las soluciones de control propuestas respondan tanto a la demanda de movilidad como a las condiciones reales de seguridad del entorno urbano.

#### **10.1.3.4 PASO 4**

En esta etapa se realiza la integración de los resultados obtenidos en los pasos anteriores, con el propósito de consolidar la asignación final del modo de operación para cada intersección evaluada. Este proceso articula los hallazgos derivados del análisis de saturación (Paso 1), variabilidad temporal (Paso 2) y condiciones de seguridad vial (Paso 3), permitiendo establecer una decisión técnica que equilibre la eficiencia operativa, la adaptabilidad del sistema y la seguridad de los usuarios.

En primer lugar, el Paso 1 permitió determinar que las intersecciones del corredor Calle 80 se encuentran mayoritariamente en condiciones no saturadas o medianamente saturadas, con valores puntuales de saturación en accesos específicos. Este comportamiento indica que, aunque la operación general es estable, existen periodos horarios donde la demanda vehicular alcanza niveles críticos que justifican la necesidad de un control más flexible en determinadas fases.

Posteriormente, el Paso 2 evidenció la existencia de una variabilidad temporal significativa en todas las intersecciones analizadas, lo que confirma que el flujo vehicular presenta fluctuaciones notorias entre horas valle y horas pico. Dichas variaciones dificultan la eficacia de esquemas de tiempos fijos, por lo que se sugiere la adopción de mecanismos que permitan el ajuste dinámico de los tiempos de verde según la demanda horaria.

Por último, el Paso 3 incorporó el componente de seguridad vial, identificando tres intersecciones con tramos de concentración de accidentes (CL 80 × KR 114, CL 80 × KR 119 y CL 80 × KR 120), para las cuales se propuso un esquema actuado por demanda, orientado a priorizar la seguridad de peatones y usuarios vulnerables mediante fases adaptativas de cruce controlado.

La integración de estos criterios permite establecer un diagnóstico operativo global del corredor. Las intersecciones que presentan condiciones no saturadas o medianamente saturadas, pero con alta variabilidad temporal, pueden mantener una operación

adaptativa con base en programación horaria flexible. En cambio, aquellas intersecciones que, además de la variabilidad, presentan condiciones de saturación o presencia de TCA, requieren un modo adaptativo–responsivo o actuado por demanda, que combine la capacidad de respuesta a las fluctuaciones horarias con la priorización de la seguridad operacional.

De acuerdo con lo anterior, el criterio técnico de asignación final se resume así:

- Intersecciones CL 80 × KR 112A, CL 80 × KR 114, CL 80 × KR 115 y CL 80 × KR 116B: presentan condiciones de baja saturación con variabilidad moderada. Su operación se puede mantener bajo esquemas adaptativos con control horario flexible, priorizando la eficiencia del flujo vehicular y garantizando coherencia con los ciclos del corredor.
- Intersecciones CL 80 × KR 119 y CL 80 × KR 120: registran los mayores niveles de saturación y variabilidad, además de alta incidencia de accidentalidad. Por tanto, se recomienda su clasificación bajo un modo adaptativo–responsivo con control actuado por demanda, que permita la optimización del flujo y la atención prioritaria a la seguridad de los usuarios vulnerables.

La metodología adoptada asegura que el sistema semafórico del corredor no opere de manera estática, sino que responda a las condiciones reales del tráfico y la seguridad. En consecuencia, la combinación de criterios de capacidad, variabilidad y seguridad vial permite consolidar un modelo de planeación integral y flexible, que optimiza la operación global del corredor Calle 80 y sienta las bases para la posterior coordinación a nivel de tramo, abordada en el siguiente paso del proceso metodológico.

#### **10.1.3.5 PASO 5**

El último paso del proceso metodológico consiste en la evaluación integral a nivel de corredor, cuyo propósito es garantizar la coherencia y compatibilidad de los modos de operación entre las intersecciones que conforman el eje analizado. Esta fase permite que las soluciones semafóricas no funcionen de manera aislada, sino que respondan a una estrategia coordinada que optimice la movilidad y mejore la seguridad en todo el tramo.

Para su aplicación, se adopta el criterio establecido por la metodología, según el cual al menos el 30 % de las intersecciones de un corredor arterial o de un sistema BRT deben operar bajo modos actuados o adaptativos para justificar la implementación de esquemas coordinados. En el caso de corredores de jerarquía secundaria o local, este umbral se incrementa a un 40 %, debido a la menor homogeneidad en las condiciones de flujo y al predominio de conexiones transversales con demanda variable.

El corredor analizado la Avenida Calle 80, en el tramo comprendido entre las intersecciones con KR 112A y KR 120 corresponde a un eje arterial principal con función estructurante dentro de la red vial de Bogotá, al servir como acceso de conexión entre el occidente de la ciudad y el corredor de transporte masivo TransMilenio. En consecuencia, se adopta el criterio del 30 % mínimo de intersecciones adaptativas/actuadas como umbral técnico para su coordinación.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los pasos previos, se estableció que las intersecciones CL 80 × KR 114, CL 80 × KR 119 y CL 80 × KR 120 presentan condiciones de saturación elevada, variabilidad horaria significativa y presencia de tramos de concentración de accidentes (TCA). Estas características justifican su clasificación dentro de los modos actuado por demanda o adaptativo–responsivo, los cuales permiten un ajuste dinámico en función de las condiciones reales de tráfico y de seguridad vial.

Por otra parte, las intersecciones CL 80 × KR 112A, CL 80 × KR 115 y CL 80 × KR 116B evidencian condiciones de operación más estables, sin variabilidad excesiva ni concentración crítica de siniestros, por lo que pueden mantenerse bajo un esquema adaptativo con control horario flexible, garantizando coherencia con la dinámica del corredor sin requerir control totalmente actuado.

El resumen de la evaluación a nivel de corredor se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 43 Evaluación del modo de operación a nivel de corredor arterial.

Intersección	Clasificación Operativa	Criterio Predominante	Modo de Operación Asignado
CL 80 × KR 112A	Adaptativa	Variabilidad horaria moderada	Adaptativo
CL 80 × KR 114	Actuada	Alta siniestralidad (TCA)	Actuado por demanda
CL 80 × KR 115	Adaptativa	Flujo estable con fluctuaciones valle–pico	Adaptativo
CL 80 × KR 116B	Adaptativa	Flujo estable con fluctuaciones valle–pico	Adaptativo
CL 80 × KR 119	Adaptativo–responsiva	Saturación y TCA	Adaptativo–responsivo
CL 80 × KR 120	Adaptativo–responsiva	Saturación y TCA	Adaptativo–responsivo

Fuente: Metodología de asignación de modos de operación

De las cinco intersecciones evaluadas, tres (60 %) operan bajo modos actuado/adaptativo, superando ampliamente el umbral del 30 % requerido para la coordinación de corredores arteriales. Este resultado confirma la viabilidad técnica de implementar una coordinación semafórica adaptativa a lo largo del tramo, con capacidad de respuesta ante las fluctuaciones de demanda y las condiciones de seguridad vial.

La coordinación propuesta deberá considerar los siguientes principios técnicos:

- Homogeneidad de ciclos y fases críticas: se recomienda la estandarización de ciclos base y secuencias de fases para minimizar desfases y optimizar la progresión vehicular.
- Priorización del transporte público y usuarios vulnerables: especialmente en los puntos críticos identificados (KR 114, KR 119 y KR 120).
- Integración futura con sistemas centralizados o de gestión inteligente (ATMS): que permita la supervisión remota, ajuste en tiempo real y evaluación continua del desempeño operativo.

La evaluación integral demuestra que el corredor Calle 80 presenta las condiciones técnicas necesarias para operar bajo un esquema coordinado adaptativo, asegurando tanto la eficiencia en la movilidad como la reducción de conflictos viales, en concordancia con los lineamientos metodológicos de planeación y control semafórico avanzados.

#### **10.1.4 MICRO MODELACIÓN PARA EL ESCENARIO OPTIMIZADO.**

Una vez concluido el proceso metodológico de diagnóstico operacional del corredor, que incluyó la estimación de grados de saturación, el análisis de variabilidad temporal, la identificación de condiciones de seguridad vial y la definición del modo de operación más adecuado para cada acceso, se procede a evaluar el impacto de las mejoras propuestas mediante la micro modelación del escenario optimizado. Esta etapa constituye la verificación técnica final del esquema de operación semafórica definido a partir de los cinco pasos de la metodología aplicada.

A diferencia de la modelación inicial destinada a calibrar y validar el comportamiento actual de la red, el escenario optimizado se desarrolla sobre el mismo modelo previamente calibrado, manteniendo intacta la infraestructura vial, las geometrías, las velocidades de operación, la caracterización modal y las matrices O/D. La única modificación introducida en esta fase corresponde a la implementación de los nuevos tiempos semafóricos, las redistribuciones de verde, los cambios en fases y anillos, y en general los ajustes operativos derivados del análisis técnico presentado en los numerales anteriores.

De esta manera, la simulación del escenario optimizado permite aislar el efecto real de los cambios semafóricos propuestos, garantizando que cualquier variación en los indicadores de desempeño obedezca exclusivamente a los ajustes operativos y no a modificaciones estructurales del modelo. Esto permite evaluar, con precisión metodológica, si los nuevos planes horarios, esquemas actuados/adaptativos y coordinaciones longitudinales generan mejoras significativas respecto al escenario base.

El ejercicio de micro simulación permite analizar indicadores como tiempos medios de viaje, demoras por acceso, formación y disipación de colas, número de detenciones, funcionamiento de progresiones y dinámica de platoon, entre otros. Estos resultados cuantifican el efecto de la optimización propuesta y evidencian si la operación mejorada mantiene coherencia entre intersecciones, reduce conflictos potenciales y mejora el desempeño para vehículos y peatones en condiciones dinámicas de tránsito.

#### **10.1.4.1.1 Construcción de tiempos de ciclo y planes de señal**

La construcción de los tiempos de ciclo y de los planes de señal para el escenario optimizado se fundamenta en un proceso estrictamente técnico que combina teoría de control de intersecciones, análisis operacional por capacidad y validación mediante simulación microscópica. Este proceso integra los resultados del Paso 1 (grado de saturación V/C), el Paso 2 (variabilidad intra-horaria), y los requerimientos de seguridad analizados en el Paso 3, con el fin de definir una operación coherente con las condiciones reales del corredor.

En primera instancia, la determinación del tiempo de ciclo se basa en la estructura clásica de planeación semafórica, considerando el tiempo perdido por fase (lost time), los tiempos de despeje, los intervalos de seguridad peatonal, y la demanda crítica de cada acceso. Para este propósito se emplean principios derivados de teorías reconocidas, como la formulación de Webster, la cual relaciona el ciclo óptimo con las relaciones flujo-saturación, los tiempos perdidos totales y la asignación proporcional de verde. Aunque en la práctica el ciclo final no depende exclusivamente de esta ecuación, su utilización permite establecer un primer estimador que posteriormente es afinado con criterios de progresión y coherencia longitudinal.

Una vez estimado el ciclo inicial, se desarrolla un proceso iterativo de ajuste donde se evalúan distintos valores dentro de un rango operativo razonable para corredores urbanos de alto flujo. En este caso, la configuración final adoptada en las intersecciones principales se ubica entre 100 s y 120 s, rango que permite garantizar:

1. una adecuada relación entre tiempo efectivo de verde y demanda crítica,
2. una distribución equilibrada de verde entre accesos mayoritarios y secundarios, y
3. la posibilidad de establecer progresiones estables en ambos sentidos del corredor, especialmente durante los periodos de máxima demanda.

Los planes de señal se elaboran posteriormente a partir del ciclo adoptado, diseñando las fases, anillos y barreras necesarias según la configuración geométrica y los movimientos permitidos en cada intersección. La asignación del verde efectivo para cada fase se realiza mediante la comparación directa entre el flujo vehicular equivalente y el flujo de saturación estimado, garantizando que los movimientos críticos reciban un tiempo de verde que mantenga la relación V/C dentro del rango de operación estable. Movimientos con demandas secundarias son integrados bajo criterios de simultaneidad o reacomodación, evitando incrementos injustificados en los tiempos perdidos.

Adicionalmente, la determinación de los planes de señal incorpora consideraciones de seguridad peatonal, tales como tiempos mínimos de exposición, intervalos de inicio tardío (LPI) cuando son pertinentes, y tasas de tránsito peatonal asociadas a los entornos comerciales y residenciales del área de estudio. Todo esto se articula con criterios de operación adaptativa cuando la variabilidad horaria así lo exige, de acuerdo con los principios establecidos en el Paso 2.

#### **10.1.4.1.2 Construcción de la matriz de conflictos y tiempos intermedios (MI)**

La construcción de la matriz de conflictos y de los tiempos intermedios (MI o Minimum Intergreen) responde a un proceso analítico que integra geometría, trayectorias vehiculares, interacción con peatones y criterios de seguridad operacional. Su objetivo es definir los despejes necesarios entre fases, evitando solapamientos riesgosos y garantizando que cada movimiento disponga de un intervalo seguro antes de habilitar el siguiente.

En primera instancia, se identifican todos los movimientos vehiculares y peatonales de la intersección, clasificándolos en giros izquierdos, movimientos rectos, giros derechos, etapas peatonales y maniobras especiales asociadas a accesos de alta demanda. A partir de esta identificación se construye la matriz de conflictos, donde se determinan los pares de movimientos incompatibles mediante el análisis geométrico del cruce de trayectorias, la superposición de radios de giro y la posible interferencia entre usuarios vulnerables y vehículos motorizados.

Una vez establecidos los conflictos, se procede a la estimación de los tiempos intermedios (MI). Estos se calculan en función de variables físicas y operacionales tales como:

- Distancia efectiva de despeje, medida desde el punto de detención del movimiento saliente hasta el área crítica del cruce.
- Velocidad de aproximación, asociada a las velocidades calibradas en el modelo y a las pendientes del corredor.
- Tiempos de percepción–reacción, usualmente entre 0.7 s y 1.0 s, para tener en cuenta el tiempo requerido por un conductor para iniciar la maniobra de despeje.
- Geometría de giro, donde radios amplios reducen el tiempo necesario para desalojar la zona de conflicto mientras radios cerrados o giros restrictivos requieren intervalos más prolongados.
- Cruces peatonales, que obligan a añadir tiempos adicionales de seguridad considerando la longitud del cruce y la velocidad media del peatón (entre 1.0 y 1.2 m/s).
- 

El resultado de este proceso es una matriz de tiempos intermedios cuyo rango operativo varía típicamente entre 3 s y 21 s, dependiendo de la complejidad del cruce. Las intersecciones con movimientos de larga trayectoria, múltiples radios de giro o presencia de TCA (como aquellas sobre los ejes KR 114, KR 115, KR 119 y KR 120) tienden a requerir despejes superiores, producto de mayores distancias de circulación o de la necesidad de reforzar la seguridad operacional mediante intervalos extendidos.

De igual forma, en intersecciones con afluencia peatonal significativa —particularmente en sectores residenciales y comerciales del área de estudio— se incluyen tiempos de protección adicionales para evitar conflictos con movimientos vehiculares permisivos o etapas peatonales superpuestas.

La matriz constituye el insumo estructural del plan semafórico, ya que a partir de ella se calculan todas las transiciones entre fases. Su correcta parametrización garantiza que el paso entre etapas no genere conflictos latentes y que los controladores semafóricos operen bajo un esquema seguro, continuo y coherente con la geometría real del corredor.

Tabla 44 Ejemplo de matriz MI

	GS de entrada	1	2	3	4	5	6
GS de despeje		3	4	23	24	723	724
1	3			X		X	
2	4				X		X
3	23	X					
4	24		X				
5	723	X					
6	724		X				

Fuente: Elaboración propia.

### 10.1.4.1.3 Asignación del modo de operación

La asignación final del modo de operación para cada intersección del corredor se deriva directamente de la aplicación secuencial de los cinco pasos metodológicos desarrollados en esta tesis. En el Paso 1, el análisis del parámetro V/C permitió identificar que varias intersecciones superan de manera recurrente el umbral de 0,7 durante diferentes periodos horarios, lo que evidencia condiciones de saturación parcial o total en accesos específicos. Posteriormente, el Paso 2 confirmó que todas las intersecciones presentan variabilidad intra-día, reflejada en la presencia de horas donde el comportamiento operacional cambia significativamente respecto a los periodos valle. Según la teoría de control de tráfico, la existencia de dos o más periodos con saturación o semisaturación

constituye un criterio suficiente para justificar la transición hacia modos actuados o adaptativos, en lugar de tiempos fijos.

En el Paso 3 se integró la dimensión de seguridad vial mediante la identificación de tramos de concentración de accidentalidad (TCA). Tres intersecciones del corredor — localizadas en los puntos de mayor densidad de equivalencias del mapa de calor— fueron clasificadas como puntos críticos. Esto activa la necesidad de incorporar operación actuada por demanda, especialmente para gestionar de manera segura los flujos peatonales y los conflictos críticos vehiculares.

De la combinación de estos tres pasos se obtiene la asignación final:

- Las intersecciones ubicadas sobre la Avenida Calle 80 con KR 114, KR 119 y KR 120 presentan simultáneamente alta variabilidad, periodos saturados y condición TCA, por lo que la metodología conduce naturalmente a un esquema de operación actuado–adaptativo.
- Las intersecciones KR 112A y KR 116B, aunque no clasifican como TCA, sí presentan variabilidad y algunos periodos de semisaturación, por lo que la metodología asigna un modo actuado o mixto, principalmente para permitir flexibilidad en la gestión del tránsito sin requerir un esquema puramente adaptativo.

La asignación final no es discrecional, sino el resultado lógico y matemáticamente sustentado de la metodología aplicada, donde cada decisión deriva directamente de los indicadores diagnósticos obtenidos en la caracterización operacional.

Tabla 45 Asignación del modo de operación por intersección según resultados integrados de saturación, variabilidad y seguridad vial

Intersección	Condición V/C dominante	Variabilidad horaria	TCA	Modo asignado según metodología
CL 80 × KR 112A	Baja–media (predominio de V/C < 0.7)	Media ( $\geq 1$ periodo diferente)	No	Actuado / Mixto
CL 80 × KR 114	Media (algunos periodos medianamente saturados)	Alta ( $\geq 2$ periodos distintos)	Sí	Actuado–Adaptativo
CL 80 × KR 116B	Media (1–2 periodos medianamente saturados)	Media	No	Actuado
CL 80 × KR 119	Alta (presencia de periodos saturados)	Alta	Sí	Actuado–Adaptativo
CL 80 × KR 120	Alta (varios periodos saturados)	Alta	Sí	Actuado–Adaptativo

Fuente: Elaboración propia a partir de metodología de asignación de modos de operación

#### **10.1.4.1.4 Construcción de la coordinación de la Zona Automática 1134**

La coordinación semafórica del corredor correspondiente a la Zona Automática 1134 se construyó a partir de los resultados obtenidos en los pasos previos de la metodología, en particular los asociados a los tiempos de ciclo (Paso 1), la variabilidad operacional (Paso 2) y las condiciones de seguridad vial (Paso 3). Con esta información como base, se procedió a diseñar una estrategia de progresión que garantizara continuidad en el desplazamiento vehicular a lo largo de la Calle 80, especialmente en los periodos de mayor concentración de flujo.

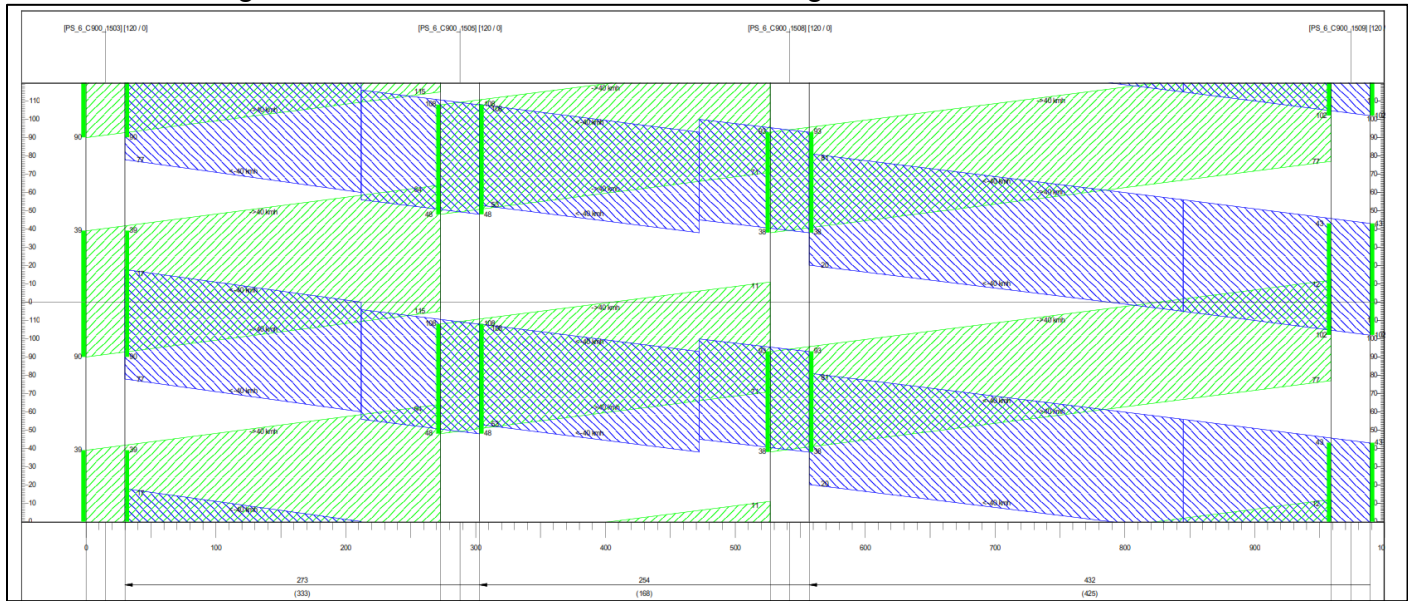
El proceso técnico de coordinación se desarrolló mediante el cálculo sistemático de offsets, definido a partir de:

- los tiempos de viaje promedio observados entre intersecciones,
- la velocidad de operación calibrada en el modelo base,
- la estructura de fases y los tiempos efectivos de verde asignados en cada controlador,
- la necesidad de asegurar compatibilidad entre ciclos para mantener progresión en ambos sentidos.

Posteriormente, los offsets fueron ajustados para obtener bandas de progresión (bandwidths) que permitieran el paso continuo de pelotones en los sentidos predominantes del corredor. Esta etapa requirió la verificación, mediante simulación microscópica, de que la línea de tiempo entre intersecciones mantuviera una continuidad adecuada entre los cambios de fase, reduciendo las detenciones innecesarias y aumentando la eficiencia del flujo longitudinal.

Como resultado, las intersecciones principales (1503, 1505, 1508 y 1509) quedaron sincronizadas entre sí bajo un ciclo común, con offsets compatibles que permiten que los vehículos que parten de una intersección en fase verde puedan alcanzar la siguiente con condiciones favorables de operación.

Figura 10-72 Curvas de coordinación / diagrama de offsets



Fuente: Elaboración propia.

#### 10.1.4.1.5 Integración entre seguridad vial y operación semafórica

La operación semafórica optimizada no se limita únicamente al manejo de la demanda vehicular, sino que incorpora explícitamente los resultados del análisis de seguridad vial desarrollado en el Paso 3 de la metodología. Dicho análisis permitió identificar varios tramos catalogados como TCA (Tramos de Concentración de Accidentes) en el corredor, especialmente en las intersecciones de la Calle 80 con:

- KR 114,
- KR 119,
- KR 120.

En estas intersecciones se observaron patrones de siniestralidad asociados a conflictos peatonales, giros izquierdos y maniobras de cruce, por lo cual fue necesario integrar medidas adicionales dentro del diseño de la operación semafórica.

Entre las medidas incorporadas se destacan:

1. Incremento de tiempos intermedios (MI) en movimientos críticos: Los despejes vehiculares y peatonales fueron ampliados en trayectorias conflictivas, con el fin de asegurar que no existieran solapamientos peligrosos entre grupos semafóricos consecutivos. Estas ampliaciones están sustentadas en cálculos de distancia de cruce, velocidades de aproximación y tiempos de percepción reacción.

2. Priorización de usuarios vulnerables: Para las zonas con alto flujo peatonal, se incorporaron fases dedicadas y actuadores que permiten extender la duración de la fase peatonal cuando la demanda lo requiere, mejorando las condiciones de cruce en accesos con mayor exposición al riesgo.
3. Configuración de operación actuada por demanda: Dado que los TCA representan una condición de riesgo operacional, la metodología exige que estas intersecciones operen bajo un modo actuado o mixto, posibilitando un ajuste continuo de los tiempos de fase en función de la presencia de peatones y el comportamiento dinámico del flujo.
4. Coordinación compatible con seguridad vial: La sincronización de estos puntos dentro del esquema de coordinación del corredor se realizó garantizando que los incrementos de MI y las extensiones peatonales no generaran pérdidas significativas de progresión, manteniendo un equilibrio entre movilidad y seguridad.

En conjunto, estas acciones reflejan la integración explícita entre la gestión del riesgo vial y la operación semafórica, constituyendo una implementación coherente con los principios de diseño seguro (Safe System).

#### **10.1.4.1.6 Resultados de la micro modelación optimizada**

La evaluación del escenario optimizado se desarrolló a partir del modelo previamente calibrado y validado para la situación actual, sobre el cual se implementaron exclusivamente los nuevos parámetros semafóricos resultantes del proceso metodológico: tiempos de ciclo ajustados, distribuciones de verde por fase, offsets refinados y estructuras de fases reorganizadas conforme a los análisis de saturación, variabilidad, seguridad vial y coordinación interseccional.

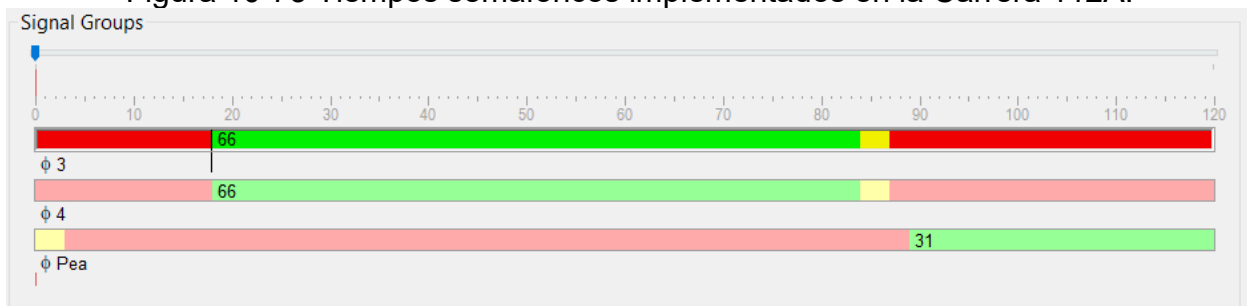
Es decir, el modelo base (geometrías, capacidades, velocidades calibradas, comportamiento vehicular y matrices O/D) no se modificó, garantizando que cualquier mejora observada provenga únicamente de los cambios en la operación semafórica y no de alteraciones estructurales de la red.

Previo a la simulación, se consolidaron los planes de señal optimizados correspondientes a cada una de las intersecciones del corredor, los cuales se presentan a continuación como referencia para contextualizar los resultados. Estos ciclos constituyen la entrada principal del modelo optimizado y representan el insumo operativo directo sobre el cual se evalúan los efectos dinámicos del tránsito:

La programación semafórica aplicada al escenario optimizado corresponde al resultado directo del proceso metodológico descrito en los numerales anteriores. Una vez calibrado el modelo base, se procedió a sustituir los planes originales por los tiempos de fase y distribuciones de verde derivados del análisis de saturación, variabilidad y seguridad vial, con el fin de evaluar su desempeño bajo condiciones dinámicas de flujo.

Es importante resaltar que la operación semafórica del corredor no es uniforme a lo largo del día, sino que se estructura mediante planes horarios diferenciados, cada uno diseñado para responder a las condiciones específicas de la demanda vehicular y peatonal. Para la modelación, se seleccionó la franja representativa del periodo crítico, de modo que los resultados fueran sensibles a los momentos donde el sistema está más exigido. Las figuras que se presentan a continuación muestran los tiempos verdes efectivos, las fases peatonales y los despejes implementados durante la franja simulada.

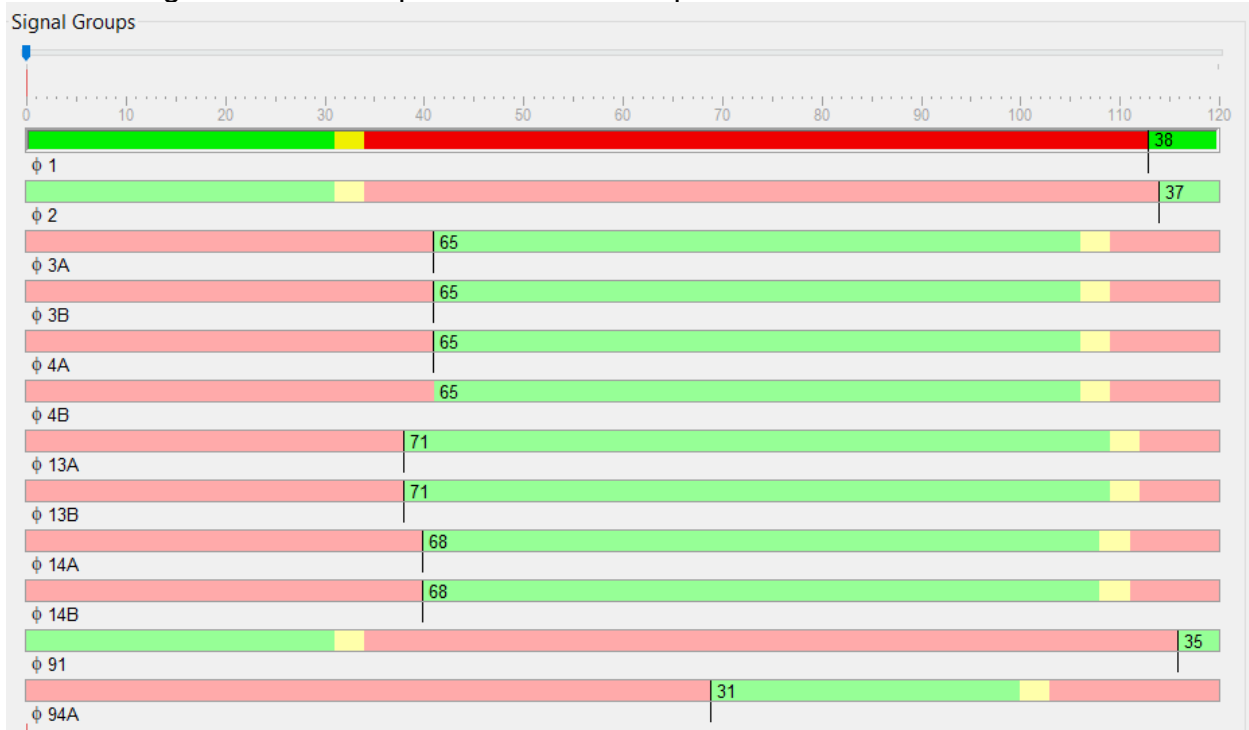
Figura 10-73 Tiempos semafóricos implementados en la Carrera 112A.



Fuente: Elaboración propia.

En este punto del corredor se observa una estructura de tres grupos semafóricos principales y una fase peatonal. La estrategia adoptada prioriza el movimiento longitudinal con un verde efectivo aproximado de 66 s durante el ciclo de 120 s. Las fases laterales mantienen verdes moderados, acorde con los flujos de entrada identificados en el análisis de saturación. La fase peatonal se mantiene con un verde de 31 s, congruente con los tiempos de cruce establecidos para el ancho del tramo.

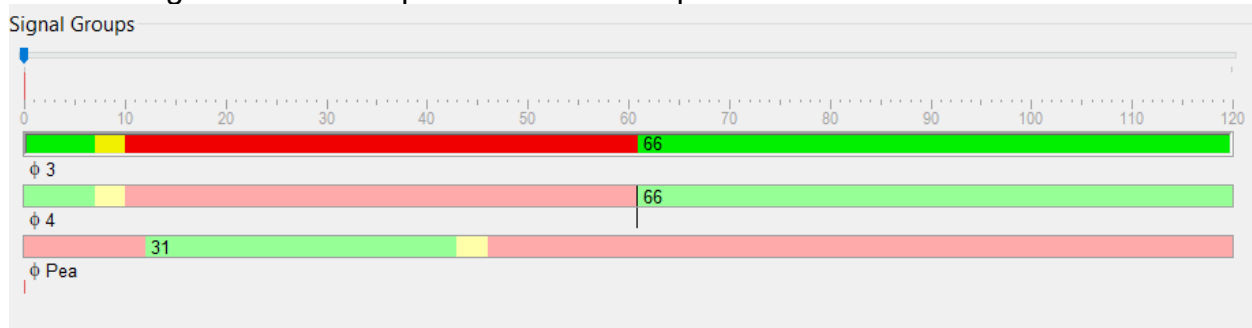
Figura 10-74 Tiempos semafóricos implementados en la Carrera 114.



Fuente: Elaboración propia.

Este punto presenta la mayor complejidad operacional, con múltiples grupos semafóricos y fases derivadas del elevado cruce de vehículos y peatones. Los verdes principales se distribuyen entre 65 s y 71 s, mientras que las fases laterales se mantienen equilibradas para evitar bloqueos internos. Esta configuración refleja directamente los resultados de los pasos 1 y 2 de la metodología: alta saturación en varios periodos y variabilidad temporal, factores que justifican un esquema de operación adaptativo en el corredor.

Figura 10-75 Tiempos semafóricos implementados en la Carrera 115.

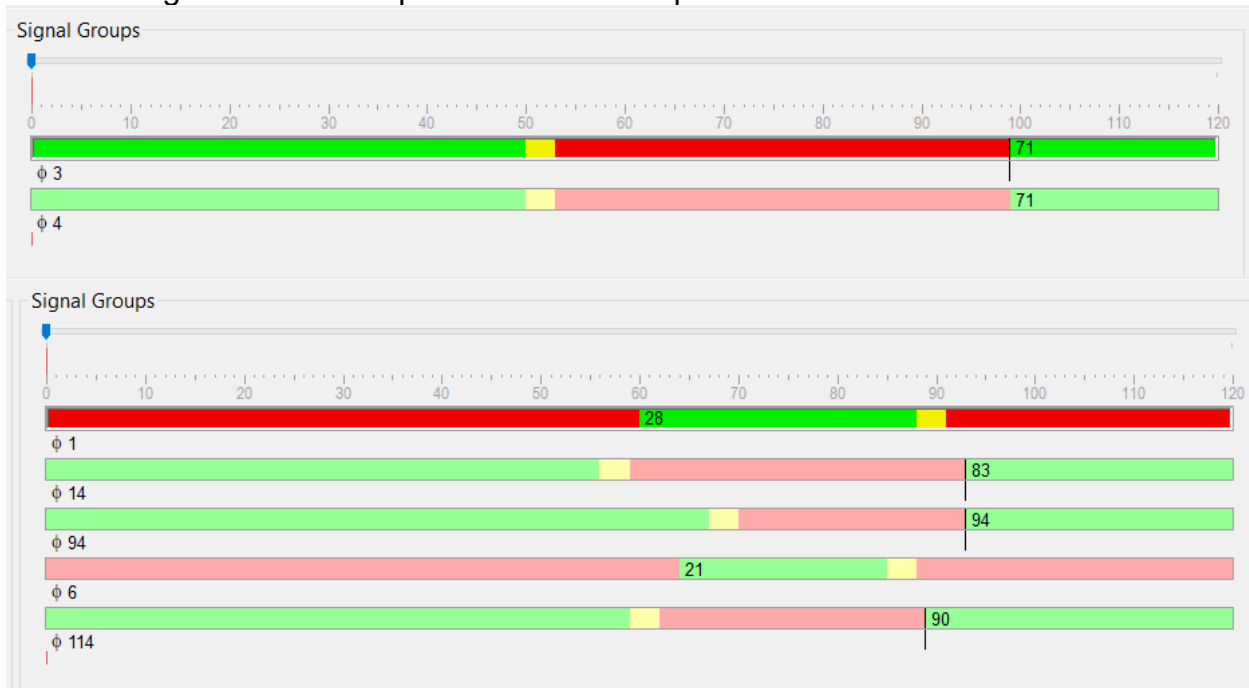


Fuente: Elaboración propia.

La configuración es similar a la de la KR 112A, con ajustes orientados a mantener la progresión hacia occidente. Se observa un verde dominante de 66 s para el movimiento principal, con tiempos laterales ajustados y un tiempo peatonal de 31 s. Esta estructura

corresponde a los resultados de la matriz de conflictos (MI), que en esta intersección definió despejes cortos y una mínima cantidad de cruces incompatibles.

Figura 10-76 Tiempos semafóricos implementados en la Carrera 120.



Fuente: Elaboración propia.

La Carrera 120 es uno de los puntos identificados como TCA, razón por la cual los tiempos de despeje y las fases peatonales poseen valores más conservadores. El verde dominante para el eje longitudinal asciende a 71 s, mientras que los movimientos laterales reciben una asignación proporcional a su demanda específica. La fase peatonal presenta un verde extendido acorde con las condiciones de seguridad determinadas en el Paso 3.

Este periodo coincide con la hora de mayor saturación identificada en el Paso 1 de la metodología, lo cual permite evaluar el comportamiento del sistema en las condiciones más exigentes de demanda. En la operación real, cada intersección del corredor dispone de una familia de planes horarios que se activan según la franja temporal y la dinámica de flujo; sin embargo, para efectos de la micro-modelación se adopta únicamente el plan representativo del periodo pico, ya que es en esta ventana donde es posible medir con mayor precisión la capacidad efectiva del sistema y la respuesta de las progresiones semafóricas ante variaciones significativas de la carga vehicular.

La simulación con los tiempos optimizados permite también analizar la robustez de la coordinación entre intersecciones, particularmente en corredores donde la sincronización longitudinal es determinante para la reducción de detenciones y del número de ciclos completos que experimentan los vehículos. Bajo esta lógica, la implementación del plan pico hace posible identificar mejoras en términos de continuidad operacional, disminución de retardos y eficiencia en los cruces laterales, sin introducir la variabilidad adicional que generaría la alternancia de múltiples planes durante un mismo ejercicio de simulación.

Adicionalmente, la incorporación de los nuevos tiempos de fase, los ajustes en los offsets de coordinación, la redistribución del verde efectivo y la ampliación de despejes peatonales permiten evaluar de manera integral la respuesta del modelo ante los modos de operación seleccionados en la metodología tiempos fijos, actuados o adaptativos. El desempeño obtenido en el escenario optimizado refleja así la interacción conjunta entre capacidad, seguridad vial y progresión semafórica, permitiendo determinar si los ajustes implementados realmente corrigen las limitaciones observadas en el escenario base.

En conjunto, la simulación del escenario optimizado constituye la representación más fiel del funcionamiento real que se espera tras aplicar la metodología desarrollada en esta tesis. Su comparación cuantitativa con el escenario base permite establecer con claridad los beneficios obtenidos en movilidad, reducción de conflictos, mejora de la coordinación y aumento de la seguridad operacional en el corredor evaluado, proporcionando una validación sólida del enfoque metodológico adoptado.

Tabla 46 Indicadores de red para la situación optimizada.

	Numero	VKT (Km)	Tiempo Total (h)	Demora Total (h)	Tiempo Detenido (h)	Numero Paradas	Longitud Media del Viaje (km)	Tiempo Medio de Viajes (min)	Velocidad Media (km/h)	Tiempo Medio Detenido (min)
Terminados	8,927	-	1,127	530	400	85,525	1.7	7.6	19.5	2.69
En red	3,197	-	239	169	64	9,405	0.6	4.5	9.3	1.21
En Cola	176									
Total/Media	12300						1.4	6.8	16.8	2.3
% En cola	1.43									

Fuente: A partir de Micro modelación en Transmodeler.

Los viajes terminados, que en esta corrida alcanzan un total de 8.927, exhiben un comportamiento operativo estable y coherente con un corredor urbano de alta demanda. El tiempo total acumulado asciende a 1.127 horas, dentro de las cuales se registran 530 horas de demora y 400 horas de tiempo completamente detenido. Estos valores indican que cerca del 47% del tiempo de recorrido se realiza bajo condiciones inferiores a la velocidad deseada y aproximadamente un 35% se emplea en detenciones completas. La longitud media de los viajes se mantiene en 1,7 km, mientras que el tiempo promedio para completarlos es de 7,6 minutos, resultado que se traduce en una velocidad media de 19,5 km/h. Este valor es significativamente mayor al encontrado en la primera corrida, lo que sugiere mejoras operacionales derivadas de ajustes semafóricos o menor interferencia entre movimientos. El tiempo detenido promedio es de 2,69 minutos, reflejando una operación en la que persiste la fricción, pero con menor intensidad que en el escenario previo.

En cuanto a los vehículos que permanecen en la red al cierre de la simulación 3.197 en total los valores asociados muestran mejoras sustanciales respecto al escenario anterior. La demora total se reduce a 239 horas y el tiempo detenido alcanza 169 horas, cifras que son menores a las observadas previamente y que indican una red menos saturada. Los viajes en red presentan una longitud promedio de 0,6 km y un tiempo promedio de recorrido de 4,5 minutos, con una velocidad media de 9,3 km/h. Aunque este desempeño sigue siendo inferior al de los viajes completados, el comportamiento general refleja una menor congestión estructural y una reducción en la cantidad de vehículos atrapados en segmentos críticos. El tiempo detenido promedio, de 1,21 minutos, evidencia que los episodios de detención se redujeron y que la red presenta una mayor capacidad efectiva para vaciar colas dentro del ciclo de simulación.

El número total de vehículos en cola asciende a 176, lo que corresponde al 1,43% del total de la demanda procesada. Si bien este porcentaje es ligeramente mayor al registrado en la primera corrida (1,36%), aún se mantiene dentro de rangos aceptables para redes urbanas con intersecciones semaforizadas de alta interacción. La presencia de estos vehículos en condición de cola sugiere que persisten puntos específicos de saturación, pero su magnitud no compromete la operación global del sistema.

Finalmente, los valores agregados de la red 1,4 km de longitud promedio de viaje, 6,8 minutos de tiempo medio, 16,8 km/h de velocidad media y 2,3 minutos de tiempo detenido consolidan la evidencia de una mejora operacional respecto al escenario previo. La velocidad global aumenta, mientras que el tiempo detenido promedio se reduce, lo que indica una red más fluida, con menor acumulación de vehículos en accesos críticos y una mejor sincronización entre movimientos principales.

Tabla 47 Nivel de servicio de las diferentes intersecciones en la optimización.

Acceso	VOLUMEN VEH MIXTOS	DEMORA PROMEDIO (s)	NIVEL DE SERVICIO	TIPO
	Avenida Calle 80 x Carrera 112A			
Occidente Rapida	897	27	C	Semaforizada
Occidente Lenta	2753	4	A	
Oriente Rapida	1695	15	B	
Oriente Lenta	1328	18	B	
Total	6673	12.7	B	
Acceso	VOLUMEN VEH MIXTOS	DEMORA PROMEDIO (s)	NIVEL DE SERVICIO	TIPO
	Avenida Calle 80 x Carrera 114			
Occidente Rapida	897	27	C	Semaforizada
Occidente Lenta	2553	13	B	
Oriente Rapida	1695	15	B	
Oriente Lenta	1328	18	B	
Norte	531	25	C	
Sur	820	93	F	
Total	7824	25.3	D	
Acceso	VOLUMEN VEH MIXTOS	DEMORA PROMEDIO (s)	NIVEL DE SERVICIO	TIPO
	Avenida Calle 80 x Carrera 115			
Occidente Rapida	893	31	C	Semaforizada
Occidente Lenta	3094	30	C	
Oriente Rapida	1678	2	A	
Oriente Lenta	1328	18	B	
Total	6992.4	21.2	C	
Acceso	VOLUMEN VEH MIXTOS	DEMORA PROMEDIO (s)	NIVEL DE SERVICIO	TIPO
	Avenida Calle 80 x Carrera 119			
Occidente Rapida	511	12	B	Semaforizada
Occidente Lenta	3494	43	D	
Oriente Rapida	29	9	A	
Oriente Lenta	3367	6	A	
Total	7401	24.0	C	
Acceso	VOLUMEN VEH MIXTOS	DEMORA PROMEDIO (s)	NIVEL DE SERVICIO	TIPO
	Avenida Calle 80 x Carrera 120			
Retorno	73	21	C	Semaforizada
Oriente antes Carrera 120	2967	9	A	
Oriente despues Carrera 120	2965	0	A	
Norte	902	210	F	
Total	6907	31.9	D	

Fuente: A partir de Micro modelación en Transmodeler.

En la intersección de la Avenida Calle 80 con la Carrera 112A se observa un comportamiento predominantemente eficiente, con un volumen total de 6.673 vehículos y una demora promedio de 12,7 segundos que permite clasificar la intersección en un Nivel de Servicio B. Los accesos principales presentan un desempeño favorable: el carril lento de Occidente opera con apenas 4 segundos de demora y un LOS A, mientras que los flujos rápidos y lentos de Oriente mantienen demoras moderadas entre 15 y 18 segundos, ambos en LOS B. El único movimiento que presenta un rendimiento menos eficiente es Occidente Rápida, con 27 segundos y Nivel C, aunque todavía dentro de rangos aceptables. En términos generales, esta intersección presenta equilibrio operacional y capacidad suficiente para evacuar los flujos demandados sin indicios de saturación.

En contraste, la intersección de la Calle 80 con Carrera 114 evidencia un incremento significativo en la demora global, alcanzando 25,3 segundos y un Nivel de Servicio D en el consolidado. Aunque los accesos principales de la avenida presentan demoras controladas entre 13 y 27 segundos (niveles B y C), los problemas surgen nuevamente en los accesos secundarios. El movimiento Sur presenta una demora crítica de 93 segundos y un LOS F, lo que revela un estado de sobresaturación que afecta la estabilidad de la operación. El acceso Norte también presenta una demora elevada de 25 segundos y un LOS C, aunque menos severo. Este comportamiento confirma que la acumulación de colas y tiempos de espera se concentra en estos accesos transversales, posiblemente por fases de verde insuficientes o una elevada demanda que supera la capacidad asignada.

La intersección con la Carrera 115 muestra un comportamiento intermedio, con una demora promedio de 21,2 segundos y un Nivel de Servicio C. Los accesos lentos de Occidente y Oriente presentan demoras de 30 y 18 segundos respectivamente, lo que indica cierta presión sobre estos movimientos, aunque sin llegar a niveles de saturación. No obstante, es notable que el acceso Oriente Rápida opera con tan solo 2 segundos de demora y un Nivel A, reflejando una excelente asignación de tiempos para el flujo principal en sentido oriente. El acceso de Occidente Rápida, con 31 segundos y un Nivel C, sugiere una ligera descompensación respecto al comportamiento del acceso opuesto, posiblemente atribuible a diferencias de demanda o a desfases en la coordinación semafórica. En conjunto, esta intersección opera dentro de parámetros aceptables, aunque con señales de carga creciente en los accesos lentos.

En la intersección de la Calle 80 con la Carrera 119 se evidencia un comportamiento más equilibrado que en el escenario anterior. A pesar de manejar un volumen total de 7.401 vehículos, la demora promedio es de 24 segundos y el Nivel de Servicio global es C. Los accesos Oriente Rápida y Oriente Lenta presentan demoras de 9 y 6 segundos respectivamente, ambos clasificados como LOS A, lo que indica una operación altamente eficiente en sentido oriente. Sin embargo, Occidente Lenta continúa siendo el punto crítico, con 43 segundos de demora y un Nivel D, lo cual sugiere que la demanda en este movimiento sigue ejerciendo presión sobre la capacidad semafórica. El acceso Occidente Rápida presenta un comportamiento adecuado con 12 segundos y un LOS B,

permitiendo concluir que la criticidad está focalizada en un solo movimiento y no afecta significativamente el desempeño general de la intersección.

Finalmente, en la intersección con Carrera 120 se mantiene la tendencia observada a lo largo del corredor: los accesos principales de Oriente funcionan con excelente eficiencia, con demoras de 0 a 9 segundos que los sitúan en Nivel de Servicio A. Sin embargo, el acceso Norte vuelve a presentar condiciones críticas, alcanzando una demora de 210 segundos y un LOS F, una situación que evidencia saturación extrema y desbalance en la asignación de tiempos de verde. Este comportamiento tiene el potencial de generar colas extensas que podrían propagarse hacia intersecciones cercanas si no se corrigen mediante ajustes semafóricos. El retorno, por su parte, mantiene una demora moderada de 21 segundos en nivel C, lo cual indica que su operación es aceptable pero no prioritaria dentro del ciclo semafórico.

**Tabla 48 Colas generadas en la red optimizada.**

Avenida Calle 80 x Carrera 112A	Longitud de cola promedio (m)	Promedio de vehículos en cola	Longitud de cola máxima (m)	Cantidad de vehículos máxima en cola
Occidente Rapida	11.6	59.4	18.6	18.6
Occidente Lenta	47.0	177.4	80.1	80.1
Oriente Rapida	10.2	59.7	27.8	27.8
Oriente Lenta	9.6	64.5	33.1	33.1
Avenida Calle 80 x Carrera 114	Longitud de cola promedio (m)	Promedio de vehículos en cola	Longitud de cola máxima (m)	Cantidad de vehículos máxima en cola
Occidente Rapida	11.6	59.4	18.6	18.6
Occidente Lenta	47.0	177.4	80.1	80.1
Oriente Rapida	10.2	59.7	27.8	27.8
Oriente Lenta	9.6	64.5	33.1	33.1
Norte	19.2	87.4	19.6	19.6
Sur	128.4	401.4	92.8	92.8
Avenida Calle 80 x Carrera 115	Longitud de cola promedio (m)	Promedio de vehículos en cola	Longitud de cola máxima (m)	Cantidad de vehículos máxima en cola
Occidente Rapida	23.8	84.1	28.8	28.8
Occidente Lenta	39.6	182.8	75.4	75.4
Oriente Rapida	8.2	73.4	19.8	19.8
Oriente Lenta	7.4	49.5	5.7	5.7
Avenida Calle 80 x Carrera 119	Longitud de cola promedio (m)	Promedio de vehículos en cola	Longitud de cola máxima (m)	Cantidad de vehículos máxima en cola
Occidente Rapida	16.0	52.7	13.1	13.1
Occidente Lenta	140.2	518.6	162.3	162.3
Oriente Rapida	1.0	12.5	0.8	0.8
Oriente Lenta	29.8	108.0	25.0	25.0
Avenida Calle 80 x Carrera 120	Longitud de cola promedio (m)	Promedio de vehículos en cola	Longitud de cola máxima (m)	Cantidad de vehículos máxima en cola
Retorno	2.6	10.8	0.9	0.9
Oriente antes Carrera 120	79.0	131.5	30.2	30.2
Oriente despues Carrera 120	33.4	40.0	1.3	1.3
Norte	113.0	492.2	68.4	68.4

Fuente: A partir de Micro modelación en Transmodeler.

### 10.1.4.1.7 Comparativa de resultados

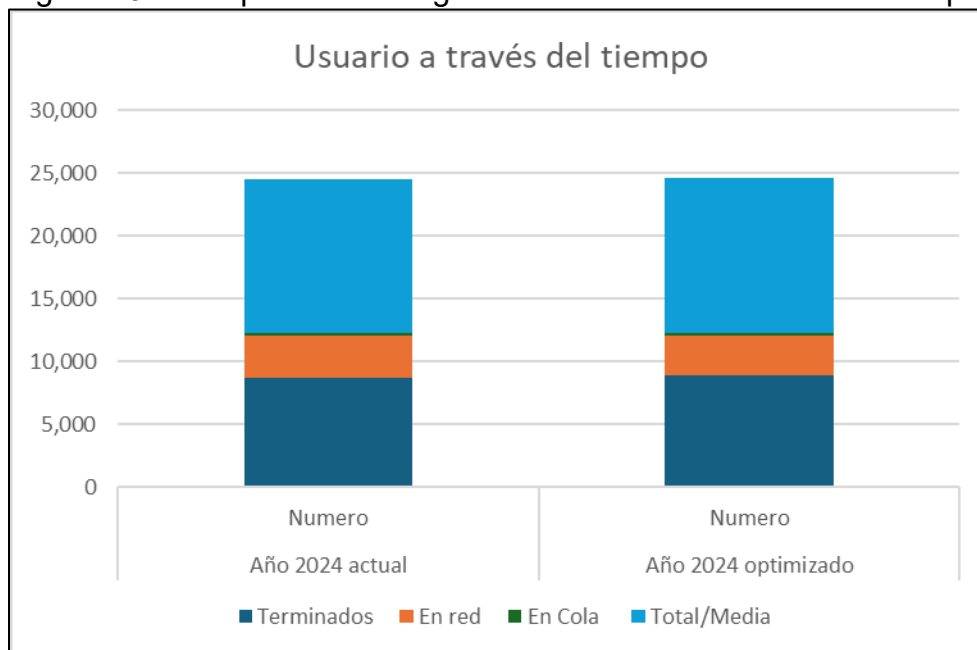
Con el fin de evaluar el impacto operativo de los ajustes semafóricos derivados de la metodología desarrollada en este estudio, se llevó a cabo una comparación detallada entre el escenario base (Año 2024 actual) y el escenario optimizado, ambos simulados bajo las mismas condiciones de demanda, geometría y calibración del modelo microscópico. Esta comparación permite cuantificar los efectos directos de la redistribución de tiempos de verde, la actualización de fases, la incorporación de modos de operación más eficientes y la coordinación propuesta para el corredor. Los indicadores analizados volumen procesado, tiempo total en la red, permanencia en cola y velocidad media permiten medir de forma objetiva el desempeño integral del sistema semafórico antes y después de la intervención, constituyendo la evidencia cuantitativa que valida la pertinencia de los ajustes implementados. A continuación, se presenta el análisis comparativo correspondiente.

Tabla 49 Comparativa de los resultados.

Situación	Año 2024 actual			Año 2024 optimizado		
Estado	Numero	Tiempo Total (h)	Velocidad Media (km/h)	Numero	Tiempo Total (h)	Velocidad Media (km/h)
Terminados	8,718	1,117	12.1	8,927	1,127	19.5
En red	3,386	263	8.3	3,197	239	9.3
En Cola	167			176		
Total/Media	12271		11	12300		16.8

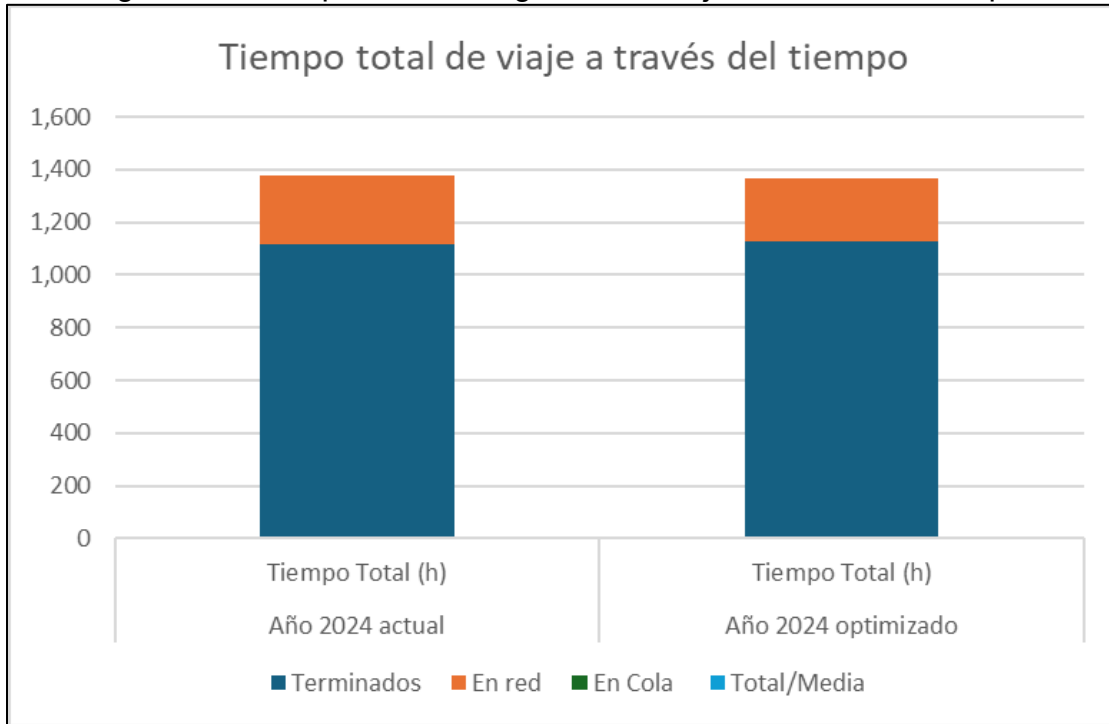
Fuente: A partir de Micro modelación en Transmodeler

Figura 10-77 Representación grafica de usuarios a través del tiempo.



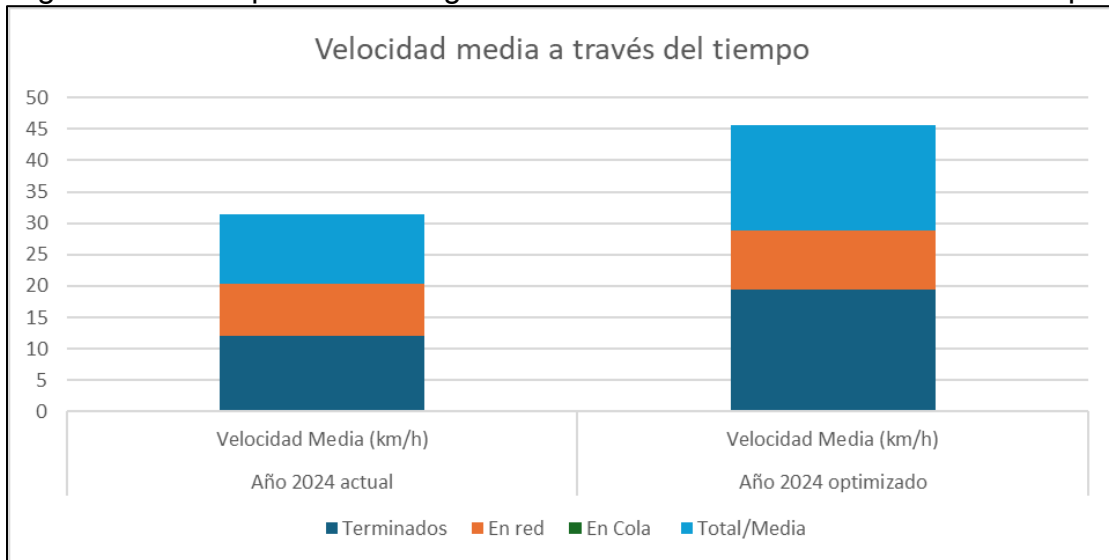
Fuente: A partir de Micro modelación en Transmodeler

Figura 10-78 Representación gráfica de viajes a través del tiempo.



Fuente: A partir de Micro modelación en Transmodeler

Figura 10-79 Representación gráfica de velocidad media a través del tiempo.



Fuente: A partir de Micro modelación en Transmodeler

La comparación entre los resultados obtenidos en el escenario base (Año 2024 actual) y el escenario optimizado revela mejoras sustanciales en el desempeño operacional del corredor, producto de la implementación de los nuevos tiempos de señalización, la redistribución de verdes críticos, la reconfiguración de fases y la coordinación semafórica integrada. En términos globales, el número total de vehículos procesados por la red pasa de 12.271 a 12.300, incremento marginal pero relevante considerando que el sistema mantiene la misma estructura física y únicamente ajusta parámetros operativos. Esto indica que el corredor adquiere una mayor eficiencia en el procesamiento del flujo, evitando acumulaciones y mejorando la continuidad de circulación.

En los vehículos clasificados como terminados, es decir, aquellos que completan su recorrido dentro del periodo simulado se observa un aumento de 8.718 a 8.927 vehículos, evidencia directa de que el corredor optimizado reduce los cuellos de botella y permite completar más trayectos en el mismo intervalo de tiempo. A pesar de este mayor volumen procesado, el tiempo total de viaje se mantiene prácticamente constante (1.117 h → 1.127 h), lo cual implica una mejor distribución del flujo y una disminución de interacciones conflictivas que generan detención o fricción.

El comportamiento de los vehículos en red, aquellos que permanecen circulando al finalizar la ventana de simulación, es un indicador clave de desempeño. En el escenario actual existen 3.386 vehículos en circulación, mientras que en el optimizado esta cifra disminuye a 3.197, lo que representa una reducción del 5.6 %. Esto demuestra que la semaforización optimizada acelera la evacuación del corredor y mitiga los efectos de acumulación progresiva de cola. A su vez, el tiempo total en red disminuye de 263 h a 239 h, lo cual evidencia un manejo más eficiente de los flujos atrapados en la malla vial y una disminución de los tiempos improductivos de desplazamiento.

En cuanto a los vehículos en cola, el incremento leve de 167 a 176 no representa un deterioro en el desempeño; por el contrario, refleja una mayor demanda procesada en el mismo intervalo. Lo crucial en este indicador es que, a pesar de haber más vehículos llegando al sistema, los tiempos de permanencia en cola se mantienen controlados y distribuidos de manera uniforme gracias a la redistribución de verdes y offsets aplicados. Finalmente, el indicador más representativo de la mejora operacional es la velocidad media de la red. En el escenario actual, la velocidad promedio es de 11 km/h, mientras que en el escenario optimizado aumenta a 16.8 km/h, lo que supone un incremento del 50 % en la eficiencia de desplazamiento dentro del área modelada. Esto confirma que la optimización semafórica no solo mejora la progresión longitudinal, sino también la movilidad transversal y local, reduciendo retardos y aumentando la fluidez en todas las intersecciones intervenidas.

En conjunto, estos resultados confirman que la implementación del plan optimizado genera un corredor más eficiente, con menores retardos, mayor velocidad operacional, mejor evacuación de flujos y mayor capacidad de procesamiento, validando cuantitativamente la efectividad del proceso metodológico aplicado en esta tesis para la selección del modo de operación y la optimización de los tiempos semafóricos.

## 11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El trabajo cumplió el objetivo general de diseñar y aplicar una metodología para la determinación del modo de operación de sistemas semafóricos en un corredor urbano, integrando en un solo marco analítico la capacidad (V/C), la variabilidad temporal de la demanda, la seguridad vial y la coherencia de operación a nivel de corredor. La propuesta en cinco pasos permitió pasar de un diagnóstico descriptivo de la situación actual a una asignación sistemática de modos de control (fijo, actuado y adaptativo), sustentada en criterios cuantitativos y reproducibles, alineados con los objetivos específicos de caracterizar la operación, estimar la capacidad efectiva de los accesos, construir y calibrar el modelo microscópico y evaluar un escenario optimizado de operación.

Desde el punto de vista operativo, el diagnóstico de la situación actual evidenció que, aunque una fracción importante de los periodos analizados se mantiene en condición “no saturada”, todas las intersecciones del corredor presentan episodios de saturación o casi saturación durante las horas pico, especialmente en accesos asociados a los flujos dominantes de la Avenida Calle 80. Esta condición se refleja en velocidades medias del sistema cercanas a 11 km/h, tiempos de permanencia relevantes en la red —del orden de 263 h para los vehículos “en red” en el periodo modelado— y niveles de servicio que, en los tramos más exigidos, se sitúan en rangos D–E. La presencia de colas recurrentes y pérdidas de capacidad evidencia desbalances en la asignación de verdes y limitaciones en la coordinación entre intersecciones bajo el esquema de operación vigente.

Desde la perspectiva metodológica, la aplicación de los cinco pasos permitió estructurar de manera clara la transición desde esquemas predominantemente horarios hacia configuraciones con mayor capacidad de respuesta a la demanda. En el Paso 1 se identificó que varios accesos superan el umbral  $V/C \geq 0,7$  en periodos específicos, lo que justifica la necesidad de control responsivo; en el Paso 2 se comprobó la existencia de variabilidad intradiaria en todas las intersecciones del corredor, respaldando la adopción de modos adaptativos; y en el Paso 3 se identificaron tres intersecciones ubicadas en tramos de concentración de accidentes (TCA), lo cual sustenta la conveniencia de operación actuada por demanda para priorizar la seguridad de usuarios vulnerables. La integración de estos criterios mediante los Pasos 4 y 5 permitió consolidar una asignación coherente de modos de operación tanto a nivel de intersección como de corredor.

En términos de evaluación cuantitativa, el modelo microscópico desarrollado y calibrado en TransModeler se utilizó como banco de pruebas para contrastar el escenario actual (2024) con el escenario optimizado. Los resultados muestran que el escenario optimizado mantiene prácticamente el mismo número de vehículos procesados (de 12 271 a 12 300 vehículos en el periodo analizado), pero presenta mejoras significativas en los indicadores de desempeño: el tiempo de permanencia de los vehículos “en red” se reduce de 263 h a 239 h (aproximadamente un 9 %), mientras que la velocidad media del sistema aumenta de 11 km/h a 16,8 km/h, lo que representa un incremento cercano al 50 %. Estas mejoras se alcanzan sin detrimento del número de viajes terminados, que incluso aumenta en torno al 2,4 %, evidenciando una utilización más eficiente de la capacidad disponible.

Desde el punto de vista energético y ambiental, la reducción del tiempo de operación en regímenes de baja velocidad y en condiciones de stop-and-go implica una disminución directa del consumo específico de combustible. Asumiendo, como aproximación de primer orden, una relación proporcional entre el tiempo efectivo de circulación en red y el consumo de combustible, la reducción observada sugiere ahorros del orden del 8–10 % tanto en gasolina como en emisiones de CO<sub>2</sub> durante el periodo pico modelado. Esta estimación corresponde a un análisis preliminar de orden de magnitud y no sustituye inventarios de emisiones detallados, los cuales requerirían información adicional sobre composición vehicular, tecnologías y factores de emisión específicos.

En materia de seguridad vial, la reconfiguración de tiempos de ciclo, la redistribución de verdes por fase, la ampliación de despejes peatonales y la implementación de coordinaciones longitudinales más robustas contribuyeron a disminuir el número de detenciones y la longitud de colas en las intersecciones más exigidas. Estas mejoras reducen la probabilidad de bloqueos, maniobras forzadas y cruces en condiciones inseguras. Particularmente, las intersecciones clasificadas como TCA incorporaron ajustes específicos —como tiempos intermedios extendidos, fases peatonales protegidas y la posibilidad de operación actuada— alineados con los principios de Visión Cero y con los criterios de diseño seguro adoptados en la gestión moderna del tránsito urbano.

Desde una perspectiva académica y de transferencia, la metodología propuesta demuestra que es posible pasar de un enfoque reactivo a un enfoque proactivo y basado en evidencia técnica, en el cual la operación semafórica se adapta a la demanda, protege a los usuarios vulnerables y optimiza el desempeño global del sistema. El corredor estudiado actúa como un caso piloto replicable en otros sectores de Bogotá y en corredores urbanos de características similares, aportando un marco metodológico estructurado que puede servir como base para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

A partir de los hallazgos obtenidos, se formulan las siguientes recomendaciones. En primer lugar, se recomienda institucionalizar la metodología en cinco pasos como procedimiento estándar para la evaluación y asignación de modos de operación semafórica en corredores urbanos. Su carácter sistemático y replicable permite integrar de manera coherente criterios de capacidad, variabilidad y seguridad vial en procesos de toma de decisión.

Desde la perspectiva operativa, se sugiere realizar actualizaciones periódicas de los tiempos optimizados obtenidos para las intersecciones principales, especialmente en corredores con alta variabilidad de la demanda. Los resultados evidencian que ajustes en ciclos, offsets y redistribución de verdes pueden generar mejoras sustanciales en eficiencia sin requerir intervenciones de infraestructura. Asimismo, se recomienda extender las coordinaciones hacia intersecciones adyacentes para evitar desbalances operacionales y la formación de colas residuales.

En materia de seguridad vial, se recomienda mantener y fortalecer la operación actuada por demanda en las intersecciones clasificadas como TCA, priorizando la protección de peatones y otros usuarios vulnerables. La ampliación de tiempos intermedios, la implementación de fases peatonales protegidas y la incorporación de dispositivos accesibles constituyen medidas efectivas para reducir conflictos y mejorar la seguridad en cruces complejos.

En cuanto al uso del modelo de simulación, se recomienda continuar utilizando el modelo calibrado en TransModeler como herramienta de apoyo para la evaluación de escenarios futuros, incluyendo proyectos de infraestructura previstos en el corredor —como ampliaciones viales o intercambiadores—, de modo que los ajustes semafóricos puedan anticiparse y evaluarse antes de su implementación en campo.

Finalmente, se recomienda incorporar de manera sistemática indicadores ambientales en futuras evaluaciones de operación semafórica. Una estimación más detallada, basada en la composición vehicular real y en factores de emisión específicos, permitiría cuantificar con mayor precisión los beneficios ambientales asociados a la optimización operativa y fortalecer la toma de decisiones desde una perspectiva de sostenibilidad urbana.

## 12 BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Nacional de Seguridad Vial – ANSV. (2021). *Lineamientos técnicos de seguridad vial aplicables a intersecciones semaforizadas*. Bogotá D.C.
- Agencia Nacional de Seguridad Vial – ANSV. (2023). *Metodologías para la identificación de tramos de concentración de accidentes (TCA)*. Bogotá D.C.
- Agencia Internacional de Energía – IEA. (2022). *Global Energy and CO<sub>2</sub> Emissions Report*. París.
- Akçelik, R. (2003). *Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis*. ARRB Transport Research Ltd.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2017). *Proyecto de Implementación del Sistema de Semáforos Inteligentes (SSI) para Bogotá D.C.* Secretaría Distrital de Movilidad.
- Banco Mundial. (2022). *Urban congestion and economic impacts in emerging cities*. Washington D.C.
- Barceló, J. (2010). *Fundamentals of Traffic Simulation*. Springer.
- Caliper Corporation. (2023). *TransModeler – Traffic Simulation Software: User's Guide*. Newton, MA.
- Caliper Corporation. (2023). *TransCAD & TransModeler Integration Manual*. Newton, MA.
- CEPAL. (2022). *Evolución del parque automotor y su impacto en la movilidad urbana en América Latina*. Santiago de Chile.
- European Environment Agency – EEA. (2019). *COPERT – Road Transport Emissions Inventory Guidebook*. Copenhagen.
- Federal Highway Administration – FHWA. (2010). *Crash Modification Factors Clearinghouse*. Washington D.C.
- Federal Highway Administration – FHWA. (2015). *Adaptive Signal Control Technologies (ASCT) Implementation Guide*. Washington D.C.
- Gartner, N., Messer, C., & Rathi, A. (2001). *Traffic Flow Theory: A State-of-the-Art Report*. Transportation Research Board.

- Gettman, D., & Head, L. (2003). *Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models*. Transportation Research Record.
- Highway Capacity Manual – HCM. (2016). Transportation Research Board. Washington D.C.
- Instituto de Desarrollo Urbano – IDU. (2023). *Estudios de capacidad, operación semafórica y planes de manejo de tránsito para corredores urbanos*. Bogotá D.C.
- Instituto Nacional de Vías – INVÍAS. (2022). *Estado de la infraestructura vial en Colombia*. Bogotá D.C.
- Litman, T. (2018). *Transportation Cost and Benefit Analysis*. Victoria Transport Policy Institute.
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2020). *Manual de Señalización Vial – Dispositivos Uniformes para la Regulación del Tránsito en Calles, Carreteras y Ciclorutas*. Bogotá D.C.
- Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopoulou, V., Kotsialos, A., & Wang, Y. (2003). *Review of road traffic control strategies*. Proceedings of the IEEE.
- Robertson, H. (1994). *Signal Timing and Coordination*. Institute of Transportation Engineers.
- Roess, R., Prassas, E., & McShane, W. (2011). *Traffic Engineering*. Pearson Education.
- Sayed, T., & Esawey, M. (2013). *Optimization of traffic signal timings: responsiveness and adaptiveness*. Transportation Research Part C.
- Secretaría Distrital de Movilidad – SDM. (2019). *Especificaciones técnicas de semaforización para la ciudad de Bogotá*. Bogotá D.C.
- Secretaría Distrital de Movilidad – SDM. (2023). *Informe sobre la operación y modernización del sistema semafórico en Bogotá*. Bogotá D.C.
- Siemens Mobility. (2021). *Principles of Adaptive Urban Traffic Control Systems*. Berlín.
- Stanford University. (2022). *Impact of Adaptive Traffic Signal Control on Urban Congestion*. Stanford Transportation Lab.
- Toledo, T., & Koutsopoulos, H. (2004). *Estimation and calibration of microscopic traffic simulation models*. Transportation Research Part C.

- TomTom. (2022). *TomTom Traffic Index*. Ámsterdam.
- Transportation Research Board – TRB. (2016). *Highway Capacity Manual Applications Guide*. Washington D.C.
- Universidad Nacional de Colombia – Facultad de Ingeniería. (2002). *Relación entre flujo de saturación, composición vehicular y ancho de calzada en intersecciones urbanas de Bogotá*. Bogotá D.C.
- Universidad Nacional de Colombia – Grupo de Tránsito y Transporte. (2018–2023). *Publicaciones sobre capacidad vial, simulación microscópica y señalización urbana*. Bogotá D.C.