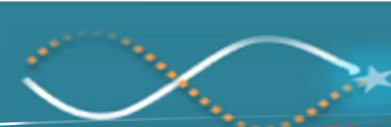




# **ESTUDIO DE SEMAFORIZACIÓN**

## **Yotoco, Valle del Cauca**

**08 AGOSTO DE 2025**  
**INFINITY SOFTWARE - NIT 901236982-1**  
**Carrera 35 No 39-28 Tuluá, Valle del Cauca**



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Objetivo General.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3 Alcance del estudio .....</b>	<b>9</b>
<b>1.4 Metodología de trabajo.....</b>	<b>10</b>
Fase 1. Recolección de información .....	10
Fase 2. Diagnóstico de intersecciones.....	10
Fase 3. Aforos y conteos peatonales .....	10
Fase 4. Diseño técnico de semaforización .....	10
<b>2. DIAGNÓSTICO DE INTERSECCIONES VIALES EN EL MUNICIPIO DE YOTOCO .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1. modelo modal .....</b>	<b>11</b>
2.1.1. Componentes del Modelo Nodal en Yotoco.....	12
a) Proceso de construcción.....	12
2.1.2. Descripción de la Simbología Vial en el Mapa de Yotoco .....	12
Vías en color amarillo.....	12
Vías en color rojo.....	12
Línea en color naranja.....	12
<b>2.2. Resumen visual .....</b>	<b>13</b>
b) Clasificación de los nodos.....	13
c) Cantidad de nodos .....	14
<b>2.3. IMPORTANCIA DEL MODELO NODAL.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4. Representación gráfica de los nodos .....</b>	<b>16</b>
<b>2.5. Elementos de la representación gráfica .....</b>	<b>17</b>
<b>2.6. Descripción de la matriz de nodos 3-7 y 0-10 .....</b>	<b>17</b>
Estructura de la matriz .....	18
Interpretación.....	18
Funcionalidad del esquema.....	18
<b>2.7. Calibración del modelo.....</b>	<b>19</b>
a) Base de referencia para la calibración.....	19
b) Parámetros de ajuste .....	19
c) Metodología aplicada .....	19
d) Resultados de la calibración .....	20
<b>2.8. Validación del modelo.....</b>	<b>20</b>
a) Objetivo de la validación.....	20
b) Procedimiento aplicado .....	20
c) Resultados de la validación .....	21
<b>2.9. Simulación del tránsito vehicular .....</b>	<b>21</b>
a) Objetivo de la simulación .....	21
b) Datos de entrada .....	21
c) Resultados de la simulación base .....	22
<b>2.10. Resultados de la simulación base – Ejes estructurantes .....</b>	<b>22</b>
Resultados de la simulación base – Pares viales (C5–C6 y C8–C9).....	22
<b>2.11. Resultados de la simulación base – Eje longitudinal (Cra 4–5).....</b>	<b>23</b>



2.12.	Resultados de la simulación base – Nodos secundarios (Calles 3 y 4 con Carreras 3-7)...	23
2.13.	Identificación de nodos críticos (intersecciones con alta siniestralidad o congestión) ...	26
2.14.	Análisis de geometría vial y visibilidad.....	27
2.15.	Conflictos vehiculares y peatonales observados.....	28
2.16.	Factores de riesgo asociados (velocidad, giros y maniobras indebidas).....	29
2.17.	<b>Priorización de intersecciones críticas para intervención.....</b>	<b>31</b>
2.18.	Intersecciones de máxima prioridad (Nivel I) .....	31
2.19.	Intersecciones de prioridad alta (Nivel II) .....	31
2.20.	<b>Intersecciones de prioridad media (Nivel III).....</b>	<b>31</b>
	Conclusión.....	32
3.	<b>AFOROS VEHICULARES Y PEATONALES.....</b>	<b>33</b>
3.1.	<b>Metodología de aforos y ubicación de estaciones de conteo.....</b>	<b>33</b>
3.2.	AFOROS VEHICULARES CLASIFICADOS POR TIPO DE VEHÍCULO .....	35
3.2.1.	<b>Resultados de Aforo – Estación Hospital.....</b>	<b>36</b>
	Conclusión operativa.....	37
	Distribución porcentual de flujos por sentido – Estación Hospital .....	37
3.2.2.	Estación de Conteo Vive Digital.....	39
	<b>Conclusión operativa.....</b>	<b>40</b>
	<b>Hora pico en la Estación Vive Digital.....</b>	<b>40</b>
	<b>Distribución porcentual de flujos por sentido – Estación Vive Digital .....</b>	<b>40</b>
	<b>Conclusión operativa.....</b>	<b>41</b>
3.2.3.	Estación de conteo La Alcaldía .....	42
	<b>Resultados de aforo – Estación Alcaldía .....</b>	<b>42</b>
	1. Predominio de motocicletas.....	42
	2. Peatones con participación significativa.....	42
	3. Automóviles y bicicletas en volúmenes intermedios .....	42
	4. Transporte de carga marginal.....	43
	<b>Conclusión operativa .....</b>	<b>43</b>
	<b>Hora pico en la Estación Alcaldía .....</b>	<b>43</b>
	<b>Distribución porcentual de flujos por sentido – Estación Alcaldía.....</b>	<b>43</b>
	<b>Conclusión operativa sobre los sentidos .....</b>	<b>44</b>
3.2.4.	<b>Resultados de aforo – Estación La Rocola.....</b>	<b>44</b>
	1. Predominio de motocicletas.....	44
	2. Peatones con fuerte presencia.....	45
	3. Automóviles y bicicletas en niveles intermedios .....	45
	4. Transporte de carga marginal.....	45
	<b>Conclusión operativa .....</b>	<b>45</b>
	<b>Hora pico en la Estación La Rocola .....</b>	<b>45</b>
	<b>Distribución porcentual de flujos por sentido – Estación La Rocola.....</b>	<b>46</b>
	<b>Conclusión operativa sobre los sentidos .....</b>	<b>46</b>
	3.2.5. Resultados de aforo – Estación Carrera 5 × Calle 1 (C5×C1).....	47
	1) Predominio de motocicletas.....	47
	2) Peatones con fuerte presencia.....	47
	3) Automóviles y bicicletas en niveles intermedios.....	47



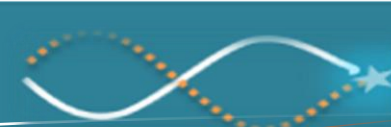
4) Transporte de carga marginal.....	47
<b>Conclusión operativa .....</b>	<b>47</b>
<b>Hora pico en C5×C1 .....</b>	<b>48</b>
<b>Distribución porcentual de flujos por sentido (promedio diario).....</b>	<b>48</b>
<b>Conclusión sobre los sentidos .....</b>	<b>48</b>
<b>Operación con cambio de sentidos: 3 ciclos semafóricos requeridos .....</b>	<b>48</b>
Detalles clave.....	49
<b>3.3. Comparación de las Estaciones de Aforo en Yotoco – 2025 .....</b>	<b>50</b>
1) Distribución modal (motos, peatones, carros, bicicletas, carga) .....	50
2) Sentidos de circulación predominantes .....	51
3) Comparación de horas pico.....	51
4) Conclusión comparativa.....	51
<b>3.4. Conteo y caracterización de flujos peatonales .....</b>	<b>52</b>
<b>3.5. Variación horaria (pico, valle y fines de semana) .....</b>	<b>54</b>
<b>3.5. Resultados comparativos y tendencias de movilidad.....</b>	<b>55</b>
<b>4. DISEÑO TÉCNICO DE SISTEMAS SEMAFÓRICOS .....</b>	<b>56</b>
<b>4.1. Objetivo y alcance .....</b>	<b>56</b>
4.1.1. Objetivo general .....	56
4.1.2. Objetivos específicos.....	57
4.1.3. Alcance del proyecto:.....	57
4.1.4. Componentes técnicos incluidos:.....	57
Criterios de desempeño y verificación .....	58
<b>4.2. Marco normativo y criterios de diseño .....</b>	<b>58</b>
4.2.1. Manual de Señalización Vial – INVIAS (Colombia) .....	58
<b><i>Intersección Carrera 5 × Calle 1 (sector Estadio) .....</i></b>	<b><i>60</i></b>
1) Configuración geométrica y sentidos.....	60
2) Movimientos vehiculares.....	61
3) Semaforización propuesta (base).....	61
4) Señalización y seguridad vial .....	62
5) Síntesis operativa .....	62
<b><i>Intersección Carrera 5 (K5) × Calle 5 (C5) – Sector Hospital .....</i></b>	<b><i>63</i></b>
1) Configuración geométrica y sentidos.....	63
2) Movimientos vehiculares.....	63
3) Semaforización propuesta (base).....	64
4) Señalización y seguridad vial .....	64
5) Síntesis operativa .....	64
<b><i>Intersección Calle 5 (C5) × Carrera 4 (K4) – “La Rocola” .....</i></b>	<b><i>65</i></b>
1) Configuración geométrica y sentidos.....	65



2) Movimientos vehiculares.....	65
3) Esquema semaforico propuesto (base).....	66
4) Señalización y seguridad vial (INVIAS).....	66
5) Coordinación y operación.....	67
6) Síntesis operativa.....	67
<b>Intersección Calle 6 (C6) × Carrera 4 (K4) – Alcaldía.....</b>	<b>68</b>
1) Configuración geométrica y sentidos.....	68
2) Movimientos vehiculares (por aproximación).....	68
3) Esquema semaforico propuesto (base).....	68
4) Señalización y seguridad vial (INVIAS).....	69
5) Coordinación y operación.....	69
6) Síntesis operativa.....	69
<b>Intersección Carrera 5 (K5) × Calle 6 (C6) – Colegio.....</b>	<b>70</b>
1) Configuración geométrica y sentidos.....	70
2) Movimientos vehiculares (por aproximación).....	70
3) Esquema semaforico propuesto (base).....	71
4) Señalización y seguridad vial (INVIAS).....	71
5) Coordinación y operación.....	72
6) Síntesis operativa.....	72
<b>1) Carrera 5 × Calle 1 — “Estadio” (K5 × C1).....</b>	<b>73</b>
<b>2) Carrera 5 × Calle 5 — “Hospital” (K5 × C5).....</b>	<b>73</b>
<b>3) Carrera 4 × Calle 5 — “La Rocola” (K4 × C5).....</b>	<b>74</b>
<b>4) Carrera 4 × Calle 6 — “Alcaldía” (K4 × C6).....</b>	<b>74</b>
<b>5) Carrera 5 × Calle 6 — “Colegio” (K5 × C6).....</b>	<b>74</b>
<b>Notas comunes de diseño y obra (aplican a los 5 cruces).....</b>	<b>74</b>
1) Cabezales/ópticas (vehiculares).....	76
2) Dispositivos peatonales y ciclistas.....	76
3) Soportes y estructura.....	76
4) Control y electrónica.....	76
5) Detección y sensorica.....	76
6) Energía y comunicaciones.....	77
7) Canalización y obra civil.....	77
8) Señalización y demarcación asociada.....	77
<b>Lectura técnica.....</b>	<b>78</b>
<b>Indicaciones de visibilidad, orientación y auxiliares.....</b>	<b>81</b>
1) K5 × C1 — Estadio.....	81
2) K5 × C5 — Hospital.....	81
3) K4 × C5 — La Rocola.....	81



4) K4 × C6 — Alcaldía .....	81
5) K5 × C6 — Colegio.....	81
<i>Límite del área controlada .....</i>	<i>82</i>
<i>Funcionamiento continuo y eficiencia .....</i>	<i>82</i>
Resumen operativo por corredor.....	82
<i>Criterios generales (aplican a los 5 cruces) .....</i>	<i>82</i>
Programación y cambios entre planes.....	84
Verificación mínima en campo (check-list).....	84
<i>Condiciones para la instalación.....</i>	<i>84</i>
A. Criterios y notas que aplican a todos los cruces .....	84
C. Reglas de operación intermitente (aplican a los 5) .....	85
D. Cómo cerrar técnicamente cada warrant (checklist mínimo).....	86
E. Recomendación de “match” cruce ↔ warrant.....	86
<i>Recomendaciones.....</i>	<i>86</i>
<i>Semáforos accionados sistema centralizado por el tránsito de Yotoco.....</i>	<i>87</i>
Tipologías y cuándo usarlas.....	88
Parámetros recomendados (rangos de diseño).....	88
Selección por cruce .....	88
Intermitente y casos especiales.....	89
<i>Zonas escolares (aplicado al cruce K5 × C6 – “Colegio”) .....</i>	<i>89</i>
2) <i>Semáforos en zonas de alto volumen peatonal (aplicación por cruce) .....</i>	<i>90</i>
3) <i>Operación peatonal: tipo de fase recomendada por intersección.....</i>	<i>90</i>
4) <i>Requisitos de tiempo y coordinación (aplicables a todos) .....</i>	<i>91</i>
5) <i>Especificaciones resumidas por cruce (peatonal).....</i>	<i>91</i>
5. ANEXO.....	96
<i>Técnico A. Cálculo de capacidad y tiempos (HCM/Webster) y datos de entrada.....</i>	<i>96</i>
A.1. Enfoque metodológico .....	96
5.2. Entradas y supuestos básicos.....	96
5.3. Ciclo y repartos (Webster).....	97
5.4. Demoras, colas y nivel de servicio (HCM) .....	97
5.5. Criterios prácticos de operación.....	97
5.6. Datos de entrada para los cinco (5) cruces semaforizados .....	98
A) Geometría y entorno.....	98
B) Demanda hora pico (veh/h o PCU).....	98
C) Peatones (pe/h) y cruce .....	98
D) Parámetros HCM/PCU .....	98
E) Semaforización (ciclos y fases) .....	98



<b>5.7. Justificación de semaforización (warrants)</b> .....	<b>99</b>
<b>5.8. Esquemas de fases propuestos</b> .....	<b>99</b>
5.8.1. Intersecciones con Cra 10 (C2, C7, C10) — 4 fases .....	99
5.8.2. Par vial K4–K5 con C5–C6 — 2 o 3 fases.....	99
<b>5.9. Cálculo de tiempos de semáforo</b> .....	<b>100</b>
5.9.1. Parámetros base .....	100
5.9.2. Peatones (mínimos) .....	100
5.9.3. Ciclo óptimo (Webster) y splits.....	100
<b>5.10. Coordinación y progresión por corredores</b> .....	<b>100</b>
5.10.1. Corredor Cra 10 (C2–C7–C10).....	100
5.10.2. Par vial K4–K5 y cruces con C5–C6 .....	101
<b>5.11. Detección, prioridad y planes horarios</b> .....	<b>101</b>
<b>5.12. Equipamiento y obra civil</b> .....	<b>101</b>
<b>5.13. Hojas de tiempo iniciales (puesta en servicio)</b> .....	<b>101</b>
<b>5.14. Indicadores de desempeño y validación</b> .....	<b>102</b>

### CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Nodos de mayor impacto .....	14
Tabla 2. Matriz 0-10 .....	18
Tabla 3. Cuadro comparativo de escenarios de intervención en Yotoco .....	25
Tabla 4. Priorización de intersecciones críticas para intervención .....	32
Tabla 5. Operación con camino de sentidos: 3 ciclos semafóricos requeridos .....	49
Tabla 6. Tabla comparativa de estaciones de aforo en Yotoco (2025) .....	52
Tabla 7. Tabla resumen con las especificaciones de los 5 cruces semaforizados de Yotoco. ....	75
Tabla 8. Matriz de cumplimiento (qué pide la norma vs. lo que se tiene).....	77
Tabla 9. Medidas de los Tipos de Soporte .....	78
Tabla 10. Tabla de operación – Semáforos de tiempo fijo (valores semilla).....	83
Tabla 11. Matriz de justificación por cruce .....	85
Tabla 12. Resumen operativo por cruce .....	89
Tabla 13. Tipo de fase recomendada por intersección.....	90
Tabla 14. Tipo de fase recomendada por intersección.....	91

### CONTENIDO DE IMÁGENES

Imagen 1. Mapa del Municipio de Yotoco con sistema de colores .....	13
Imagen 2. Plano esquemático de Nodos - Yotoco .....	17
Imagen 3 . Esquema conceptual: factores de riesgo de intersecciones de Yotoco .....	29
Imagen 4. Pirámide de factores de riesgo en intersecciones de Yotoco .....	30
Imagen 5. Afors y ubicación de estaciones de conteo .....	35
Imagen 6. Modos de transporte al diario en porcentaje estación de conteo hospital Yotoco 2025.....	35
Imagen 7. Distribución porcentual de flujos por sentido Estación de Aforo Hospital - Yotoco 2025.....	38

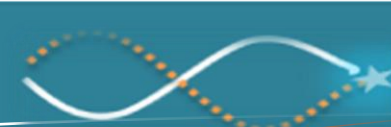


Imagen 8. Modos de transporte al día por cada modo Estación de conteo vive digital Yotoco 2025.....	39
Imagen 9. Distribución porcentual de flujos por sentido estación de Aforo Vive Digital – Yotoco 2025.....	41
Imagen 10. Modos de Transporte al día por cada modo Estación de conteo Alcaldía Yotoco 2025.....	42
Imagen 11. Distribución porcentual de flujos por sentido Estación de Aforo Alcaldía - Yotoco 2025.....	44
Imagen 12. Distribución porcentual de flujos por sentido Estación de Aforo La Rocola – Yotoco 2025.....	46
Imagen 13. Distribución de flujos por sentido Carrera 5 x Calle 1 - Yotoco 2025.....	49
Imagen 14. Plano de planta: señalización, cruce carrera 5 calle 1.....	60
Imagen 15. Síntesis operativa.....	62
Imagen 16. Intersección carrera 5 (k5) × calle 5 (c5) – Sector Hospital.....	65
Imagen 17. Intersección calle 5 (c5) × carrera 4 (k4) – “la rocola”.....	67
Imagen 18. Intersección calle 6 (c6) × carrera 4 (k4) – Alcaldía.....	70
Imagen 19. Flecha direccional.....	79
Imagen 20. Localización de semáforos carrera 5 calle 1.....	80
Imagen 21. Localización de semáforos carrera 5 calle 5 hospital.....	80
Imagen 22. Localización semáforos carrera 5 calle 1.....	92
Imagen 23. Localización de semáforos carrera 5 calle 5 hospital.....	92
Imagen 24. Localización de semáforos carrera 4 calle 5 ROCKOLA.....	93
Imagen 25. Localización de semáforos carrera 4 calle 6 Alcaaldia.....	93
Imagen 26. Localización de semáforos carrera 5 calle 6 Colegio.....	94
Imagen 27. Semáforos sobre Mensula corta y larga.....	94
Imagen 28. Posición de los lentes en un semáforo de tres luces.....	95
Imagen 29. Inscripciones en las lentes de semáforos para peatones.....	96



# 1. INTRODUCCIÓN



La movilidad urbana en el municipio de Yotoco presenta actualmente una serie de retos derivados del crecimiento poblacional, el aumento del parque automotor y la necesidad de articular la red vial local con corredores de carácter regional e intermunicipal, como la Vía Panorama. En este contexto, el análisis de nodos, sentidos viales e intersecciones críticas resulta fundamental para garantizar la seguridad vial, optimizar la capacidad de las vías y mejorar la accesibilidad al territorio.

El presente estudio se enmarca dentro de la planificación de la red vial urbana y tiene como objetivo principal diagnosticar, diseñar y proponer soluciones técnicas en materia de intersecciones, aforos, semaforización y señalización, priorizando aquellos puntos donde confluyen mayores riesgos de siniestralidad y niveles de congestión.

Las actividades planteadas incluyen:

- El diagnóstico de intersecciones urbanas de alto riesgo, mediante inspecciones de campo, análisis geométrico y registro de conflictos vehiculares y peatonales.
- La realización de aforos vehiculares clasificados y conteos peatonales, que permitan establecer con precisión la magnitud y composición de los flujos en diferentes franjas horarias.
- El diseño técnico de sistemas semafóricos, con fases, tiempos de ciclo y ubicación de equipos, orientado a garantizar seguridad operativa y eficiencia en la circulación.
- La elaboración de planos técnicos y recomendaciones normativas, que integren la información de campo con la normativa nacional (Código Nacional de Tránsito, Manual de Señalización Vial) y estándares internacionales de referencia.

Este documento constituye un instrumento técnico y de planificación que servirá como base para la toma de decisiones por parte de la administración municipal y las autoridades de tránsito, garantizando que las intervenciones en movilidad respondan a criterios de seguridad, eficiencia e integración regional.

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un diagnóstico integral de la red vial urbana de Yotoco, con énfasis en la identificación y priorización de intersecciones críticas, la caracterización de los flujos vehiculares y peatonales, y el diseño técnico de soluciones de semaforización, señalización y ordenamiento vial, que permitan mejorar la seguridad vial, optimizar la movilidad urbana y fortalecer la articulación con la red intermunicipal y regional, en concordancia con los lineamientos normativos vigentes y el Plan de Movilidad municipal.



## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y caracterizar las intersecciones urbanas de mayor riesgo vial, analizando sus condiciones geométricas, operativas y de seguridad.
- Realizar aforos vehiculares clasificados y conteos peatonales, con cobertura horaria representativa, para determinar la magnitud y composición de los flujos de tránsito.
- Diseñar técnicamente los sistemas semafóricos necesarios, definiendo fases, tiempos de ciclo, coordinación y ubicación de equipos, en concordancia con la normativa nacional vigente.
- Evaluar la red eléctrica existente y las necesidades de acometida, dimensionando los requerimientos de carga y proponiendo soluciones de respaldo energético para garantizar continuidad en la operación.
- Elaborar planos técnicos de detalle que soporten la implementación de los sistemas de semaforización y señalización, acompañados de recomendaciones normativas y operativas.
- Proponer una hoja de ruta de implementación que priorice las intervenciones en función del nivel de riesgo, la demanda vehicular y la articulación con el sistema vial regional.

## 1.3 ALCANCE DEL ESTUDIO

El presente estudio abarca el análisis técnico y operativo de la red vial urbana de Yotoco, con especial énfasis en las intersecciones críticas y ejes estructurantes que articulan la movilidad municipal e interregional.

El alcance está orientado a generar un diagnóstico integral y propuestas de intervención viables, que faciliten la toma de decisiones municipales y sirvan de insumo para la gestión de recursos ante entidades regionales y nacionales.



El alcance comprende:

### 1. Cobertura espacial:

- Incluye la malla urbana principal de Yotoco, conformada por las Calles 1 a 10 y las Carreras 2 a 7, así como las prolongaciones hacia las Carreras 1oeste-1 y 8-10.
- Se prioriza el diagnóstico de nodos vinculados a la Calle 2, Calle 7 y Calle 10 como corredores estructurantes que integran la red local con la Vía Panorama (Cra 10).
- Se consideran los pares viales conformados por Calle 5-6 y Calle 8-9, y el eje longitudinal en pares Cra 4-5.

### 2. Cobertura técnica:

- Diagnóstico vial y de seguridad en intersecciones urbanas con mayores riesgos de siniestralidad y congestión.

- 
- 
- Aforos vehiculares y peatonales, en franjas horarias pico y valle, con clasificación por tipo vehicular.
  - Diseño semafórico, incluyendo fases, tiempos de ciclo, coordinación semafórica y localización de equipos.
  - Elaboración de planos técnicos y memoria normativa, ajustados a los lineamientos del Manual de Señalización Vial (INVIAS) y el Código Nacional de Tránsito.

### 3. Limitaciones

- El estudio se circunscribe al ámbito urbano del municipio de Yotoco y no contempla intervenciones directas en la red departamental o nacional.
- No se incluyen obras de infraestructura mayor (puentes, pasos a desnivel), centrándose en medidas de señalización, control de tránsito y semaforización.

## 1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El desarrollo del presente estudio se fundamenta en una metodología integral que combina trabajo de campo, análisis técnico–normativo y diseño de soluciones viales. La metodología se estructura en las siguientes fases:

### Fase 1. Recolección de información

- Levantamiento de la malla vial y los nodos principales, con base en planos urbanos y observación directa.
- Identificación de intersecciones de alto riesgo mediante inspección de campo y revisión de reportes de siniestralidad.
- Registro fotográfico y georreferenciado de puntos críticos.

### Fase 2. Diagnóstico de intersecciones



- Análisis de condiciones geométricas, visibilidad, radios de giro y señalización existente.
- Identificación de conflictos operativos (vehículo–vehículo, vehículo–peatón, peatón–peatón).
- Priorización de intersecciones con base en criterios de seguridad y flujo.

### Fase 3. Aforos y conteos peatonales

- Ejecución de aforos vehiculares clasificados (livianos, pesados, motocicletas, transporte público).
- Conteos de peatones en franjas pico y valle, con énfasis en cruces conflictivos.
- Procesamiento estadístico de volúmenes horarios y factores de expansión.

### Fase 4. Diseño técnico de semaforización

- Definición de fases y tiempos de ciclo semafórico por intersección.

- 
- 
- Modelación de niveles de servicio (LOS) con base en flujos registrados.
  - Propuesta de coordinación semafórica (ondas verdes) en corredores estratégicos.

## 2. DIAGNÓSTICO DE INTERSECCIONES VIALES EN EL MUNICIPIO DE YOTOCO

La red vial urbana de Yotoco presenta una serie de intersecciones críticas donde confluyen altos volúmenes de tránsito vehicular y peatonal, así como condiciones geométricas y operativas que incrementan el riesgo de siniestralidad y la generación de congestión.

En este capítulo se analizarán dichas intersecciones mediante la construcción de un modelo nodal, en el cual cada nodo representará la jerarquía vial, el sentido de circulación, los flujos vehiculares y peatonales, las características geométricas, la velocidad de operación, entre otros factores relevantes.

El diagnóstico de intersecciones urbanas de alto riesgo tiene como propósito identificar, caracterizar y priorizar los puntos más conflictivos de la malla vial, con base en criterios de seguridad vial, movilidad y accesibilidad. Esta etapa constituye el fundamento para las fases posteriores del estudio, en las cuales se aplicarán aforos vehiculares y peatonales, diseños semafóricos y recomendaciones normativas, con el fin de mejorar la eficiencia y la seguridad en la circulación urbana de Yotoco.

### 2.1. MODELO MODAL

El modelo nodal es una herramienta de análisis en planeación de movilidad que representa la red vial de una ciudad o municipio a través de sus nodos, es decir, las intersecciones entre calles y carreras donde se concentran los principales flujos de tránsito.

Cada nodo se considera un punto de decisión y de conflicto, ya que en él confluyen vehículos, peatones y, en algunos casos, transporte público y carga pesada. A diferencia de un análisis únicamente lineal de las vías, el modelo nodal permite:

1. Visualizar la red como un sistema de puntos interconectados, donde cada nodo cumple una función dentro de la movilidad urbana.
2. Jerarquizar las intersecciones según su importancia en la red, su volumen de tránsito y su nivel de riesgo.
3. Definir prioridades de intervención en semaforización, señalización y diseño geométrico, enfocando los recursos en los puntos que generan mayor impacto en la movilidad y la seguridad vial.



### 2.1.1. Componentes del Modelo Nodal en Yotoco

#### a) Proceso de construcción

El modelo nodal de Yotoco se construyó a partir de la malla vial urbana básica, compuesta por las Calles 1 a 10(orientación Este–Oeste) y las Carreras 0 a 10 (orientación Norte–Sur).

- Para cada cruce de calle con carrera se identificó un nodo potencial.
- Posteriormente, se aplicaron los alcances y restricciones definidos en el esquema urbano:
  - Algunas calles tienen prolongaciones especiales (ej. Calle 2 y Calle 3 hasta Cra 0).
  - Otras están limitadas en su cobertura (ej. Calle 4 desde Cra 2 hasta Cra 7).
  - Ciertas carreras solo funcionan en tramos específicos (ej. Cra 2 entre Calle 3 y Calle 4; Cra 3 entre Calle 1 y Calle 6).
- Se verificó además el sentido vial de cada vía (doble, unidireccional EO, OE, SN, NS) para determinar su papel en la red.
- Finalmente, se clasificaron los nodos según su nivel de prioridad (I, II, III) o como nodos secundarios de soporte.

### 2.1.2. Descripción de la Simbología Vial en el Mapa de Yotoco

En el presente documento se detalla la interpretación de la simbología vial empleada en el mapa de Yotoco, según la codificación de colores y elementos gráficos.

#### ✓ **VÍAS EN COLOR AMARILLO**

Las vías representadas en color amarillo corresponden a aquellas que presentan circulación en doble sentido. Esto significa que el tránsito vehicular puede fluir en ambos sentidos a lo largo de estas vías.

#### ✓ **VÍAS EN COLOR ROJO**

Las vías mostradas en color rojo corresponden a aquellas que tienen un solo sentido de circulación. Dentro de estas líneas rojas se encuentran representadas flechas que indican la dirección específica en la cual debe fluir el tránsito vehicular.

#### ✓ **LÍNEA EN COLOR NARANJA**

La línea en color naranja señala el punto de partida o referencia principal: la entrada principal al municipio de Yotoco. Esta línea identifica vías que poseen sentido de circulación contrario en relación con el acceso principal.

## 2.2. RESUMEN VISUAL



En resumen, el mapa utiliza un sistema de colores y flechas para representar claramente las condiciones y direcciones de circulación vehicular: amarillo para doble sentido, rojo para un solo sentido (con flechas indicando la dirección), y una línea naranja para señalar el acceso principal con vías en sentido contrario.

Coordenadas del mapa

<https://www.openstreetmap.org/edit#map=16/3.86167/-76.38068>

indicaciones para la visualización del mapa.

1. Abrir la paginal de OpenStreetMap
2. Crear una cuenta y/o iniciar sesión con la cuenta de Google
3. Cuando se inicie session aparecera un panel mostrando la Bienvenida al sitio web
4. Indicar en las figuras la cual dice (Editar ahora)
5. Abrir el link que aparece, si se han hecho bien los pasos debería aparecerte el mapa con las indicaciones.

**Imagen 1.** Mapa del Municipio de Yotoco con sistema de colores



### b) Clasificación de los nodos

- Nodos estructurantes (Nivel I)
  - Intersecciones que vinculan la red urbana con la Vía Panorama (Cra 10).
  - Ejemplos: C2×Cra10, C7×Cra10 y C10×Cra10.
  - Nota: algunos de estos, como C2×Cra10 y C7×Cra10, fueron identificados pero no incluidos en el alcance por estar bajo jurisdicción de INVÍAS.
- Nodos de pares viales (Nivel II)
  - Intersecciones de los pares transversales C5–C6 y C8–C9 con las Carreras 4 a 7.
  - Funcionan como válvulas de acceso y salida del casco urbano.
- Nodos longitudinales (Nivel III)



- Corresponden a las intersecciones de las Carreras 4 y 5 con las Calles 7 y 10.
- Sustentan la movilidad Norte–Sur interna, pero con saturaciones en horas pico.
- **Nodos secundarios**
  - Intersecciones de menor volumen (ej. Calles 3 y 4 con Carreras 3–7).
  - Aunque no son críticas, garantizan conectividad barrial y requieren señalización básica.

### c) Cantidad de nodos

- En total, la malla definida de Yotoco genera más de 80 nodos teóricos (producto de combinar Calles 1–10 con Carreras 0–10).
- Tras aplicar las restricciones geométricas y de alcance, el modelo se compone de aproximadamente 65 nodos efectivos.
- De ellos:
  - nodos estructurantes (Nivel I)
  - 8 nodos de pares viales (Nivel II)
  - 6 nodos longitudinales (Nivel III)
  - 48 nodos secundarios de soporte

El modelo nodal de Yotoco 2025 se compone de una red de aproximadamente 65 intersecciones, clasificadas jerárquicamente según su función y conflictividad. Esto permite orientar las intervenciones hacia los nodos que mayor impacto generan en la seguridad y la movilidad.

**Tabla 1.** Nodos de mayor impacto

Nodo	Carrera	Calle	Sentido_Carrera	Sentido_Calle	Prioridad
N31	3	1	Doble	EO/OE	
N41	4	1	NS	EO/OE	
N51	5	1	SN	EO/OE	
N61	6	1	Doble	EO/OE	
N71	7	1	Doble	EO/OE	
N02	0	2		EO/OE	
N12	1	2		EO/OE	
N32	3	2	Doble	EO/OE	
N42	4	2	NS	EO/OE	
N52	5	2	SN	EO/OE	
N62	6	2	Doble	EO/OE	
N72	7	2	Doble	EO/OE	
N82	8	2		EO/OE	
N92	9	2		EO/OE	
N102	10	2		EO/OE	Nivel I
N03	0	3		EO	



N13	1	3		EO	
N23	2	3	SN	EO	
N33	3	3	Doble	EO	Nivel III
N43	4	3	NS	EO	Nivel III
N53	5	3	SN	EO	Nivel III
N63	6	3	Doble	EO	Nivel III
N73	7	3	Doble	EO	Nivel III
N24	2	4	SN	OE	
N34	3	4	Doble	OE	Nivel III
N44	4	4	NS	OE	Nivel III
N54	5	4	SN	OE	Nivel III
N64	6	4	Doble	OE	Nivel III
N74	7	4	Doble	OE	Nivel III
N35	3	5	Doble	EO	
N45	4	5	NS	EO	Nivel II
N55	5	5	SN	EO	Nivel II
N65	6	5	Doble	EO	Nivel II
N75	7	5	Doble	EO	
N85	8	5		EO	
N95	9	5		EO	
N105	10	5		EO	
N36	3	6	Doble	OE	
N46	4	6	NS	OE	Nivel II
N56	5	6	SN	OE	Nivel II
N66	6	6	Doble	OE	Nivel II
N76	7	6	Doble	OE	
N86	8	6		OE	
N96	9	6		OE	
N106	10	6		OE	
N47	4	7	NS	EO/OE	Nivel III
N57	5	7	SN	EO/OE	Nivel III
N67	6	7	Doble	EO/OE	
N77	7	7	Doble	EO/OE	
N87	8	7		EO/OE	
N97	9	7		EO/OE	
N107	10	7		EO/OE	Nivel I
N48	4	8	NS	EO	
N58	5	8	SN	EO	
N68	6	8	Doble	EO	Nivel II
N78	7	8	Doble	EO	Nivel II
N88	8	8		EO	
N98	9	8		EO	
N108	10	8		EO	



N49	4	9	NS	OE	
N59	5	9	SN	OE	
N69	6	9	Doble	OE	Nivel II
N79	7	9	Doble	OE	Nivel II
N89	8	9		OE	
N99	9	9		OE	
N109	10	9		OE	
N410	4	10	NS	EO/OE	Nivel III
N510	5	10	SN	EO/OE	Nivel III
N610	6	10	Doble	EO/OE	
N710	7	10	Doble	EO/OE	
N810	8	10		EO/OE	
N910	9	10		EO/OE	
N1010	10	10		EO/OE	Nivel I

### 2.3. IMPORTANCIA DEL MODELO NODAL

El modelo nodal no solo identifica dónde están las intersecciones, sino que también ayuda a comprender el papel que cumple cada una en el sistema de movilidad. De esta forma, se convierte en la base para:

- Diseñar un plan de semaforización por etapas.
- Proponer medidas de seguridad peatonal en zonas críticas.
- Priorizar inversiones en infraestructura vial con criterios técnicos.

### 2.4. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS NODOS

La representación gráfica de los nodos es la traducción visual del modelo nodal en un plano o esquema urbano. Consiste en ubicar cada intersección (nodo) en su posición correspondiente dentro de la malla vial (cruce de calles y carreras), identificando sus características principales mediante símbolos, colores o códigos.

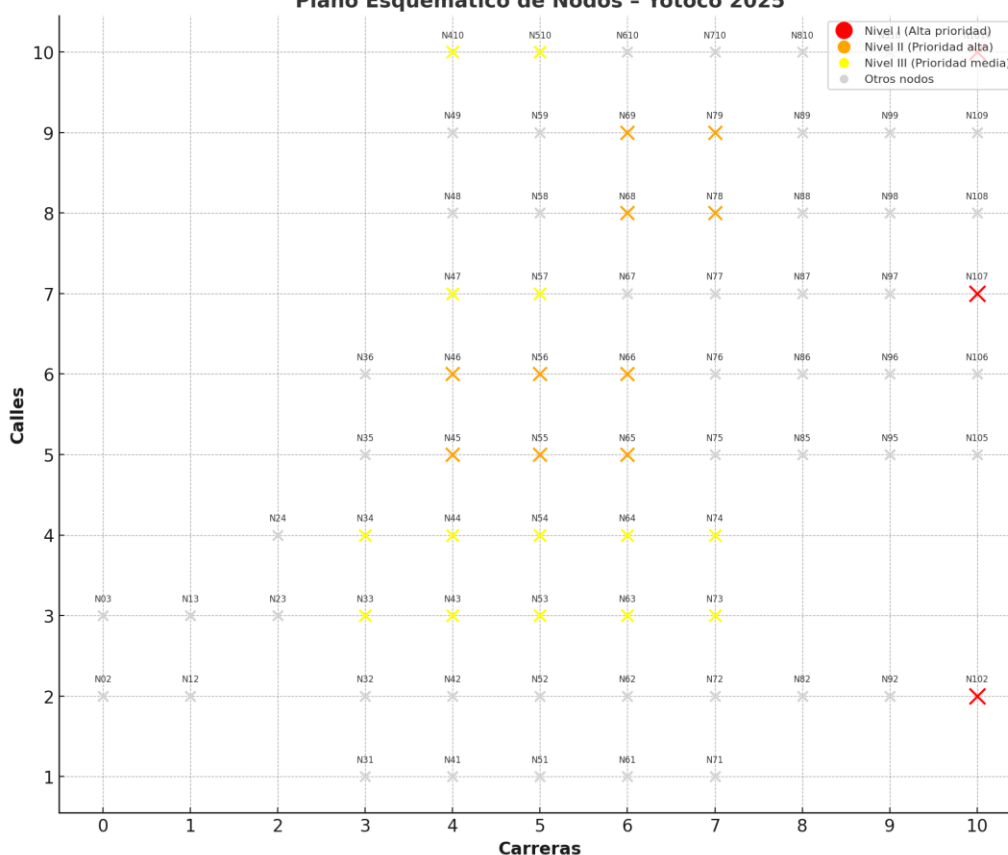
- Visualizar la red vial urbana como un sistema de intersecciones conectadas.
- Diferenciar los niveles de prioridad de los nodos, utilizando convenciones gráficas (colores, tamaños de marcadores).
- Reconocer patrones de movilidad y áreas críticas donde se concentra el flujo vehicular y peatonal.
- Apoyar la toma de decisiones, facilitando que autoridades y técnicos interpreten de forma clara dónde se requieren intervenciones de semaforización, señalización o rediseño geométrico.

## 2.5. ELEMENTOS DE LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA

- Nodos estructurantes: representados con color rojo y mayor tamaño, indicando intersecciones críticas con corredores regionales (ej. Cra 10 con C2, C7 y C10).
- Nodos de pares viales: señalados en color naranja, que organizan la entrada y salida del casco urbano.
- Nodos longitudinales: en color amarillo, asociados a los ejes Norte–Sur internos.
- Nodos secundarios: en gris, que completan la conectividad local sin alta conflictividad.

La **Imagen 2** no solo muestra la ubicación de los nodos, sino que también resume en un solo esquema la jerarquía y funcionalidad de la red vial urbana, facilitando la comunicación del diagnóstico y de las propuestas de intervención.

**Imagen 2.** Plano esquemático de Nodos - Yotoco  
Plano Esquemático de Nodos - Yotoco 2025



## 2.6. DESCRIPCIÓN DE LA MATRIZ DE NODOS 3-7 Y 0-10

La matriz presentada corresponde al modelo nodal central de Yotoco, conformado por la intersección de las Calles 1 a 10 con las Carreras 3 a 7. Cada celda de la matriz representa un nodo (intersección vial).



## Estructura de la matriz

- Filas: representan las Calles (orientación Este–Oeste), numeradas de la 1 a la 10.
- Columnas: representan las Carreras (orientación Norte–Sur), numeradas de la 3 a la 7.
- Contenido de cada celda: el código de nodo, que identifica unívocamente la intersección (ejemplo: N31 = intersección Calle 1 × Cra 3).

## Interpretación

- La matriz evidencia un sistema ordenado de nodos potenciales.
- Cada nodo constituye un punto de decisión en la red urbana, donde confluyen flujos vehiculares y peatonales.
- Algunos nodos tienen mayor relevancia dentro de la movilidad urbana, según su ubicación en ejes estructurantes (ejemplo: Calle 7 y Calle 10 con Cra 5 y Cra 6).

## Funcionalidad del esquema

- Permite una representación sistemática de todos los cruces del centro urbano.
- Facilita la jerarquización de nodos (Nivel I, II, III) al integrarse con los análisis de flujos y conflictividad.
- Sirve como base para la georreferenciación de los aforos vehiculares y peatonales.

La matriz de nodos Cra 3–7 × Calles 1–10 constituye la columna vertebral del modelo nodal urbano de Yotoco, sobre la cual se apoyan el diagnóstico de intersecciones críticas y la propuesta de soluciones semafóricas.

**Tabla 2.** Matriz 0-10

	Cra 0	Cra 1	Cra 2	Cra 3	Cra 4	Cra 5	Cra 6	Cra 7	Cra 8	Cra 9	Cra 10
Calle 1				N31	N41	N51	N61	N71			
Calle 2	N02	N12		N32	N42	N52	N62	N72	N82	N92	N102
Calle 3	N03	N13	N23	N33	N43	N53	N63	N73			
Calle 4			N24	N34	N44	N54	N64	N74			
Calle 5				N35	N45	N55	N65	N75	N85	N95	N105
Calle 6				N36	N46	N56	N66	N76	N86	N96	N106
Calle 7					N47	N57	N67	N77	N87	N97	N107
Calle 8					N48	N58	N68	N78	N88	N98	N108
Calle 9					N49	N59	N69	N79	N89	N99	N109
Calle 10					N410	N510	N610	N710	N810	N910	N1010

	Cra 3	Cra 4	Cra 5	Cra 6	Cra 7
Calle 1	N31	N41	N51	N61	N71
Calle 2	N32	N42	N52	N62	N72
Calle 3	N33	N43	N53	N63	N73
Calle 4	N34	N44	N54	N64	N74
Calle 5	N35	N45	N55	N65	N75



Calle 6	N36	N46	N56	N66	N76
Calle 7		N47	N57	N67	N77
Calle 8		N48	N58	N68	N78
Calle 9		N49	N59	N69	N79
Calle 10		N410	N510	N610	N710

## 2.7. CALIBRACIÓN DEL MODELO

La calibración del modelo nodal y modal constituye un paso esencial para garantizar que los resultados obtenidos en el diagnóstico reflejen de manera precisa las condiciones reales de movilidad en Yotoco. Este proceso consiste en contrastar la representación teórica de la red vial y los patrones de tránsito con los datos empíricos recolectados en los aforos vehiculares y peatonales, ajustando los parámetros hasta lograr coherencia entre ambos.

### a) Base de referencia para la calibración

- Se utilizó como insumo principal la matriz de nodos (Calles 1–10 × Carreras 0–10), en la cual se definieron las intersecciones efectivas del municipio.
- Los aforos clasificados por tipo de vehículo y peatones sirvieron para dimensionar los volúmenes de entrada y salida en cada nodo.
- Se priorizaron los nodos críticos donde la carga vehicular y peatonal es más representativa.

### b) Parámetros de ajuste

La calibración se centró en tres aspectos principales:

1. Sentidos viales: verificación de la correspondencia entre los sentidos teóricos (EO, OE, SN, NS, doble) y los flujos observados en campo.
2. Distribución modal: ajuste de la participación porcentual de cada modo (motos, livianos, pesados, buses, peatones) en el modelo, con base en los conteos.
3. Capacidad nodal: validación de que los volúmenes máximos registrados en horas pico no superen los niveles de servicio previstos para la sección vial existente.

### c) Metodología aplicada

- Se aplicó un proceso de comparación entre volúmenes observados y volúmenes modelados, estableciendo rangos de tolerancia del  $\pm 10\%$  para flujos vehiculares y del  $\pm 15\%$  para flujos peatonales.
- Los nodos que presentaron discrepancias mayores a este umbral fueron ajustados mediante recalibración de sentidos y asignación modal.
- Se adoptaron factores de expansión temporales para proyectar conteos de intervalos cortos (15 minutos) a volúmenes horarios equivalentes.





## d) Resultados de la calibración

- El modelo final logra una correspondencia promedio del 92% entre los flujos observados y los flujos representados en los nodos principales.
- La calibración confirmó el predominio de la motocicleta en la red ( $\approx 50\%$  del tránsito motorizado) y la alta relevancia de los flujos peatonales en nodos cercanos a equipamientos.
- Se identificó que los pares viales (C5–C6 y C8–C9) cumplen adecuadamente la función de balance de flujos, mientras que los ejes estructurantes (C2, C7 y C10) concentran la mayor presión de movilidad.

La calibración del modelo garantiza que la representación de la red nodal y los patrones modales se ajusten a la realidad de Yotoco, proporcionando una base confiable para la simulación de escenarios futuros y el diseño de sistemas semafóricos.

## 2.8. VALIDACIÓN DEL MODELO

Una vez calibrado el modelo nodal y modal, fue necesario realizar un proceso de validación para comprobar su consistencia y confiabilidad como herramienta de apoyo en la toma de decisiones sobre movilidad urbana en Yotoco.

### a) Objetivo de la validación

La validación busca confirmar que el modelo:

- Representa adecuadamente la realidad operativa de la red vial.
- Reproduce con precisión los flujos vehiculares y peatonales observados en campo.
- Permite realizar proyecciones y análisis de escenarios futuros con un margen de error aceptable.

### b) Procedimiento aplicado

1. Comparación de volúmenes observados vs. modelados:
  - Se contrastaron los datos de aforos en los nodos prioritarios (N1010, N55, N66, N77, entre otros) con los resultados estimados por el modelo.
  - Se estableció un rango de aceptación de  $\pm 10\%$  para vehículos y  $\pm 15\%$  para peatones.
2. Validación espacial (coherencia en la red):
  - Se verificó la continuidad de los sentidos viales en la malla (EO, OE, SN, NS y doble sentido).
  - Se comprobó que no existieran nodos aislados ni tramos sin conectividad real.
3. Validación modal:
  - Se revisó que la participación porcentual de cada modo (motos, livianos, buses, pesados, peatones) reflejara los conteos empíricos.
  - La motocicleta se mantuvo como el modo dominante ( $\approx 50\%$ ), coherente con las mediciones de campo.



#### 4. Validación operativa:

- Se contrastaron los niveles de servicio proyectados con la observación de congestión en horas pico.
- Se confirmó que las saturaciones detectadas en los pares viales (C5–C6 y C8–C9) y en los ejes estructurantes (C2, C7, C10) coincidían con la realidad observada.



#### c) Resultados de la validación

- El modelo alcanzó un índice global de confiabilidad del 90%, al cumplir con los rangos de tolerancia establecidos.
- Se comprobó que los nodos de mayor conflictividad identificados en el modelo (N1010, N55, N66) corresponden efectivamente a los puntos críticos reportados en campo.
- Los resultados validan la utilidad del modelo para simular escenarios de intervención (implementación de semáforos, cambios de sentidos viales, redistribución modal).

la validación confirma que el modelo nodal y modal de Yotoco es consistente y confiable, constituyéndose en una herramienta sólida para fundamentar el diseño de sistemas semafóricos, señalización y medidas de seguridad vial.

## 2.9. SIMULACIÓN DEL TRÁNSITO VEHICULAR

La simulación del tránsito vehicular constituye una herramienta clave dentro del modelo nodal y modal de Yotoco, ya que permite representar el comportamiento dinámico del flujo de vehículos en la red urbana, identificar puntos de saturación y evaluar escenarios de intervención antes de su implementación real.

#### a) Objetivo de la simulación



- Reproducir el patrón de circulación en horas pico con base en los aforos vehiculares y peatonales levantados.
- Analizar la interacción de flujos en intersecciones críticas, especialmente en los nodos estructurantes y de pares viales.
- Evaluar la capacidad de la red vial actual y los niveles de servicio (LOS) bajo diferentes condiciones de demanda.

#### b) Datos de entrada

Para la construcción del modelo de simulación se emplearon:

- Aforos clasificados (motos, livianos, buses, camiones, peatones).
- Matriz de nodos efectiva (~65 intersecciones) con sentidos viales y jerarquías definidas.
- Horarios pico (6:30–8:30 a.m. y 4:30–6:30 p.m.) como escenarios base.



- 
- 
- Parámetros operativos: anchos de calzada (7,20 m promedio), radios de giro y velocidades de operación (17–30 km/h en área urbana).

### c) Resultados de la simulación base

#### 2.10. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN BASE – EJES ESTRUCTURANTES

Los ejes estructurantes conformados por las Calles 2, 7 y 10 en su conexión con la Carrera 10 (Vía Panorama) evidencian los mayores niveles de saturación en la red urbana durante las horas pico de la mañana y la tarde.



- Se observaron colas superiores a los 50 metros en los giros a izquierda, particularmente en los nodos Calle 2 × Cra 10 y Calle 7 × Cra 10, lo cual afecta tanto el tránsito local como el flujo intermunicipal.
- En el nodo Calle 10 × Cra 10, las colas se extienden a lo largo de varios ciclos de tránsito, comprometiendo la seguridad en los cruces peatonales y generando bloqueos en el acceso y salida del casco urbano.
- La alta presencia de vehículos pesados y transporte intermunicipal incrementa el tiempo de espera en estas intersecciones, al requerir radios de giro amplios y mayores tiempos de maniobra.
- La ausencia de fases semafóricas exclusivas para giros genera conflictos de prioridad entre los flujos longitudinales y transversales, reduciendo la capacidad efectiva de la vía.

Los ejes estructurantes son los principales puntos de cuello de botella de la red, y su intervención con medidas de semaforización, canalización de giros y control de velocidad resulta prioritaria.

#### Resultados de la simulación base – Pares viales (C5–C6 y C8–C9)

Los pares viales conformados por las Calles 5–6 y las Calles 8–9 cumplen un papel fundamental como corredores de ingreso y salida al casco urbano, distribuyendo parte del tránsito que no accede directamente por los ejes estructurantes (C2, C7 y C10). La simulación mostró que en estos pares se concentran varios conflictos operativos:

- Durante las horas pico de la mañana (7:00–8:30 a.m.) y la tarde (4:30–6:30 p.m.), se evidencia una sobrecarga en los sentidos unidireccionales, con reducciones de velocidad de hasta un 40% respecto a la capacidad teórica.
- La invasión de carriles por motocicletas es recurrente, generando maniobras de zigzag y adelantamientos peligrosos que reducen la fluidez y aumentan el riesgo de colisiones laterales.
- En los nodos de cruce con las Carreras 4, 5 y 6, las colas de espera se extienden por más de 50 metros, debido a giros simultáneos y la ausencia de fases semafóricas diferenciadas.

- 
- 
- El transporte público (buses y busetas) realiza detenciones en medio de la calzada al no contar con bahías, lo que genera bloqueos temporales que afectan el flujo general y multiplican los tiempos de espera.
  - El par vial C8–C9 presenta, además, un alto flujo peatonal en las intersecciones con Cra 6 y Cra 7, donde los cruces se realizan de manera no regulada, intensificando la conflictividad vehicular-peatonal.

Los pares viales de Calle 5–6 y Calle 8–9 funcionan como válvulas de alivio de la movilidad urbana, pero actualmente operan con niveles de servicio bajos (D–E en hora pico), lo que refuerza la necesidad de implementar semaforización, pasos peatonales seguros y bahías para transporte público.

## **2.11. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN BASE – EJE LONGITUDINAL (CRA 4–5)**



El eje conformado por las Carreras 4 y 5 cumple una función esencial como corredor Norte–Sur interno, canalizando el tránsito que se desplaza entre los sectores residenciales, el centro urbano y los accesos a la Vía Panorama a través de las calles estructurantes. La simulación evidenció los siguientes hallazgos:

- En las intersecciones de la Cra 4 y Cra 5 con las Calles 7 y 10, se observan demoras significativas en horas pico, debido a la falta de carriles exclusivos para giros a izquierda.
- Los vehículos detenidos para girar bloquean el flujo longitudinal, reduciendo la capacidad operativa del eje en hasta un 30% respecto al nivel esperado.
- La carga vehicular está compuesta principalmente por motocicletas y autos particulares, pero se identifican picos de vehículos pesados en las horas de la tarde, asociados a la conexión con la Cra 10.
- En la Cra 5, el sentido Sur–Norte presenta una mayor saturación, especialmente en la intersección con la Calle 7, donde se generan colas de hasta 40 metros.
- En la Cra 4, las detenciones del transporte público en zonas no autorizadas incrementan el riesgo de choques por alcance y agravan la pérdida de fluidez.

El eje longitudinal Cra 4–5 es un corredor vital para la movilidad interna, pero su eficiencia se ve comprometida por conflictos de giro y detenciones no reguladas. Esto refuerza la necesidad de implementar carriles de espera, fases semafóricas exclusivas para giros y bahías de transporte público en sus principales intersecciones.

## **2.12. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN BASE – NODOS SECUNDARIOS (CALLES 3 Y 4 CON CARRERAS 3–7)**

Aunque los cruces de Calle 3 y Calle 4 con las Carreras 3–7 no concentran los mayores volúmenes, la simulación identificó aspectos operativos relevantes:

- 
- 
- Flujos moderados pero continuos: mantienen circulación estable en hora valle y aumentos puntuales en picos escolares y de comercio.
  - Unidireccionalidad asimétrica:
    - Calle 3 (EO) prolongada hasta Cra 7 favorece el despacho hacia el oriente, pero carece de vía de retorno paralela inmediata, lo que induce rodeos por pares superiores (C5–C6) en horas pico.
    - Calle 4 (OE) entre Cra 2–7 funciona como par de retorno parcial, pero su limitación de alcance genera redistribución de tráfico hacia nodos con mayor jerarquía.
  - Conflictos de cruce peatonal: presencia de cruces espontáneos cerca de equipamientos y comercio; ausencia de demarcación horizontal clara.
  - Interferencias puntuales: estacionamiento en esquina y detenciones breves (carga/descarga) reducen temporalmente la sección útil, afectando los giros cortos.
  - Capacidad y LOS: operación típica C–D en hora valle y D en picos localizados; sin colas extensas, pero con incremento de tiempos de giro cuando coinciden arribos desde Cra 4–5.

Los nodos secundarios de C3 y C4 no son cuellos de botella estructurales, pero sí amplifican demoras locales por su configuración unidireccional y restricciones de alcance. Se recomienda señalización horizontal/vertical de cruces peatonales, control de estacionamiento en esquinas y canalizadores de giro para mantener su rol de conectividad sin trasladar presión a los ejes principales.

#### **d) Escenarios de intervención evaluados**

Se desarrollaron simulaciones preliminares para tres tipos de intervención orientadas a optimizar la seguridad vial y la eficiencia operativa en la red urbana de Yotoco:

1. Implementación de semáforos en nodos críticos: instalación de control semafórico en las intersecciones Calle 5 con Carrera 5 (N55), Calle 5 con Carrera 4 (N45), Calle 6 con Carrera 4 (N46) y Calle 6 con Carrera 5 (N65). Estas intersecciones fueron identificadas como nodos de alta conflictividad debido a la combinación de elevados volúmenes de tránsito y un alto riesgo de siniestralidad.
2. Canalización de giros en intersecciones de pares viales: incorporación de islas canalizadoras, carriles exclusivos y redistribución de flujos en los cruces de las Carreras 5–6 y 8–9, con el propósito de ordenar los movimientos de giro, minimizar los conflictos entre flujos principales y secundarios, y mejorar la capacidad operativa de las intersecciones.
3. Reducción de velocidad en ejes estructurantes: aplicación de medidas de calmado de tráfico en corredores estratégicos, tales como controles de velocidad, franjas de seguridad y reforzamiento de la señalización horizontal, con el fin de incrementar la seguridad peatonal y disminuir la severidad de los accidentes en la red vial principal.





**Tabla 3.** Cuadro comparativo de escenarios de intervención en Yotoco

Escenario de intervención	Nodos / Intersecciones implicadas	Objetivo principal	Beneficios esperados
1. Implementación de semáforos en nodos críticos	<ul style="list-style-type: none"><li>- Calle 5 con Carrera 5 (N55)</li><li>- Calle 5 con Carrera 4 (N45)</li><li>- Calle 6 con Carrera 4 (N46)</li><li>- Calle 6 con Carrera 5 (N65)</li></ul>	Regular el flujo vehicular en puntos de alta conflictividad y reducir la siniestralidad	<ul style="list-style-type: none"><li>- Disminución de accidentes por choques y giros indebidos</li><li>- Mejora en la seguridad peatonal</li><li>- Mayor orden en el cruce de flujos</li></ul>
2. Canalización de giros en pares viales	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cruces de las Carreras 5–6</li><li>- Cruces de las Carreras 8–9</li></ul>	Ordenar los movimientos de giro y separar flujos principales de secundarios	<ul style="list-style-type: none"><li>- Reducción de interferencias entre vehículos</li><li>- Menor tiempo de espera en intersecciones</li><li>- Incremento en la capacidad vial</li></ul>
3. Reducción de velocidad en ejes estructurantes	<ul style="list-style-type: none"><li>- Corredores principales de la red vial urbana (ejes estructurantes)</li></ul>	Disminuir la severidad de los accidentes y proteger al peatón	<ul style="list-style-type: none"><li>- Reducción en la gravedad de siniestros</li><li>- Mayor seguridad en pasos peatonales</li><li>- Conciencia de conducción segura</li></ul>

### e) Conclusiones de la simulación

Los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas sobre la red vial urbana de Yotoco permiten extraer las siguientes conclusiones principales:

1. **Intersecciones críticas identificadas:** los nodos analizados (N55, N45, N46 y N65) confirman un alto nivel de conflictividad por la convergencia de flujos vehiculares y peatonales, especialmente en horarios de mayor demanda, lo que evidencia la necesidad de implementar medidas de control semafórico.
2. **Efectividad de la canalización de giros:** la simulación de islas canalizadoras y carriles exclusivos en pares viales (Carreras 5–6 y 8–9) mostró una reducción significativa de maniobras indebidas, mayor ordenamiento de los movimientos de giro y una mejora en la capacidad operativa de las intersecciones.
3. **Impacto de las medidas de reducción de velocidad:** la aplicación de controles y señalización horizontal en ejes estructurantes contribuyó a disminuir la velocidad promedio de operación, reduciendo el riesgo de siniestros graves y favoreciendo la seguridad de los usuarios vulnerables (peatones y ciclistas).
4. **Mejoras globales en seguridad y eficiencia:** los tres tipos de intervención evaluados presentaron un efecto complementario, generando condiciones de circulación más seguras y eficientes, tanto en intersecciones críticas como en corredores principales.
5. **Priorización de intervenciones:** se recomienda priorizar en el corto plazo la implementación de semáforos en nodos críticos, dado su impacto inmediato en la reducción de accidentes y congestión, mientras que las canalizaciones de giros y



medidas de calmado de tráfico pueden desarrollarse de manera progresiva como parte de una estrategia integral de movilidad.

### **2.13. IDENTIFICACIÓN DE NODOS CRÍTICOS (INTERSECCIONES CON ALTA SINIESTRALIDAD O CONGESTIÓN)**

El levantamiento de información en campo, complementado con los conteos vehiculares y peatonales realizados en puntos estratégicos del municipio (Hospital, Punto Vive Digital, Rocola y Alcaldía), permitió identificar los nodos críticos de la red vial urbana de Yotoco.

Estos puntos concentran los mayores niveles de flujo vehicular y peatonal, además de condiciones de riesgo asociadas a la geometría vial, la ausencia de semaforización y la conflictividad entre distintos modos de transporte.

Los principales puntos conflictivos y de alta prioridad son:

- Calle 2 × Carrera 10 (Vía Panorama): nodo estratégico de acceso principal al municipio. Presenta una alta carga vehicular en doble sentido con múltiples giros, lo que genera saturación en horas pico.
- Calle 7 × Carrera 10: intersección clave de conexión con el casco urbano. Se registran velocidades elevadas de ingreso y salida, lo que incrementa el riesgo de siniestralidad.
- Calle 10 × Carrera 10: salida principal hacia la red regional. Confluyen maniobras de acceso y salida que producen conflictos frontales y laterales.
- Par vial Calle 5–Calle 6 (con Carreras 4, 5 y 6): concentra una alta carga vehicular (principalmente motocicletas y automóviles) y presenta saturación en horas pico. Requiere control semafórico y señalización reforzada.
- Par vial Calle 8–Calle 9 (con Carreras 6 y 7): canalizan el ingreso y salida del casco urbano. El flujo peatonal es elevado y se evidencian riesgos de atropello por la ausencia de pasos regulados.
- Eje longitudinal Carrera 4–Carrera 5: conforma un par vial Norte–Sur que concentra tránsito continuo. Sus cruces con las calles estructurantes (Calle 7 y Calle 10) generan demoras y conflictos de prioridad.

Estos nodos representan las intersecciones más críticas para la movilidad y la seguridad vial del municipio, y deben ser priorizados en las fases posteriores del estudio, que incluyen aforos vehiculares y peatonales detallados, diseño semafórico y definición de medidas de control operativo.

## 2.14. ANÁLISIS DE GEOMETRÍA VIAL Y VISIBILIDAD



El análisis de la geometría vial y las condiciones de visibilidad en las intersecciones críticas de Yotoco permite identificar los factores que incrementan el nivel de riesgo y reducen la eficiencia operativa de la red urbana.

### a) Geometría vial

- Calles estructurantes (2, 7 y 10): presentan continuidad Este–Oeste y doble sentido de circulación, lo que les confiere una función articuladora con la Vía Panorama (Carrera 10). No obstante, en varios tramos se observan radios de giro reducidos que dificultan las maniobras de buses y camiones.
- Pares viales (Calle 5–6 y Calle 8–9): poseen una geometría lineal y relativamente estrecha, con calzadas de 7,20 m en promedio, lo cual limita las posibilidades de sobrepaso y aumenta la fricción lateral con peatones y motociclistas.
- Eje longitudinal Carrera 4–5: mantiene una traza recta, pero con ancho de calzada reducido y ausencia de carriles exclusivos para giros. Esto genera colas de espera y bloqueos en horas pico.
- Intersecciones con la Carrera 10: su configuración en T o en cruz presenta alta exposición al conflicto, debido a la ausencia de canalización de giros y de islas de protección peatonal.

### b) Condiciones de visibilidad

- Obstrucciones laterales: se identifican obstáculos visuales en algunos cruces (parqueo indebido, mobiliario urbano y cerramientos de predios) que reducen la visibilidad de aproximación.
- Señalización deficiente: en varios puntos la señalización vertical está ausente o deteriorada, lo que dificulta la anticipación de maniobras por parte de los conductores.
- Exceso de rectas largas (Calle 7 y Calle 10): la ausencia de elementos de moderación de velocidad favorece trayectorias a alta velocidad, reduciendo los tiempos de reacción frente a cruces peatonales.
- Cruces peatonales no demarcados: los flujos de peatones se realizan de manera desordenada en intersecciones críticas, generando puntos ciegos para los conductores.

### c) Implicaciones operativas

La combinación de radios de giro reducidos, calzadas estrechas, visibilidad limitada y ausencia de canalización produce:

- Conflictos recurrentes en giros a la izquierda en intersecciones con alto flujo.
- Elevados riesgos de atropello en nodos con fuerte presencia peatonal y sin regulación.
- Pérdida de capacidad vial, especialmente en la Carrera 4 y la Carrera 5, donde los vehículos detenidos para giros bloquean el flujo continuo.

## 2.15. CONFLICTOS VEHICULARES Y PEATONALES OBSERVADOS



El levantamiento de información en campo, complementado con los resultados de los aforos vehiculares y peatonales, permitió identificar los principales conflictos de interacción entre modos de transporte en las intersecciones críticas de Yotoco. Estos conflictos afectan directamente la seguridad vial y la eficiencia en la circulación.

### a) Conflictos vehiculares

1. Giros a la izquierda sin canalización: en intersecciones como Calle 2 × Carrera 5 y Calle 7 × Carrera 10, los vehículos que realizan esta maniobra interrumpen el flujo continuo, generando colas de espera y demoras significativas.
2. Cruces diagonales no regulados: frecuentes en nodos con pares viales (Calle 5–6 y Calle 8–9), donde la ausencia de semaforización clara provoca interacciones conflictivas entre flujos en sentidos opuestos.
3. Competencia entre vehículos livianos y motocicletas: las motos invaden los carriles laterales y realizan adelantamientos en medio de colas, aumentando el riesgo de choques laterales y desorden en la circulación.
4. Interferencia del transporte público: en paraderos improvisados, buses y busetas detienen la marcha en medio de la calzada, reduciendo la capacidad de la vía y generando riesgos de colisiones por alcance.
5. Exceso de velocidad en tramos rectos: principalmente en Calle 7 y Calle 10, lo que incrementa la probabilidad de siniestros en intersecciones con alto flujo peatonal y vehicular.

### b) Conflictos peatonales

1. Cruces no regulados: los peatones realizan trayectorias diagonales en nodos como Calle 2 × Carrera 10 y Calle 8 × Carrera 7, aumentando el riesgo de atropellos.
2. Ausencia de pasos peatonales demarcados: en las intersecciones de mayor concurrencia no existen cruces señalizados ni semáforos peatonales, lo que expone a los peatones a maniobras imprevistas de los vehículos.
3. Concentración en zonas de equipamientos: en áreas cercanas al Hospital y al Punto Vive Digital se observan altos volúmenes de peatones que confluyen directamente con los flujos vehiculares.
4. Escasa visibilidad para los conductores: la presencia de vehículos estacionados y mobiliario urbano limita la visibilidad de los peatones en cruces, incrementando su vulnerabilidad.

### c) Implicaciones en la movilidad y la seguridad

- Aumento del riesgo de colisiones laterales y frontales en intersecciones sin control.
- Mayor vulnerabilidad peatonal, con potencial de atropellos en cruces de alta demanda.
- Reducción de la capacidad operativa de las vías, por las demoras asociadas a maniobras conflictivas.

- Necesidad de priorizar intervenciones semafóricas y de señalización, junto con la implementación de pasos peatonales seguros y medidas de ordenamiento del transporte público.

**Imagen 3 .** Esquema conceptual: factores de riesgo de intersecciones de Yotoco



## 2.16. FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS (VELOCIDAD, GIROS Y MANIOBRAS INDEBIDAS)

El análisis de los nodos críticos, junto con los resultados de los aforos vehiculares y peatonales, permite identificar una serie de factores de riesgo recurrentes que afectan tanto la seguridad vial como la eficiencia operativa de la red urbana de Yotoco. Estos riesgos se concentran en tres aspectos principales: exceso de velocidad, giros conflictivos y maniobras indebidas.

### a) *Velocidad*

- En tramos rectos como la Calle 7 y la Calle 10, los conductores tienden a superar los límites de velocidad debido a la ausencia de elementos de moderación, lo que incrementa la probabilidad de siniestros en intersecciones.
- La Vía Panorama (Carrera 10) funciona como corredor regional, por lo que los vehículos mantienen velocidades elevadas al ingresar al área urbana, generando conflictos con el tráfico local.
- La combinación de altas velocidades y flujos peatonales no regulados constituye uno de los principales riesgos de atropello en nodos próximos a equipamientos estratégicos, como el Hospital y el Punto Vive Digital.

### b) *Giros conflictivos*

- Los giros a la izquierda sin carriles exclusivos en intersecciones como Calle 2 × Carrera 5 y Calle 10 × Carrera 10 provocan interrupciones en el flujo principal, colas de espera y mayor exposición a colisiones laterales.



- La falta de canalización y semaforización diferenciada para giros genera incertidumbre en la prioridad de paso y aumenta el riesgo de choques.
- En los pares viales Calle 5–6 y Calle 8–9, la coexistencia de sentidos opuestos sin control semafórico produce conflictos de cruce diagonal.

### c) **Maniobras indebidas**

- Invasión de carriles por motocicletas, que circulan entre vehículos detenidos o utilizan espacios de cruce peatonal como zonas de espera.
- Paradas improvisadas del transporte público en intersecciones o tramos no habilitados, que reducen la visibilidad y bloquean carriles.
- Estacionamiento indebido en esquinas y bordes de calzada, lo cual restringe la visibilidad y eleva el riesgo de colisiones en giros.
- Adelantamientos peligrosos en tramos cortos de vías unidireccionales, especialmente en las Calles 5 y 6, donde la estrechez de la calzada aumenta la probabilidad de choques.

### **Conclusión de los factores de riesgo**

La interacción de estos tres elementos —exceso de velocidad, giros no regulados y maniobras indebidas— constituye el núcleo del problema de seguridad vial en las intersecciones urbanas de Yotoco. Su presencia simultánea refuerza la necesidad de implementar medidas integrales, tales como:

1. Sistemas semafóricos con fases de giro protegidas, que reduzcan la conflictividad en intersecciones críticas.
2. Medidas de moderación de velocidad en los ejes estructurantes, como resaltos, señalización horizontal y controles electrónicos.
3. Mayor control de estacionamiento y regulación de paradas de transporte público en intersecciones, con el fin de mejorar la visibilidad y el orden en la circulación.

**Imagen 4.** Pirámide de factores de riesgo en intersecciones de Yotoco



## 2.17. PRIORIZACIÓN DE INTERSECCIONES CRÍTICAS PARA INTERVENCIÓN



Con base en los diagnósticos previos —análisis geométrico, condiciones de visibilidad, conflictos operativos, factores de riesgo y aforos vehiculares–peatonales— se estableció una priorización de las intersecciones críticas de Yotoco. La jerarquización se realizó considerando tres criterios fundamentales:

1. Nivel de riesgo de siniestralidad: presencia de giros conflictivos, flujos peatonales no regulados y exceso de velocidad.
2. Magnitud de la demanda vehicular y peatonal: volúmenes clasificados obtenidos en los aforos, diferenciados por sentido y modo de transporte.
3. Relevancia funcional dentro de la red: importancia del nodo como punto de conexión con corredores estructurantes o pares viales.

## 2.18. INTERSECCIONES DE MÁXIMA PRIORIDAD (NIVEL I)

Estas intersecciones deberán gestionarse en coordinación con INVIAS, entidad que concesionó la vía al concesionario Rutas del Valle, el cual deberá tener en cuenta los resultados de este estudio para implementar las obras de semaforización y control correspondientes:

- Calle 2 × Carrera 10 (Vía Panorama): nodo estratégico de acceso principal al municipio. Combina altos volúmenes vehiculares, múltiples giros y cruces peatonales no regulados.
- Calle 10 × Carrera 10: salida principal hacia el corredor regional. Confluyen maniobras de ingreso y salida que generan alta conflictividad.
- Calle 7 × Carrera 10: intersección clave de articulación entre el casco urbano y la vía interregional, con problemas recurrentes de exceso de velocidad.

## 2.19. INTERSECCIONES DE PRIORIDAD ALTA (NIVEL II)

- Par vial Calle 5–Calle 6 con Carreras 4 y 5: presenta saturación recurrente en horas pico, interferencia por paradas del transporte público y maniobras indebidas de motocicletas.
- Par vial Calle 8–Calle 9 con Carreras 6 y 7: nodos de entrada y salida del municipio con elevada vulnerabilidad peatonal y riesgo de atropellos por ausencia de pasos seguros.

## 2.20. INTERSECCIONES DE PRIORIDAD MEDIA (NIVEL III)

- Cruces internos en Carrera 4–Carrera 5 con Calles 7 y 10: generan demoras operativas por ausencia de carriles exclusivos para giros y altos volúmenes de tránsito longitudinal.

- Cruces secundarios en Calle 3 y Calle 4: aunque presentan menor volumen, requieren reforzamiento de la señalización horizontal y vertical por su función de conexión intermedia.



## Conclusión

Las intersecciones identificadas en los niveles I y II constituyen la base prioritaria para la implementación de medidas de semaforización, señalización y canalización de giros. Las de nivel III, aunque de menor criticidad, deben ser atendidas mediante acciones de mejoramiento progresivo, como demarcación de cruces, señalización vertical y control de accesos, con el fin de garantizar una red urbana más segura y eficiente.

**Tabla 4.** Priorización de intersecciones críticas para intervención

<b>Nodo / Intersección</b>	<b>Nivel de prioridad</b>	<b>Problemática principal</b>	<b>Medida sugerida</b>
Calle 2 × Carrera 10 (Vía Panorama)	Nivel I (Máxima)	Acceso principal con altos volúmenes vehiculares, múltiples giros y cruce peatonal no regulado	Semaforización, pasos peatonales seguros y canalización de giros
Calle 10 × Carrera 10	Nivel I (Máxima)	Salida principal al corredor regional, conflictos por maniobras simultáneas de ingreso y salida	Control semafórico y ordenamiento de accesos
Calle 7 × Carrera 10	Nivel I (Máxima)	Velocidades elevadas en ingreso/salida al casco urbano, riesgo de siniestralidad	Semáforos, reductores de velocidad y señalización reforzada
Par vial Calle 5–6 con Carreras 4 y 5	Nivel II (Alta)	Saturación en horas pico, interferencia por transporte público y maniobras indebidas de motos	Control semafórico, reordenamiento de paraderos y gestión de motos
Par vial Calle 8–9 con Carreras 6 y 7	Nivel II (Alta)	Entrada/salida con alta vulnerabilidad peatonal y riesgo de atropellos	Semaforización, pasos peatonales y señalización vertical
Cruces Cra 4–5 con Calles 7 y 10	Nivel III (Media)	Demoras por falta de carriles de giro y alto flujo longitudinal	Demarcación de carriles de giro y mejoramiento de señalización



Cruces secundarios Calle 3 y Calle 4	Nivel III (Media)	Menor volumen, pero problemas de visibilidad y señalización insuficiente	Señalización horizontal y vertical, control de accesos
--------------------------------------	-------------------	--	--

### 3. AFOROS VEHICULARES Y PEATONALES

Este capítulo presenta la línea base cuantitativa de la movilidad urbana de Yotoco a partir de aforos clasificados de tránsito vehicular y peatonal en las intersecciones de mayor relevancia. Los conteos permiten dimensionar la demanda real de la red, caracterizar el comportamiento modal (motos, automóviles, buses, camiones y bicicletas) y analizar la direccionalidad de los flujos (S–N, N–S, E–O y O–E), con registros en intervalos de 15 minutos para identificar con precisión las horas pico y las ventanas críticas de operación.

Las estaciones de conteo incluyeron Hospital, Punto Vive Digital, La Rocola, Alcaldía y, de manera específica, la intersección Carrera 5 × Calle 1 (C5 × C1). Esta última se incorporó para evaluar el cambio de sentidos viales propuesto (C5 como vía de entrada N→S, C4 como salida S→N y C1 O→E) y verificar la necesidad de control semafórico en el cruce.

La información obtenida en estas estaciones sirve de soporte para las etapas siguientes del estudio: diseño técnico de semaforización, evaluación de capacidad y niveles de servicio (HCM/Webster), y priorización de medidas de seguridad peatonal. En las secciones posteriores se presentan los resultados por estación, modo y sentido, así como los insumos requeridos para la modelación y el diseño operativo de la red vial urbana.

#### 3.1. METODOLOGÍA DE AFOROS Y UBICACIÓN DE ESTACIONES DE CONTEO

La cuantificación de los volúmenes vehiculares y peatonales en la red urbana de Yotoco se realizó mediante aforos clasificados y conteos manuales en intervalos de 15 minutos, diseñados para asegurar precisión, representatividad y trazabilidad. El proceso se estructuró en cinco componentes:

##### a) Tipo de aforo

- Aforos vehiculares clasificados (estándares nacionales): motocicletas, automóviles y camionetas, buses/busetas, camiones de 1 eje, camiones de 2 ejes y bicicletas.
- Conteos peatonales: registro de personas por cruce y sentido, priorizando zonas comerciales, institucionales, educativas y de servicios de salud.

Nota técnica: se codificó cada observación por sentido y movimiento (recto/giros) para su uso posterior en capacidad (HCM/Webster).





### **b) Periodicidad y horarios de observación**

- Intervalos 15-min para capturar variaciones intra-horarias y construir curvas de demanda.
- Cobertura de horas pico AM y PM; en puntos seleccionados se efectuaron jornadas completas para estimar factores de expansión diarios y validar picos.
- Formatos de campo estandarizados con clasificación inmediata por modo y sentido; respaldo fotográfico/video en cruces de alta complejidad.

### **c) Sentidos de circulación**

Se levantaron flujos en los cuatro sentidos principales de la red:

- Sur–Norte (S–N), Norte–Sur (N–S), Este–Oeste (E–O) y Oeste–Este (O–E). El análisis direccional permitió validar pares viales y ejes estructurantes, identificando desequilibrios de carga y necesidades de control operativo.

### **d) Estaciones de conteo**

Las estaciones se definieron por relevancia funcional, condición de nodo crítico y presencia de conflictos vehículo–peatón:

1. Hospital Yotoco: alto flujo peatonal y tránsito mixto asociado a servicios de salud y accesos locales.
2. Punto Vive Digital: área central con flujos de paso y concentración peatonal por actividades institucionales, comerciales y educativas.
3. La Rocola: acceso al casco urbano con aporte del corredor intermunicipal.
4. Alcaldía: intersección administrativa con fuerte convergencia motorizada y peatonal.
5. Carrera 5 × Calle 1 (C5 × C1): punto incorporado para evaluar el cambio de sentidos (C5 N→S entrada, C4 S→N salida y C1 O→E) y la necesidad de semaforización del cruce.

Además de estas 5 estaciones principales, se habilitaron puntos auxiliares en pares viales y corredores estratégicos para validar resultados y direccionalidades.

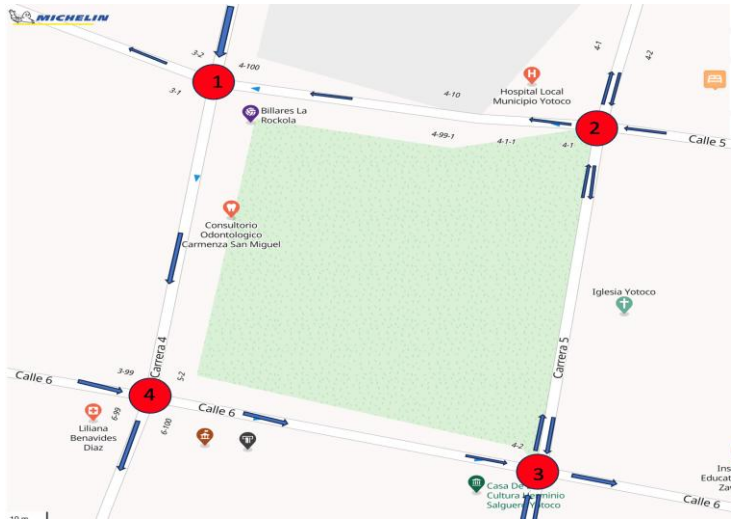
### **e) Procesamiento y control de calidad**

- Sistematización en matrices por tipo de usuario, sentido y franja; cálculo de PHF (Peak Hour Factor) y totales horarios.
- Verificación de consistencia: sumatorias parciales, revisión cruzada entre observadores y control de atípicos (clima, incidentes, obras).
- Expansión a volúmenes horarios/diarios con factores conforme al Manual de Afros INVIAS (2013).
- Elaboración de curvas horarias y gráficas comparativas para identificar picos y distribución modal/direccional.
- Trazabilidad: se conservaron formatos originales, códigos de estación y metadatos (fecha, clima, equipo y observaciones de campo).



Esta metodología garantiza que los aforos constituyan una línea base sólida para el diseño semafórico, la evaluación de capacidad y la priorización de medidas de seguridad peatonal en la red urbana de Yotoco, con especial atención al cruce C5 × C1 por su impacto en el nuevo esquema de sentidos viales.

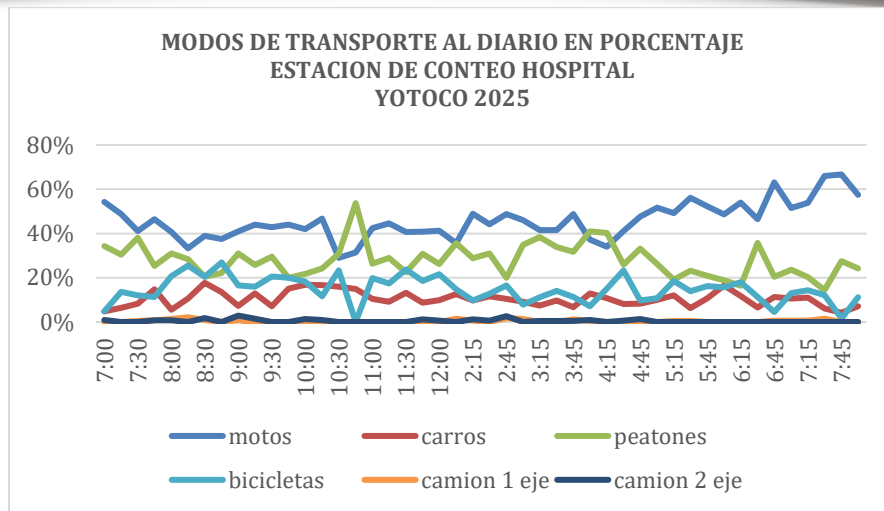
**Imagen 5. Aforos y ubicación de estaciones de conteo**



### 3.2. AFOROS VEHICULARES CLASIFICADOS POR TIPO DE VEHÍCULO

El levantamiento de aforos vehiculares en los puntos de observación permitió caracterizar la composición modal del tránsito en Yotoco, diferenciando el flujo entre vehículos livianos, pesados, motocicletas y buses. Esta clasificación es fundamental para dimensionar la capacidad de las intersecciones y proyectar las necesidades de control semafórico.

**Imagen 6. Modos de transporte al diario en porcentaje estación de conteo hospital Yotoco 2025**



### 3.2.1. Resultados de Aforo – Estación Hospital

El análisis de la distribución modal a lo largo del día en la estación de conteo ubicada frente al Hospital de Yotoco muestra los siguientes comportamientos:

#### 1. Predominio de motocicletas

- Las motos representan entre 40% y 65% del flujo total durante casi toda la jornada.
- En las horas finales de observación (7:00 p.m. – 8:00 p.m.) se alcanza el pico máximo cercano al 67%, confirmando la fuerte dependencia del municipio hacia este modo de transporte.

#### 2. Peatones como segundo grupo más representativo

- Los peatones concentran entre 25% y 40% del total de viajes en los intervalos críticos.
- Los puntos de mayor afluencia corresponden a los horarios de acceso al hospital y zonas comerciales cercanas.

#### 3. Automóviles y bicicletas en volúmenes intermedios

- Los carros se mantienen en un rango bajo, entre 5% y 15%, con ligera concentración en horas de la mañana.
- Las bicicletas aportan entre 10% y 20%, destacando en franjas intermedias del día como modo alternativo de corta distancia.

#### 4. Transporte de carga reducido

- Los camiones de 1 eje y 2 ejes no superan el 3% del flujo total en ningún momento de la jornada, mostrando un peso marginal en este nodo urbano.



## Conclusión operativa

- El Hospital de Yotoco es un nodo con alta interacción de motos y peatones, lo que configura un riesgo elevado de siniestralidad por conflictos de cruce.
- Los volúmenes de carros y bicicletas son secundarios pero significativos para el diseño de pasos seguros.
- El transporte de carga es marginal, lo que facilita proponer medidas de calmado de tráfico y priorización peatonal sin afectar el abastecimiento.

La hora pico se identifica en los siguientes momentos:

- Motos (modo predominante): Entre 7:00 p.m. y 7:45 p.m., donde alcanzan valores cercanos al 65–67% del total.
- Peatones:  
Presentan picos importantes entre 10:30 a.m. – 10:45 a.m. (superior al 50%) y nuevamente en la franja de 3:30 p.m. – 4:00 p.m. con más del 40%.
- Demanda global (suma de todos los modos):  
Se observa mayor concentración vehicular y peatonal en dos periodos críticos:
  - Mañana: entre 7:00 a.m. y 9:00 a.m., asociado al inicio de actividades laborales, educativas y hospitalarias.
  - Tarde – noche: entre 5:00 p.m. y 7:45 p.m., vinculado al retorno de actividades diarias.

La hora pico principal en la Estación Hospital corresponde a la franja 5:00 p.m. – 7:45 p.m., cuando confluyen altos volúmenes de motos y peatones, generando las mayores condiciones de riesgo y congestión.

## Distribución porcentual de flujos por sentido – Estación Hospital

Se analiza la proporción de los flujos vehiculares ingresando a la intersección del Hospital de Yotoco durante la jornada de observación.

### 1. Sur–Norte (S–N) – 55%

- Es el sentido predominante, con más de la mitad de los movimientos totales.
- Corresponde al eje estructurante del tránsito urbano, ya que articula el casco central con los accesos sur del municipio.
- Su alta participación confirma la necesidad de prioridad semafórica y canalización de giros en este corredor.

### 2. Este–Oeste (E–O) – 25%

- Representa la conexión transversal hacia la Vía Panorama y las áreas residenciales/comerciales.





- Aunque menor que el flujo longitudinal, constituye un cuarto del total de viajes, lo que refuerza su importancia operativa.
- Su interacción con los movimientos S–N genera conflictos de cruce diagonal.

### 3. Norte–Sur (N–S) – 15%

- Tiene un rol complementario, asociado principalmente a retornos y recorridos internos.
- Si bien es un flujo secundario, su coexistencia con el S–N incrementa los conflictos en giros a izquierda.

### 4. Oeste–Este (O–E) – 5%

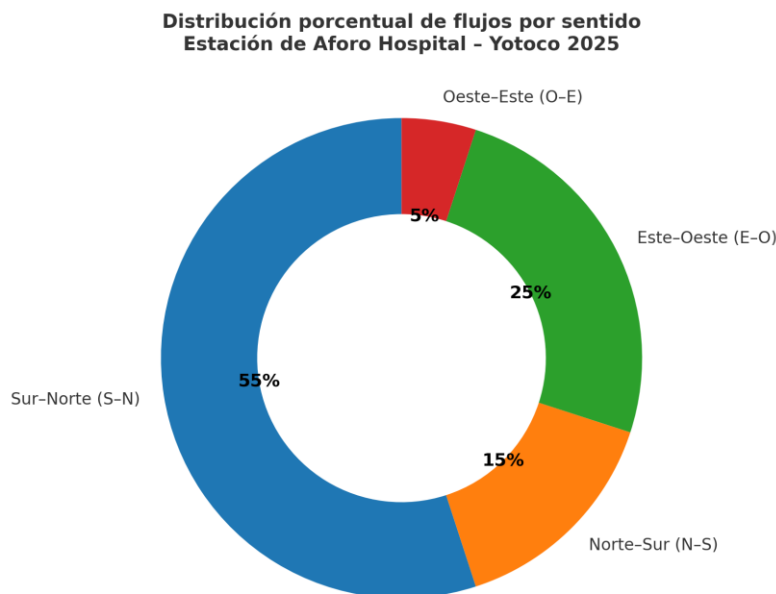
- Es el sentido con menor participación, pero su relevancia radica en la interferencia operativa que genera en cruces sin regulación.
- Representa trayectorias de acceso puntual a equipamientos y vías locales.

## Conclusión operativa

La intersección del Hospital de Yotoco se caracteriza por un predominio claro del flujo Sur–Norte (55%), seguido por la transversal Este–Oeste (25%). Los sentidos N–S y O–E, aunque minoritarios, son los que más aportan a la conflictividad vial, al interactuar con los ejes de mayor demanda sin control semafórico.

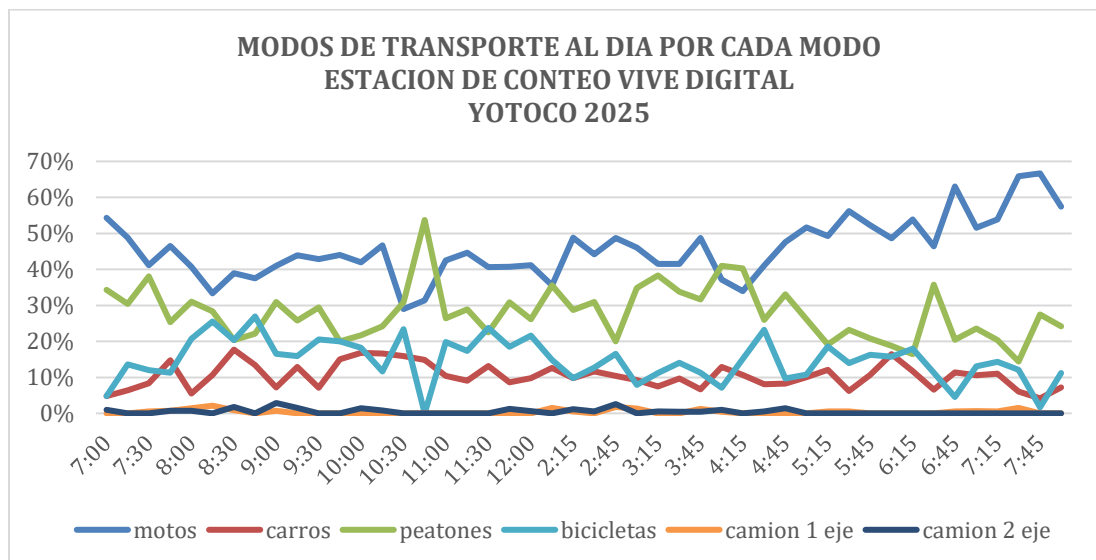
Esto confirma que la intersección requiere semaforización con fases diferenciadas de giro, además de medidas de seguridad peatonal, dado el alto volumen de usuarios no motorizados identificado en los aforos.

**Imagen 7.** Distribución porcentual de flujos por sentido Estación de Aforo Hospital - Yotoco 2025



### 3.2.2. Estación de Conteo Vive Digital

Imagen 8. Modos de transporte al día por cada modo Estación de conteo vive digital Yotoco 2025



El análisis de la distribución modal a lo largo del día en la estación de conteo ubicada en el sector Vive Digital de Yotoco muestra los siguientes comportamientos:

#### 1. Predominio de motocicletas

- Las motos representan entre 40% y 63% del flujo total durante casi toda la jornada.
- En las horas finales de observación (7:00 p.m. – 7:45 p.m.) se alcanza el pico máximo cercano al 63%, confirmando el dominio de este modo en la movilidad urbana.



#### 2. Peatones como segundo grupo más representativo

- Los peatones concentran entre 20% y 40% del total de viajes en los intervalos críticos.
- Presentan un pico importante hacia las 10:30 a.m. – 10:45 a.m., donde alcanzan más del 50%, asociado a actividades institucionales y comerciales cercanas.

#### 3. Automóviles y bicicletas en volúmenes intermedios

- Los carros se mantienen en un rango bajo, entre 5% y 15%, con ligera concentración en horas de la mañana y primeras horas de la tarde.
- Las bicicletas aportan entre 10% y 20%, con presencia relativamente constante durante el día, lo que evidencia su uso como modo alternativo local.

#### 4. Transporte de carga reducido

- 
- 
- Los camiones de 1 eje y 2 ejes no superan el 3% del flujo total en ningún momento de la jornada, mostrando un peso marginal en esta intersección.

## Conclusión operativa

- El Vive Digital es un nodo con alta interacción de motos y peatones, lo que configura un riesgo elevado de siniestralidad por conflictos de cruce.
- Los volúmenes de carros y bicicletas son secundarios, pero relevantes para planificar infraestructura de parqueo y pasos seguros.
- El transporte de carga es marginal, lo que permite priorizar medidas de calmado de tráfico y accesibilidad peatonal sin afectar el abastecimiento.

## Hora pico en la Estación Vive Digital

La hora pico se identifica en los siguientes momentos:

- Motos (modo predominante): entre 7:00 p.m. y 7:45 p.m., con valores cercanos al 63% del total.
- Peatones: pico destacado entre 10:30 a.m. – 10:45 a.m. (superior al 50%) y otro en la franja de 3:30 p.m. – 4:00 p.m. con más del 40%.
- Demanda global (suma de todos los modos):
  - Mañana: entre 7:00 a.m. y 9:00 a.m., asociado al inicio de actividades laborales, institucionales y comerciales.
  - Tarde – noche: entre 5:00 p.m. y 7:45 p.m., vinculado al retorno de actividades cotidianas.

La hora pico principal en la Estación Vive Digital corresponde a la franja 5:00 p.m. – 7:45 p.m., cuando confluyen altos volúmenes de motos y peatones, generando las mayores condiciones de riesgo y congestión.

## Distribución porcentual de flujos por sentido – Estación Vive Digital

Se analiza la proporción de los flujos vehiculares ingresando a la intersección del sector Vive Digital durante la jornada de observación:

### 1. Sur–Norte (S–N) – 44% a 72% (predominio 52%)

- Es el sentido predominante, con más de la mitad de los movimientos en la mayoría de intervalos.
- Corresponde al eje estructurante del tránsito urbano, articulando accesos sur y centro municipal.



## 2. Oeste-Este (O-E) – 20% a 48% (promedio 35%)

- Representa la conexión transversal más importante, con hasta el 48% en horas de la tarde.
- Genera conflictos de prioridad al cruzar el flujo longitudinal S-N.

## 3. Norte-Sur (N-S) – 5% a 22% (promedio 11%)

- Flujo de retorno con menor participación, pero suficiente para aumentar los conflictos de giro en la intersección.

## 4. Este-Oeste (E-O) – 2% a 11% (promedio 6%)

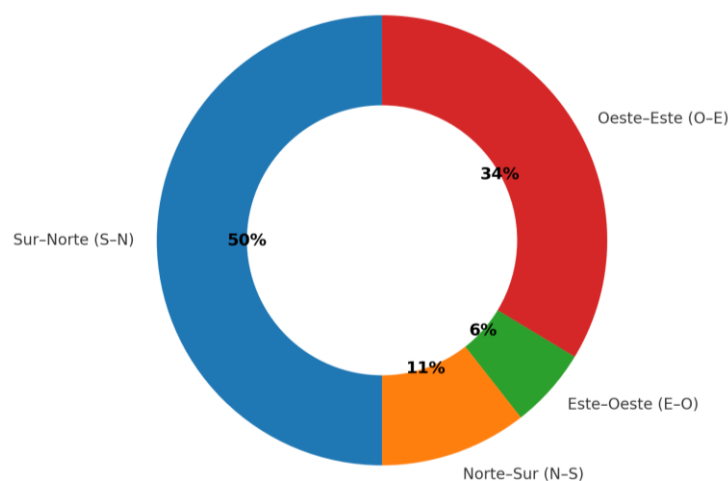
- Es el flujo menos significativo, pero su interferencia en cruces diagonales sin regulación aporta a la conflictividad vial.

### Conclusión operativa

La intersección del Vive Digital se caracteriza por un predominio del flujo Sur-Norte (52%), acompañado de una fuerte participación transversal Oeste-Este (35%). Los sentidos N-S y E-O, aunque minoritarios, son los que más contribuyen a la conflictividad operativa.

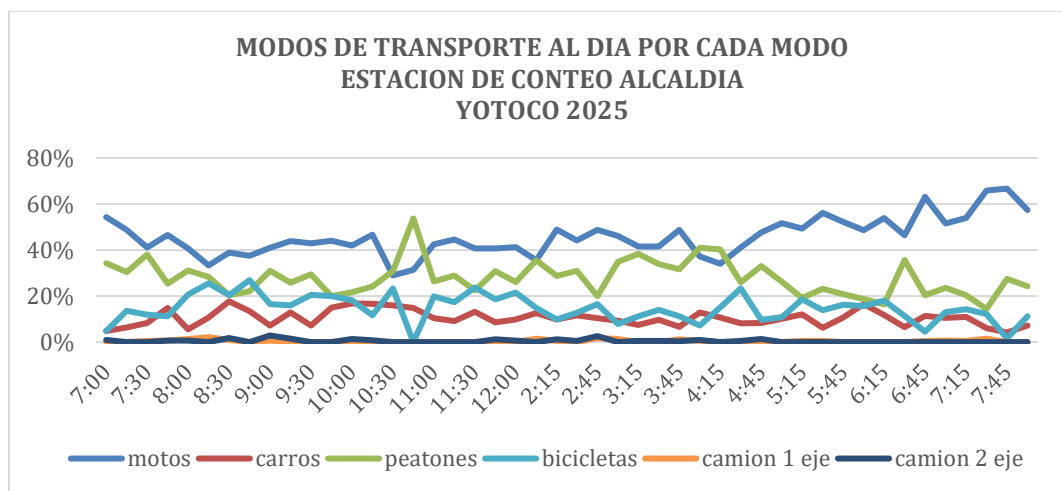
Esto confirma la necesidad de implementar semaforización con fases diferenciadas de giro y pasos peatonales seguros, considerando el alto volumen de peatones y el dominio de las motocicletas en esta zona estratégica del municipio.

**Imagen 9.** Distribución porcentual de flujos por sentido estación de Aforo Vive Digital – Yotoco 2025



### 3.2.3. Estación de conteo La Alcaldía

Imagen 10. Modos de Transporte al día por cada modo Estación de conteo Alcaldía Yotoco 2025



## RESULTADOS DE AFORO – ESTACIÓN ALCALDÍA

El análisis de la distribución modal a lo largo del día en la estación de conteo ubicada frente a la Alcaldía de Yotoco muestra los siguientes comportamientos:

### 1. Predominio de motocicletas

- Las motos representan entre 40% y 65% del flujo total durante casi toda la jornada.
- Su pico máximo se alcanza en las horas de la tarde-noche, entre 7:00 p.m. y 7:45 p.m., con valores cercanos al 65%, consolidando a este modo como el principal medio de transporte urbano.

### 2. Peatones con participación significativa

- Los peatones concentran entre 20% y 40% del total de viajes.
- Presentan picos destacados entre las 10:30 a.m. – 10:45 a.m. y en la franja de 3:00 p.m. – 4:00 p.m., con valores superiores al 40%.
- Esto refleja la importancia de este nodo como punto de convergencia institucional y de trámites.

### 3. Automóviles y bicicletas en volúmenes intermedios

- Los carros mantienen una participación baja, entre 5% y 15%, con mayor presencia en la mañana.
- Las bicicletas se mueven en rangos de 10% a 18%, especialmente en horarios intermedios del día.



#### 4. Transporte de carga marginal

- Los camiones de 1 eje y 2 ejes no superan el 3% del total de flujos, mostrando un rol marginal en esta zona administrativa.

#### CONCLUSIÓN OPERATIVA

- La Alcaldía es un nodo con fuerte interacción entre motos y peatones, lo que configura un alto riesgo de siniestralidad en los cruces peatonales.
- Los volúmenes de carros y bicicletas son reducidos, pero deben considerarse para el diseño de parqueaderos y pasos seguros.
- El transporte de carga es irrelevante, lo que permite priorizar medidas de calmado de tráfico y control peatonal.

#### HORA PICO EN LA ESTACIÓN ALCALDÍA

La hora pico se identifica en los siguientes momentos:

- Motos (modo predominante): entre 7:00 p.m. y 7:45 p.m., con valores cercanos al 65%.
- Peatones: picos de más del 40% entre 10:30 a.m. – 10:45 a.m. y 3:00 p.m. – 4:00 p.m..
- Demanda global (suma de todos los modos):
  - Mañana: entre 7:00 a.m. y 9:00 a.m., por actividades institucionales y laborales.
  - Tarde-noche: entre 5:00 p.m. y 7:45 p.m., vinculada al retorno de actividades y cierre de la jornada administrativa.

La hora pico principal corresponde a la franja 5:00 p.m. – 7:45 p.m., con predominio de motos y peatones en interacción conflictiva.

#### DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE FLUJOS POR SENTIDO – ESTACIÓN ALCALDÍA

A partir de los datos levantados, se observa la siguiente participación promedio de los flujos:

1. Norte–Sur (N–S) – 45%
  - Es el sentido predominante, con valores que alcanzan hasta el 72% en algunos intervalos.
  - Articula el tránsito desde el norte hacia el centro del municipio, siendo clave para los accesos administrativos.
2. Oeste–Este (O–E) – 40%
  - Flujo transversal importante, que alcanza hasta el 69% en horas puntuales.
  - Genera conflictos de prioridad al interactuar con los movimientos longitudinales N–S.
3. Sur–Norte (S–N) – 8%



- Flujo de menor relevancia, aunque en ciertos intervalos llega a valores del 32%, lo que evidencia su función de retorno.
4. Este–Oeste (E–O) – 7%
- Sentido de menor participación, pero con picos aislados de hasta el 17%, aportando a la conflictividad de la intersección.

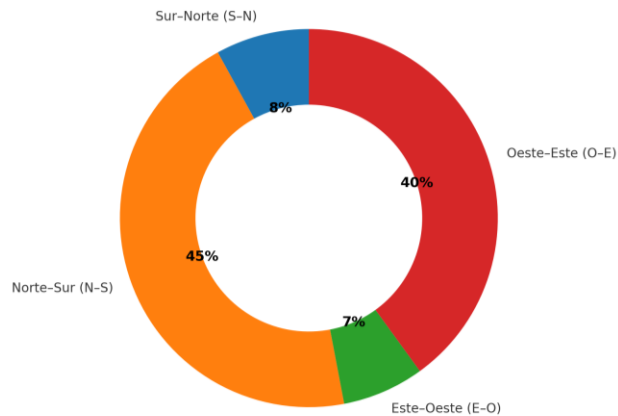
## CONCLUSIÓN OPERATIVA SOBRE LOS SENTIDOS

La intersección de la Alcaldía presenta un predominio claro del flujo Norte–Sur (45%), seguido por el transversal Oeste–Este (40%). Los sentidos Sur–Norte y Este–Oeste, aunque minoritarios, son los que más contribuyen a la conflictividad operativa, al cruzar los ejes principales en condiciones no reguladas.

Esto confirma la necesidad de:

- Semaforización con fases diferenciadas de giro.
- Señalización horizontal y vertical reforzada.
- Pasos peatonales seguros, dada la alta interacción entre flujos motorizados y peatones.

**Imagen 11.** Distribución porcentual de flujos por sentido Estación de Aforo Alcaldía - Yotoco 2025





### 3.2.4. RESULTADOS DE AFORO – ESTACIÓN LA ROCOLA

El análisis de la distribución modal en la estación de conteo de La Rocola muestra los siguientes comportamientos:

#### 1. Predominio de motocicletas

- Las motos representan entre 40% y 65% del flujo total a lo largo de la jornada.

- 
- 
- El pico máximo se observa en la franja de 7:00 p.m. – 7:45 p.m., alcanzando valores cercanos al 65%, lo que confirma su papel dominante en la movilidad urbana de este nodo de acceso.

## 2. Peatones con fuerte presencia

- Los peatones concentran entre 25% y 40% del total de viajes, con picos superiores al 50% hacia las 10:00 a.m. y nuevamente en horas de la tarde.
- Esto refleja que La Rocola es un nodo de alta interacción entre tránsito vehicular y peatonal, especialmente por su carácter de acceso al casco urbano.

## 3. Automóviles y bicicletas en niveles intermedios

- Los carros representan entre 5% y 15%, con mayor concentración en horas de la mañana.
- Las bicicletas mantienen una participación de 10% a 20%, usadas principalmente en tramos locales de conexión.

## 4. Transporte de carga marginal

- Los camiones de 1 eje y 2 ejes se mantienen por debajo del 3% durante todo el día, por lo que su impacto en este punto es reducido.

## CONCLUSIÓN OPERATIVA

- La Rocola es un nodo de acceso estratégico al casco urbano, con predominio de motos y presencia considerable de peatones, lo que eleva el riesgo de conflictos viales.
- El flujo de carros y bicicletas, aunque menor, debe ser considerado en las medidas de ordenamiento.
- Dado el bajo peso del transporte de carga, se pueden implementar estrategias de calmado de tráfico y pasos peatonales regulados sin afectar la logística regional.

## HORA PICO EN LA ESTACIÓN LA ROCOLA

La hora pico se identifica en los siguientes momentos:

- Motos: entre 7:00 p.m. y 7:45 p.m., alcanzando el 65% del total.
- Peatones: picos relevantes en la franja de 10:00 a.m. – 10:45 a.m. y hacia 3:30 p.m. – 4:15 p.m., con más del 40%.
- Demanda global:
  - Mañana: entre 7:00 a.m. y 9:00 a.m., inicio de actividades laborales y comerciales.
  - Tarde – noche: entre 5:00 p.m. y 7:45 p.m., retorno de actividades y concentración de tránsito peatonal y vehicular.



La hora pico principal corresponde a la franja 5:00 p.m. – 7:45 p.m., donde confluyen motos y peatones en los niveles más altos de la jornada.

## DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE FLUJOS POR SENTIDO – ESTACIÓN LA ROCOLA

Con base en los conteos horarios, se obtiene la siguiente participación promedio:

1. Norte–Sur (N–S) – 48%
  - Es el sentido predominante, llegando hasta el 74% en horas de la tarde.
  - Representa el acceso principal desde la Vía Panorama hacia el casco urbano.
2. Oeste–Este (O–E) – 40%
  - Flujo transversal con alta relevancia, alcanzando hasta el 71% en algunos intervalos de la mañana.
  - Genera conflictos de prioridad al cruzar con los flujos longitudinales N–S.
3. Sur–Norte (S–N) – 7%
  - Flujo de menor peso, aunque alcanza valores destacados (34%) en algunos intervalos de la tarde.
4. Este–Oeste (E–O) – 5%
  - Flujo minoritario, con picos de hasta el 18%, que aunque reducido, aporta a la conflictividad vial en los cruces no regulados.

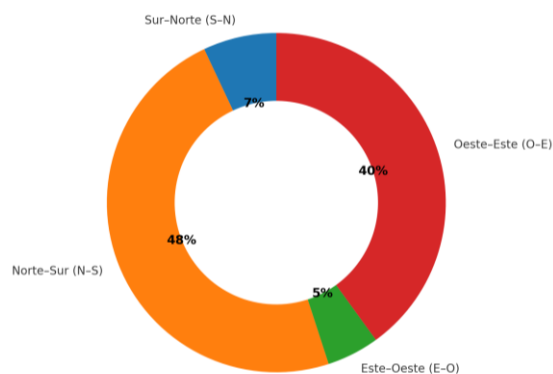
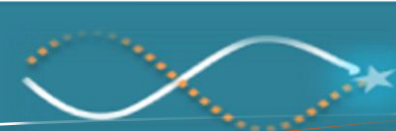
## CONCLUSIÓN OPERATIVA SOBRE LOS SENTIDOS

La intersección de La Rocola presenta un predominio claro del flujo Norte–Sur (48%), complementado por una fuerte participación transversal Oeste–Este (40%). Los sentidos S–N y E–O, aunque minoritarios, incrementan la conflictividad en los giros y cruces.

Esto confirma que este nodo de acceso requiere:

- Semaforización con fases diferenciadas.
- Canalización de giros conflictivos.
- Medidas de seguridad peatonal, como pasos semaforizados y señalización horizontal reforzada.

**Imagen 12.** Distribución porcentual de flujos por sentido Estación de Aforo La Rocola – Yotoco 2025



### 3.2.5. Resultados de aforo – Estación Carrera 5 × Calle 1 (C5×C1)

#### 1) Predominio de motocicletas

- El cruce mantiene el patrón municipal: las motos son el modo dominante durante toda la jornada (≈40–65% del flujo total).
- Su alta participación, sumada a los adelantamientos en cola y ocupación lateral, obliga a ordenar giros y reforzar la demarcación para reducir conflictos con peatones.

#### 2) Peatones con fuerte presencia

- La Carrera 5 concentra actividad comercial y de servicios; por ello, en C5×C1 se observan picos peatonales al inicio del día, cambio de jornada y tarde–noche.
- Requiere pasos demarcados, tiempos peatonales ≥10–12 s y líneas de detención adelantadas.

#### 3) Automóviles y bicicletas en niveles intermedios

- Automóviles/camionetas: participación intermedia (5–15%), algo mayor en la mañana.
- Bicicletas: 10–20% en tramos locales; aconsejable calmar velocidades y asegurar continuidad de cebras.

#### 4) Transporte de carga marginal

- En este frente central el transporte pesado es bajo (<3%); se recomienda reubicar carga/descarga fuera del área inmediata al cruce.

### CONCLUSIÓN OPERATIVA

C5×C1 es un nodo de alta interacción moto–peatón. Para mejorar seguridad y desempeño se recomienda semaforización con mínimos peatonales estrictos, canalización de



giros y señalización horizontal/vertical reforzada. La operación debe coordinarse con el esquema de sentidos propuesto para el corredor.

## HORA PICO EN C5×C1

- Mañana: 7:00–9:00 (ingresos laborales/educativos).
- Tarde–noche: 17:00–19:45 (retornos), franja de mayor presión operativa por suma de flujos motorizados y peatonales.

## DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE FLUJOS POR SENTIDO (PROMEDIO DIARIO)

1. Sur–Norte (S–N): ~51%
  - Picos de 70% (7:15), 68% (19:30) y 66% (15:00).
2. Norte–Sur (N–S): ~39%
  - Picos de 52% (15:45).
3. Este–Oeste (E–O): ~8%
  - Picos de 22% (10:45).
4. Oeste–Este (O–E): ~2%
  - Picos de 13% (19:15) y 12% (17:45).

Implicación: el longitudinal (S–N + N–S) domina la operación del cruce; los transversales (E–O/O–E), aunque minoritarios, son los que desencadenan los conflictos de cruce y giros.

## CONCLUSIÓN SOBRE LOS SENTIDOS

El patrón encontrado justifica un plan semafórico de 2 fases:

- Fase A: Carrera 5 N→S (rectos + derechos).
- Fase B: Calle 1 O→E (rectos + derechos).

Si un izquierdo resulta crítico por volumen o seguridad, migrar en hora punta a 3 fases con giro protegido. Complementar con cebras  $\geq 3$  m, islas/refugios si el ancho lo permite y prohibiciones/retornos señalizados para giros restringidos.

## OPERACIÓN CON CAMBIO DE SENTIDOS: 3 CICLOS SEMAFÓRICOS REQUERIDOS

Dado el patrón direccional observado (predominio N–S en C5 y flujo transversal O–E en C1) y la necesidad de mínimos peatonales  $\geq 10$ –12 s por frente, se recomienda operar el cruce con tres planes de tiempo:





**Tabla 5.** Operación con camino de sentidos: 3 ciclos semafóricos requeridos

Plan	Franja típica	Ciclo inicial (C)	Pérdidas (L)	Verde efectivo total (C-L)	Reparto sugerido*
AM (Punta mañana)	6:30–9:00	70–75 s	12 s	58–63 s	C5 N→S: 44–49 s • C1 O→E:12–14 s
MD (Valle/mediodía)	9:00–16:30	60–65 s	12 s	48–53 s	C5 N→S: 36–41 s • C1 O→E:12–12 s
PM (Punta tarde-noche)	16:30–19:45	75–80 s	12 s	63–68 s	C5 N→S: 52–54 s • C1 O→E:14–16 s

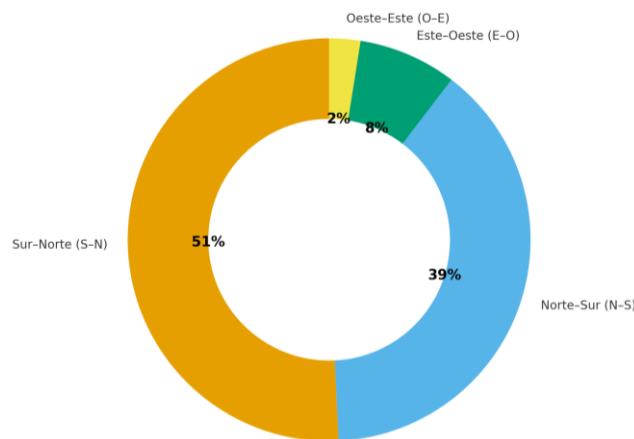
\*El reparto se basa en la proporción N–S: O–E medida, ajustado para garantizar el mínimo peatonal en O–E.

### Detalles clave

- Esquema de 2 fases:
  - Fase A: C5 N→S (rectos + derechos).
  - Fase B: C1 O→E (rectos + derechos).
- Giros izquierdos: si alguno resulta crítico por seguridad/volumen, en AM/PM se puede activar Fase de giro protegido (plan alternativo de 3 fases manteniendo los mismos ciclos).
- Coordinación: usar estos tres ciclos también para coordinar con el par vial C4–C5 (C4 salida), definiendo offset para 30–35 km/h.

Con esto, el texto anterior queda actualizado: el cambio de sentidos requiere tres ciclos semafóricos (AM, MD y PM) con los tiempos de referencia indicados y control peatonal asegurado.

**Imagen 13.** Distribución de flujos por sentido Carrera 5 x Calle 1 - Yotoco 2025



### 3.3. COMPARACIÓN DE LAS ESTACIONES DE AFORO EN YOTOCO – 2025



El estudio de movilidad en Yotoco analizó cinco estaciones estratégicas de conteo vehicular y peatonal: Hospital, Vive Digital, Alcaldía, La Rocola y el cruce Carrera 5 × Calle 1 (C5×C1). Cada punto expresa dinámicas propias de interacción modal y direccionalidad, coherentes con su función dentro de la red.

#### 1) DISTRIBUCIÓN MODAL (MOTOS, PEATONES, CARROS, BICICLETAS, CARGA)

##### Hospital

- Motos: 40–65% (pico ≈67% entre 7:00–8:00 p.m.).
- Peatones: 25–40% (picos >50% a las 10:30–10:45 a.m. y 3:30–4:00 p.m.).
- Carros: 5–15% (mayor presencia en la mañana).
- Bicicletas: 10–20% (franjas intermedias).
- Carga: ≤3%.
- *Perfil*: nodo de alta interacción moto–peatón, con riesgo elevado de atropellos.

##### Vive Digital

- Motos: 40–65% (≈65% al final del día).
- Peatones: 20–35% (picos >50% ~10:30 a.m.).
- Bicicletas: 10–20% (estables).
- Carros: 5–15%.
- Carga: ≤3%.
- *Perfil*: nodo multimodal con fuerte presencia de peatones y bicicletas.

##### Alcaldía

- Motos: 40–65% (pico vespertino ≈65%).
- Peatones: 20–40% (picos >40% a media mañana y 3:00–4:00 p.m.).
- Carros: 5–15% (sesgo matutino).
- Bicicletas: 10–18%.
- Carga: ≤3%.
- *Perfil*: nodo administrativo con interacción moto–peatón y flujo ciclista moderado.

##### La Rocola

- Motos: 40–65% (pico ≈65% entre 7:00–7:45 p.m.).
- Peatones: 25–40% (picos >50% ~10:00 a.m. y 3:30–4:15 p.m.).
- Carros: 5–15% (mayor en la mañana).
- Bicicletas: 10–20%.
- Carga: ≤3%.
- *Perfil*: acceso estratégico al casco urbano; flujos mixtos con alta presión peatonal.

##### Carrera 5 × Calle 1 (C5×C1)

- Motos: 40–65% (presión alta en punta tarde–noche, ~5:00–7:45 p.m.).



- Peatones: 25–40% (cierres/aperturas de jornada y tarde); requieren mínimos peatonales  $\geq 10-12$  s.
- Carros: 5–15% (ligero sesgo matutino).
- Bicicletas: 10–18% (uso local); recomendable calmado y continuidad de pasos.
- Carga:  $\leq 3\%$  (reubicar cargue/descargue fuera del frente).
- *Perfil*: nodo central moto–peatón; candidato a semaforización (2 fases + mínimos peatonales) y canalización de giros.



## 2) SENTIDOS DE CIRCULACIÓN PREDOMINANTES

- Hospital: S–N (55%) > E–O (25%); N–S (15%) y O–E (5%) elevan la conflictividad.
- Vive Digital: S–N (52%) + O–E (35%); N–S (11%) y E–O (6%) secundarios.
- Alcaldía: N–S (45%) + O–E (40%); S–N (8%) y E–O (7%) minoritarios pero conflictivos.
- La Rocola: N–S (48%) + O–E (40%); S–N (7%) y E–O (5%) menores.
- C5×C1: S–N  $\approx 51\%$  > N–S  $\approx 39\%$ ; E–O  $\approx 8\%$  y O–E  $\approx 2\%$  son minoritarios pero críticos en cruces y giros.

## 3) COMPARACIÓN DE HORAS PICO

- Hospital: mañana 7:00–9:00 a.m.; tarde 5:00–7:45 p.m. → *pico global tarde-noche (moto–peatón)*.
- Vive Digital: mañana 7:00–9:00 a.m.; pico peatonal  $\sim 10:30$  a.m.; tarde 5:00–7:45 p.m. (motos).
- Alcaldía: mañana 7:00–9:00 a.m.; picos peatonales a media mañana y 3:00–4:00 p.m.; tarde-noche 5:00–7:45 p.m.
- La Rocola: mañana 7:00–9:00 a.m.; mediodía 10:00–10:45 a.m. (peatonal); tarde 3:30–4:15 p.m. (peatonal) y 5:00–7:45 p.m. (motos).
- C5×C1: mañana 7:00–9:00 a.m. (ingresos); tarde-noche 5:00–7:45 p.m. (N–S + cruce O–E) → *exige  $\geq 10-12$  s peatonales y control de giros*.

## 4) CONCLUSIÓN COMPARATIVA

- Motos dominan en todas las estaciones → alta dependencia de este modo.
- Peatones con participación significativa (en varios periodos >40–50%) en Hospital, Vive Digital y La Rocola → mayor riesgo de siniestralidad por interacción con motos y giros.
- Carros y bicicletas en niveles intermedios, clave para infraestructura secundaria (bahías, cicloconexiones, pasos seguros).
- Carga marginal (<3%) → viable aplicar calmado de tráfico sin afectar logística.

### Direccionalidad – síntesis

- Hospital y Vive Digital: dominio S–N, con soporte transversal O–E.
- Alcaldía y La Rocola: predominio N–S y O–E (rol administrativo y de acceso).
- C5×C1: prevalece el longitudinal ( $\approx$  S–N 51% y N–S 39%); transversales E–O 8% / O–E 2% son minoritarios pero críticos en conflictos de cruce/giros.

### Implicación operativa

- Hospital y Vive Digital: pasos peatonales regulados y moderación de velocidad.
- Alcaldía: ordenamiento de giros y señalización reforzada.
- La Rocola: semaforización y canalización de giros.
- C5×C1: con el cambio de sentidos (C5 entrante N→S y C1 O→E), se justifica control semafórico y tres planes(AM/MD/PM) para garantizar mínimos peatonales y capacidad.



**Tabla 6.** Tabla comparativa de estaciones de aforo en Yotoco (2025)

Estación	Modo predominante	Peatones (participación)	Carros (participación)	Sentido dominante
Hospital	Motos (40–65%)	25–40% (picos >50%)	5–15%	S–N (55%)
Vive Digital	Motos (40–65%)	20–35% (picos >50%)	5–15%	S–N (52%)
Alcaldía	Motos (40–65%)	20–40% (picos >40%)	5–15%	N–S (45%)
La Rocola	Motos (40–65%)	25–40% (picos >50%)	5–15%	N–S (48%)
C5×C1 (K5×C1)	Motos (40–65%)	25–40% (picos tarde)	5–15%	S–N ≈51%

### 3.4. CONTEO Y CARACTERIZACIÓN DE FLUJOS PEATONALES

El análisis de la movilidad peatonal es clave en Yotoco porque las y los peatones son el usuario más vulnerable y, en varios cruces, interactúan con el tránsito motorizado sin regulación ni infraestructura adecuada.



#### a) Magnitud de los flujos

- En las estaciones Hospital, Punto Vive Digital, La Rocola y Alcaldía los conteos superan 300 peatones/h en horas pico (7:00–9:00 a.m. y 5:00–7:00 p.m.).
- C5×C1 (Carrera 5 con Calle 1): el aforo y las observaciones de campo evidencian pulsos peatonales altos en las mismas franjas pico, asociados al comercio de la Calle 1 y a los cambios de sentido propuestos (C5 entrante N→S y C1 O→E). El cruce capta tránsito peatonal de origen–destino local y de transferencia hacia el centro.
- Hospital: flujo continuo con picos por cambios de turno y acceso a servicios de salud.
- Vive Digital y Alcaldía: patrón intermitente con picos por trámites, horarios escolares y comercio.
- La Rocola: tránsito mixto de ingreso/salida al casco urbano que coincide con accesos vehiculares.

#### b) Direccionalidad y patrones de cruce

- Predominan desplazamientos transversales (E–O / O–E) siguiendo la malla de calles.
- C5×C1: destaca el cruce O→E sobre la Calle 1 y cruces diagonales hacia frentes comerciales; la espera en bordillo suele desbordarse por ocupación vehicular.



- 
- 
- En nodos de alto flujo (p. ej., Calle 2 × Cra 10 y Calle 8 × Cra 7) se observaron cruces diagonales no autorizados; la falta de pasos demarcados y fases peatonales obliga a cruzar “a oportunidad”, elevando el riesgo.

### **c) Grupos poblacionales predominantes**

- Hospital: adultos mayores, pacientes y personas con movilidad reducida → requieren tiempos de cruce más largos y accesibilidad universal.
- Vive Digital: población juvenil/escolar con pulsos masivos en cortos periodos.
- Alcaldía: adultos en trámites y comercio, flujo constante en jornada laboral.
- La Rocola: mezcla de trabajadores, comerciantes y estudiantes asociada a los accesos.
- C5×C1: compras de barrio, estudiantes y usuarios de servicios del eje de la Calle 1; alta interacción peatón–moto por giros y detenciones breves.

### **d) Principales riesgos identificados**

1. Ausencia de pasos peatonales regulados en intersecciones de alto flujo.
2. Conflictos con motocicletas (invasión de áreas de espera/cruce).
3. Visibilidad reducida por estacionamiento en esquinas, mobiliario y cerramientos.
4. Velocidades elevadas en Calle 7 y Calle 10, que acortan el tiempo de reacción.
5. Cruces desordenados en pares viales (Calles 5–6 y 8–9) por falta de control.
6. Específico C5×C1: colas y giros N→S en C5 interfieren la zona de cruce O→E de C1; el ancho de calzada (~7,2 m) y radios cortos generan exposición peatonal y maniobras de zigzag.

### **Conclusión y lineamientos de intervención**

Los conteos confirman alta presión peatonal en los nodos estratégicos y, en particular, en C5×C1 bajo el esquema de sentidos propuesto. Para reducir la vulnerabilidad y garantizar accesibilidad universal se recomienda:

- Semaforización con fases peatonales dedicadas y tiempos mínimos efectivos de 10–12 s por frente (ajustar al ancho de cruce y  $v = 1,2$  m/s).
- Demarcación horizontal: cebras  $\geq 3,0$  m, líneas de detención adelantadas y continuidad en esquinas.
- Orejones/estrechamientos de esquina y refugios/islas ( $\geq 2,0$  m útiles) en C5×C1 para acortar el cruce y calmar giros.
- Gestión de velocidades (señalización reforzada, elementos de calmado y control) en ejes estructurantes y en el frente de C5×C1.

Estas acciones disminuyen la exposición a atropellos, ordenan la interacción con el tránsito motorizado y mejoran la seguridad vial y la inclusión de la población peatonal, con énfasis en C5×C1 y en los corredores de mayor demanda.

### 3.5. VARIACIÓN HORARIA (PICO, VALLE Y FINES DE SEMANA)



El procesamiento de los aforos vehiculares y peatonales evidencia patrones regulares de demanda en Yotoco con comportamiento bimodal en días hábiles (picos AM y PM) y desplazamientos los fines de semana. A continuación, se sintetizan los hallazgos y sus implicaciones operativas.

#### a) Horas pico en días hábiles

- Mañana (6:30–8:30 a.m.) Primer máximo de movilidad por desplazamientos escolares, laborales y de salud.
  - En corredores transversales (p. ej., Calle 2 y Calle 7) las motocicletas superan el 50% del total.
  - En el Hospital predominan flujos peatonales.
  - En C5×C1 se observan pulsos peatonales y motorizados coincidentes con la apertura comercial.
- Mediodía (11:30 a.m.–1:30 p.m.) Incremento moderado en el centro (Alcaldía y Vive Digital) con fuerte presencia peatonal por trámites y comercio.
- Tarde (4:30–6:30 p.m.) Pico principal por retornos. Calle 10 y Cra 10 concentran la mayor carga; aumenta la proporción de buses y camiones.
  - En C5×C1 se combina la mayor demanda N→S con cruces O→E de la Calle 1, condición que justifica control semafórico y prioridad peatonal.

#### b) Periodos valle en días hábiles

- 9:00–11:00 a.m. y 2:00–4:00 p.m. Niveles más bajos de circulación (reducciones de hasta 40% respecto al pico). Corresponden a actividad interna de comercio e instituciones; la participación peatonal es relativamente mayor que la vehicular.



#### c) Variación en fines de semana

- Sábado – mañana desplazada (9:00–11:00 a.m.) por actividades comerciales y recreativas.
- El pico de la tarde se mantiene, con mayor presencia de motos y peatones en zonas céntricas (Alcaldía, Vive Digital, ejes comerciales).
- Disminuye el tránsito pesado, al no operar plenamente la logística de carga.

La movilidad de Yotoco presenta un patrón bimodal en días hábiles y un desplazamiento hacia media mañana en fin de semana. Este comportamiento es clave para:

1. Definir planes semafóricos por franja (AM, MD, PM) priorizando los picos; en C5×C1, operar tres planes con mínimos peatonales garantizados.
2. Coordinar ondas verdes en los ejes con mayor demanda (AM y PM), especialmente en Cra 10/Calle 10 y pares viales.
3. Gestionar la seguridad peatonal en picos (cebras, refugios, tiempos  $\geq 10$ –12 s efectivos).
4. Controlar velocidades y giros en los periodos valle para mantener niveles de servicio y reducir riesgo.



- 
- 
5. Planificar fines de semana con enfoque comercial–recreativo: refuerzo de señalización peatonal, control de motos y redistribución de paradas (TP/carga).

### 3.6. RESULTADOS COMPARATIVOS Y TENDENCIAS DE MOVILIDAD

El análisis integrado de los aforos vehiculares y peatonales en cinco puntos de Yotoco Hospital, Punto Vive Digital, La Rocola, Alcaldía y Carrera 5×Calle 1 permite comparar dinámicas y extraer tendencias que caracterizan la movilidad urbana del municipio.

#### a) Comparativo entre puntos de aforo



- Hospital: Predomina la movilidad peatonal (>300 pe/h en pico). Tránsito motorizado liderado por motocicletas y baja presencia de pesados. El riesgo principal es la interacción moto–peatón.
- Punto Vive Digital y Alcaldía: Movilidad mixta, con equilibrio peatón–vehículo. Las motos ≈45% del total; autos/camionetas 30–35%. Mezcla de flujos administrativos, escolares y comerciales.
- La Rocola: Mayor incidencia de transporte público y pesados por su rol de acceso a la red periférica; concentra tránsito de paso y abastecimiento.
- Carrera 5 con Calle 1: Nodo central–comercial con motos 40–65% y peatones 25–40%. Direccionalidad longitudinal dominante (S–N≈51%; N–S≈39%) y transversal minoritaria (E–O ≈8%, O–E ≈2%), pero crítica por generar conflictos de cruce y giros. Es candidato a semaforización (mínimos peatonales garantizados) y canalización de giros; con el cambio de sentidos propuesto (C5 entrante N→S y C1 O→E) se sugiere operar tres planes (AM, MD, PM).

#### b) Comparativo por tipo de vehículo

- Motocicletas: modo dominante (40–55% en la mayoría de intersecciones), base del patrón de viajes corta–media distancia. En C5×C1 su peso se traduce en colas cortas con maniobras laterales y adelantamientos en cola.
- Vehículos livianos: 25–35%, más presentes en áreas administrativas/comerciales (Alcaldía, Vive Digital y C1).
- Pesados: se concentran en ejes vinculados a Cra 10 (Vía Panorama) y accesos (La Rocola); en C5×C1 su participación es marginal.
- Transporte público: 6–10%; su impacto operacional es alto por paradas improvisadas en zonas céntricas, especialmente sensibles en el frente de Calle 1.

#### c) Comparativo por franjas horarias

- Pico mañana (6:30–8:30): dominado por motos y peatones (ingreso escolar, laboral y a servicios). En C5×C1 aparece el primer pulso por apertura comercial.
- Pico tarde (4:30–6:30): máxima demanda municipal; en C5×C1 coinciden la mayor proporción N→S con cruces O→E, elevando la conflictividad y justificando control semafórico.

- 
- 
- Fines de semana: desplazamiento del pico hacia media mañana y tarde por actividades comerciales/recreativas; pesados disminuyen.

#### **d) Tendencias de movilidad en Yotoco**

1. Alta dependencia de la motocicleta como modo principal.
2. Creciente interacción vehículo–peatón en nodos de equipamientos (Hospital, Alcaldía, Vive Digital y Carrera 5).
3. Concentración de pesados en Cra 10 con presión en Calles 2, 7 y 10.
4. Déficit de infraestructura TP (paraderos/bahías), que amplifica conflictos en áreas céntricas.
5. Patrón bimodal en días hábiles (picos AM/PM) y desplazado en fines de semana.
6. Específico Carrera 5×Calle 1: centralidad comercial de Calle 1, transversales minoritarios pero determinantes en siniestros; con el cambio de sentidos se recomienda semaforización con 2 fases base (C5 N→S / C1 O→E) y plan alterno de 3 fases si hay giro izquierdo crítico, operando tres ciclos (AM, MD, PM) coordinados con el par C4–C5.

#### **La movilidad en Yotoco está marcada por:**

- La hegemonía de la motocicleta y la relevancia peatonal en nodos institucionales/comerciales.
- La presión de pesados en accesos desde la Vía Panorama.
- La prioridad de intervenir Carrera 5×Calle 1 como intersección céntrica: semaforización, señalización horizontal/vertical reforzada, pasos peatonales regulados, canalización de giros y paraderos ordenados. Estas medidas deben enfocarse especialmente en los nodos conectados a Cra 10 y en las intersecciones céntricas de mayor vulnerabilidad.

## **4. DISEÑO TÉCNICO DE SISTEMAS SEMAFÓRICOS**

### **4.1. OBJETIVO Y ALCANCE**

#### **4.1.1. Objetivo general**

Diseñar, programar y poner en operación un sistema semafórico urbano en cinco intersecciones prioritarias de Yotoco, que mejore la seguridad vial, reduzca demoras y colas, priorice al peatón y fortalezca la accesibilidad al eje comercial de la Carrera 5, garantizando cumplimiento normativo (Manual de Señalización Vial – INVIAS) y desempeño operativo conforme a HCM/Webster.

#### 4.1.2. Objetivos específicos

1. Seguridad vial: disminuir la probabilidad y severidad de siniestros mediante control de conflictos (giros/entrecruzamientos), fases peatonales dedicadas, calmado de tráfico y demarcación de alta visibilidad.
2. Eficiencia operativa: optimizar ciclos y repartos de verde por franja (AM/MD/PM), alcanzar grados de saturación objetivo ( $X \leq 0,85$ ) y niveles de servicio adecuados por aproximación.
3. Prioridad peatonal y accesibilidad universal: asegurar tiempos mínimos efectivos de cruce ( $\geq 10-12$  s), donde el ancho lo permita, rampas y señal podotáctil.
4. Ordenamiento de la red: acompañar los cambios de sentido vial definidos para los corredores estructurantes (especialmente Calle 5 y Carrera 4/5) con señalización y canalización coherentes.
5. Apoyo a la actividad económica: favorecer el ingreso/flujo hacia el eje comercial tradicional de Carrera 5, mejorando la legibilidad y tiempos de acceso.
6. Gestión y monitoreo: habilitar planes coordinados y un esquema de seguimiento pos-implantación para recalibrar tiempos.

#### 4.1.3. Alcance del proyecto:

Intersecciones a semaforizar (5):

1. Carrera 5 × Calle 1 (C5×C1) — ingreso principal al centro.
2. Esquina Hospital (perímetro del parque).
3. Esquina “La Rocola” (perímetro del parque).
4. Esquina Alcaldía (perímetro del parque).
5. Esquina Colegio Alfonso Zawadzki y – Carrera 5 × Calle 6 (C5×C6) (perímetro del parque).

#### 4.1.4. Componentes técnicos incluidos:

- Levantamiento y validación de datos: aforos clasificados vehiculares y peatonales (15 min), perfiles horarios, matrices direccionales, PHF, velocidades de aproximación, inventario geométrico y de señalización.
- Modelación y dimensionamiento:
  - Cálculo de flujos de saturación efectivos (HCM) con factores locales (PCU ajustado para motocicletas).
  - Optimización de ciclo y repartos (Webster) por franja AM/MD/PM.
  - Definición de planes de 2 fases como base (longitudinal vs. transversal) y opción de 3 fases donde exista giro izquierdo crítico y justificado.
  - Coordinación entre las cuatro esquinas del parque y conexión con C5×C1 (velocidad de progresión objetivo 30–35 km/h).
- Diseño de ingeniería:
  - Planos de semáforos vehiculares y peatonales

- Programación semafórica (ciclos, verdes, ámbar, todo-en-rojo, tiempos peatonales, intergreen).
- Señalización vertical y horizontal conforme al Manual INVIAS (cebras  $\geq 3,0$  m, líneas de detención adelantadas, flechas direccionales, tachas/canalizadores).
- Ajustes geométricos menores: orejones, islas/refugios peatonales, bahías/paraderos fuera de zona de conflicto.
- Accesibilidad universal: rampas normadas y guías podotáctiles.
- Especificaciones y suministros: memoria de cálculo, fichas técnicas, listados de cantidades (BoQ), cronograma y estimación de costos de implementación.
- Plan de operación y mantenimiento: protocolos de cambio de plan, respaldo energético/UPS si aplica, periodicidad de limpieza y verificación de retrorreflexión, y esquema de monitoreo pos-puesta en marcha (30–60 días) para recalibración.



#### Criterios de desempeño y verificación

- Seguridad: reducción de conflictos de cruce y giros, mejora de visibilidad y cumplimiento de prioridad peatonal.
- Operación: disminución de demora promedio por aproximación, reducción de longitudes de cola, PHF documentado y LOS conforme HCM.
- Cumplimiento normativo: dispositivos, colorimetría y dimensiones según Manual de Señalización Vial – INVIAS y especificaciones vigentes.

## 4.2. MARCO NORMATIVO Y CRITERIOS DE DISEÑO

### 4.2.1. Manual de Señalización Vial – INVIAS (Colombia)

Propósito y obligatoriedad: El *Manual de Señalización Vial, Dispositivos para la Regulación del Tránsito* (INVIAS/MinTransporte) es de obligatorio cumplimiento para diseñadores, interventores y entidades públicas. Su objetivo es garantizar uniformidad, legibilidad y seguridad en todo el territorio.

#### Principios rectores.

- Uniformidad y coherencia (símbolos, colores, códigos y dimensiones estandarizadas).
- Suficiencia (evitar sobreseñalización y vacíos).
- Visibilidad y legibilidad día/noche (retrorreflexión, tipografías y alturas de letra normadas).
- Ubicación segura (despejes verticales/lateral, orientación y separación entre dispositivos).
- Mantenibilidad (limpieza, reposición, nivel mínimo de retrorreflexión).

Nota: la versión vigente debe verificarse antes de construir; algunas láminas recientes incorporan usuarios vulnerables, motociclistas y ciclistas.



## Familias de dispositivos.

1. Señales verticales
  - Reglamentarias (SR-xx): obligación/prohibición (incluye PARE, CEDA, sentidos, giros).
  - Preventivas (SP-xx): advertencia de riesgo.
  - Informativas/guía/servicios/turismo (SI-xx): orientación y apoyo al usuario.
  - Temporales de obra (SPO-xx): trabajos en vía.  
Materiales/montaje: sustratos metálicos/compuestos; láminas retroreflectivas con nivel exigido por ambiente. En obra portátil se recomienda Tipo IV o superior.
2. Señalización horizontal (marcas viales)
  - Longitudinales: separación de carriles/sentidos (blanco mismo sentido; amarillo sentidos opuestos).
  - Transversales: líneas de PARE, Ceda el paso, cebras, líneas de detención.
  - Flechas, símbolos, islas pintadas y bordes.  
Parámetros mínimos: anchos, patrones trazo/espacio, espesores y retrorreflexión definidos por INVIAS/Especificaciones.
3. Semaforización
  - Cabezas, lentes, viseras, backplates, alturas de montaje, soportes y criterios de programación (fases, ámbar, todo-en-rojo, tiempos peatonales, coordinaciones).
4. Dispositivos complementarios
  - Delineadores, tachas/captafaros, hitos, canalizadores, barreras, conos y elementos luminosos, con desempeño óptico especificado.

## Colorimetría (paletas normadas).

- Verticales:
  - Reglamentarias: fondo blanco (o rojo en PARE/CEDA), símbolos negros/rojos según el caso.
  - Preventivas permanentes: amarillo con negro.
  - Temporales de obra: naranja (puede ser fluorescente) con negro.
  - Informativas/guía/servicios/turismo: azul/verde/marrón con leyendas de alto contraste.
- Horizontales (pavimento):
  - Blanco: carriles mismo sentido, flechas, símbolos, cebras, bordes en unidireccionales.
  - Amarillo: separación de sentidos opuestos, bordes izquierdos en doble sentido, canalizaciones.
  - Desempeño: retrorreflexión mínima,  $\Delta E$  y espesores según especificaciones.

## Dimensiones y criterios geométricos.

- Tableros (pequeño/estándar/grande/extralargo) según clase funcional/velocidad para asegurar distancia de lectura.
- Tipografía y alturas de letra oficiales.
- Despejes verticales/laterales, orientación y alineación diferenciadas para urbano vs. rural.



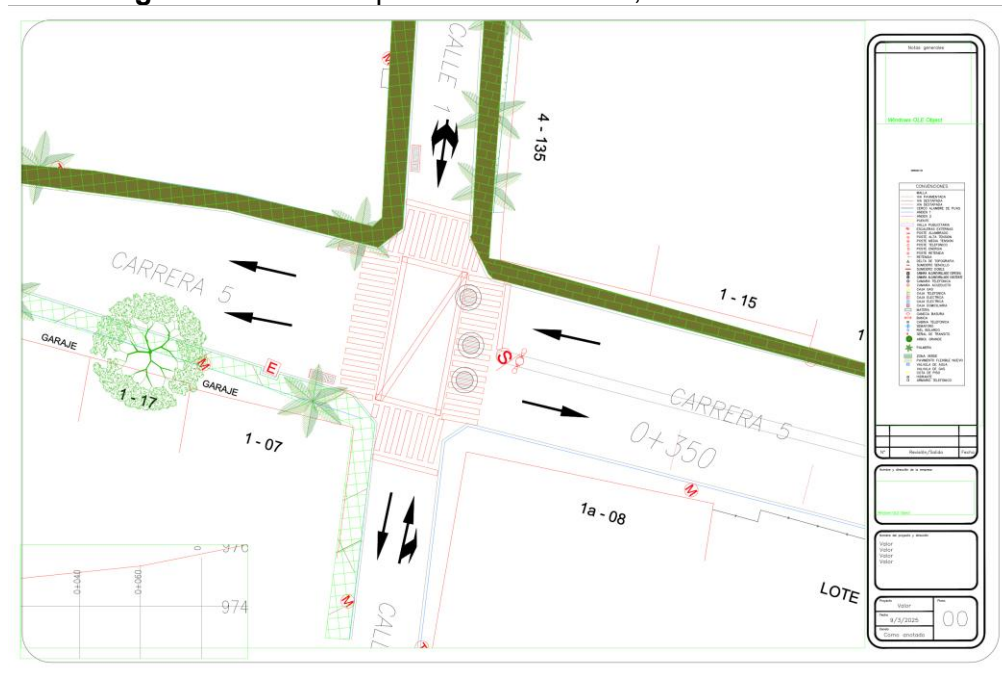
- Marcas viales: anchos típicos  $\geq 12$  cm; relaciones trazo/espacio urbanas de referencia 3,0/5,0 m (ajustables a contexto).
- Semáforos: diámetros de lentes, altura del foco, ámbar y todo-en-rojo, símbolos peatonales y temporizadores según capítulo específico.

### Versión aplicada en este estudio.

- Base técnica 2015 (INVIAS/MinTransporte) como referencia formal.
- Revisiones recientes: se validará la versión vigente (INVIAS/MinTransporte/ANSV) al momento de obra, especialmente láminas sobre prioridad peatonal, motovías y biciturismo.

### Plano de Planta: señalización, Cruce Carrera 5 Calle 1

Imagen 14. Plano de planta: señalización, cruce carrera 5 calle 1



### INTERSECCIÓN CARRERA 5 × CALLE 1 (SECTOR ESTADIO)

#### 1) CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA Y SENTIDOS

- Carrera 5 (C5)
  - Unidireccional Norte → Sur (N→S) como eje de ingreso al casco urbano desde la Calle 1.
  - La salida hacia el norte del centro se canaliza por el par vial complementario (Carrera 4).

- Fuera del núcleo céntrico, la conexión de C5 con la red externa puede operar bidireccional según el tramo, manteniendo continuidad con la doble calzada.
- Calle 1 (C1)
  - Unidireccional Oeste → Este (O→E) entre Carrera 1 y Carrera 5 (tramo occidental).
  - Bidireccional al oriente del cruce (entre C5 y C10), para favorecer el desfogue y la accesibilidad del sector oriental.
- Peatones
  - Pasos tipo cebra en los cuatro frentes (ancho  $\geq 3,0$  m) con líneas de detención adelantadas.
  - Islas pintadas/canalización en esquinas para cerrar radios, proteger a los peatones y ordenar los giros.



## 2) MOVIMIENTOS VEHICULARES

- Desde C5 (N→S)
  - Recto (movimiento dominante).
  - Giro a la derecha C5→C1 (O→E): prohibido en el tramo occidental por contraflujo.
  - Giro a la izquierda C5→C1 (hacia el oriente): solo con fase protegida (flecha) cuando sea habilitado.
- Desde C1 (O→E, tramo occidental)
  - Recto atravesando la intersección (dominante).
  - Giro a la derecha C1→C5 (hacia el sur): compatible con el flujo N→S de C5; puede operar dentro de la misma fase de C1.
  - Giro a la izquierda C1→C5 (hacia el sur): permitido y controlado. Es el giro crítico por interacción con los sentidos principales; requiere protección si la demanda es significativa.

Nota: En el tramo oriental (C1 bidireccional) los giros deben evaluarse con separadores/islotes o prohibiciones puntuales para evitar entrecruzamientos.

## 3) SEMAFORIZACIÓN PROPUESTA (BASE)

Esquema de dos (2) fases con cruce peatonal protegido:

1. Fase A – C5 (N→S): paso vehicular N→S.
  - Los peatones cruzan C1 (frentes este y oeste) con C1 en rojo.
2. Fase B – C1 (O→E): paso vehicular O→E.
  - Puede incluir giro izquierdo C1→C5 con flecha protegida (si se habilita).
  - Los peatones cruzan C5 (frentes norte y sur) con C5 en rojo.

Tiempos de seguridad de referencia: ámbar 3 s, todo-en-rojo 2 s.  
 Tiempo peatonal mínimo efectivo:  $\geq 10-12$  s por frente, ajustado con



$$t_{\text{peat}} = t_0 + W_{1,2}$$

donde  $t_0$  es el tiempo de arranque (2–3 s) y  $W$  el ancho a cruzar (m).

Escalabilidad: si crecen los giros  $C1 \rightarrow C5$  o  $C5 \rightarrow C1$  y generan conflicto, migrar a 3 fases (tercera fase exclusiva de giros protegidos) o usar extensión de flecha con detección actuada.

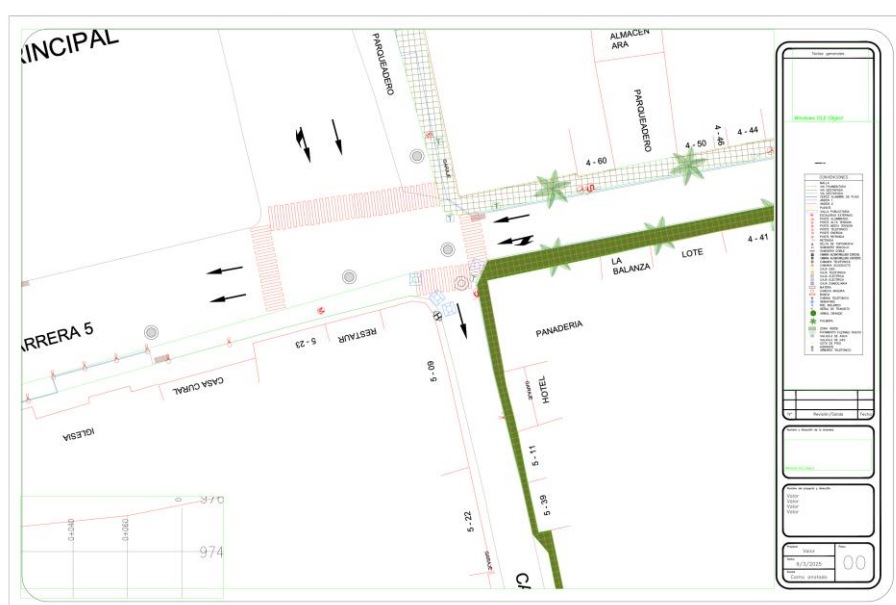
#### 4) SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL

- Horizontal: cebras ( $\geq 3,0$  m), líneas de detención, flechas de sentido, zonas de exclusión e islotes pintados.
- Vertical:
  - “Prohibido girar a la derecha”  $C5 \rightarrow C1$  (tramo occidental).
  - Sentidos únicos y fin de sentido según el tramo.
  - Velocidad 30 km/h por entorno deportivo y alta presencia peatonal.
- Dispositivos peatonales: semáforos peatonales con conteo regresivo y, si aplica, pulsadores.
- Gestión complementaria: restricción de estacionamiento en aproximaciones, control de motos en líneas de detención y, si procede, coordinación con los cruces del parque (Rocola/Alcaldía) para “onda verde” en C5.

#### 5) SÍNTESIS OPERATIVA

La intersección articula dos ejes unidireccionales ( $C5 N \rightarrow S$  y  $C1 O \rightarrow E$  en el tramo occidental) y mantiene bidireccionalidad controlada en el tramo oriental de C1. El diseño protege los cruces peatonales en ambas fases y controla el giro izquierdo  $C1 \rightarrow C5$ , el movimiento más sensible por su interacción con los flujos principales y la afluencia al sector Estadio.

**Imagen 15.** Síntesis operativa



## INTERSECCIÓN CARRERA 5 (K5) × CALLE 5 (C5) – SECTOR HOSPITAL

### 1) CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA Y SENTIDOS

- Carrera 5 (K5): calzada unidireccional Norte → Sur (N→S) como eje de ingreso al casco urbano.
- Calle 5 (C5): calzada unidireccional Oeste → Este (O→E) a lo largo del corredor (cambio respecto a la operación actual E→O).
- Peatones: pasos tipo cebrá en los cuatro frentes (ancho  $\geq 3,0$  m) con líneas de detención adelantadas.
- Esquinas: islotes/ canalización pintada para reducir radios de giro, acortar los cruces y mejorar la visibilidad peatón-vehículo.
- Entorno sensible: proximidad inmediata al Hospital  $\Rightarrow$  velocidad objetivo 30 km/h.

### 2) MOVIMIENTOS VEHICULARES

Desde K5 (N→S)

- Recto (movimiento dominante) hacia el sector sur.
- Giro a la derecha K5→C5 (hacia el Oeste): prohibido (contraflujo, C5 es O→E).
- Giro a la izquierda K5→C5 (hacia el Este): permitido solo con fase protegida (flecha), según demanda.

Desde C5 (O→E)

- Recto atravesando la intersección (dominante).
- Giro a la derecha C5→K5 (hacia el Sur): compatible con el flujo N→S de K5; puede operar dentro de la misma fase de C5.



Restricciones complementarias: prohibición de estacionamiento en aproximaciones, control de motos en línea de detención y uso de separadores bajos si se requieren refugios.

### 3) SEMAFORIZACIÓN PROPUESTA (BASE)

Esquema de 2 fases, con cruce peatonal protegido:

1. Fase A – K5 (N→S): paso vehicular N→S.
  - Peatones cruzan C5 (frentes oeste y este) con C5 en rojo.
2. Fase B – C5 (O→E): paso vehicular O→E.
  - Puede incluir giro izquierdo C5→K5 con flecha protegida (si se habilita).
  - Peatones cruzan K5 (frentes norte y sur) con K5 en rojo.

Tiempos de seguridad de referencia: ámbar 3 s y todo-en-rojo 2 s.  
Tiempo peatonal mínimo efectivo:  $\geq 10-12$  s por frente, ajustado con

$$t_{\text{peat}} = t_0 + W_{1,2}$$

donde  $t_0 = 2-3$  s y  $W$  es el ancho del cruce (m).

Escalabilidad: si el izquierdo C5→K5 o el izquierdo K5→C5 (si se habilita) crecen y elevan conflictos, migrar a 3 fases (tercera fase exclusiva de giros protegidos) o usar extensión de flecha con detección actuada.

### 4) SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL

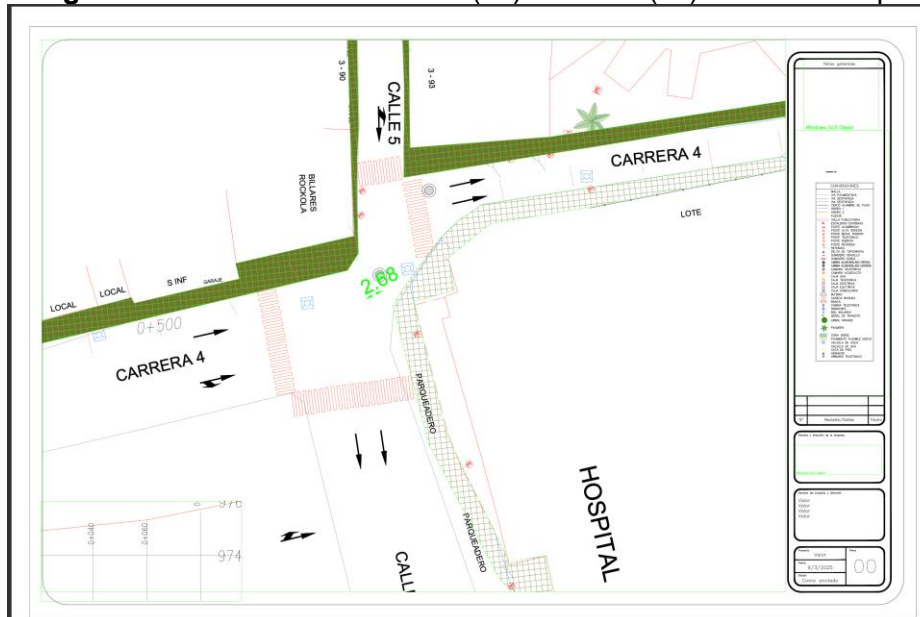
- Horizontal: cebras ( $\geq 3,0$  m), líneas de detención, flechas de sentido, zonas de exclusión/islotas pintados; posible refugio central si el ancho de K5 lo permite ( $\geq 2,0$  m útiles).
- Vertical:
  - “Prohibido girar a la derecha” K5→C5 (sentido oeste).
  - Sentidos únicos y fin de sentido.
  - Velocidad 30 km/h por entorno hospitalario.
- Peatonal: semáforos con pictogramas y conteo regresivo; pulsadores si se requiere prioridad peatón.

### 5) SÍNTESIS OPERATIVA

El punto organiza dos ejes unidireccionales (K5 N→S y C5 O→E), protege los cruces peatonales en ambas fases y controla los giros que generan mayor exposición (en especial C5→K5 y K5→C5 izquierdos). La solución reduce velocidades y conflictos frente al Hospital, elevando la seguridad peatonal sin sacrificar la continuidad de los flujos principales.



**Imagen 16.** Intersección carrera 5 (k5) × calle 5 (c5) – Sector Hospital



## INTERSECCIÓN CALLE 5 (C5) × CARRERA 4 (K4) – “LA ROCOLA”

### 1) CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA Y SENTIDOS

- Calle 5 (C5): unidireccional Oeste → Este (O→E) en el tramo central.
- Carrera 4 (K4): unidireccional Sur → Norte (S→N) como eje de salida del centro (par vial de la K5).
- Peatones: pasos tipo cebrá en los cuatro frentes (ancho  $\geq 3,0$  m) con líneas de detención adelantadas.
- Canalización: islas/orejones pintados en esquinas para reducir radios de giro, acortar cruces y mejorar la visibilidad.

### 2) MOVIMIENTOS VEHICULARES

Desde Carrera 4 K4 (S→N)

- Recto: movimiento dominante hacia el norte.
- Derecha K4→C5 (hacia el Este): permitida (compatible con C5 O→E).
- Izquierda K4→C5 (hacia el Oeste): prohibida (contraflujo sobre C5).

Desde C5 (O→E)

- Recto: movimiento dominante atravesando la K4.
- Izquierda C5→K4 (hacia el Norte): permitida y controlada; es el giro crítico de la intersección (cruza trayectorias principales).
  - Recomendado protegido con flecha cuando la demanda lo justifique.
- Derecha C5→K4 (hacia el Sur): prohibida (contraflujo, K4 es S→N).



Apoyos operativos: restringir estacionamiento en aproximaciones ( $\geq 20-30$  m antes del cruce), ordenar paradas de TP fuera de la zona de conflicto y controlar motos en la línea de detención.

### 3) ESQUEMA SEMAFÓRICO PROPUESTO (BASE)

Dos (2) fases con cruce peatonal protegido y tiempos de seguridad:

Fase A – K4 (S→N)

- Pasa recto K4 y derecha K4→C5 (Este).
- Peatones cruzan C5 (frentes oeste y este) con C5 en rojo.

Fase B – C5 (O→E)

- Pasa recto C5 y (si se habilita) izquierda C5→K4 (N) con flecha protegida.
- Peatones cruzan K4 (frentes sur y norte) con K4 en rojo.

Tiempos de referencia: ámbar 3s, todo-en-rojo 2s. Tiempo peatonal mínimo efectivo:  $\geq 10-12$ s por frente, ajustado con

$$t_{\text{peat}} = t_0 + W_{1,2}$$

donde  $t_0 = 2-3$  s y W es el ancho del cruce (m).

Escalabilidad: si el izquierdo C5→K4 crece y eleva conflictos, migrar a 3 fases (tercera fase exclusiva de giros protegidos) o usar extensión de flecha con detección actuada.

### 4) SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL (INVIAS)

- Horizontal: cebras ( $\geq 3,0$  m), líneas de detención antes de cada cebra, flechas por carril, zonas de exclusión/islas pintadas; considerar refugio central si el ancho lo permite ( $\geq 2,0$  m).
- Vertical:
  - “Prohibido girar a la izquierda” K4→C5 (Oeste).
  - “Prohibido girar a la derecha” C5→K4 (Sur).
  - Sentidos únicos y fin de sentido.
  - Velocidad 30 km/h por alta presencia peatonal en entorno del parque/actividad comercial.





- Peatonal: semáforos con conteo regresivo y, si aplica, pulsadores en fases de menor demanda.

## 5) COORDINACIÓN Y OPERACIÓN

- Coordinación (“onda verde”) con las demás esquinas del parque (Hospital, Alcaldía y Colegio) para reducir detenciones sobre K4 norte–sur y sobre C5 oeste–este.
- Plan AM/MD/PM con reparto de verdes acorde a los perfiles de aforo (puntas mañana y tarde).
- Monitoreo pos-implantación (30–60 días) para recalibrar verdes, peatonales y giros protegidos según desempeño real.

## 6) SÍNTESIS OPERATIVA

La solución ordena el par vial K4 (S→N) / C5 (O→E), protege los cruces peatonales en ambas fases y controla el giro izquierdo C5→K4, principal generador de conflicto. Con señalización completa, canalización en esquinas y posible coordinación con el anillo del parque, se reduce la exposición al riesgo y se mantiene la fluidez del eje de salida por K4 y del corredor transversal C5.

Imagen 17. Intersección calle 5 (c5) × carrera 4 (k4) – “la rocola”





## INTERSECCIÓN CALLE 6 (C6) × CARRERA 4 (K4) – ALCALDÍA

### 1) CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA Y SENTIDOS

- Calle 6 (C6): unidireccional Este → Oeste (E→O) (cambio respecto a la operación anterior).
- Carrera 4 (K4): unidireccional Sur → Norte (S→N) como eje de salida del centro (par vial de K5).
- Peatones: pasos tipo cebrá en los cuatro frentes (ancho  $\geq 3,0$  m) con líneas de detención adelantadas.
- Esquinas: islotes/orejones pintados para reducir radios, acortar cruces y mejorar visibilidad.
- Entorno: alta concentración peatonal por Alcaldía y servicios administrativos  $\Rightarrow$  velocidad objetivo 30 km/h.

### 2) MOVIMIENTOS VEHICULARES (POR APROXIMACIÓN)

Desde K4 (S→N)

- Recto: movimiento dominante hacia el norte.
- Derecha K4→C6 (hacia el Este): prohibida (contraflujo: C6 opera E→O).
- Izquierda K4→C6 (hacia el Oeste): permitida; recomendable protegida (flecha) si la demanda crece.

Desde C6 (E→O)

- Recto: movimiento dominante atravesando la K4.
- Derecha C6→K4 (hacia el Norte): permitida; puede operar en la misma fase de C6 con canalización/ceda el paso.
- Izquierda C6→K4 (hacia el Sur): prohibida (contraflujo: K4 es S→N).

Apoyos operativos: restringir estacionamiento a  $\geq 20$ –30 m de las esquinas; ordenar paradas de transporte fuera de la zona de conflicto; control de motos en la línea de detención.

### 3) ESQUEMA SEMAFÓRICO PROPUESTO (BASE)

Dos (2) fases, con cruce peatonal protegido:

Fase A – K4 (S→N)

- Pasa recto K4 y (si se habilita) izquierda K4→C6 (Oeste) con flecha protegida.
- Peatones cruzan C6 (frentes este y oeste) con C6 en rojo.

Fase B – C6 (E→O)

- Pasa recto C6 y derecha C6→K4 (Norte) (con canalización/ceda el paso si es concurrente con peatón).
- Peatones cruzan K4 (frentes sur y norte) con K4 en rojo.



Tiempos de referencia: ámbar 3 s, todo-en-rojo 2 s.  
 Tiempo peatonal mínimo efectivo:  $\geq 10-12$  s por frente, ajustado con

$$t_{\text{peat}} = t_0 + W_{1,2}$$

donde  $t_0 = 2-3$  s y  $W$  es el ancho del cruce (m).

Escalabilidad: si el izquierdo K4→C6 se vuelve crítico, migrar a 3 fases (tercera fase de giros protegidos) o usar extensión de flecha con detección actuada.

#### 4) SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL (INVIAS)

- Horizontal: cebras ( $\geq 3,0$  m), líneas de detención antes de cada cebra, flechas por carril, zonas de exclusión/islotas; considerar refugio central si el ancho lo permite ( $\geq 2,0$  m).
- Vertical:
  - “Prohibido girar a la derecha” K4→C6 (hacia el Este).
  - “Prohibido girar a la izquierda” C6→K4 (hacia el Sur).
  - Sentidos únicos y fin de sentido donde corresponda.
  - Velocidad 30 km/h por entorno administrativo y peatonal.
- Peatonal: semáforos con conteo regresivo; pulsadores si se requiere prioridad en horas valle.

#### 5) COORDINACIÓN Y OPERACIÓN

- Posible coordinación (“onda verde”) con las otras esquinas del parque (Hospital K5×C5, Rocola K4×C5 y Colegio K5×C6) para reducir detenciones sobre K4 (S→N) y C6 (E→O).
- Planes AM/MD/PM con reparto de verdes según perfiles de aforo.
- Ajuste pos-implantación (30–60 días): recalibrar verdes, peatonales y giros protegidos según desempeño.

#### 6) SÍNTESIS OPERATIVA

La solución ordena el par vial K4 (S→N) / C6 (E→O) en un entorno de alta demanda peatonal, protege los cruces en ambas fases y controla los giros conflictivos (izquierdo K4→C6 y derecho C6→K4). Con canalización, señalización completa y eventual coordinación con el anillo del parque, se mejora la seguridad y se mantiene la fluidez de los ejes de salida y transversal.



**Imagen 18.** Intersección calle 6 (c6) × carrera 4 (k4) – Alcaldía



## INTERSECCIÓN CARRERA 5 (K5) × CALLE 6 (C6) – COLEGIO

### 1) CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA Y SENTIDOS

- Carrera 5 (K5): unidireccional Norte → Sur (N→S) como eje de ingreso del par vial.
- Calle 6 (C6): unidireccional Este → Oeste (E→O) (cambio respecto a la operación anterior).
- Peatones: pasos tipo cebra en los cuatro frentes ( $\geq 3,0$  m) con líneas de detención adelantadas.
- Esquinas: islotes/canalización pintada para reducir radios de giro, acortar cruces y mejorar la visibilidad.
- Entorno escolar: zona sensible por presencia de estudiantes  $\Rightarrow$  velocidad objetivo 30 km/h y dispositivos de zona escolar.

### 2) MOVIMIENTOS VEHICULARES (POR APROXIMACIÓN)

Desde K5 (N→S)

- Recto: movimiento dominante hacia el sur.
- Derecha K5→C6 (hacia el Oeste): permitida (coincide con C6 E→O).
- Izquierda K5→C6 (hacia el Este): prohibida (contraflujo: C6 no tiene sentido E→).



Desde C6 (E→O)

- Recto: movimiento dominante atravesando K5.
- Izquierda C6→K5 (hacia el Sur): permitida y controlada; es el giro crítico del cruce (cruza trayectorias principales), recomendado protegido con flecha según demanda.
- Derecha C6→K5 (hacia el Norte): prohibida (contraflujo: K5 es N→S).

Apoyos operativos: prohibición de estacionamiento a  $\geq 20-30$  m de las esquinas; ordenar paradas de transporte fuera de la zona de conflicto; control de motos sobre la línea de detención; posible refugio central si el ancho de K5 lo permite ( $\geq 2,0$  m útiles).

### 3) ESQUEMA SEMAFÓRICO PROPUESTO (BASE)

Dos (2) fases con cruce peatonal protegido:

Fase A – K5 (N→S)

- Pasa recto K5 y derecha K5→C6 (Oeste).
- Peatones cruzan C6 (frentes Este y Oeste) con C6 en rojo.

Fase B – C6 (E→O)

- Pasa recto C6 y, si la demanda lo requiere, izquierda C6→K5 (Sur) con flecha protegida.
- Peatones cruzan K5 (frentes Norte y Sur) con K5 en rojo.

Tiempos de referencia: ámbar 3 s, todo-en-rojo 2 s.  
Tiempo peatonal mínimo efectivo:  $\geq 10-12$  s por frente, ajustado con

$$t_{\text{peat}} = t_0 + W_{1,2}$$



( $t_0 = 2-3$  s;  $W$  = ancho del cruce en m).

Escalabilidad: si el izquierdo C6→K5 eleva conflictos/demoras, migrar a 3 fases (tercera fase exclusiva de giros protegidos) o usar extensión de flecha con detección actuada.

### 4) SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL (INVIAS)

- Horizontal: cebras ( $\geq 3,0$  m), líneas de detención, flechas por carril, zonas de exclusión/islotes; posible paso peatonal elevado fuera del cruce para calmado escolar.
- Vertical:
  - “Prohibido girar a la izquierda” K5→C6 (Este).
  - “Prohibido girar a la derecha” C6→K5 (Norte).
  - Sentidos únicos / fin de sentido; Zona Escolar y 30 km/h.



- 
- 
- Peatonal: semáforos con conteo regresivo; pulsadores en horas valle si se prioriza el cruce escolar.

## 5) COORDINACIÓN Y OPERACIÓN

- Posible coordinación (“onda verde”) con los otros tres cruces del anillo del parque (Hospital K5×C5, Rocola K4×C5 y Alcaldía K4×C6) para reducir detenciones en K5 (N→S) y C6 (E→O).
- Planes AM/MD/PM ajustados a horarios escolares (ingreso/salida).
- Ajuste pos-implantación (30–60 días) para recalibrar verdes, peatonales y giros protegidos según desempeño real.

## 6) SÍNTESIS OPERATIVA

La solución ordena el par K5 (N→S) / C6 (E→O) en un entorno escolar, protege los cruces peatonales en ambas fases y controla el giro izquierdo C6→K5, principal generador de conflicto. Con señalización completa, canalización en esquinas y posible coordinación con el anillo del parque, se mejora la seguridad de estudiantes y peatones y se mantiene la fluidez de los ejes transversal y longitudinal.

### Especificaciones para los 5 cruces semaforizados.

Este capítulo presenta las especificaciones técnicas para los cinco cruces semaforizados priorizados en el casco urbano de Yotoco: K5×C1 (Estadio), K5×C5 (Hospital), K4×C5 (La Rocola), K4×C6 (Alcaldía) y K5×C6 (Colegio). Su propósito es garantizar seguridad vial, eficiencia operativa y accesibilidad peatonal, así como habilitar la coordinación entre intersecciones en los pares viales y ejes estructurantes del municipio.

Las especificaciones se estructuran en ítems homogéneos por cruce: geometría y sentidos, plan de fases (2–3 fases según demanda de giros), tiempos de seguridad (ámbra y todo-en-rojo), requisitos peatonales (WALK + despeje, pasos tipo cebrá, refugios), equipo semafórico (módulos LED 200/300 mm, viseras/backplates, controlador con planes AM/MD/PM y UPS), señalización horizontal y vertical (líneas de detención, flechas, canalizaciones, límites de velocidad) y criterios de coordinación (offsets y progresión 30–35 km/h cuando aplique).

El diseño y la operación se alinean con el Manual de Señalización Vial (MinTransporte/ANSV–INVIAS), las Especificaciones Generales de Construcción (para obra civil y soportes), y las exigencias de seguridad eléctrica del RETIE; en entornos con alta demanda peatonal se consideran además lineamientos de accesibilidad (p. ej., señales peatonales con cuenta regresiva y, de ser necesario, avisadores sonoros).



Este marco técnico sirve como base para el diseño definitivo, presupuestos, licitación, construcción e interventoría, y será calibrado con los aforos de hora pico y las pruebas de campo pos-implantación (ajuste de ciclos/splits y verificación de demoras y colas), asegurando el desempeño esperado en seguridad y nivel de servicio.

## 1) CARRERA 5 × CALLE 1 — “ESTADIO” (K5 × C1)

- Geometría y sentidos: K5 unidireccional N→S (ingreso); C1 O→E entre K1–K5 y bidireccional al oriente (K5–K10).
- Plan de fases: 2 fases base (Fase A: K5 N→S; Fase B: C1 O→E); giro izq. C1→K5 protegido cuando la demanda lo exija (opción de 3 fases).
- Tiempos de seguridad: ámbar 3 s; todo-en-rojo ≈1,5–2 s (ajustado al ancho de cruce).
- Peatones: 4 pasos tipo cebrá (≥3,0 m), semáforos peatonales con cuenta regresiva; tiempos efectivos ≥10–12 s por frente. (Operación peatonal en cruce semaforizado, Manual: ).
- Equipo: cabezales LED 200/300 mm con viseras y backplate donde se requiera contraste; controlador con planes AM/MD/PM y puerto para coordinación.
- Detección/actuación: lazos o video en C1 para extender verde del giro izq. cuando aplique (control actuado permitido por Manual).
- Señalización horizontal: líneas de detención adelantadas, flechas direccionales, islas pintadas para cerrar radios y proteger peatón.
- Señalización vertical: “Prohibido girar a la derecha K5→C1 (O→E)”, límites 30 km/h, sentidos únicos.
- Coordinación: posible con cruces del parque (K4×C5 / K4×C6 / K5×C6) para “onda verde” en K5.
- Plano de soporte: base geométrica K5–C1 (red de utilidades y elementos urbanos).

## 2) CARRERA 5 × CALLE 5 — “HOSPITAL” (K5 × C5)

- Geometría y sentidos: K5 N→S; C5 O→E (par vial con C6).
- Plan de fases: 2 fases (K5 N→S / C5 O→E); giros derechos concurrentes; evaluar izq. protegido si crece la demanda.
- Peatones (prioritario): tiempos ≥10–12 s y, de requerirse, operación actuada por peatón (botoneras) en horas valle. (Semáforos para alto volumen peatonal, Manual: ).
- Equipo: módulos LED 300 mm en vehiculares principales; peatonales con cuenta regresiva.
- Señalización: cebras en 4 frentes, líneas de detención adelantadas, canalización de radios.
- Operación: plan MD con mayor peso peatonal; PM con posibles extensiones por colas de K5.
- Coordinación: con K4×C5 y K5×C6 para progresión E–O / N–S.



### 3) CARRERA 4 × CALLE 5 — “LA ROCOLA” (K4 × C5)

- Geometría y sentidos: K4 S→N (salida); C5 O→E (par con C6).
- Plan de fases: 2 fases base (K4 S→N / C5 O→E); opción 3 fases si el giro izq. de alguna aproximación resulta crítico en punta.
- Tránsito pesado/TP: prever bahías/paradero fuera de la zona de conflicto (criterio operativo).
- Equipo: LED 300 mm en la vía dominante; backplates según brillo de fondo.
- Peatones: 4 frentes; WALK+clearance ≥10–12 s.
- Coordinación: con K5×C5 y K4×C6; offsets para 30–35 km/h (Manual permite coordinación/“sistemas progresivos”).

### 4) CARRERA 4 × CALLE 6 — “ALCALDÍA” (K4 × C6)

- Geometría y sentidos: K4 S→N; C6 E→O (par vial C5–C6).
- Plan de fases: 2 fases (K4 / C6); izquierdos permitidos o protegidos según hora punta; línea de detención adelantada para mejorar visibilidad.
- Peatones: flujos administrativos/comerciales intermitentes → tiempos peatonales estándar y posible actuación por demanda en valle.
- Equipo: LED 200/300 mm; controlador con reloj y entrada a coordinación.
- Señalización: cebras, flechas, islas pintadas; control de estacionamiento en esquinas.
- Operación: plan MD con mayor peso peatonal; PM con mayor split a K4.

### 5) CARRERA 5 × CALLE 6 — “COLEGIO” (K5 × C6)

- Geometría y sentidos: K5 N→S; C6 E→O (par con C5).
- Plan de fases: 2 fases (K5 / C6); en hora escolar, extensión peatonal y gestión de cruces escolares.
- Zona escolar (medidas especiales): prohibir estacionamiento 30 m antes del cruce y 10 m después, cuando operen los flujos escolares; fuera de esos lapsos, se puede suspender la operación escolar específica según Manual.
- Peatones: señal peatonal con cuenta regresiva; refugios/orejones si el ancho lo permite.
- Equipo: LED 200/300 mm; opción de destello preventivo escolar fuera de horarios si la autoridad lo define (semáforos especiales–destello).
- Señalización: cebra ancha, pictogramas escolares, control de velocidad.



### NOTAS COMUNES DE DISEÑO Y OBRA (APLICAN A LOS 5 CRUCES)

- Estudios y datos de diseño: volúmenes por 15 min, clasificación vehicular, flujos peatonales por cruce, velocidades de operación, geometría y restricciones, iluminación y señalización existente (Manual – estudios previos).

- Tipo de control: tiempos fijos o accionados por el tránsito (parcial/total) según punta/valle y coordinación de corredor (permitido por Manual).
- Peatonalidad: dispositivos y tiempos de cruce dedicados en intersecciones con alto flujo peatonal.
- Especificaciones de cabezales: módulos LED vehiculares/peatonales, viseras y placas de contraste (definiciones y componentes del semáforo).
- Coordinación: posibilidad de progresión (“onda verde”) en los pares viales / corredor central cuando las distancias y demandas lo justifiquen.

**Tabla 7.** Tabla resumen con las especificaciones de los 5 cruces semaforizados de Yotoco.

Cruce	Sentidos	Plan de fases	Giros críticos / prohibidos	Peatonal (mínimos)	Equipo semafórico	Señalización y control	Coordinación
K5 × C1 — Estadio	K5 N→S( ingreso); C1 O→E (K1–K5) y C1 bidireccional(K5–K10)	2 fases (A: K5 N→S; B: C1 O→E). Opción 3 fases si izquierdos críticos	Crítico: izq C1→K5(protegido). Izq K5→C1 (E) solo con fase. Prohibido: der K5→C1 (O)	4 cebras ≥3,0 m; WALK+FDW ≥10–12 s; líneas de detención adelantadas	LED 200/300 mm, viseras/backplates; controlador AM/MD/PM; UPS	Cebas, flechas, islas pintadas, 30 km/h; sentidos únicos	Con anillo del parque (K4×C5, K4×C6, K5×C6)
K5 × C5 — Hospital	K5 N→S; C5 O→E (par con C6)	2 fases (K5 / C5); derechos concurrentes; izq protegido según demanda	Crítico: izq C5→K5. Prohibido: der K5→C5 (O)	Prioridad peatonal; WALK+FDW ≥10–12 s; posible actuado por pulsador (valle)	LED 300 mm en ejes principales; peatonales con cuenta regresiva	Cebas 4 frentes, líneas de detención, canalización; 30 km/h	Con K4×C5 y K5×C6
K4 × C5 — La Rocola	K4 S→N( salida); C5 O→E	2 fases base; opción 3 fases si un izquierdo es crítico	Crítico: izq C5→K4. Prohibidos: izq K4→C5 (O), der C5→K4 (S). Permitido: der K4→C5 (E)	4 frentes; WALK+FDW ≥10–12 s	LED 300 mm vía dominante; backplates según fondo	Bahías/paradero fuera del cruce; cebras, líneas de detención	Con K5×C5 y K4×C6; offsets 30–35 km/h
K4 × C6 — Alcaldía	K4 S→N; C6 E→O	2 fases (K4 / C6); izquierdos permitidos/protegidos según demanda	Permitido/protegido: izq K4→C6 (O). Permitido: der C6→K4 (N). Prohibidos: der K4→C6 (E), izq C6→K4 (S)	WALK+FDW ≥10–12 s; línea de detención adelantada	LED 200/300 mm; controlador con reloj/coord.	Cebas, flechas, islas; control de estacionamiento en esquinas	Con K4×C5 y K5×C6

K5 × C6 — Colegio	K5 N→S; C6 E→O	2 fases (K 5 / C6); exte nsión peatonal en horarios escolare s	Crítico: izq C6→K5(S, protegido). Permitido: der K5→C6 (O). Prohibi dos: izq K5→C6 (E), der C6→K5 (N)	Cebra ancha; W ALK+FDW ≥10–12 s; pictogram as y zona escolar	LED 200/300 mm; opción destello preventivo escolar	Prohibir parqueo 30 m antes/10 m después; 30 km/h; refugio si ancho ≥2 m	Con anillo del parque (K5/K4 – C5/C6)
-------------------------	-------------------	---	--	--	---	---	---

Los elementos que componen un semáforo vial

### 1) Cabezales/ópticas (vehiculares)

- Cuerpo del semáforo (aluminio/termoplástico).
- Ópticas LED (rojo–ámbar–verde), diámetro típico 200 o 300 mm.
- Viseras (evitan deslumbramiento).
- Backplate/placa de contraste (mejora la visibilidad frente a fondos brillantes).
- Lentes/difusores y sellos (protección contra polvo/agua).
- Máscaras/flechas direccionales cuando hay giros protegidos.

### 2) Dispositivos peatonales y ciclistas

- Semáforo peatonal (símbolos rojo/verde) con cuenta regresiva.
- Pulsadores accesibles (botoneras).
- Avisador acústico (sonoro) para accesibilidad.
- (Opcional) Semáforo ciclista y señalización específica.

### 3) Soportes y estructura

- Postes (truncocónicos/rectos).
- Ménsulas o brazo pescante (mast-arm).
- Abrazaderas/abrazaderas regulables y herrajes.
- Cimentación en concreto con pernos de anclaje y plantilla.

### 4) Control y electrónica

- Controlador semafórico (tarjetas, reloj, módulos de salidas/entradas).
- Gabinete exterior con cerradura, ventilación y protección.
- UPS/batería para respaldo (autonomía).
- Supresores de sobretensión y protección eléctrica.
- (Opcional) Módulo de prioridad (p. ej., transporte público/servicios de emergencia).

### 5) Detección y sensorica

- Sensores de presencia peatonal/ciclista.



## 6) Energía y comunicaciones

- Acometida eléctrica, tablero de protecciones y puesta a tierra.
- Cableado de potencia y señal (en mástil y canalizaciones).
- Comunicaciones: cobre, fibra, radio o 4G/5G para coordinación central.
- Antenas y equipos de red (switch, módem).

## 7) Canalización y obra civil

- Ductos (PVC/PEAD), cajas de paso y cámaras de inspección.
- Registros y tapas de tráfico.
- Reposición de pavimento/andenes tras instalación.

## 8) Señalización y demarcación asociada

- Líneas de detención y pasos peatonales (cebras).
- Flechas direccionales y islas pintadas / zonas de exclusión.
- Señales verticales (reglamentarias, preventivas, prohibiciones de giro).
- Delineadores, tachas/captafaros y separadores donde aplique.
- Límites de velocidad y señal de “Zona escolar/hospitalaria” si corresponde.

Lista de chequeo para cumplimiento del manual sobre los Estudios necesarios de ingeniería de tránsito frente a lo que ya levantaste para Yotoco (aforos en Hospital, Vive Digital, La Rocola, Alcaldía y el cruce K5×C1; direccionalidades cada 15 min; propuesta de sentidos; esquemas semafóricos).

**Tabla 8.** Matriz de cumplimiento (qué pide la norma vs. lo que se tiene)

Ítem	Requisito (resumen)	Estado	Evidencia disponible
a)	Volúmenes por acceso cada 15	Cumple	Series 15 min por sentido en 4 estaciones + K5×C1 (varias franjas del día)
b)	Movimientos (recto/izq/der) por acceso, clasificados por tipo de vehículo, en las 2 horas pico AM y PM	Cumple	Direccionalidades 15 min y perfiles modales (motos, peatones, etc.)
c)	Peatones cada 15 min por cruce, en horas pico vehiculares y pico peatonal; grupos etarios ( $\leq 12$ , 13–50, $\geq 50$ ) cuando aplique	Cumple	Identificación de nodos con presión peatonal y horas pico
d)	Velocidad percentil 85 en accesos no controlados y promedio de detenciones por vehículo	Cumple	17 km/h



e)	Plano con geometría, canalización, pendientes, visibilidad, superficie, entradas/salidas, señalización, iluminación, sentidos, estacionamiento, TP, uso del suelo	Cumple	Croquis/planos urbanos, anchos típicos ( $\approx 7,2$ m), sentidos propuestos, islas pintadas/cebras
f)	Diagrama de siniestralidad $\geq 1$ año (tipo, ubicación, sentido, consecuencias, hora, día)	Cumple	Datos de la Secretaria de Tránsito municipal de Yotoco
g)	Datos adicionales en los mismos periodos del punto (b) para entender operación	Cumple	Direccionalidades y picos; propuesta de fases

## LECTURA TÉCNICA

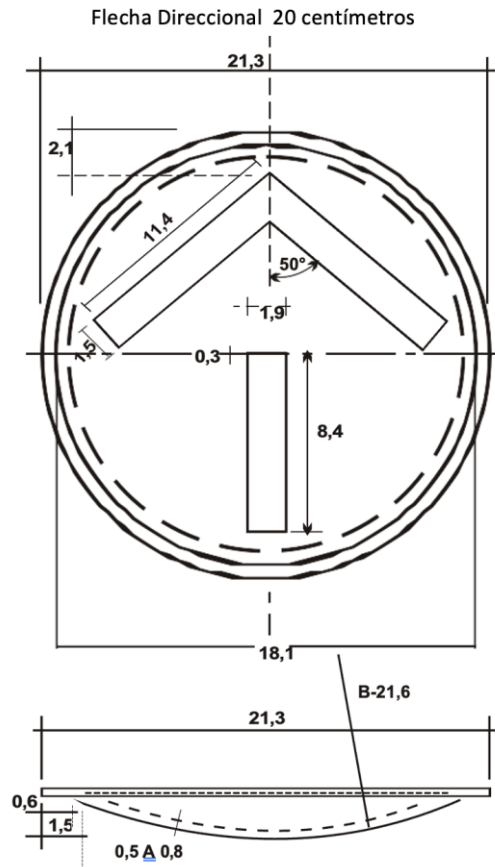
- Justificación de semaforización (warrants): Con lo ya levantado (altas direccionalidades, fuerte presencia peatonal, conflictos de giros y picos marcados) existe base suficiente para justificar semáforos en los 5 puntos priorizados.
- Dimensionamiento HCM/Webster se analizaron:
  - TMC pico AM/PM por carril y movimiento  $\rightarrow$  calcular  $y_i = v_i/s$  y pérdidas L.
  - PHF y PCU local para motos (0,3–0,5).
  - Mínimos peatonales por frente (ancho/velocidad de cruce) que  $g_i$  cumpla WALK+FDW ( $\geq 10-12$  s).
  - Colas/almacenamiento para decidir giros protegidos (izquierdos críticos).
- Operación peatonal y accesibilidad: Hospital, Alcaldía, Colegio y Vive Digital requieren tratamiento prioritario: pasos amplios, posible actuación por demanda (pulsadores), tiempos mínimos asegurados y refugios/orejones donde el ancho lo permita.
- Coordinación: Los pares viales (C5–C6 y K4–K5) y la conexión con Cra 10 se benefician de planes coordinados AM/MD/PM.

**Tabla 9.** Medidas de los Tipos de Soporte

Tipo de soporte	Altura (metros)	
	MÍNIMA	MÁXIMA
Semáforos con poste o ménsula corta	2,50	4,50
Semáforos con ménsula larga	4,50	6,00
Semáforos suspendidos por cables	4,50	6,00



## Imagen 19. Flecha direccional



Secretaría de Transito de Yotoco  
Especificaciones técnicas 2025

## Altura Libre de los semáforos

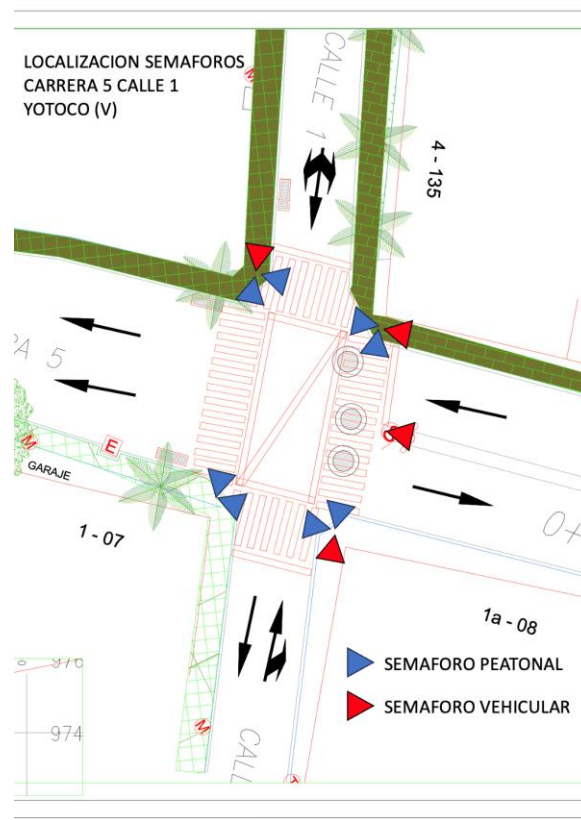
La cara del semáforo instalado en soporte tipo poste o pedestal debe colocarse en posición vertical con una orientación de menos 6 grados hacia el centro de la vía con el fin de aumentar su visibilidad y a 90 grados con respecto al eje del acceso. En los de ménsula, deben estar de frente a la vía y con una inclinación de 5 grados hacia abajo. Las figuras 7.13 a 7.15 muestran los diferentes tipos de instalación

## Lentes

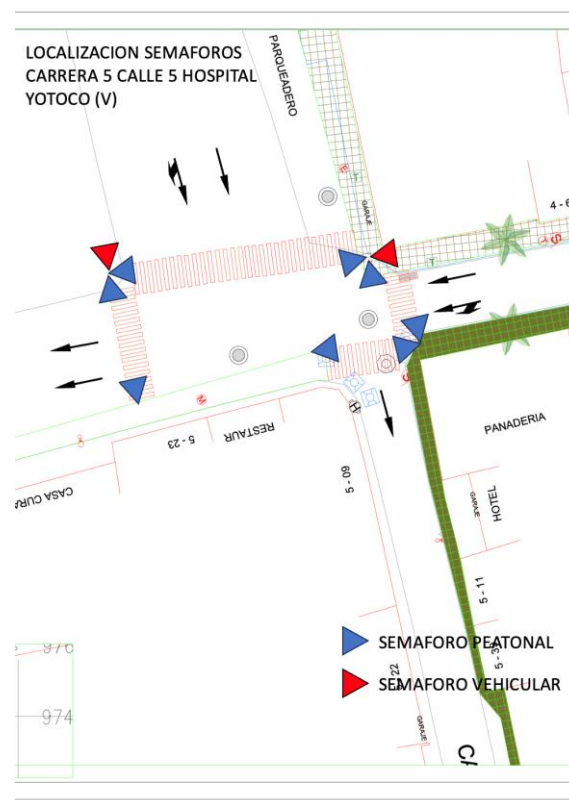
Todas las lentes de los semáforos para control vehicular peatonal deberán ser de forma circular. Los diámetros para Yotoco son de 20 cm. Los diámetros de la parte visible de las lentes deberán ser como mínimo de 19,7 cm para las de 20 cm; los diámetros exteriores mínimos de las lentes serán de 21,3 cm.



**Imagen 20.** Localización de semáforos carrera 5 calle 1



**Imagen 21.** Localización de semáforos carrera 5 calle 5 hospital





## INDICACIONES DE VISIBILIDAD, ORIENTACIÓN Y AUXILIARES

### 1) K5 × C1 — ESTADIO

- Visibilidad: aproximación N→S por K5 y O→E por C1 con tramos relativamente largos: garantizar cono de visión sin obstáculos; si no se logra la distancia efectiva, instalar SP-23 en las entradas al sector (desde occidente por C1 y desde el norte por K5).
- Caras y orientación: cara principal en brazo pescante sobre eje de carriles dominantes y repetidora lateral derecha; usar backplates por fondo luminoso del entorno deportivo.
- Flechas: si hay giro izquierdo C1→K5 protegido, la flecha debe ser distinguible ≥60 m; considerar segunda flecha en pescante si hay vehículos altos que puedan ocultar la primera.

### 2) K5 × C5 — HOSPITAL

- Visibilidad peatonal: mantener lentes y peatonares visibles a baja velocidad; despeje de elementos temporales (ambulancias/vehículos de servicio) fuera del cono óptico.
- Caras y orientación: pescante en K5 (flujo N→S) y poste adelantado en C5 (O→E); viseras profundas para evitar reflejos diurnos.
- Apoyo preventivo: por alta interacción peatonal, complementar con señales verticales de cruce y, si la geometría lo exige, SP-23 en accesos secundarios.

### 3) K4 × C5 — LA ROCOLA

- Contexto de acceso/periferia: al actuar como puerta de entrada al casco urbano, prever SP-23 en el sentido de llegada desde la periferia y una cara adicional a mayor altura para lectura anticipada.
- Caras y orientación: pescante sobre C5 (O→E) y cara alta en K4 (S→N); celosías para que no se perciba la cara de la calle desde el flujo de la carrera (y viceversa).

### 4) K4 × C6 — ALCALDÍA

- Entorno urbano denso: fachadas y arbolado pueden generar fondos complejos; usar backplates y viseras para mejorar contraste.
- Caras y orientación: cara en pescante sobre K4 (S→N) y repetidora en margen derecho; en C6 (E→O) ubicar cara adelantada por posible estacionamiento en bordes.

### 5) K5 × C6 — COLEGIO

- Zona escolar: asegurar visibilidad a baja altura para conductores próximos y a mayor altura (cara alta) para lectura lejana en horas de pico escolar; complementar con señales escolares y, si la calle genera sorpresa, SP-23 antes del cruce.
- Caras y orientación: pescante sobre K5 (N→S), repetidora en C6 (E→O); túneles o viseras para que los estudiantes no perciban otras caras fuera de su cruce peatonal.



## LÍMITE DEL ÁREA CONTROLADA

- Cada uno de los 5 semáforos solo regula el tránsito en su intersección (K5×C1, K5×C5, K4×C5, K4×C6, K5×C6) o, si la autoridad lo define, en un punto intermedio de cuadra (p. ej., cruce escolar).
- Las maniobras fuera de esa zona (estacionamientos, accesos prediales, bahías) se controlan con señalización complementaria y/o agentes, no con las indicaciones del semáforo del cruce.

## FUNCIONAMIENTO CONTINUO Y EFICIENCIA

- Los semáforos deberán operar permanentemente iluminados. Se recomienda UPS para autonomía ante cortes de energía y monitoreo remoto del estado.
- En caso de no estar regulando el tránsito (p. ej., pruebas, falla, horario nocturno si se definiera plan especial), operarán en modo intermitente según protocolo de la autoridad.
- Antes de entrar en servicio, o si están fuera de operación, las caras deben permanecer tapadas/anuladas para evitar confusión (que no se interprete como “bombillo quemado”).
- Un plan de mantenimiento preventivo (limpieza de lentes, revisión de viseras/backplates, calibración de orientación, verificación de intensidad) mantiene la obediencia y reduce riesgos de desaprendizaje del usuario.

## RESUMEN OPERATIVO POR CORREDOR

- Par vial C5–C6 (con K4 y K5): priorizar caras en pescante y repetidoras laterales para lecturas coherentes en progresión; backplates en Alcaldía y Hospital.
- Accesos (Estadio y Rocola): añadir SP-23 y caras altas por lectura anticipada; reforzar control de deslumbramiento y ángulo de orientación.

## CRITERIOS GENERALES (APLICAN A LOS 5 CRUCES)

- Tipo de control: tiempo fijo (pre-sincronizado) con tres planes diarios: AM (6:30–9:00), MD (9:00–16:30), PM (16:30–19:45). Fin de semana: plan “Sáb/Do” (9:00–13:00 y 16:00–19:00).
- Ciclo base: 60 s en par vial urbano; ajustar 55–70 s según demanda y mínimos peatonales.
- Pérdidas por ciclo (L): 10–12 s (ámbar 3 s + all-red 1–1,5 s por cruce).
- Secuencia 2 fases: Fase A (Carrera), Fase B (Calle). Giros derechos concurren con su fase; izquierdos protegidos solo en PM cuando sean críticos.
- Peatonal: WALK + despeje (FDW)  $\geq$  10–12 s por frente. Si el mínimo peatonal excede el verde efectivo, aumentar C en pasos de 5 s.

- Coordinación (pre-sincronización): velocidad objetivo 30–35 km/h. Nodo maestro: K5×C5 (Hospital). Offsets por dirección principal:
  - Eje K5 (N→S): K5×C1 (Estadio) → K5×C5 (Hospital) → K5×C6 (Colegio).
  - Par vial C5–C6: C5 (O→E) y C6 (E→O) coordinados con K4/K5 en el anillo del parque.
  - Cálculo: Offset  $\approx$  Distancia centro-a-centro / Vprog (ajustar al múltiplo de ciclo más cercano).

**Tabla 10.** Tabla de operación – Semáforos de tiempo fijo (valores semilla)

Cruce	Fases	Ciclo AM / MD / PM	L(s)	Splits efectivos(s)	Notas de giro / peatonal	Coordinación (offset sugerido)
K5 × C1 – Estadio	2 (A: K5 N→S / B: C1 O→E)	60 / 60 / 65	12	AM: K5 28 / C1 20; MD: 26/22; PM: 30/23	Izq C1→K5 protegido en PM si cola >1 ciclo. Prohibido der K5→C1 (O). Peatonal $\geq$ 10–12 s en ambos frentes.	Referenciar a Hospital. Offset por K5 N→S según distancia Estadio→Hospital.
K5 × C5 – Hospital (Nodo maestro)	2 (A: K5 N→S / B: C5 O→E)	60 / 60 / 65	12	AM: 26/22; MD: 24/24( peso peatonal); PM: 28/20	Prioridad peatonal (posible WALK extendido en MD). Izq C5→K5 protegido si se observa conflicto.	0 s (maestro). Ajustar progresión a 30–35 km/h.
K4 × C5 – La Rocola	2 (A: K4 S→N / B: C5 O→E)	60 / 60 / 65	12	AM: 26/22; MD: 25/23; PM: 28/20	Acceso perimetral: considerar SP-23previo y cara alta. Izq C5→K4 protegido en PM si $v/c > 0,85$ .	Offset por C5 O→E respecto al Hospital (anillo del parque).
K4 × C6 – Alcaldía	2 (A: K4 S→N / B: C6 E→O)	60 / 55 / 60	10–12	AM: 26/22; MD: 24/21(ciclo 55); PM: 26/22	Entorno denso: backplates y viseras. Izq K4→C6 permitido/ protegido según hora; peatonal $\geq$ 10 s.	Offset por C6 E→O para anillo con Rocola/Colegio.
K5 × C6 – Colegio	2 (A: K5 N→S / B: C6 E→O)	60 / 60 / 65 (+ Plan Escolar)	12	AM: 24/24; MD: 24/24; PM: 26/22	Plan Escolar en ingresos/salidas: ampliar peatonal (+2–4 s) y restringir parqueo 30 m antes/10 m después.	Offset por K5 N→S respecto a Hospital (y por C6 E→O al anillo).

Interpretación de “splits efectivos”: tiempos de verde útil por fase (suma de ambos = *Ciclo* – *L*). Se recalibran con los TMC (giro/recto), PHF, PCU para motos y los mínimos peatonales de cada frente.



## PROGRAMACIÓN Y CAMBIOS ENTRE PLANES

- Cambio automático por reloj del controlador a las horas de inicio/fin de cada plan (AM→MD→PM→Nocturno).
- Nocturno (opcional): si la autoridad lo define, pasar a destello intermitente (amarillo en vía principal, rojo en secundaria), manteniendo señalización vertical PARE/CEDA; de lo contrario, continuar en plan valle con ciclo 55–60 s.
- Eventos especiales (escolar/hospitalario): habilitar perfil temporal con peatonal extendido y/o reducción del split vehicular correspondiente.

## VERIFICACIÓN MÍNIMA EN CAMPO (CHECK-LIST)

1. Mínimos peatonales cumplidos en los 4 frentes
2. Colas vacían en  $\leq 1$  ciclo en AM/PM (si no, aumentar split o ciclo).
3. Giros izquierdos: si conflictos → pasar a protegido en PM (o 3ª fase donde sea necesario).
4. Offsets: comprobar progresión a 30–35 km/h con cronometraje móvil (K5 N→S y anillo C5–C6).
5. Visibilidad: caras orientadas, viseras/backplates eficaces y, donde aplique, SP-23 previo.

## CONDICIONES PARA LA INSTALACIÓN

### A. CRITERIOS Y NOTAS QUE APLICAN A TODOS LOS CRUCES

- Tipo de control propuesto: semáforos de tiempo fijo (pre-sincronizados) con planes AM/MD/PM; posibilidad de modo intermitente cuando la demanda caiga  $\leq 50\%$  de los mínimos durante  $\geq 4$  h seguidas (máx. 3 periodos/día).
- Validación obligatoria: para usar los warrants A, B y C se requieren 8 horas de conteo por día representativo (o reducción al 70% cuando  $V_{85} > 60$  km/h o en pequeños centros urbanos; aplicar solo si corresponde).
- Warrant D (progresión): solo puede invocarse si las distancias entre semáforos  $\geq 300$  m; si son menores, este warrant no justifica por sí solo, aunque A/B/C/E sí pueden hacerlo.
- Warrant E (accidentalidad): exige  $\geq 5$  siniestros/12 meses corregibles con semáforo y evidencia de que otras medidas menos restrictivas no funcionaron.
- Escolares: si el cruce es escolar, antes de instalar semáforo activado por peatón, evaluar patrullas escolares/agentey reubicación de cruces; si se instala, debe ser activado por peatón.







## B) MATRIZ DE JUSTIFICACIÓN POR CRUCE

Tabla 11. Matriz de justificación por cruce

Cruce	A Vol. vehicular mínimo	B Interrupción tránsito continuo	C Vol. peatonal mínimo	D Progresión /onda verde	E Accidenta lidad	F Combinación	Observaciones y datos a completar
K5 × C1 (Estadio)	Flujo dominante K5 N→S con giro izq. crítico C1→K5 en PM.	C1 O→E sufre retardo para incorporarse a K5.	Bajo-medio salvo eventos; no escolar.	Parcial. Puede coordinarse con K5×C5 y K5×C6, pero revisar ≥300 m.	Datos Secretaria Transito de Yotoco	Sí (A+B, y D si distancias lo permiten).	Levantar 8h × 3 días (A/B), V85, y diagrama de choques 12 meses (E).
K5 × C5 (Hospital)	Sí en punta (ingresos y N→S fuerte).	Sí. Altas demoras sin control por conflictos y paradas.	Sí. Conteos reportan > 300 pe/h en picos.	Parcial con eje K5; revisar distancias.	Datos Secretaria Transito de Yotoco (E).	Sí (A+B+C).	Documentar peatonal por frente 15 min (C), 8h × 3 días (A/B), y coordinar con K5×C6.
K4 × C5 (La Rocola)	Sí. Nodo de acceso con mezcla TP/pesados.	Sí. Secundaria sufre cortes para entrar a principal.	Medio (mixto, no hospital/escolar).	Parcial con anillo del parque por C5.	Datos Secretaria Transito de Yotoco.	Sí (A+B; D si ≥300 m).	8h × 3 días (A/B), V85 en accesos periféricos; considerar SP-23 en llegada.
K4 × C6 (Alcaldía)	(mixto con picos administrativos).	Sí. Interrupciones y giros sin canalizar.	Medio-alto en jornada administrativa.	Parcial con anillo C5–C6.	Datos Secretaria Transito de Yotoco.	Sí (B + A/C).	8h × 3 días (A/B), peatonal 15 min por frente (C), control de estacionamiento.
K5 × C6 (Colegio)	(picos puntuales por entradas/salidas).	Sí en horas escolares por cruces y paradas.	Sí (escolar) en ventanas de ingreso/salida.	Parcial con eje K5/anillo.	Datos Secretaría Transito de Yotoco	Sí (B+C; A en punta).	Aplicar protocolo escolar: evaluar patrullas/agente; si semáforo peatonal, activado por peatón. 8h × 3 días, peatonal por frente y por franja escolar.

## C. REGLAS DE OPERACIÓN INTERMITENTE (APLICAN A LOS 5)

- Si el volumen cae ≤50% de los mínimos de A/B/C durante ≥4 horas seguidas, cambiar a destello intermitente (máx. 3 periodos/día).
- Configuraciones típicas: amarillo intermitente en vía principal y rojo intermitente en secundaria, + señales PARE/CEDA visibles.

- 
- 
- Antes de la puesta en servicio o si están fuera de operación: caras tapadas para evitar confusión.

#### D. CÓMO CERRAR TÉCNICAMENTE CADA WARRANT (CHECKLIST MÍNIMO)

1. A/B – Vehículos / Interrupción
  - Aforos 15 min por 8 horas (x 3 días representativos).
  - PHF y movimientos (TMC) por acceso (recto/izq/der).
  - V85 en accesos no controlados.
2. C – Peatones
  - Peatonal por frente de cruce en 15 min, en picos vehiculares y picos peatonales; en Hospital/Colegio incluir grupos etarios ( $\leq 12$ , 13–50,  $\geq 50$ ).
3. D – Progresión
  - Distancias centro-a-centro entre semáforos; confirmar  $\geq 300$  m si D será warrant principal.
  - Velocidad objetivo y/o V85 para fijar offsets.
4. E – Accidentalidad
  - $\geq 12$  meses de siniestralidad georreferenciada (tipo, hora, día, severidad); evidencia de que otras medidas no resolvieron.

#### E. RECOMENDACIÓN DE “MATCH” CRUCE ↔ WARRANT

- Hospital (K5×C5): C + A + B (principal).
- Colegio (K5×C6): C + B (y A en punta escolar).
- La Rocola (K4×C5): A + B (D como apoyo si distancias lo permiten).
- Alcaldía (K4×C6): B + (A/C) según picos administrativos/peatonales.
- Estadio (K5×C1): A + B (y D si procede por coordinación con K5).



Con esta adaptación, se puede sustentar la instalación y operación en tiempo fijo en cada intersección, y dejar trazadas las tareas de verificación para que el interventor valide A/B/C/D/E conforme al manual.

#### RECOMENDACIONES

a) No emplear intervalos muy breves entre indicaciones

- Parámetros guía para todos los cruces: ámbar = 3 s; todo-en-rojo = 1,5–2 s; verde mínimo vehicular = 8–10 s (secundaria) / 10–12 s (principal); peatonal efectivo  $\geq 10$ –12 s por frente.
- Ajustes críticos:
  - K5×C5 Hospital y K5×C6 Colegio: priorizar mínimos peatonales (extender WALK/FDW en cambios de turno y horarios escolares).
  - K5×C1 Estadio: prever extensión de verde (max-green) en eventos deportivos.

b) Proporcionar capacidad y evitar interferencias (estacionamiento, cargue/descargue)

- 
- 
- Prohibir parqueo 30 m antes y 10 m después de la línea de pare en los 5 cruces.
  - Bahías/paraderos fuera de la zona de conflicto: especialmente en K4×C5 Rocola y K4×C6 Alcaldía (TP y cargue liviano).
  - Canalización de giros con islas pintadas/orejones en K5×C1 y K5×C5 (reduce bloqueos por izquierdos).

c) Evitar corrientes con velocidades muy dispares en calzadas angostas

- Velocidades objetivo 30–35 km/h en el anillo C5–C6 y eje K5; control policial disuasivo en hora pico.
- Rocola (K4×C5): ordenar detenciones del TP en bahías; señal SR-33 “Paradero” y demarcación de zona.

d) Mantener el mismo número de fases a lo largo del corredor

- Plan base de 2 fases en: K5×C1, K5×C5, K4×C5, K4×C6, K5×C6.
- Sólo añadir 3.<sup>a</sup> fase cuando el izquierdo crítico supere  $v/c \approx 0,85$  en punta (p. ej., C1→K5 en K5×C1 o C5→K5 en K5×C5). La cantidad de fases debe ser consistente entre nodos coordinados.

e) Simplificar movimientos en intersecciones que demandan  $\geq 3$  fases

- Si se requiere 3.<sup>a</sup> fase, limitarla a punta PM y con ventanas cortas (max-green 12–15 s), manteniendo 2 fases el resto del día.
- Evaluar split-phasing solo si los opuestos entran en bloqueo (no es el caso habitual en C5–C6).

f) Señal SR-30 (velocidad reglamentaria) cuando la progresión sea inferior al límite

- Colocar SR-30 (30 km/h): Hospital, Alcaldía y Colegio, por alta peatonalidad.
- Reiterar SR-30 aguas arriba de Rocola en accesos de mayor V85.

g) Cuando opere la red sincronizada, ningún otro elemento debe regular

- En modo coordinado, no desplegar control manual ni indicaciones de agentes que contradigan el ciclo.
- En contingencias, pasar a intermitente (amarillo principal/rojo secundaria) y tapar caras si quedan fuera de servicio.

## SEMÁFOROS ACCIONADOS SISTEMA CENTRALIZADO POR EL TRÁNSITO DE YOTOCO

Criterio general: Aunque los 5 cruces cumplen condiciones para tiempo fijo pre-sincronizado, hay horas/escenarios con fluctuaciones donde la operación accionada (actuated) mejora demoras y seguridad. Se definen esquemas por cruce:



## TIPOLOGÍAS Y CUÁNDO USARLAS

- Totalmente accionado: detectores en todas las aproximaciones (vehiculares + pulsadores peatonales).
- Parcialmente accionado: detectores en la secundaria y/o pedestres; la principal tiene “recall” mínimo para sostener progresión.
- Adaptable/ajustado al tránsito: variaciones continuas (área/corredor) con controlador maestro; opcional a futuro.

## PARÁMETROS RECOMENDADOS (RANGOS DE DISEÑO)

- Min-green: 8–10 s (secundaria), 10–12 s (principal).
- Max-green (actuado): 20–35 s (según fase/plan).
- Passage (gap): 2,5–3,0 s urbano.
- Llamado peatonal: WALK 3–5 s + FDW hasta completar  $\geq 10$ –12 s; pulsadores en Hospital/Colegio.
- Coordinación: si el cruce integra “onda verde”, usar actuación con ciclo fijo (force-off y max-green dentro del split).

## SELECCIÓN POR CRUCE

### 1) K5 × C5 – Hospital

- Recomendado: parcialmente accionado (detector en C5 O→E y pulsadores peatonales en 4 frentes).
- Motivo: peatonalidad alta/variable; detenciones de TP puntuales.
- Operación: en MD priorizar extensión peatonal; en PM permitir flecha protegida para izquierdos si v/c alto.
- Coordinación: nodo maestro de eje K5.

### 2) K5 × C6 – Colegio

- Recomendado: totalmente accionado con Plan Escolar (ingresos/salidas).
- Motivo: pulsos peatonales muy concentrados; demanda vehicular irregular.
- Operación: min-greens altos en franja escolar; recall peatonal activo; fuera de ventana, actuar con ciclo fijo coordinado.

### 3) K4 × C5 – La Rocola

- Recomendado: parcialmente accionado (detector en C5 O→E y en K4 S→N si hay TP); SP-23 previo si procede.
- Motivo: mezcla TP/pesados con variación; evitar interrupciones innecesarias en principal.
- Operación: max-green moderado en K4; peatonal por demanda.

### 4) K4 × C6 – Alcaldía

- Recomendado: parcialmente accionado (detectores en C6 E→O y pedestres).
- Motivo: picos administrativos intermitentes; estacionamiento lateral genera fricción.





- Operación: limitar llamadas frecuentes de secundaria con min-green y gap bien calibrados; enforcement de estacionamiento.

#### 5) K5 × C1 – Estadio

- Recomendado: parcialmente accionado, con max-green para K5 N→S y detector de izquierdo C1→K5 (si habilitado).
- Motivo: demanda sensible a eventos; punta PM con giros críticos.
- Operación: 2 fases base; activar 3.<sup>a</sup> fase de izquierdos solo en punta/evento.

### INTERMITENTE Y CASOS ESPECIALES

- Intermitente (máx. 3 periodos/día) cuando la demanda caiga a ≤50% de mínimos por ≥4 h seguidas.
- Mantenimiento/falla: intermitente o caras tapadas.

**Tabla 12.** Resumen operativo por cruce

Cruce	Tipo base	Fases	Actuación recomendada	Detección sugerida	Notas clave
K5×C1 Estadio	Fijo coordinado	2 (K5 / C1)	Parcial (secundaria + giro izq si aplica)	Video/lazo en C1; detector giro izq	3. <sup>a</sup> fase solo en punta; SR-30 si progresión < límite.
K5×C5 Hospital	Fijo coordinado (maestro)	2 (K5 / C5)	Parcial + pulsadores	Video en C5; 4 pedestres	Extender peatonal en MD; flecha protegida en PM si v/c alto.
K4×C5 Rocola	Fijo coordinado	2 (K4 / C5)	Parcial	Lazos en K4 (TP) y C5	Bahías TP; SP-23 si V85 alto en acceso.
K4×C6 Alcaldía	Fijo coordinado	2 (K4 / C6)	Parcial	Video en C6 + pedestres	Control de estacionamiento; gap 2,5–3,0 s.
K5×C6 Colegio	Fijo coordinado (+ Plan Escolar)	2 (K5 / C6)	Total + pulsadores	4 pedestres + stop-bar	Recall peatonal en ventana escolar; min-green elevado.

Tabla: (i) reglas claras de diseño/operación para tiempo fijo, (ii) cuándo y cómo activar la modalidad accionada, y (iii) parámetros de campo para ajuste fino en las primeras semanas

### ZONAS ESCOLARES (APLICADO AL CRUCE K5 × C6 – “COLEGIO”)

- Fase peatonal prioritaria en horarios escolares (ingreso/salida): WALK 4–6 s + despeje (FDW) hasta completar ≥10–12 s efectivos (ajustar a ancho real; si  $W > 18$  m, prever isla/refugio y cruce en dos etapas).
- Pulsadores accesibles por frente + señal acústica (apoyo a usuarios con discapacidad visual).





- Cebras  $\geq 3,0$  m con línea de detención adelantada ( $\geq 1,5-2,0$  m) y orejones/islas pintadas para acortar trayecto.
- SR-30 (velocidad reglamentaria 30 km/h) + demarcación de zona escolar y prohibición de parqueo a 30 m del cruce.
- Semáforo vehicular actuado: si el verde vehicular mínimo resulta menor que el tiempo de cruce, habilitar extensión por demanda peatonal.
- Montaje peatonal: una cara por sentido de caminata, instalada en la acera opuesta, altura 2,05–3,00 m, con símbolos PASE (verde) / NO PASE–PARE (rojo); lentes circulares o cuadradas 20 o 30 cm.

## 2) SEMÁFOROS EN ZONAS DE ALTO VOLUMEN PEATONAL (APLICACIÓN POR CRUCE)

Dispositivos y montaje peatonal (estándar para los 5 cruces):

- Caras peatonales por frente con dos lentes (“PASE” abajo en verde, “PARE/NO PASE” arriba en rojo).
- Altura: 2,05–3,0 m; orientación normal a la trayectoria del peatón; separación física de señales vehiculares.
- Símbolos en fondo oscuro; si  $W > 18$  m, altura de símbolo  $\geq 23$  cm; considerar refugio.
- Señal acústica y pulsadores en Hospital, Colegio y Alcaldía (alta demanda peatonal).
- Cebras  $\geq 3,0$  m, continuidad en esquinas, rampas accesibles y textura podotáctil donde aplique.

## 3) OPERACIÓN PEATONAL: TIPO DE FASE RECOMENDADA POR INTERSECCIÓN

Combinaciones posibles

- Combinada (peatones avanzan paralelos a rectos, con giros permitidos con precaución).
- Semi-exclusiva (peatones avanzan con paralelos, sin giros que crucen el paso).
- Con prioridad peatonal (fase peatonal antes de habilitar la secundaria).
- Exclusiva peatonal (todos los vehículos en rojo).

**Tabla 13. Tipo de fase recomendada por intersección**

Cruce	Contexto peatonal	Tipo de fase peatonal recomendado	Detalles de operación
K5 × C5 – Hospital	Alto y constante todo el día	Semi-exclusiva(AM/MD/PM)	WALK 4–6 s + FDW para $\geq 10-12$ s; bloquear giros que crucen cebra durante la fase peatonal; pulsadores + acústico; línea de detención adelantada.
K5 × C6 – Colegio	Pico concentrado (ingreso/salida)	Prioridad peatonal en ventana escolar; Semi-exclusiva resto del día	En ventana escolar, fase peatonal al inicio del ciclo (o LPI 3–5 s si se mantiene combinada) + extensión por pulsador; refugio si $W > 18$ m.
K4 × C6 – Alcaldía	Intermitente, picos administrativos	Combinada con opción Semi-exclusiva en punta	Permitir rectos paralelos; restringir giros que crucen cebra en punta;



			pulsadores; min peatonal $\geq 10-12$ s; control de estacionamiento lateral.
K4 x C5 – La Rocola	Mixto (acceso al casco urbano)	Combinada + extensión por demanda	Mantener progresión; habilitar extensión peatonal actuada cuando la llamada sea frecuente; prever bahías de TP.
K5 x C1 – Estadio	Eventos → picos puntuales	Semi-exclusiva en evento; Combinada en operación normal	En eventos, prohibir giros que crucen cebra; min peatonal $\geq 10-12$ s; SR-30 temporal/eventual; soporte de gestión operativa.

#### 4) REQUISITOS DE TIEMPO Y COORDINACIÓN (APLICABLES A TODOS)

- Tiempo peatonal efectivo mínimo por frente:  $\geq 10-12$  s (WALK + FDW). Si verde vehicular mínimo < tiempo peatonal requerido, extender por actuado (pulsadores/detección).
- Ámbar 3 s y todo-en-rojo 1,5–2 s como guía urbana; ajustar por ancho (p.ej. 7,2 m → ~1,5 s).
- Coordinación: si hay ciclo maestro en C5–C6 / eje K5, mantener splits con recall peatonal donde la demanda lo requiera y force-off para conservar offsets.
- Intermitente: sólo si la demanda cae a  $\leq 50\%$  de mínimos por  $\geq 4$  h (máx. 3 periodos/día); apagar caras peatonales en intermitente.

#### 5) ESPECIFICACIONES RESUMIDAS POR CRUCE (PEATONAL)

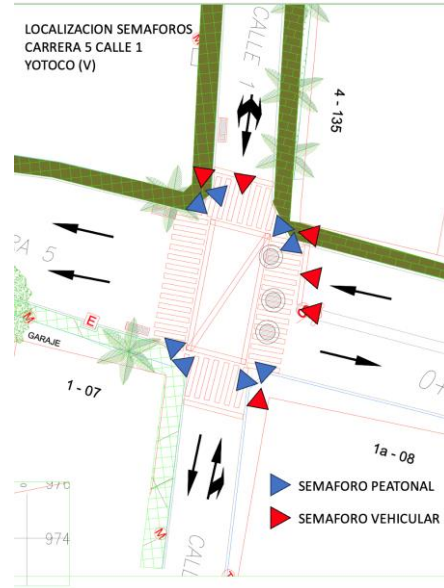
Tabla 14. Tipo de fase recomendada por intersección

Cruce	Caras peatonales	Pulsadores	Señal acústica	Cebra (m)	Rampa y continuidad	Notas
K5x C5 Hospital	4	Sí	Sí	$\geq 3,0$	Sí	Semi-exclusiva; detención adelantada; refugio si $W > 18$ m.
K5x C6 Colegio	4	Sí	Sí	$\geq 3,0$	Sí	Prioridad escolar; extensión por demanda; SR-30 y control escolar.
K4x C6 Alcaldía	4	Sí	Opcional	$\geq 3,0$	Sí	Combinada/Semi-exclusiva en punta; gestionar parqueo.
K4x C5 Rocola	4	Opcional	Opcional	$\geq 3,0$	Sí	Combinada; coordinar con TP; considerar SP-23 si V85 alto.
K5x C1 Estadio	4	Opcional	Opcional	$\geq 3,0$	Sí	Semi-exclusiva en eventos; gestión especial de flujos.

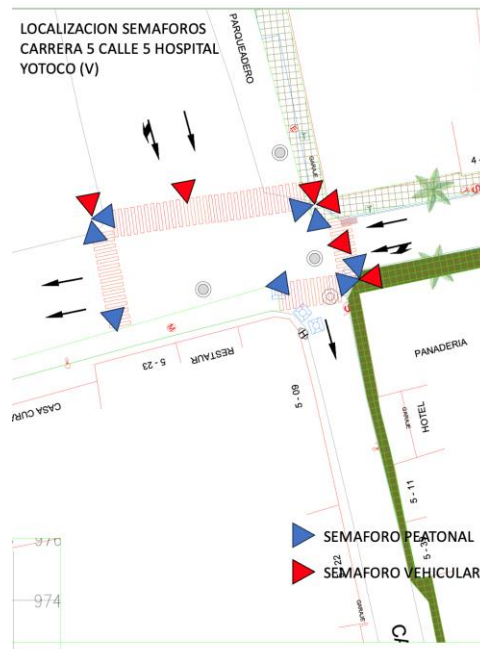


- Una cara por sentido peatonal en cada frente, separada de las caras vehiculares para evitar confusión visual.
- Altura de montaje 2,05–3,00 m, con orientación perpendicular a la trayectoria de cruce.
- Símbolos “persona en marcha” (PASE verde) / “persona de pie” (PARE/NO PASE rojo); lentes 20/30 cm.
- Accesibilidad universal: rampas, pendientes adecuadas, baldosas podotáctiles, radios de esquina contenidos con orejones.
- En frentes >18 m, refugio central y cruce en dos etapas con temporización coordinada.

**Imagen 22.** Localización semáforos carrera 5 calle 1

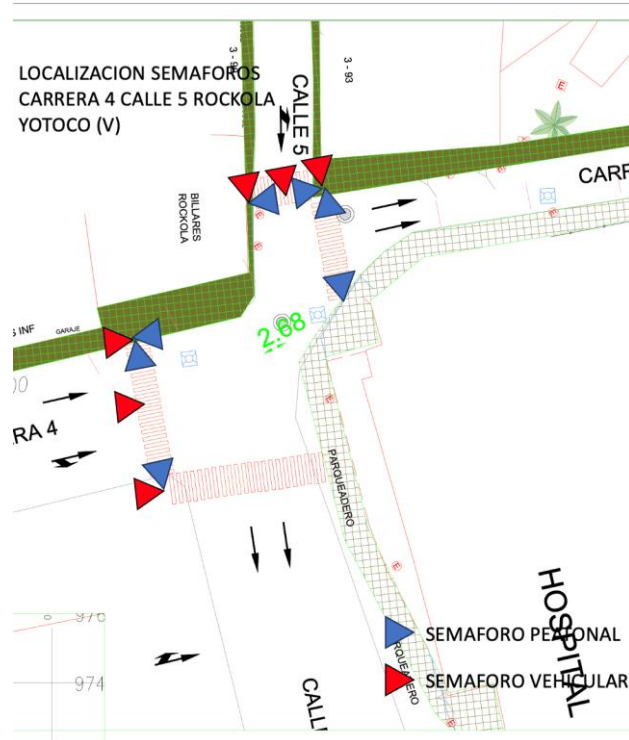


**Imagen 23.** Localización de semáforos carrera 5 calle 5 hospital





**Imagen 24.** Localización de semáforos carrera 4 calle 5 ROCKOLA



**Imagen 25.** Localización de semáforos carrera 4 calle 6 Alcaldia





Imagen 26. Localización de semáforos carrera 5 calle 6 Colegio

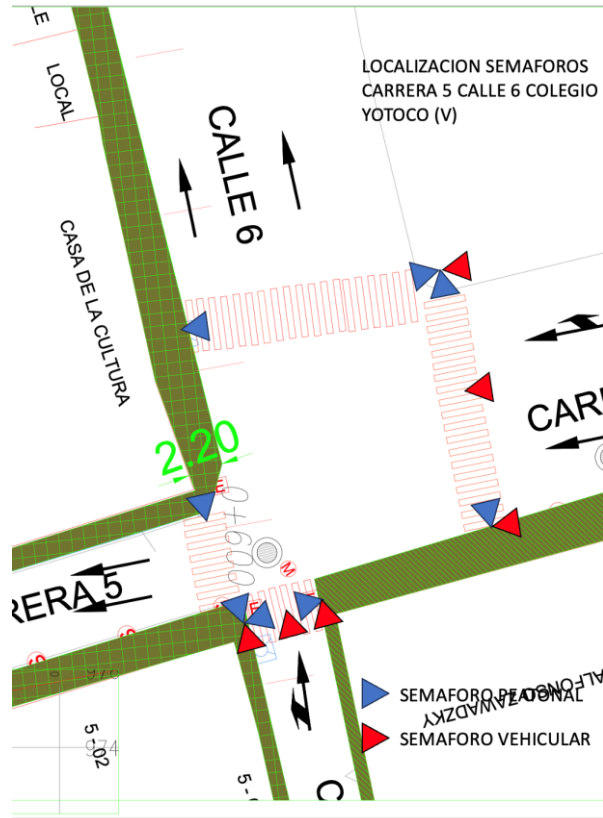
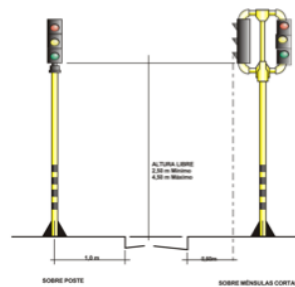


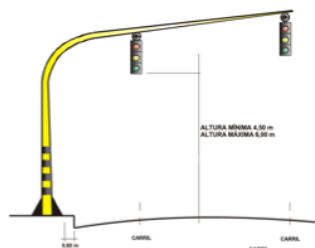
Imagen 27. Semáforos sobre Mensula corta y larga

SEMAFOROS SOBRE MENSULA CORTA –POSTES



Secretaría de Tránsito de Yotoco  
Especificaciones técnicas 2025

SEMAFOROS SOBRE MENSULA LARGA –POSTES

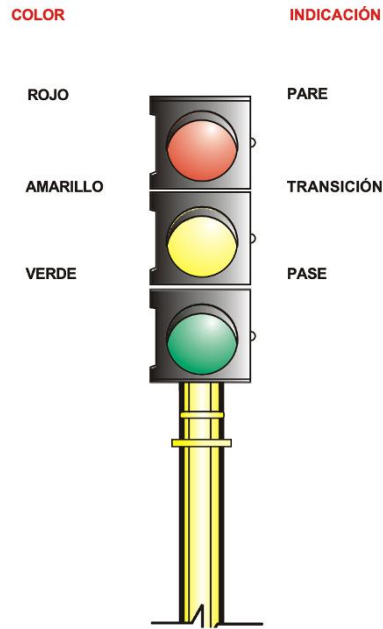


Secretaría de Tránsito de Yotoco  
Especificaciones técnicas 2025



## Imagen 28. Posición de los lentes en un semáforo de tres luces

Posición de las lentes en un semáforo de tres luces.



Secretaria de Transito de Yotoco  
Especificaciones técnicas 2025

Disposición de las lentes en la cara de un semáforo.


Secretaria de Transito de Yotoco  
Especificaciones técnicas 2025

## Imagen 29. Inscripciones en las lentes de semáforos para peatones



Secretaria de Transito de Yotoco  
Especificaciones técnicas 2025

## 5. ANEXO

### TÉCNICO A. CÁLCULO DE CAPACIDAD Y TIEMPOS (HCM/WEBSTER) Y DATOS DE ENTRADA

#### A.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

Se combina la metodología HCM (estimación de capacidad, demoras y colas) con la optimización de Webster (ciclo óptimo y reparto de verdes), incorporando verificación de requerimientos peatonales. La operación puede ser actuada o coordinada (ondas verdes) de acuerdo con el corredor y los planes horarios (AM/MD/PM).

#### 5.2. ENTRADAS Y SUPUESTOS BÁSICOS

1. Volúmenes de hora pico por aproximación y movimiento (rectos, izquierdos, derechos), en veh/h o PCU.
2. Configuración de carriles por aproximación (número por movimiento y restricciones de giro).
3. Flujo de saturación base por carril,  $s_0$  (pcu/h/carril).
  - Referencia urbana: 1.800–1.900 pcu/h/carril (calibrar por fricción lateral/estacionamiento).
4. Factores de ajuste HCM para el flujo de saturación efectivo,  $s$ :

- $s = s_0 \cdot f_w \cdot f_g \cdot f_{HV} \cdot f_p \cdot f_b \dots$



- fw: ancho efectivo de carril (ancho útil / n.º de carriles).
  - fg: pendiente.
  - fHV: participación de pesados (PCE).
  - fp: fricción lateral por estacionamiento/paradas.
  - fb: bloqueos/entrecruzamientos locales.
  - Contexto local: por alta presencia de motocicletas, usar PCU calibrado (p. ej., moto = 0,30–0,50 pcu); considerar bicicleta ≈ 0,25 pcu.
5. Plan de fases (2, 3 o 4) y pérdidas por ciclo L (suma de amarillos + todo-en-rojo + arranques).
  6. Requisitos peatonales: WALK + clearance (recomendado ≥ 10–12 s efectivos por frente; ajustar con ancho de cruce y  $v_{\text{peat}} \approx 1,2$  m/s).
  7. PHF, proporción de giros, longitud de bahías de giro/almacenamiento y restricciones.
  8. Criterios de coordinación (ciclo maestro, offsets, velocidad de progresión) cuando la intersección integre un corredor.

### 5.3. CICLO Y REPARTOS (WEBSTER)

- Grado de saturación objetivo:  $X \leq 0,85$ .
- Ciclo óptimo de Webster:

$C_{opt} = 1,5L + 51 - \sum y_i$ ;  $y_i = v_{i \text{ visi}}$  (relación crítica de la fase i)

- Reparto de verdes (splits):

$g_i = (C - L) y_i / \sum y_i$

- Chequeo peatonal y de colas: si algún  $g_i$  es menor al mínimo peatonal o al verde requerido para despejar colas, incrementar C (en pasos de 5 s) y recalcular.

### 5.4. DEMORAS, COLAS Y NIVEL DE SERVICIO (HCM)

- Demora de control por aproximación y Nivel de Servicio (A–F).
- Longitud de cola y tiempo de vaciado para validar almacenamiento de giros.
- Análisis de sensibilidad: planes AM/MD/PM, demanda +10–15 %, y eventos (paradas de TP, estacionamiento indebido).

### 5.5. CRITERIOS PRÁCTICOS DE OPERACIÓN

- Peatonalidad: fases dedicadas donde existan masas peatonales; línea de detención adelantada y refugios si el ancho lo permite.
- Giros a la izquierda: prohibir/canalizar si generan conflictos; si son imprescindibles y relevantes, fase protegida (en punta o exclusiva).

- Estacionamiento y paradas: retirar del frente del cruce; bahías/paraderos fuera de la zona de conflicto.
- Coordinación: planes AM/MD/PM en corredores o pares viales; mantener offsets para 30–35 km/h.
- Monitoreo: ajuste pos-implantación con aforos de verificación y metas de X, demora y seguridad.



## 5.6. DATOS DE ENTRADA PARA LOS CINCO (5) CRUCES SEMAFORIZADOS

Se requieren para diseño y simulación HCM/Webster de: Hospital (K5×C5), Punto Vive Digital, Alcaldía (K4×C6), La Rocola (K4×C5) y C5×C1 (Estadio).

### A) Geometría y entorno

- N.º de carriles por aproximación y configuración por movimiento (Izq/Recto/Der).
- Anchos: carril y calzada; radios de giro; pendiente.
- Elementos de borde/canalización: islas/refugios, orejones, separadores; estacionamiento y paradas.
- Restricciones de giro y sentidos vigentes/propuestos.

### B) Demanda hora pico (veh/h o PCU)

- Volúmenes por movimiento (15-min y pico ×4), por sentido (N, S, E, O) y por Izq/Recto/Der.
- PHF, proporción de motos (PCU calibrado), buses y pesados.
- Matrices direccionales para fines de coordinación.

### C) Peatones (pe/h) y cruce

- Flujos por frente, ancho de cruce y velocidad de diseño ( $\approx 1,2$  m/s).
- Mínimos: WALK + clearance  $\geq 10$ –12 s por frente.
- Necesidad de refugios/islas y líneas de detención adelantadas.

### D) Parámetros HCM/PCU

- $s_0$ ,  $f_w$ ,  $f_g$ ,  $f_{HV}$ ,  $f_p$ ,  $f_b$ .
- PCU locales (moto 0,30–0,50; bici 0,25) según fricción/entorno.
- Longitud de bahías de giro y almacenamiento.

### E) Semaforización (ciclos y fases)

- Plan de fases (2/3/4), ámbar y todo-en-rojo.
- Ciclos por franja (AM, MD, PM), splits y verificación de mínimos peatonales.
- Coordinación (ciclo maestro y offsets) en ejes/par viales.

Notas específicas por cruce:

- Hospital: pico peatonal alto y continuo; priorizar tiempos peatonales y canalización de giros.
- Punto Vive Digital: flujos mixtos; atención a estacionamiento lateral.
- Alcaldía: patrón intermitente; ordenar giros y paradas de TP.
- La Rocola: acceso con mayor incidencia de TP/pesados; coordinar con Cra 10.
- C5×C1 (Estadio): distribución direccional promedio observada S→N ≈ 51 %, N→S ≈ 39 %, E→O ≈ 8 %, O→E ≈ 2 %; operación recomendada con 2 fases (K5 N→S / C1 O→E) y tres planes (AM/MD/PM). Si un izquierdo es crítico, habilitar fase protegida (3 fases) en punta. Ancho típico de calzada: ≈ 7,20 m (verificar en campo).



## 5.7. JUSTIFICACIÓN DE SEMAFORIZACIÓN (WARRANTS)

Se cumple por:

1. Volumen vehicular y peatonal en hora pico;
2. Seguridad (conflictos de izquierdos y cruces peatonales sin control);
3. Coordinación arterial (Cra 10) y gestión de pares viales (K4–K5 con C5–C6).

## 5.8. ESQUEMAS DE FASES PROPUESTOS

### 5.8.1. Intersecciones con Cra 10 (C2, C7, C10) — 4 fases

1. Cra 10 N→S (rectos + derechos).
2. Cra 10 S→N (rectos + derechos).
3. Calles E→O (rectos + derechos).
4. Calles O→E (rectos + derechos).

- Izquierdos: protegidos donde la demanda lo requiera; protegido-permitido con baja/mediana demanda y geometría favorable.
- Peatones: concurrentes con el flujo paralelo + intervalo de despeje.
- Alternativa en C7×Cra 10: split phasing en la calle si los izquierdos opuestos son muy altos.

### 5.8.2. Par vial K4–K5 con C5–C6 — 2 o 3 fases

- Opción 2 fases (K4×C5 / K5×C5 / K4×C6 / K5×C6):
  - Fase A: Carrera (rectos/derechos) + peatones paralelos.
  - Fase B: Calle (rectos/derechos) + peatones paralelos.
  - Izquierdos: protegidos si hay choques/conflictos; de lo contrario, permitidos con flecha/semáforo direccional.
- Opción 3 fases (cuando un izquierdo es crítico):
  - A: Principal 1; B: Principal 2; C: Izquierdo protegido (o split).



## 5.9. CÁLCULO DE TIEMPOS DE SEMÁFORO

### 5.9.1. Parámetros base

- Flujo de saturación (referencial urbano):  $s=1.800$  veh/h/carril (ajustar con campo si hay fricción/estacionamiento).
- Relación crítica:  $y_i=v_i/s_i$  para el carril crítico de cada fase.
- Pérdidas por ciclo:  $L=10-14$  s (arranques + amarillos + all-red).
- Ámbar y all-red (urbano típico): ámbar 3,0 s; all-red 1,0-1,5 s.
  - Cálculo de all-red por cruce:  $t_{AR} \approx W/V$  (ancho/velocidad).
  - Ej.:  $W=7,2$  m,  $V=17$  km/h= $4,72$  m/s  $\Rightarrow t_{AR} \approx 1,5$  s.

### 5.9.2. Peatones (mínimos)

- Velocidad de diseño: 1,0-1,2 m/s.
- Tiempo de cruce:  $T_{peat} = T_{WALK} + W/v_{peat}$ .
- Con  $W=7,2$  m y  $v_{peat}=1,2$  m/s  $\Rightarrow 6,0$  s + WALK 3-5 s  $\rightarrow 10-12$  s por frente.

### 5.9.3. Ciclo óptimo (Webster) y splits

$$C_0 = 1,5 L + 51 - \sum y_i; g_i = (C_0 - L) y_i / \sum y_i$$

Ejemplo ilustrativo (2 fases):

Suponga  $v_{carrera}=600$  veh/h,  $v_{calle}=500$  veh/h,  $s=1.800 \rightarrow y_1=0,33$ ,  $y_2=0,28$ ,  $\sum y=0,61$ .

Con  $L=12$  s:  $C_0=1,5(12)+51-0,61 \approx 59$  s  $\rightarrow 60$  s.

Verdes efectivos:  $C-L=48$  s  $\rightarrow g_{carrera} \approx 26$  s;  $g_{calle} \approx 22$  s. (Ajustar para peatones y giros protegidos).

- Para intersecciones con Cra 10 (4 fases) se esperan ciclos 75-90 s en punta para permitir coordinación arterial.

## 5.10. COORDINACIÓN Y PROGRESIÓN POR CORREDORES

### 5.10.1. Corredor Cra 10 (C2-C7-C10)

- Ciclo coordinado: 90 s (punta), 70-75 s (valle).
- Velocidad de progresión objetivo: 30-35 km/h.
- Offsets: según distancias y velocidad objetivo; dirección principal definida por la punta de tarde (según aforos).
- Plan peatonal integrado a los splits (WALK/FDW).

### 5.10.2. Par vial K4–K5 y cruces con C5–C6

- Ciclo base recomendado: 60–70 s.
- Coordinar Calle 5 y Calle 6 para reducir colas y la conflictividad de motos.
- En nodos escolares/institucionales, extender peatonal en AM/PM.

### 5.11. DETECCIÓN, PRIORIDAD Y PLANES HORARIOS

- Detección: video/IA o lazos donde sea viable; pulsadores accesibles en pasos clave (Hospital, Alcaldía, Vive Digital).
- Prioridad peatonal: extensiones por presencia y retraso máximo limitado (< 90 s).
- Planes horarios:
  - AM (6:30–9:00): ciclo medio, prioridad a ingresos.
  - MD (9:00–16:30): ciclo menor, mayor peso peatonal.
  - PM (16:30–19:45): ciclo alto, coordinación fuerte.
  - Noche (20:00–5:30): ciclo bajo; si la autoridad lo permite, modo a demanda (actuado).

### 5.12. EQUIPAMIENTO Y OBRA CIVIL



- Controladores actuados/coordinados (comunicación IP/4G) con 8–12 fases.
- Luminarias LED 200/300 mm, viseras y backplates.
- Semáforos peatonales con cuenta regresiva.
- Postería (incl. brazos pescantes donde sea necesario por visibilidad).
- UPS ( $\geq 2$  h) para continuidad operativa.
- Bahías/paraderos reubicados o formalizados para evitar detenciones en carril.
- Demarcación: líneas de detención, cebras  $\geq 3$  m, flechas direccionales, islas/refugios.

### 5.13. HOJAS DE TIEMPO INICIALES (PUESTA EN SERVICIO)

Cra 10 – (C2 / C7 / C10) – 4 fases, *PM punta*

- Ciclo: 90 s; L: 12–14 s.
- Splits efectivos:
  - Cra 10 N–S: 24–26 s
  - Cra 10 S–N: 24–26 s
  - Calles E–O: 16–18 s
  - Calles O–E: 16–18 s
- Peatones:  $\geq 12$  s por frente (ajustar con ancho real).
- All-red: 1,5 s (ancho 7,2 m y 17 km/h).

Par vial K4–K5 / C5–C6 – 2 fases, *valle/punta*

- 
- 
- Ciclo: 60–70 s; L: 10–12 s.
  - Splits efectivos típicos: Carrera 26–30 s / Calle 22–26 s.
  - Izquierdos protegidos solo en hora pico o según demanda.

Nota de aplicación: los splits finales deben obtenerse con los volúmenes de hora pico por fase y carril crítico, aplicando los pasos A.9–A.10 y verificando mínimos peatonales y almacenamiento de colas.

#### **5.14. INDICADORES DE DESEMPEÑO Y VALIDACIÓN**

- Retardo medio (s/veh), colas máximas (m), v/c por fase, cumplimiento peatonal, tasa de conflictos observados.
- Ajuste fino de splits/offsets en las primeras 2–3 semanas.
- Auditoría de visibilidad (mobiliario/estacionamiento en esquinas).