



**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**Evaluación de flujos de saturación con y sin semáforos con  
temporizador regresivo en la intersección Av. Primero de Mayo y Av.**

**Doce de Octubre, Cuenca.**

**Trabajo previo a la obtención del título de Ingeniería Civil**

**Autores:**

**Josué Nicolás Orellana Rivas**

**Nicolás Eduardo Rodríguez Moscoso**

**Director:**

**Pablo Andrés Carvallo Corral**

**Cuenca, Ecuador**

**2026**

## **Dedicatoria**

A mis padres, Oswaldo y Jackeline, por ser mi guía, mi fuerza y el apoyo incondicional que me sostuvo incluso en los momentos más difíciles. Gracias por cada sacrificio, cada consejo y cada muestra de amor que hicieron posible este sueño. Todo lo que soy y todo lo que he logrado lleva una parte de ustedes.

A mis hermanos, Mateo, Karina y Belén, por acompañarme en cada etapa de este camino, por las risas, la paciencia y las palabras de ánimo cuando más las necesité. Su cariño y compañía hicieron más ligero cada desafío.

A mi sobrino, Joaquín Emilio, por regalarme alegría incluso en los momentos de más estrés. Tu inocencia, tus ocurrencias y tu cariño hicieron que este proceso fuera mucho más especial y llevadero.

A mi fiel compañero de cuatro patas, Matías, que sin decir una sola palabra me brindó tranquilidad, cariño y compañía en cada momento de este proceso

Y a mis amigos, en especial Nicolás y Hugo, quienes estuvieron presentes con su apoyo, motivación y amistad sincera. Gracias por compartir conmigo este proceso y por hacer de este recorrido una experiencia inolvidable.

Con todo mi amor y gratitud, dedico este logro a ustedes, porque fueron parte fundamental de este sueño cumplido.

-Josué Nicolás Orellana Rivas

Quiero dedicar este trabajo primeramente a Dios que es el que me ha guiado durante todo este trayecto, a mis padres Wilson y Sonia que gracias a su esfuerzo, culmina una etapa mi vida ya que sin su ayuda nada de esto hubiera sido posible, gracias por los consejos y el apoyo diario que me han dado que me han ayudado a levantarme y sostenerme en los momentos de dificultad, gran parte del hombre que soy es gracias a ustedes.

A mi hermana Melissa por ser un motivo de inspiración y demostrarme que los hermanos son parte fundamental para cualquier logro y a mi hermano Daniel que ha estado presente toda la vida y que ha sido gran parte de mi crecimiento tanto profesional como personal.

A mi enamorada Barbara por su cariño y su apoyo incondicional, ya fue quien me escucho y apoyo en medio de las noches más difíciles durante este trayecto, nunca dejo de creer en mí, me motivo a que siga adelante y a que nunca me rindiera ella es uno de los pilares de este logro.

A mis amigos, que fueron los que hicieron que fuera aun mas llevadero todo este trayecto con risas y apoyo mutuo entre todos. Especialmente a Nicolás y Hugo que fueron las personas mas cercanas con las que compartí en este proceso.

A todos ustedes este logro también les pertenece gracias por formar parte del camino.

-Nicolás Eduardo Rodríguez Moscoso

## **Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al Ingeniero Pablo Carvallo, por su guía, paciencia y apoyo constante durante el desarrollo de este trabajo de titulación. Sus conocimientos, recomendaciones y confianza en nuestro trabajo fueron fundamentales para formarnos como profesionales y para culminar con éxito esta etapa académica.

Agradecemos también a la EMOV, por brindarnos la apertura, colaboración y apoyo técnico necesario, especialmente en la instalación de los dispositivos utilizados en este proyecto. Su contribución fue esencial para la realización y desarrollo de nuestra investigación.

Finalmente, expresamos nuestra gratitud a la Universidad del Azuay, por habernos formado académica y profesionalmente, y por proporcionarnos las herramientas y conocimientos necesarios para enfrentar los desafíos de nuestra vida profesional.

A todos quienes formaron parte de este proceso, gracias por su apoyo y confianza.

- Josué Nicolás Orellana Rivas y Nicolás Eduardo Rodríguez Moscoso

## Resumen

El crecimiento del parque automotor en Cuenca ha incrementado la congestión en intersecciones semaforizadas, donde el tiempo de reacción de los conductores durante el cambio de luz afecta la capacidad operativa. Esta investigación evaluó el impacto de los temporizadores regresivos en los semáforos sobre el flujo de saturación y los tiempos de arranque vehicular en la intersección de las avenidas Primero de Mayo y Doce de Octubre, mediante un análisis comparativo antes y después de su implementación. La metodología se basó en el Highway Capacity Manual 2010 e incluyó aforos vehiculares, cálculo del flujo de saturación ajustado, determinación del nivel de servicio y análisis de dieciséis ciclos por acceso. Además, se aplicaron los modelos de Akçelik y de Urdiales y Suconota para cuantificar la ganancia vehicular. Los resultados mostraron una reducción promedio del 54 % en la pérdida inicial, incrementos de capacidad de hasta 8,36 % por carril y una disminución de hasta 25 % en cruces durante la fase amarilla. Se concluye que los temporizadores regresivos representan una solución viable, económica y replicable para mejorar la eficiencia operativa y la seguridad vial.

**Palabras clave:** Flujo de saturación, semáforos con temporizador regresivo, pérdida inicial, tiempo de arranque, nivel de servicio, seguridad vial, Cuenca.

## Abstract

The rapid growth of the vehicle fleet in Cuenca has increased congestion at signalized intersections, where driver reaction time during traffic light changes affects operational capacity. This study evaluated the impact of countdown timers on saturation flow and vehicle start-up times at the intersection of Primero de Mayo and Doce de Octubre avenues through a comparative analysis before and after their implementation. The methodology followed the Highway Capacity Manual 2010 and included traffic counts, adjusted saturation flow calculations, level of service determination, and the analysis of sixteen cycles per approach. Vehicle gain was evaluated using the Akçelik and the Urdiales and Suconota models. The results showed a 54% reduction in start-up lost time, capacity increases of up to 8.36% per lane, and a decrease of up to 25% in vehicles crossing during the amber phase. The study concludes that countdown timers are a feasible, low-cost, and replicable solution for improving operational efficiency and road safety at signalized intersections.

**Keywords:** Saturation flow, countdown traffic signals, start-up lost time, start-up time, level of service, road safety, Cuenca.

## Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Resumen .....	iv
Abstract.....	iv
Índice de contenidos .....	v
Índice de figuras .....	x
Índice de tablas .....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general .....	2
Objetivos específicos.....	2
Problemática y justificación .....	2
1. CAPÍTULO 1 Marco teórico.....	5
1.1 Delimitación .....	5
1.2 Fundamentación teórica.....	5
1.2.1 Intersecciones semaforizadas .....	5
1.2.2 Elementos clave de operación de acuerdo con el HCM 2010.....	6
1.2.3 Comportamiento del conductor en el inicio del movimiento .....	7
1.2.4 Dispositivos de conteo regresivo.....	7
1.2.5 Beneficios operativos .....	7
1.2.6 Impacto de los temporizadores .....	7
1.2.7 Contexto cuencano .....	8
1.3 Metodología.....	8
1.3.1 Condiciones geométricas .....	8
1.3.2 Condiciones de tránsito .....	9
1.3.3 Condiciones semaforizadas: .....	9
1.3.4 Módulo de ajuste de volúmenes de tránsito .....	11

1.3.5	Cálculo del factor de hora de máxima demanda: .....	11
1.3.6	Cálculo de la tasa de flujo.....	12
1.3.7	Módulo de flujo de saturación .....	12
1.3.8	Módulo de análisis de capacidad .....	15
1.3.9	Módulo de nivel de servicio .....	16
1.3.10	Cálculo de las demoras .....	16
1.3.11	Tiempo de reacción .....	22
1.3.12	Tasa de flujo .....	23
1.3.13	Intervalo.....	23
1.3.14	Modelo básico de flujo de saturación.....	24
2.	CAPÍTULO 2 Diagnostico operacional de la intersección .....	25
2.1	Ubicación de la intersección.....	25
2.2	Importancia en la red vial .....	26
2.3	Actividad urbana del sector .....	27
2.4	Identificación de los accesos .....	29
2.5	Características físicas y geométricas de la intersección .....	30
2.6	Señalización vial y elementos de canalización.....	31
2.6.1	Señalización vertical.....	31
2.6.2	Isletas canalizadoras .....	34
2.7	Funcionamiento actual del sistema semafórico .....	36
2.7.1	Fases semafóricas existentes .....	37
2.7.2	Tiempos de ciclos observados .....	38
2.8	Levantamiento y procesamiento de datos de tráfico .....	40
2.8.1	Metodología de conteo .....	40
2.8.2	Determinación de la hora pico.....	41
2.9	Estimación del flujo de saturación.....	47
2.9.1	Identificación de grupo de carriles .....	47

2.9.2	Resultados del flujo de saturación.....	48
2.10	Evaluación operacional de la intersección.....	53
2.10.1	Análisis de capacidad .....	53
2.10.2	Cálculo de demoras .....	55
2.10.3	Niveles de servicio.....	58
3.	CAPÍTULO 3 Recolección de datos en campo .....	59
3.1	Metodología de levantamiento .....	59
3.2	Previo a la instalación de los dispositivos .....	63
3.2.1	Tiempo perdido en el arranque promedio.....	63
3.2.2	Pérdida inicial promedio.....	64
3.2.3	Tiempo promedio hasta que cruza el último vehículo observado promedio 64	
3.2.4	Número promedio de vehículos observados.....	65
3.2.5	Intervalo promedio .....	66
3.2.6	Flujo Observado .....	66
3.2.7	Tasa promedio de descarga de la cola .....	66
3.2.8	Porcentaje de vehículos que se pasan en amarillo .....	67
3.3	Posterior a la implementación de los dispositivos de conteo regresivo .....	67
3.3.1	Tiempo perdido en el arranque promedio.....	70
3.3.2	Pérdida inicial promedio.....	71
3.3.3	Tiempo promedio hasta que cruza el último vehículo observado promedio 71	
3.3.4	Número promedio de vehículos observados.....	72
3.3.5	Intervalo promedio .....	72
3.3.6	Flujo Observado .....	72
3.3.7	Tasa promedio de descarga de la cola .....	73
3.3.8	Porcentaje de vehículos que se pasan en amarillo .....	73
4.	Capítulo 4 Evaluación del efecto de la implementación .....	74

4.1	Parámetros de comparación.....	75
4.1.1	Perdida Inicial.....	75
4.1.2	Tiempo perdido en el arranque.....	77
4.1.3	Vehículos que cruzan en fase amarilla .....	78
4.2	Comprobación matemática de la ganancia vehicular .....	80
4.2.1	Fundamento Metodológico común.....	80
4.2.2	Modelo 1. Ganancia vehicular por reducción de la pérdida inicial .....	81
4.2.3	Modelo 2. Ganancia vehicular por reducción del tiempo perdido en el arranque	83
4.2.4	Comparación entre los dos modelos.....	85
4.2.5	Recomendaciones .....	87
4.2.6	Conclusiones.....	90
Anexos .....		93
Anexo 1: Aforo de maniobras en el acceso 1 .....		93
Anexo 2: Aforo de maniobras en el acceso 2 .....		94
Anexo 3: Aforo de maniobras en el acceso 3 .....		95
Anexo 4: Aforo de maniobras en el acceso 4.....		96
Anexo 5: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 1, carril izquierdo.....		97
Anexo 6: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 1, carril derecho .....		97
Anexo 7: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 2, carril único.....		98
Anexo 8: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 3, carril izquierdo.....		98
Anexo 9: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 3, carril derecho .....		99
Anexo 10: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 4, carril único.....		100

Anexo 11: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 1, carril izquierdo.....	100
Anexo 12: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 1, carril derecho .....	101
Anexo 13: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 2, carril único.....	101
Anexo 14: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 3, carril izquierdo.....	102
Anexo 15: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 3, carril derecho .....	103
Anexo 16: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 4, carril único.....	103
Anexo 17: Ficha técnica de dispositivo de conteo regresivo.....	104
Referencias .....	106

## Índice de figuras

Figura 1-1 Intervalo entre vehículos.....	23
Figura 1-2 Modelo básico del flujo de saturación .....	24
Figura 2-1 Ubicación de la Intersección.....	25
Figura 2-2 Área de influencia de la intersección Av. 12 de Octubre y Av. Primero de Mayo.....	27
Figura 2-3 Zona comercial Av. Primero de Mayo.....	28
Figura 2-4 Zona comercial Av. 12 de Octubre.....	28
Figura 2-5 Zona residencial Av. Primero de Mayo .....	29
Figura 2-6 Identificación de accesos .....	30
Figura 2-7 Señalización vertical acceso 1 .....	32
Figura 2-8 Señalización vertical acceso 2 .....	32
Figura 2-9 Señalización vertical acceso 3 .....	33
Figura 2-10 Señalización vertical acceso 3 .....	33
Figura 2-11 Señalización vertical acceso 4 .....	34
Figura 2-12 Isleta canalizadora acceso 1 .....	35
Figura 2-13 Isleta canalizadora acceso 4.....	36
Figura 2-14 Movimientos permitidos y restringidos en fase 1 .....	37
Figura 2-15 Movimientos permitidos y restringidos en fase 2.....	38
Figura 2-16 Esquema de fases ciclo 60s.....	39
Figura 2-17 Esquema de fases ciclo 80s.....	39
Figura 2-18 Esquema de fases ciclo 120s.....	40
Figura 2-20 Instalación de cámara.....	41
Figura 2-19 Cámara instalada.....	41
Figura 3-1 Colocación de las lunas en los semáforos existentes .....	69
Figura 3-2 Lunas en funcionamiento en fase verde.....	69
Figura 3-3 Lunas en funcionamiento en fase roja .....	70
Figura 4-1 Comparativa de pérdida inicial por carril .....	76
Figura 4-2 Comparativa del tiempo perdido en el arranque por carril .....	78
Figura 4-3 Comparativa de porcentaje de vehículos que cruzan en amarillo por carril .	79
Figura 4-4 Modelo del flujo de saturación con tiempo perdido en el arranque.....	83
Figura 4-5 Comparativa de la ganancia por acceso .....	85
Figura 4-6 Comparativa de la ganancia total de la intersección por ambos métodos ....	86

## Índice de tablas

Tabla 1-1 Formulaciones para la obtención de los factores .....	13
Tabla 1-2 Nivel de servicio según demoras de tiempo parado por vehículo.....	16
Tabla 1-3 Proporción de verde disponible en función de los factores $fPA$ y $Rp$ .....	18
Tabla 2-1 Características físicas y geométricas.....	31
Tabla 2-2 Fases del ciclo 60s.....	39
Tabla 2-3 Fases del ciclo 80s.....	39
Tabla 2-4 Fases del ciclo 120s.....	40
Tabla 2-5 Conteo volumétrico acceso 1 .....	42
Tabla 2-6 Conteo volumétrico acceso 2 .....	43
Tabla 2-7 Conteo volumétrico acceso 3 .....	44
Tabla 2-8 Conteo volumétrico acceso 4 .....	45
Tabla 2-9 Hora pico por acceso .....	47
Tabla 2-10 Movimientos vehiculares por grupo de carriles .....	47
Tabla 2-11 Datos de entrada acceso 1 .....	48
Tabla 2-12 Flujo de saturación acceso 1 .....	48
Tabla 2-13 Datos de entrada acceso 2 .....	49
Tabla 2-14 Flujo de saturación acceso 2 .....	50
Tabla 2-15 Datos de entrada acceso 3 .....	50
Tabla 2-16 Flujo de saturación acceso 3 .....	51
Tabla 2-17 Datos de entrada acceso 4 .....	51
Tabla 2-18 Flujo de saturación acceso 4 .....	52
Tabla 2-19 Datos de entrada volumen/capacidad acceso 1 .....	53
Tabla 2-20 Relación volumen/capacidad acceso 1 .....	53
Tabla 2-21 Datos de entrada volumen/capacidad acceso 2 .....	54
Tabla 2-22 Relación volumen/capacidad acceso 2.....	54
Tabla 2-23 Datos de entrada volumen/capacidad acceso 3 .....	54
Tabla 2-24 Relación volumen/ capacidad acceso 3 .....	55
Tabla 2-25 Datos de entrada volumen/capacidad acceso 4 .....	55
Tabla 2-26 Relación volumen/capacidad acceso 4.....	55
Tabla 2-27 Factores para el cálculo de demoras acceso 1 .....	55

Tabla 2-28 Demoras acceso 1 .....	56
Tabla 2-29 Factores para el cálculo de demoras acceso 2 .....	56
Tabla 2-30 Demora acceso 2 .....	56
Tabla 2-31 Factores para el cálculo de las demoras acceso 3 .....	57
Tabla 2-32 Demoras acceso 3 .....	57
Tabla 2-33 Factores para el cálculo de demoras acceso 4 .....	57
Tabla 2-34 Demoras acceso 4 .....	58
Tabla 2-35 Demora global de los accesos .....	58
Tabla 2-36 Nivel de servicio por carril, aproximación y global .....	59
Tabla 3-1 Conteo volumétrico global .....	61
Tabla 3-2 Tiempo perdido en el arranque por acceso previo a la instalación de los dispositivos .....	64
Tabla 3-3 Perdida inicial promedio previo a la instalación de los dispositivos .....	64
Tabla 3-4 Tiempo promedio hasta que cruza el último vehículo observado promedio previo a la instalación de los dispositivos .....	65
Tabla 3-5 Número promedio de vehículos observados previo a la instalación de los dispositivos .....	65
Tabla 3-6 Intervalo promedio previo a la instalación de los dispositivos .....	66
Tabla 3-7 Flujo observado previo a la instalación de los dispositivos .....	66
Tabla 3-8 Tasa promedio de descarga de la cola previo a la instalación de los dispositivos .....	67
Tabla 3-9 Porcentaje de vehículos que se cruzan en amarillo previo a la instalación del dispositivo .....	67
Tabla 3-10 Tiempo perdido en el arranque por acceso posterior a la instalación de los dispositivos .....	70
Tabla 3-11 Perdida inicial promedio posterior a la instalación de los dispositivos .....	71
Tabla 3-12 Tiempo promedio hasta que cruza el último vehículo observado promedio posterior a la instalación de los dispositivos .....	71
Tabla 3-13 Número promedio de vehículos observados posterior a la instalación de los dispositivos .....	72
Tabla 3-14 Intervalo promedio posterior a la instalación de los dispositivos .....	72
Tabla 3-15 Flujo observado posterior a la instalación de los dispositivos .....	73
Tabla 3-16 Tasa promedio de descarga de la cola posterior a la instalación de los dispositivos .....	73

Tabla 3-17 Porcentaje de vehículos que se cruzan en amarillo posterior a la instalación del dispositivo.....	74
Tabla 4-1 Porcentaje de ganancia en pérdida inicial por carril .....	77
Tabla 4-2 Porcentaje de ganancia en el tiempo perdido en el arranque por carril .....	78
Tabla 4-3 Cálculos por carril método 1 .....	82
Tabla 4-4 Porcentaje de ganancia por carril método 1 .....	82
Tabla 4-5 Cálculos por carril método 2 .....	84
Tabla 4-6 Porcentaje de ganancia por carril método 2 .....	85

## INTRODUCCIÓN

Cuenca constituye uno de los principales centros urbanos del Ecuador y presenta un parque automotor en permanente crecimiento. Esta tendencia ha generado una presión considerable sobre la infraestructura vial existente, especialmente debido al limitado uso de modos de transporte alternativos. Según el *Dashboard* de Movilidad de la Alcaldía de Cuenca (2026), el vehículo privado concentra el 40.26% de los desplazamientos dentro de la ciudad, seguido del bus con el 21.78%, mientras que los modos no motorizados como caminar y bicicleta representan apenas el 12.92% en conjunto. Esta predominancia del transporte motorizado privado produce altos niveles de congestión en las arterias viales principales, incrementando los tiempos de recorrido.

En los últimos años, el uso del teléfono celular al volante se ha incrementado de manera significativa, convirtiéndose en uno de los factores de distracción más críticos en zonas urbanas. Diversos estudios recientes evidencian que la manipulación del dispositivo ya sea para revisar mensajes, interactuar con aplicaciones o realizar llamadas aumenta de forma considerable el tiempo que el conductor desvía la mirada de la vía, lo que afecta directamente su capacidad de respuesta (Cruz, 2021). Esta situación se vuelve especialmente problemática en intersecciones semaforizadas, donde muchos conductores aprovechan la detención momentánea para usar el celular. Mitigar estos comportamientos, junto con el adecuado acatamiento de la señalización vial, resulta fundamental. En este contexto, se plantea como objetivo optimizar el aprovechamiento de la fase verde del semáforo mediante la reducción del tiempo de reacción al arranque, conocido comúnmente como tiempo perdido.

El presente estudio realiza un diagnóstico del comportamiento operativo de la intersección semaforizada ubicada en la Av. Primero de Mayo y la Av. Doce de Octubre. Paralelamente, se examina el tiempo perdido durante el arranque de los vehículos, contrastando las condiciones antes y después de la instalación de un dispositivo semafórico con temporizador regresivo.

## **Objetivo general**

Evaluar el impacto de la implementación de dispositivos semafóricos de conteo regresivo en los accesos de la intersección Av. Primero de Mayo – Av. Doce de Octubre con el fin de analizar su efecto en el flujo de saturación y tiempos de arranque.

## **Objetivos específicos**

- Calcular el flujo de saturación teórico y observado de los accesos de la intersección seleccionada en horas pico, previo a la implementación de los dispositivos de conteo regresivo.
- Analizar la magnitud de la pérdida inicial y el tiempo perdido en el arranque previo y posterior a la implementación de dispositivos de conteo regresivo.
- Evaluar los cambios en el flujo tras la implementación de los dispositivos semafóricos con temporizador regresivo.
- Comparar los resultados obtenidos antes y después de la implementación para determinar la eficacia del sistema.
- Comparar la frecuencia de vehículos que ingresan a la intersección durante el intervalo de amarillo, antes y después de la implementación de dispositivos de conteo regresivo, para evaluar su efecto en la mejora de la seguridad vial.
- Proponer recomendaciones orientadas a mejorar la movilidad y seguridad vial en la intersección estudiada.

## **Problemática y justificación**

En los últimos años, la ciudad de Cuenca ha experimentado un crecimiento sostenido de su parque automotor. Esta expansión vehicular ha incrementado progresivamente los niveles de congestión en las principales vías urbanas, lo que repercute directamente en la calidad de vida de los ciudadanos, quienes enfrentan tiempos de viaje cada vez más prolongados y mayores niveles de estrés durante sus desplazamientos diarios.

Este fenómeno se hizo más evidente a medida que la demanda vehicular superó la capacidad de varias intersecciones semaforizadas, que constituyen los nodos más sensibles de la red vial. Al

concentrar flujos de diferentes direcciones y jerarquías viales, estas intersecciones comenzaron a registrar demoras constantes, colas extensas y una reducción significativa en la velocidad de operación de los vehículos. Lo que antes se consideraba un problema aislado en ciertas horas del día, se ha transformado en una situación cotidiana que afecta a conductores, pasajeros y peatones en distintos puntos de la ciudad.

Con el paso del tiempo, los esfuerzos municipales por aplicar medidas de gestión de tránsito, tales como la sincronización de semáforos, la ampliación de carriles en accesos específicos o la implementación de giros controlados, no lograron resolver de manera efectiva los problemas en los puntos críticos de la red vial. Si bien estas intervenciones contribuyeron a aliviar momentáneamente el flujo vehicular, la tendencia al alza del parque automotor hizo que los beneficios se diluyeran en pocos años. Actualmente, los problemas de congestión no solo se mantienen, sino que tienden a intensificarse en las horas de mayor demanda.

Uno de esos puntos críticos es la intersección de la Av. Primero de Mayo con la Av. Doce de Octubre, donde confluyen automóviles particulares, buses de transporte público y motocicletas en volúmenes notoriamente altos. Durante las horas pico, esta intersección presenta episodios recurrentes de saturación, caracterizados por colas prolongadas que se extienden varios metros. Esta condición genera pérdidas de tiempo considerables, así como a mayores emisiones contaminantes en un entorno urbano que busca transitar hacia modelos de movilidad más sostenibles.

En la operación actual de la intersección semaforizada, se evidencian dificultades asociadas al comportamiento de los conductores durante el cambio de fase de rojo a verde. En ausencia de información previa que permita anticipar dicho cambio, los conductores en la fila de espera dependen únicamente de la observación directa del semáforo, lo que no siempre garantiza una reacción inmediata.

En muchos casos, los conductores no mantienen una atención constante sobre la señal luminosa, ya sea por distracciones momentáneas o por la monotonía de la espera. Esto provoca que, al inicio de la luz verde, el primer vehículo tarde en reaccionar y, de igual forma, los vehículos que le siguen presenten demoras sucesivas en su arranque.

Como consecuencia, se generan pérdidas de tiempo en los primeros segundos de la fase verde, lo que afecta la continuidad en la descarga de la cola vehicular. Este comportamiento se traduce en un aprovechamiento parcial del tiempo efectivo de luz verde, ya que no todos los vehículos logran iniciar su movimiento de manera fluida desde el inicio de la fase.

Frente a la problemática identificada, se plantea como hipótesis que la implementación de dispositivos de conteo regresivo podría influir en el comportamiento de los conductores durante el cambio de fase semafórica. En particular, se considera que la disponibilidad de información anticipada sobre el tiempo restante de la luz roja permitiría a los conductores prepararse para el inicio del movimiento.

Bajo este supuesto, se esperaría que los conductores mantengan un mayor nivel de atención en los instantes previos al cambio a luz verde, lo que podría reducir las demoras en la reacción inicial y generar un arranque más uniforme de los vehículos en la fila.

A diferencia de proyectos de infraestructura más complejos, como la construcción de pasos elevados o la ampliación de la red vial, esta medida representa una intervención de bajo costo y rápida implementación, capaz de generar impactos visibles en el corto plazo. Su carácter costo-beneficio permite considerarla no solo como una solución puntual para la intersección analizada, sino como una estrategia replicable en otros puntos de la ciudad que presenten condiciones similares.

En este sentido, evaluar de manera técnica y objetiva la eficacia de dichos dispositivos resulta fundamental para determinar su verdadero aporte a la movilidad urbana. El análisis debe contemplar indicadores como el flujo de saturación alcanzado y la variación en los tiempos de demora, además de la percepción de seguridad y comodidad de los usuarios. La evidencia obtenida servirá como base para fundamentar decisiones de política pública que prioricen soluciones prácticas y eficientes, orientadas a garantizar una movilidad más fluida y segura en la ciudad de Cuenca.

# **1. CAPÍTULO 1 Marco teórico**

## **1.1 Delimitación**

La investigación se desarrollará en la intersección semaforizada de la Av. Primero de Mayo y Av. Doce de Octubre, ubicada en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay. El estudio consistirá en un análisis microscópico del comportamiento vehicular, aplicando la metodología establecida en el *Highway Capacity Manual 2010* para la determinación del flujo de saturación, tiempo de arranque y nivel de servicio.

Se registrarán los datos de tránsito en horas pico mediante aforos y grabaciones de video, tanto antes como después de la instalación de los dispositivos semafóricos con temporizador regresivo. Esta intersección fue seleccionada por presentar altos niveles de congestión.

El objetivo de la delimitación es establecer un marco de estudio que permita comparar los resultados obtenidos en ambos escenarios, con el fin de evaluar de manera técnica la eficacia del sistema en la mejora del flujo vehicular y la reducción de demoras.

## **1.2 Fundamentación teórica**

### **1.2.1 Intersecciones semaforizadas**

Las intersecciones semaforizadas constituyen nodos críticos dentro de las redes urbanas porque concentran flujos vehiculares con trayectorias conflictivas que requieren regulación para prevenir accidentes y mantener la fluidez del tránsito. Según el HCM (Transportation Research Board, 2010), estos dispositivos asignan el derecho de paso mediante fases y ciclos que permiten organizar los movimientos y reducir conflictos operacionales.

En contextos urbanos con incremento acelerado del parque automotor, como Cuenca, el desempeño de estas intersecciones depende de la correspondencia entre la programación del semáforo y la demanda real. Estudios locales (Municipalidad de Cuenca, 2015) señalan que la saturación y las demoras, aumentan cuando los tiempos de verde no se ajustan a los patrones horarios de flujo. En particular, la intersección Av. Primero de Mayo y Av. Doce de Octubre, al conectar zonas residenciales, comerciales y educativas, presenta condiciones adecuadas para evaluar el efecto de mejoras operativas como la incorporación de temporizadores regresivos.

### **1.2.2 Elementos clave de operación de acuerdo con el HCM 2010**

El *Highway Capacity Manua* (en adelante HCM)l proporciona el marco conceptual para analizar la operación de intersecciones semaforizadas. A continuación, se describen los componentes relevantes para este estudio.

#### **Demora vehicular**

La demora es el incremento del tiempo de viaje que experimenta un conductor por efecto de la regulación semafórica. Este indicador sintetiza la experiencia del usuario y es la variable base para determinar el nivel de servicio. (Bocajero, 2020) destaca que, en ciudades latinoamericanas, la demora aumenta significativamente cuando los ciclos no se ajustan adecuadamente a la demanda, evidenciando la sensibilidad del sistema ante variaciones en la programación.

#### **Nivel de servicio**

El nivel de servicio clasifica la calidad operativa de una intersección en categorías de la A a la F, basándose principalmente en la demora promedio por vehículo (Transportation Research Board, 2010). Esta clasificación permite evaluar de forma cualitativa la comodidad, eficiencia y percepción del usuario respecto al desempeño del sistema.

#### **Tiempo perdido**

El tiempo perdido corresponde al intervalo entre el inicio de la luz verde y el momento en que los vehículos comienzan a desplazarse de manera efectiva. Este retraso se origina por el tiempo de reacción del conductor, el arranque del primer vehículo y la aceleración gradual del pelotón. Fujita et al. (2024) señalan que el tiempo perdido inicial puede representar una proporción considerable del ciclo, afectando la capacidad efectiva de la intersección.

#### **Flujo de saturación**

El flujo de saturación representa la máxima tasa de descarga del flujo vehicular bajo condiciones ideales. Aunque es teórico, su valor real depende de factores como la pendiente, el estado del pavimento y el comportamiento de arranque. Cal y Mayor y Cárdenas (2010) argumentan que la medición del flujo de saturación antes y después de la implementación de mejoras permite cuantificar variaciones en la eficiencia operativa.

### **1.2.3 Comportamiento del conductor en el inicio del movimiento**

El inicio del movimiento durante la fase verde implica un proceso perceptivo y de reacción que influye directamente en el tiempo perdido y en el flujo de saturación. Pan et al. (2023) sostienen que el conductor requiere un tiempo mínimo para reconocer el cambio de fase y ejecutar el arranque, lo cual genera un patrón escalonado de aceleración hacia el resto del pelotón.

Estudios recientes evidencian que pequeñas variaciones en el tiempo de reacción afectan la descarga del flujo, especialmente en intersecciones urbanas donde los pelotones son más heterogéneos y la demanda es elevada (Sushmitha, 2025).

### **1.2.4 Dispositivos de conteo regresivo**

Los temporizadores regresivos son dispositivos que proporcionan información visual sobre el tiempo restante antes de un cambio de fase. Su uso busca mejorar la previsibilidad y reducir la incertidumbre del conductor.

### **1.2.5 Beneficios operativos**

Fujita *et al.* (2024) demostraron que los temporizadores contribuyen a reducir el tiempo perdido inicial, ya que los conductores anticipan el arranque sin depender exclusivamente del estímulo directo de la luz verde.

Asimismo, Fitriani y Darmawan (2025) reportaron que los temporizadores acompañados de texto dinámico reducen significativamente la reacción inicial del conductor, estandarizando el arranque del pelotón.

Pan *et al.* (2023) señalan además mejoras en seguridad, al disminuir la variabilidad en los comportamientos de arranque.

### **1.2.6 Impacto de los temporizadores**

Krukowicz (2021) indica que los mayores beneficios de los temporizadores se observan en intersecciones con altos tiempos perdidos, donde su uso permite recuperar parte del verde efectivo.

Kłos et al. (2020) advierten que algunos conductores aceleran bruscamente cuando el contador se aproxima al fin del verde, lo cual puede aumentar el riesgo de colisiones. A pesar de eso

puede ser más que una amenaza, una oportunidad para reducir el riesgo de colisiones ya que al momento de que el conductor se fije que el contador se aproxima al fin del verde, este tenga el tiempo para poder desacelerar y evitar colisiones.

En Cuenca, Uridales y Suconota (2018) demostraron que los dispositivos auxiliares pueden incrementar el flujo de saturación y reducir las colas, especialmente en horas pico.

Estos antecedentes justifican analizar la intersección Av. Primero de Mayo y Av. Doce de Octubre, donde se observan tiempos de reacción prolongados y alta demanda.

### **1.2.7 Contexto cuencano**

El crecimiento vehicular en Cuenca exige soluciones operativas que no dependan necesariamente de ampliaciones viales. Los temporizadores regresivos representan una alternativa de bajo costo y potencial impacto positivo en la eficiencia.

Evaluar su efecto sobre el flujo de saturación y el tiempo perdido permitirá generar recomendaciones aplicables a otras intersecciones urbanas de la ciudad

## **1.3 Metodología**

La investigación utiliza el análisis operacional desarrollado en el HCM 2010 como herramienta metodológica para examinar el desempeño funcional del tránsito vehicular dentro de una intersección. Este procedimiento posibilita valorar las condiciones de circulación mediante la identificación y cálculo del nivel de servicio correspondiente a cada acceso de manera individual, así como de la intersección en su conjunto. Con la finalidad de alcanzar una evaluación integral y técnicamente sustentada, la metodología planteada por el manual se encuentra estructurada en cinco módulos secuenciales, cada uno orientado al estudio de variables específicas relacionadas con el comportamiento operacional, las condiciones de flujo vehicular y el rendimiento general de la infraestructura vial.

### **1.3.1 Condiciones geométricas**

Generalmente, la configuración geométrica de una intersección vial suele representarse mediante esquemas y representaciones gráficas que permiten visualizar sus características funcionales y físicas. Dentro de estos diagramas se detallan elementos como la cantidad de carriles existentes, sus dimensiones, las maniobras autorizadas para cada vía de circulación,

así como el contexto urbano o rural donde se encuentra localizada la intersección. De igual manera, se incorporan aspectos relacionados con la disposición de zonas de estacionamiento, la presencia de carriles destinados exclusivamente a maniobras de giro hacia la derecha o izquierda, la extensión de dichos carriles y las inclinaciones o gradientes presentes en los accesos viales.

### **1.3.2 Condiciones de tránsito**

Los factores asociados a la circulación vehicular constituyen un elemento determinante para analizar el funcionamiento y desempeño de una vía. En este sentido, resulta indispensable identificar la cantidad de vehículos que intervienen en cada maniobra y en los distintos ingresos de la infraestructura vial, además de establecer la tipología del parque automotor presente, distinguiendo automóviles particulares, unidades de carga y medios destinados al transporte colectivo.

Además, se debe considerar el número de paradas de transporte público antes y después de la intersección, ya que estas influyen en el embarque y desembarque de pasajeros, afectando la fluidez del tráfico.

Asimismo, es importante contabilizar los flujos peatonales y la presencia de ciclovías, dado que estos factores pueden interferir con los giros a la derecha de los vehículos, impactando la operación de la intersección.

También se contabilizan los flujos peatonales y ciclovías, ya que interfieren con el giro a la derecha de los vehículos.

### **1.3.3 Condiciones semaforizadas:**

Las características operativas de un sistema semaforico comprenden aspectos como la secuencia de fases, la duración total del ciclo, los tiempos asignados a luz verde, así como los periodos de transición y evacuación vehicular correspondientes a cada movimiento permitido dentro de la intersección.

Asimismo, resulta indispensable evaluar el nivel de coordinación y avance del flujo vehicular entre cruces consecutivos, considerando que el comportamiento de llegada de los automotores

a los accesos puede clasificarse en seis categorías distintas según las condiciones de progresión observadas en cada carril:

- Categoría 1: Concentraciones elevadas de vehículos arriban cuando la señal se encuentra al comienzo del periodo rojo, reflejando un nivel de coordinación extremadamente deficiente.
- Categoría 2: Se presentan agrupamientos intermedios de automotores durante la mitad de la fase roja, evidenciando una progresión poco eficiente, especialmente en corredores bidireccionales.
- Categoría 3: El arribo de los vehículos ocurre de manera dispersa y sin patrón definido. Esta condición suele observarse en intersecciones independientes o sin sincronización, donde las ventajas de coordinación prácticamente son mínimas.
- Categoría 4: Los grupos vehiculares alcanzan la intersección aproximadamente en la parte media del tiempo verde, situación que representa una coordinación aceptable en vías con circulación en ambos sentidos.
- Categoría 5: Grandes agrupaciones de vehículos ingresan justo al inicio de la luz verde, lo cual demuestra un nivel de progresión altamente eficiente.
- Categoría 6: Corresponde al máximo grado de sincronización semafórica, caracterizado por flujos continuos y densos de vehículos que circulan fluidamente a través de múltiples intersecciones ubicadas a distancias relativamente cortas.

La relación del pelotón o grupo de vehículos, se puede determinar a partir de (1):

*Ecuación 1*

$$R_p = \frac{P}{g}$$

$P$  = proporción de todos los vehículos que llegan durante la fase verde

$C$  = Longitud del ciclo (s)

$g$  = Verde efectivo del grupo de carriles (s)

### 1.3.4 Módulo de ajuste de volúmenes de tránsito

Tiene varios enfoques, entre ellos están:

- Transformar los volúmenes registrados por hora en tasas de flujo correspondientes a intervalos críticos de 15 minutos dentro de dicha hora, utilizando para ello el cálculo del factor de hora máxima.
- Definir las agrupaciones de carriles que serán consideradas para el desarrollo del análisis operativo.
- Modificar los flujos de demanda con la finalidad de representar adecuadamente la manera en que el volumen vehicular se reparte entre los distintos carriles de circulación.

### 1.3.5 Cálculo del factor de hora de máxima demanda:

Con sus siglas FHP representa el nivel de homogeneidad con el que se distribuye el flujo vehicular durante el período de mayor demanda. Su cálculo se obtiene mediante la división entre el volumen total de tránsito correspondiente a la hora de máxima circulación y cuatro veces el volumen más elevado contabilizado en un intervalo de quince minutos dentro de esa misma hora, cuyo resultado debe mantenerse en un valor igual o inferior a uno.

*Ecuación 2*

$$FHP = \frac{\text{Volumen de tráfico en hora pico}}{4 \text{ veces el volumen máximo de 15 minutos dentro de la hora pico}}$$

Analizando el valor obtenido se puede establecer como es la distribución de flujos de 15 minutos durante la hora de máxima demanda, un FHP mayor a 0.9 indica una distribución uniforme, entre 0.8 y 0.9 la distribución es poco uniforme y un FHP entre 0.7 y 0.8 es una distribución mala, cuando es menor a 0.6 es completamente disparejo.

### 1.3.6 Cálculo de la tasa de flujo

Se transforman los volúmenes horarios a flujo durante 15 minutos a través del FHP.

*Ecuación 3*

$$V_p = \frac{V}{FHP}$$

$V_p$  = Tasa de flujo durante los 15 minutos más cargados (veh./h)

$V$  = Volumen durante la hora de máxima demanda (veh./h)

$FHP$  = Factor de Hora Pico

### 1.3.7 Módulo de flujo de saturación

Corresponde al volumen máximo de vehículos que puede circular por un acceso o conjunto de carriles en una intersección, considerando las condiciones existentes de tránsito y de la vía. Para su determinación se asume que el acceso dispone permanentemente de tiempo verde efectivo, es decir, que la relación entre el tiempo verde y la duración total del ciclo es igual a uno ( $g/c = 1$ ). El flujo de saturación se cuantifica en vehículos por hora de verde efectivo y puede obtenerse mediante mediciones realizadas en campo o a través de fórmulas de cálculo específicas.

*Ecuación 4*

$$S_i = S_o * N * f_{HV} * f_g * f_p * f_{LU} * f_{bb} * f_w * f_a * f_{RT} * f_{LT} * f_{Lpb} * f_{Rpb}$$

$S_i$  = Tasa del flujo de saturación del grupo de carriles  $i$  (veh./h de verde)

$S_o$  = Tasa de saturación ideal por carril, por lo general 1900 (veh. pasajeros/h verde/carril)

$N$  = Número de carriles del grupo de carriles

$f_w$  = Factor de ajuste por el ancho del carril

$f_{HV}$  = Factor de ajuste por vehículos pesados

$f_g$  = Factor de ajuste por pendiente del afluente

$f_p$  = Factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles

$f_{LU}$  = Factor de ajuste por utilización de carriles

$f_{bb}$  = Factor de ajuste para el efecto de bloqueo de autobuses que se paran cerca de la intersección

$f_a$  = Factor de ajuste para el tipo de área

$f_{RT}$  = Factor de ajuste para giros a la derecha en el grupo de carriles

$f_{LT}$  = Factor de ajuste para giros a la izquierda en el grupo de carriles

$f_{Lpb}$  = Factor de ajuste para por bloqueo de peatones y bicicletas giros a la izquierda

$f_{Rpb}$  = Factor de ajuste para por bloqueo de peatones y bicicletas giros a la derecha

Tabla 1-1 Formulaciones para la obtención de los factores

Factor	Fórmula	Definición de variables
	<i>Ecuación 5</i>	
Ancho de carril	$f_w = 1 + \frac{W - 3.6}{9}$	$W$ = ancho del carril (m)
	<i>Ecuación 6</i>	
Vehículos pesados	$f_{HV} = \frac{100}{(100 + \%HV(E_T - 1))}$	%HV = Porcentaje de vehículos pesados del grupo
	<i>Ecuación 7</i>	
Pendiente	$f_g = 1 - \frac{\%G}{200}$	%G=Nivel en una aproximación de grupo de carriles
	<i>Ecuación 8</i>	
Estacionamiento	$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N}$	- $N$ = Número de carriles del grupo - $N_m$ = Núm. de maniobras de estacionamiento por hora
	<i>Ecuación 9</i>	
Bloqueo de buses	$f_{bb} = \frac{(N - \frac{14.4N_B}{3600})}{N}$	- $N$ = Número de carriles del grupo - $N_b$ = Núm. de buses parando.
	<i>Ecuación 10</i>	
Tipo de área	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>f_a = 0.900</math> en CBD</li> </ul>	

*Ecuación 11*

- $f_a = 1.000$  todas otras áreas

**Utilización de carril**

$$f_{LU} = \frac{v_g}{(v_{g1}N)}$$

*Ecuación 12*

-  $v_g$  = Tasa de flujo de demanda no ajustada del grupo de carril (veh/h)

-  $v_{g1}$  = Tasa de flujo de demanda no ajustada del carril con el volumen más alto del grupo (veh. /h)

-  $N$  = Número de carriles del grupo

Fase protegida:

- Carril exclusivo:

*Ecuación 13*

- $f_{LT} = 0.95$

-  $PLT$  = Proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles

- Carril compartido:

*Ecuación 14*

- $f_{LT} = \frac{1}{1.0+0.05PLT}$

**Giros izquierdos**

- Carril exclusivo

*Ecuación 15*

- $f_{RT} = 0.85$

- Carril compartido

*Ecuación 16*

- $f_{RT} = 1.0 - (0.15)P_{RT}$

-  $PRT$  = Proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles

**Giros derechos**

- Carril único:

*Ecuación 17*

- $f_{RT} = 1.0 - (0.135)P_{RT}$

**Bloqueo de peatones y bicicletas**

Ajuste por giro hacia la izquierda:

*Ecuación 18*

- $f_{Lpb} = 1.0 - P_{LT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{LTA})$

Ajuste por giro a la derecha:

*Ecuación 19*

- $f_{Rpb} = 1.0 - P_{RT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{RTA})$

- PLT = Proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles

- ApbT = Ajuste a la fase permitida

- PLTA = Proporción de vueltas a la izquierda que usan la fase protegida

- PRT = Proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles

- PRTA = Proporción de vueltas a la derecha que usan la fase protegida

*Fuente: (Transportation Research Board, 2010)*

### 1.3.8 Módulo de análisis de capacidad

#### Capacidad

Para una intersección semaforizada la capacidad se define como la máxima tasa de flujo que puede atravesar la intersección en condiciones prevalecientes geométricas, de tránsito y de semaforización.

*Ecuación 20*

$$c_i = s_i \frac{g_i}{C}$$

Donde:

$c_i$  = Capacidad del grupo de carriles i (veh./h)

$s_i$  = Tasa del flujo de saturación del grupo de carriles i (veh./h verde)

$g_i$  = Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles i (s verdes)

$C$  = Ciclo del semáforo (s)

$\frac{g_i}{C}$  = Relación de verde efectivo para el grupo de carriles

## Relación Volumen/Capacidad

Esta relación se conoce como grado de saturación.

*Ecuación 21*

$$X_i = \frac{v_i}{c_i}$$

$X_i$  = Relación volumen/capacidad para el grupo de carriles  $i$

$v_i$  = Tasa de flujo de demanda actual o proyectada del grupo de carriles  $i$  (veh./h)

$c_i$  = Capacidad del grupo de carriles  $i$  (veh./h)

### 1.3.9 Módulo de nivel de servicio

La clasificación del nivel de servicio en intersecciones con semáforos se determina a partir del tiempo promedio de retraso que experimenta cada vehículo durante su detención.

*Tabla 1-2 Nivel de servicio según demoras de tiempo parado por vehículo*

Niveles de servicio	Demoras de tiempo parado por vehículo (s)
A	Menores de 10
B	Mayores de 10 y menores de 20
C	Mayores de 20 y menores de 35
D	Mayores de 35 y menores de 55
E	Mayores de 55 y menores de 80
F	Mayores de 80

*Fuente: (Transportation Research Board, 2010)*

### 1.3.10 Cálculo de las demoras

Las demoras promedio de tiempo parado por vehículo de un grupo de carriles se determinan con la siguiente expresión.

*Ecuación 22*

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3$$

Donde:

$d$  = Demora media por control (s/veh.)

$d_1$  = Demora uniforme (s/veh.)

$PF$  = Factor de ajuste por coordinación (Considera los efectos de coordinación de los semáforos)

$d_2$  = Demora incremental (s/veh.)

$d_3$  = Demora por cola inicial (s/veh.)

### **Factor de ajuste por coordinación**

La sincronización semafórica incide exclusivamente en la demora uniforme, puesto que una adecuada programación de los ciclos favorece el desplazamiento continuo de numerosos vehículos a través de la intersección mientras permanece habilitada la luz verde.

*Ecuación 23*

$$PF = \frac{(1-P)f_{PA}}{1-\frac{g}{C}}$$

Donde:

$PF$  = Factor de ajuste por coordinación

$P$  = Proporción de vehículos que llegan en verde

$\frac{g}{C}$  = Proporción de tiempo de luz verde disponible

$f_{PA}$  = Factor de ajuste suplementario por grupos vehiculares que llegan en verde

El valor de  $P$  se obtiene con la siguiente fórmula:

*Ecuación 24*

$$P = R_p \frac{g}{C}$$

$R_p$  = Relación del grupo de vehículos

En el capítulo 15 del HCM 2010 se indican los valores de los factores  $f_{PA}$  y  $R_p$  en función del tipo de llegada de los vehículos.

Tabla 1-3 Proporción de verde disponible en función de los factores  $f_{PA}$  y  $R_p$

Proporción de verde disponible (g/C)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6
0.2	1.167	1.007	1.000	1.000	0.833	0.75
0.3	1.286	1.063	1.000	0.986	0.714	0.571
0.4	1.445	1.136	1.000	0.895	0.555	0.333
0.5	1.667	1.240	1.000	0.767	0.333	0.000
0.6	2.001	1.395	1.000	0.576	0.000	0.000
0.7	2.556	1.653	1.000	0.256	0.000	0.000
$f_{PA}$	1.00	0.93	1.00	1.15	1.00	1.00
$R_p$	0.333	0.667	1.000	1.333	1.667	2.000

Fuente: (Transportation Research Board, 2010)

### Demora uniforme, $d_1$

Es la demora que ocurriría suponiendo llegadas uniformes, de tal manera que ningún ciclo resulta saturado. Se determina como:

Ecuación 25

$$d_1 = \frac{0.5(C)\left(1-\frac{g}{C}\right)^2}{1-\min\left(1;X\right)\left(\frac{g}{C}\right)}$$

Donde:

$d_1$  = Demora uniforme (s/veh.)

$C$  = Ciclo del semáforo (s)

$\frac{g}{C}$  = Proporción de tiempo verde disponible

$X$  = Relación volumen/capacidad

### Demora incremental, $d_2$

El tiempo de retraso considerado incorpora la incidencia producida por el arribo no uniforme de los vehículos a la intersección, situación que provoca que determinados ciclos operen bajo condiciones de sobresaturación dentro del intervalo analizado.

*Ecuación 26*

$$d_2 = 900(T) \left[ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8(k)(I)(X)}{(c)(T)}} \right]$$

$d_2$  = Demora incremental (s/veh.)

$T$  = Duración periodo de análisis ( $T = 0.25$  para periodos de 15 min. en los aforos)

$c$  = capacidad (veh./h)

$k$  = Factor de demora incremental que depende del ajuste de los controladores en intersecciones accionadas,  $k = 0.50$  para intersecciones prefijadas.

$I$  = Factor de ajuste por entradas de la intersección corriente arriba.  $I = 1$  para intersecciones aisladas.

### **Demora por cola inicial, $d_3$**

aToma en consideración los retrasos generados por los vehículos que integran la fila existente al inicio del intervalo de evaluación, debido a que dicha acumulación debe despejar previamente la intersección, provocando así demoras adicionales en los automotores que circulan posteriormente

*Ecuación 27*

$$d_3 = \frac{1800(Q_b)(1+u)(t)}{(c)(T)}$$

$d_3$  = Demora por cola inicial (s/veh.)

$Q_b$  = Cola inicial al principio del periodo  $T$  (veh.)

$T$  = Duración del periodo de análisis ( $T = 0.25$  para análisis de 15 min. en los aforos) (h)

$u$  = Parámetro de demora

$c$  = Capacidad (veh./h)

$t$  = Duración de la demanda insatisfecha (h)

Existen 5 posibles escenarios.

- **Caso 1:**

$$Q_b = 0 \text{ por lo tanto, } d_3 = 0$$

- **Caso 2:**

$$Q_b = 0 \text{ por lo tanto, } d_3 = 0$$

- **Caso 3:** Ocurre cuando la cola inicial  $Q_b$  se disipa durante T. Para esto deberá cumplirse que:

*Ecuación 28*

$$Q_b + qT < cT$$

Donde:

$qT$  = Demanda total en T (veh.)

$cT$  = Capacidad disponible en T (veh.)

- **Caso 4:** Ocurre cuando aún existe demanda insatisfecha al final de T, pero la misma es decreciente. Para que esto ocurra deberá cumplirse que:

*Ecuación 29*

$$qT < cT$$

- **Caso 5:** Ocurre cuando la demanda en T, excede a la capacidad disponible en dicho periodo. Aquí la demanda insatisfecha se incrementa al final de T. Para que esto ocurra deber cumplirse que:

*Ecuación 30*

$$qT > cT$$

Para los casos 3, 4 y 5:

*Ecuación 31*

$$t = 0 \text{ si } Q_b = 0$$

O caso contrario:

*Ecuación 32*

$$t = \min \left\{ T; \frac{Q_b}{c[1 - \min(1; X)]} \right\}$$

Donde:

$t$  = Duración de la demanda insatisfecha (h)

$c$  = Capacidad (veh./h)

$Q_b$  = Cola inicial al principio del periodo T (veh.)

$X$  = Relación volumen/capacidad

*Ecuación 33*

$$u = 0 \text{ si } t < T$$

O caso contrario:

*Ecuación 34*

$$u = 1 - \frac{(c)(T)[1 - \min(1; X)]}{Q_b}$$

Donde:

$u$  = Parámetro de demora

$c$  = Capacidad (veh./h)

$T$  = Duración del periodo de análisis ( $T = 0.25$  para análisis de 15 min. en los aforos)

$Q_b$  = Cola inicial al principio del periodo T (veh.)

$X$  = Relación volumen/capacidad

### **Demora en los accesos**

La demora en cualquier acceso, se determina como un promedio ponderado de las demoras totales de todos los grupos de carriles del acceso.

Ecuación 35

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^A (d_i * v_i)}{\sum_{i=1}^A (v_i)}$$

Donde:

$A$  = Número de grupos de carriles en el acceso  $A$

$d_A$  = Demora en el acceso  $A$  (s/veh.)

$d_i$  = Demora en el grupo de carriles  $i$ , del acceso  $A$  (s/veh.)

$v_i$  = Volumen ajustado del grupo de carriles  $i$  (veh./h)

### **Demora en la intersección:**

Es análoga a la demora en los accesos, se determina como un promedio ponderado de las demoras en todos los accesos.

Ecuación 36

$$d_I = \frac{\sum_{i=1}^I (d_A * v_A)}{\sum_{i=1}^I (v_A)}$$

Donde:

$I$  = Número de accesos en la intersección

$d_I$  = Demora en la intersección (s/veh.)

$d_A$  = Demora en el acceso  $A$  (s/veh.)

$v_A$  = Volumen ajustado del acceso  $A$  (veh./h)

### **1.3.11 Tiempo de reacción**

Corresponde al intervalo que transcurre desde que el conductor percibe un estímulo en la vía hasta que inicia una acción de respuesta, como frenar o cambiar de trayectoria. El cual puede variar generalmente entre 1 a 2 segundos bajo condiciones normales de atención. (Transportation Research Board, 2010)

### 1.3.12 Tasa de flujo

Es la frecuencia con la que pasan los vehículos en un punto específico de un carril. Se calcula mediante la Ecuación 37

*Ecuación 37*

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

Donde:

*N=Es igual al número de vehículos*

*T= Tiempo*

### 1.3.13 Intervalo

Se define como el tiempo transcurrido entre el paso del extremo posterior de un vehículo por un punto determinado de la vía y el paso del extremo posterior del vehículo inmediato siguiente por ese mismo punto, usualmente medido en segundos. Se calcula mediante la Ecuación 38

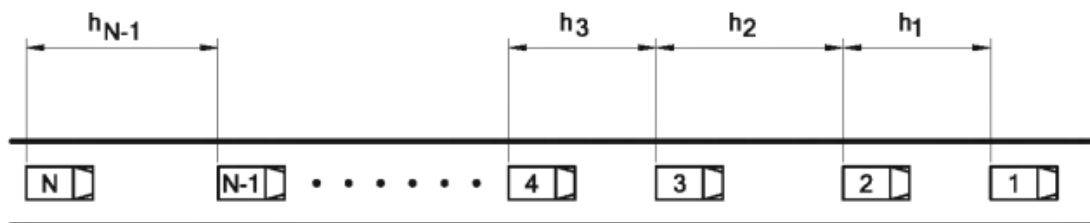
*Ecuación 38*

$$h = \frac{1}{q}$$

Donde:

*q= Tasa de flujo*

*Figura 1-1 Intervalo entre vehículos*

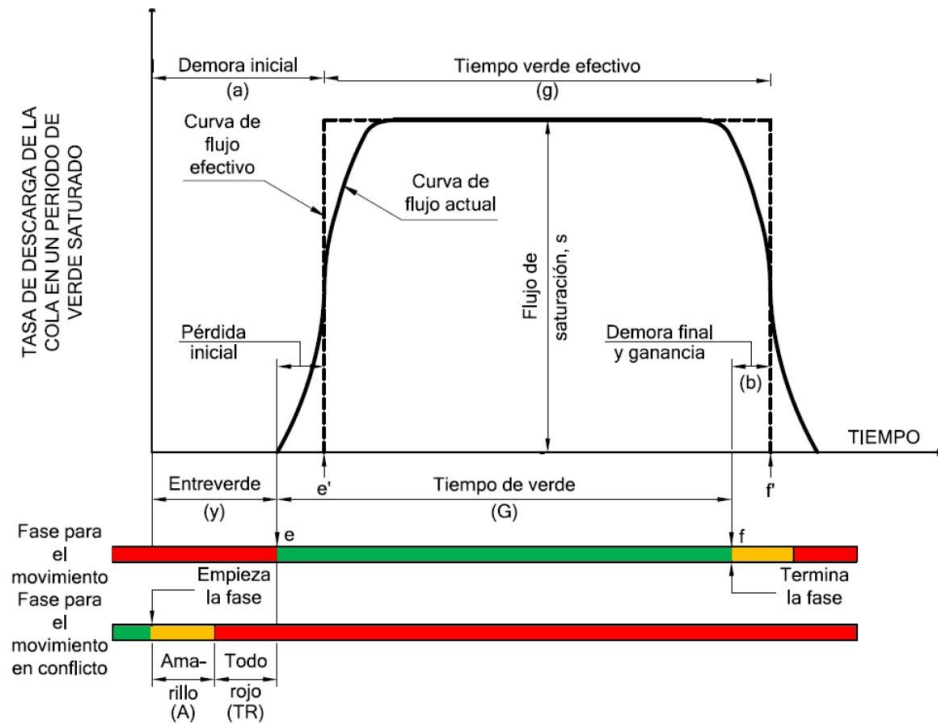


*Fuente: (Cal y Mayor & Cárdenas, 2010)*

### 1.3.14 Modelo básico de flujo de saturación

En la Figura 1-2 se presenta la relación entre el flujo de saturación y los tiempos de luz verde de cada fase. Asimismo, la pérdida inicial de la fase influye en el tiempo efectivo de verde, el cual, al multiplicarse por la tasa de descarga durante condiciones de saturación, corresponde al área del rectángulo de flujo efectivo que representa la cantidad de vehículos que atraviesan la intersección. La hipótesis planteada tiene como objetivo reducir dicha pérdida inicial.

Figura 1-2 Modelo básico del flujo de saturación



Fuente: (Akcelik, 1998)

## 2. CAPÍTULO 2 Diagnostico operacional de la intersección

### 2.1 Ubicación de la intersección

La intersección analizada se encuentra en la ciudad de Cuenca, está conformada por el cruce entre la Avenida 12 de Octubre y la Avenida Primero de Mayo, con coordenadas  $2^{\circ} 54' 34.24''$  S  $79^{\circ} 01' 08.79''$  W. Este punto se localiza en una zona urbana consolidada de la ciudad y constituye un punto de conexión entre distintos sectores urbanos.

Ambas avenidas permiten la comunicación entre zonas residenciales y comerciales del sector oriental de Cuenca y áreas cercanas al centro de la ciudad, por lo que son utilizadas frecuentemente como rutas de desplazamiento entre diferentes barrios. La ubicación de esta intersección dentro del tejido urbano facilita la conexión entre sectores como El Vergel, El Batán y otros barrios próximos al área central, generando un flujo constante de movilidad hacia diversas partes de la ciudad.

Figura 2-1 Ubicación de la Intersección



Fuente: (Google Earth, 2026)

## **2.2 Importancia en la red vial**

Las avenidas que conforman la intersección poseen una relevancia significativa dentro del sistema de movilidad urbana de Cuenca. De acuerdo con la jerarquización vial como se muestra en la Figura 2-2, tanto la Avenida 12 de Octubre como la Avenida Primero de Mayo se clasifican como vías arteriales, las cuales tienen como función principal canalizar desplazamientos de mayor escala dentro de la red vial urbana. (Municipalidad de Cuenca, 2015)

La Avenida 12 de Octubre constituye uno de los ejes de circulación más importantes del sector oriental de la ciudad, permitiendo el desplazamiento entre distintos barrios y facilitando el acceso hacia zonas cercanas al centro urbano. Por su parte, la Avenida Primero de Mayo actúa como un corredor que articula varios sectores urbanos y permite distribuir los flujos vehiculares hacia otras avenidas principales de la ciudad. En este contexto, la intersección entre estas dos vías genera un punto de convergencia relevante dentro del sistema vial urbano, donde confluyen desplazamientos provenientes de distintos sectores de la ciudad.

Con el propósito de delimitar el ámbito de análisis, se estableció el área de influencia directa de la intersección, la cual comprende las vías y zonas urbanas que tienen una relación funcional inmediata con el punto de estudio. En la Figura 2-2 se presenta la ubicación geográfica de la intersección en el contexto de la ciudad de Cuenca, identificando los sectores que forman parte de dicha área de influencia.

Figura 2-2 Área de influencia de la intersección Av. 12 de Octubre y Av. Primero de Mayo



Fuente: Adaptado de (IERSE-Universidad del Azuay & Dirección General de Planificación Territorial del GAD Municipal del Cantón Cuenca, 2025)

### 2.3 Actividad urbana del sector

El entorno cercano a la intersección presenta una mezcla de usos del suelo típica de sectores urbanos consolidados de la ciudad. En los alrededores se pueden observar viviendas, pequeños comercios y diferentes tipos de servicios que generan actividad durante gran parte del día. Esta diversidad de actividades hace que exista una presencia constante de personas en el sector, lo que influye en la dinámica de movilidad.

De igual manera, la ubicación de la intersección en avenidas que permiten el acceso hacia zonas cercanas al centro de la ciudad favorece la presencia de actividades comerciales y de servicios en el área.

Figura 2-3 Zona comercial Av. Primero de Mayo



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-4 Zona comercial Av. 12 de Octubre



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-5 Zona residencial Av. Primero de Mayo



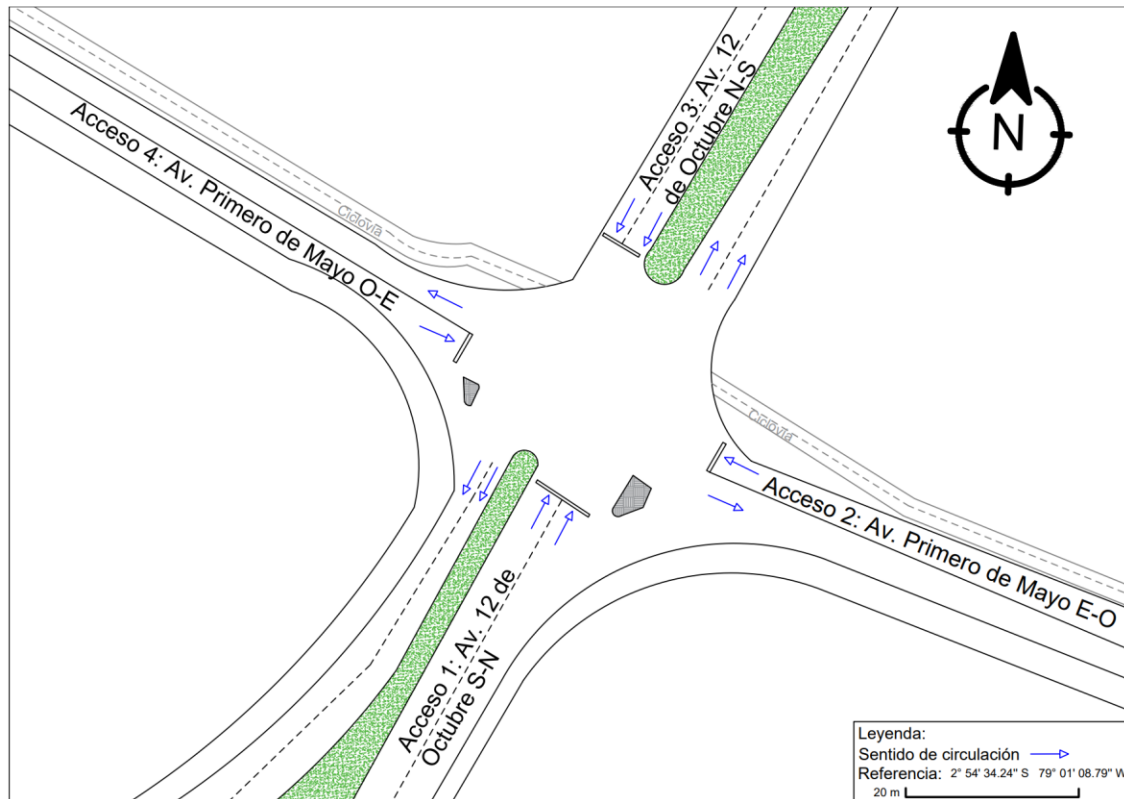
Fuente: Elaboración propia

#### **2.4 Identificación de los accesos**

Para el análisis de la intersección es necesario identificar cada uno de los accesos que la conforman, con el fin de facilitar la descripción de sus características físicas y la posterior evaluación de las condiciones de operación del tráfico.

Con fines de análisis, los accesos fueron numerados siguiendo un orden que permite distinguir claramente cada aproximación a la intersección. Esta identificación facilita la referencia a cada acceso en las diferentes etapas del estudio, especialmente durante el análisis de volúmenes vehiculares, movimientos de giro y evaluación del funcionamiento de la intersección.

Figura 2-6 Identificación de accesos



Fuente: Elaboración propia

## 2.5 Características físicas y geométricas de la intersección

Estas condiciones influyen directamente en el funcionamiento del tráfico, ya que elementos como el número de carriles, el ancho de las calzadas, la presencia de separadores centrales y las pendientes longitudinales determinan la forma en que los vehículos circulan por cada aproximación.

Tabla 2-1 Características físicas y geométricas

	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4
<b>Tipo de intersección</b>	+			
<b>Coordenadas</b>	2° 54' 34.24'' S 79° 01' 08.79'' W			
<b>Referencia</b>	Reloj Floral			
<b>Tipo de pavimento</b>	Pavimento flexible			
<b>Número de carriles</b>	2	1	2	1
<b>Ancho de carriles (m)</b>	5.05	4.35	3.50	3.75
<b>Pendiente (%)</b>	1.55	3.05	-1.7	3.75
<b>Presencia de parterre</b>	Si	No	Si	No
<b>Ancho de parterre (m)</b>	1	-	3.45	-
<b>Señalización horizontal</b>	Deficiente	Si	Si	Si
<b>Señalización vertical</b>	Si	Si	Si	Si
<b>Isleta canalizadora</b>	Si	No	No	Si

Fuente: Elaboración propia

## 2.6 Señalización vial y elementos de canalización

La señalización vial y los elementos de canalización constituyen componentes fundamentales dentro del funcionamiento de la infraestructura vial, ya que permiten regular y orientar el comportamiento de los usuarios de la vía. A través de estos dispositivos se transmiten indicaciones, restricciones y advertencias que facilitan la circulación ordenada de vehículos y peatones, contribuyendo de esta manera a mejorar las condiciones de seguridad y eficiencia del tránsito. Además, estos elementos permiten guiar los movimientos vehiculares dentro de las intersecciones y reducir posibles conflictos entre las diferentes trayectorias de circulación. (INEN, 2011)

En la intersección analizada, se identificaron diversos elementos de señalización y canalización que contribuyen a ordenar la circulación vehicular. Entre los principales se encuentran la señalización vertical, la señalización horizontal, los pasos peatonales y las isletas canalizadoras presentes en algunos accesos de la intersección.

### 2.6.1 Señalización vertical

Durante la inspección en campo se identificaron diversas señales verticales orientadas principalmente a regular ciertos movimientos de giro en los accesos de la intersección. Estas

señales permiten ordenar la circulación vehicular y evitar maniobras que podrían generar conflictos dentro del área de cruce.

*Figura 2-7 Señalización vertical acceso 1*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 2-8 Señalización vertical acceso 2*



*Fuente: Elaboración propia*

Como se puede ver en la Figura 2-7 en el acceso 1 se observó la presencia de señalización que prohíbe el giro en U y el giro a la derecha, restringiendo estos movimientos para los vehículos que ingresan desde este acceso. De igual manera como se ve en la Figura 2-8 en el acceso 2 se identificaron dos señales verticales que prohíben el giro a la izquierda, lo que limita este movimiento hacia la vía transversal.

*Figura 2-9 Señalización vertical acceso 3*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 2-10 Señalización vertical acceso 3*



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-11 Señalización vertical acceso 4



Fuente: Elaboración propia

Por su parte, como se ve en la Figura 2-9 y Figura 2-10 en el acceso 3 se observó señalización que prohíbe el giro en U y el giro a la izquierda, regulando las maniobras que pueden realizar los vehículos al aproximarse a la intersección. Finalmente, como se ve en la Figura 2-11 en el acceso 4 se identificaron dos señales que prohíben el giro a la izquierda, estableciendo una restricción similar a la observada en el acceso 2.

Estas restricciones de giro evidencian la necesidad de controlar ciertos movimientos dentro de la intersección con el objetivo de mejorar la organización del tráfico y reducir posibles puntos de conflicto entre vehículos. Además, que es parte del cálculo de los factores para el análisis del nivel de servicio.

### 2.6.2 Isletas canalizadoras

En las intersecciones urbanas es común emplear elementos de canalización destinados a organizar los movimientos vehiculares dentro del área de cruce. Entre estos se encuentran las isletas canalizadoras, las cuales corresponden a áreas delimitadas entre carriles que permiten controlar y guiar las trayectorias de circulación de los vehículos dentro de la intersección, contribuyendo a reducir conflictos entre movimientos de tráfico. (Federal Highway Administration, 2023)

Durante la inspección también se identificaron isletas canalizadoras destinadas a facilitar los movimientos de giro a la derecha en algunos accesos de la intersección.

En particular, se observó la presencia de una isleta canalizadora en el acceso 1, la cual permite que los vehículos que realizan el giro a la derecha puedan hacerlo de manera más directa. De igual forma, en el acceso 4 se identificó otra isleta canalizadora con una función similar, destinada a facilitar el movimiento de giro a la derecha para los vehículos que se aproximan desde dicho acceso.

*Figura 2-12 Isleta canalizadora acceso 1*



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-13 Isleta canalizadora acceso 4



Fuente: Elaboración propia

## 2.7 Funcionamiento actual del sistema semafórico

La intersección ubicada en el cruce de la Avenida 12 de Octubre y la Avenida Primero de Mayo cuenta con un sistema de control semafórico que regula la circulación de los vehículos provenientes de cada uno de los accesos. Este tipo de control permite asignar de manera alternada el derecho de paso a los diferentes movimientos vehiculares, con el fin de organizar la circulación dentro del área de la intersección y reducir los conflictos entre corrientes de tráfico.

Con el objetivo de conocer las condiciones actuales de operación del sistema, se realizó una observación directa del funcionamiento del semáforo durante diferentes periodos del día. A partir de esta inspección fue posible identificar la forma en que se estructuran las fases semafóricas y registrar los tiempos de funcionamiento del ciclo en condiciones normales de operación. No existen sistema semafórico para peatones, y se constituye como una intersección aislada.

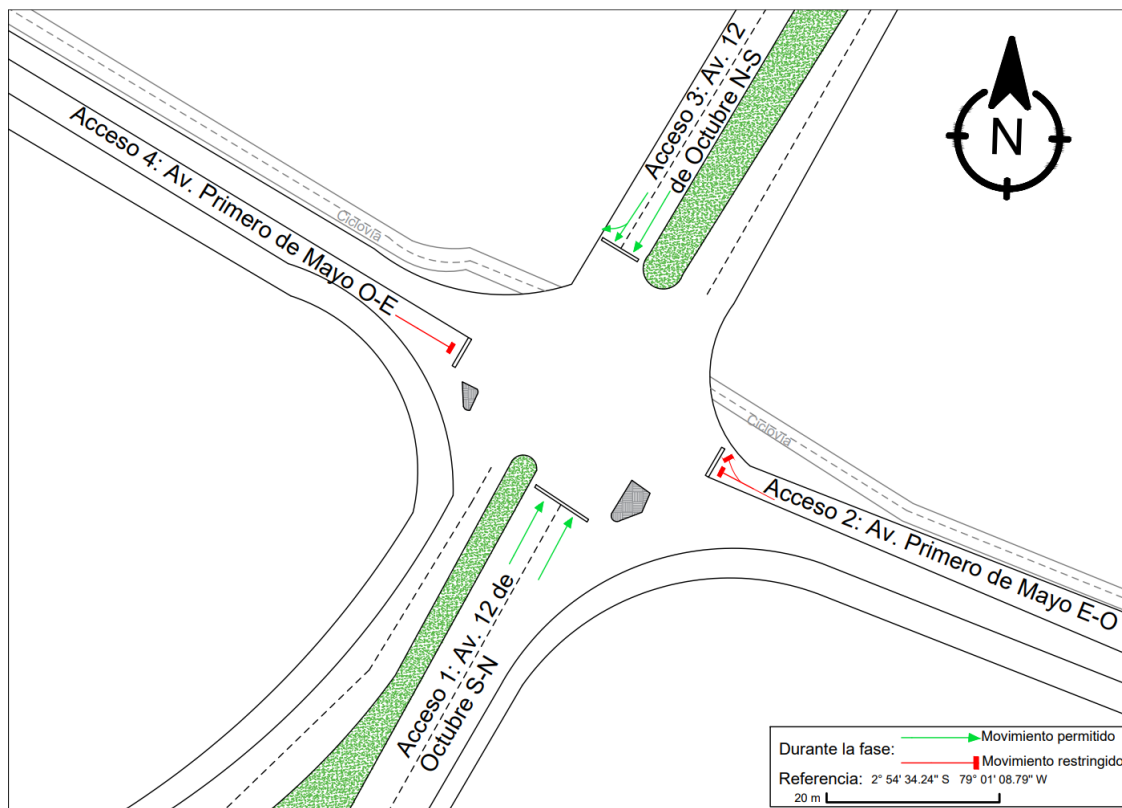
### 2.7.1 Fases semafóricas existentes

Durante la inspección realizada en campo se observó que el sistema semafórico de la intersección opera mediante un esquema compuesto por dos fases principales.

En la primera fase reciben la indicación de luz verde tanto el acceso 1 como el acceso 3 mostrados en la Figura 2-6 , permitiendo el desplazamiento de los vehículos provenientes de estos movimientos mientras los accesos 2 y 4 respectivamente permanecen detenidos. Posteriormente, el sistema cambia a una segunda fase, en la cual se habilita la circulación de los accesos 2 y 4, mientras que los accesos correspondientes a la fase anterior permanecen en rojo.

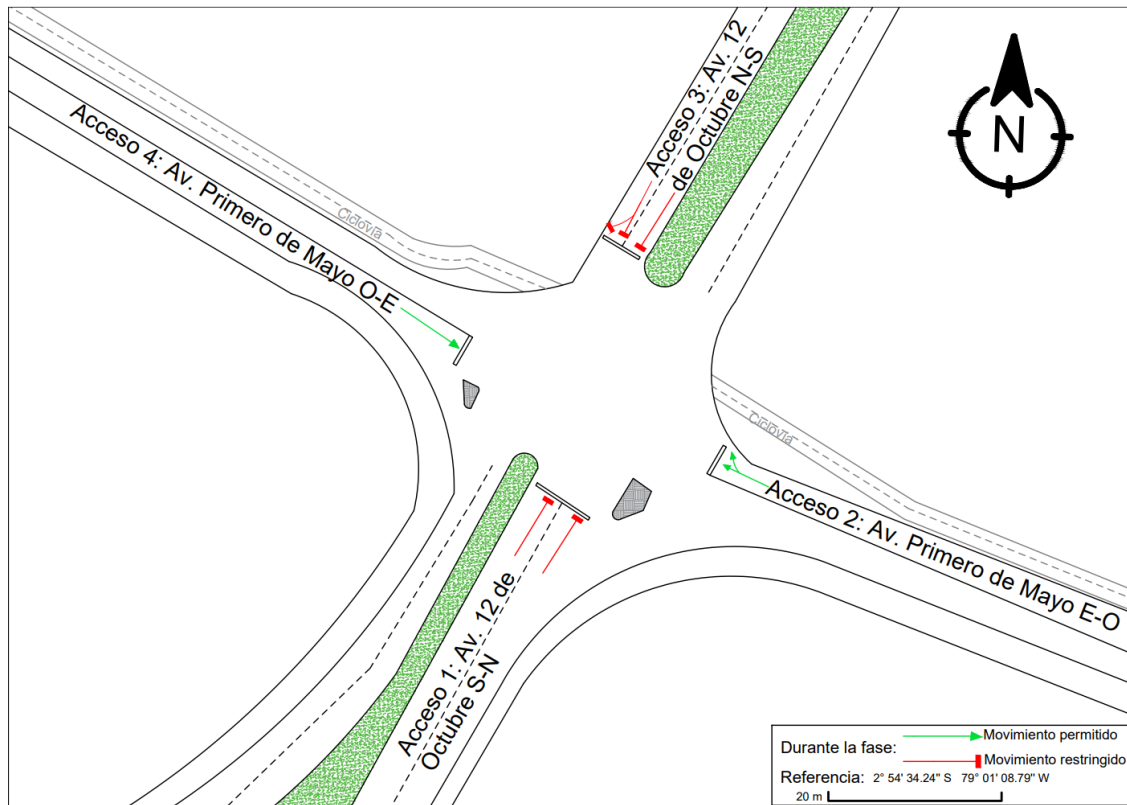
En la Figura 2-14 y Figura 2-15 se presenta con mayor detalle el funcionamiento de las fases

Figura 2-14 Movimientos permitidos y restringidos en fase 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-15 Movimientos permitidos y restringidos en fase 2



Fuente: Elaboración Propia

### 2.7.2 Tiempos de ciclos observados

Además de identificar la configuración de las fases, durante la observación en campo también se registraron los tiempos de funcionamiento del sistema semafórico. Se pudo constatar que la duración del ciclo presenta variaciones a lo largo del día, lo cual sugiere que el sistema ajusta sus tiempos de operación en función de las condiciones de circulación presentes en determinados periodos.

Durante los diferentes periodos de observación se registraron tres configuraciones de ciclo semafórico, las cuales corresponden a duraciones aproximadas de 60 segundos, 80 segundos y 120 segundos.

Estas variaciones evidencian que el sistema de control semafórico ajusta la duración del ciclo con el fin de adaptarse a los cambios en la demanda vehicular que se presentan a lo largo del día. Cada una de estas configuraciones mantiene el mismo esquema de operación basado en dos fases, aunque con diferentes tiempos asignados a cada una de ellas.

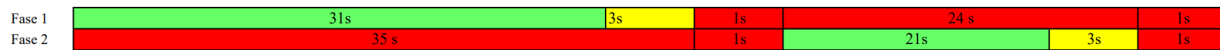
A continuación, en la Tabla 2-2, Tabla 2-3 y Tabla 2-4 se presentan los ciclos semafóricos con los tiempos de las respectivas fases observadas durante el levantamiento de información en campo.

Tabla 2-2 Fases del ciclo 60s

Fases		1	2
<b>Accesos</b>		1,3	2,4
<b>Tiempo de verde</b>	(s)	31	21
<b>Tiempo de amarillo</b>	(s)	3	3
<b>Todo rojo</b>	(s)	1	1
<b>Longitud de Ciclo</b>	(s)	60	60

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-16 Esquema de fases ciclo 60s



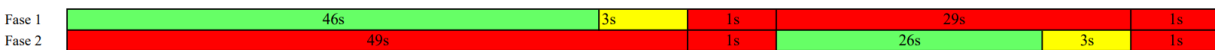
Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-3 Fases del ciclo 80s

Fases		1	2
<b>Accesos</b>		1,3	2,4
<b>Tiempo de verde</b>	(s)	46	26
<b>Tiempo de amarillo</b>	(s)	3	3
<b>Todo rojo</b>	(s)	1	1
<b>Longitud de Ciclo</b>	(s)	80	80

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-17 Esquema de fases ciclo 80s



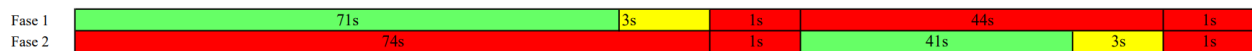
Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-4 Fases del ciclo 120s

Fases		1	2
<b>Accesos</b>		1,3	2,4
<b>Tiempo de verde</b>	(s)	71	41
<b>Tiempo de amarillo</b>	(s)	3	3
<b>Todo rojo</b>	(s)	1	1
<b>Longitud de Ciclo</b>	(s)	120	120

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-18 Esquema de fases ciclo 120s



Fuente: Elaboración propia

## 2.8 Levantamiento y procesamiento de datos de tráfico

### 2.8.1 Metodología de conteo

El levantamiento de datos se realizó mediante conteo manual de vehículos, registrando los movimientos que ingresan a la intersección desde cada uno de los accesos previamente identificados. Este procedimiento consistió en la observación del flujo vehicular y el registro sistemático de los vehículos que circulaban por cada movimiento durante el periodo de estudio.

El conteo se efectuó durante un intervalo continuo de 12 horas, comprendido entre las 06:00 y las 18:00 del día miércoles 26 de noviembre de 2025, con el objetivo de captar las variaciones en la demanda vehicular a lo largo del día. Para facilitar el registro y posterior procesamiento de la información, los volúmenes de tránsito fueron organizados en intervalos de 15 minutos, lo cual permitió analizar con mayor detalle las fluctuaciones del flujo vehicular en la intersección.

Para el proceso de levantamiento de información se utilizó una cámara de conteo de tráfico, la cual permitió registrar en video el comportamiento de la circulación vehicular durante el periodo de estudio. El uso de este recurso facilitó la revisión posterior del material grabado, permitiendo verificar los registros realizados y mejorar la precisión en el conteo de los vehículos que circulan por cada uno de los accesos de la intersección.

Figura 2-20 Instalación de cámara



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-19 Cámara instalada



Fuente: Elaboración propia

## 2.8.2 Determinación de la hora pico

Una vez realizado el levantamiento de información, los datos obtenidos fueron organizados y procesados con el fin de identificar los periodos de mayor demanda de tráfico en la intersección. Para ello se calcularon los volúmenes vehiculares correspondientes a cada intervalo de 15 minutos, los cuales posteriormente fueron agrupados para determinar los volúmenes horarios registrados durante el periodo de estudio.

A partir de este análisis se identificó la hora pico de la intersección, definida como el periodo de una hora consecutiva en el cual se registra el mayor volumen de vehículos durante el intervalo total de conteo. Este procedimiento permitió determinar el periodo crítico de operación del sistema, el cual fue utilizado posteriormente para el análisis de las condiciones de funcionamiento de la intersección.

Tabla 2-5 Conteo volumétrico acceso 1

Hora	Vehículos Livianos	Buses	Camiones	Motos	Bicicleta	Peatones	Volumen Total	Volumen Total por Hora
6h00-6h15	57	1	4	2	1	3	64	1204
6h15-6h30	171	0	4	6	0	1	181	1507
6h30-6h45	386	0	7	21	0	0	414	1678
6h45-7h00	511	0	3	31	0	2	545	1738
7h00-7h15	330	0	6	31	0	2	367	1717
7h15-7h30	331	0	2	19	0	4	352	1781
7h30-7h45	437	0	6	31	2	0	474	1816
7h45-8h00	490	1	7	26	2	3	524	1714
8h00-8h15	393	0	9	29	0	5	431	1571
8h15-8h30	356	1	5	25	0	1	387	1480
8h30-8h45	330	0	6	36	0	1	372	1393
8h45-9h00	342	0	7	32	1	8	381	1310
9h00-9h15	309	2	8	21	0	2	340	1288
9h15-9h30	264	1	5	30	0	1	300	1268
9h30-9h45	261	0	7	21	0	0	289	1230
9h45-10h00	325	0	10	24	0	4	359	1211
10h00-10h15	276	1	8	35	0	2	320	1157
10h15-10h30	232	0	5	25	1	0	262	1131
10h30-10h45	237	0	11	22	0	3	270	1135
10h45-11h00	264	0	8	33	0	3	305	1144
11h00-11h15	246	1	9	38	0	1	294	1138
11h15-11h30	233	0	11	22	0	1	266	1153
11h30-11h45	255	0	11	13	1	0	279	1192
11h45-12h00	260	1	11	27	0	2	299	1239
12h00-12h15	268	0	7	34	0	1	309	1309
12h15-12h30	269	0	9	27	0	1	305	1372
12h30-12h45	275	0	7	44	0	2	326	1404
12h45-13h00	332	1	2	34	0	4	369	1451
13h00-13h15	327	0	5	40	1	1	372	1375
13h15-13h30	292	1	9	35	0	0	337	1317
13h30-13h45	333	1	6	33	0	2	373	1263
13h45-14h00	272	0	4	17	0	3	293	1246
14h00-14h15	280	0	6	28	1	4	314	1325
14h15-14h30	242	1	11	29	0	5	283	1392
14h30-14h45	303	1	13	39	1	1	356	1442
14h45-15h00	331	0	6	35	0	0	372	1438
15h00-15h15	348	0	9	24	0	1	381	1412
15h15-15h30	292	1	5	35	0	4	333	1334
15h30-15h45	308	0	7	37	0	2	352	1359
15h45-16h00	307	0	8	31	0	2	346	1327

<b>16h00-16h15</b>	261	1	4	37	0	1	303	1327
<b>16h15-16h30</b>	325	0	6	27	0	1	358	1397
<b>16h30-16h45</b>	285	0	6	29	0	2	320	1351
<b>16h45-17h00</b>	312	0	9	25	0	4	346	1388
<b>17h00-17h15</b>	330	0	9	34	1	0	373	1375
<b>17h15-17h30</b>	278	1	6	27	0	6	312	1002
<b>17h30-17h45</b>	309	0	6	42	0	8	357	690
<b>17h45-18h00</b>	295	0	9	29	0	4	333	333

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-6 Conteo volumétrico acceso 2

<b>Hora</b>	<b>Vehículos Livianos</b>	<b>Buses</b>	<b>Camiones</b>	<b>Motos</b>	<b>Bicicleta</b>	<b>Peatones</b>	<b>Volumen Total</b>	<b>Volumen Total por Hora</b>
<b>6h00-6h15</b>	33	0	0	0	0	2	33	326
<b>6h15-6h30</b>	49	1	3	5	0	6	58	422
<b>6h30-6h45</b>	96	0	1	13	1	6	110	506
<b>6h45-7h00</b>	106	2	4	13	2	12	125	517
<b>7h00-7h15</b>	119	1	2	7	2	7	129	504
<b>7h15-7h30</b>	132	0	2	8	3	13	142	498
<b>7h30-7h45</b>	112	0	3	6	1	22	121	483
<b>7h45-8h00</b>	94	0	1	17	3	21	112	491
<b>8h00-8h15</b>	103	1	5	14	8	17	123	482
<b>8h15-8h30</b>	106	0	10	11	3	5	127	480
<b>8h30-8h45</b>	113	0	6	10	2	13	129	472
<b>8h45-9h00</b>	98	0	0	5	5	11	103	439
<b>9h00-9h15</b>	108	1	7	5	1	6	121	437
<b>9h15-9h30</b>	110	0	4	5	2	6	119	407
<b>9h30-9h45</b>	78	0	7	11	2	3	96	383
<b>9h45-10h00</b>	89	0	5	7	0	6	101	380
<b>10h00-10h15</b>	79	0	5	7	2	10	91	378
<b>10h15-10h30</b>	77	1	10	7	2	11	95	382
<b>10h30-10h45</b>	78	0	8	7	0	7	93	402
<b>10h45-11h00</b>	87	0	6	6	4	3	99	407
<b>11h00-11h15</b>	80	0	7	8	3	9	95	434
<b>11h15-11h30</b>	103	1	4	7	0	10	115	452
<b>11h30-11h45</b>	83	0	6	9	1	11	98	443
<b>11h45-12h00</b>	100	1	6	19	1	10	126	463
<b>12h00-12h15</b>	99	0	5	9	3	2	113	465
<b>12h15-12h30</b>	91	1	6	8	1	13	106	466
<b>12h30-12h45</b>	105	0	2	11	1	11	118	483
<b>12h45-13h00</b>	113	0	7	8	2	6	128	492
<b>13h00-13h15</b>	95	1	3	15	2	11	114	486
<b>13h15-13h30</b>	110	0	4	9	3	7	123	497
<b>13h30-13h45</b>	109	2	6	10	3	13	127	502

13h45-14h00	107	0	3	12	2	0	122	494
14h00-14h15	114	2	2	7	0	9	125	487
14h15-14h30	111	1	4	12	2	4	128	484
14h30-14h45	100	2	5	12	4	9	119	476
14h45-15h00	105	1	2	7	2	8	115	488
15h00-15h15	101	1	4	16	0	3	122	494
15h15-15h30	105	1	5	9	1	2	120	479
15h30-15h45	111	0	3	17	1	10	131	467
15h45-16h00	100	1	8	12	4	4	121	440
16h00-16h15	92	0	7	8	4	2	107	437
16h15-16h30	97	0	6	5	3	3	108	460
16h30-16h45	85	1	6	12	1	6	104	480
16h45-17h00	99	1	6	12	1	6	118	525
17h00-17h15	111	0	6	13	4	20	130	539
17h15-17h30	113	1	6	8	1	6	128	409
17h30-17h45	130	0	4	15	1	15	149	281
17h45-18h00	112	1	6	13	5	26	132	132

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-7 Conteo volumétrico acceso 3

Hora	Vehículos Livianos	Buses	Camiones	Motos	Bicicleta	Peatones	Volumen Total	Volumen Total por Hora
6h00-6h15	40	1	3	5	0	0	49	739
6h15-6h30	62	1	1	9	5	0	73	1092
6h30-6h45	220	1	2	8	0	0	231	1280
6h45-7h00	361	1	6	18	5	0	386	1286
7h00-7h15	371	1	9	21	2	0	402	1186
7h15-7h30	241	4	5	11	0	0	261	1062
7h30-7h45	212	2	8	15	1	0	237	1063
7h45-8h00	238	1	7	40	7	0	286	1078
8h00-8h15	246	1	11	20	0	0	278	1061
8h15-8h30	240	5	6	11	0	0	262	1037
8h30-8h45	227	1	12	12	2	0	252	1030
8h45-9h00	237	2	7	23	3	0	269	1028
9h00-9h15	215	3	12	24	1	0	254	1033
9h15-9h30	231	3	6	15	0	0	255	1026
9h30-9h45	226	1	8	15	0	0	250	1028
9h45-10h00	239	3	5	27	1	0	274	1035
10h00-10h15	210	1	4	32	1	0	247	1027
10h15-10h30	224	1	11	21	0	1	257	1099
10h30-10h45	211	4	12	30	2	0	257	1144
10h45-11h00	232	2	4	28	3	1	266	1119
11h00-11h15	271	1	14	33	1	0	319	1153
11h15-11h30	259	2	11	30	0	0	302	1134

11h30-11h45	202	2	3	25	1	0	232	1194
11h45-12h00	259	1	11	29	0	2	300	1368
12h00-12h15	255	2	8	35	2	1	300	1476
12h15-12h30	305	4	11	42	0	0	362	1559
12h30-12h45	350	2	6	48	0	0	406	1649
12h45-13h00	349	2	9	48	1	0	408	1606
13h00-13h15	338	1	10	34	3	1	383	1581
13h15-13h30	401	4	8	39	2	0	452	1491
13h30-13h45	329	5	5	24	0	0	363	1287
13h45-14h00	326	4	11	42	4	0	383	1185
14h00-14h15	266	4	6	17	2	2	293	1055
14h15-14h30	209	3	6	30	0	1	248	1031
14h30-14h45	231	1	8	21	0	1	261	1040
14h45-15h00	216	2	7	28	0	1	253	1059
15h00-15h15	228	1	13	27	0	0	269	1089
15h15-15h30	220	4	2	31	1	2	257	1146
15h30-15h45	243	1	5	31	0	0	280	1196
15h45-16h00	236	2	13	32	0	2	283	1254
16h00-16h15	290	1	9	26	0	3	326	1340
16h15-16h30	261	2	11	33	3	2	307	1411
16h30-16h45	295	2	12	29	0	0	338	1532
16h45-17h00	338	2	10	19	2	1	369	1572
17h00-17h15	357	1	8	31	0	0	397	1658
17h15-17h30	374	1	8	45	1	1	428	1261
17h30-17h45	330	2	7	39	2	1	378	833
17h45-18h00	398	4	14	39	2	0	455	455

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-8 Conteo volumétrico acceso 4

Hora	Vehículos Livianos	Buses	Camiones	Motos	Bicicleta	Peatones	Volumen Total	Volumen Total por Hora
6h00-6h15	28	1	1	2	0	0	32	277
6h15-6h30	58	4	1	6	0	1	69	331
6h30-6h45	104	1	1	10	0	0	116	350
6h45-7h00	42	2	2	14	0	0	60	298
7h00-7h15	75	1	2	8	0	0	86	342
7h15-7h30	78	1	2	7	0	1	88	342
7h30-7h45	57	0	0	7	0	2	64	338
7h45-8h00	90	2	3	9	0	0	104	372
8h00-8h15	76	2	1	7	4	2	86	357
8h15-8h30	71	2	4	7	3	2	84	367
8h30-8h45	89	1	3	5	2	0	98	369
8h45-9h00	79	0	2	8	10	3	89	355

9h00-9h15	80	1	8	7	1	0	96	372
9h15-9h30	74	1	5	6	2	0	86	377
9h30-9h45	77	2	1	4	0	0	84	371
9h45-10h00	95	0	5	6	6	0	106	371
10h00-10h15	87	2	5	7	2	0	101	360
10h15-10h30	77	0	1	2	1	0	80	346
10h30-10h45	71	1	2	10	2	2	84	347
10h45-11h00	76	1	7	11	2	1	95	343
11h00-11h15	67	1	10	9	2	2	87	324
11h15-11h30	67	3	4	7	1	1	81	310
11h30-11h45	72	0	4	4	1	0	80	304
11h45-12h00	66	0	3	7	5	0	76	301
12h00-12h15	61	3	3	6	0	0	73	317
12h15-12h30	59	1	7	8	3	0	75	331
12h30-12h45	66	1	6	4	1	1	77	331
12h45-13h00	77	2	5	8	1	4	92	333
13h00-13h15	72	0	1	14	3	1	87	329
13h15-13h30	64	1	3	7	1	2	75	308
13h30-13h45	69	2	1	7	0	3	79	311
13h45-14h00	76	1	6	5	0	2	88	337
14h00-14h15	57	2	3	4	2	2	66	341
14h15-14h30	64	3	4	7	2	1	78	358
14h30-14h45	87	0	7	11	3	0	105	360
14h45-15h00	81	3	4	4	5	0	92	338
15h00-15h15	71	0	6	6	2	0	83	336
15h15-15h30	65	0	3	12	0	1	80	346
15h30-15h45	75	0	4	4	1	2	83	358
15h45-16h00	74	1	3	12	0	1	90	354
16h00-16h15	77	2	4	10	2	5	93	345
16h15-16h30	73	2	6	11	3	4	92	343
16h30-16h45	72	0	3	4	1	3	79	333
16h45-17h00	70	3	1	7	4	2	81	353
17h00-17h15	73	0	3	15	2	0	91	358
17h15-17h30	72	1	2	7	3	1	82	267
17h30-17h45	84	3	1	11	6	4	99	185
17h45-18h00	73	4	2	7	1	1	86	86

Fuente: Elaboración propia

Las horas pico que se determinaron por acceso se presentan en la Tabla 2-9

*Tabla 2-9 Hora pico por acceso*

<b>Acceso</b>	<b>Hora pico</b>
<b>1</b>	7h30-8h30
<b>2</b>	17h00-18h00
<b>3</b>	17h00-18h00
<b>4</b>	9h15-10h15

*Fuente: Elaboración propia*

## **2.9 Estimación del flujo de saturación**

Una vez obtenida la información correspondiente a los volúmenes de tránsito y a las características geométricas de la intersección, se procede a estimar el flujo de saturación para cada uno de los accesos analizados. Este cálculo se realiza aplicando el procedimiento descrito previamente, siguiendo la metodología establecida en el HCM 2010.

### **2.9.1 Identificación de grupo de carriles**

Con el fin de realizar el análisis operacional de la intersección, se procedió a identificar los grupos de carriles correspondientes a cada uno de los accesos. Esta clasificación permite organizar los movimientos vehiculares que comparten un mismo carril y establecer la base para los cálculos posteriores relacionados con el flujo de saturación y demás parámetros operacionales.

Para ello, los carriles de cada acceso fueron agrupados de acuerdo con los movimientos permitidos dentro de la intersección, considerando las condiciones observadas durante el levantamiento de información en campo. La distribución de estos grupos de carriles se presenta en la siguiente tabla.

*Tabla 2-10 Movimientos vehiculares por grupo de carriles*

<b>Acceso</b>	<b>Sentido</b>	<b>Numero de carril</b>	<b>Grupo de carriles en el acceso</b>
<b>Av. 12 de Octubre</b>	S-N	1	Frontal (TH)
		2	Frontal (TH)
<b>Av. Primero de Mayo</b>	E-O	1	Frontal (TH) +Derechos (RT)
<b>Av. 12 de Octubre</b>	N-S	1	Frontal (TH)
		2	Frontal (TH) +Derechos (RT)
<b>Av. Primero de Mayo</b>	O-E	1	Frontal (TH)

*Fuente: Elaboración propia*

## 2.9.2 Resultados del flujo de saturación

Una vez identificados los grupos de carriles en cada acceso de la intersección, se procedió a realizar el cálculo del flujo de saturación ajustado, considerando las características geométricas y operacionales observadas en campo. Para ello se aplicaron los factores de ajuste correspondientes a cada grupo de carriles, obteniendo así los valores finales que representan la capacidad de descarga vehicular en condiciones de saturación.

Los resultados obtenidos para cada acceso y grupo de carriles se presentan de forma resumida en la Tabla 2-12, Tabla 2-14, Tabla 2-16, Tabla 2-18, la cual muestra el flujo de saturación final que será utilizado posteriormente en el análisis operacional de la intersección.

Tabla 2-11 Datos de entrada acceso 1

Parámetro	Símbolo	[Unidad]	Valor	
<b>Grupo de carriles</b>	-	-	TH	TH
<b>Ancho de carril</b>	W	[m]	5.05	5.05
<b>Factor de equivalencia</b>	E <sub>T</sub>	[veh_pas/camion.]	2	2
<b>Porcentaje de vehículos pesados del grupo</b>	HV	[%]	1.60	1.60
<b>Pendiente en una aproximación de grupo de carriles</b>	G	[%]	1.55	1.55
<b>Número de maniobras de parqueo</b>	N <sub>m</sub>	[ad.]	0	0
<b>Tasa de flujo de demanda no ajustada de grupo de carril</b>	v <sub>g</sub>	[veh./h]	1816	1816
<b>Tasa de flujo de demanda no ajustada del carril con el volumen más alto del grupo</b>	v <sub>g1</sub>	[veh./h]	849	967
<b>Área</b>	A	[-]	Otras áreas	Otras áreas
<b>Número de buses que paran</b>	N <sub>B</sub>	[ad.]	0	0
<b>Proporción de vueltas</b>	P <sub>LT</sub> /P <sub>RT</sub>	[ad.]	0.00	0.00
<b>Tipo de giro</b>	-	[ad.]	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-12 Flujo de saturación acceso 1

Parámetro	Símbolo	[Unidad]	Valor	
<b>Tasa de saturación ideal por carril</b>	S <sub>o</sub>	[veh./hora verde/carril]	1900	1900
<b>Número de carriles del grupo de carriles</b>	N	[ad.]	2	2
<b>Factor</b>	<b>Símbolo</b>	<b>[Unidad]</b>		

<b>Ancho de carril</b>	$f_w$		1.16	1.16
<b>Vehículos pesados</b>	$f_{HV}$		0.98	0.98
<b>Pendiente</b>	$f_g$		0.99	0.99
<b>Aparcamiento</b>	$f_p$		1.00	1.00
<b>Bloqueo de autobús</b>	$f_{bb}$		1.00	1.00
<b>Tipo de área</b>	$f_a$	[ad.]	1.00	1.00
<b>Utilización de carril</b>	$f_{LU}$		0.94	0.94
<b>Giros izquierdos</b>	$f_{LT}$		1.00	1.00
<b>Giros derechos</b>	$f_{RT}$		1.00	1.00
<b>Bloqueo izquierdo de bicicletas y peatones</b>	$f_{Lpb}$		1.00	1.00
<b>Bloqueo derecho de bicicletas y peatones</b>	$f_{Rpb}$		1.00	1.00
<b>Tasa del flujo de saturación del grupo de carriles</b>	$S_i$	[veh./hora verde]	2024	2024

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-13 Datos de entrada acceso 2

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>[Unidad]</b>	<b>Valor</b>	
<b>Grupo de carriles</b>	-	-	TH + RT	
<b>Ancho de carril</b>	W	[m]	4.35	
<b>Factor de equivalencia</b>	$E_T$	[veh_pas/camion.]	2	
<b>Porcentaje de vehículos pesados del grupo</b>	HV	[%]	4.45	
<b>Pendiente en una aproximación de grupo de carriles</b>	G	[%]	3.75	
<b>Número de maniobras de parqueo</b>	$N_m$	[ad.]	0	
<b>Tasa de flujo de demanda no ajustada de grupo de carril</b>	$v_g$	[veh./h]	539	
<b>Tasa de flujo de demanda no ajustada del carril con el volumen más alto del grupo</b>	$v_{g1}$	[veh./h]	539	
<b>Área</b>	A	[-]	Otras áreas	
<b>Número de buses que paran</b>	$N_B$	[ad.]	0	
<b>Proporción de vueltas</b>	$P_{LT}/P_{RT}$	[ad.]	0.00	0.27
<b>Tipo de giro</b>	-	[ad.]	-	Carril Compartido

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-14 Flujo de saturación acceso 2

Parámetro	Símbolo	[Unidad]	Valor
Tasa de saturación ideal por carril	$S_o$	[veh./hora verde/carril]	1900
Número de carriles del grupo de carriles	N	[ad.]	1
Factor	Símbolo	[Unidad]	
Ancho de carril	$f_w$		1.08
Vehículos pesados	$f_{HV}$		0.96
Pendiente	$f_g$		0.98
Aparcamiento	$f_p$		1.00
Bloqueo de autobús	$f_{bb}$		1.00
Tipo de área	$f_a$	[ad.]	1.00
Utilización de carril	$f_{LU}$		1.00
Giros izquierdos	$f_{LT}$		1.00
Giros derechos	$f_{RT}$		0.96
Bloqueo izquierdo de bicicletas y peatones	$f_{Lpb}$		1.00
Bloqueo derecho de bicicletas y peatones	$f_{Rpb}$		1.00
Tasa del flujo de saturación del grupo de carriles	$S_i$	[veh./hora verde]	1855

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-15 Datos de entrada acceso 3

Parámetro	Símbolo	[Unidad]	Valor	
Grupo de carriles	-	-	TH	TH+RT
Ancho de carril	W	[m]	3.5	3.5
Factor de equivalencia	$E_T$	[veh_pas/camion.]	2	2
Porcentaje de vehículos pesados del grupo	HV	[%]	2.71	2.71
Pendiente en una aproximación de grupo de carriles	G	[%]	-1.71	-1.71
Número de maniobras de parqueo	$N_m$	[ad.]	0	0
Tasa de flujo de demanda no ajustada de grupo de carril	$v_g$	[veh./h]	779	879
Tasa de flujo de demanda no ajustada del carril	$v_{g1}$	[veh./h]	779	879

con el volumen más alto del grupo

Área	A	[-]	Otras áreas	Otras áreas
Número de buses que paran	$N_B$	[ad.]	0	0
Proporción de vueltas	$P_{LT}/P_{RT}$	[ad.]	0	0.13
Tipo de giro	-	[ad.]	-	Carril compartido

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-16 Flujo de saturación acceso 3

Parámetro	Símbolo	[Unidad]	Valor	
Tasa de saturación ideal por carril	$S_o$	[veh./hora verde/carril]	1900	1900
Número de carriles del grupo de carriles	N	[ad.]	1	1
Factor	Símbolo	[Unidad]		
Ancho de carril	$f_w$		0.99	0.99
Vehículos pesados	$f_{HV}$		0.97	0.97
Pendiente	$f_g$		1.01	1.01
Aparcamiento	$f_p$		1.00	1.00
Bloqueo de autobús	$f_{bb}$		1.00	1.00
Tipo de área	$f_a$	[ad.]	1.00	1.00
Utilización de carril	$f_{LU}$		1.00	1.00
Giros izquierdos	$f_{LT}$		1.00	1.00
Giros derechos	$f_{RT}$		1.00	0.98
Bloqueo izquierdo de bicicletas y peatones	$f_{Lpb}$		1.00	1.00
Bloqueo derecho de bicicletas y peatones	$f_{Rpb}$		1.00	1.00
Tasa del flujo de saturación del grupo de carriles	$S_i$	[veh./hora verde]	1845	1809

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-17 Datos de entrada acceso 4

Parámetro	Símbolo	[Unidad]	Valor
Grupo de carriles	-	-	TH
Ancho de carril	W	[m]	3.75
Factor de equivalencia	$E_T$	[veh_pas/camion.]	2
Porcentaje de vehículos pesados del grupo	HV	[%]	5.57

<b>Pendiente en una aproximación de grupo de carriles</b>	G	[%]		3.057
<b>Número de maniobras de parqueo</b>	$N_m$	[ad.]		0
<b>Tasa de flujo de demanda no ajustada de grupo de carril</b>	$v_g$	[veh./h]		377
<b>Tasa de flujo de demanda no ajustada del carril con el volumen más alto del grupo</b>	$v_{g1}$	[veh./h]		377
<b>Área</b>	A	[-]		Otras áreas
<b>Número de buses que paran</b>	$N_B$	[ad.]		0
<b>Proporción de vueltas</b>	$P_{LT}/P_{RT}$	[ad.]	0.00	0.00
<b>Tipo de giro</b>	-	[ad.]	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-18 Flujo de saturación acceso 4

Parámetro	Símbolo	[Unidad]	Valor
<b>Tasa de saturación ideal por carril</b>	$S_o$	[veh./hora verde/carril]	1900
<b>Número de carriles del grupo de carriles</b>	N	[ad.]	1
Factor	Símbolo	[Unidad]	
<b>Ancho de carril</b>	$f_w$		1.02
<b>Vehículos pesados</b>	$f_{HV}$		0.95
<b>Pendiente</b>	$f_g$		0.98
<b>Aparcamiento</b>	$f_p$		1.00
<b>Bloqueo de autobús</b>	$f_{bb}$		1.00
<b>Tipo de área</b>	$f_a$	[ad.]	1.00
<b>Utilización de carril</b>	$f_{LU}$		1.00
<b>Giros izquierdos</b>	$f_{LT}$		1.00
<b>Giros derechos</b>	$f_{RT}$		0.96
<b>Bloqueo izquierdo de bicicletas y peatones</b>	$f_{Lpb}$		1.00
<b>Bloqueo derecho de bicicletas y peatones</b>	$f_{Rpb}$		1.00
<b>Tasa del flujo de saturación del grupo de carriles</b>	$S_i$	[veh./hora verde]	1802

Fuente: Elaboración propia

## 2.10 Evaluación operacional de la intersección

### 2.10.1 Análisis de capacidad

En esta etapa del análisis se examina el desempeño funcional de los distintos accesos que conforman la intersección, tomando como referencia los grupos de carriles establecidos con anterioridad. Para el desarrollo de esta evaluación se consideran tanto los flujos de saturación calculados previamente como los volúmenes vehiculares registrados durante el periodo horario objeto de estudio.

Con base en dichos parámetros se procede a calcular la relación volumen/capacidad ( $X$ ) correspondiente a cada grupo de carriles, variable que permite medir el nivel de aprovechamiento de la capacidad operativa existente dentro de la intersección. Asimismo, el tiempo de ciclo asignado a cada acceso fue definido considerando la hora de máxima demanda vehicular identificada en la Tabla 2-9.

Tabla 2-19 Datos de entrada volumen/capacidad acceso 1

Factor	Símbolo	[Unidad]	Valor	
<b>Grupo de carriles</b>			TH	TH
<b>Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles i</b>	$g_i$	[s]	38,07	38.67
<b>Tiempo de verde</b>	$t_v$	[s]	46.00	46.00
<b>Tiempo de amarillo</b>	$t_a$	[s]	3.00	3.00
<b>Tiempo de rojo</b>	$t_r$	[s]	31.00	31.00
<b>Longitud de ciclo</b>	$C$	[s]	80.00	80.00
<b>Relación verde efectivo para longitud de ciclo</b>	$g_i/C$	[ad.]	0.476	0.483
<b>Proporción de vehículos en fase verde</b>	$P$	[ad.]	0.32	0.32
<b>Relación del pelotón</b>	$R_p$	[ad.]	0.67	0.67

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-20 Relación volumen/capacidad acceso 1

Factor	Símbolo	[Unidad]	Valor	
<b>Grupo de carriles</b>	-	-	TH	TH
<b>Capacidad del grupo de carriles</b>	$c_i$	[veh./h]	964	979
<b>Tasa de flujo ajustado del grupo</b>	$v_i$	[veh./h]	849	967
<b>Relación volumen/capacidad</b>	$X_i$	[ad.]	0.88	0.99

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-21 Datos de entrada volumen/capacidad acceso 2

Factor	Símbolo	[Unidad]	Valor
<b>Grupo de carriles</b>			TH+RT
<b>Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles i</b>	$g_i$	[s]	35.49
<b>Tiempo de verde</b>	$t_v$	[s]	41.00
<b>Tiempo de amarillo</b>	$t_a$	[s]	3.00
<b>Tiempo de rojo</b>	$t_r$	[s]	76.00
<b>Longitud de ciclo</b>	C	[s]	120.00
<b>Relación verde efectivo para longitud de ciclo</b>	$g_i/C$	[ad.]	0.30
<b>Proporción de vehículos en fase verde</b>	P	[ad.]	0.30
<b>Relación del pelotón</b>	$R_p$	[ad.]	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-22 Relación volumen/capacidad acceso 2

Factor	Símbolo	[Unidad]	Valor
<b>Grupo de carriles</b>	-	-	TH+RT
<b>Capacidad del grupo de carriles</b>	$c_i$	[veh./h]	549
<b>Tasa de flujo ajustado del grupo</b>	$v_i$	[veh./h]	539
<b>Relación volumen/capacidad</b>	$X_i$	[ad.]	0.982

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-23 Datos de entrada volumen/capacidad acceso 3

Factor	Símbolo	[Unidad]	Valor	
<b>Grupo de carriles</b>			TH	TH+RT
<b>Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles i</b>	$g_i$	[s]	63.96	63.96
<b>Tiempo de verde</b>	$t_v$	[s]	46	46
<b>Tiempo de amarillo</b>	$t_a$	[s]	3.00	3.00
<b>Tiempo de rojo</b>	$t_r$	[s]	71.00	71.00
<b>Longitud de ciclo</b>	C	[s]	120.00	120.00
<b>Relación verde efectivo para longitud de ciclo</b>	$g_i/C$	[ad.]	0.533	0.533
<b>Proporción de vehículos en fase verde</b>	P	[ad.]	0.533	0.533
<b>Relación del pelotón</b>	$R_p$	[ad.]	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-24 Relación volumen/ capacidad acceso 3

Factor	Símbolo	[Unidad]	Valor	
<b>Grupo de carriles</b>	-	-	TH	TH + RT
<b>Capacidad del grupo de carriles</b>	$c_i$	[veh./h]	984	965
<b>Tasa de flujo ajustado del grupo</b>	$v_i$	[veh./h]	779	879
<b>Relación volumen/capacidad</b>	$X_i$	[ad.]	0.79	0.91

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-25 Datos de entrada volumen/capacidad acceso 4

Factor	Símbolo	[Unidad]	Valor	
<b>Grupo de carriles</b>			TH	
<b>Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles i</b>	$g_i$	[s]	13.26	
<b>Tiempo de verde</b>	$t_v$	[s]	21.00	
<b>Tiempo de amarillo</b>	$t_a$	[s]	3.00	
<b>Tiempo de rojo</b>	$t_r$	[s]	36.00	
<b>Longitud de ciclo</b>	$C$	[s]	60.00	
<b>Relación verde efectivo para longitud de ciclo</b>	$g_i/C$	[ad.]	0.22	
<b>Proporción de vehículos en fase verde</b>	$P$	[ad.]	0.22	
<b>Relación del pelotón</b>	$R_p$	[ad.]	1.00	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-26 Relación volumen/capacidad acceso 4

Factor	Símbolo	[Unidad]	Valor	
<b>Grupo de carriles</b>	-	-	TH	
<b>Capacidad del grupo de carriles</b>	$c_i$	[veh./h]	398	
<b>Tasa de flujo ajustado del grupo</b>	$v_i$	[veh./h]	377	
<b>Relación volumen/capacidad</b>	$X_i$	[ad.]	0.95	

Fuente: Elaboración propia

### 2.10.2 Cálculo de demoras

Tabla 2-27 Factores para el cálculo de demoras acceso 1

Parámetro	Símbolo	[Unidad]	Valor	
<b>Grupo de carriles</b>	-	-	TH	TH
<b>Duración del período de análisis</b>	$T$	[h]	0.25	0.25
<b>Factor demora incremental</b>	$k$	[ad.]	0.50	0.50

<b>Factor de ajuste por entradas de la intersección corriente arriba</b>	I	[ad.]	1.00	1.00
<b>Cola inicial al inicio del periodo T</b>	Q <sub>b</sub>	[veh.]	2.00	2.00
<b>Duración de la demanda insatisfecha en T</b>	t	[h]	0.017	0.167
<b>Parámetro de demora</b>	u	[ad.]	0.00	0.00
<b>Factor de ajuste suplementario por grupos vehiculares que llegan en el verde</b>	f <sub>PA</sub>	[ad.]	0.93	0.93
<b>Factor de ajuste por coordinación</b>	PF	[ad.]	1.21	1.21

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-28 Demoras acceso 1

Factor	Símbolo	[Unidad]	Valor	Valor
<b>Grupo de carriles</b>	-	-	TH	TH
<b>Demora uniforme</b>	d <sub>1</sub>	[s/veh]	18.92	20.43
<b>Demora incremental</b>	d <sub>2</sub>	[s/veh]	11.37	25.96
<b>Demora por cola inicial</b>	d <sub>3</sub>	[s/veh]	0.26	2.45
<b>Demora en los accesos</b>	d	[s/veh]	34.50	53.28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-29 Factores para el cálculo de demoras acceso 2

Parámetro	Símbolo	[Unidad]	Valor
<b>Grupo de carriles</b>	-	-	TH+RT
<b>Duración del período de análisis</b>	T	[h]	0.25
<b>Factor demora incremental</b>	k	[ad.]	0.50
<b>Factor de ajuste por entradas de la intersección corriente arriba</b>	I	[ad.]	1.00
<b>Cola inicial al inicio del periodo T</b>	Q <sub>b</sub>	[veh.]	1.00
<b>Duración de la demanda insatisfecha en T</b>	t	[h]	0.10
<b>Parámetro de demora</b>	u	[ad.]	0.00
<b>Factor de ajuste suplementario por grupos vehiculares que llegan en el verde</b>	f <sub>PA</sub>	[ad.]	1.00
<b>Factor de ajuste por coordinación</b>	PF	[ad.]	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-30 Demora acceso 2

Factor	Símbolo	[Unidad]	Valor
<b>Grupo de carriles</b>	-	-	TH+RT

<b>Demora uniforme</b>	$d_1$	[s/veh]	41.93
<b>Demora incremental</b>	$d_2$	[s/veh]	34.18
<b>Demora por cola inicial</b>	$d_3$	[s/veh]	1.31
<b>Demora en los accesos</b>	$d$	[s/veh]	77.43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-31 Factores para el cálculo de las demoras acceso 3

Parámetro	Símbolo	[Unidad]	Valor	
<b>Grupo de carriles</b>	-	-	TH	TH+RT
<b>Duración del período de análisis</b>	T	[h]	0.25	0.25
<b>Factor demora incremental</b>	k	[ad.]	0.50	0.5
<b>Factor de ajuste por entradas de la intersección corriente arriba</b>	I	[ad.]	1.00	1.00
<b>Cola inicial al inicio del periodo T</b>	$Q_b$	[veh.]	2.00	2.00
<b>Duración de la demanda insatisfecha en T</b>	t	[h]	0.010	0.023
<b>Parámetro de demora</b>	u	[ad.]	0.00	0.00
<b>Factor de ajuste suplementario por grupos vehiculares que llegan en el verde</b>	$f_{PA}$	[ad.]	1.00	1.00
<b>Factor de ajuste por coordinación</b>	PF	[ad.]	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-32 Demoras acceso 3

Factor	Símbolo	[Unidad]	Valor	
<b>Grupo de carriles</b>	-	-	TH	TH+RT
<b>Demora uniforme</b>	$d_1$	[s/veh]	22.64	25.43
<b>Demora incremental</b>	$d_2$	[s/veh]	6.50	14.10
<b>Demora por cola inicial</b>	$d_3$	[s/veh]	0.14	0.35
<b>Demora en los accesos</b>	$d$	[s/veh]	29.28	39.88

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-33 Factores para el cálculo de demoras acceso 4

Parámetro	Símbolo	[Unidad]	Valor	
<b>Grupo de carriles</b>	-	-	TH	
<b>Duración del período de análisis</b>	T	[h]	0.25	
<b>Factor demora incremental</b>	k	[ad.]	0.50	
<b>Factor de ajuste por entradas de la intersección corriente arriba</b>	I	[ad.]	1.00	

<b>Cola inicial al inicio del periodo T</b>	$Q_b$	[veh.]	1.00
<b>Duración de la demanda insatisfecha en T</b>	$t$	[h]	0.05
<b>Parámetro de demora</b>	$u$	[ad.]	0.00
<b>Factor de ajuste suplementario por grupos vehiculares que llegan en el verde</b>	$f_{PA}$	[ad.]	1.00
<b>Factor de ajuste por coordinación</b>	PF	[ad.]	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-34 Demoras acceso 4

<b>Factor</b>	<b>Símbolo</b>	<b>[Unidad]</b>	<b>Valor</b>
<b>Grupo de carriles</b>	-	-	TH
<b>Demora uniforme</b>	$d_1$	[s/veh]	23.03
<b>Demora incremental</b>	$d_2$	[s/veh]	33.61
<b>Demora por cola inicial</b>	$d_3$	[s/veh]	0.86
<b>Demora en los accesos</b>	$d$	[s/veh]	57.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-35 Demora global de los accesos

<b>Factor</b>	<b>Símbolo</b>	<b>[Unidad]</b>	<b>Valor</b>
<b>Demora en los accesos</b>	$d_i$	[s/veh]	46.31

Fuente: Elaboración propia

### 2.10.3 Niveles de servicio

Una vez calculadas las demoras promedio para cada acceso de la intersección, se procedió a determinar el nivel de servicio correspondiente. Para ello, los valores obtenidos fueron comparados con los rangos de clasificación de la Tabla 1-2, lo que permitió identificar el nivel de servicio asociado a cada aproximación y el nivel de servicio global de la intersección.

Tabla 2-36 Nivel de servicio por carril, aproximación y global

Acceso	Av. 12 de Octubre		Av. Primero de Mayo		Av. 12 de Octubre		Av. Primero de Mayo	
	S-N	S-N	E-O	E-O	N-S	N-S	O-E	O-E
<b>Sentido de flujo</b>	S-N	S-N	E-O	E-O	N-S	N-S	O-E	O-E
<b>Grupo de carriles</b>	TH	TH	TH	TH	TH	TH+RT	TH	TH
<b>Demora por carril</b>	34.5	53.28	77.43	77.43	29.28	39.88	57.50	57.50
<b>Nivel de servicio por grupo de carriles</b>	C	D	E	E	C	D	E	E
<b>Tasa de flujo ajustado</b>	1816		539		1658		377	
<b>Demora por acceso</b>	44.50		77.43		34.90		57.50	
<b>Nivel de servicio por acceso</b>	D		E		C		E	
<b>Demora en toda la intersección</b>	46.03							
<b>Nivel de servicio de la intersección</b>	D							

Fuente: Elaboración propia

### 3. CAPÍTULO 3 Recolección de datos en campo

#### 3.1 Metodología de levantamiento

Para la obtención de valores representativos del flujo de saturación se adoptó el criterio de evaluar un mínimo de 15 ciclos, siempre que cada uno presente una cola inicial suficiente de vehículos. A partir de estos ciclos, se determina el intervalo de saturación promedio por vehículo, el cual permite calcular el flujo de saturación del carril. (Transportation Research Board, 2010)

Como se establece en el HCM 2010 las ecuaciones que se utilizarán para el cálculo del flujo de saturación medido en campo, el intervalo promedio y la tasa de descarga de la cola se presentan en la Ecuación 39, Ecuación 41 y Ecuación 41.

Ecuación 39

$$h_i = \frac{t_n - t_4}{n - 4}$$

Donde:

$h_i$  = Intervalo promedio de saturación (s/veh)

$t_n$  = Tiempo en que el último vehículo observado cruza la línea de parada (s)

$t_4$  = Tiempo en que el cuarto vehículo en la cola cruza la línea de parada (s)

$n$  = Número total de vehículos observados en la cola durante el ciclo

*Ecuación 40*

$$q_d = \frac{1}{\bar{h}}$$

Donde:

$q_d$  = Tasa promedio de descarga de la cola (s/veh)

$\bar{h}$  = Intervalo promedio de saturación

*Ecuación 41*

$$q = \frac{3600}{\bar{h}}$$

Donde:

$q$  = Flujo de saturación (veh/h/carril)

$\bar{h}$  = Intervalo promedio de saturación (s/veh)

Para la selección del período de análisis, se utilizaron los resultados del conteo volumétrico realizado en la intersección, considerando los cuatro accesos que se presentan en Tabla 2-5, Tabla 2-6, Tabla 2-7 y Tabla 2-8. A partir de esta información, se procedió a sumar los volúmenes vehiculares de cada acceso con el fin de determinar la hora pico global de la intersección, la cual se presenta en la Tabla 3-1

Tabla 3-1 Cuento volumétrico global

Hora	Vehículos Livianos	Buses	Camiones	Motos	Bicicleta	Peatones	Volumen Total	Volumen Total por Hora
6h00-6h15	158	3	8	9	1	5	178	2546
6h15-6h30	340	6	9	26	5	8	381	3352
6h30-6h45	806	2	11	52	1	6	871	3814
6h45-7h00	1020	5	15	76	7	14	1116	3839
7h00-7h15	895	3	19	67	4	9	984	3749
7h15-7h30	782	5	11	45	3	18	843	3683
7h30-7h45	818	2	17	59	4	24	896	3700
7h45-8h00	912	4	18	92	12	24	1026	3655
8h00-8h15	818	4	26	70	12	24	918	3471
8h15-8h30	773	8	25	54	6	8	860	3364
8h30-8h45	759	2	27	63	6	14	851	3264
8h45-9h00	756	2	16	68	19	22	842	3132
9h00-9h15	712	7	35	57	3	8	811	3130
9h15-9h30	679	5	20	56	4	7	760	3078
9h30-9h45	642	3	23	51	2	3	719	3012
9h45-10h00	748	3	25	64	7	10	840	2997
10h00-10h15	652	4	22	81	5	12	759	2922
10h15-10h30	610	2	27	55	4	12	694	2958
10h30-10h45	597	5	33	69	4	12	704	3028
10h45-11h00	659	3	25	78	9	8	765	3013
11h00-11h15	664	3	40	88	6	12	795	3049
11h15-11h30	662	6	30	66	1	12	764	3049
11h30-11h45	612	2	24	51	4	11	689	3133
11h45-12h00	685	3	31	82	6	14	801	3371
12h00-12h15	683	5	23	84	5	4	795	3567
12h15-12h30	724	6	33	85	4	14	848	3728
12h30-12h45	796	3	21	107	2	14	927	3867
12h45-13h00	871	5	23	98	4	14	997	3882
13h00-13h15	832	2	19	103	9	14	956	3771
13h15-13h30	867	6	24	90	6	9	987	3613
13h30-13h45	840	10	18	74	3	18	942	3363
13h45-14h00	781	5	24	76	6	5	886	3262
14h00-14h15	717	8	17	56	5	17	798	3208
14h15-14h30	626	8	25	78	4	11	737	3265
14h30-14h45	721	4	33	83	8	11	841	3318
14h45-15h00	733	6	19	74	7	9	832	3323
15h00-15h15	748	2	32	73	2	4	855	3331
15h15-15h30	682	6	15	87	2	9	790	3305
15h30-15h45	737	1	19	89	2	14	846	3380
15h45-16h00	717	4	32	87	4	9	840	3375

<b>16h00-16h15</b>	720	4	24	81	6	11	829	3449
<b>16h15-16h30</b>	756	4	29	76	9	10	865	3611
<b>16h30-16h45</b>	737	3	27	74	2	11	841	3696
<b>16h45-17h00</b>	819	6	26	63	7	13	914	3838
<b>17h00-17h15</b>	871	1	26	93	7	20	991	3930
<b>17h15-17h30</b>	837	4	22	87	5	14	950	2939
<b>17h30-17h45</b>	853	5	18	107	9	28	983	1989
<b>17h45-18h00</b>	878	9	31	88	8	31	1006	1006

Fuente: *Elaboración propia*

Con base en este criterio, se identificó que el período comprendido entre las 17:00 y las 18:00 horas corresponde a la hora de mayor carga vehicular. En este intervalo se llevó a cabo el levantamiento de los datos necesarios, considerando un total de 16 ciclos semafóricos consecutivos, lo cual cumple con el mínimo requerido para la obtención de parámetros siguiendo la metodología del HCM 2010.

Posterior a la definición de la metodología de levantamiento, se consideró incorporar un parámetro adicional orientado al análisis del comportamiento de los conductores, específicamente durante la fase amarilla. Este parámetro no forma parte del procedimiento establecido en el HCM (2010); sin embargo, su inclusión se fundamenta en criterios de seguridad vial relacionados al análisis de siniestralidad de la intersección.

De acuerdo con el informe proporcionado por la Empresa Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca, en el período comprendido entre enero de 2022 y marzo de 2026 se registraron un total de 23 eventos de tránsito, con un saldo de 8 personas lesionadas y predominio de daños materiales. Dentro de la tipología de accidentes, el choque lateral corresponde al tipo de siniestro más frecuente, el cual dentro del informe como posibles causas "No respetar las señales reglamentarias de tránsito" o "Conducir desatentos a las condiciones de tránsito (Uso de celular, pantallas, maquillaje, etc.)", representando aproximadamente el 35 % del total de eventos, lo cual evidencia la existencia de conflictos entre corrientes vehiculares que coinciden en la intersección. (Empresa Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca EMOV EP, 2026)

En función de lo anterior, se incorporó como parámetro complementario la frecuencia de cruce en fase amarilla, definida como el porcentaje de ciclos en los que se registra al menos un vehículo que atraviesa la intersección durante dicha fase. Este indicador se expresa como:

Ecuación 42

$$F_a = \frac{c_a}{c_t} \times 100$$

Donde:

$F_a$  = Frecuencia de cruce en fase amarilla (%)

$c_a$  = Número de ciclos en los que se registra al menos un vehículo que cruza durante la fase amarilla

$c_t$  = Número total de ciclos semafóricos observados

### **3.2 Previo a la instalación de los dispositivos**

En esta sección se presentan los datos promedio obtenidos en campo durante el período de análisis seleccionado el día 26 de noviembre de 2025, correspondientes a los ciclos semafóricos en este caso 16 que se presentan en el Anexo 5: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 1, carril izquierdo, Anexo 6: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 1, carril derecho, Anexo 7: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 2, carril único, Anexo 8: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 2, carril izquierdo, Anexo 9: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 3, carril derecho y Anexo 10: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 3, carril izquierdo para el cálculo del intervalo promedio, tasa promedio de descarga y flujo observado además del parámetro adicional que se va utilizar para el análisis dentro de la fase amarilla.

#### **3.2.1 Tiempo perdido en el arranque promedio**

A este parámetro según los lineamientos del HCM (2010) se lo toma como el tiempo desde que arranca el primer vehículo hasta que el cuarto vehículo cruce la línea de parada. (Transportation Research Board, 2010)

Tabla 3-2 Tiempo perdido en el arranque por acceso previo a la instalación de los dispositivos

Acceso	Carril	Promedio (s)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	10.41
	Carril 2 (Der)	10.17
Acceso 2	Carril Único	11.49
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	10.68
	Carril 2 (Der)	11.22
Acceso 4	Carril Único	12.82

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2 Pérdida inicial promedio

Corresponde al retraso asociado al primer vehículo de la cola al inicio de la fase verde, debido al tiempo de reacción y arranque desde reposo, formando parte del tiempo perdido en el proceso de descarga de la cola vehicular (Akcelik, 1998).

Tabla 3-3 Perdida inicial promedio previo a la instalación de los dispositivos

Acceso	Carril	Promedio (s)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	1.79
	Carril 2 (Der)	2.15
Acceso 2	Carril Único	2.18
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	1.83
	Carril 2 (Der)	2.19
Acceso 4	Carril Único	2.48

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3 Tiempo promedio hasta que cruza el último vehículo observado promedio

Es el tiempo desde el primer vehículo hasta que el ultimo vehículo cruza en la misma fase y los valores promedio se presentan en la Tabla 3-4

Tabla 3-4 Tiempo promedio hasta que cruza el último vehículo observado promedio previo a la instalación de los dispositivos

Acceso	Carril	Promedio (s)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	71.61
	Carril 2 (Der)	70.40
Acceso 2	Carril Único	42.05
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	71.73
	Carril 2 (Der)	74.13
Acceso 4	Carril Único	41.27

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4 Número promedio de vehículos observados

Es el número de vehículos que cruzan el semáforo en la misma fase y los valores promedio se presentan en la Tabla 3-5

Tabla 3-5 Número promedio de vehículos observados previo a la instalación de los dispositivos

Acceso	Carril	Promedio (veh/ciclo)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	23
	Carril 2 (Der)	22
Acceso 2	Carril Único	17
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	25
	Carril 2 (Der)	28
Acceso 4	Carril Único	13

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.5 Intervalo promedio

Se presentan los valores calculados en la Tabla 3-6 en base a la Ecuación 39

Tabla 3-6 Intervalo promedio previo a la instalación de los dispositivos

Acceso	Carril	Promedio (s/veh)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	3.51
	Carril 2 (Der)	3.42
Acceso 2	Carril Único	2.36
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	2.92
	Carril 2 (Der)	2.66
Acceso 4	Carril Único	3.42

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.6 Flujo Observado

Una vez hallados los valores del intervalo promedio por carril y por acceso en base a la Ecuación 41 se calcula el flujo observado y se presentan en la Tabla 3-7

Tabla 3-7 Flujo observado previo a la instalación de los dispositivos

Acceso	Carril	$q$ (veh/h)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	1025
	Carril 2 (Der)	1055
Acceso 2	Carril Único	1524
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	1235
	Carril 2 (Der)	1354
Acceso 4	Carril Único	1053

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.7 Tasa promedio de descarga de la cola

De igual manera se calculó los valores para cada carril por acceso en base a la Ecuación 40 y se presentan en la Tabla 3-8

Tabla 3-8 Tasa promedio de descarga de la cola previo a la instalación de los dispositivos

Acceso	Carril	$q_d$ (veh/s)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	0.28
	Carril 2 (Der)	0.29
Acceso 2	Carril Único	0.42
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	0.34
	Carril 2 (Der)	0.38
Acceso 4	Carril Único	0.29

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.8 Porcentaje de vehículos que se pasan en amarillo

Se calculó el porcentaje de vehículos que se pasan en base a la Ecuación 42 y los valores obtenidos se presentan en la Tabla 3-9

Tabla 3-9 Porcentaje de vehículos que se cruzan en amarillo previo a la instalación del dispositivo

Acceso	Carril	Porcentaje (veh/ciclo)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	62.50%
	Carril 2 (Der)	62.50%
Acceso 2	Carril Único	93.80%
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	87.50%
	Carril 2 (Der)	62.50%
Acceso 4	Carril Único	50.00%

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Posterior a la implementación de los dispositivos de conteo regresivo

En esta sección se presentan los datos promedio obtenidos en campo durante el período de análisis seleccionado el día 20 de abril de 2026, correspondientes a los ciclos semafóricos analizados posterior a la instalación de los dispositivos de conteo regresivo. Dichos dispositivos fueron instalados el miércoles 15 de abril, con el apoyo de la Empresa Pública de Movilidad, Tránsito y Transporte (EMOV) como se muestra en la Figura 3-1 .

En el Anexo 17: Ficha técnica de dispositivo de conteo regresivo se incorporan las especificaciones técnicas de los equipos instalados, los cuales consisten en una luna semafórica con contador regresivo colocada en el espacio de la luz amarilla del semáforo. Su función es mostrar al conductor el tiempo restante para el cambio de fase, permitiendo anticipar de mejor manera la detención o continuidad de la marcha según corresponda. El dispositivo opera sincronizado con el controlador semafórico, por lo que su visualización responde directamente a la programación existente de la intersección.

Para el desarrollo del estudio se realizó un conteo de 16 ciclos semafóricos por cada acceso durante la hora pico de la intersección, con el propósito de mantener la misma metodología aplicada en la etapa previa a la implementación de los dispositivos y así garantizar la comparabilidad de los resultados obtenidos.

Los registros levantados en campo permitieron determinar el intervalo promedio, la tasa promedio de descarga, el flujo observado y el análisis complementario del comportamiento de la fase amarilla mostrada en el Anexo 11: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 1, carril izquierdo, Anexo 12: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 1, carril derecho, Anexo 13: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 2, carril único, Anexo 14: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 3, carril izquierdo, Anexo 15: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 3, carril derecho, Anexo 16: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 4, carril único, a fin de evaluar la influencia de los dispositivos semafóricos con temporizador regresivo sobre la operación vehicular de la intersección.

*Figura 3-1 Colocación de las lunas en los semáforos existentes*



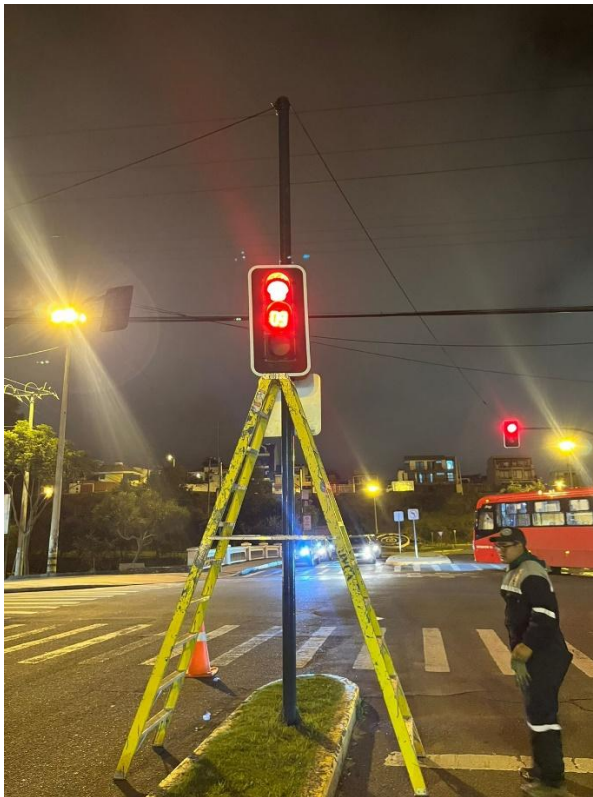
*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3-2 Lunas en funcionamiento en fase verde*



*Fuente: Elaboración Propia*

Figura 3-3 Lunas en funcionamiento en fase roja



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.1 Tiempo perdido en el arranque promedio

A este parámetro según los lineamientos del HCM (2010) se lo toma como el tiempo desde que arranca el primer vehículo hasta que el cuarto vehículo cruce la línea de parada. (Transportation Research Board, 2010)

Tabla 3-10 Tiempo perdido en el arranque por acceso posterior a la instalación de los dispositivos

Acceso	Carril	Promedio (s)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	9.55
	Carril 2 (Der)	10.16
Acceso 2	Carril Único	10.48
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	10.00
	Carril 2 (Der)	11.06
Acceso 4	Carril Único	10.22

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2 Pérdida inicial promedio

Corresponde al retraso asociado al primer vehículo de la cola al inicio de la fase verde, debido al tiempo de reacción y arranque desde reposo, formando parte del tiempo perdido en el proceso de descarga de la cola vehicular (Akcelik, 1998).

Tabla 3-11 Pérdida inicial promedio posterior a la instalación de los dispositivos

Acceso	Carril	Promedio (s)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	0.90
	Carril 2 (Der)	1.07
Acceso 2	Carril Único	1.20
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	1.14
	Carril 2 (Der)	1.36
Acceso 4	Carril Único	1.23

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3 Tiempo promedio hasta que cruza el último vehículo observado promedio

Es el tiempo desde el primer vehículo hasta que el ultimo vehículo cruza en la misma fase y los valores promedio se presentan en la Tabla 3-12.

Tabla 3-12 Tiempo promedio hasta que cruza el último vehículo observado promedio posterior a la instalación de los dispositivos

Acceso	Carril	Promedio (s)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	71.53
	Carril 2 (Der)	70.93
Acceso 2	Carril Único	40.34
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	71.04
	Carril 2 (Der)	74.37
Acceso 4	Carril Único	42.08

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.4 Número promedio de vehículos observados

Es el número de vehículos que cruzan el semáforo en la misma fase y los valores promedio se presentan en la Tabla 3-13. Tabla 3-13 Número promedio de vehículos observados posterior a la instalación de los dispositivos

Tabla 3-13 Número promedio de vehículos observados posterior a la instalación de los dispositivos

Acceso	Carril	Promedio (veh/ciclo)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	22
	Carril 2 (Der)	22
Acceso 2	Carril Único	15
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	27
	Carril 2 (Der)	28
Acceso 4	Carril Único	12

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.5 Intervalo promedio

Se presentan los valores calculados en la Tabla 3-14 en base a la Ecuación 39.

Tabla 3-14 Intervalo promedio posterior a la instalación de los dispositivos

Acceso	Carril	Promedio (s/veh)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	3.49
	Carril 2 (Der)	3.50
Acceso 2	Carril Único	2.62
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	2.63
	Carril 2 (Der)	2.67
Acceso 4	Carril Único	4.25

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.6 Flujo Observado

Una vez hallados los valores del intervalo promedio por carril y por acceso en base a la Ecuación 41 se calcula el flujo observado y se presentan en la Tabla 3-15.

Tabla 3-15 Flujo observado posterior a la instalación de los dispositivos

Acceso	Carril	$q$ (veh/h)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	1031
	Carril 2 (Der)	1029
Acceso 2	Carril Único	1375
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	1368
	Carril 2 (Der)	1364
Acceso 4	Carril Único	848

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.7 Tasa promedio de descarga de la cola

De igual manera se calculó los valores para cada carril por acceso en base a la Ecuación 40 y se presentan en la Tabla 3-16.

Tabla 3-16 Tasa promedio de descarga de la cola posterior a la instalación de los dispositivos

Acceso	Carril	$q_d$ (veh/s)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	0.29
	Carril 2 (Der)	0.29
Acceso 2	Carril Único	0.38
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	0.38
	Carril 2 (Der)	0.38
Acceso 4	Carril Único	0.24

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.8 Porcentaje de vehículos que se pasan en amarillo

Se calculó el porcentaje de vehículos que se pasan en base a la Ecuación 42 y los valores obtenidos se presentan en la Tabla 3-17.

Tabla 3-17 Porcentaje de vehículos que se cruzan en amarillo posterior a la instalación del dispositivo

Acceso	Carril	Porcentaje (veh/ciclo)
Acceso 1	Carril 1 (Izq)	56.25%
	Carril 2 (Der)	37.50%
Acceso 2	Carril Único	69.00%
Acceso 3	Carril 1 (Izq)	68.75%
	Carril 2 (Der)	75.00%
Acceso 4	Carril Único	37.50%

Fuente: Elaboración propia

#### 4. Capítulo 4 Evaluación del efecto de la implementación

El presente capítulo tiene como propósito analizar e interpretar los resultados obtenidos durante la fase de levantamiento de datos en campo, con el fin de evaluar la efectividad del dispositivo de conteo regresivo implementado en la intersección semaforizada objeto de estudio. La estructura del análisis se orienta a contrastar las condiciones operativas registradas antes y después de la instalación del dispositivo, considerando exclusivamente aquellos parámetros sobre los que esta tecnología tiene una incidencia directa.

A diferencia de otros dispositivos de control semafórico cuyo objetivo es modificar la geometría de la intersección o ampliar la capacidad de los accesos, los contadores regresivos no actúan sobre el flujo de saturación de manera directa, sino que buscan optimizar el aprovechamiento del tiempo de verde mediante la reducción de los tiempos muertos asociados a la reacción del conductor. Por esta razón, el análisis se concentra en dos variables específicas: la pérdida inicial y el tiempo perdido en el arranque, ambas reconocidas en la literatura especializada como indicadores sensibles al comportamiento del conductor frente al cambio de fase semafórica (Transportation Research Board, 2010).

Para la comprobación matemática de los beneficios obtenidos, se aplican dos enfoques complementarios. El primero corresponde al modelo clásico propuesto por Akcelik (1998), el cual cuantifica la ganancia vehicular a partir de la disminución de la pérdida inicial dentro del periodo de verde efectivo. El segundo corresponde al modelo modificado planteado por Urdiales y Suconota (2018), quienes sustituyen la pérdida inicial por el tiempo perdido en el

arranque y obtienen la ganancia de vehículos que cruzan la intersección durante la fase de verde con flujo. La aplicación de ambos modelos permite, por un lado, demostrar cuantitativamente la mejora producida por el dispositivo y, por otro, comparar los resultados obtenidos bajo cada enfoque para identificar cuál de ellos refleja con mayor fidelidad el aporte real del contador regresivo.

#### **4.1 Parámetros de comparación**

El levantamiento de datos en campo, descrito en el capítulo anterior, permitió obtener un conjunto amplio de variables operativas tanto para el escenario sin dispositivo como para el escenario con dispositivo de conteo regresivo. Sin embargo, no todas estas variables son adecuadas para establecer una comparación directa que permita evaluar la efectividad del dispositivo, debido a que algunas de ellas dependen de factores externos al control semafórico, mientras que otras responden directamente al comportamiento del conductor frente a la señal lumínica.

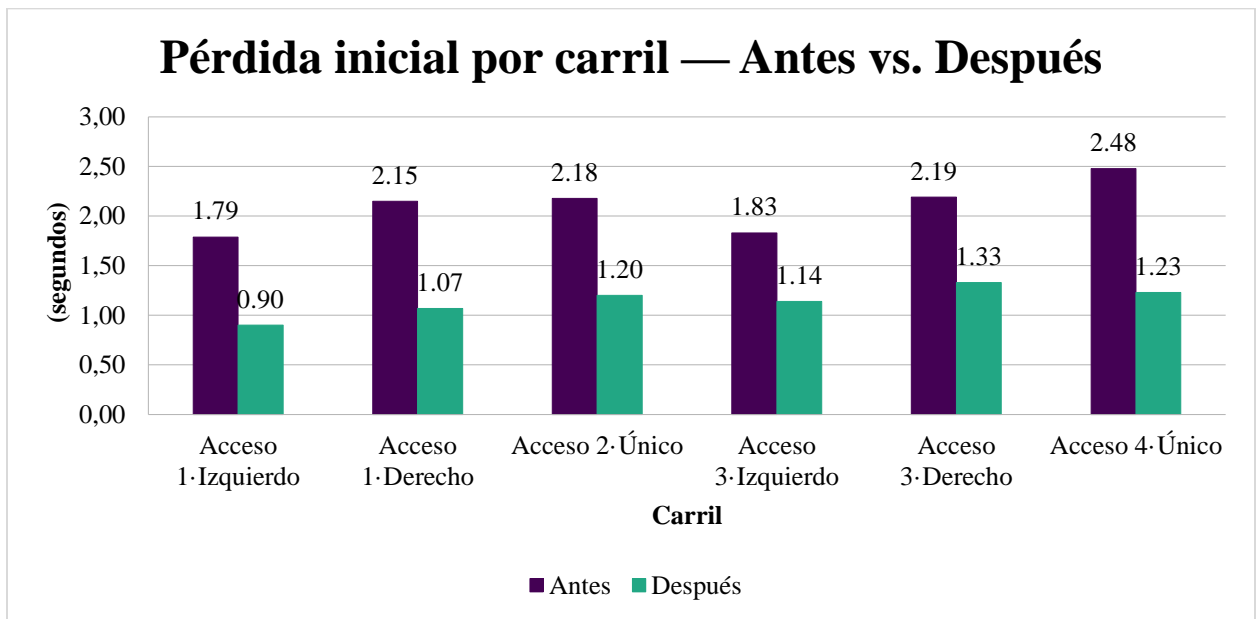
##### **4.1.1 Pérdida Inicial**

La pérdida inicial corresponde al intervalo de tiempo que transcurre entre el cambio de la señal a verde y el inicio del movimiento del primer vehículo de la cola. En condiciones operativas normales, este valor oscila entre uno y dos segundos, y su magnitud está estrechamente vinculada al estado de atención del conductor frente al cambio de fase semafórica (Transportation Research Board, 2010). Una pérdida inicial reducida implica un mejor aprovechamiento del verde efectivo, puesto que el flujo de saturación se alcanza en un menor tiempo y, en consecuencia, una mayor proporción del periodo de verde se destina a la descarga vehicular real.

El dispositivo de conteo regresivo actúa específicamente sobre esta variable al proporcionar al conductor información anticipada sobre el momento exacto del cambio de fase. Esta característica permite que el usuario se prepare psicomotrizmente para iniciar la marcha, lo que reduce el lapso entre el estímulo visual del verde y la respuesta de aceleración. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en campo para los escenarios sin y con dispositivo, organizados por acceso y carril.

Los valores promedio de pérdida inicial registrados tanto antes como después de la implementación del dispositivo se presentan en la Figura 4-1. Estos valores corresponden al promedio de las fases observadas durante el periodo de levantamiento de datos para cada uno de los carriles de los accesos analizados.

Figura 4-1 Comparativa de pérdida inicial por carril



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 4-1, los tiempos de pérdida inicial registrados en el escenario sin dispositivo se ubicaron en un rango de 1.79 a 2.48 segundos, con un promedio general de 2.10 segundos. Los valores más elevados se concentraron en el acceso 4 que es de un solo carril, lo cual puede atribuirse probablemente a la pendiente que tiene este acceso ya que es la que mayor pendiente tiene de los 4 accesos.

Los datos evidencian una disminución generalizada de los tiempos de pérdida inicial en todos los accesos y carriles analizados, con valores que se redujeron a un rango de 0.89 a 1.25 segundos y un promedio general de 0.96 segundos.

En la Tabla 4-1 se presentan los porcentajes de la ganancia que tenemos en pérdida inicial al momento de colocar los dispositivos de conteo regresivo.

Tabla 4-1 Porcentaje de ganancia en pérdida inicial por carril

Carril	Antes	Después	Reducción	Porcentaje de Ganancia
Acceso 1·Izquierdo	1.79	0.90	0.89	49.72%
Acceso 1·Derecho	2.15	1.07	1.08	50.23%
Acceso 2·Único	2.18	1.20	0.98	44.95%
Acceso 3·Izquierdo	1.83	1.14	0.69	37.70%
Acceso 3·Derecho	2.19	1.33	0.86	39.27%
Acceso 4·Único	2.48	1.23	1.25	50.40%

Fuente: Elaboración propia

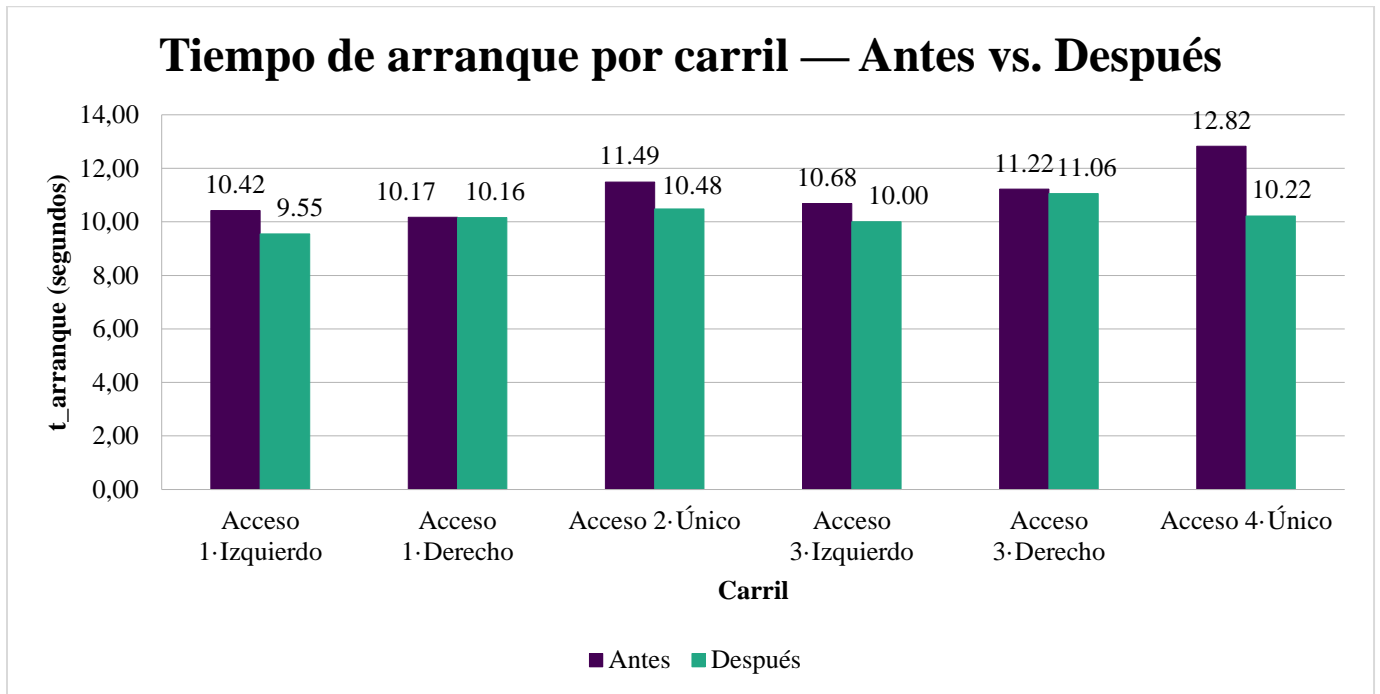
#### 4.1.2 Tiempo perdido en el arranque

El tiempo perdido en el arranque se define como el lapso comprendido entre el cambio de la señal a verde y el instante en el que el frente del vehículo correspondiente al inicio del flujo saturado generalmente el cuarto vehículo de la cola cruza la línea de pare. En intersecciones urbanas, este valor se ubica habitualmente entre diez y catorce segundos (Transportation Research Board, 2010). A diferencia de la pérdida inicial, esta variable no solo refleja la reacción del primer conductor, sino también el efecto acumulado de las reacciones individuales de los conductores siguientes hasta alcanzar un flujo estable de la cola.

La importancia de este parámetro se basa en que su reducción se traduce en un mayor número de vehículos que pueden descargarse durante la fase de verde lo que incide positivamente en la capacidad operativa del acceso (Urdiales & Suconota, 2018). En este sentido, el dispositivo de conteo regresivo no solamente influye sobre el primer conductor, sino que el efecto se propaga a los conductores ubicados detrás de él, quienes igualmente disponen de información anticipada sobre el cambio de fase y pueden preparar su respuesta con mayor antelación.

Los valores promedio de tiempo perdido en el arranque registrados tanto antes como después de la implementación del dispositivo se presentan en la Figura 4-2.

Figura 4-2 Comparativa del tiempo perdido en el arranque por carril



Fuente: Elaboración propia

Además de lo presentado en la Tabla 4-2 se puede observar el porcentaje de ganancia que tiene cada acceso reduciendo el tiempo perdido en el arranque

Tabla 4-2 Porcentaje de ganancia en el tiempo perdido en el arranque por carril

Carril	Antes	Después	Reducción	Porcentaje de ganancia
Acceso 1·Izquierdo	10.42	9.55	0.87	8.35%
Acceso 1·Derecho	10.17	10.16	0.01	0.10%
Acceso 2·Único	11.49	10.48	1.01	8.79%
Acceso 3·Izquierdo	10.68	10.00	0.68	6.37%
Acceso 3·Derecho	11.22	11.06	0.16	1.43%
Acceso 4·Único	12.82	10.22	2.60	20.28%

Fuente: Elaboración propia

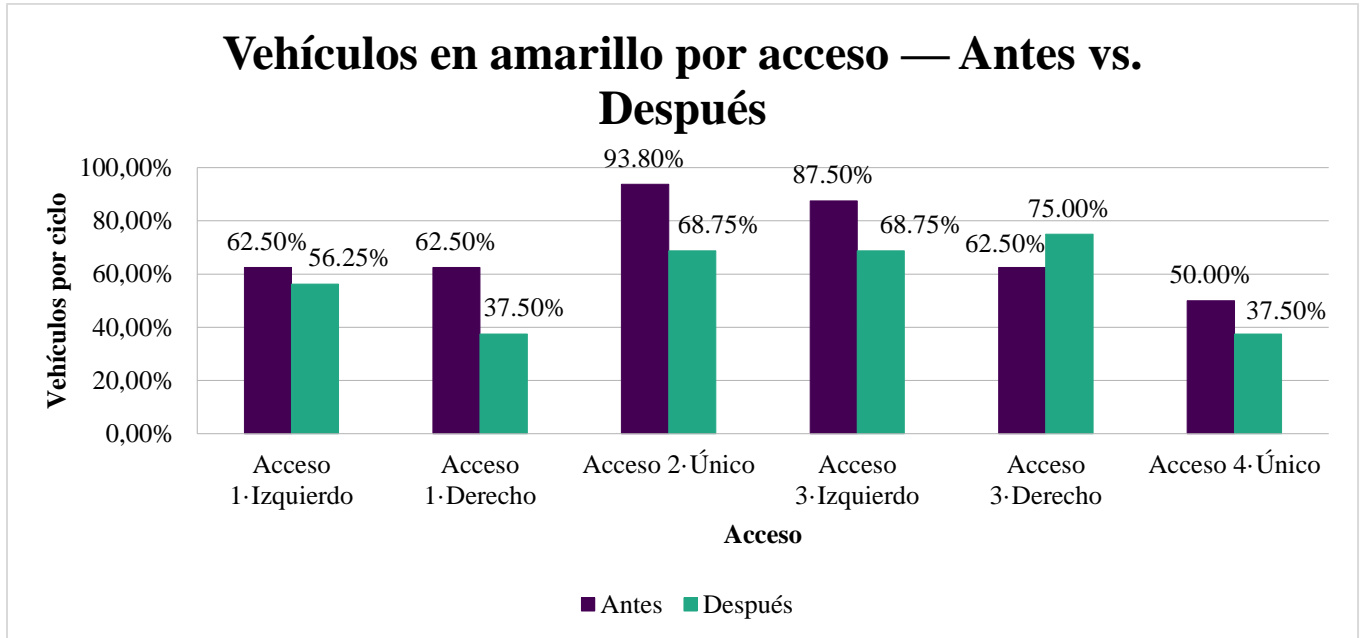
### 4.1.3 Vehículos que cruzan en fase amarilla

Si bien el dispositivo de conteo regresivo fue implementado principalmente para optimizar el aprovechamiento del tiempo de verde, se analizó este prámetro adicional sobre las condiciones de seguridad vial de la intersección. Este efecto se manifiesta en la reducción del número de vehículos que ingresan a la intersección durante la fase amarilla, maniobra comúnmente asociada a un mayor riesgo de colisión por alcance y de conflicto con los movimientos de las

fases siguiente (Empresa Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca EMOV EP, 2026).

La comparación visual entre ambos escenarios se presenta en la Figura 4-3, donde se contraponen los porcentajes registrados antes y después de la instalación del dispositivo para cada uno de los accesos de la intersección.

Figura 4-3 Comparativa de porcentaje de vehículos que cruzan en amarillo por carril



Fuente: Elaboración propia

Los resultados evidencian una disminución del porcentaje de vehículos que ingresan en fase amarilla en la totalidad de los accesos analizados. En el Acceso 1, en el carril izquierdo el porcentaje se redujo del 62.50 % al 56.26 % y en el carril derecho se redujo del 62.50 % al 37.50; en el Acceso 2, del 93.80 % al 68.75 %; en el Acceso 3, en el carril izquierdo el porcentaje se redujo del 87.50 % al 68.75 % y en el carril derecho no tuvo ninguna mejora al incorporar los dispositivos de conteo regresivo y en el Acceso 4, del 50.00 % al 37.50 %. La mayor reducción absoluta se registró en el Acceso 1 el carril derecho, con una disminución del 40%, mientras que el Acceso 3 presentó la menor variación, con apenas 21.4% en el carril izquierdo y 0% en el carril derecho.

En conjunto, los resultados demuestran que el dispositivo de conteo regresivo produjo mejoras consistentes tanto en la operación como en la seguridad de la intersección. No obstante, la

traducción de estas reducciones temporales en una métrica de capacidad efectiva requiere la aplicación de modelos matemáticos específicos, lo cual se desarrolla en la sección siguiente.

## 4.2 Comprobación matemática de la ganancia vehicular

Una vez que se verificó que las reducciones de la pérdida inicial y del tiempo perdido en el arranque, así como del porcentaje de vehículos cruzando en fase amarilla, resulta necesario traducir estas mejoras temporales en una métrica operacional que permita evaluar el aporte real del dispositivo a la capacidad de la intersección. Por lo cual se aplicaron dos modelos matemáticos: el primero basado en la reducción de la pérdida inicial según el enfoque clásico de Akcelik (1998); y el segundo basado en la reducción del tiempo perdido en el arranque según el modelo modificado propuesto por Urdiales y Suconota (2018). Ambos modelos comparten un mismo principio de cálculo, pero difieren en la variable temporal sobre la cual cuantifican la ganancia.

### 4.2.1 Fundamento Metodológico común

Tanto el Modelo 1 como el Modelo 2 se sustentan en el principio de que toda reducción del tiempo muerto al inicio de la fase verde se traduce en un incremento del periodo durante el cual la intersección puede operar a flujo de saturación. Esto se interpreta como un desplazamiento horizontal de la curva de descarga vehicular, lo que genera un área adicional bajo la curva equivalente al número de vehículos que efectivamente pueden cruzar la línea de pare en el tiempo recuperado.

La ganancia vehicular por hora de verde, en ambos modelos, se calcula a partir de la siguiente expresión general:

*Ecuación 43*

$$Ganancia \left( \frac{veh}{h} \right) = s * \Delta t * N$$

Donde:

- $s$ : tasa de descarga del flujo saturado del carril (veh/s)
- $\Delta t$ : reducción del tiempo muerto al inicio del verde (s)

- N: número de ciclos por hora de verde (ciclos/h)

La diferencia entre los dos modelos se diferencia exclusivamente en la definición de  $\Delta t$ : en el Modelo 1,  $\Delta t$  corresponde a la reducción de la pérdida inicial; en el Modelo 2,  $\Delta t$  corresponde a la reducción del tiempo perdido en el arranque. Esta distinción, aunque aparentemente menor, tiene implicaciones importantes en la interpretación de los resultados, dado que cada variable captura aspectos distintos del comportamiento del conductor frente al cambio de fase.

#### **4.2.2 Modelo 1. Ganancia vehicular por reducción de la pérdida inicial**

El primer modelo aplicado corresponde al enfoque clásico desarrollado por Akcelik (1998), el cual describe el comportamiento del flujo vehicular durante un periodo de verde saturado mediante una curva de tasa de descarga que se aproxima asintóticamente al flujo de saturación como se muestra en la Figura 1-2. En este modelo se identifican dos componentes de tiempo muerto: la pérdida inicial, ubicada al comienzo del verde, y la demora final con ganancia, ubicada al final del verde y durante el inicio del amarillo. La ganancia vehicular se obtiene a partir de la reducción de la pérdida inicial.

##### **Procedimiento de cálculo**

Para cada carril analizado se determinó la tasa de descarga del flujo saturado ( $s$ , en veh/s) que sus valores se encuentran en la Tabla 3-8 y se identificaron los tiempos de cruce del último vehículo de la cola sin y con dispositivo ( $T_{\text{últ antes}}$ ). A partir de los valores de pérdida inicial obtenidos en campo que se presentan en la Tabla 4-1 se calculó la reducción  $\Delta t_1 = \text{pérdida inicial antes} - \text{pérdida inicial después}$  y el tiempo de verde con flujo  $g_1 = T_{\text{últ antes}} - \text{pérdida inicial antes}$ . La ganancia por ciclo se obtuvo mediante  $\Delta \text{Veh} = s \cdot \Delta t_1$ , y la ganancia horaria como  $\text{Ganancia} = \Delta \text{Veh} \cdot N_1$ , donde  $N_1$  corresponde al número de ciclos por hora de verde calculado como el cociente entre 3 600 s y  $g_1$ . Finalmente, se calculó el porcentaje de ganancia respecto al flujo total observado en el carril.

En la Tabla 4-3 se presenta los resultados considerando esa ganancia en la pérdida inicial

Tabla 4-3 Cálculos por carril método 1

#	Acceso	Carril	S (veh/s)	T_últ antes	l <sub>i</sub> antes	l <sub>i</sub> después	g <sub>i</sub> (s)	Δt <sub>i</sub> (s)	ΔVeh (veh/ciclo)	N <sub>i</sub> (ciclos/h verde)	Ganancia (veh/h)
1	Acceso 1	Izquierdo	0.28	71.60	1.79	0.90	69.81	0.89	0.25	50.92	13
2	Acceso 1	Derecho	0.29	70.40	2.15	1.07	68.25	1.08	0.32	51.93	17
3	Acceso 2	Único	0.42	42.05	2.18	1.20	39.87	0.98	0.41	88.13	37
4	Acceso 3	Izquierdo	0.34	71.73	1.83	1.14	69.90	0.69	0.24	51.00	13
5	Acceso 3	Derecho	0.38	74.13	2.19	1.33	71.94	0.86	0.32	49.45	16
6	Acceso 4	Único	0.29	41.27	2.48	1.23	38.79	1.25	0.37	89.91	33
<b>TOTAL</b>											<b>129</b>

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que la aplicación del dispositivo, evaluada a través del Modelo 1, produce una ganancia vehicular total de 129 veh/h en el conjunto de los seis carriles analizados. La mayor ganancia individual se registra en el Acceso 2, con 37 veh/h, seguido por el Acceso 4 con 33 veh/h. Las ganancias menores se concentran en los carriles del Acceso 1 - Izquierdo y Acceso 3 - Izquierdo, ambos con 13 veh/h.

Es importante destacar que el Modelo 1 ofrece resultados positivos en la totalidad de los carriles analizados, lo cual resulta coherente con su construcción teórica: dado que el dispositivo de conteo regresivo afecta directamente la pérdida inicial al actuar sobre el primer conductor de la cola, y dado que la pérdida inicial se redujo en todos los carriles, era esperable que el modelo arrojara ganancias positivas en cada uno de ellos. Los porcentajes de ganancia de vehículos en una hora de verde se presentan en la Tabla 4-4

Tabla 4-4 Porcentaje de ganancia por carril método 1

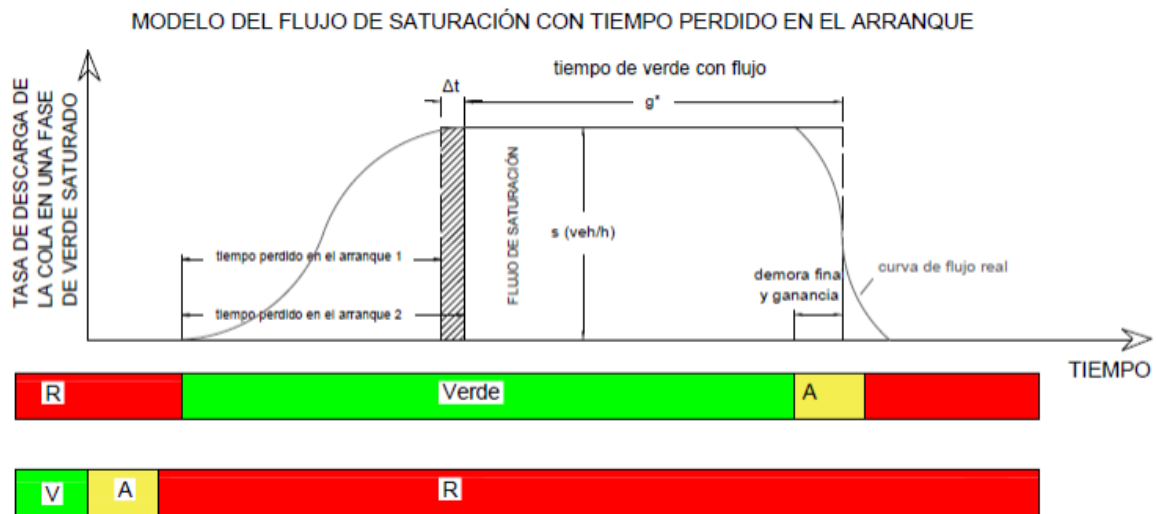
#	Acceso	Carril	Porcentaje de ganancia
1	Acceso 1	Izquierdo	1.27%
2	Acceso 1	Derecho	1.61%
3	Acceso 2	Único	2.43%
4	Acceso 3	Izquierdo	1.05%
5	Acceso 3	Derecho	1.18%
6	Acceso 4	Único	3.13%

Fuente: Elaboración propia

### 4.2.3 Modelo 2. Ganancia vehicular por reducción del tiempo perdido en el arranque

El segundo modelo aplicado corresponde al enfoque modificado propuesto por Urdiales y Suconota (2018), quienes plantean una variación del modelo clásico de Akcelik mediante la sustitución de la pérdida inicial por el tiempo perdido en el arranque. Esta modificación se sustenta en el argumento de que la pérdida inicial captura únicamente la reacción del primer conductor de la cola, mientras que el tiempo perdido en el arranque incorpora el efecto acumulado de las reacciones de los conductores subsiguientes hasta alcanzar la tasa de descarga estable, lo cual representa de forma más completa el periodo en que la intersección no opera a flujo de saturación.

Figura 4-4 Modelo del flujo de saturación con tiempo perdido en el arranque



Fuente: (Suconota & Urdiales, 2018)

#### Procedimiento de cálculo

El procedimiento aplicado en el Modelo 2 sigue la misma estructura del Modelo 1, con la única diferencia de que la variable  $\Delta t$  se redefine como la reducción del tiempo perdido en el arranque.

En la Tabla 4-6 se presenta los resultados considerando esa ganancia en el tiempo perdido en el arranque.

Tabla 4-5 Cálculos por carril método 2

#	Acceso	Carril	s (veh/ s)	T <sub>últ</sub> antes	t <sub>arr</sub> antes	t <sub>arr</sub> después	g <sub>2</sub> (s)	Δt <sub>2</sub> (s)	ΔVeh (veh/ci clo)	N <sub>2</sub> (ciclos/h)	Ganancia (veh/h)
1	Acceso 1	Izquierdo	0.285	71.60	10.42	9.55	61.18	0.87	0.25	58.02	14
2	Acceso 1	Derecho	0.293	70.40	10.17	10.16	60.23	0.01	0.00	59.76	0
3	Acceso 2	Único	0.423	42.05	11.49	10.48	30.56	1.01	0.43	114.03	49
4	Acceso 3	Izquierdo	0.343	71.73	10.68	10.00	61.05	0.68	0.23	58.32	14
5	Acceso 3	Derecho	0.376	74.13	11.22	11.06	62.91	0.16	0.06	57.08	3
6	Acceso 4	Único	0.293	41.27	12.82	10.22	28.45	2.60	0.76	115.94	88
<b>TOTAL</b>											<b>168</b>

Fuente: Elaboración propia

La aplicación del Modelo 2 arroja una ganancia vehicular total de 168 veh/h en el conjunto de los seis carriles analizados. La mayor ganancia individual corresponde al Acceso 4, con 88 veh/h, seguido por el Acceso 2, con 49 veh/h. Sin embargo, dos carriles presentan ganancias mínimas o nulas: el Acceso 1 - Carril Derecho, con 0 veh/h, y el Acceso 3 - Carril Derecho, con apenas 3 veh/h.

Estos resultados ponen en evidencia una característica relevante del Modelo 2: su mayor sensibilidad a la magnitud de la reducción del tiempo perdido en el arranque. Dado que en algunos carriles dicha reducción fue casi nula como, por ejemplo, en el Acceso 1 - Derecho la reducción fue de tan solo 0.01 s y en el Acceso 3 - Derecho fue de 0.16 s, el modelo refleja que en esos carriles el efecto del dispositivo sobre los conductores siguientes al primero fue prácticamente imperceptible. Por el contrario, en carriles donde la reducción fue más pronunciada, como el Acceso 4 con 2.60 s, el modelo amplifica significativamente la ganancia obtenida, dado que el tiempo recuperado opera sobre la totalidad de la fase de verde con flujo y se multiplica por la frecuencia de ciclos por hora de verde. Lo porcentajes de ganancia dentro de una hora de verde se presentan en la Tabla 4-6.

Tabla 4-6 Porcentaje de ganancia por carril método 2

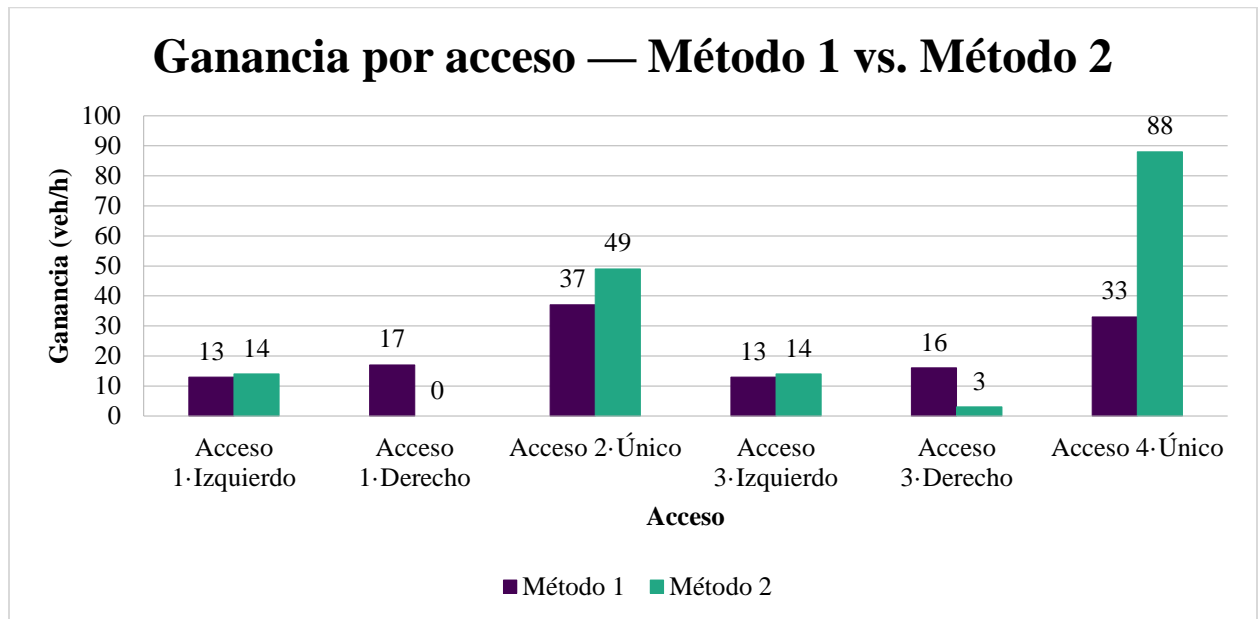
#	Acceso	Carril	Porcentaje de ganancia
1	Acceso 1	Izquierdo	1.37%
2	Acceso 1	Derecho	0.00%
3	Acceso 2	Único	3.22%
4	Acceso 3	Izquierdo	1.13%
5	Acceso 3	Derecho	0.22%
6	Acceso 4	Único	8.36%

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.4 Comparación entre los dos modelos

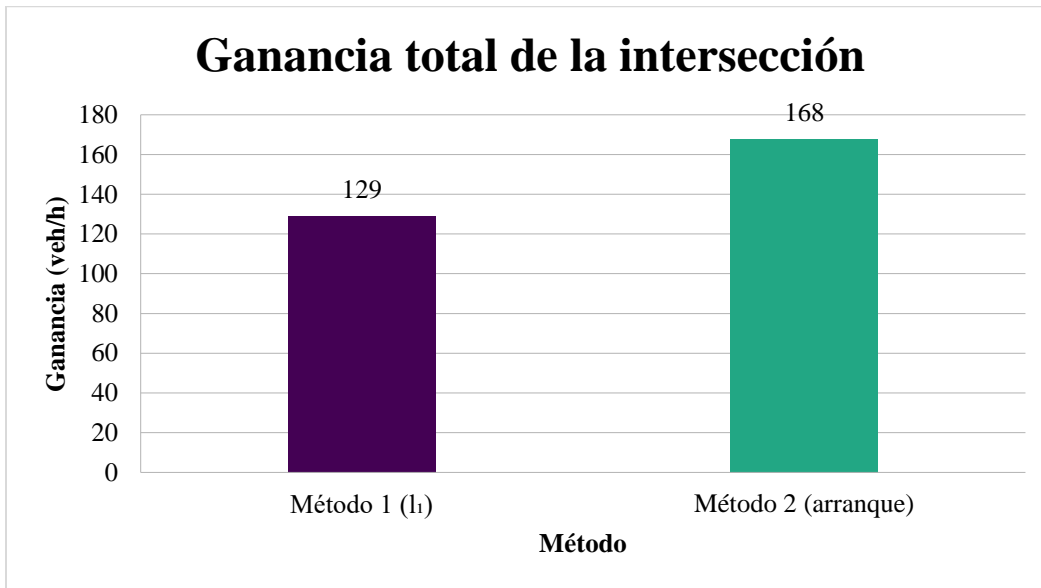
Una vez aplicados de manera independiente los dos modelos, se procedió a comparar sus resultados con el fin de determinar cuál de los enfoques refleja con mayor fidelidad el aporte operativo del dispositivo de conteo regresivo en el caso de estudio. La comparación gráfica de las ganancias obtenidas por carril bajo cada modelo se presenta en la Figura 4-5 y en la Figura 4-6.

Figura 4-5 Comparativa de la ganancia por acceso



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-6 Comparativa de la ganancia total de la intersección por ambos métodos



Fuente: Elaboración propia

Del análisis comparativo se desprenden tres patrones de comportamiento. En primer lugar, los carriles con tasas de descarga elevadas y reducciones significativas del tiempo perdido en el arranque, como el Acceso 4 y el Acceso 2, presentan ganancias notoriamente superiores bajo el Modelo 2, 88 y 49 veh/h, respectivamente frente al Modelo 1, 33 y 37 veh/h. En segundo lugar, en los carriles izquierdos del Acceso 1 y Acceso 3, ambos modelos arrojan ganancias prácticamente equivalentes entre 13 y 14 veh/h, lo cual indica que la reducción del tiempo perdido en el arranque y la reducción de la pérdida inicial fueron de magnitud similar. En tercer lugar, en los carriles donde la reducción del tiempo perdido en el arranque fue nula, Acceso 1 derecho y Acceso 3 derecho, el Modelo 2 arroja ganancias prácticamente nulas, mientras que el Modelo 1 mantiene ganancias positivas 17 y 16 veh/h, respectivamente.

A partir de los resultados, se considera que el Modelo 2, basado en la reducción del tiempo perdido en el arranque (Suconota & Urdiales, 2018), es el más factible y técnicamente representativo para evaluar el aporte del dispositivo de conteo regresivo en este caso de estudio, por las siguientes razones:

En primer lugar, el Modelo 2 captura de manera integral el efecto del dispositivo. Mientras que el Modelo 1 únicamente considera la reacción del primer conductor de la cola, es decir, los primeros uno o dos segundos de la fase verde, el Modelo 2 incorpora el efecto sobre la totalidad

de los conductores que componen el grupo inicial de descarga, hasta alcanzar la tasa de saturación estable. Dado que el contador regresivo numérico es visible para todos los conductores detenidos, no solamente para el primero, resulta teóricamente más coherente medir su efecto sobre la variable que captura la respuesta agregada del grupo.

En segundo lugar, el Modelo 2 permite una mejor diferenciación entre carriles con desempeño adecuado y aquellos con desempeño deficiente. Tal como evidencian los resultados del Acceso 1 derecho y del Acceso 3 derecho, el Modelo 2 detecta con precisión los casos en los que el dispositivo no produjo un beneficio operativo significativo, mientras que el Modelo 1 atribuye una ganancia positiva incluso en estos casos. Esta sensibilidad es deseable en estudios de evaluación de tecnologías de control, dado que permite identificar de manera transparente las zonas donde se requieren intervenciones complementarias.

En tercer lugar, los valores de ganancia obtenidos bajo el Modelo 2 son cuantitativamente mayores en el agregado, 168 veh/h frente a 129 veh/h, lo cual refleja una mejor aproximación al beneficio total real producido por el dispositivo, en tanto considera el tiempo recuperado durante toda la fase de descarga inicial y no solamente durante el arranque del primer vehículo.

No obstante, lo anterior, el Modelo 1 conserva un valor metodológico relevante en tanto constituye la formulación clásica y ampliamente validada en la literatura técnica de capacidad vial (Akcelik, 1998). Por esta razón, su inclusión en el presente estudio resulta pertinente como referencia comparativa que permite contrastar los resultados obtenidos con el Modelo 2.

En consecuencia, se adopta el Modelo 2 como modelo principal de evaluación, y se conservan los resultados del Modelo 1 como referencia metodológica. Bajo este criterio, la ganancia total atribuible al dispositivo de conteo regresivo en la intersección analizada asciende a 168 veh/h.

#### **4.2.5 Recomendaciones**

Se recomienda revisar la configuración geométrica y operativa del acceso 1 de la intersección, debido a que anteriormente existía la posibilidad de realizar giros a la izquierda, motivo por el cual el parterre presenta un acortamiento en dicha zona. Actualmente, al encontrarse restringidos estos giros, el acceso genera visualmente tres carriles de circulación, lo cual puede ocasionar confusión en los usuarios respecto al uso adecuado de cada carril y las trayectorias permitidas.

Figura 4-7 Vehículos formando 3 carriles Acceso 1



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se recomienda implementar y reforzar la señalización horizontal en el acceso 1, considerando que actualmente no existen demarcaciones claras que delimiten los carriles de circulación. La incorporación de líneas divisorias, flechas direccionales y marcas viales complementarias permitiría ordenar mejor el tránsito, reducir maniobras indebidas y mejorar la seguridad operacional de la intersección.

Figura 4-8 Señalización horizontal deficiente Acceso 1



*Fuente: Elaboración propia*

Finalmente, se sugiere considerar la aplicación de dispositivos semafóricos de conteo regresivo en otras intersecciones con características operacionales similares, especialmente en aquellas con elevados volúmenes vehiculares y tiempos de espera considerables, a fin de mejorar la eficiencia del sistema semafórico y las condiciones de seguridad vial.

#### 4.2.6 Conclusiones

Con base en el análisis comparativo efectuado antes y después de la implementación de los dispositivos semafóricos de conteo regresivo en la intersección objeto de estudio, se evidenciaron mejoras en los parámetros operacionales analizados. En relación con la pérdida inicial, todos los carriles presentaron resultados favorables, destacándose el Acceso 4 con una reducción del 50.4 %, seguido del Acceso 1 carril derecho con 50.2 % y el Acceso 1 carril izquierdo con 49.7 %. Estos resultados reflejan que los conductores reaccionaron con mayor rapidez al inicio de la fase verde, disminuyendo el tiempo empleado para arrancar desde la detención.

En cuanto al tiempo perdido en el arranque, también se registraron mejoras, aunque con variaciones entre accesos. El mayor beneficio se presentó en el Acceso 4, con una reducción del 20.3 %, seguido del Acceso 2 con 8.8 %, el Acceso 1 carril izquierdo con 8.3 % y el Acceso 3 carril izquierdo con 6.4 %. Los valores menores se observaron en el Acceso 3 carril derecho con un 1.4 % y el Acceso 1 carril derecho con un 0.1 %. Esto demuestra que el contador regresivo no solo beneficia al primer vehículo en fila, sino también a los conductores posteriores que alcanzan a visualizar el dispositivo y preparan anticipadamente su arranque. Seguramente los accesos que no presentan mejoras se pueden deber a que en esos accesos en esos carriles probablemente se pueda observar los semáforos de los otros dos accesos, y como es una intersección que funciona a dos fases probablemente los conductores que alcancen a observar el cambio de semáforo por lo que pueden anticipar de mejor manera el cambio de verde en su acceso por lo que puede que sea una de las razones por las cuales esos accesos no presentan mejoras mayores.

Respecto al comportamiento vehicular durante la fase amarilla, los resultados evidenciaron una disminución en la frecuencia de vehículos que cruzan la intersección en dicha fase en la totalidad de los accesos evaluados. El Acceso 2 presentó la mayor mejora, al pasar de 93.80 % a 68.75 %, lo que equivale a una reducción del 26.7 %. Le siguen el Acceso 1, que disminuyó de 62.50 % a 46.88 %, y el Acceso 4, que pasó de 50.00 % a 37.50 %, ambos con una reducción del 25.0 %. El Acceso 3 registró la variación más baja, al pasar de 75.00 % a 71.88 %, equivalente a una reducción del 4.2 %, valor que se ve influenciado por el carril derecho de este acceso, en el cual no se evidenciaron mejoras significativas.

El análisis porcentual evidencia una mejor conducta operacional al reducirse la proporción de vehículos que toman decisiones tardías frente al cambio de fase, lo cual constituye un indicador positivo de seguridad vial.

La disminución de vehículos que se movilizan en amarillo representa una mejora importante en la seguridad de la intersección, ya que reduce la probabilidad de conflictos con peatones y con los vehículos que inician movimiento en la siguiente fase semafórica. En consecuencia, la implementación de dispositivos de conteo regresivo puede contribuir a disminuir la siniestralidad y mejorar el orden operacional de intersecciones urbanas semaforizadas.

Si bien los resultados confirman que, en términos generales, el dispositivo contribuye a reducir las maniobras de cruce durante la fase amarilla, este parámetro debe ser tomado con cautela. La información anticipada que proporciona el contador regresivo, al permitir que el conductor conozca con precisión el instante del cambio de fase, puede generar también un efecto adverso en escenarios específicos: aquellos conductores que perciben que no alcanzarán a cruzar dentro de la fase verde podrían optar por acelerar para evitar la detención. En consecuencia, si bien el balance global del dispositivo en materia de seguridad vial es favorable, su implementación debería complementarse con un seguimiento operativo posterior orientado a verificar que la reducción de cruces en amarillo no se vea acompañada por un incremento de velocidades de aproximación al final del verde.

Desde la perspectiva de la ganancia de vehículos, la aplicación del Modelo 1, basado en la reducción de la pérdida inicial, arrojó una ganancia total de 129 veh/h, mientras que el Modelo 2, basado en la reducción del tiempo perdido en el arranque, arrojó una ganancia total de 168 veh/h. Ambos resultados son cuantitativamente positivos y confirman que la implementación del dispositivo se traduce en un aprovechamiento adicional de la capacidad operativa de la intersección.













La comparación entre los dos modelos permitió identificar al Modelo 2 como el enfoque más representativo para evaluar el aporte real del dispositivo de conteo regresivo, en tanto captura el efecto sobre la totalidad del grupo inicial de descarga y ofrece mayor sensibilidad para discriminar los carriles donde el dispositivo produjo un beneficio operativo significativo de aquellos en los que su efecto fue casi nulo. No obstante, el Modelo 1 conserva su valor como

referencia metodológica clásica y como instrumento de control que aporta robustez al análisis comparativo.













En síntesis, los resultados obtenidos en el presente capítulo confirman que el dispositivo de conteo regresivo implementado cumple satisfactoriamente con los objetivos planteados en el estudio favoreciendo en gran parte al acceso 2 y al acceso 4 que presentan un 3.22% y un 8.36% de ganancia de vehículos en una hora de verde, de igual manera se puede buscar una razón de por qué en el acceso 1 carril derecho y en el acceso 3 carril derecho no presentan mejoras significativas, dado a que estos accesos al ser un sistema de dos fases que trabaja la intersección semaforizada puedan anticipar de mejor manera el cambio de fase. Estos hallazgos sustentan la viabilidad técnica del dispositivo como medida de bajo costo para la optimización del control semafórico en intersecciones urbanas con condiciones de operación similares a las analizadas en este estudio.

## Anexos













### Anexo 1: Aforo de maniobras en el acceso 1

<b>PLANTILLA DE CONTEO VEHICULAR</b>						
Información General				Información del sector		
<b>Usuario:</b>	Nicolás Rodríguez			<b>Calle urbana:</b>	Av. 12 de Octubre	
<b>Día de la semana:</b>	Miércoles			<b>Sentido:</b>	S-N	
<b>Fecha:</b>	26/11/2025			<b>Dirección o referencia:</b>	Reloj Floral	
<b>Periodo en horas:</b>	1			<b>Ciudad/Parroquia:</b>	Cuenca	
<b>Clima:</b>	Despejado			<b>Acceso:</b>	1	
<b>Intervalo</b>	<b>Maniobra</b>	<b>Livianos</b>	<b>Buses</b>	<b>Camiones</b>	<b>Motos</b>	<b>Total</b>
7:30-7:45		437	0	6	31	<b>474</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
7:45-8:00		490	1	7	26	<b>524</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
8:00-8:15		393	0	9	29	<b>431</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
8:15-8:30		356	1	5	25	<b>387</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
<b>TOTAL</b>		1676	2	27	111	<b>1816</b>













## Anexo 2: Aforo de maniobras en el acceso 2

PLANTILLA DE CONTEO VEHICULAR						
Información General				Información del sector		
<b>Usuario:</b>	Nicolás Rodríguez			<b>Calle urbana:</b>	Av. Primero de Mayo	
<b>Día de la semana:</b>	Miércoles			<b>Sentido:</b>	E-O	
<b>Fecha:</b>	26/11/2025			<b>Dirección o referencia:</b>	Reloj Floral	
<b>Periodo en horas:</b>	1			<b>Ciudad/Parroquia:</b>	Cuenca	
<b>Clima:</b>	Despejado			<b>Acceso:</b>	2	
Intervalo	Maniobra	Livianos	Buses	Camiones	Motos	Total
17:00-17:15		74	0	6	10	<b>90</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		37	0	0	3	<b>40</b>
17:15-17:30		88	0	5	6	<b>99</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		25	1	1	2	<b>29</b>
17:30-17:45		93	0	3	11	<b>107</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		37	0	1	4	<b>42</b>
17:45-18:00		81	0	5	10	<b>96</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		31	1	1	3	<b>36</b>
<b>TOTAL</b>		466	2	22	49	<b>539</b>

### Anexo 3: Aforo de maniobras en el acceso 3

PLANTILLA DE CONTEO VEHICULAR						
Información General				Información del sector		
<b>Usuario:</b>	Nicolás Orellana			<b>Calle urbana:</b>	Av. Doce de Octubre	
<b>Día de la semana:</b>	Miércoles			<b>Sentido:</b>	N-S	
<b>Fecha:</b>	26/11/2025			<b>Dirección o referencia:</b>	Reloj Floral	
<b>Periodo en horas:</b>	1			<b>Ciudad/Parroquia:</b>	Cuenca	
<b>Clima:</b>	Despejado			<b>Acceso:</b>	3	
Intervalo	Maniobra	Livianos	Buses	Camiones	Motos	Total
17:00-17:15		301	1	7	26	<b>335</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		56	0	1	5	<b>62</b>
17:15-17:30		327	1	7	44	<b>379</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		47	0	1	1	<b>49</b>
17:30-17:45		288	2	6	33	<b>329</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		42	0	1	6	<b>49</b>
17:45-18:00		344	4	14	34	<b>396</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		54	0	0	5	<b>59</b>
<b>TOTAL</b>		1459	8	37	154	<b>1658</b>

#### Anexo 4: Aforo de maniobras en el acceso 4

PLANTILLA DE CONTEO VEHICULAR						
Información General				Información del sector		
<b>Usuario:</b>	Nicolás Orellana			<b>Calle urbana:</b>	Av. Primero de Mayo	
<b>Día de la semana:</b>	Miércoles			<b>Sentido:</b>	O-E	
<b>Fecha:</b>	26/11/2025			<b>Dirección o referencia:</b>	Reloj Floral	
<b>Periodo en horas:</b>	1			<b>Ciudad/Parroquia:</b>	Cuenca	
<b>Clima:</b>	Despejado			<b>Acceso:</b>	4	
Intervalo	Maniobra	Livianos	Buses	Camiones	Motos	Total
9:15-9:30		74	1	5	6	<b>86</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
9:30-9:45		77	2	1	4	<b>84</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
9:45-10:00		95	2	5	6	<b>108</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
10:00-10:15		87	0	5	7	<b>99</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
		0	0	0	0	<b>0</b>
<b>TOTAL</b>		333	5	16	23	<b>377</b>

**Anexo 5: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 1, carril izquierdo**

<b>N. Ciclo</b>	<b>Tiempo perdido en el arranque (s)</b>	<b>N. vehículos que cruzan</b>	<b>Tiempo hasta que cruza el último vehículo (s)</b>	<b>Perdida inicial (s)</b>	<b>N. vehículos que se pasan en amarillo</b>	<b>Intervalo Promedio (s/veh)</b>
1	8,46	28	71,82	1,18	0	2,64
2	12,31	17	67,89	3,31	0	4,28
3	9,82	25	74,42	0,95	1	3,08
4	8,88	21	72,7	1,38	1	3,75
5	11,9	25	73,94	2,68	2	2,95
6	9,69	21	65,71	0,9	0	3,30
7	8,79	22	74,03	0,8	1	3,62
8	9,28	23	73,26	2,5	1	3,37
9	10,68	27	72,11	1,51	0	2,67
10	10,48	18	65,81	2,11	0	3,95
11	11	29	73,11	2,08	0	2,48
12	8,8	29	74,17	1,08	1	2,61
13	9,73	25	73,22	1,51	1	3,02
14	12,04	17	73,58	1,8	1	4,73
15	11,76	13	68,23	1,86	1	6,27
16	13	21	71,74	3,06	1	3,46

**Anexo 6: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 1, carril derecho**

<b>N. Ciclo</b>	<b>Tiempo perdido en el arranque (s)</b>	<b>N. vehículos que cruzan</b>	<b>Tiempo hasta que cruza el último vehículo (s)</b>	<b>Perdida inicial (s)</b>	<b>N. vehículos que se pasan en amarillo</b>	<b>Intervalo Promedio (s/veh)</b>
1	8,69	18	69,9	2,72	0	4,37
2	9,58	29	73,16	2,18	1	2,54
3	9,22	21	66,05	1,55	0	3,34
4	9,9	29	74,22	2,18	1	2,57
5	8,18	20	73,75	1,25	2	4,10
6	12,96	19	71,23	5,41	0	3,88
7	11,15	21	71,07	1,56	1	3,52
8	11,17	20	72,01	2,93	1	3,80
9	8,7	26	73,07	1,28	1	2,93
10	7,46	25	67,56	1,06	0	2,86

11	10,13	20	72,2	1,13	1	3,88
12	11,26	24	72,36	3,18	1	3,06
13	10,56	27	71,35	0,96	1	2,64
14	8,63	23	73,02	1,75	1	3,39
15	12,88	15	56,47	2,28	0	3,96
16	12,32	19	68,94	2,93	0	3,77

**Anexo 7: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 2, carril único**

N. Ciclo	Tiempo perdido en el arranque (s)	N. vehículos que cruzan	Tiempo hasta que cruza el último vehículo (s)	Perdida inicial (s)	N. vehículos que se pasan en amarillo	Intervalo Promedio (s/veh)
1	15,17	15	41,82	2,16	1	2,42
2	9,68	19	43,12	1,48	3	2,23
3	12,44	16	44,63	2,28	1	2,68
4	10,12	16	42,11	1,35	1	2,67
5	13,45	17	42,95	3,85	3	2,27
6	10,64	18	42,88	1,95	2	2,30
7	10,9	18	42,96	1,5	1	2,29
8	11,07	18	42,92	1,35	1	2,28
9	12,52	17	42,8	2,01	3	2,33
10	8,37	20	43,02	1,65	2	2,17
11	14,01	16	43,09	1,5	2	2,42
12	9,26	19	42,49	1,66	2	2,22
13	10,45	17	42,79	4,04	3	2,49
14	11,55	13	30,88	1,93	0	2,15
15	10,8	17	41,8	1,9	1	2,38
16	13,47	14	42,56	4,29	2	2,91

**Anexo 8: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 3, carril izquierdo**

N. Ciclo	Tiempo perdido en el arranque (s)	N. vehículos que cruzan	Tiempo hasta que cruza el último vehículo (s)	Perdida inicial (s)	N. vehículos que se pasan en amarillo	Intervalo Promedio (s/veh)
1	10,37	25	71,33	1,39	1	2,90
2	10,39	29	73,96	1,16	2	2,54

3	9,42	26	72,25	1,71	1	2,86
4	12	23	71,76	1,88	1	3,15
5	9,32	22	71,59	1,81	1	3,46
6	11,62	28	71,74	2,31	1	2,51
7	9,4	27	72,52	2,01	1	2,74
8	11,05	26	71,78	2,44	1	2,76
9	9,72	26	72,14	1,63	1	2,84
10	8,35	24	64,23	1,71	0	2,79
11	11,05	21	71,93	1,06	2	3,58
12	10,76	20	72,8	1,54	1	3,88
13	9,99	29	71,82	2,28	1	2,47
14	14,21	27	72,71	1,21	1	2,54
15	11,6	29	73,85	2,54	2	2,49
16	11,67	23	71,33	2,66	0	3,14

**Anexo 9: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 3, carril derecho**

N. Ciclo	Tiempo perdido en el arranque (s)	N. vehículos que cruzan	Tiempo hasta que cruza el último vehículo (s)	Perdida inicial (s)	N. vehículos que se pasan en amarillo	Intervalo Promedio (s/veh)
1	9,71	31	74,54	1,71	1	2,40
2	11,68	25	73,77	3,66	0	2,96
3	12,08	30	74,77	4,28	0	2,41
4	11,95	27	74,09	1,65	1	2,70
5	12,75	24	74,7	2,58	1	3,10
6	13,93	26	74,2	3,58	1	2,74
7	9,65	27	73,18	1,5	0	2,76
8	12	30	73,4	1,45	0	2,36
9	10,79	29	74,64	1,4	1	2,55
10	8,83	30	73,46	0,81	1	2,49
11	9,63	25	73,24	2,38	0	3,03
12	10,07	27	74,09	2,05	1	2,78
13	11	28	74,98	3	1	2,67
14	12,44	29	74,08	1,8	0	2,47
15	12,73	29	74,6	1,65	1	2,47
16	10,28	28	74,41	1,48	1	2,67

**Anexo 10: Datos tomado en campo previo a la instalación de dispositivos del acceso 4, carril único**

N. Ciclo	Tiempo perdido en el arranque (s)	N. vehículos que cruzan	Tiempo hasta que cruza el último vehículo (s)	Perdida inicial (s)	N. vehículos que se pasan en amarillo	Intervalo Promedio (s/veh)
1	11,99	16	43,98	1,9	0	2,67
2	10,39	11	34,65	1,26	0	3,47
3	14,45	13	42,24	1,81	0	3,09
4	13,96	13	41,94	3,46	0	3,11
5	15,86	16	42,79	2,96	1	2,24
6	14,62	12	42,41	1,11	0	3,47
7	9,02	12	42,07	1,2	0	4,13
8	14,87	11	43,27	1,88	2	4,06
9	12,26	12	44,71	2,93	2	4,06
10	9,16	10	35,83	1,43	0	4,45
11	15,03	14	44,47	6,15	2	2,94
12	10,82	16	43,86	2,69	1	2,75
13	13,95	14	43,42	2,88	2	2,95
14	15,56	10	43,07	2,61	1	4,59
15	9,98	12	42,17	2,45	1	4,02
16	13,12	10	29,43	3,03	0	2,72

**Anexo 11: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 1, carril izquierdo**

N. Ciclo	Tiempo perdido en el arranque (s)	N. vehículos que cruzan	Tiempo hasta que cruza el último vehículo (s)	Perdida inicial (s)	N. vehículos que se pasan en amarillo	Intervalo Promedio (s/veh)
1	9	24	73,08	1,06	0	3,20
2	8,65	26	74,99	1,06	1	3,02
3	7,88	26	69,2	0,89	0	2,79
4	9,37	21	73,48	0,96	1	3,77
5	11,53	20	70,69	0,9	1	3,70
6	8,4	20	72,56	1,13	1	4,01
7	11,49	25	73,77	0,91	0	2,97
8	11,84	20	61,64	1,31	0	3,11
9	10,27	21	71,67	1,88	1	3,61
10	9,93	23	72,85	1,25	1	3,31

11	11,82	22	72,16	1,83	1	3,35
12	6,66	18	70,66	0	1	4,57
13	7,46	20	72,54	0	1	4,07
14	10,09	20	72,02	1,23	0	3,87
15	9,74	23	72,37	0	0	3,30
16	8,66	23	70,82	0	0	3,27

**Anexo 12: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 1, carril derecho**

N. Ciclo	Tiempo perdido en el arranque (s)	N. vehículos que cruzan	Tiempo hasta que cruza el último vehículo (s)	Perdida inicial (s)	N. vehículos que se pasan en amarillo	Intervalo Promedio (s/veh)
1	9,58	22	71,46	1,53	0	3,44
2	9,11	19	72,09	1,41	0	4,20
3	8,12	26	72,01	1,16	2	2,90
4	8,4	19	70,25	0,85	0	4,12
5	12,65	23	68,21	1,61	0	2,92
6	9,6	22	71,8	1,43	1	3,46
7	9,52	23	71,55	1,11	0	3,26
8	11,66	22	70,4	0,43	2	3,26
9	11,33	21	71,48	0,9	2	3,54
10	10,97	24	70,42	0,33	0	2,97
11	11,74	23	73,08	2,03	2	3,23
12	11,32	18	70,06	0,63	0	4,20
13	11,38	18	73,06	0,51	0	4,41
14	10,5	23	71,45	2,03	1	3,21
15	8,57	21	69,49	0,78	0	3,58
16	8,15	22	68,01	0,33	0	3,33

**Anexo 13: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 2, carril único**

N. Ciclo	Tiempo perdido en el arranque (s)	N. vehículos que cruzan	Tiempo hasta que cruza el último vehículo (s)	Perdida inicial (s)	N. vehículos que se pasan en amarillo	Intervalo Promedio (s/veh)
1	11,58	17	42,33	1,52	2	2,37
2	11,82	18	42,09	0,94	1	2,16

3	9,89	16	43,22	0,63	1	2,78
4	9,86	11	41,54	1,12	1	4,53
5	10,17	15	41,35	0,49	1	2,83
6	10,11	16	40,23	1,41	0	2,51
7	9,98	17	41,38	0,37	1	2,42
8	10,13	17	41,2	1,48	1	2,39
9	11,45	13	38,01	2,71	0	2,95
10	9,33	18	39,94	1,24	0	2,19
11	9,97	11	29,12	0,75	0	2,74
12	9,58	13	37,9	0,87	0	3,15
13	12,37	14	41,21	1,47	1	2,88
14	12,5	15	41,76	1,81	1	2,66
15	8,59	18	42,23	1,29	1	2,40
16	10,4	17	41,86	1,06	1	2,42

**Anexo 14: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 3, carril izquierdo**

N. Ciclo	Tiempo perdido en el arranque (s)	N. vehículos que cruzan	Tiempo hasta que cruza el último vehículo (s)	Perdida inicial (s)	N. vehículos que se pasan en amarillo	Intervalo Promedio (s/veh)
1	8,24	27	71,17	1,13	0	2,74
2	7,34	29	72,27	1,06	1	2,60
3	9,96	26	70,95	0,86	1	2,77
4	10,2	26	71,07	0,51	0	2,77
5	9,87	26	72,15	1,08	2	2,83
6	10,91	25	68,12	1,14	0	2,72
7	10,45	29	69,27	1,31	1	2,35
8	10,41	29	71,19	1,71	1	2,43
9	10,18	26	72,35	2,06	1	2,83
10	11,5	29	71,69	0,91	2	2,41
11	9,83	28	71,95	2,06	1	2,59
12	11,66	29	72,94	1,06	1	2,45
13	12,64	27	71,95	1,49	1	2,58
14	8,03	28	70,95	0,89	0	2,62
15	10,73	26	69,89	0,54	2	2,69
16	8,02	26	68,69	0,46	0	2,76

**Anexo 15: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 3, carril derecho**

N. Ciclo	Tiempo perdido en el arranque (s)	N. vehículos que cruzan	Tiempo hasta que cruza el último vehículo (s)	Perdida inicial (s)	N. vehículos que se pasan en amarillo	Intervalo Promedio (s/veh)
1	9,68	28	75,05	1,98	2	2,72
2	10,27	27	74,92	1,11	2	2,81
3	9,37	25	74,12	0,83	2	3,08
4	10,85	26	73,29	1,41	1	2,84
5	12,22	28	74,57	1,93	0	2,60
6	10,82	33	74,64	1,33	1	2,20
7	11,37	25	74,04	1,41	0	2,98
8	14,04	29	75,03	2	2	2,44
9	10,75	29	72,73	1,33	2	2,48
10	9,87	26	74,83	0,76	1	2,95
11	13,34	29	74,4	1,03	0	2,44
12	11,04	28	74,98	1,63	2	2,66
13	10,62	26	74,56	0,86	1	2,91
14	11,6	31	75,02	2,88	2	2,35
15	11,82	30	74,05	0,65	1	2,39
16	9,35	26	73,76	0,58	0	2,93

**Anexo 16: Datos tomado en campo posterior a la instalación de dispositivos del acceso 4, carril único**

N. Ciclo	Tiempo perdido en el arranque (s)	N. vehículos que cruzan	Tiempo hasta que cruza el último vehículo (s)	Perdida inicial (s)	N. vehículos que se pasan en amarillo	Intervalo Promedio (s/veh)
1	11,42	13	41,48	1,03	0	3,34
2	8,91	10	41,42	1,47	0	5,42
3	10,99	11	42,13	0,98	0	4,45
4	11,63	15	42,75	1,56	0	2,83
5	15,36	14	42,71	4,55	1	2,74
6	9,13	13	42,55	0,68	1	3,71
7	9,55	12	42,69	1,53	0	4,14
8	11,53	13	42,82	1,31	0	3,48
9	11,08	13	43,5	1,26	1	3,60
10	8,31	14	42,2	0	1	3,39

<b>11</b>	9,12	12	43,88	0,21	2	4,35
<b>12</b>	8,83	12	41,01	0,91	0	4,02
<b>13</b>	7,9	8	40,83	0	0	8,23
<b>14</b>	9,45	10	37,46	1,46	0	4,67
<b>15</b>	7,83	14	43,18	0,85	1	3,54
<b>16</b>	12,45	9	42,67	1,86	0	6,04

## **Anexo 17: Ficha técnica de dispositivo de conteo regresivo**

### **Especificaciones técnicas - Luna de 300 mm amarilla con contador.**

- La luna tiene comunicación RS 485 con el controlador, para que el controlador comande la visualización del tiempo o la ausencia de este.
- La luna también puede ser de autoaprendizaje.
- La luna tiene un puerto de comunicación de dos pines que va cableada al controlador.
- Cuando se use sensores inductivos o botoneras peatonales prioritarias la luna no muestra ningún tiempo, cuando el sensor vehicular o peatonal detecte la luna mostrará el tiempo de espera configurado en el controlador.
- Humedad relativa: >75%
- Temperatura operación: entre -40°C a +70°C
- Condiciones de instalación: Intemperie/exposición a lluvia, contaminación atmosférica y polvo
- Grado de protección: IP 65
- Cantidad de leds: 168 amarillos.
- Vida Útil: >80000 horas
- Color de lente: transparente
- La tensión de alimentación 85-265VAC; 50-60Hz, asegura mayor resistencia de las lámparas LED a fallos en el suministro eléctrico.
- Dispositivo portátil para la configuración y direccionamiento de lunas contadoras de tiempo.
- Incorpora pantalla táctil para la carga de direcciones estandarizadas según la dirección de la vía de instalación.
- Cuenta con batería integrada que permite su portabilidad y configuración en campo.

- Dispone de varios puertos de conexión RS485 para la configuración simultánea de múltiples lunas.
- Incorpora botón de encendido y apagado.
- Cuenta con cable de comunicación concéntrico 2x18 AWG para comunicación.
- Dispone de cable concéntrico 4x18 AWG para funciones de configuración y direccionamiento.
- Se suministra dispositivo para el cambio de direccionamiento de cada luna en controladores que no disponen de esta función.
- La luna es comandada exclusivamente desde el controlador y no funciona en modo autoaprendizaje.
- Cuenta con comunicación RS485 dedicada para la gestión del tiempo desde el controlador.
- Los LEDs del contador rojo y verde corresponden a 64 unidades respectivamente.
- Color del cuerpo de la lámpara negro.



*Ilustración 1 Luna de 300 mm amarilla con contador*

## Referencias

Akçelik, R. (1998). *Traffic signals: Capacity and timing analysis* (Research Report ARR No. 123). Australian Road Research Board.

Alcaldía de Cuenca. (2026). *Dashboard de Movilidad de Cuenca* [Panel interactivo de datos]. <https://datosmov.cuenca.gob.ec/>

Bocarejo, J. P. (2020). *Congestion in Latin American cities: Innovative approaches for a critical issue* (Discussion Paper No. 2020/28). OECD Publishing. [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2020/09/congestion-in-latin-american-cities\\_410a656c/938de08e-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2020/09/congestion-in-latin-american-cities_410a656c/938de08e-en.pdf)

Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2010). *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones* (8.<sup>a</sup> ed.). Alfaomega.

Cruz, O. A. (2021). Efecto de las distracciones por el uso del teléfono celular durante la conducción. *Infraestructura Vial / LanammeUCR*, 23(41), 62.

Empresa Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca EMOV EP. (2026). *Informe de accidentes de tránsito: Primero de Mayo y Doce de Octubre (enero 2022 – marzo 2026)*. EMOV EP.

Federal Highway Administration. (2023). *Manual on uniform traffic control devices for streets and highways* (11.<sup>a</sup> ed.). U.S. Department of Transportation.

Fitrian, R. D., & Darmawan, A. (2025). The effect of countdown timer with running text at signalized intersection: An empirical study. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 9(1), 33–44. <https://www.researchgate.net/publication/386400885>

Fujita, M., Tanaka, S., Suzuki, H., & Nakamura, H. (2024). Comparative and microscopic analysis of vehicle startup with and without countdown device. *The Open Transportation Journal*, 18, e26671212279478. <https://opentransportationjournal.com/openurl/content.php?elocator=e26671212279478>

Google Earth. (2026, marzo). *Imagen satelital de la intersección Av. 12 de Octubre y Av. Primero de Mayo, Cuenca* [Mapa]. <https://earth.google.com/>

IERSE – Universidad del Azuay, & Dirección General de Planificación Territorial del GAD Municipal del Cantón Cuenca. (2025). *Plano de la ciudad de Cuenca y cabeceras urbano parroquiales*. Casa Editora Universidad del Azuay.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 004-1:2011: Señalización vial. Parte 1. Señalización vertical*. INEN. [https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/LOTAIP2015\\_reglamento-tecnico-ecuadoriano-rte-inen-004-1-2011.pdf](https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/LOTAIP2015_reglamento-tecnico-ecuadoriano-rte-inen-004-1-2011.pdf)

Kłos, M. J., Sobota, A., Żochowska, R., & Karoń, G. (2020). Effects of countdown timers on traffic safety at signalized intersections. *Transactions on Transport Sciences*, 11(2), 19–27. <https://www.researchgate.net/publication/344813893>

Krukowicz, T. (2021). Analysis of the impact of countdown signal timers on safety and effectiveness. *Energies*, 14(21), Artículo 7081. <https://repo.pw.edu.pl/docstore/download/WUT1d69c637ddf1400bb923c0f252497178/WUTd8505d1e02aa41d0893589dca1726b64.pdf>

Municipalidad de Cuenca. (2015). *Plan de movilidad y espacios públicos de Cuenca 2015–2025*. EMOV EP.

Organización Mundial de la Salud. (2015). *Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2015*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565066>

Pan, F., Yang, J., Zhang, L., Ma, C., Yang, J., & Zhang, P. (2023). Impact of countdown signals on traffic safety and efficiency: A review and proposal. *Digital Transportation and Safety*, 2(3), 200–210. <https://www.maxapress.com/article/doi/10.48130/DTS-2023-0016>

Suconota, D., & Urdiales, F. (2018). *Análisis de flujos de saturación en tres accesos de la intersección semaforizada de la Av. Ordóñez Laso y Los Cedros de la ciudad de Cuenca, con la instalación de dispositivos auxiliares* [Tesis de grado, Universidad del Azuay]. Repositorio Institucional UDA. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8697/1/14356.pdf>

Sushmitha, R. (2025). Effect of countdown timer on acceleration–deceleration rates. *Advances in Transportation Engineering*, 12(1), 55–64. <https://www.atlantis-press.com/article/126009138.pdf>

Transportation Research Board. (2010). *Highway Capacity Manual* (5 ed.). Washington, D.C.: National Research Council.