



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

**Análisis de flujos de saturación en tres accesos de la  
intersección semaforizada de la Av. Ordoñez Laso y Los  
Cedros de la ciudad de Cuenca, con la instalación de  
dispositivos auxiliares**

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

**Ingeniero Civil con Énfasis en Gerencia de Construcciones**

**Autores:**

**Oliver Daniel Suconota Vega**

**Fernando Xavier Urdiales Gómez**

**Director:**

**Pablo Andrés Carvallo Corral**

**Cuenca, Ecuador**

**2018**

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mis padres, Cristóbal y Graciela por su apoyo y su guía constante e incondicional, por haber sido un pilar fundamental en mi vida.

A mis hermanos Renata y Henry por haber sido una fuente de inspiración y motivación a seguir adelante y nunca rendirme en mis metas.

Fernando

Este trabajo está dedicado en especial a mis padres, Oliver y Sayury, que han sabido guiarme a lo largo de mi formación como profesional y como ser humano, aparte de ser un apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida.

A toda mi familia que han sido y son un aliento inmenso.

Daniel

## **Agradecimiento**

Agradecemos a los docentes, directivos y personal administrativo de la facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay, por sus enseñanzas impartidas a lo largo de todos estos años, en especial al Ing. Pablo Carvallo Corral y al Ing. Mateo Coello por el apoyo y tiempo brindado para el desarrollo de este trabajo.

Hacemos un agradecimiento especial al Ing. Diego Guamán Matute por facilitarnos el sistema de grabación vehicular, al Ing. Fredy Vera, técnico de semaforización de la EMOV, por ayudarnos en la instalación de los dispositivos semafóricos auxiliares, al Ing. Juan José Carrasco, funcionario de la Dirección Municipal de Transito de Cuenca, por la información brindada, al Dr. Jonnatan Aviles, docente de la Universidad del Azuay, por la ayuda brindada en el desarrollo de los cálculos estadísticos y finalmente a la Empresa Pública de Movilidad, Tránsito y Transporte de la Municipalidad de Cuenca por dar apertura al desarrollo de esta investigación.

## Índice

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice.....	iv
Índice de Tablas .....	viii
Índice de Figuras .....	x
Resumen.....	xv
Abstract .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1
1. El problema.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Objetivo General .....	3
1.4. Objetivos Específico.....	3
1.5. Justificación.....	3
1.6. Delimitación .....	4
1.7. Hipótesis .....	5
2. Marco Teórico.....	6
2.1. Conceptos Básicos.....	6
2.2. Antecedentes.....	10
2.3. Congestión vehicular .....	12
2.4. Metodología.....	15
2.4.1. Condiciones geométricas .....	15
2.4.2. Condiciones de tráfico .....	16
2.4.3. Condiciones de señalización.....	16

2.4.4.	Calculo del factor de hora pico (PHF) .....	16
2.4.5.	Calculo de la tasa de flujo (Vp) .....	16
2.4.6.	Flujo de saturación.....	17
2.4.7.	Capacidad.....	19
2.4.8.	Relación volumen capacidad .....	20
2.4.9.	Demoras .....	20
2.4.10.	Demora uniforme .....	21
2.4.11.	Demora incremental .....	21
2.4.12.	Demora por cola inicial .....	22
2.4.13.	Factor de ajuste por coordinación .....	24
2.4.14.	Demora en los accesos .....	25
2.4.15.	Demora en la intersección.....	25
2.4.16.	El tiempo de reacción.....	25
2.4.17.	Tasa de flujo (q) .....	26
2.4.18.	Intervalo (h).....	26
2.4.19.	Modelo básico de flujo de saturación.....	27
2.4.20.	Evaluación de hipótesis.....	27
2.4.20.1.	Varianza .....	27
2.4.20.2.	Coefficiente de determinación.....	28
2.4.20.3.	ANOVA .....	28
2.4.20.4.	Método de Tukey .....	28
3.	Características de la intersección y los accesos a estudiar.....	29
3.1.	Estado de la intersección .....	29
3.1.1.	Trafico promedio diario anual (TPDA) .....	32
3.1.2.	Fases de la intersección.....	33

3.2.	Análisis de flujos de saturación y niveles de servicio de los accesos a estudiar	
	36	
3.2.1.	Flujo de saturación.....	41
3.2.2.	Nivel de servicio de cada uno de los accesos a estudiar .....	44
3.3.	Demoras de la intersección.....	45
4.	Datos obtenidos en campo .....	47
4.1.	Altura del Dispositivo Semafórico Auxiliar .....	47
4.2.	Toma de Datos.....	50
4.3.	Sin Dispositivo Semafórico Auxiliar.....	50
4.3.1.	Intervalo promedio (s/veh).....	50
4.3.2.	Flujo observado (veh/h) .....	51
4.3.3.	Tasa promedio de descarga de la cola en un periodo de verde saturado (veh/s)	51
4.3.4.	Vehículos promedio que cruzan en una fase de verde saturado .....	51
4.3.5.	Tiempo promedio perdido en el arranque (s).....	52
4.3.6.	Tiempo promedio en que cruza el último vehículo (s) .....	52
4.3.7.	Tiempo promedio de perdida inicial (s).....	52
4.3.8.	Tiempos de verde efectivo .....	53
4.4.	Con Dispositivo Semafórico Auxiliar .....	54
4.4.1.	Intervalo promedio.....	57
4.4.2.	Flujo observado.....	57
4.4.3.	Tasa promedio de descarga de la cola en un periodo de verde saturado .....	57
4.4.4.	Vehículos promedio que cruzan en una fase de verde saturado .....	57
4.4.5.	Tiempo promedio perdido en el arranque.....	58
4.4.6.	Tiempo promedio en que cruza el último vehículo .....	58
4.4.7.	Tiempo promedio de pérdida inicial.....	58

4.4.8. Tiempos de verde efectivo.....	58
5. Análisis de resultados .....	61
5.1. Parámetros a comparar .....	61
5.2. Pérdida inicial.....	62
5.2.1. Porcentaje de vehículos que tienen una pérdida inicial menor y mayor a dos segundos .....	65
5.3. Tiempo perdido en el arranque.....	67
5.3.1. Porcentaje de fases que tienen un tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos .....	70
5.4. Análisis de pérdida inicial .....	72
5.5. Análisis de tiempo perdido en el arranque .....	72
5.6. Evaluación de hipótesis .....	75
5.7. Recomendaciones.....	82
5.8. Conclusiones.....	85
Anexos.....	88
Anexo 1: Conteo manual de tráfico con giros, Acceso 1 .....	88
Anexo 2: Conteo manual de tráfico con giros, Acceso 2 .....	89
Anexo 3: Conteo manual de tráfico con giros, Acceso 3 .....	90
Anexo 4: Conteo manual de tráfico con giros, Acceso 4 .....	91
Anexo 5: Calculo del factor de giro a la izquierda.....	92
Anexo 6: Calculo del factor de peatón/bicicleta para giros a la derecha.....	93
Anexo 7: Toma de datos sin dispositivo semafórico auxiliar.....	94
Anexo 8: Toma de datos con dispositivo semafórico auxiliar .....	104
Anexo 9: Especificaciones técnicas del dispositivo semafórico auxiliar. ....	114
Bibliografía .....	117

## Índice de tablas

Tabla 2.1: Modos y motivos de viaje .....	11
Tabla 2.2: Porcentajes de la composición de tráfico en Cuenca .....	14
Tabla 2.3: Niveles de servicio .....	15
Tabla 2.4: Formulas de los factores para el cálculo del flujo de saturación .....	17
Tabla 2.5: Factor de ajuste de progresión para el cálculo de la demora uniforme.....	24
Tabla 3.1: Características geométricas de la intersección.....	30
Tabla 3.2: Características de señalización y estado de la intersección .....	30
Tabla 3.3: TPDA 2010 y TPDA 2018.....	33
Tabla 3.4: Conteo Acceso 1, Av. Ordoñez Laso E-O .....	37
Tabla 3.5: Conteo Acceso 2, Av. Ordoñez Laso O-E .....	38
Tabla 3.6: Conteo Acceso 3, Los Cedros N-S .....	39
Tabla 3.7: Horas pico por acceso .....	41
Tabla 3.8: Número de carriles del grupo de carriles .....	41
Tabla 3.9: Factor por ancho de carril .....	41
Tabla 3.10: Factor por vehículos pesados .....	42
Tabla 3.11: Factor de ajuste por inclinación del acceso.....	42
Tabla 3.12: Factor de ajuste por existencia del carril de estacionamiento .....	42
Tabla 3.13: Factor de ajuste por efecto de los autobuses locales que paran dentro de la zona .....	42
Tabla 3.14: Factor de ajuste por tipo de área .....	42
Tabla 3.15: Factor de ajuste por utilización de carril.....	43
Tabla 3.16: Factor de ajuste por giro a la izquierda .....	43
Tabla 3.17: Factor de ajuste por giro a la derecha .....	43
Tabla 3.18: Factor de ajuste por movimientos a la izquierda de peatones y ciclistas .....	43
Tabla 3.19: Factor de ajuste por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas .....	43
Tabla 3.20: Flujo de saturación.....	43
Tabla 3.21: Demora uniforme .....	44
Tabla 3.22: Demora incremental.....	44
Tabla 3.23: Demora por cola inicial.....	45
Tabla 3.24: Factor de ajuste por coordinación.....	45

Tabla 3.25: Demora promedio .....	45
Tabla 3.26: Nivel de servicio .....	45
Tabla 3.27: Demoras y nivel de servicio Los Cedros S-N .....	46
Tabla 4.1: Intervalos promedios por carril, sin dispositivo.....	50
Tabla 4.2: Flujo observado por carril, sin dispositivo.....	51
Tabla 4.3: Tasa de descarga por carril, sin dispositivo .....	51
Tabla 4.4: Vehículos que cruzan por carril, sin dispositivo .....	51
Tabla 4.5: Tiempo perdido en el arranque por carril, sin dispositivo .....	52
Tabla 4.6: Tiempo en que cruza el último vehículo por carril, sin dispositivo.....	52
Tabla 4.7: Tiempo de pérdida inicial por carril, sin dispositivo .....	52
Tabla 4.8: Intervalos promedios por carril, con dispositivo.....	57
Tabla 4.9: Flujo observado por carril, con dispositivo.....	57
Tabla 4.10: Tasa de descarga por carril, con dispositivo .....	57
Tabla 4.11: Vehículos que cruzan por carril, con dispositivo .....	57
Tabla 4.12: Tiempo perdido en el arranque por carril, con dispositivo .....	58
Tabla 4.13: Tiempo en que cruza el último vehículo por carril, con dispositivo.....	58
Tabla 4.14: Tiempo de pérdida inicial por carril, con dispositivo .....	58
Tabla 5.1: Parámetros no comparables .....	61
Tabla 5.2: Promedios de tiempos de pérdida inicial, por acceso y carril.....	62
Tabla 5.3: Promedios de tiempos perdidos en el arranque, por acceso y carril .....	67
Tabla 5.4: Porcentaje de Ganancia de Tiempo Perdido en el Arranque con Dispositivo	74
Tabla 5.5: Ganancia de vehículos que cruzan en fase de verde con flujo.....	74
Tabla 5.6: ANOVA de un solo factor: Tiempo Perdido en el Arranque vs. Sin/Con Dispositivo Semafórico, Acceso 1 .....	75
Tabla 5.7: ANOVA de un solo factor: Tiempo Perdido en el Arranque vs. Sin/Con Dispositivo Semafórico, Acceso 2 .....	78
Tabla 5.8: : ANOVA de un solo factor: Tiempo Perdido en el Arranque vs. Sin/Con Dispositivo Semafórico, Acceso 3 .....	80
Tabla 5.9: Porcentajes de Aumento del Flujo de Saturación .....	87

## Índice de Figuras

Figura 1.1: Intersección semafórica de la Av. Ordoñez Laso y Los Cedros.....	4
Figura 1.2: Dispositivo Auxiliar a nivel de la vista del conductor y ciclista en una intersección semafórica de Paris-Francia.....	5
Figura 2.1: Campo de visión desde el interior del vehículo.....	7
Figura 2.2: Distribución espacial de los vehículos.....	11
Figura 2.3: Congestión vehicular en la Av. de las Américas (paso deprimido).....	13
Figura 2.4: Intensidad Media Diaria del viario de Cuenca. ....	13
Figura 2.5: Inicio de verde en la intersección semafórica Av. Ordoñez Lazo O-E y Los Cedros .....	14
Figura 2.6: Intervalo entre vehículos. ....	26
Figura 2.7: Modelo básico del flujo de saturación.....	27
Figura 3.1: Esquema de la intersección semafórica y ubicación de semáforos de la Av. Ordoñez Laso y Los cedros.....	29
Figura 3.2: Paso cebra Av. Ordoñez Laso E-O.....	30
Figura 3.3: Paso cebra y señalización Los Cedros S-N. ....	30
Figura 3.4: Paso cebra y señalización Los Cedros S-N. ....	31
Figura 3.5: Paso cebra Los Cedros N-S .....	31
Figura 3.6: Paso cebra Av. Ordoñez Laso O-E.....	31
Figura 3.7: Calzada Los cedros N-S .....	31
Figura 3.8: Señalización vertical Av. Ordoñez Lazo O-E .....	31
Figura 3.9: Parada de bus Av. Ordoñez Laso O-E.....	31
Figura 3.10: Fase semafórica 1 .....	34
Figura 3.11: Tiempos semafóricos Fase 1.....	34
Figura 3.12: Fase semafórica 2 .....	34
Figura 3.13: Tiempos semafóricos Fase 2.....	34
Figura 3.14: Fase semafórica 3 .....	35
Figura 3.15: Tiempos semafóricos Fase 3.....	35
Figura 3.16: Tiempos del ciclo semafórico.....	35
Figura 3.17: Cámara de conteo de tráfico usada .....	36
Figura 3.18: Instalación de las cámaras de conteo de tráfico.....	36

Figura 3.19: Volumen de vehículos acceso 1.....	40
Figura 3.20: Volumen de vehículos acceso 2.....	40
Figura 3.21: Volumen de vehículos acceso 3.....	40
Figura 4.1: Principales marcas de vehículos matriculados, según clase. ....	47
Figura 4.2: Automóvil Chevrolet Aveo .....	48
Figura 4.3: Camioneta Chevrolet Silverado.....	48
Figura 4.4: Bosquejo del dispositivo auxiliar instalado en el poste .....	49
Figura 4.5: Vista lateral de un vehículo de altura promedio a la espera del cambio de fase. ....	49
Figura 4.6: Verde efectivo, Acceso 1-Carril 1, sin dispositivo .....	53
Figura 4.7: Verde efectivo, Acceso 1-Carril 2, sin dispositivo .....	53
Figura 4.8: Verde efectivo, Acceso 2-Carril 1, sin dispositivo .....	53
Figura 4.9: Verde efectivo, Acceso 2-Carril 2, sin dispositivo .....	54
Figura 4.10: Verde efectivo, Acceso 3, sin dispositivo.....	54
Figura 4.11: Instalación del dispositivo auxiliar .....	55
Figura 4.12: Dispositivo auxiliar, vista del interior de un vehículo.....	55
Figura 4.13: Dispositivo auxiliar Acceso 1-Noche .....	55
Figura 4.14: Dispositivo auxiliar Acceso 1 –Día.....	55
Figura 4.15: Dispositivo auxiliar Acceso 2-Noche .....	56
Figura 4.16: Dispositivo auxiliar Acceso 2-Día.....	56
Figura 4.17: Dispositivo auxiliar Acceso 3-Noche .....	56
Figura 4.18: Dispositivo auxiliar Acceso 3-Día.....	56
Figura 4.19: Verde efectivo, Acceso 1-Carril 1, con dispositivo .....	59
Figura 4.20: Verde efectivo, Acceso 1-Carril 2, con dispositivo .....	59
Figura 4.21: Verde efectivo, Acceso 2-Carril 1, con dispositivo .....	59
Figura 4.22: Verde efectivo, Acceso 2-Carril 2, con dispositivo .....	59
Figura 4.23: Verde efectivo, Acceso 3, con dispositivo .....	60
Figura 5.1: Esquema de la intersección semafórica y ubicación de semáforos de la Av. Ordoñez Laso y Los cedros.....	61
Figura 5.2: Perdida inicial con y sin dispositivo, Acceso 1 – Carril 1 .....	63
Figura 5.3: Perdida inicial con y sin dispositivo, Acceso 1 – Carril 2.....	63

Figura 5.4: Perdida inicial con y sin dispositivo, Acceso 2 – Carril 1 .....	64
Figura 5.5: Perdida inicial con y sin dispositivo, Acceso 2 – Carril 2.....	64
Figura 5.6: Perdida inicial con y sin dispositivo, Acceso 3 .....	64
Figura 5.7: Porcentaje de fases con perdida inicial menor y mayor a 2 segundos, sin dispositivo, Acceso 1-Carril 1.....	65
Figura 5.8: Porcentaje de fases con perdida inicial menor y mayor a 2 segundos, sin dispositivo, Acceso 1-Carril 2.....	65
Figura 5.9: Porcentaje de fases con perdida inicial menor y mayor a 2 segundos, con dispositivo, Acceso 1-Carril 1.....	65
Figura 5.10: Porcentaje de fases con perdida inicial menor y mayor a 2 segundos, con dispositivo, Acceso 1-Carril 2.....	65
Figura 5.11: Porcentaje de fases con perdida inicial menor y mayor a 2 segundos, sin dispositivo, Acces2-Carril 1.....	66
Figura 5.12: Porcentaje de fases con perdida inicial menor y mayor a 2 segundos, sin dispositivo, Acceso 2- Carril 2.....	66
Figura 5.13: Porcentaje de fases con perdida inicial menor y mayor a 2 segundos, sin dispositivo, Acceso 3 .....	66
Figura 5.14: Porcentaje de fases con perdida inicial menor y mayor a 2 segundos, con dispositivo, Acceso 2-Carril 1.....	66
Figura 5.15: Porcentaje de fases con perdida inicial menor y mayor a 2 segundos, con dispositivo, Acceso 2-Carril 2.....	66
Figura 5.16: Porcentaje de fases con perdida inicial menor y mayor a 2 segundos, con dispositivo, Acceso 3 .....	66
Figura 5.17: No. Vehículos hasta que exista flujo-Distribución Normal.....	67
Figura 5.18: Tiempo perdido en el arranque con y sin dispositivo, Acceso 1 - Carril 1 .	68
Figura 5.19: Tiempo perdido en el arranque con y sin dispositivo, Acceso 1 - Carril 2 .	68
Figura 5.20: Tiempo perdido en el arranque con y sin dispositivo, Acceso 2 - Carril 1 .	69
Figura 5.21: Tiempo perdido en el arranque con y sin dispositivo, Acceso 2 - Carril 2 .	69
Figura 5.22: Tiempo perdido en el arranque con y sin dispositivo, Acceso 3 .....	69
Figura 5.23: Semáforo peatonal con contador inverso.....	70

Figura 5.24: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, sin dispositivo, Acceso 1 - Carril 1 .....	70
Figura 5.25: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, con dispositivo, Acceso 1 - Carril 1 .....	70
Figura 5.26: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, sin dispositivo, Acceso 1 - Carril 2 .....	71
Figura 5.27: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, sin dispositivo, Acceso 2 - Carril 1 .....	71
Figura 5.28: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, sin dispositivo, Acceso 2 - Carril 2 .....	71
Figura 5.29: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, con dispositivo, Acceso 1 - Carril 2 .....	71
Figura 5.30: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, con dispositivo, Acceso 2 – Carril 1 .....	71
Figura 5.31: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, con dispositivo, Acceso 2 - Carril 2 .....	71
Figura 5.32: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, sin dispositivo, Acceso 3 .....	72
Figura 5.33: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, con dispositivo, Acceso 3 .....	72
Figura 5.34: Modelo del flujo de saturación con tiempo perdido en el arranque. ....	73
Figura 5.35: ICs simultáneos de 95% de Tukey, Acceso 1 .....	77
Figura 5.36: Tiempo perdido en el arranque Vs. Sin/Con dispositivo semafórico, Acceso 1 .....	77
Figura 5.37: ICs simultáneos de 95% de Tukey, Acceso 2 .....	79
Figura 5.38: Tiempo perdido en el arranque Vs. Sin/Con dispositivo semafórico, Acceso 2 .....	79
Figura 5.39: ICs simultáneos de 95% de Tukey, Acceso 3 .....	81
Figura 5.40: Tiempo perdido en el arranque Vs. Sin/Con dispositivo semafórico, Acceso 3 .....	82
Figura 5.41: Recomendación para señalización vertical .....	83

Figura 5.42: Giro a la izquierda, Acceso 2.....	83
Figura 5.43: Giro en U, Acceso 1 .....	84
Figura 5.44: Vendedores entorpeciendo la circulación vehicular. ....	84
Figura 5.45: Flujo vehicular detenido Av. Ordoñez Laso O-E. ....	85

**“Análisis de flujos de saturación en tres accesos de la intersección semaforizada de la Av. Ordoñez Laso y Los Cedros de la ciudad de Cuenca, con la instalación de dispositivos auxiliares”**

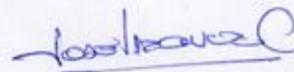
**Resumen**

La investigación experimental y analítica consistió en la comparación de tiempos perdidos por los conductores al momento en que el semáforo inicia el verde, antes y después de instalar un dispositivo semafórico auxiliar, en tres accesos de la intersección semaforizada de la Av. Ordoñez Laso y Los Cedros en la ciudad de Cuenca - Ecuador. La comparación se realizó mediante la toma de datos por carril y por acceso en horas pico, y cálculos basados en modelos matemáticos para cuantificar la variación del flujo de saturación en los accesos. Finalmente se logró validar la hipótesis mediante un análisis de varianza con el método de Tukey para comparaciones múltiples, donde se obtuvo como resultado un aumento del 5.0% - 7.7% del flujo de saturación.

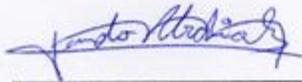
**Palabras clave:** Intersección Semaforizada; Tiempo Perdido en el Arranque; Flujo de Saturación.



Ing. Pablo Andrés Carvallo Corral  
Director de Tesis



Ing. José Vázquez C.  
Director de Escuela



Fernando Xavier Urdiales Gómez  
Autor



Oliver Daniel Suconota Vega  
Autor

**“Analysis of the flow saturation in three accesses at the intersection of Ordoñez Laso and Los Cedros Aves. in Cuenca with the installation of auxiliary devices”**

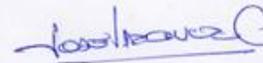
**Abstract**

This experimental and analytical research compared the times lost by drivers when the traffic light changes to green. The times were compared before and after installing an auxiliary traffic light device in three accesses of the intersection at Ordoñez Laso and Los Cedros Aves. in Cuenca. The comparison was performed taking data by lane and by access during rush hours with calculations based on mathematical models to quantify the variation of the saturation flow in the accesses. Finally, the hypothesis was validated with the variance analysis through the Tukey method for multiple comparisons. An increase of the saturation flow from 5.0% to 7.7% was obtained as a result.

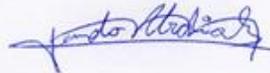
**Keywords:** Signalized Intersection, Lost Time at Start-up, Saturation Flow.



Ing. Pablo Andrés Carvallo Corral  
Thesis Director



Ing. José Vázquez C.  
Faculty Director



Fernando Xavier Urdiales Gómez  
Author



Oliver Daniel Suconota Vega  
Author



Translated by  
Ing. Paul Arpi

## INTRODUCCIÓN

Cuenca es una de las ciudades más importantes del Ecuador y tiene un parque automotor en constante crecimiento y un gran problema de movilidad, ya que el uso de medios de transporte alternativos es bajo y según el “Plan de Movilidad y Espacios Públicos” (PMEP) en la ciudad el 69% de viajes son realizados en vehículos motorizados (Municipalidad de Cuenca, 2015). Las vías del centro histórico y las principales arterias viales de la ciudad soportan alta congestión vehicular, en consecuencia, esto aumenta las demoras en los viajes al interior de la urbe, lo que ocasiona pérdidas económicas y contaminación ambiental, es decir, la movilidad ineficiente perjudica la calidad de vida de los ciudadanos.

Al momento que un conductor se distrae y su atención se aleja de la tarea de conducir, la toma de decisiones y el tiempo de reacción se ven afectados. Dichas actividades generadas al interior del vehículo según la OMS son fumar, hablar, comer, manipular equipos de audio o video, arreglarse y el uso de dispositivos electrónicos, de estas acciones la más preocupante es el uso del celular al volante (OMS, 2015). Es así que todas estas distracciones, aparte de si el conductor respeta o no las señales de tránsito, se pretenden reducir. Siendo la idea principal aprovechar la fase de verde al máximo, disminuyendo el tiempo de reacción (tiempo perdido) en el arranque.

La presente investigación es un estudio del estado actual en el que se encuentra la intersección semaforizada de la Av. Ordoñez Laso y Los Cedros (sector puertas del sol), así como también el análisis del tiempo perdido en el arranque de los vehículos antes y después de colocar un dispositivo semafórico auxiliar a nivel de la vista del conductor.

## **CAPÍTULO 1**

### **1. El problema**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

Hoy en día la ciudad de Cuenca afronta un reto en cuanto a movilidad se trata, esta ha sido perjudicada por la cantidad excesiva de vehículos motorizados circulando y la baja tasa ocupacional de pasajeros en los mismos, lo que genera demoras al momento de trasladarse de un lugar a otro.

La Av. Ordoñez Laso es una arteria vial con un alto tráfico, conectando el corazón de la urbe con sectores como Sayausi, Balzay, San Joaquín, y con la vía Cuenca-Molleturo-Naranjal, lo que implica albergar parte de la demanda de vehículos que provienen de otras Provincias de la Costa hacia la ciudad austral. Además, la avenida sirve como ruta frecuente de las diferentes líneas del transporte público, también dispone de ciclo-vía, es decir está sometida a un alto tráfico de vehículos, peatones y ciclistas.

Como una medida de ayuda a mejorar el flujo vehicular de la Av. Ordoñez Laso, se presenta una alternativa, la cual consiste en la instalación de un dispositivo semafórico auxiliar a nivel de la vista de los conductores, el mismo que podría ayudar a reducir el tiempo de reacción al arranque al momento que se produce el cambio de color del semáforo, puesto que el dispositivo da acceso directo a la vista de la persona tras el volante, en caso de que se encuentre distraída. A su vez alertar el respeto de los conductores hacia la luz roja y al paso peatonal, aparte de una mejora en su atención y reacción.

#### **1.2. Formulación del problema**

- ¿Cuál es el nivel de servicio y la demora de la intersección semafórica?
- ¿En qué magnitud disminuye la perdida inicial y el tiempo perdido en el arranque con el dispositivo a implementar?
- ¿En qué magnitud aumenta el flujo de saturación de la intersección con el dispositivo a implementar?
- ¿Cómo mejorar el nivel de servicio de la intersección semaforizada escogida?

### **1.3. Objetivo General**

Evaluar los flujos de saturación de tres accesos de la intersección semaforizada con la implementación de tres dispositivos auxiliares.

### **1.4. Objetivos Específico**

- Calcular el flujo de saturación teórico y observado de la intersección en horas pico antes de instalar los dispositivos.
- Comparar si el tiempo perdido en el arranque y la pérdida inicial disminuye luego de instalados los dispositivos.
- Cuantificar el flujo de saturación con los dispositivos en funcionamiento en horas pico.
- Proponer soluciones para mejorar el nivel de servicio y el flujo vehicular en la intersección.

### **1.5. Justificación**

El Municipio de Cuenca y la Empresa Pública de Movilidad y Transporte de Cuenca EMOV-EP quieren lograr una movilidad más sostenible y eficiente, fomentando el uso del transporte público, vehículos no motorizados y haciendo esfuerzos por cambiar la cultura cuencana al momento de realizar un viaje dentro de la urbe.

La idea es proponer una posible alternativa para mejorar la movilidad vehicular en la ciudad, aumentando el número de vehículos que cruzan una intersección por hora de verde y mejorar los niveles de servicio de intersecciones semaforizadas, es decir, comprobar si el sistema propuesto reduce el tiempo de reacción de conductores al momento que el semáforo cambia de color. Se tiene conocimiento de la implementación de este sistema en otras ciudades como Valencia y Paris, por lo que este trabajo investiga de manera experimental en la ciudad de Cuenca la hipótesis que más adelante se plantea.

## 1.6. Delimitación

La investigación consiste en un estudio microscópico de la intersección semaforizada para la toma de datos y proceder según normas americanas indicadas en la *Highway Capacity Manual 2000* (HCM) para calcular niveles de servicio y flujos de saturación. Los datos serán levantados en tres accesos de la intersección semaforizada de la Av. Ordoñez Laso (arteria vial) y calle Los Cedros (vía colectora). La intersección, indicada en la Figura 1.1, fue escogida por la posición actual del sistema semaforizado, ya que no existen obstáculos entre el dispositivo a implementar y la vista de los conductores. Además de la demanda existente de tráfico vehicular, peatonal y de ciclistas en la zona.



Figura 1.1: Intersección semaforizada de la Av. Ordoñez Laso y Los Cedros  
Fuente: (Google, 2018b)

La altura a la que se instalaron los dispositivos, en el poste del semáforo principal, se determinó en el transcurso de la investigación en base a estadísticas según los tipos de vehículos matriculados en el país. Los dispositivos buscan reducir el tiempo de pérdida inicial, tiempo perdido en el arranque y aumentar el flujo de saturación, además de mantener la atención de los conductores en la vía y respetar las señales de tránsito como la luz roja y el paso peatonal.

Se utilizó un **modelo matemático**<sup>1</sup> para determinar los flujos de saturación antes y después de implementar el dispositivo, de esta manera se puede comprobar en la teoría si la hipótesis es una realidad.

### 1.7. Hipótesis

El semáforo con el color verde y rojo instalado a nivel de la vista del conductor, en el poste del semáforo principal, reduce el tiempo perdido en el arranque al cambiar de color a verde y se aumenta el número de vehículos que pasan por la intersección en cada ciclo; es decir, aumenta el flujo de saturación de dicha intersección.

En la Figura 1.2 se muestra el sistema semafórico en la ciudad de Paris-Francia.



Figura 1.2: Dispositivo Auxiliar a nivel de la vista del conductor y ciclista en una intersección semafórica de Paris-Francia.

Fuente: (Google, 2018a)

---

<sup>1</sup> Un modelo matemático emplea fórmulas matemáticas para expresar relaciones, parámetros y variables que estudian comportamientos difíciles de observar en la realidad.

## CAPÍTULO 2

### 2. Marco Teórico

#### 2.1. Conceptos Básicos

**Análisis microscópico:** Es un análisis discreto que analiza individualmente a cada uno de los vehículos, dando como resultado la descripción del comportamiento de los flujos de tráfico.

**Peatón:** Casi toda la población se podría considerar dentro de este grupo, el papel de los peatones es fundamental en la ingeniería de tránsito ya que son los más vulnerables a los accidentes de tránsito, pero también en muchos casos los causantes de estos. La infraestructura vial en centros urbanos debe considerar como eje prioritario el tránsito de peatones.

**Conductor:** Es el individuo que maneja el vehículo, este tiene en sus manos las decisiones de acelerar, frenar, realizar giros, y ocupar la infraestructura vial de manera responsable, respetando a la autoridad, peatones, ciclistas y señales de tránsito.

**Visión:** Conformada por el órgano visual, que recibe estímulos exteriores y se procesan en el cerebro. De manera empírica se ha logrado determinar el tiempo que el conductor tarda en voltear la cabeza de derecha a izquierda enfocando a cada lado, obteniendo un total de 1.2 segundos como máximo valor. La visión humana es constantemente afectada por los cambios de luz existentes en el medio, según Rafael Cal y Mayor Reyes reaccionar es el tiempo que se demora la información en ir del ojo al cerebro y este ordenar un movimiento. Para cambiar de ángulo de visión se tarda de 0.1 a 0.3 segundos, el tiempo para enfocar un objeto es de 0.17 a 3 segundos, esto varía de la luz en el medio circundante. Por ende, el tiempo promedio de reacción de un conductor ante una luz semafórica varía de 1 a 2 segundos en condiciones corrientes.

El campo visual humano abarca una visión vertical de 115°, y una visión horizontal de 180°, de los cuales 120° a 160° pertenecen a una visión central en la cual se distinguen los detalles, mientras que en los grados restantes y extremos se está consciente de lo que sucede, pero no se tiene información detallada de lo que ocurre. (Cal y Mayor & Cárdenas, 2010)

Conforme a lo mencionado, en la Figura 2.1 se detalla el campo de visión humano al interior de un vehículo.

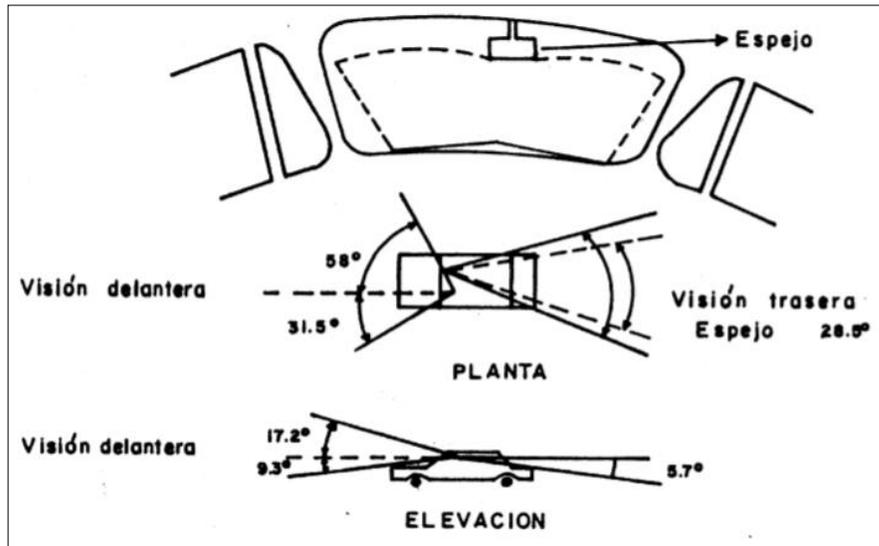


Figura 2.1: Campo de visión desde el interior del vehículo.

Fuente: (ALAI, 2000)

**Reacciones físicas y psicológicas:** La reacción física o condicionada se refiere a los conductores que han adquirido ciertas destrezas al usar las mismas rutas una y otra vez, que advierten el peligro y tienen en cuenta factores que un usuario que conduce por primera vez no las tiene, así como también influyen la cultura y educación del conductor. La reacción psicológica es un juicio, procesado en el cerebro debido a cierto estímulo, esta reacción del conductor depende del estado mental de este, es decir sus emociones. El tiempo mínimo de reacción es de 0.25 segundos cuando el vehículo está detenido, por ejemplo, para reaccionar al cambio de color del semáforo, y 0.83 segundos para el vehículo en movimiento dependiendo de las velocidades. El tiempo de reacción en conductores se puede ver afectado por: la fatiga, el clima, estado emocional, el alcohol, enfermedades físicas, entre otros. (Cal y Mayor & Cárdenas, 2010)

**Vías expresas:** Sirven para relacionar el sistema vial interurbano y el sistema vial urbano, su principal función es ofrecer un servicio al tráfico de paso, origen y destino alejados entre sí, la velocidad permitida es alta y posee bajas condiciones de accesibilidad. (Municipalidad de Cuenca, 2015)

**Vías arteriales:** Estas vías son parte importante de la red principal del sistema viario urbano, sirven para conectar los accesos exteriores con las distintas partes de la ciudad. En este grupo se encuentra vías como Ave. De las Américas, Doce de Abril, Paseo de los Cañaris, Diez de Agosto, España, Gonzáles Suarez, Héroes de Verdeloma, Huayna Cápac, Calle Larga, Ordóñez Lasso, Primero de Mayo, Solano, Unidad Nacional, 24 de Mayo entre otras (Municipalidad de Cuenca, 2015).

**Vías colectoras:** Ayudan a dar el respectivo acceso a los barrios, distribuyendo el tráfico desde el viario arterial hacia la red local, o sirve de salida de los barrios con destino al viario principal. Entre las vías colectoras podemos encontrar las conexiones a las parroquias como son el camino a Baños, Llacao, Mayancela, Ochoa León, Patamarca, Ricaurte, San Joaquín, Turi, calles como la Abelardo J. Andrade, Don Bosco, Pío Bravo, Remigio Crespo, Mariano Cueva, Del Estadio, Tejar, Escandón, Lamar, Gran Colombia, Loja, Andes, México, Paucarbamba, Gil Ramirez Dávalos, Turuhuayco, Viracochabamba, Yanahurco. (Municipalidad de Cuenca, 2015)

**Vías locales:** Están constituidas principalmente por vías donde los movimientos predominantes son o deben ser, los de acceso a los destinos finales, principalmente residencia.(Municipalidad de Cuenca, 2015)

**Intersección semaforizada:** Es aquella intersección regulada principalmente por dispositivos semaforicos, los mismos que emplean colores para dar preferencia al paso vehicular y reducir el conflicto en giros.

**Semáforos:** Son dispositivos eléctricos que ordenan y regulan el tránsito vehicular y peatonal, por lo general tienen luces de color rojo (indica a los conductores detenerse antes de la línea de semáforo), amarillo (el derecho de circular está a punto de terminar, los conductores deberán detenerse a menos que el tiempo para frenar no sea el suficiente para hacerlo de manera segura), y verde (derecho a avanzar).

**Ciclo:** Tiempo transcurrido para una secuencia completa de todas las maniobras que permite el semáforo. En otras palabras, es el tiempo en el que el disco indicador vuelve a su estado inicial.

**Fase:** Cada una de las etapas del ciclo durante la cual los colores de los semáforos permanecen invariables.

**Semáforo principal:** Es el que se ubica cerca de la línea de pare al lado derecho de la aproximación a la intersección, puede ser complementado con señales luminosas a la izquierda o elevadas. Las señales luminosas suplementarias son necesarias solamente donde los vehículos comerciales y buses de transporte público pueden obstruir la vista de la primera señal luminosa.(INEN, 2012)

**Semáforo secundario:** Los semáforos secundarios sirven se colocan a una mayor distancia del primario con relación al conductor, de esta manera se facilita la visualización del cambio de estado del mismo en los primeros autos que se encuentran en la intersección, en la INEN 004-2012, se describe como Semáforo secundario a aquel que se ubica al lado izquierdo cruzando la intersección, sea en la acera o parterre y al Semáforo terciario. como el que se ubica al lado derecho cruzando la intersección.(INEN, 2012)

**Luz fantasmal:** Reflejo de la luz solar o una fuente externa sobre la superficie óptica del reflector de un semáforo, produciendo la percepción de luz encendida.(INEN, 2012)

**Demora:** es el tiempo perdido cuando un vehículo transita por la vía, debido a factores de tránsito o a dispositivos de control.

**Volumen:** Número de vehículos que atraviesan por una sección de carril durante un tiempo determinado.

**Velocidad:** Es la distancia recorrida por unidad de tiempo, es un indicador importante al momento de calcular la eficiencia de la vía, para el procedimiento se necesita conseguir una velocidad instantánea, la cual es la que se toma en un punto específico de la vía.

**Densidad:** Es la cantidad de vehículos presentes en una longitud de vía, cuando el volumen y la densidad son máximas, la velocidad es nula.

**Capacidad:** Es el flujo máximo de vehículos y peatones que puede soportar una vía, las características geométricas y la eficiencia son las que afectan a la capacidad vial.

**Relación demanda-capacidad:** La demanda es el conjunto de vehículos que demandan transitar por un lugar determinado, mientras que la capacidad es la cantidad de vehículos

que pueden transitar por dicha vía, la capacidad depende del número de carriles y la velocidad de circulación, si esta relación es menor a uno representa que no existe un flujo de saturación y los niveles de servicio son aceptables, si es igual a uno significa que la vía se encuentra al límite y si es mayor a uno la capacidad de la vía ha sido superada por la demanda, generando así demoras en el flujo.

**Flujo de saturación:** Es la máxima tasa de descarga durante el verde de una cola compuesta solo por automóviles que siguen directo en la intersección.

**Nivel de servicio:** Es una medida cualitativa que describe las condiciones del flujo vehicular, el HCM define seis tipos de niveles los cuales van de la letra A a la F (HCM 2000, 2012).

**TPDA:** Es el tráfico promedio diario anual, el cual se obtiene mediante conteos de tráfico observado, se calcula mediante metodología del HCM.

**Perdida inicial:** es el tiempo en el que un conductor reacciona a la luz verde y da arranque al automotor. Este valor generalmente esta entre dos y cuatro segundos.

**Tiempo perdido en el arranque:** Es el tiempo transcurrido entre el cambio de luz verde y el paso de la parte frontal del vehículo con flujo, usualmente el cuarto vehículo. Este valor generalmente esta entre diez y catorce segundos. (HCM 2000, 2012)

## 2.2. Antecedentes

El cantón Cuenca, ubicado en el austro del Ecuador y perteneciente a la provincia del Azuay, tiene una extensión total de 310.260,74 hectáreas. Está conformado por 21 parroquias rurales que representan el 98% del territorio (303.338,85Has.) y por 15 parroquias urbanas que ocupan el 2% de territorio restante (7.382Has.). (Municipalidad de Cuenca, 2015)

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el censo del año 2010 la ciudad de Cuenca contaba con una población de 505.585 y para el año 2018 se proyecta una población de 614.539 habitantes (INEC, 2010). Pero también con una línea ascendente que indica el crecimiento del parque automotor para el año 2018 de 192.690

vehículos (Mejía & Morocho, 2016), lo que arroja un índice de motorización aproximado de 313.5 vehículos por cada 1000 habitantes.

La Figura 2.2 muestra una distribución espacial de los vehículos dentro la zona urbana, notando claramente un patrón de cantidad de autos en las zonas de mayor actividad económica.

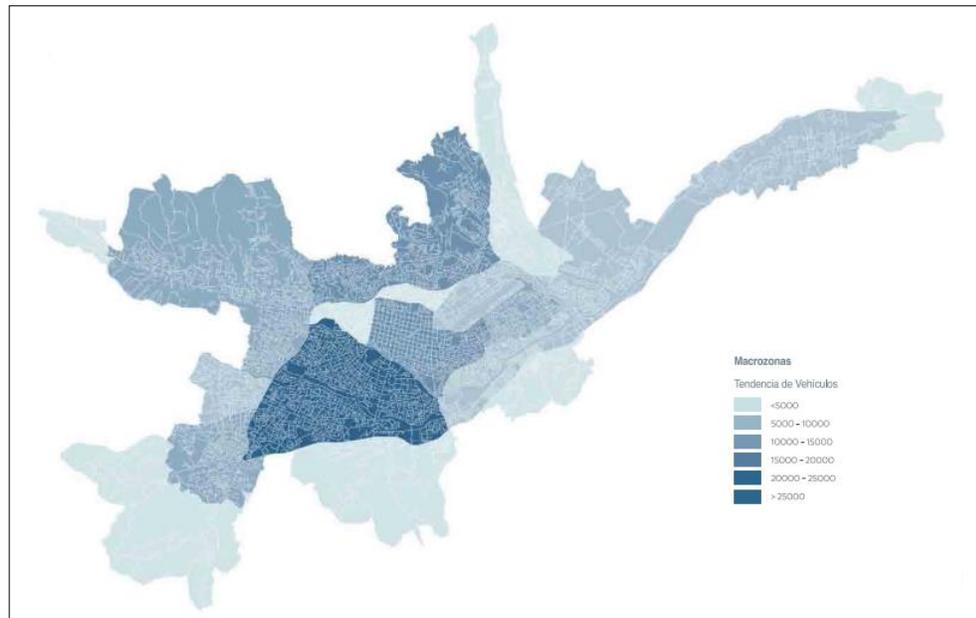


Figura 2.2: Distribución espacial de los vehículos.

Fuente: (Municipalidad de Cuenca, 2015)

Además en la Tabla 2.1 se muestran los modos y motivos de viaje dentro de la zona urbana del cantón Cuenca, que para el año 2013 suponía un total de 694.876 viajes con origen destino al interior de la ciudad (Municipalidad de Cuenca, 2015).

Tabla 2.1: Modos y motivos de viaje

Modos	Porcentaje	Motivos	Porcentaje
Vehículo privado	32%	Trabajo	33%
Transporte público	31%	Estudio	18%
Pie	31%	Compras	17%
Taxi	4%	Gestiones personales	16%
Moto	1%	Recreación	12%
Bicicleta	1%	Salud y otros	4%

Fuente: (Municipalidad de Cuenca, 2015)

De este cuadro se puede observar que el 69% de los viajes son realizados en vehículos motorizados, sin embargo, el transporte público, la movilidad a pie y el creciente uso de la bicicleta representa el 64% del modo de transporte.

Lo que se pretende mejorar es la atención de conductores que se movilizan por la intersección, aunque esto debería ser comprobado en una mayor escala en zonas similares. La OMS define a la distracción de la siguiente manera: “Se entiende por distracción el desvío de la atención de todas aquellas actividades esenciales para una conducción segura hacia otra actividad diferente” (OMS, 2015).

Al momento que un conductor se distrae, su atención se encuentra dividida en una "tarea principal", la cual es, conducir, y otras "tareas secundarias" sin relación con la conducción. Es así que hablar, responder mensajes, y en general usar el celular, disminuyen los recursos cognitivos del conductor. Por ende, la percepción del entorno, la capacidad para tomar decisiones y el desempeño en la conducción se ven afectados (OMS, 2015).

### **2.3. Congestión vehicular**

El uso del vehículo privado para realizar viajes dentro de la ciudad es la forma menos eficiente de transporte, ya en algunas zonas de la ciudad de Cuenca, la infraestructura vial y la distribución de espacios desde un punto de vista urbanístico no es el más óptimo. A esto sumado el 32% de viajes que se hacen en vehículo particular y la baja tasa ocupacional de 1 a 1.5 (personas por vehículo) en el área urbana (Municipalidad de Cuenca, 2015), además la gran actividad económica de la ciudad austral ha hecho que se tomen ciertas medidas para llevar de manera más eficiente y sostenible la movilidad urbana, es por esto que Cuenca pondrá en funcionamiento el sistema Tranvía en el año 2019, mejorara gradualmente el servicio actual de las líneas de buses y seguirá fomentando el uso de la bicicleta como medio de transporte seguro. En la Figura 2.3 se muestra la congestión vehicular existente en el paso deprimido de la Av. De las Américas ubicado cerca a la intersección semaforizada estudiada.



Figura 2.3: Congestión vehicular en la Av. de las Américas (paso deprimido)  
 Fuente: Autoría propia

La Intensidad Media Diaria (IMD) es el número de vehículos que pasan por cierta sección de una vía, haciendo un promedio de los 365 días del año, expresado en vehículos equivalentes, que a través de factores convierte buses, motos, vehículos pesados en un total de vehículos equivalentes, donde los vehículos livianos corresponden a unidad. Las vías con mayor capacidad son aquellas que tienen una mayor demanda, la Av. Ordoñez Lazo tiene una capacidad de viario mayor a 5.000 veh/h y una IMD entre 20.000-50.000 veh.eq/día como se muestra en la Figura 2.4. (Municipalidad de Cuenca, 2015)

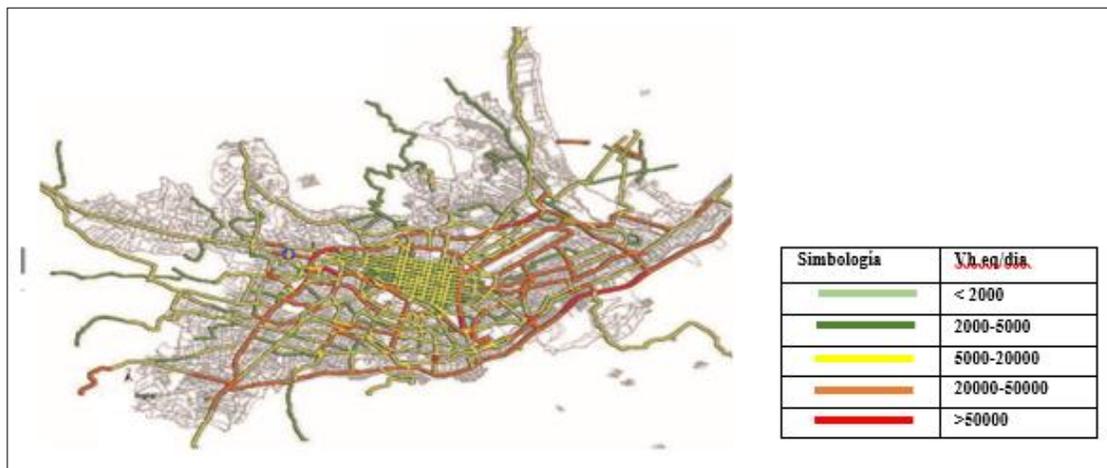


Figura 2.4: Intensidad Media Diaria del viario de Cuenca.  
 Fuente: (Municipalidad de Cuenca, 2015)

La jerarquía de la vía define cierta composición del tráfico, en el PMEP se definen porcentajes que componen el tráfico según los conteos vehiculares realizados, la Tabla 2.2 muestra estos valores.

Tabla 2.2: Porcentajes de la composición de tráfico en Cuenca

Livianos	90.08 %
Buses	2.70 %
Camiones	3.57 %
Motos	2.94 %
Bicicletas	0.71 %

Fuente: (Municipalidad de Cuenca, 2015)

Cabe mencionar que el transporte en bicicleta ha aumentado debido a la construcción de vías exclusivas lo que comprende un plan del Municipio de Cuenca en el fomento de este medio sostenible y con gran potencial.

El transporte público es un medio eficiente y sostenible, siempre y cuando este cubra la demanda de pasajeros y preste un servicio eficiente y seguro. En la ciudad de Cuenca se puso en marcha un cambio gradual de la flota de buses del transporte público, por la alta contaminación ambiental que generan los actuales que sumado al alto uso del vehículo privado perjudican la calidad del aire y contaminan el ambiente de la ciudad, lo que hoy en día ya preocupa a las autoridades. En la intersección a estudiar circulan actualmente la Línea 8, Línea 3, Línea 13 y Línea 1. En la Figura 2.5 se observa la congestión vehicular en la Av. Ordoñez Laso O-E.



Figura 2.5: Inicio de verde en la intersección semafórica Av. Ordoñez Lazo O-E y Los Cedros

Fuente: Autoría propia

Es por el abundante uso del vehículo privado en la movilidad urbana de Cuenca, sumado a la baja tasa ocupacional, entre otros factores ya mencionados; que nos enfocaremos en los vehículos privados como principal grupo para levantamiento de información y determinación de la altura a la que se ubica el dispositivo, del cual se espera que reduzca tiempos perdidos y aumente el flujo vehicular, aparte de alertar al conductor de respetar al paso peatonal y a la luz roja.

## 2.4. Metodología

Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio, que describe las condiciones de un flujo vehicular, estas dependiendo de factores internos como variaciones de volumen, variaciones de un flujo vehicular, porcentaje de movimientos direccionales, etc. Y factores externos como la geometría de la vía, pendientes, etc. La metodología para llevar a cabo esta investigación experimental esta descrita en el HCM y se clasifica según lo expuesto en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Niveles de servicio

Nivel de servicio	Demora por vehículo (s/veh)
A	$\leq 10$
B	> 10-20
C	>20-35
D	> 35-55
E	> 55-80
F	> 80

Fuente: (HCM 2000, 2012)

La información que se requiere para la metodología comprende condiciones geométricas, condiciones de tráfico y condiciones de señalización.

### 2.4.1. Condiciones geométricas

Es la geometría en general de la intersección, incluye información importante como pendientes, número y ancho de carriles y condiciones de parqueo.

### 2.4.2. Condiciones de tráfico

Los volúmenes de tráfico de la intersección deben ser especificadas para cada movimiento en cada acceso, estos volúmenes son la tasa de flujo en vehículos por hora para un periodo de análisis de 15 minutos, de igual manera se debe conocer la composición del tráfico en función de vehículos livianos, buces y camiones.

### 2.4.3. Condiciones de señalización

Se necesita la longitud de ciclos, tiempos de verdes y tiempos de pérdidas.

### 2.4.4. Calculo del factor de hora pico (PHF)

Indica la constancia que tiene el tráfico en la hora pico, este factor debe ser igual o menor a la unidad. Se calcula mediante la ecuación (1).

$$PHF = \frac{\text{Volumen de tráfico en hora pico}}{4 * \text{volumen máximo en un periodo de 15 minutos dentro de la hora pico}} \quad (1)$$

Si este factor es mayor a 0.9 indica una distribución uniforme, entre 0.8 y 0.9 una distribución poco uniforme, entre 0.7 y 0.8 es una distribución muy mala y menor a 0.7 una distribución sin uniformidad.

### 2.4.5. Calculo de la tasa de flujo (Vp)

Esta tasa se calcula mediante la ecuación (2):

$$Vp = \frac{V}{PHF} \quad (2)$$

Donde:

*Vp*: tasa de flujo durante un periodo de 15 minutos (veh/h).

*V*: volumen de tráfico en hora pico (veh/h).

*PHF*: Factor de hora pico.

### 2.4.6. Flujo de saturación

Es la máxima tasa de descarga durante el verde de una cola compuesta solo por automóviles que siguen directo en la intersección. Se calcula mediante la ecuación (3)

$$S = S_o * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{LT} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb} \quad (3)$$

Para poder analizar la saturación existente en una intersección se toman en cuenta 13 factores, los cuales son:

*S<sub>o</sub>* = flujo de saturación base en condiciones óptimas

*N* = número de carriles del grupo de carriles.

*f<sub>w</sub>* = factor por ancho de carril.

*f<sub>HV</sub>* = factor por vehículos pesados

*f<sub>g</sub>* = factor de ajuste por inclinación del acceso

*f<sub>p</sub>* = factor de ajuste por existencia del carril de estacionamiento

*f<sub>bb</sub>* = factor de ajuste por efecto de los autobuses locales que paran dentro de la zona

*f<sub>a</sub>* = factor de ajuste por tipo de área

*f<sub>LU</sub>* = factor de ajuste por utilización de carril

*f<sub>LT</sub>* = factor de ajuste por giro a la izquierda en GC

*f<sub>RT</sub>* = factor de ajuste por giro a la derecha en el GC

*f<sub>Lpb</sub>* = factor de ajuste por movimientos a la izquierda de peatones y ciclistas

*f<sub>Rpb</sub>* = factor de ajuste por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas

A continuación, en la Tabla 2.4, se resume como calcular cada factor.

Tabla 2.4: Formulas de los factores para el cálculo del flujo de saturación

Factor	Formula	Definición	Notas
<i>S<sub>o</sub></i>	1900 vehículos/hora/carril		
<i>f<sub>w</sub></i>	$f_w = 1 + \frac{W - 3.6}{9} \quad (4)$	W= ancho de carril en metros.	W ≥ 2.4, si W > 4.8, se considera 2 carriles.
<i>f<sub>HV</sub></i>	$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%hv(Et - 1)} \quad (5)$	%hv= porcentaje de vehículos pesados del grupo	Et = 2 * (autos/vehículos pesados)

$f_g$	$f_g = 1 - \frac{\%G}{200} \quad (6)$	%G: pendiente de la vía de un grupo de carril	$-6 \leq \%G \leq +10$
$f_p$	$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N} \quad (7)$	N= número de carriles en grupo de carriles Nm= número maniobras de estacionamiento por hora	$0 \leq Nm \leq 180$ $f_p \geq 0.05$ $f_p = 1$ sin estacionamiento.
$f_{bb}$	$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4 Nb}{3600}}{N} \quad (8)$	N= número de carriles en grupo de carriles Nb= número de buses que paran por hora.	$0 \leq Nb \leq 250$ $f_{bb} \geq 0.05$
$f_a$	Para CBD $f_a = 0.9 \quad (9)$ Para otras áreas $f_a = 1 \quad (10)$	CBD= área central de negocios	
$f_{LU}$	$f_{LU} = \frac{V_g}{V_{g1} * N} \quad (11)$	Vg= tasa de flujo de demanda no ajustada del flujo de carril N= número de carriles en grupo de carriles Vg1= tasa de flujo de demanda no ajustada del carril con el volumen más alto del grupo.	
$f_{RT}$	Carril exclusivo $f_{RT} = 0.85 \quad (14)$ Carril compartido $f_{RT} = 1 - (0.15 P_{RT}) \quad (15)$ Carril simple $f_{RT} = 1 - (0.135 P_{RT}) \quad (16)$	$P_{RT}$ = proporción de vueltas a la derecha en grupo de carril	$f_{RT} \geq 0.05$
$f_{LT}$	FASE PROTEGIDA Carril exclusivo $f_{LT} = 0.95 \quad (12)$ Carril protegido $f_{LT} = \frac{1}{1 + 0.05 P_{LT}} \quad (13)$	$P_{LT}$ = proporción de vueltas a la izquierda en grupo de carril	Para el cálculo del factor en los accesos 1 y 2 se consideró el caso 5 de giro izq. permitido, no protegido. Revisar EXHIBIT C16-9, página 16-133 del HCM-2000

$fLpb$	$fLpb = 1 - P_{LT}(1 - A_{pbT}) * (1 - P_{LTA}) \quad (17)$	$P_{LT}$ =Proporcion de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles $A_{pbT}$ =Ajuste a la fase permitida $P_{LTA}$ =Proporcion de vueltas a la izquierda que usan la fase protegida	Tabla D16-4, página 16-139 del HCM 2000
$fRpb$	$fRpb = 1 - P_{RT}(1 - A_{pbT}) * (1 - P_{RTA}) \quad (18)$	$P_{RT}$ =Proporcion de vueltas a la derecha en el grupo de carriles $A_{pbT}$ =Ajuste a la fase permitida $P_{RTA}$ =Proporcion de vueltas a la derecha que usan la fase protegida	Para el cálculo del factor en el acceso, Revisar EXHIBIT D16-4, página 16-139 del HCM 2000

Fuente: (HCM 2000, 2012)

### 2.4.7. Capacidad

Es el flujo máximo de vehículos y peatones que pueden soportar una vía, las características geométricas y la eficiencia son las que afectan a la capacidad vial. Se calcula mediante la ecuación (19).

$$c_i = s_i * \frac{g_i}{C} \quad (19)$$

Donde:

$C$ : Ciclo del semáforo (segundos)

$s_i$ : Tasa de flujo de saturación del grupo de carriles (veh/hora verde)

$g_i$ : Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles (segundos)

#### 2.4.8. Relación volumen capacidad

A esta relación se la conoce como grado de saturación y está dada por la siguiente expresión. Se calcula mediante la ecuación (20).

$$X_i = \frac{v_i}{c_i} \quad (20)$$

Donde:

$v_i$ : Tasa del flujo de demanda actual

$c_i$ : Capacidad del grupo de carriles

Valores superiores a uno indican un exceso en la demanda sobre la capacidad.

#### 2.4.9. Demoras

Existen tres tipos de demoras las cuales son demora uniforme, demora incremental y demora por cola inicial.

La demora promedio viene dada por la ecuación (21):

$$d = d_1 * (PF) + d_2 + d_3 \quad (21)$$

Donde:

$d_1$ : Demora uniforme

$d_2$ : Demora incremental

$d_3$ : Demora por cola inicial

PF: Factor de ajuste por coordinación.

### 2.4.10. Demora uniforme

Es cuando las llegadas al semáforo son uniformes, por lo que ningún ciclo se ve saturado. Se calcula mediante la ecuación (22).

$$d_1 = \frac{0.5 * (C) * \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left(\min(1, x) * \frac{g}{C}\right)} \quad (22)$$

Donde:

*C*: ciclo del semáforo.

*g*: Tiempo de verde efectivo.

*x*: relación volumen / capacidad.

### 2.4.11. Demora incremental

Es cuando existe una llegada aleatoria de vehículos a la intersección, lo que puede ocasionar ciclos saturados. Se calcula mediante la ecuación (23).

$$d_2 = 900 * (T) \left( (x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8 * (k) * (I) * (x)}{(c) * (T)}} \right) \quad (23)$$

Donde:

*T*: Duración periodo de análisis ( $T=0.25$  para periodos de 15 minutos)

*x*: relación volumen / capacidad

*c*: capacidad

*k*: factor de demora incremental,  $k=0.5$  para intersecciones prefijadas

*I*: Factor de ajuste por entradas a la intersección,  $I=1$  para intersecciones aisladas.

### 2.4.12. Demora por cola inicial

Es la demora que se da por todos los vehículos que se encuentran al comienzo del periodo del semáforo. Se calcula mediante la ecuación (24).

$$d_3 = \frac{1800 * Q_b * (1 + u) * (t)}{c * T} \quad (24)$$

Donde:

*Q<sub>b</sub>*: cola inicial al principio del periodo (veh)

*T*: Duración del periodo ( $T=0.25$  para periodos de 15 min)

*u*: Parámetro de demora

*c*: Capacidad.

*t*: duración de la demanda insatisfecha.

Para poder estimar esta demora tenemos que tener en cuenta cinco supuestos, los cuales son:

- Supuesto 1: El periodo no es saturado

$$Q_b = 0 \rightarrow d_3 = 0$$

- Supuesto 2: El periodo es sobresaturado

$$Q_b = 0 \rightarrow d_3 = 0$$

- Supuesto 3: La cola inicial se disipa durante el tiempo del periodo.

$$Q_b + qT < cT \quad (25)$$

Donde:

*qt*: demanda total en el tiempo del periodo

*cT*: capacidad disponible en el tiempo del periodo

- Supuesto 4: Existe demanda insatisfecha al final del tiempo de periodo, pero esta es decreciente

$$qT < cT \quad (26)$$

- Supuesto 5: la demanda excede la capacidad en el periodo, la demanda insatisfecha aumenta al final del tiempo del periodo.

$$qt > cT \quad (27)$$

En los supuestos 3, 4 y 5

$$t = 0 \text{ si } Q_b = 0 \quad (28)$$

Caso contrario:

$$t = \min\left(T, \frac{Q_b}{c(1 - \min(1, X))}\right) \quad (29)$$

Donde:

*t*: duración de la demanda insatisfecha

*c*: Capacidad

*Q<sub>b</sub>*: Cola inicial al principio del periodo

*X*: Relación volumen / capacidad

$$u = 0 \text{ si } t < T1 \quad (30)$$

Caso contrario:

$$u = 1 - \frac{c * T * (1 - \min(1, X))}{Q_b} \quad (31)$$

Donde:

*c*: Capacidad

*T*: duración periodo análisis (T=0.25 para periodos de 15 min)

*X*: Relación volumen / capacidad

**2.4.13. Factor de ajuste por coordinación**

La demora uniforme solamente es afectada por la coordinación de los semáforos, esto es, una correcta coordinación lograra que más vehículos atraviesen la intersección durante el verde. Se calcula mediante la ecuación (32).

$$PF = \frac{(1 - P)f_{PA}}{1 - \left(\frac{g}{c}\right)} \quad (32)$$

Donde:

*PF = Factor de ajuste por coordinación*

*P = Proporción de vehículos que llegan en verde*

*g/C = Proporción de tiempo verde disponible*

*f<sub>PA</sub> = Factor de ajuste suplementario por grupos vehiculares que llegan en el verde*

El valor de P se determina con la ecuación (33).

$$P = R_p \frac{g}{C} \quad (33) \quad ; \quad P \leq 1 \quad (34)$$

Donde,

*R<sub>p</sub> = Relación de grupo de vehículos*

Tabla 2.5: Factor de ajuste de progresión para el cálculo de la demora uniforme

(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	0.750
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
<i>f<sub>PA</sub></i>	1.000	0.930	1.000	1.150	1.000	1.000
<i>R<sub>p</sub></i>	0.333	0.667	1.000	1.333	1.667	2.000

Fuente: (HCM 2000, 2012)

#### 2.4.14. Demora en los accesos

No es más que un promedio ponderado de todas las demoras. Se calcula mediante la ecuación (35).

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^A (d_i * v_i)}{\sum_{i=1}^A (v_i)} \quad (35)$$

Donde:

*A*: Numero de grupos de carriles en el acceso.

*d<sub>A</sub>*: Demora en el acceso

*d<sub>i</sub>*: Demora en el grupo de carriles

*v<sub>i</sub>*: Volumen ajustado del grupo de carriles

#### 2.4.15. Demora en la intersección

Es un promedio ponderado de las demoras en los accesos. Se calcula mediante la ecuación (36).

$$d_I = \frac{\sum_{i=1}^I (d_A * v_A)}{\sum_{i=1}^I (v_A)} \quad (36)$$

Donde:

*I*: Numero de accesos en la intersección

*d<sub>I</sub>*: Demora en la intersección

*d<sub>A</sub>*: Demora en el acceso

*v<sub>A</sub>*: Volumen ajustado del acceso

#### 2.4.16. El tiempo de reacción

Es la velocidad a la que los conductores procesan la información y responden a esta, cada vez que cambia el semáforo a verde hay un tiempo de pérdida inicial, que según observación los valores van de 1.0 a 2.0 segundos (HCM 2000, 2012).

**2.4.17. Tasa de flujo (q)**

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

$$q = \frac{N}{T} \quad (37)$$

Donde:

*N*= Número de vehículos

*T*= Tiempo

**2.4.18. Intervalo (h)**

Es el tiempo que transcurre del paso del extremo trasero de un vehículo y el mismo del siguiente vehículo, en un punto de vía fijo, generalmente expresado en segundos. Se calcula mediante la ecuación (38).

$$h = \frac{1}{q} \quad (38)$$

Donde:

*q*= Tasa de flujo

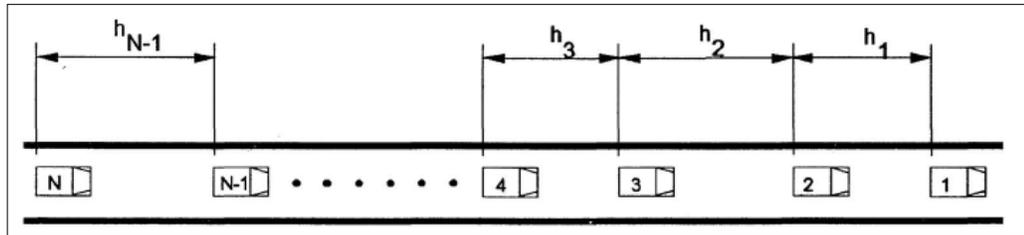


Figura 2.6: Intervalo entre vehículos.  
Fuente: (Cal y Mayor & Cárdenas, 2010)

**2.4.19. Modelo básico de flujo de saturación**

En la Figura 2.7 se muestra la relación entre el flujo de saturación y los tiempos de verde para cada fase, en donde además la pérdida inicial de la fase afecta el tiempo de verde efectivo, el cual multiplicado por la tasa de descarga en una fase de verde saturado equivale al área del rectángulo de flujo efectivo que representa el número de vehículos que cruzan; la hipótesis planteada busca disminuir esta pérdida inicial.

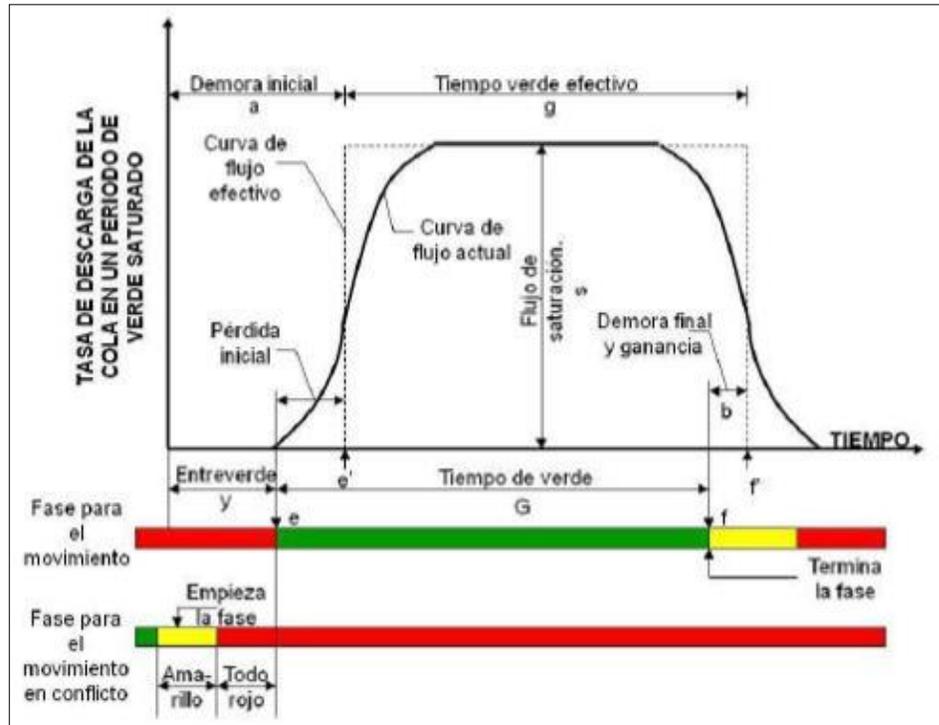


Figura 2.7: Modelo básico del flujo de saturación.  
Fuente: (Akcelik, 1998)

**2.4.20. Evaluación de hipótesis**

Para poder saber si las medias de las muestras de dos poblaciones en realidad varían una de la otra se usa un ANOVA con el método de Tukey. A continuación, se da una breve explicación de los factores más importantes para su interpretación y procedimiento.

**2.4.20.1. Varianza**

La varianza mide que tan dispersos están los datos con respecto a la media, la varianza es igual al cuadrado de la desviación estándar.

#### **2.4.20.2. Coeficiente de determinación**

Es el cociente de la variación explicada y la variación total. Si hay cero variaciones explicadas este valor es 0 y cuando hay cero variaciones no explicadas este cociente es 1.

Teniendo siempre valor positivo se denota como  $R^2$ . (Spiegel & Stephens, 2008)

Cuando  $R^2$  llega a un 60% se puede decir que la información recabada es contundente y no es necesaria más evidencia muestral.

#### **2.4.20.3. ANOVA**

El análisis de varianza (ANOVA) se basa en comparar las medias de dos poblaciones, es decir prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales, estas poblaciones deben seguir una distribución aproximadamente normal con varianzas iguales entre los niveles de factores. Para realizar un ANOVA se debe definir una hipótesis nula, que establece que todas las medias de la población son iguales; y una hipótesis alternativa que establece al menos una diferencia.

Si el valor  $p$  es menor al nivel de significancia, se concluye que las medias de las poblaciones son diferentes, para tener más detalle en la diferencia entre medias específicas se utiliza el método de comparaciones múltiples como el de Tukey. (Mintab 18, 2017)

#### **2.4.20.4. Método de Tukey**

Este método hace el uso de un ANOVA para evaluar las hipótesis, ajusta el nivel de confianza de cada intervalo individual para que el nivel de confianza simultaneo resultante sea igual a un valor especificado. Para aplicar este método el tamaño de las muestras debe ser igual.

## CAPÍTULO 3

### 3. Características de la intersección y los accesos a estudiar

#### 3.1. Estado de la intersección

La intersección cuenta con cuatro accesos, los cuales son: Av. Ordoñez Lazo O-E que abarca el 31% del total del tráfico de la intersección, Av. Ordoñez Lazo E-O el 23 %, Los Cedros S-N el 26% y Los Cedros N-S el 20%, estos porcentajes son resultado del conteo realizado en esta investigación. En la Figura 3.1 se muestra la nomenclatura de accesos y carriles en la intersección, aparte de la disposición del sistema semafórico actual.

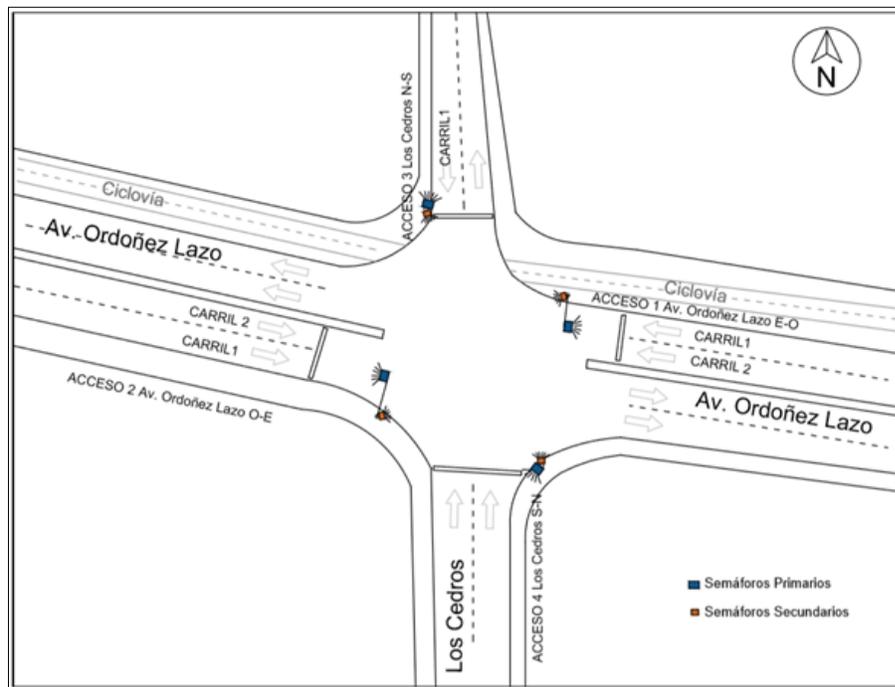


Figura 3.1: Esquema de la intersección semafórica y ubicación de semáforos de la Av. Ordoñez Lazo y Los cedros.

Fuente: Autoría propia

En la Tabla 3.1 y Tabla 3.2 se definen las características de la intersección semaforizada, aparte se muestra el estado actual de la misma desde la Figura 3.2 hasta la Figura 3.9.

Tabla 3.1: Características geométricas de la intersección

Acceso	Ancho carril	Ancho vereda	Ancho Ciclo vía	Pendiente	Número de carriles	Parterre	Sobre ancho
Av. Ordoñez Laso O-E	3.22	2.9	No	-1%	2	0.89	No
Av. Ordoñez Laso E-O	3	5.21	2.5	+1%	2	0.4	No
Los Cedros S-N	4.1	1.5	No	+3%	2	No hay	0.3
Los Cedros N-S	3.9	1.47	No	-2%	1	No hay	No

Fuente: Autoría propia

Tabla 3.2: Características de señalización y estado de la intersección

Acceso	Semáforo principal	Semáforo secundario	Paso cebra	Pavimento	Señalización horizontal	Señalización vertical
Av. Ordoñez Laso O-E	Si (estado excelente)	Si (estado regular)	Si (estado bueno)	Rígido (Estado excelente)	Mala	Parada bus No Estacionar
Av. Ordoñez Laso E-O	Si (estado excelente)	Si (estado excelente)	Si (estado malo)	Rígido (Estado excelente)	Muy mala	No hay
Los Cedros S-N	Si (estado excelente)	Si (estado excelente)	Si (estado bueno)	Flexible (Estado excelente)	Buena	No estacionar
Los Cedros N-S	Si (estado excelente)	Si (estado excelente)	Si (estado Malo)	Rígido (Estado malo)	No hay	No estacionar

Fuente: Autoría propia



Figura 3.2: Paso cebra Av. Ordoñez Laso E-O  
Fuente: Autoría propia



Figura 3.3: Paso cebra y señalización Los Cedros S-N.  
Fuente: Autoría propia



Figura 3.4: Paso cebra y señalización Los Cedros S-N.

Fuente: Autoría propia



Figura 3.7: Calzada Los cedros N-S

Fuente: Autoría propia



Figura 3.5: Paso cebra Los Cedros N-S

Fuente: Autoría propia



Figura 3.8: Señalización vertical Av. Ordoñez Lazo O-E

Fuente: Autoría propia



Figura 3.6: Paso cebra Av. Ordoñez Laso O-E

Fuente: Autoría propia



Figura 3.9: Parada de bus Av. Ordoñez Laso O-E

Fuente: Autoría propia

### 3.1.1. Trafico promedio diario anual (TPDA)

Para el cálculo del TPDA2018 de la Av. Ordoñez Laso se hará una proyección del TPDA2010 igual a 20.100 vehículos que obtuvo el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2010).

Se considera el TPDA un indicador importante para clasificar la vía y de los vehículos que circulan por la misma, abarcando livianos y pesados. Mediante este número se podrá tener una idea de la importancia de esta avenida en la movilidad de la ciudad.

Para la proyección de tráfico es necesario obtener los porcentajes de vehículos livianos y pesados que circulan por la avenida, ya que las tasas de crecimiento son distintas, como resultado del conteo de doce horas realizado en la intersección se obtuvo los porcentajes de Livianos (93.4%) y Pesados (6.6%) lo que se asemeja a los datos publicados en el PMEPE ya mencionados en la Tabla 2 de este trabajo. Es así que, de los 20.100 vehículos, aproximadamente 18.773 son livianos y 1.327 son pesados

Las tasas de crecimiento varían, ya que la tasa de vehículos livianos depende de la tasa de motorización en la ciudad de Cuenca, y la tasa de vehículos pesados se puede obtener mediante la hipótesis que esta está en relación directa con la tasa de crecimiento poblacional. Entonces se usará la fórmula (47) para obtener dichas tasas de crecimiento:

$$\sqrt[n]{\frac{\text{Tráfico futuro}}{\text{Tráfico actual}}} - 1 = i \quad (47)$$

Donde:

n = Número de años entre los dos periodos.

i = Tasa de crecimiento de vehículos livianos para el tiempo n

La proyección de vehículos livianos se realiza mediante un modelo logístico, que usa la tasa de motorización (veh/1.000 habitantes) que varía cada año y la tasa de saturación (veh/1.000 habitantes) que se mantiene constante. El Ing. Iván Alejandro Mejía Regalado en su trabajo titulado “Análisis y propuesta de solución integral al congestionamiento vehicular que se produce en la Av. 24 de Mayo y Vía al Valle, de la ciudad de Cuenca” publica la proyección de vehículos según modelo logístico, de donde se obtendrá el

número de vehículos livianos en el año 2010 de 74.239 y en el año 2018 de 100.053 vehículos livianos ajustados (Regalado, 2017).

Para la tasa de crecimiento de vehículos pesados se usará la fórmula (39), pero se reemplaza el tráfico por la población actual y futura de la ciudad, se tomará datos del Capítulo 2 de este trabajo, donde se menciona la población de la ciudad de Cuenca en el año 2010 de 505.585 habitantes y el año 2018 de 614.539 habitantes. Como se indica en la Tabla 3.3, se llegó a obtener la tasa de crecimiento para vehículos livianos de 3.80% y pesados de 2.47% para un “n” igual a ocho años. Lo que se aplicara a la fórmula de proyección (48).

$$TPDA_{futuro} = TPDA_{actual}(1 + i)^n \quad (48)$$

Tabla 3.3: TPDA 2010 y TPDA 2018

	Tasa de Crecimiento	TPDA 2010	TPDA 2018
Livianos	3.80 %	18.773	25.300
Pesados	2.47 %	1.327	1.613

Fuente: Autoría propia

Como conclusión a este subcapítulo se puede decir que para el año 2018 el TPDA de la Av. Ordoñez Laso en general es de 26.913 vehículos.

### 3.1.2. Fases de la intersección

Los tiempos semafóricos de la intersección a estudiar fueron aportados por el Ing. Juan José Carrasco, funcionario de la Dirección Municipal de Transito de Cuenca (DMT).

El giro a la izquierda permitido no protegido en la Av. Ordoñez Laso O-E, afecta claramente el flujo de saturación del Acceso II y aumenta los tiempos de espera de usuarios, aparte esto se castiga con el factor de giro a la izquierda como caso 5 indicado en la metodología de la HCM.

**Fase 1:** Esta fase tiene un tiempo de 30 segundos que consiste en: verde de 26 segundos, amarillo de 3 segundos y todo rojo de 1 segundo. Esta se indica en la Figura 3.10 y 3.11.

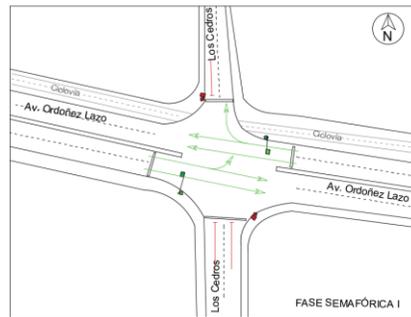


Figura 3.10: Fase semafórica 1

Fuente: Autoría propia



Figura 3.11: Tiempos semafóricos Fase 1

Fuente: Autoría propia

**Fase 2:** Esta fase cuenta con un tiempo 35 segundos que consiste de: verde de 31 segundos, amarillo de 3 segundos y todo rojo de 1 segundo. Esta se indica en la Figura 3.12 y 3.13.

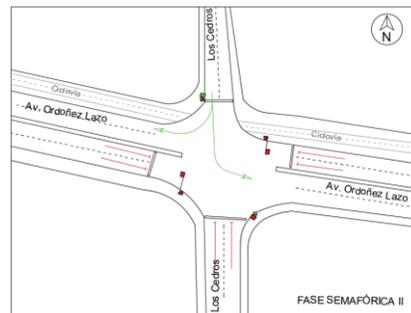


Figura 3.12: Fase semafórica 2

Fuente: Autoría propia



Figura 3.13: Tiempos semafóricos Fase 2

Fuente: Autoría propia

**Fase 3:** Esta fase cuenta con un tiempo 40 segundos que consiste de: verde de 36 segundos, amarillo de 3 segundos y todo rojo de 1 segundo. Esta fase semafórica no se contemplará. Esta se indica en la Figura 3.14 y 3.15.

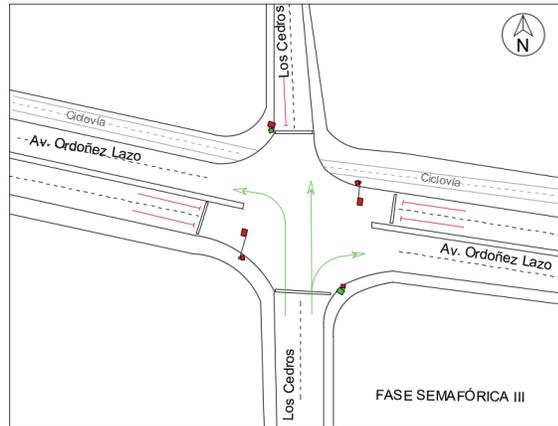


Figura 3.14: Fase semafórica 3

Fuente: Autoría propia



Figura 3.15: Tiempos semafóricos Fase 3

Fuente: Autoría propia

El tiempo del ciclo semafórico es de 105 segundos, llegando a la configuración indicada en la Figura 3.16.

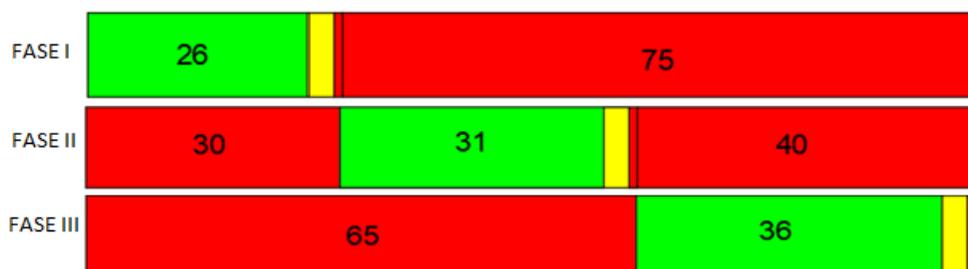


Figura 3.16: Tiempos del ciclo semafórico.

Fuente: Autoría propia

### 3.2. Análisis de flujos de saturación y niveles de servicio de los accesos a estudiar

Para conocer las horas pico de cada acceso de la intersección se realizó un conteo manual de doce horas en los tres accesos de la intersección a estudiar, omitiendo el acceso Los Cedros S-N. Posteriormente se realizó el cálculo del Factor de Hora Pico, el Flujo de Saturación y del Nivel de Servicio, en la mayor hora pico, de cada acceso. En la Tabla 3.4, 3.5 y 3.6 se muestran los conteos vehiculares llevados a cabo para posteriormente obtener la Figura 3.19, 3.20 y 3.21.

Los conteos realizados en la intersección el día 28 de septiembre del 2018 mediante tres cámaras de conteo de tráfico como se muestra en la Figura 3.17 y la instalación de las mismas en la Figura 3.18.



Figura 3.17: Cámara de conteo de tráfico usada

Fuente: Autoría propia



Figura 3.18: Instalación de las cámaras de conteo de tráfico

Fuente: Autoría propia

Tabla 3.4: Conteo Acceso 1, Av. Ordoñez Laso E-O

Hora	Vehículos Livianos	Buses	Camiones				Motos	Bicicleta	Peatones	Volumen Total	Volumen Total por Hora
			2-P	2-G	3-4	> 5					
6h00-6h15	54	5	0	0	1	0	0	0	11	60	260
6h15-6h30	44	5	1	1	1	0	1	1	12	54	347
6h30-6h45	45	3	0	0	1	0	5	1	10	55	440
6h45-7h00	79	3	1	0	0	0	8	0	10	91	488
7h00-7h15	128	4	2	0	2	0	11	0	10	147	499
7h15-7h30	133	7	1	0	3	0	1	2	14	147	468
7h30-7h45	85	2	4	1	1	0	6	4	18	103	432
7h45-8h00	88	5	1	0	0	0	5	3	19	102	443
8h00-8h15	98	8	3	2	1	0	3	1	10	116	443
8h15-8h30	97	3	3	1	2	0	4	1	17	111	418
8h30-8h45	94	3	5	0	0	2	8	2	5	114	431
8h45-9h00	87	3	1	0	1	1	6	3	9	102	440
9h00-9h15	68	3	2	2	2	0	11	3	20	91	468
9h15-9h30	109	2	3	1	2	1	6	0	7	124	553
9h30-9h45	102	4	5	3	2	0	4	3	12	123	573
9h45-10h00	100	3	6	4	3	1	12	1	9	130	564
10h00-10h15	162	2	1	3	0	0	6	2	1	176	577
10h15-10h30	116	3	5	6	2	2	10	0	4	144	541
10h30-10h45	94	3	3	3	0	3	7	1	5	114	529
10h45-11h00	117	2	4	2	2	0	10	6	10	143	550
11h00-11h15	115	4	4	4	0	0	12	1	5	140	552
11h15-11h30	112	4	1	6	1	0	8	0	11	132	511
11h30-11h45	117	3	4	1	2	0	8	0	9	135	558
11h45-12h00	119	3	6	5	1	1	9	1	9	145	558
12h00-12h15	79	5	4	2	1	1	7	0	7	99	524
12h15-12h30	163	5	4	3	0	0	3	1	11	179	562
12h30-12h45	117	3	4	2	1	0	7	1	23	135	568
12h45-13h00	93	4	1	3	0	2	8	0	20	111	578
13h00-13h15	124	2	2	0	0	0	9	0	24	137	631
13h15-13h30	159	3	2	4	2	1	13	1	30	185	619
13h30-13h45	116	5	4	2	3	3	12	0	25	145	583
13h45-14h00	147	3	4	1	1	0	8	0	23	164	545
14h00-14h15	110	4	3	2	0	0	6	0	15	125	512
14h15-14h30	125	6	3	2	3	0	8	2	18	149	508
14h30-14h45	89	5	6	0	1	0	5	1	17	107	486
14h45-15h00	104	4	6	4	0	1	10	2	30	131	518
15h00-15h15	107	2	6	0	1	1	4	0	11	121	530
15h15-15h30	108	3	0	3	0	1	11	1	14	127	534
15h30-15h45	126	1	1	1	0	1	8	1	7	139	534
15h45-16h00	127	3	0	1	0	1	9	2	27	143	540
16h00-16h15	101	7	5	0	0	1	11	0	17	125	529
16h15-16h30	112	2	1	1	1	0	10	0	23	127	541
16h30-16h45	133	3	1	0	1	0	6	1	9	145	560
16h45-17h00	111	3	6	2	1	0	9	0	20	132	555
17h00-17h15	113	4	4	1	0	0	12	3	12	137	538
17h15-17h30	123	4	4	0	1	0	11	3	18	146	548
17h30-17h45	121	3	2	2	1	0	9	2	21	140	549
17h45-18h00	99	4	3	0	0	2	5	2	13	115	549

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.5: Conteo Acceso 2, Av. Ordoñez Laso O-E

Hora	Vehículos Livianos	Buses	Camiones				Motos	Bicicleta	Peatones	Volumen Total	Volumen Total por Hora
			C-2-P	C-2-G	C-3-4	> C-5					
6h00-6h15	51	11	0	5	1	1	2	0	2	71	591
6h15-6h30	101	12	2	3	3	0	9	0	10	130	643
6h30-6h45	191	9	9	2	0	2	14	1	13	228	636
6h45-7h00	129	9	6	0	2	2	12	2	12	162	577
7h00-7h15	104	4	7	2	0	0	6	0	7	123	617
7h15-7h30	102	6	6	2	1	2	4	0	5	123	665
7h30-7h45	150	3	2	1	1	1	10	1	4	169	728
7h45-8h00	169	7	10	2	1	1	11	1	7	202	707
8h00-8h15	146	8	4	3	3	0	7	0	6	171	680
8h15-8h30	162	5	5	3	3	0	8	0	3	186	692
8h30-8h45	123	7	6	2	0	0	9	1	3	148	639
8h45-9h00	148	8	7	4	1	0	6	1	2	175	648
9h00-9h15	157	6	7	6	2	0	5	0	4	183	635
9h15-9h30	111	4	5	4	2	0	7	0	7	133	625
9h30-9h45	133	5	3	3	3	0	10	0	3	157	663
9h45-10h00	131	6	7	3	1	0	13	1	9	162	678
10h00-10h15	147	5	4	1	1	0	15	0	8	173	668
10h15-10h30	150	4	3	4	1	1	8	0	6	171	636
10h30-10h45	141	5	7	5	0	1	12	1	5	172	612
10h45-11h00	134	5	4	2	0	0	7	0	2	152	585
11h00-11h15	123	5	3	4	1	0	5	0	3	141	595
11h15-11h30	117	5	8	6	0	0	11	0	3	147	616
11h30-11h45	121	5	6	2	0	0	10	1	8	145	633
11h45-12h00	144	5	5	0	2	1	5	0	17	162	650
12h00-12h15	134	5	6	6	1	0	9	1	6	162	646
12h15-12h30	140	7	7	2	1	0	7	0	7	164	654
12h30-12h45	147	4	3	2	1	0	4	1	7	162	604
12h45-13h00	134	5	3	3	1	0	11	1	14	158	576
13h00-13h15	144	7	6	2	1	0	9	1	8	170	562
13h15-13h30	89	6	3	5	4	0	6	1	11	114	561
13h30-13h45	120	4	1	3	0	1	5	0	10	134	641
13h45-14h00	127	5	2	1	0	0	9	0	12	144	679
14h00-14h15	146	5	4	3	2	0	9	0	7	169	716
14h15-14h30	175	5	6	3	1	0	4	0	12	194	723
14h30-14h45	147	7	4	5	0	0	9	0	11	172	732
14h45-15h00	148	5	6	6	0	0	16	0	5	181	747
15h00-15h15	155	5	2	2	3	0	7	2	3	176	752
15h15-15h30	173	6	6	7	2	1	7	1	11	203	749
15h30-15h45	166	4	4	4	0	0	9	0	9	187	716
15h45-16h00	165	5	4	3	2	0	7	0	4	186	730
16h00-16h15	146	5	2	4	3	0	13	0	10	173	717
16h15-16h30	135	5	4	7	0	2	16	1	4	170	736
16h30-16h45	174	6	2	6	1	1	11	0	18	201	742
16h45-17h00	147	5	3	6	2	0	10	0	6	173	722
17h00-17h15	162	5	7	6	1	0	9	2	10	192	707
17h15-17h30	146	5	5	3	1	2	14	0	4	176	655
17h30-17h45	158	7	3	4	0	0	9	0	9	181	631
17h45-18h00	136	6	6	2	0	0	7	1	3	158	620

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.6: Conteo Acceso 3, Los Cedros N-S

Hora	Vehículos Livianos	Buses	Camiones				Motos	Bicicleta	Peatones	Volumen Total	Volumen Total por Hora
			C-2-P	C-2-G	C-3-4	> C-5					
6h00-6h15	28	2	0	0	0	0	3	0	17	33	372
6h15-6h30	62	3	0	0	0	0	0	0	24	65	448
6h30-6h45	153	1	1	0	1	0	2	2	35	160	479
6h45-7h00	105	1	2	0	0	0	4	2	30	114	445
7h00-7h15	104	1	1	1	0	0	1	1	27	109	459
7h15-7h30	89	1	2	0	0	0	3	1	31	96	491
7h30-7h45	118	0	1	0	0	0	4	3	38	126	510
7h45-8h00	116	0	3	1	0	0	6	2	42	128	474
8h00-8h15	128	0	1	1	0	0	9	2	25	141	438
8h15-8h30	107	0	2	1	1	0	2	2	30	115	376
8h30-8h45	86	0	1	1	1	0	1	0	22	90	340
8h45-9h00	85	1	1	2	0	0	3	0	20	92	326
9h00-9h15	70	0	3	6	0	0	0	0	14	79	316
9h15-9h30	70	0	1	1	0	0	6	1	25	79	302
9h30-9h45	67	0	1	1	0	0	6	1	11	76	301
9h45-10h00	76	0	1	2	0	0	3	0	19	82	321
10h00-10h15	57	0	1	3	0	0	3	1	22	65	313
10h15-10h30	68	0	1	5	0	0	4	0	19	78	315
10h30-10h45	84	0	2	3	0	0	6	1	13	96	304
10h45-11h00	66	0	1	1	0	0	6	0	6	74	273
11h00-11h15	61	0	0	1	1	0	3	1	16	67	262
11h15-11h30	62	0	1	1	0	0	2	1	10	67	292
11h30-11h45	58	1	2	2	0	0	1	1	16	65	338
11h45-12h00	57	0	0	2	1	0	3	0	17	63	387
12h00-12h15	87	0	3	2	0	0	4	1	31	97	442
12h15-12h30	105	0	0	2	0	0	5	1	22	113	437
12h30-12h45	103	0	3	0	0	0	7	1	16	114	444
12h45-13h00	109	0	4	1	0	0	3	1	18	118	437
13h00-13h15	86	0	0	0	0	0	4	2	23	92	399
13h15-13h30	105	0	0	2	0	0	13	0	26	120	415
13h30-13h45	97	0	3	2	0	0	5	0	16	107	377
13h45-14h00	71	4	0	0	1	0	3	1	23	80	388
14h00-14h15	99	3	1	1	1	0	1	2	26	108	415
14h15-14h30	73	1	1	2	2	0	2	1	15	82	426
14h30-14h45	109	2	1	1	1	0	3	1	32	118	421
14h45-15h00	94	3	3	2	0	0	5	0	20	107	420
15h00-15h15	111	0	2	0	0	0	5	1	23	119	432
15h15-15h30	70	0	2	0	1	0	3	1	23	77	409
15h30-15h45	106	0	1	1	0	0	7	2	23	117	424
15h45-16h00	110	0	2	1	3	0	3	0	23	119	388
16h00-16h15	89	0	0	2	2	0	3	0	20	96	366
16h15-16h30	81	0	0	1	0	0	10	0	31	92	346
16h30-16h45	74	1	2	0	0	0	4	0	37	81	350
16h45-17h00	86	0	0	1	3	0	6	1	36	97	362
17h00-17h15	68	0	1	1	0	0	6	0	33	76	379
17h15-17h30	89	0	1	0	2	0	4	0	44	96	432
17h30-17h45	83	0	3	1	0	0	3	3	33	93	444
17h45-18h00	102	1	2	0	1	0	7	1	25	114	462

Fuente: Autoría Propia

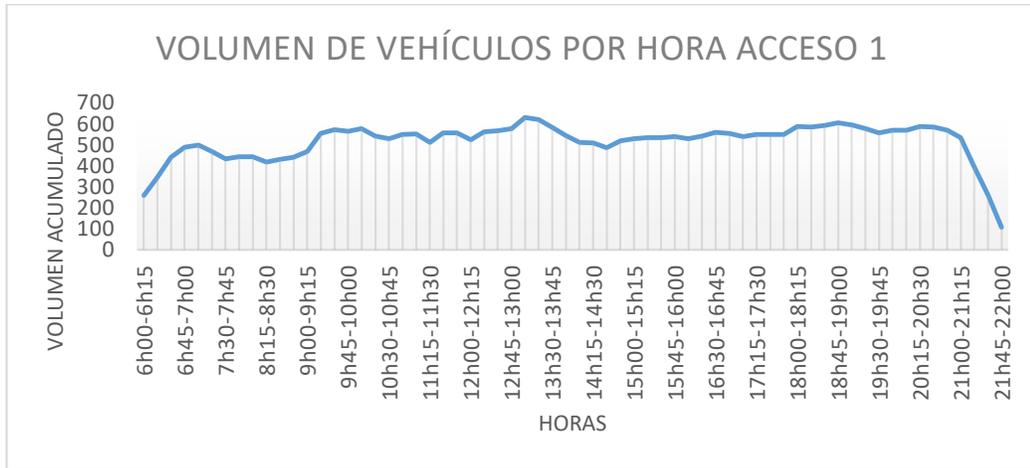


Figura 3.19: Volumen de vehículos acceso 1  
Fuente: Autoría Propia

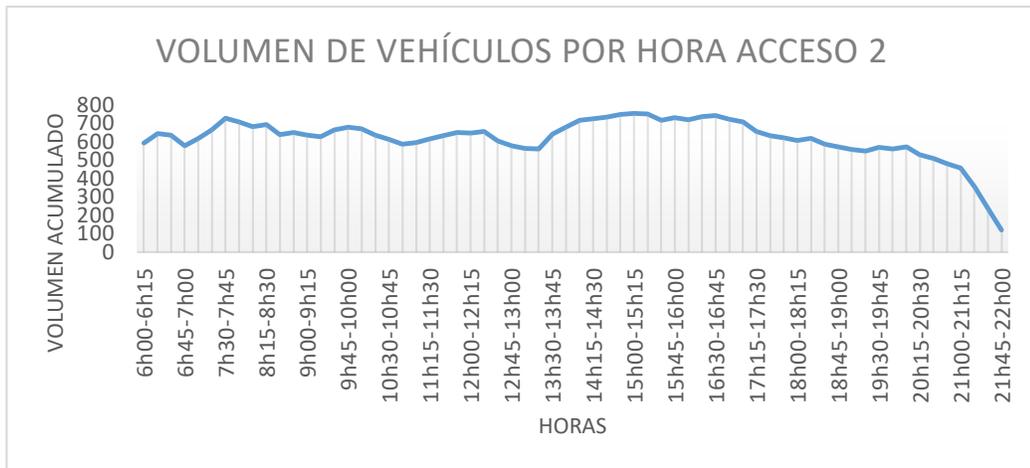


Figura 3.20: Volumen de vehículos acceso 2  
Fuente: Autoría Propia

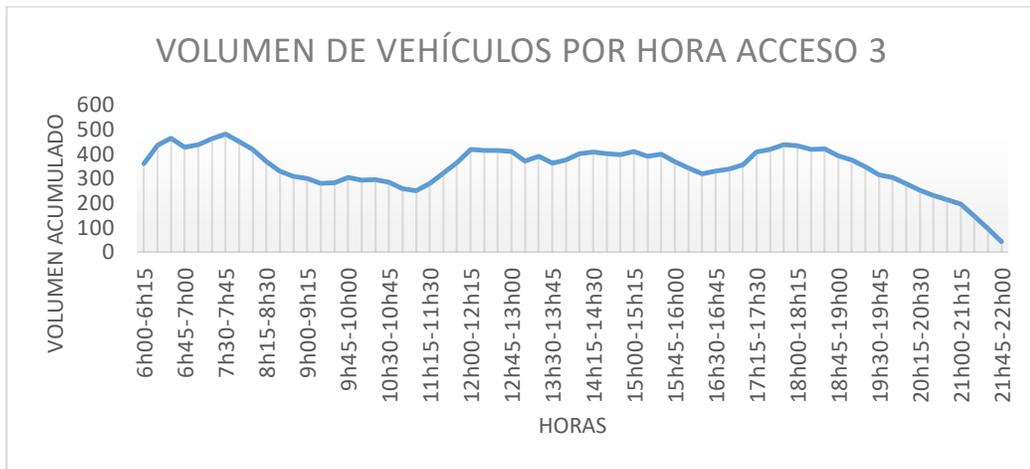


Figura 3.21: Volumen de vehículos acceso 3  
Fuente: Autoría Propia

Según las Figura 3.19, 3.20 y 3.21 se lograron identificar las horas pico de cada acceso como se indica en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7: Horas pico por acceso

	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
Hora pico mañana	10H00 - 11H00	07H30 – 08H30	07H30 – 08H30
Hora pico tarde	13H00 - 14H00	15H00 – 16H00	12H30 – 13H30

Fuente: Autoría Propia

### 3.2.1. Flujo de saturación

Para obtener el flujo de saturación teórico se utilizó la metodología de la HCM.

A continuación, desde la Tabla 3.8 hasta la Tabla 3.20, se expone el valor de cada uno de los factores en cada acceso. Las tablas de conteo de giros para el cálculo de los factores se muestran en: Anexo 1: Conteo manual de tráfico con giros, Acceso 1 ;Anexo 2: Conteo manual de tráfico con giros, Acceso 2; Anexo 3: Conteo manual de tráfico con giros, Acceso 3 y Anexo 4: Conteo manual de tráfico con giros, Acceso 4.

**Flujo de saturación base en condiciones óptimas:** se considera una constante la cual es 1900 veh/h por carril.

Tabla 3.8: Número de carriles del grupo de carriles

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
N = 2	N = 2	N = 1

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.9: Factor por ancho de carril

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
$f_w = 1 + \frac{3 - 3.6}{9}$ $f_w = 0.9333$	$f_w = 1 + \frac{3.22 - 3.6}{9}$ $f_w = 0.9578$	$f_w = 1 + \frac{3.9 - 3.6}{9}$ $f_w = 1.0333$

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.10: Factor por vehículos pesados

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
$f_{HV} = \frac{100}{100 + 3.76 * (2 - 1)}$ $f_{HV} = 0.9638$	$f_{HV} = \frac{100}{100 + 6.2 * (2 - 1)}$ $f_{HV} = 0.9416$	$f_{HV} = \frac{100}{100 + 2.2 * (2 - 1)}$ $f_{HV} = 0.9785$

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.11: Factor de ajuste por inclinación del acceso

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
$f_g = 1 - \frac{1}{200}$ $f_g = 1$	$f_g = 1 - \frac{-1}{200}$ $f_g = 1.01$	$f_g = 1 - \frac{-2}{200}$ $f_g = 1.01$

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.12: Factor de ajuste por existencia del carril de estacionamiento

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
$f_p = \frac{2 - 0.1 - \frac{18 * 0}{3600}}{2}$ $f_p = 1$	$f_p = \frac{2 - 0.1 - \frac{18 * 0}{3600}}{2}$ $f_p = 1$	$f_p = \frac{1 - 0.1 - \frac{18 * 0}{3600}}{1}$ $f_p = 1$

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.13: Factor de ajuste por efecto de los autobuses locales que paran dentro de la zona

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
$f_{bb} = \frac{2 - \frac{14.4 * 20}{3600}}{2}$ $f_{bb} = 0.96$	$f_{bb} = \frac{2 - \frac{14.4 * 21}{3600}}{2}$ $f_{bb} = 0.958$	$f_{bb} = \frac{1 - \frac{14.4 * 0}{3600}}{1}$ $f_{bb} = 1$

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.14: Factor de ajuste por tipo de área

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
$f_a = 1$	$f_a = 1$	$f_a = 1$

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.15: Factor de ajuste por utilización de carril

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
$fLU = \frac{585}{294 * 2}$ $fLU = 0.9949$	$fLU = \frac{742}{392 * 2}$ $fLU = 0.9464$	$fLU = \frac{500}{500 * 1}$ $fLU = 1$

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.16: Factor de ajuste por giro a la izquierda (Anexo 5: Calculo del factor de giro a la izquierda)

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
$fLT = \frac{1 + 0.91(2 - 1)}{2}$ $fLT = 0.955$	$fLT = \frac{0.978 + 0.91(2 - 1)}{2}$ $fLT = 0.944$	$fLT = 0.95$

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.17: Factor de ajuste por giro a la derecha

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
$fRT = 1 - (0.15 * 0.1292)$ $fRT = 0.9806$	$fRT = 1 - (0.15 * 0)$ $fRT = 1$	$fRT = 1 - (0.15 * 0.0803)$ $fRT = 0.9879$

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.18: Factor de ajuste por movimientos a la izquierda de peatones y ciclistas

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
$fLpb = 1$	$fLpb = 1$	$fLpb = 1$

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.19: Factor de ajuste por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas (Anexo 6: Calculo del factor de peatón/bicicleta para giros a la derecha)

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
$fRpb = 0.984$	$fRpb = 1$	$fRpb = 1$

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.20: Flujo de saturación

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
$S = 2993$	$S = 2948$	$S = 1821$

Fuente: Autoría Propia

**3.2.2. Nivel de servicio de cada uno de los accesos a estudiar**

El nivel de servicio se calculó empleando las demoras en los accesos, las cuales son demora uniforme (Tabla 3.21), demora incremental (Tabla 3.22) y demora por cola inicial (Tabla 3.23). También se necesita calcular el factor de ajuste por coordinación (Tabla 3.24) y la demora promedio (Tabla 3.25), para finalmente obtener el nivel de servicio de cada acceso, indicado en la Tabla 3.26.

Tabla 3.21: Demora uniforme

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
$d_1 = \frac{0.5 * (105) * (1 - 0.26)^2}{1 - (0.2793 * 0.26)}$ $d_1 = 31.213$	$d_1 = \frac{0.5 * (105) * (1 - 0.26)^2}{1 - (0.2823 * 0.26)}$ $d_1 = 31.239$	$d_1 = \frac{0.5 * (105) * (1 - 0.30)^2}{1 - (0.3063 * 0.30)}$ $d_1 = 27.989$

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.22: Demora incremental

<p>Acceso 1</p> $d_2 = 900 * (0.25) \left( (0.28 - 1) + \sqrt{(0.28 - 1)^2 + \frac{8 * (0.5) * (1) * (0.28)}{(769.71) * (0.25)}} \right)$ $d_2 = 0.904$
<p>Acceso 2</p> $d_2 = 900 * (0.25) \left( (0.28 - 1) + \sqrt{(0.28 - 1)^2 + \frac{8 * (0.5) * (1) * (0.28)}{(758.03) * (0.25)}} \right)$ $d_2 = 0.931$
<p>Acceso 3</p> $d_2 = 900 * (0.25) \left( (0.31 - 1) + \sqrt{(0.31 - 1)^2 + \frac{8 * (0.5) * (1) * (0.31)}{(554.96) * (0.25)}} \right)$ $d_2 = 1.426$

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.23: Demora por cola inicial

Acceso 1	Acceso 2
$d_3 = \frac{1800 * 5 * (1 + 0) * (0.009)}{769.71 * 0.25}$ $d_3 = 0.4216$	$d_3 = \frac{1800 * 9 * (1 + 0) * (0.016)}{758.04 * 0.25}$ $d_3 = 1.414$
Acceso 3	
$d_3 = \frac{1800 * 8 * (1 + 0) * (0.02)}{554.96 * 0.25}$ $d_3 = 2.157$	

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.24: Factor de ajuste por coordinación

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
$PF = \frac{(1 - 0.26) * 1}{1 - (0.26)}$ $PF = 1$	$PF = \frac{(1 - 0.17) * 0.93}{1 - (0.26)}$ $PF = 1.04$	$PF = \frac{(1 - 0.3) * 1}{1 - (0.3)}$ $PF = 1$

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.25: Demora promedio

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
$d = 31.21(1) + 0.9 + 0.152$ $d = 32.269$	$d = 31.24(1.04) + 0.9 + 1.41$ $d = 34.746$	$d = 27.98(1) + 1.43 + 2.16$ $d = 31.572$

Fuente: Autoría Propia

Tabla 3.26: Nivel de servicio

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
Nivel C	Nivel C	Nivel C

Fuente: Autoría Propia

### 3.3. Demoras de la intersección

Según la metodología expuesta, para el cálculo de las demoras de la intersección, es necesario conocer las demoras de cada acceso. En la Tabla 3.27 se procede a calcular la demora y nivel de servicio de Los Cedros S-N (Acceso 4).

Tabla 3.27: Demoras y nivel de servicio Los Cedros S-N

Demora Uniforme	$d_1 = \frac{0.5 * (105) * (1 - 0.34)^2}{1 - (0.269 * 0.34)}$ $d_1 = 24.97$
Demora Incremental	$d_2 = 900 * (0.25) \left( (0.27 - 1) + \sqrt{(0.27 - 1)^2 + \frac{8 * (0.5) * (1) * (0.27)}{(791.24) * (0.25)}} \right)$ $d_2 = 0.8358$
Demora por cola inicial	$d_3 = \frac{1800 * 4 * (1 + 0) * (0.007)}{791.24 * 0.25}$ $d_3 = 0.252$
Factor de ajuste por coordinación	$PF = \frac{(1 - 0.26) * 1}{1 - (0.26)}$ $PF = 1$
Demora Promedio	$d = 24.97(1) + 0.8358 + 0.252$ $d = 26.064$
Nivel de servicio	Nivel C

Fuente: Autoría Propia

Se puede observar en la Tabla 3.26 y 3.27 que el nivel de servicio se mantiene en los cuatro accesos, a continuación, se procede al cálculo de la demora de la intersección.

$$d_I = \frac{(215 * 32.54) + (214 * 32.54) + (170 * 31.57) + (213 * 26.06)}{(215 + 214 + 170 + 213)} = 30.64$$

Se puede decir que el nivel de servicio de la intersección es C, teniendo en cuenta que el Acceso 2 se encuentra muy próximo a descender a un nivel de servicio D.

## CAPÍTULO 4

### 4. Datos obtenidos en campo

#### 4.1. Altura del Dispositivo Semafórico Auxiliar

Para poder determinar la altura del dispositivo semafórico auxiliar, se necesita conocer la altura promedio de la vista de un conductor de vehículo privado, se van a tomar las medidas de los vehículos de menor y mayor tamaño de la marca líder en ventas del país.

En la Figura 4.1 se puede observar una clasificación de las marcas más usadas según su clase, para seleccionar los vehículos tipo.

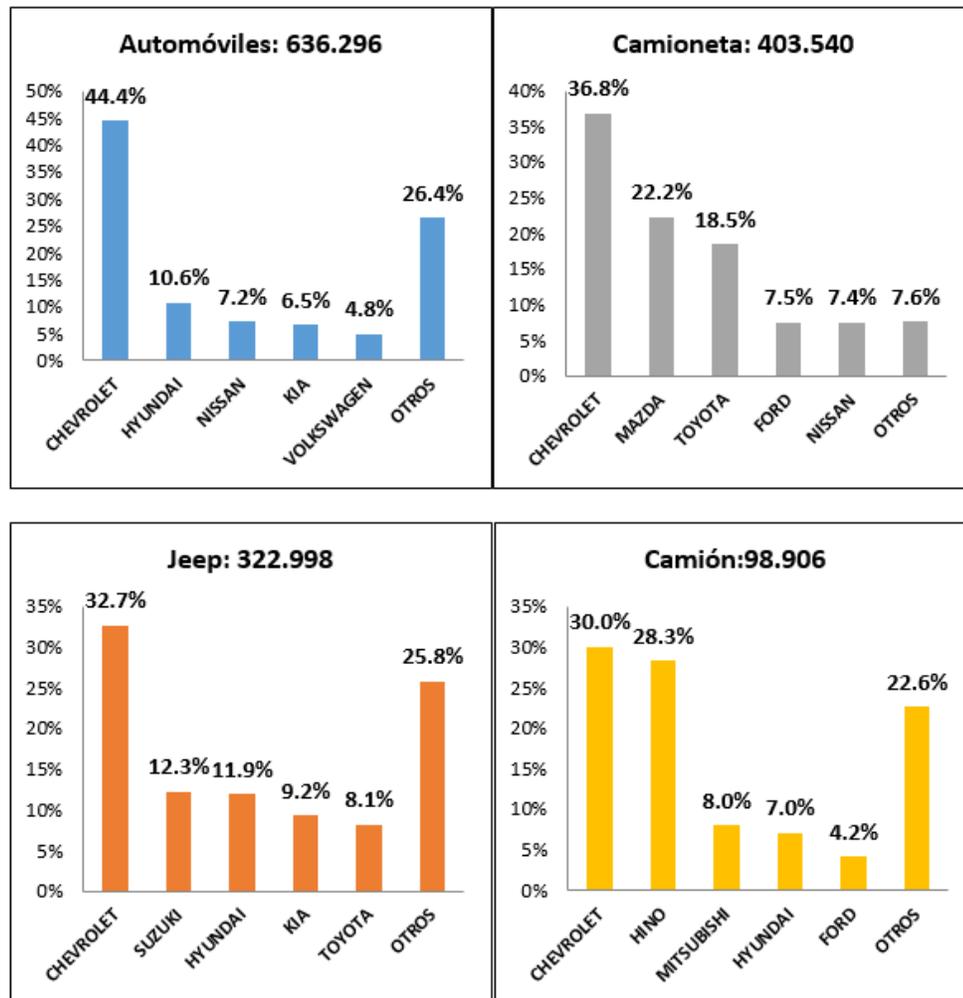


Figura 4.1: Principales marcas de vehículos matriculados, según clase.  
Fuente: (INEC, 2016)

Como indica la Figura 4.1 la marca más usada es Chevrolet y la clase Automóviles y Camioneta predominan, es por esto que se tomara como referencia un automóvil Chevrolet Aveo, altura de 1.495 m, (Figura 4.2) y una camioneta Chevrolet Silverado, altura 1.869 m, (Figura 4.3).



Figura 4.2: Automóvil Chevrolet Aveo  
Fuente: (Chevrolet, 2017)



Figura 4.3: Camioneta Chevrolet Silverado  
Fuente: (Chevrolet, 2012)

La diferencia entre la altura del vehículo y la vista del conductor se obtuvo mediante la medición en veinte vehículos aleatorios, con una persona de altura promedio (1.682m) (eLIFE, 2016) sentada al volante, por lo tanto, se pudo determinar que la vista del conductor se encuentra aproximadamente de 20 a 30 centímetros por debajo de la altura del vehículo, sacando el promedio de alturas de los vehículos tipo y restando el promedio, veinticinco centímetros, se obtuvo una altura de 1.432 m, que para fines prácticos se redondea a 1.50 metros. En la Figura 4.4 se presenta un bosquejo del dispositivo ya instalado, a la altura calculada, en el poste del semáforo principal. En la Figura 4.5 se muestra una vista lateral de un vehículo de altura promedio y del dispositivo instalado, aparte el campo de visión humano según la Figura 2.1.

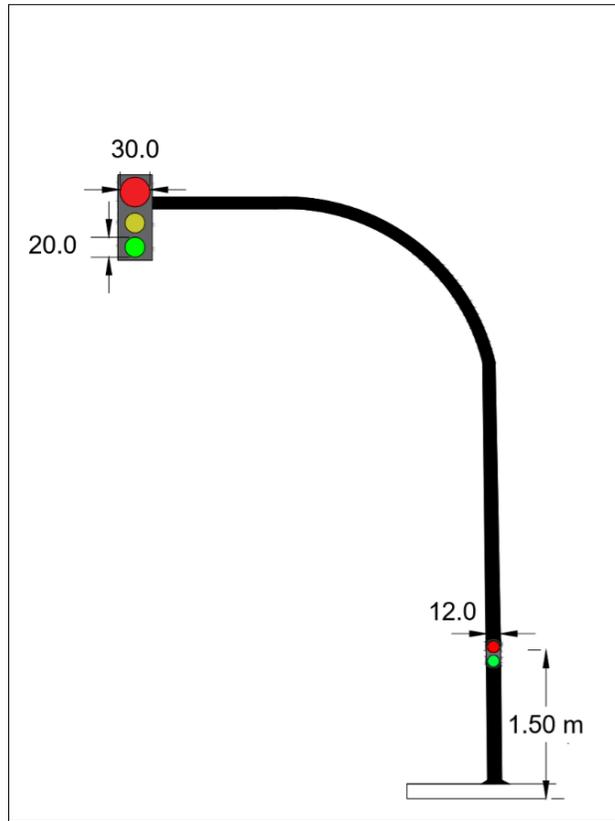


Figura 4.4: Bosquejo del dispositivo auxiliar instalado en el poste

Fuente: Autoría Propia

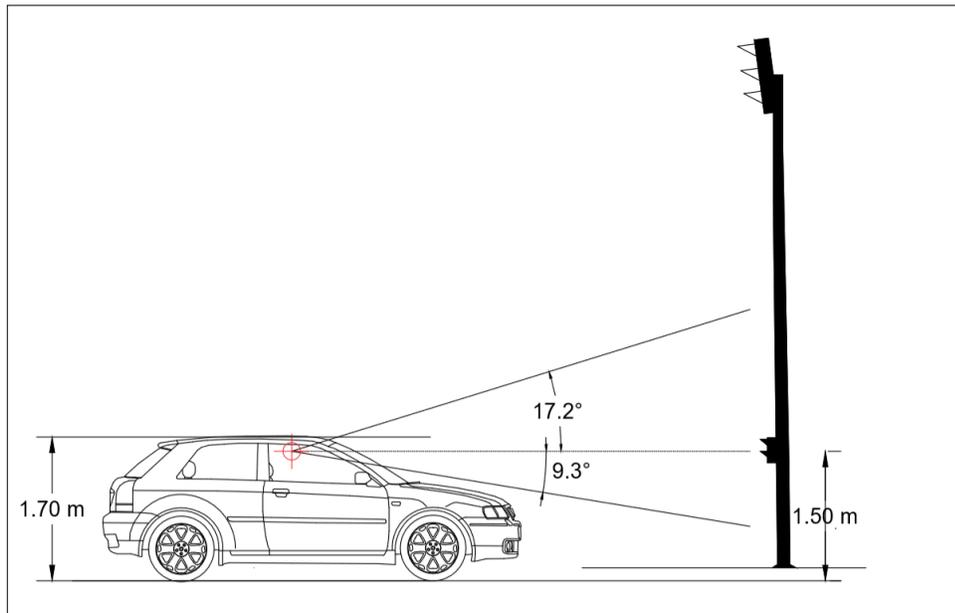


Figura 4.5: Vista lateral de un vehículo de altura promedio a la espera del cambio de fase.

Fuente: Autoría Propia

## 4.2. Toma de Datos

El HCM en el apéndice H del capítulo 16 indica la metodología para calcular flujos de saturación en base a la toma de tiempos y número de vehículos que cruzan por carril. Para el cálculo de los flujos de saturación en campo, es necesario realizar un conteo de 15 fases semafóricas como mínimo, con más de 8 vehículos en la fila, en estos conteos es necesario registrar el tiempo que se demora en cruzar la línea de pare el vehículo en el que empieza el flujo y es necesario también obtener el número total de vehículos que cruzan en la fase, el tiempo en cruzar la línea de pare el último vehículo. El flujo de saturación en campo se calcula para un solo carril.

## 4.3. Sin Dispositivo Semafórico Auxiliar

En el Anexo 7: Toma de datos sin dispositivo semafórico auxiliar se exponen los datos obtenidos en campo para el cálculo del intervalo, flujo observado, tasa de flujo, vehículos que cruzan, tiempo perdido en el arranque, tiempo en que cruza el último vehículo y perdida inicial. Se levantó información de dos horas pico por carril, por acceso, estas dos horas pico equivalen a 68 ciclos semafóricos.

### 4.3.1. Intervalo promedio (s/veh)

El intervalo es la relación que existe entre el tiempo de flujo y el número de vehículos que ocupan este mismo tiempo. Se calcula mediante la ecuación (49).

$$h_i = \frac{\text{tiempo en que cruza el ultimo vehiculo} - \text{tiempo perdido en el arranque}}{\text{vehiculos que cruzan} - \text{vehiculos sin flujo}} \quad (49)$$

En la Tabla 4.1 se muestran los valores promedios obtenidos según la ecuación (49).

Tabla 4.1: Intervalos promedios por carril, sin dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
2.47	2.47	2.20	2.31	2.11

Fuente: Autoría Propia

### 4.3.2. Flujo observado (veh/h)

Es la relación que existe entre una hora de verde y el intervalo promedio. Se calcula mediante la ecuación (50).

$$q = \frac{3600}{\bar{h}} \quad (50)$$

En la Tabla 4.2 se muestran los valores promedios obtenidos según la ecuación (50).

Tabla 4.2: Flujo observado por carril, sin dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
1456	1459	1639	1559	1708

Fuente: Autoría Propia

### 4.3.3. Tasa promedio de descarga de la cola en un periodo de verde saturado (veh/s)

Es el valor inverso del intervalo. En la Tabla 4.3 se muestran los valores promedios obtenidos.

Tabla 4.3: Tasa de descarga por carril, sin dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
0.40	0.41	0.46	0.43	0.47

Fuente: Autoría Propia

### 4.3.4. Vehículos promedio que cruzan en una fase de verde saturado

Vehículos promedio que cruzan el semáforo en verde de una fase. En la Tabla 4.4 se muestran los valores promedios obtenidos.

Tabla 4.4: Vehículos que cruzan por carril, sin dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
11	11	12	12	15

Fuente: Autoría Propia

#### 4.3.5. Tiempo promedio perdido en el arranque (s)

Es el tiempo que transcurre entre el cambio de luz verde hasta que cruce la línea de pare la parte frontal del vehículo que ya se encuentra en flujo, generalmente es de 10 a 14 segundos. En la Tabla 4.5 se muestran los valores promedios obtenidos.

Tabla 4.5: Tiempo perdido en el arranque por carril, sin dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
10.57	10.18	8.72	8.92	10.13

Fuente: Autoría Propia

#### 4.3.6. Tiempo promedio en que cruza el último vehículo (s)

Es el tiempo que transcurre entre el cambio de luz verde hasta que cruce la línea de pare la parte frontal del último vehículo al final de la fase correspondiente. En la Tabla 4.6 se muestran los valores promedios obtenidos.

Tabla 4.6: Tiempo en que cruza el último vehículo por carril, sin dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
26.79	25.39	27.61	27.88	33.50

Fuente: Autoría Propia

#### 4.3.7. Tiempo promedio de perdida inicial (s)

Es el tiempo que transcurre entre el cambio de luz verde hasta que el primer conductor en la cola reaccione y arranque el vehículo, generalmente de 2 a 4 segundos. En la Tabla 4.7 se muestran los valores promedios obtenidos.

Tabla 4.7: Tiempo de perdida inicial por carril, sin dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
2.41	2.06	1.76	1.81	2.73

Fuente: Autoría Propia

### 4.3.8. Tiempos de verde efectivo

De los datos expuestos, se puede saber la distribución de tiempos de una fase promedio en hora pico, así se logra obtener un tiempo de verde efectivo observado, que es la diferencia entre el tiempo que pasa el último vehículo (Tabla 4.6) y la pérdida inicial (Tabla 4.7). Desde la Figura 4.6 hasta la Figura 4.10 se muestra los tiempos de verde efectivo por carril y por acceso.

#### FASE I ORDOÑEZ LASO E-O CARRIL 1

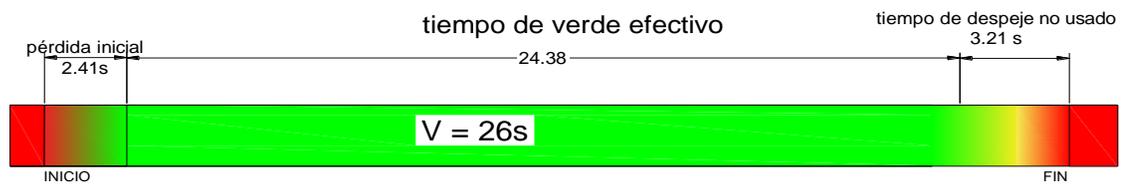


Figura 4.6: Verde efectivo, Acceso 1-Carril 1, sin dispositivo  
Fuente: Autoría Propia

#### FASE I ORDOÑEZ LASO E-O CARRIL 2

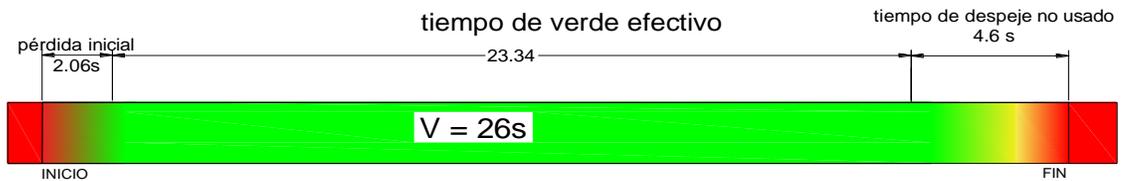


Figura 4.7: Verde efectivo, Acceso 1-Carril 2, sin dispositivo  
Fuente: Autoría Propia

#### FASE I ORDOÑEZ LASO O-E CARRIL 1

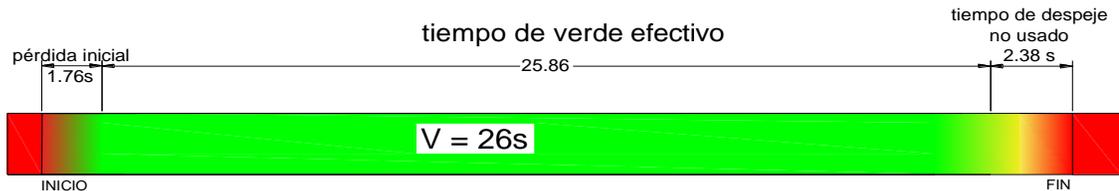


Figura 4.8: Verde efectivo, Acceso 2-Carril 1, sin dispositivo  
Fuente: Autoría Propia

FASE I ORDOÑEZ LASO O-E CARRIL 2

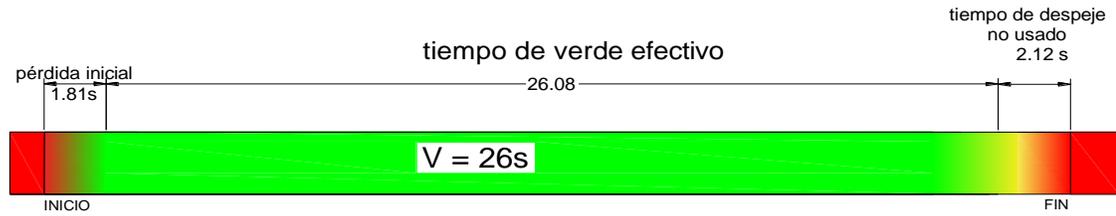


Figura 4.9: Verde efectivo, Acceso 2-Carril 2, sin dispositivo  
Fuente: Autoría Propia

FASE II LOS CEDROS N-S

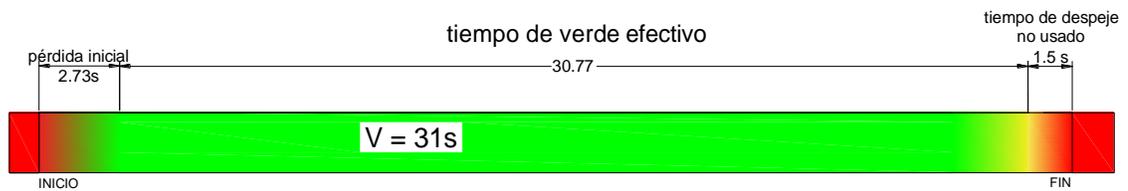


Figura 4.10: Verde efectivo, Acceso 3, sin dispositivo  
Fuente: Autoría Propia

**4.4. Con Dispositivo Semafórico Auxiliar**

En el Anexo 8: Toma de datos con dispositivo semafórico auxiliar, se exponen los datos obtenidos en campo para el cálculo del intervalo, flujo observado, tasa de flujo, vehículos que cruzan, tiempo perdido en el arranque, tiempo en que cruza el último vehículo y pérdida inicial. Se levantó información de dos horas pico por carril, por acceso, estas dos horas pico equivalen a 68 ciclos semafóricos.

Según lo expuesto en el Capítulo 2.6 donde se determinó la altura del semáforo auxiliar con el color rojo y verde, para realizar la investigación experimental y de acuerdo a la hipótesis planteada, se procedió a la instalación de los mismos la semana posterior al primer levantamiento de datos, con la colaboración de la EMOV-EP (Figura 4.11). Desde la Figura 4.13 hasta la Figura 4.18 se muestra el dispositivo semafórico auxiliar funcionando en cada acceso.



Figura 4.11: Instalación del dispositivo auxiliar  
Fuente: Autoría Propia

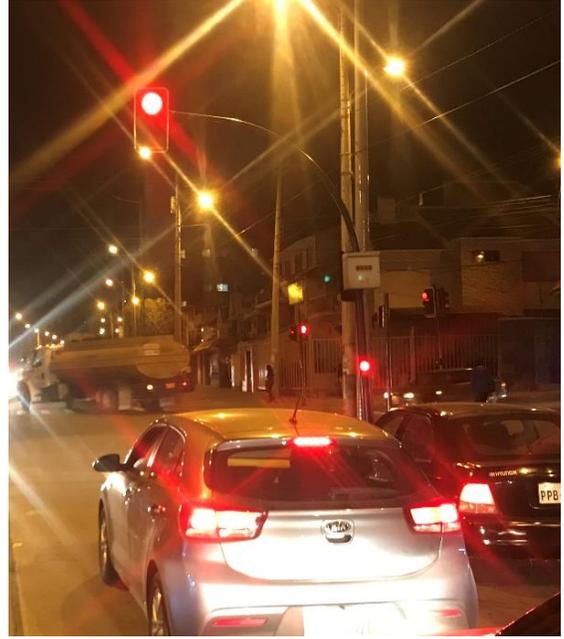


Figura 4.13: Dispositivo auxiliar Acceso 1-  
Noche  
Fuente: Autoría Propia



Figura 4.12: Dispositivo auxiliar, vista del  
interior de un vehículo  
Fuente: Autoría Propia

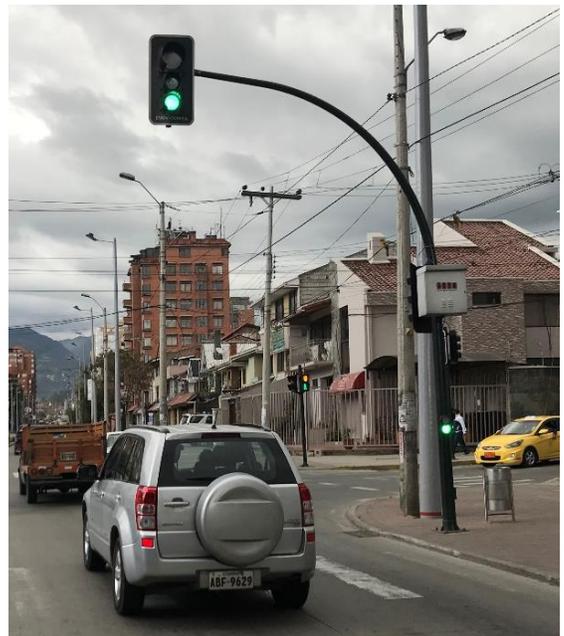


Figura 4.14: Dispositivo auxiliar Acceso 1 –Día  
Fuente: Autoría Propia



Figura 4.15: Dispositivo auxiliar Acceso 2-Noche  
Fuente: Autoría Propia

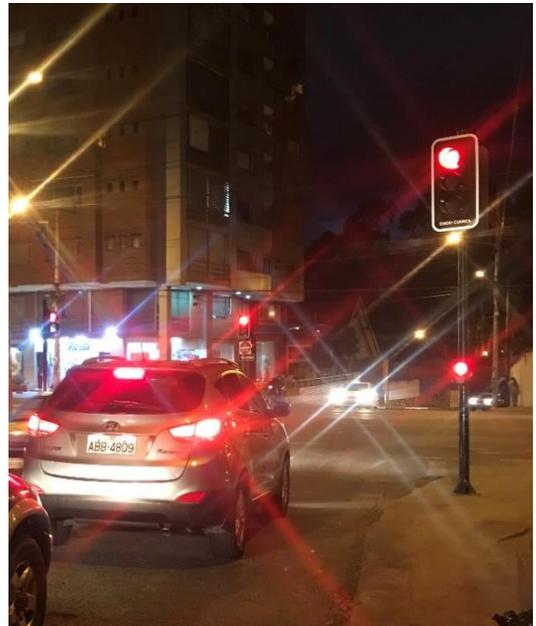


Figura 4.17: Dispositivo auxiliar Acceso 3-Noche  
Fuente: Autoría Propia



Figura 4.16: Dispositivo auxiliar Acceso 2-Día  
Fuente: Autoría Propia



Figura 4.18: Dispositivo auxiliar Acceso 3-Día  
Fuente: Autoría Propia

**4.4.1. Intervalo promedio**

En la Tabla 4.8 se muestran los valores promedios obtenidos según la ecuación (49).

Tabla 4.8: Intervalos promedios por carril, con dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
2.54	2.64	2.28	2.29	2.27

Fuente: Autoría Propia

**4.4.2. Flujo observado**

En la Tabla 4.9 se muestran los valores promedios obtenidos según la ecuación (50).

Tabla 4.9: Flujo observado por carril, con dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
1416	1364	1581	1574	1586

Fuente: Autoría Propia

**4.4.3. Tasa promedio de descarga de la cola en un periodo de verde saturado**

Es el valor inverso del intervalo. En la Tabla 4.10 se muestran los valores promedios obtenidos.

Tabla 4.10: Tasa de descarga por carril, con dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
0.39	0.38	0.44	0.44	0.44

Fuente: Autoría Propia

**4.4.4. Vehículos promedio que cruzan en una fase de verde saturado**

En la Tabla 4.11 se muestran los valores promedios obtenidos.

Tabla 4.11: Vehículos que cruzan por carril, con dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
11	10	13	12	15

Fuente: Autoría Propia

#### 4.4.5. Tiempo promedio perdido en el arranque

En la Tabla 4.12 se muestran los valores promedios obtenidos.

Tabla 4.12: Tiempo perdido en el arranque por carril, con dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
9.36	8.9	8.85	8.37	8.94

Fuente: Autoría Propia

#### 4.4.6. Tiempo promedio en que cruza el último vehículo

En la Tabla 4.13 se muestran los valores promedios obtenidos.

Tabla 4.13: Tiempo en que cruza el último vehículo por carril, con dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
25.83	25.83	27.78	27.62	32.88

Fuente: Autoría Propia

#### 4.4.7. Tiempo promedio de pérdida inicial

En la Tabla 4.14 se muestran los valores promedios obtenidos.

Tabla 4.14: Tiempo de pérdida inicial por carril, con dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
2.04	1.99	1.47	1.48	2.38

Fuente: Autoría Propia

#### 4.4.8. Tiempos de verde efectivo

De los datos expuestos, se puede saber la distribución de tiempos de una fase promedio en hora pico, así se logra obtener un tiempo de verde efectivo observado, que es la diferencia entre el tiempo que pasa el último vehículo (Tabla 4.13) y la pérdida inicial (Tabla 4.14). Desde la Figura 4.19 hasta la Figura 4.23 se muestra los tiempos de verde efectivo por carril y por acceso.

FASE I ORDOÑEZ LASO E-O CARRIL 1

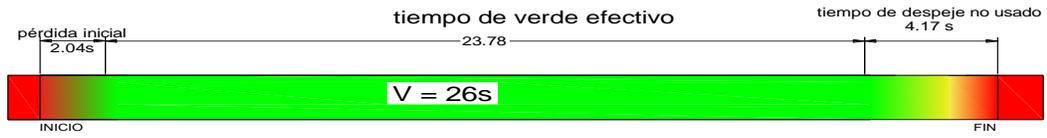


Figura 4.19: Verde efectivo, Acceso 1-Carril 1, con dispositivo  
Fuente: Autoría Propia

FASE I ORDOÑEZ LASO E-O CARRIL 2

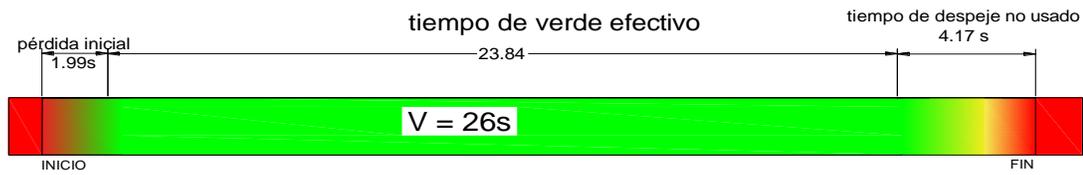


Figura 4.20: Verde efectivo, Acceso 1-Carril 2, con dispositivo  
Fuente: Autoría Propia

FASE I ORDOÑEZ LASO O-E CARRIL 1

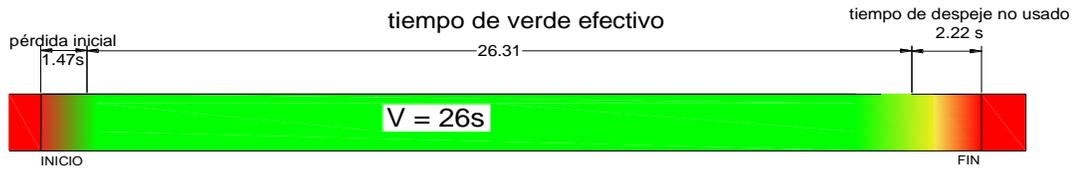


Figura 4.21: Verde efectivo, Acceso 2-Carril 1, con dispositivo  
Fuente: Autoría Propia

FASE I ORDOÑEZ LASO O-E CARRIL 2

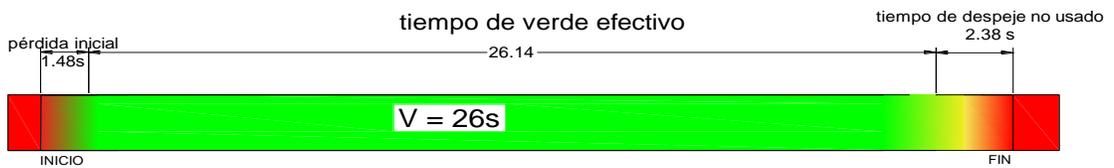


Figura 4.22: Verde efectivo, Acceso 2-Carril 2, con dispositivo  
Fuente: Autoría Propia

FASE II LOS CEDROS N-S

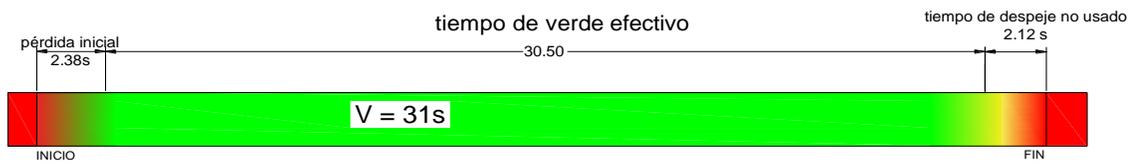


Figura 4.23: Verde efectivo, Acceso 3, con dispositivo  
Fuente: Autoría Propia

## CAPÍTULO 5

### 5. Análisis de resultados

#### 5.1. Parámetros a comparar

Para recordar al lector la nomenclatura utilizada en este estudio se muestra la Figura 5.1.

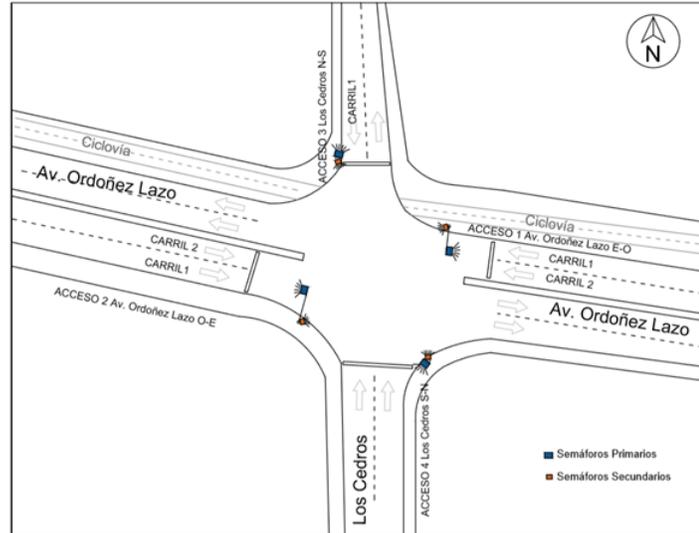


Figura 5.1: Esquema de la intersección semafórica y ubicación de semáforos de la Av. Ordoñez Lazo y Los cedros.

Fuente: Autoría Propia

Luego del análisis de los datos expuestos en el Capítulo 4 de este trabajo, se pudo notar que los parámetros indicados en la Tabla 5.1 no pueden ser comparables de una semana a la otra, debido a que su comportamiento es muy susceptible al cambio.

Tabla 5.1: Parámetros no comparables

Sin dispositivo				Con dispositivo			
Intervalo promedio	Acceso 1	Carril 1	2.47	Intervalo promedio	Acceso 1	Carril 1	2.54
		Carril 2	2.47			Carril 2	2.64
	Acceso 2	Carril 1	2.20		Acceso 2	Carril 1	2.28
		Carril 2	2.31			Carril 2	2.29
	Acceso 3	Carril 1	2.11		Acceso 3	Carril 1	2.27
	Flujo observado	Acceso 1	Carril 1		1456	Flujo observado	Acceso 1
Carril 2			1459	Carril 2	1364		
Acceso 2		Carril 1	1639	Acceso 2	Carril 1		1581
		Carril 2	1559		Carril 2		1574
Acceso 3		Carril 1	1708	Acceso 3	Carril 1		1586

Tasa promedio de descarga de la cola.	Acceso 1	Carril 1	0.40	Tasa promedio de descarga de la cola.	Acceso 1	Carril 1	0.39
		Carril 2	0.41			Carril 2	0.38
	Acceso 2	Carril 1	0.46		Acceso 2	Carril 1	0.44
		Carril 2	0.43			Carril 2	0.44
	Acceso 3	Carril 1	0.47		Acceso 3	Carril 1	0.44
Vehículos promedio que cruzan	Acceso 1	Carril 1	11	Vehículos promedio que cruzan	Acceso 1	Carril 1	11
		Carril 2	11			Carril 2	11
	Acceso 2	Carril 1	13		Acceso 2	Carril 1	13
		Carril 2	13			Carril 2	12
	Acceso 3	Carril 1	16		Acceso 3	Carril 1	15
Tiempo que cruza el último vehículo	Acceso 1	Carril 1	26.79	Tiempo que cruza el último vehículo	Acceso 1	Carril 1	25.83
		Carril 2	25.39			Carril 2	25.83
	Acceso 2	Carril 1	27.61		Acceso 2	Carril 1	27.78
		Carril 2	27.88			Carril 2	27.62
	Acceso 3	Carril 1	33.5		Acceso 3	Carril 1	32.88

Fuente: Autoría Propia

Por ende, los parámetros que si se van a comparar son la pérdida inicial y el tiempo perdido en el arranque, que son los parámetros que se supone que varían con la implementación del semáforo auxiliar.

## 5.2. Pérdida inicial

Conforme a la hipótesis planteada, se analizará la pérdida inicial sin y con dispositivo semafórico auxiliar. Los datos expuestos en la Tabla 5.2 son el promedio de 68 datos tomados por carril, por acceso, con y sin dispositivo, durante dos horas pico del día 28 de septiembre del 2018 y 05 de octubre del 2018, respectivamente.

Tabla 5.2: Promedios de tiempos de pérdida inicial, por acceso y carril

Sin dispositivo				Con dispositivo				Ganancia
Pérdida inicial (s)	Acceso 1	Carril 1	2.41	Pérdida inicial (s)	Acceso 1	Carril 1	2.04	15.2%
		Carril 2	2.06			Carril 2	1.99	3.6%
	Acceso 2	Carril 1	1.76		Acceso 2	Carril 1	1.47	16.6%
		Carril 2	1.81			Carril 2	1.48	18.4%
	Acceso 3	Carril 1	2.73		Acceso 3	Carril 1	2.38	12.9%

Fuente: Autoría Propia

Desde la Figura 5.2 hasta la Figura 5.6 se muestran los tiempos de pérdida inicial sin dispositivo y con dispositivo para facilitar el análisis mediante gráficos de dispersión con líneas suavizadas, los tiempos fueron ordenados de menor a mayor.

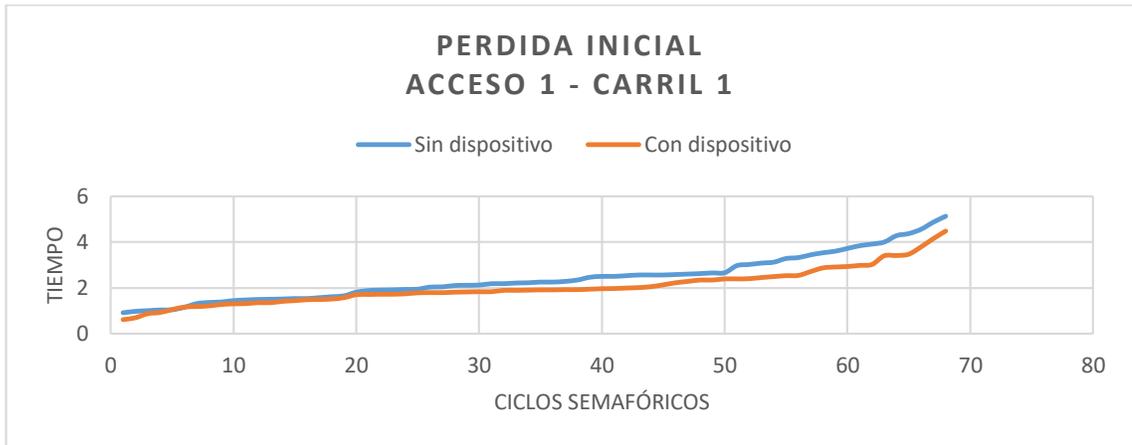


Figura 5.2: Perdida inicial con y sin dispositivo, Acceso 1 – Carril 1  
Fuente: Autoría Propia

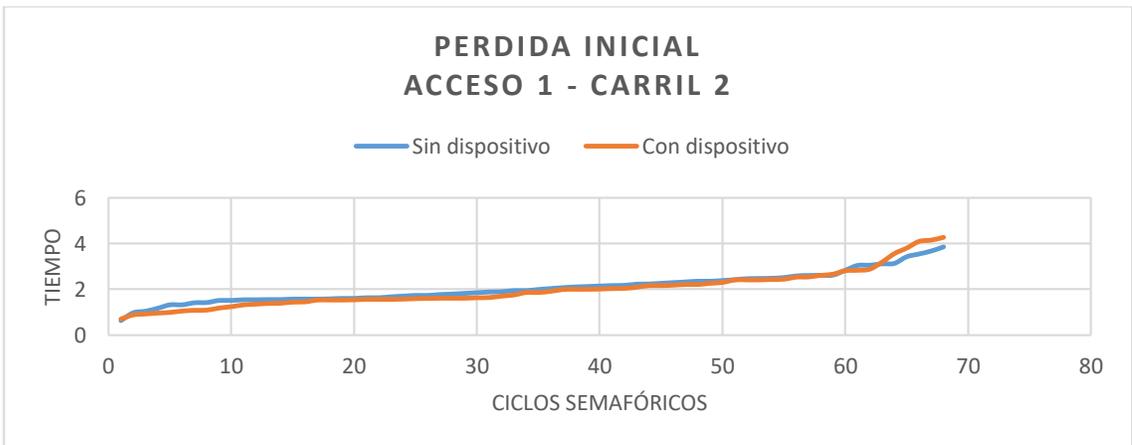


Figura 5.3: Perdida inicial con y sin dispositivo, Acceso 1 – Carril 2  
Fuente: Autoría Propia

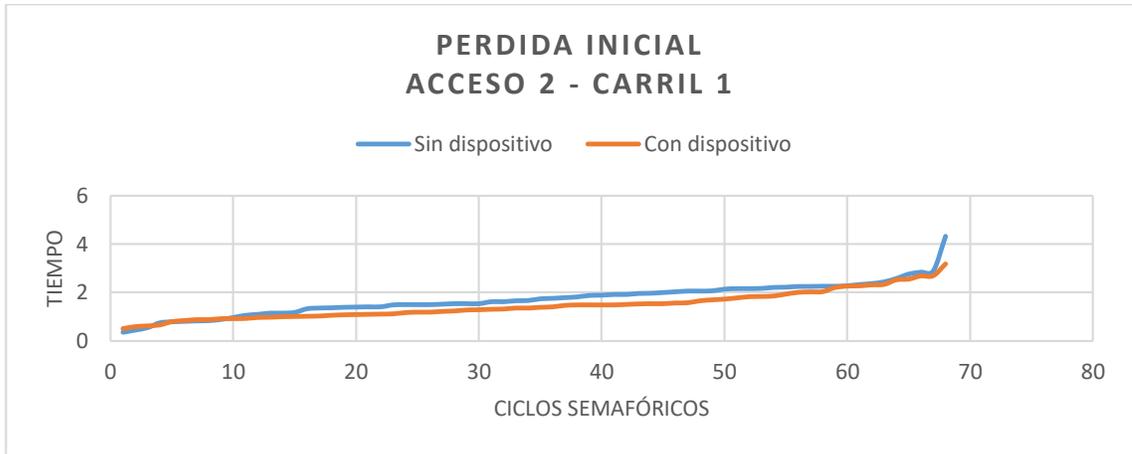


Figura 5.4: Perdida inicial con y sin dispositivo, Acceso 2 – Carril 1  
Fuente: Autoría Propia

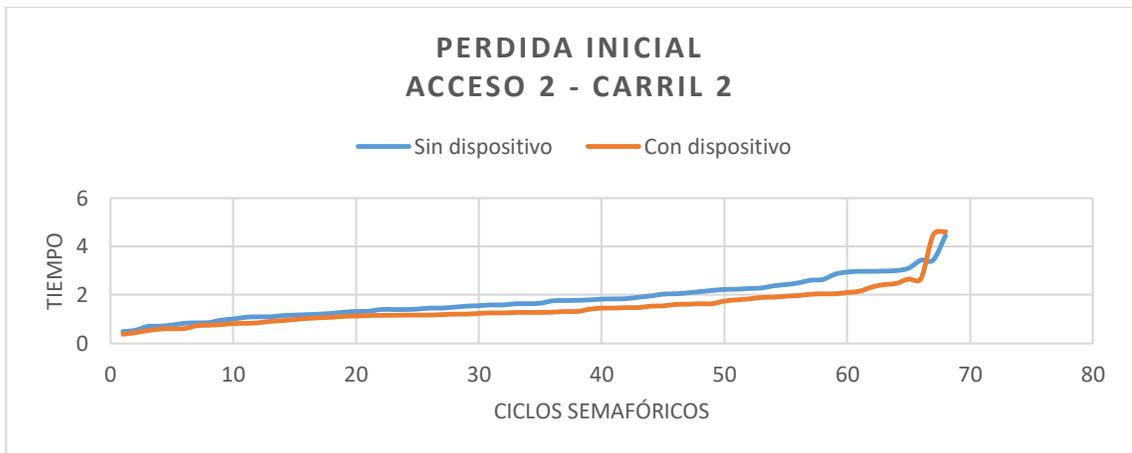


Figura 5.5: Perdida inicial con y sin dispositivo, Acceso 2 – Carril 2  
Fuente: Autoría Propia

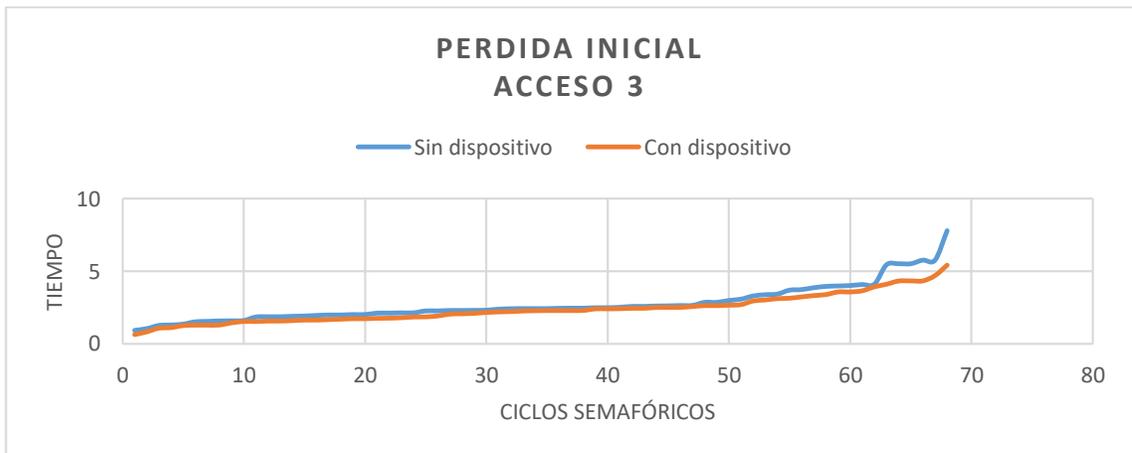


Figura 5.6: Perdida inicial con y sin dispositivo, Acceso 3  
Fuente: Autoría Propia

Se puede notar una disminución en el Acceso 1 de 15.2%, en el Acceso 2 de 18.4% y en el Acceso 3 de 12.9% de la pedida inicial al momento que el dispositivo auxiliar se encontraba en uso.

**5.2.1. Porcentaje de vehículos que tienen una perdida inicial menor y mayor a dos segundos**

Desde la Figura 5.7 hasta la Figura 5.16 se muestran en porcentaje de fases en las que los conductores al inicio de la fila arrancaron antes y después de dos segundos, en otras palabras, cuando la perdida inicial fue menor y mayor a dos segundos.



Figura 5.7: Porcentaje de fases con perdida inicial menor y mayor a 2 segundos, sin dispositivo, Acceso 1-Carril 1  
Fuente: Autoría Propia



Figura 5.9: Porcentaje de fases con perdida inicial menor y mayor a 2 segundos, con dispositivo, Acceso 1-Carril 1  
Fuente: Autoría Propia



Figura 5.8: Porcentaje de fases con perdida inicial menor y mayor a 2 segundos, sin dispositivo, Acceso 1-Carril 2  
Fuente: Autoría Propia



Figura 5.10: Porcentaje de fases con perdida inicial menor y mayor a 2 segundos, con dispositivo, Acceso 1-Carril 2  
Fuente: Autoría Propia

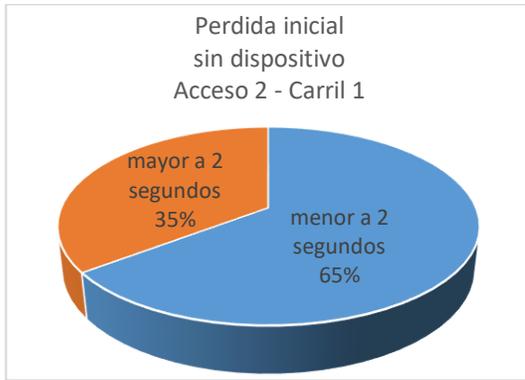


Figura 5.11: Porcentaje de fases con pérdida inicial menor y mayor a 2 segundos, sin dispositivo, Acces2-Carril 1  
Fuente: Autoría Propia



Figura 5.14: Porcentaje de fases con pérdida inicial menor y mayor a 2 segundos, con dispositivo, Acceso 2-Carril 1  
Fuente: Autoría Propia



Figura 5.12: Porcentaje de fases con pérdida inicial menor y mayor a 2 segundos, sin dispositivo, Acceso 2- Carril 2  
Fuente: Autoría Propia



Figura 5.15: Porcentaje de fases con pérdida inicial menor y mayor a 2 segundos, con dispositivo, Acceso 2-Carril 2  
Fuente: Autoría Propia



Figura 5.13: Porcentaje de fases con pérdida inicial menor y mayor a 2 segundos, sin dispositivo, Acceso 3  
Fuente: Autoría Propia

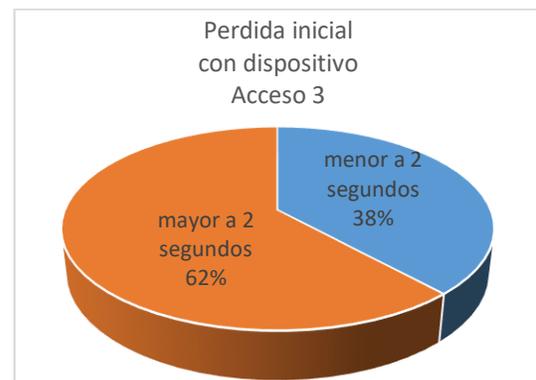


Figura 5.16: Porcentaje de fases con pérdida inicial menor y mayor a 2 segundos, con dispositivo, Acceso 3  
Fuente: Autoría Propia

### 5.3. Tiempo perdido en el arranque

En el Anexo 6: Calculo del factor de peatón/bicicleta para giros a la derecha y Anexo 7: Toma de datos sin dispositivo semafórico auxiliar, se muestran los datos con los que se obtuvo una distribución normal para determinar el número de vehículos que cruzan antes de que exista flujo, es decir hasta que la parte frontal del vehículo con flujo pase por la línea de pare y el trafico comience a fluir normalmente.

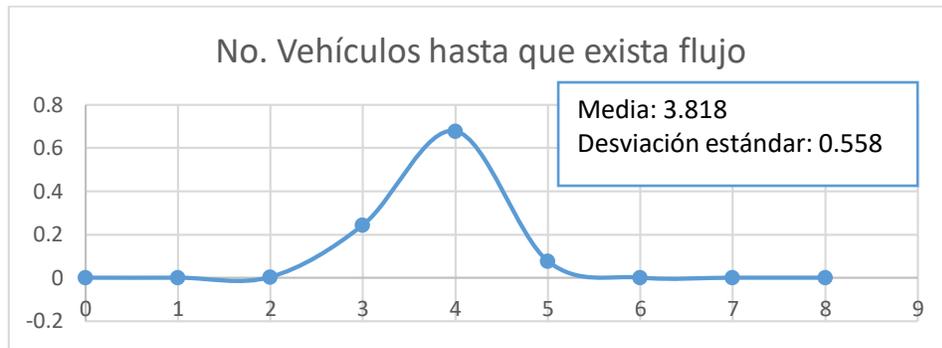


Figura 5.17: No. Vehículos hasta que exista flujo-Distribución Normal  
Fuente: Autoría Propia

Según la Figura 5.17 se concluye que la cantidad de vehículos necesarios para que exista flujo es 4.

Se notó que aparte de la perdida inicial también disminuyo el tiempo perdido en el arranque, en la Tabla 5.3 se muestran los datos promedio obtenidos de las 68 fases por carril, por acceso, con y sin dispositivo, dando como resultado una disminución promedio en el tiempo perdido en el arranque de 0.85 segundos.

Tabla 5.3: Promedios de tiempos perdidos en el arranque, por acceso y carril

Sin dispositivo				Con dispositivo				Ganancia ( $\Delta t$ )
Tiempo perdido en el arranque (s)	Acceso 1	Carril 1	10.57	Tiempo perdido en el arranque (s)	Acceso 1	Carril 1	9.36	1.21
		Carril 2	10.18			Carril 2	8.9	1.28
	Acceso 2	Carril 1	8.72	Acceso 2	Carril 1	8.85	0	
		Carril 2	8.92		Carril 2	8.37	0.55	
	Acceso 3	Carril 1	10.13	Acceso 3	Carril 1	8.94	1.19	

Fuente: Autoría Propia

Desde la Figura 5.18 hasta la Figura 5.22 se muestran los tiempos perdidos en el arranque sin dispositivo y con dispositivo para facilitar el análisis mediante gráficos de dispersión con líneas suavizadas, los tiempos fueron ordenados de menor a mayor.

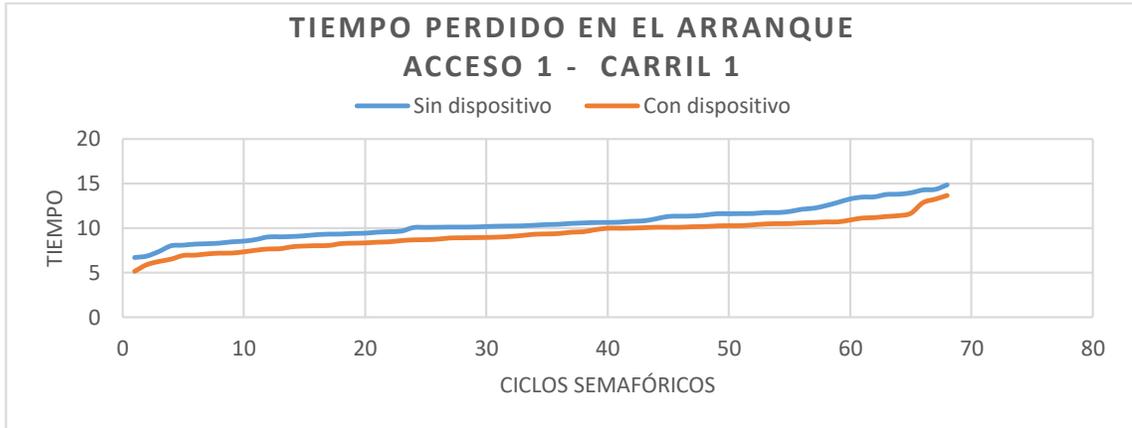


Figura 5.18: Tiempo perdido en el arranque con y sin dispositivo, Acceso 1 - Carril 1  
Fuente: Autoría Propia

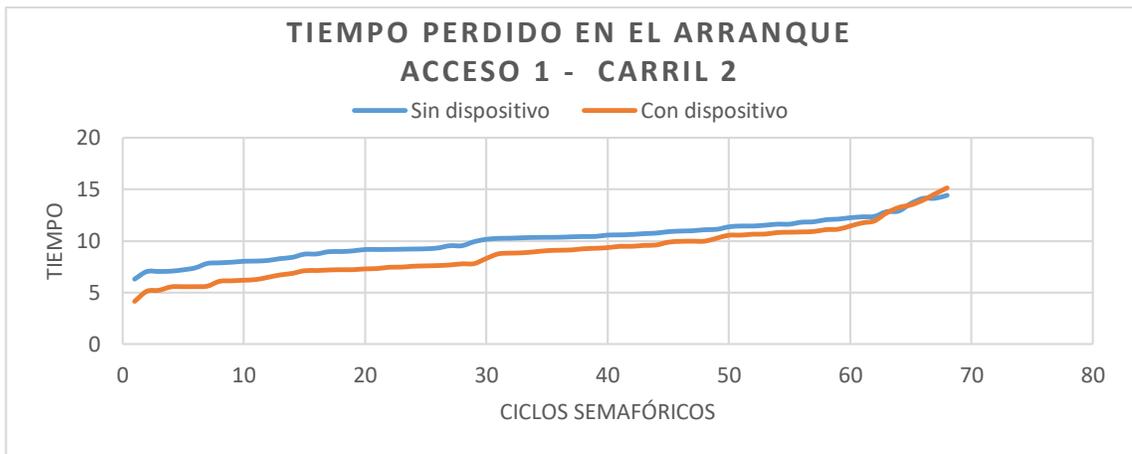


Figura 5.19: Tiempo perdido en el arranque con y sin dispositivo, Acceso 1 - Carril 2  
Fuente: Autoría Propia

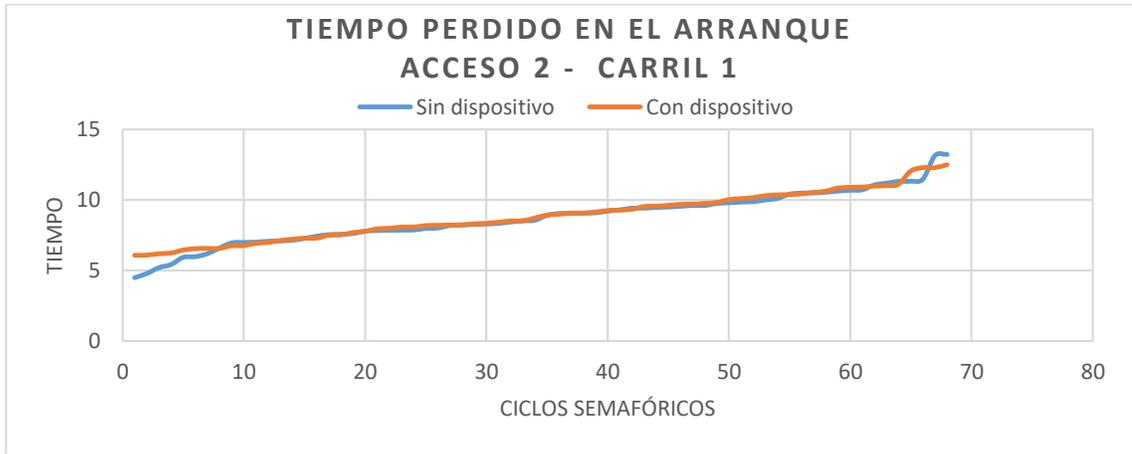


Figura 5.20: Tiempo perdido en el arranque con y sin dispositivo, Acceso 2 - Carril 1  
Fuente: Autoría Propia

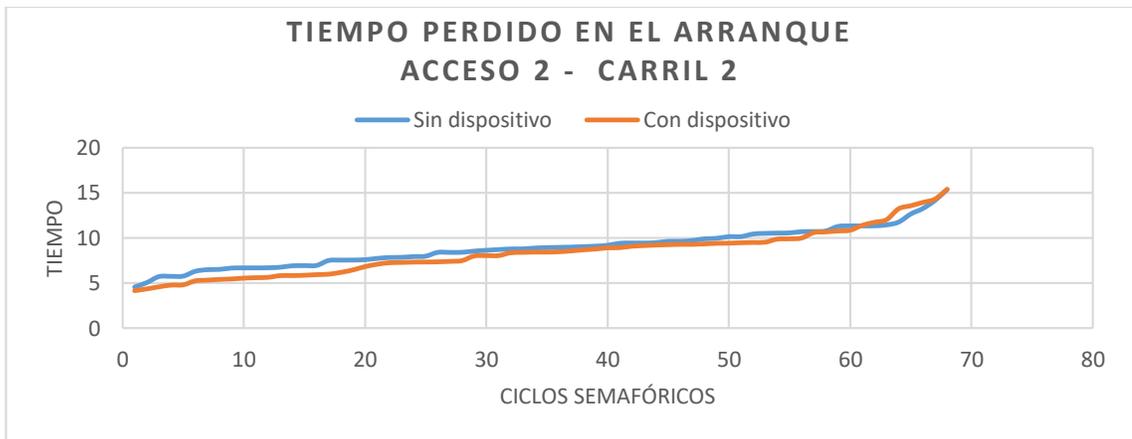


Figura 5.21: Tiempo perdido en el arranque con y sin dispositivo, Acceso 2 - Carril 2  
Fuente: Autoría Propia

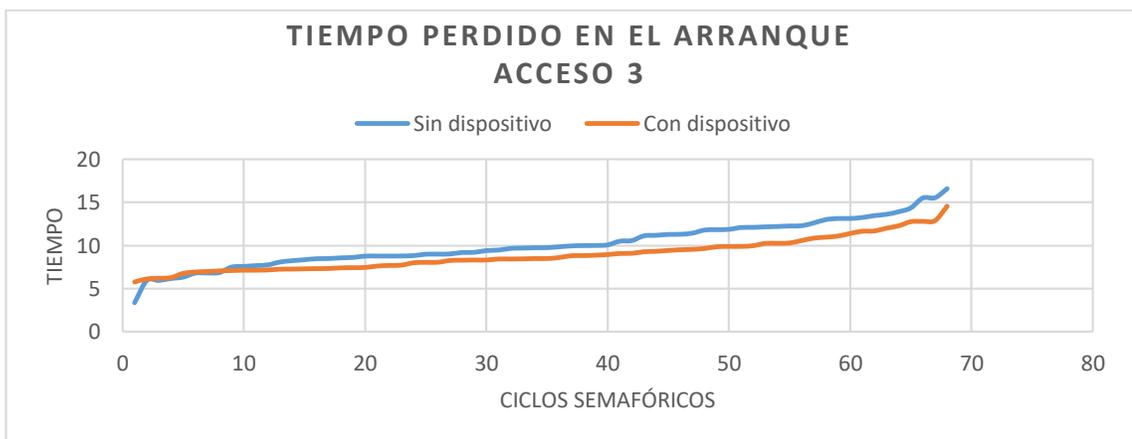


Figura 5.22: Tiempo perdido en el arranque con y sin dispositivo, Acceso 3  
Fuente: Autoría Propia

En el Acceso 2 se puede notar que no existe disminución de tiempos, posiblemente se debe a la existencia de un semáforo peatonal con contador inverso (Figura 5.23) que está al alcance de la vista de los conductores, que permite saber el tiempo restante para la puesta de verde, lo que ayuda a arrancar mucho más rápido de lo habitual.



Figura 5.23: Semáforo peatonal con contador inverso.  
Fuente: Autoría Propia

### 5.3.1. Porcentaje de fases que tienen un tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos

La HCM-2000, nos dice que el tiempo promedio para que exista flujo es de 10 a 14 segundos, se tomó como medida de comparación 10 segundos.

Desde la Figura 5.24 hasta la Figura 5.33 se exponen de manera gráfica los porcentajes de fases en las que se llegó a flujo vehicular antes y después de 10 segundos



Figura 5.24: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, sin dispositivo, Acceso 1 - Carril 1

Fuente: Autoría Propia



Figura 5.25: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, con dispositivo, Acceso 1 - Carril 1

Fuente: Autoría Propia

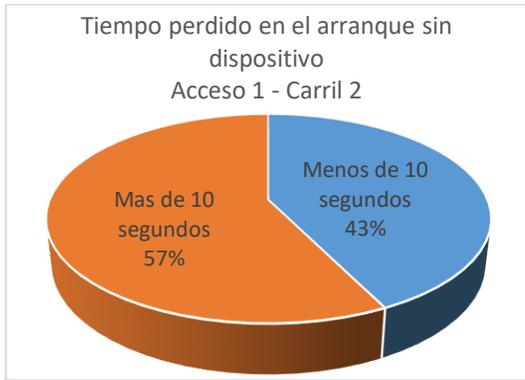


Figura 5.26: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, sin dispositivo, Acceso 1 - Carril 2

Fuente: Autoría Propia

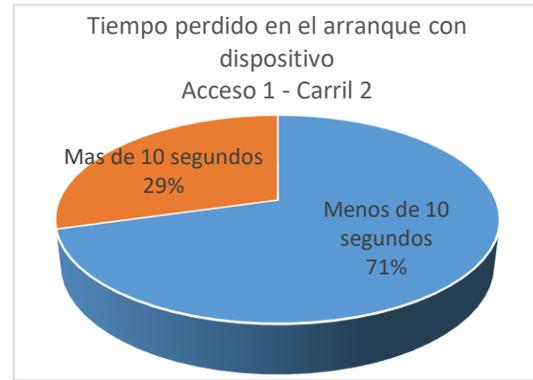


Figura 5.29: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, con dispositivo, Acceso 1 - Carril 2

Fuente: Autoría Propia



Figura 5.27: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, sin dispositivo, Acceso 2 - Carril 1

Fuente: Autoría Propia

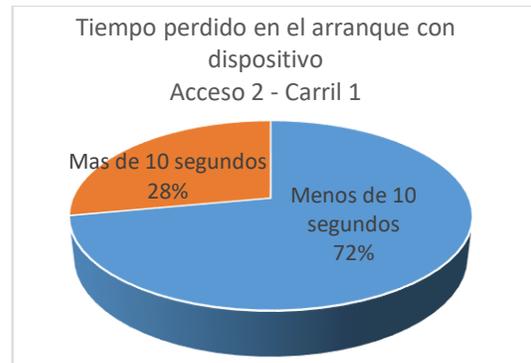


Figura 5.30: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, con dispositivo, Acceso 2 - Carril 1

Fuente: Autoría Propia



Figura 5.28: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, sin dispositivo, Acceso 2 - Carril 2

Fuente: Autoría Propia



Figura 5.31: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, con dispositivo, Acceso 2 - Carril 2

Fuente: Autoría Propia



Figura 5.32: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, sin dispositivo, Acceso 3

Fuente: Autoría Propia



Figura 5.33: Porcentaje de fases con tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos, con dispositivo, Acceso 3

Fuente: Autoría Propia

#### 5.4. Análisis de pérdida inicial

Las disminuciones de los tiempos de perdida inicial no representan una mejora significativa en el número de vehículos que cruzan en una fase de verde saturado, de acuerdo al Modelo Básico de Flujo de Saturación de Akcelik (Figura 2.7). Esto debido a que los tiempos de perdida inicial, sin y con dispositivo, siguen siendo cercanos a los dos segundos que determina la literatura, es por esto que no tiene sentido analizar la perdida inicial como un factor que afecta el flujo, pero si se puede afirmar que al reducir la perdida inicial también se reduce el tiempo perdido en el arranque.

#### 5.5. Análisis de tiempo perdido en el arranque

Debido a que en el modelo básico propuesto por Akcelik en donde la variación de la perdida inicial no representa un aumento significativo en la cantidad de vehículos que cruzan en una fase de verde saturado (área del rectángulo), se optó por analizar también el tiempo perdido en el arranque como un factor importante en la variación de vehículos que cruzan por fase de verde.

El avance del segundo, tercer y cuarto conductor en la cola casi siempre depende de la reacción del primero, generando un efecto domino en estos primeros cuatro vehículos que marcan el tiempo perdido en el arranque.

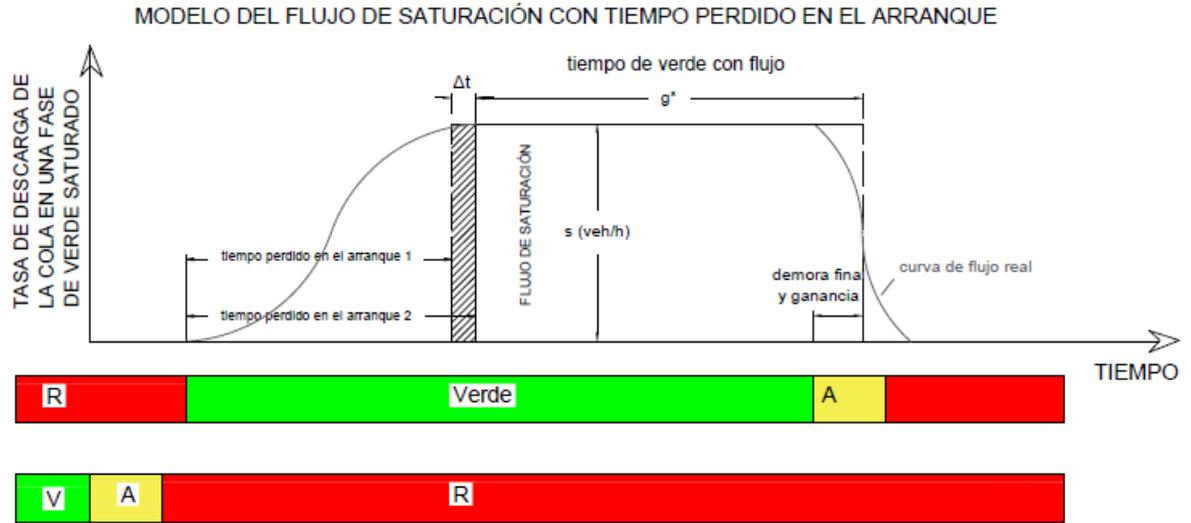


Figura 5.34: Modelo del flujo de saturación con tiempo perdido en el arranque.

Fuente: Autoría Propia

Para calcular un aumento en el flujo de saturación al variar el tiempo perdido en el arranque, se propone un nuevo modelo similar (Figura 5.34) en donde el comportamiento del arranque es distinto al modelo básico ya que la pérdida inicial se reemplaza por el tiempo perdido en el arranque, para de esta manera llegar a determinar que el área del rectángulo representa el número de vehículos que cruzan con flujo, o en otras palabras el número de vehículos que cruzan en una fase de verde saturado menos los cuatro primeros de la cola que no están aún en flujo. El área del rectángulo es el producto de la tasa de flujo (veh/s) y el tiempo de verde con flujo  $g^*(s)$ , este tiempo se obtiene de la diferencia entre el tiempo en que cruza el último vehículo con el tiempo perdido en el arranque.

En concordancia con la Tabla 5.3, a continuación, en la Tabla 5.4 se muestra en porcentajes la ganancia de los tiempos perdidos en el arranque con el dispositivo semafórico instalado.

Tabla 5.4: Porcentaje de Ganancia de Tiempo Perdido en el Arranque con Dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
11.4%	12.6%	0%	6.2%	11.7%

Fuente: Autoría Propia

Los flujos de saturación serán constantes y serán un promedio de los flujos observados con y sin dispositivo. Estos valores se indican en la Tabla 5.1.

El número de vehículos que cruzan si se considera una variación del tiempo perdido en el arranque, sería el producto del flujo de saturación en vehículos/segundo y la ganancia del tiempo perdido en el arranque ( $\Delta t$ ), es decir, al aumentar el tiempo de verde con flujo ( $g^*$ ) se obtiene la ganancia de vehículos en flujo de saturación. De acuerdo a la Figura 5.34 se calculó el aumento del área del rectángulo, en la Tabla 5.5 se exponen los valores.

Tabla 5.5: Ganancia de vehículos que cruzan en fase de verde con flujo

		Ganancia de tiempo perdido en el arranque (s) $A = \Delta t$	Tasa promedio de descarga de la cola. (veh/s) $B$ (Tabla 47)	Ganancia de vehículos que cruzan en una fase de verde $C = A * B$	Nuevo tiempo de verde con flujo (s) $D = g^* + \Delta t$	No. De ciclos en una hora de verde con flujo $E = 3600/D$	Ganancia de vehículos en hora de verde con flujo $= C * E$
Acceso 1	Carril 1	1.21	0.40	0.48	16.95	212	102
	Carril 2	1.28	0.39	0.50	16.71	215	108
Acceso 2	Carril 1	0	0.45	0	18.84	191	0
	Carril 2	0.55	0.44	0.24	19.38	186	45
Acceso 3	Carril 1	1.19	0.46	0.55	24.25	148	82

Fuente: Autoría Propia

Al analizar la ganancia de vehículos que cruzan en fase de verde saturado, se puede asociar los resultados por carril para dar una lectura por acceso, ya que cada uno tiene características diferentes. En el caso del Acceso 1, correspondiente a la Av. Ordoñez Laso E-O (vía arterial) se observa una disminución similar en ambos carriles, por ende, la ganancia de vehículos también es similar, obteniendo una ganancia total de 210 vehículos, en una hora de verde con flujo. En el Acceso 2, correspondiente a la Av. Ordoñez Laso

O-E (vía arterial), también se pueden asociar los resultados por carriles para analizar los resultados menos favorables en ganancia de vehículos, como ya se mencionó anteriormente se piensa que esta mínima reducción de tiempos, a comparación con los otros accesos, se debe al semáforo peatonal con contador inverso que ayuda a anticipar el cambio de color del semáforo, es por esto que la ganancia es la menor de todos los accesos con un total de 45 vehículos, en una hora de verde con flujo. Finalmente, en el Acceso 3 que corresponde al único carril de la calle Los Cedros N-S (vía colectora) los resultados son favorables con una ganancia de tiempo perdido en el arranque similar al Acceso 2, y una ganancia de 82 vehículos, en una hora de verde con flujo.

### 5.6. Evaluación de hipótesis

Para demostrar que los tiempos perdidos en el arranque varían al momento de colocar el dispositivo semafórico auxiliar, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el método de Tukey para comparaciones múltiples, en donde las dos poblaciones a comparar corresponden a los tiempos tomados por acceso sin dispositivo y con dispositivo.

Este análisis se realizó mediante el programa Mintab 18, con un nivel de confianza conjunto de 95%, con una hipótesis nula que dice que el tiempo perdido en el arranque sin dispositivo es igual al tiempo perdido en el arranque con dispositivo y como hipótesis alternativa que dichos tiempos son diferentes. En la Tabla 5.6, 5.7 y 5.8 se exponen los valores calculados por el programa. Así también desde la Figura 5.35 hasta la Figura 5.40 se muestran de manera gráfica los resultados que da el programa.

Tabla 5.6: ANOVA de un solo factor: Tiempo Perdido en el Arranque vs. Sin/Con Dispositivo Semafórico, Acceso 1

Método	
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>	

<b>Información del factor</b>					
Factor	Niveles	Valores			
Sin/Con Dispositivo Semafórico	2	Con dispositivo; Sin dispositivo			
<b>Análisis de Varianza</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Sin/Con Dispositivo Semafórico	1	105.6	105.576	25.83	0.000
Error	270	1103.7	4.088		
Total	271	1209.3			
<b>Resumen del modelo</b>					
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)		
2.02187	8.73%	8.39%	7.37%		
<b>Medias</b>					
Sin/Con Dispositivo					
Semafórico	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%	
Con dispositivo	136	9.129	2.176	(8.787; 9.470)	
Sin dispositivo	136	10.375	1.855	(10.033; 10.716)	
<i>Desv.Est. agrupada = 2.02187</i>					
<b>Comparaciones en parejas de Tukey</b>					
<b>Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%</b>					
Sin/Con Dispositivo					
Semafórico	N	Media	Agrupación		
Sin dispositivo	136	10.375	A		
Con dispositivo	136	9.129	B		
<i>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</i>					

Fuente: (Minitab, 2017)

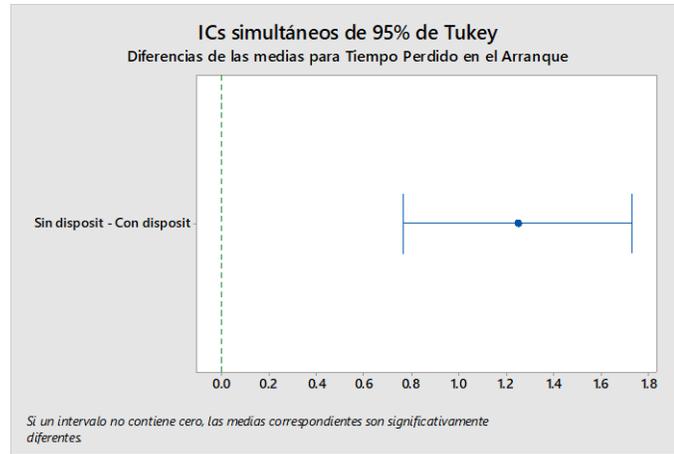


Figura 5.35: ICs simultáneos de 95% de Tukey, Acceso 1

Fuente: (Minitab, 2017)

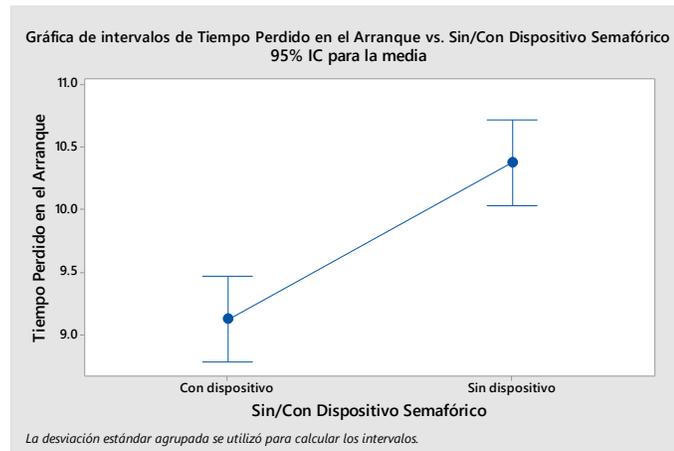


Figura 5.36: Tiempo perdido en el arranque Vs. Sin/Con dispositivo semafórico, Acceso 1

Fuente: (Minitab, 2017)

De la Tabla 5.6: ANOVA de un solo factor: Tiempo Perdido en el Arranque vs. Sin/Con Dispositivo Semafórico, Acceso 1, Tabla 5.6, se puede observar el valor de p igual a 0.000 es menor al nivel de significancia, por lo que podemos decir que hay evidencia estadística para afirmar que el tiempo perdido en el arranque sin dispositivo es diferente al tiempo perdido en el arranque con dispositivo, mientras que el valor de R-cuadrado igual a 8.73% indica que se necesita más información muestral.

Tabla 5.7: ANOVA de un solo factor: Tiempo Perdido en el Arranque vs. Sin/Con Dispositivo Semafórico, Acceso 2

<b>Método</b>					
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales				
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales				
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$				
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>					
<b>Información del factor</b>					
Factor	Niveles	Valores			
Sin/Con Dispositivo Semafórico	2	Con dispositivo; Sin dispositivo			
<b>Análisis de Varianza</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Sin/Con Dispositivo Semafórico	1	2.99	2.995	0.70	0.403
Error	270	1151.35	4.264		
Total	271	1154.34			
<b>Resumen del modelo</b>					
	S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)		
	2.06501	0.26%	0.00%		
<b>Medias</b>					
Sin/Con Dispositivo					
Semafórico	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%	
Con dispositivo	136	8.610	2.149	(8.261; 8.958)	
Sin dispositivo	136	8.819	1.977	(8.471; 9.168)	
<i>Desv.Est. agrupada = 2.06501</i>					

Comparaciones en parejas de Tukey			
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%			
Sin/Con Dispositivo			
Semafórico	N	Media	Agrupación
Sin dispositivo	136	8.819	A
Con dispositivo	136	8.610	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

Fuente: (Minitab, 2017)

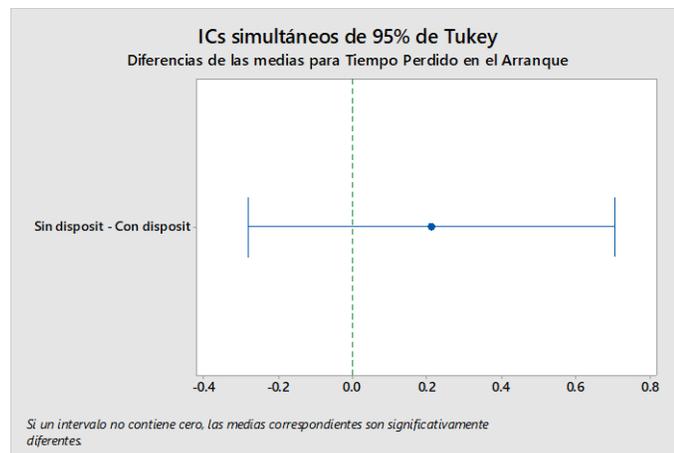


Figura 5.37: ICs simultáneos de 95% de Tukey, Acceso 2

Fuente: (Minitab, 2017)

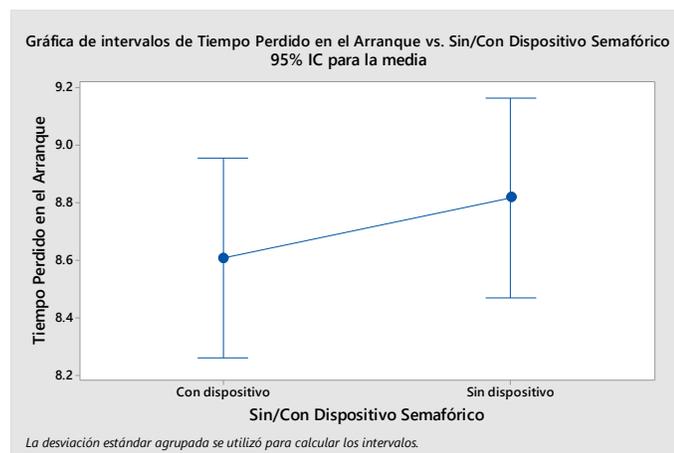


Figura 5.38: Tiempo perdido en el arranque Vs. Sin/Con dispositivo semafórico, Acceso 2

Fuente: (Minitab, 2017)

De la Tabla 5.7, se puede observar el valor de  $p$  igual a 0.403 es mayor al nivel de significancia, por lo que podemos decir que no hay evidencia estadística para afirmar que el tiempo perdido en el arranque sin dispositivo es diferente al tiempo perdido en el arranque con dispositivo, mientras que el valor de R-cuadrado igual a 0.26% indica que se necesita más información muestral.

Tabla 5.8: ANOVA de un solo factor: Tiempo Perdido en el Arranque vs. Sin/Con Dispositivo Semafórico, Acceso 3

<b>Método</b>					
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales				
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales				
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$				
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>					
<b>Información del factor</b>					
Factor	Niveles	Valores			
Sin/Con Dispositivo Semafórico	2	Con dispositivo; Sin dispositivo			
<b>Análisis de Varianza</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Sin/Con Dispositivo Semafórico	1	47.86	47.862	9.43	0.003
Error	134	680.09	5.075		
Total	135	727.95			
<b>Resumen del modelo</b>					
	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)	
	2.25284	6.57%	5.88%	3.77%	

Medias				
Sin/Con Dispositivo				
Semafórico	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Con dispositivo	68	8.940	1.880	(8.400; 9.480)
Sin dispositivo	68	10.127	2.572	(9.586; 10.667)
<i>Desv.Est. agrupada = 2.25284</i>				
Comparaciones en parejas de Tukey				
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%				
Sin/Con Dispositivo				
Semafórico	N	Media	Agrupación	
Sin dispositivo	68	10.127	A	
Con dispositivo	68	8.940	B	
<i>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</i>				

Fuente: (Minitab, 2017)

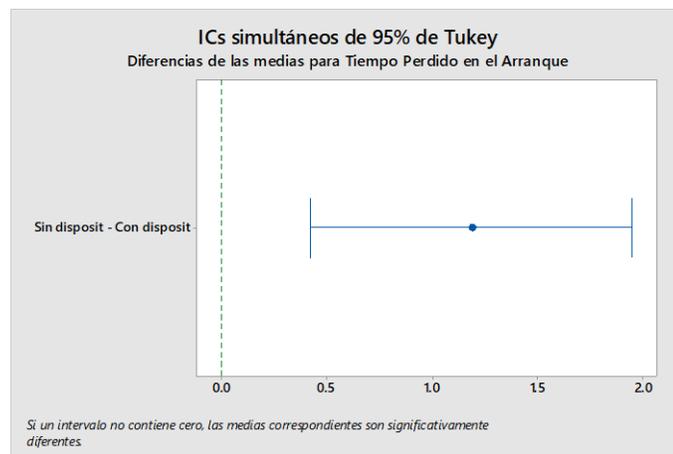


Figura 5.39: ICs simultáneos de 95% de Tukey, Acceso 3

Fuente: (Minitab, 2017)

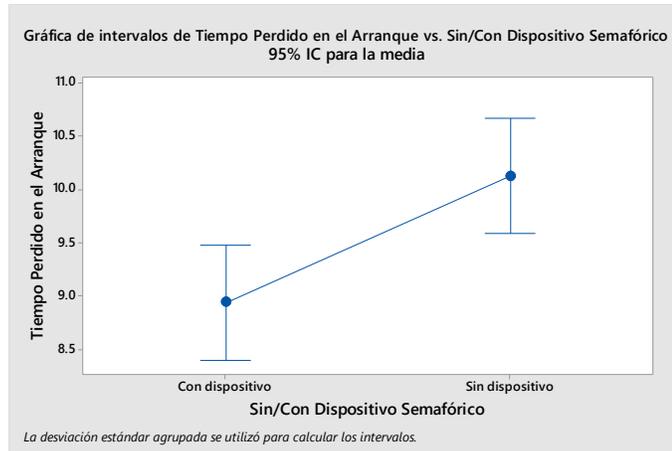


Figura 5.40: Tiempo perdido en el arranque Vs. Sin/Con dispositivo semafórico, Acceso 3

Fuente:(Minitab, 2017)

De la Tabla 5.8, se puede observar el valor de  $p$  igual a 0.003 es menor al nivel de significancia, por lo que podemos decir que hay evidencia estadística para afirmar que el tiempo perdido en el arranque sin dispositivo es diferente al tiempo perdido en el arranque con dispositivo, mientras que el valor de  $R$ -cuadrado igual a 6.57% indica que se necesita más información muestral.

### 5.7. Recomendaciones

Como se demostró teóricamente en el cálculo las mejoras de los flujos de saturación y tiempo perdido en el arranque, serían más evidentes si el flujo se mantiene estable y en condiciones óptimas de circulación, es por esto que se recomienda la puesta a prueba de los dispositivos en otras intersecciones donde sea necesario optimizar el flujo.

En la intersección semafórica de la Av. Ordoñez Laso y Los Cedros se pudo observar que la circulación del flujo vehicular en el Acceso 2 no es la adecuada, debido a que existe giro a la izquierda permitido no protegido, aparte de giro en “U” permitido no protegido en los dos sentidos de la Av. Ordoñez Laso, con insuficiente radio de giro para realizar estas maniobras, lo que en consecuencia afecta notablemente el flujo vehicular de la avenida. Optar por la instalación de señalización vertical indicada en la Figura 5.41.

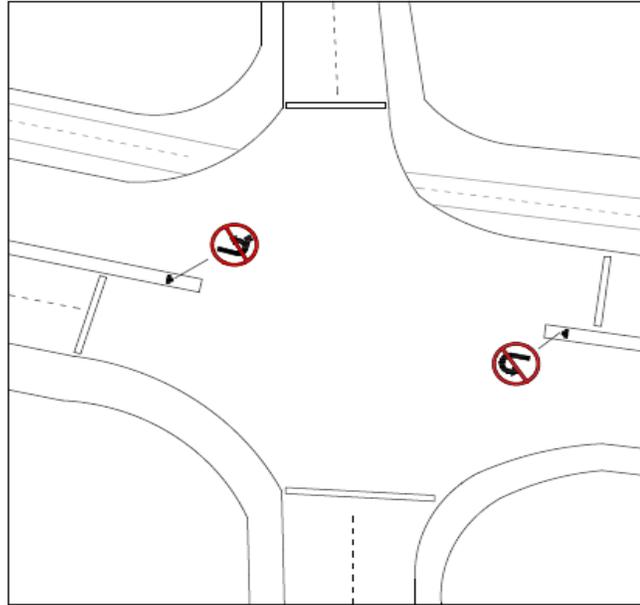


Figura 5.41: Recomendación para señalización vertical.  
Fuente: Autoría Propia

En la Figura 5.42 y 5.43 se muestran las maniobras que afectan el flujo vehicular de la avenida.



Figura 5.42: Giro a la izquierda, Acceso 2  
Fuente: Autoría Propia



Figura 5.43: Giro en U, Acceso 1  
Fuente: Autoría Propia

Otro de los factores que desfavorecen la circulación vehicular es la constante presencia de vendedores ambulantes y artistas callejeros en la intersección (Figura 5.44), según Ernesto Vargas estas actividades disminuyen la capacidad de los accesos de las intersecciones semaforizadas en un 5% (Vargas, 2007), por lo que se recomienda prohibir esta actividad en zonas con alto tráfico y realizar un estudio minucioso del impacto de estos en la ciudad de Cuenca.

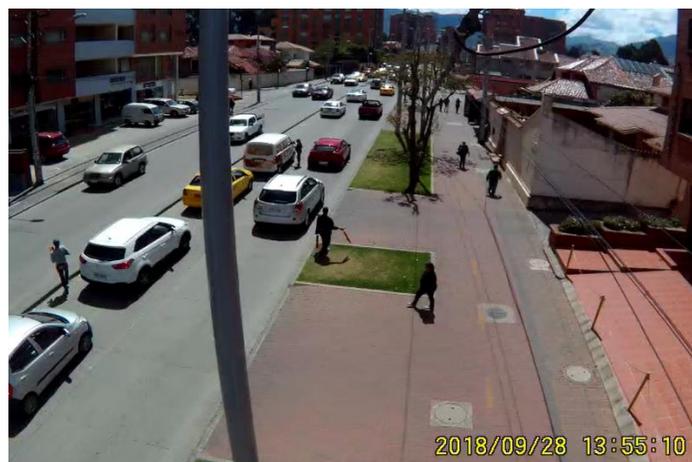


Figura 5.44: Vendedores entorpeciendo la circulación vehicular.  
Fuente: Autoría Propia

Además, se pudo evidenciar que la congestión vehicular, principalmente en la hora pico de la mañana, que se da más adelante de la intersección semaforizada estudiada en la Av. Ordoñez Laso O-E, perjudica gravemente el flujo en dicho sentido, llegando incluso a detener el flujo como se observa en la Figura 5.45.

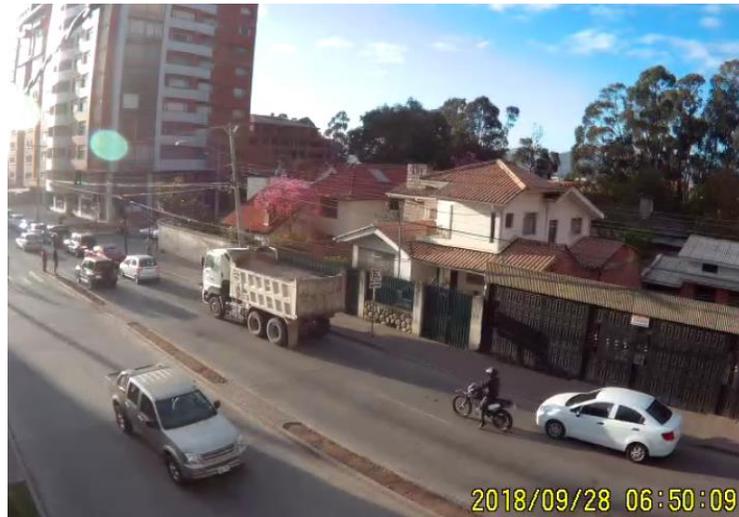


Figura 5.45: Flujo vehicular detenido Av. Ordoñez Laso O-E.

Fuente: Autoría Propia

En la Tabla 3.2 se menciona el estado de la señalización horizontal en la intersección y en la Figura 3.2 hasta la Figura 3.9, se aprecia la falta de pintura en la delimitación de carriles, bordillos y en los pasos cebra, por lo que se recomienda a la EMOV EP dar mantenimiento periódico a la señalización horizontal en toda la avenida, para mejorar la circulación y seguridad vial.

## 5.8. Conclusiones

Para lograr de cierta manera pronosticar el comportamiento del tráfico en una infraestructura vial determinada y con ciertas condiciones de señalización, circulación y operación, es necesario basarse en hipótesis y modelos matemáticos que logren en lo más exacto cuantificar las características del tráfico. Se consideró necesario que los datos comparados en esta investigación sean los promedios de 68 ciclos semafóricos que son equivalentes a dos horas pico, para llegar a comparar parámetros que son muy particulares

antes y después de instalar el dispositivo auxiliar. Esto sumado a la intención de disminuir el error humano principalmente en la toma de tiempos que juegan un papel importante en los resultados. También se debe mencionar que el proceder del tránsito, en cualquier momento del día, se deba a situaciones muy individuales y aleatorias, lo que hace muy difícil definir parámetros como intervalos, flujos de saturación o tiempos para ser comparados unos con otros.

El modelo básico de flujo de saturación propuesto en el libro Ingeniería de Tránsito, fundamentos y aplicaciones de Cal & Mayor no contempla el tiempo perdido en el arranque como variable del flujo de saturación, por esta razón se realizó el análisis de los datos en base a un modelo diferente, pero con los mismos principios, donde el tiempo perdido en el arranque es un factor fundamental que afecta directamente el flujo de saturación.

Los datos de tiempo levantados arrojaron una disminución de la pérdida inicial, matemáticamente hablando, ya que estas fracciones de segundo son muy susceptibles al cambio y vulnerables al error humano en la toma de tiempos. Es por esto que se hizo el análisis del tiempo perdido en el arranque, pues este recurre menos al error humano en la toma de tiempos, debido a su mayor valor, pero también este tiempo se vuelve más particular en cada caso, lo que de la misma manera dificulta definir un comportamiento característico y la comparación de valores. La disminución de tiempos perdidos en el arranque y por ende el aumento de flujo vehicular, en base al modelo explicado en la Figura 5.34, se obtuvo matemáticamente en cuatro de los cinco carriles a excepción de la Av. Ordoñez Laso O-E Carril 1. Para interpretar este resultado en la realidad se piensa que el semáforo peatonal con contador inverso ubicado al frente, con acceso a la vista de los conductores, ayuda a estos a anticipar el cambio de color del semáforo, es por esto que se podría justificar la nula disminución de tiempo perdido en el arranque de este acceso.

Para corroborar las diferencias de tiempo perdido en el arranque por acceso se usó un análisis de varianza (ANOVA), con el método de Tukey, mismo que dice que no existe una mejora en el Acceso 2, y es necesario ampliar la información muestral de todos los accesos.

Referente a las mejoras se pudo comprobar la disminución del tiempo perdido en el arranque en el Acceso 1 y Acceso 3, lo mismo que se pudo traducir en un aumento en el flujo de saturación con base en el modelo planteado. En la Tabla 5.9 se muestran los porcentajes de aumento según el modelo propuesto.

Tabla 5.9: Porcentajes de Aumento del Flujo de Saturación

		Ganancia de vehículos hora de verde con flujo.	Porcentaje de aumento del flujo de saturación
Acceso 1	Carril 1	102	7.1%
	Carril 2	108	7.7%
Acceso 2	Carril 1	0	0.0%
	Carril 2	45	2.9%
Acceso 3	Carril 1	82	5.0%

Fuente: Autoría Propia

Se considera necesario más investigación sobre el efecto de los dispositivos semafóricos auxiliares en la disminución de tiempos, ya que la evidencia estadística dice que el tamaño de la muestra es insuficiente.

Se notó que un 11% más de vehículos al inicio de la fila arrancaron antes de los dos segundos al momento de estar en funcionamiento el dispositivo auxiliar, mientras que el número de fases con tiempo perdido en el arranque menor a diez segundos aumento en un 12%.

Finalmente, la hipótesis planteada es positiva para el Acceso 1 y Acceso 3, mientras que en Acceso 2 no hubo cambio en el tiempo perdido en el arranque.

## Anexos

## Anexo 1: Conteo manual de tráfico con giros, Acceso 1

ESTUDIO DE VOLUMENES DE TRANSITO EN DIFERENTES INTERSECCIONES DE LA CIUDAD DE CUENCA																	
CONTEO MANUAL DE TRAFICO																	
N° Intersección:			1				Avenida:			Av. Ordoñez Laso							
Fecha:			28/09/2018				Sentido:			E-O							
Día de la semana:			Viernes				Inspector:										
Encuestador:							N° pantalla:			1							
Estado del tiempo:			Bueno	Mañana:		Tarde:	X	Supervisor:									
HORAS	Livianos		Buses		C. Liv		C. Med		C. Pes		Tráiler		Dos Ruedas		Peatones		TOTAL
	↑	↶	↑	↶	↑	↶	↑	↶	↑	↶	↑	↶	↑	↶	↑	↶	
	104		22		0		3		0		0		5		10		44
13:00 - 13:15	118		21		0		0		0		0		11		7		171
13:15 - 13:30	90		16		0		0		0		0		9		4		137
13:30 - 13:45	109		23		1		4		0		0		5		6		156
13:45 - 14:00	109		23		1		4		0		0		5		6		156
TOTAL	317		82		1		19		1		0		30		7		508

**Anexo 2: Conteo manual de tráfico con giros, Acceso 2**

ESTUDIO DE VOLUMENES DE TRANSITO EN DIFERENTES INTERSECCIONES DE LA CIUDAD DE CUENCA																		
CONTEO MANUAL DE TRAFICO																		
N° Intersección:		1					Avenida:		Av. Ordoñez Laso									
Fecha:		28/09/2018					Sentido:		O-E									
Día de la semana:		Viernes					Inspector:											
Encuestador:							N° pantalla:		2									
Estado del tiempo:		Bueno	Mañana:		Tarde:	X	Supervisor:											
HORAS	Livianos		Buses		C. Liv		C. Med		C. Pes		Tráiler		Dos Ruedas		Peatones		TOTAL	
	↑	↩	↑	↩	↑	↩	↑	↩	↑	↩	↑	↩	↑	↩	↑	↩		
15:00 - 15:15	152	0	3	5	0	0	2	0	0	3	0	0	9	0	3	0	14	179
15:15 - 15:30	170	0	3	6	0	0	6	0	0	2	0	0	7	0	11	0	12	213
15:30 - 15:45	165	0	1	4	0	0	4	0	0	0	0	9	0	1	9	0	11	197
15:45 - 16:00	163	0	2	5	0	0	4	0	0	2	0	7	0	4	0	8	8	170
TOTAL	650	0	9	20	0	0	16	0	0	7	0	32	0	1	27	0	45	779

**Anexo 3: Conteo manual de tráfico con giros, Acceso 3**

ESTUDIO DE VOLUMENES DE TRANSITO EN DIFERENTES INTERSECCIONES DE LA CIUDAD DE CUENCA																		
CONTEO MANUAL DE TRAFICO																		
N° intersección:		1					Avenida:		Los cedros									
Fecha:		28/09/2018					Sentido:		N-S									
Día de la semana:		Viernes					Inspector:											
Encuestador:							N° pantalla:		3									
Estado del tiempo:		Bueno	Mañana:	X	Tarde:		Supervisor:											
HORAS	Livianos		Buses		C. Liv		C. Med		C. Pes		Tráiler		Dos Ruedas		Peatones		TOTAL	
	↑	↷	↑	↷	↑	↷	↑	↷	↑	↷	↑	↷	↑	↷	↑	↷		
07:30 - 07:45	0	8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	3	110
07:45 - 08:00	0	16	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	6	0	4	145
08:00 - 08:15	0	10	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	3	5	1	2	139
08:15 - 078:30	0	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	2	3	6	125
08:15 - 078:30	110																	
TOTAL	0	41	0	0	0	2	4	0	0	2	0	0	0	17	20	7	15	520

**Anexo 4: Conteo manual de tráfico con giros, Acceso 4**

ESTUDIO DE VOLUMENES DE TRANSITO EN DIFERENTES INTERSECCIONES DE LA CIUDAD DE CUENCA																									
CONTEO MANUAL DE TRAFICO																									
N° intersección:		1					Avenida:		Los cedros																
Fecha:		28/09/2018					Sentido:		S-N																
Día de la semana:		Viernes					Inspector:																		
Encuestador:							N° pantalla:		4																
Estado del tiempo:		Bueno	Mañana:	X	Tarde:	Supervisor:																			
HORAS	Livianos			Buses			C. Liv			C. Med			C. Pes			Tráiler			Dos Ruedas			Peatón			TOTAL
	↑	↻	↺	↑	↻	↺	↑	↻	↺	↑	↻	↺	↑	↻	↺	↑	↻	↺	↑	↻	↺	↑	↻	↺	
	50	68	46	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	88	0	0	170
	44	92	50	2	0	0	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	2	4	2	0	0	0	201
	68	81	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	0	0	0	213
	44	96	46	2	0	0	1	2	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	204
TOTAL	206	337	200	5	0	2	3	2	2	0	2	3	0	0	0	0	0	0	4	12	8	88	0	0	788

**Anexo 5: Calculo del factor de giro a la izquierda**

<b>Exposición C16-9 Capítulo 16 -Intersección semaforizada HCM2000</b>		
<b>TABLA PARA GIRO PERMITIDO A LA IZQUIERDA CON SENTIDO OPUESTO DE VARIOS CARRILES</b>	<b>ACCESO 1 (giro permitido sin protección caso 5)</b>	<b>ACCESO 2(giro permitido sin protección caso 5)</b>
<b>INGRESO DATOS:</b>		
Longitud ciclo C(s)	105	105
Tiempo total de verde por grupo de carril G(s)	26	26
Tiempo verde efectivo por grupo de carril g(s)	26	26
Tiempo de verde efectivo opuesto go(s)	26	26
No. De carriles en giro a la izq grupo de carriles N	2	2
No. De carriles opuestos No	2	2
Flujo de saturacion giro izq ajustado Vlt (veh/h)	3	12
proporcion de giro izq volumen en giro izq grupo de carril Plt	0.0083	0.0162
Flujo de saturacion ajustado sentido contrario Vo (veh/h)	615	581
Tiempo perdido por giro izq tL	3	3
<b>CALCULOS</b>		
Giro izq volumen por ciclo LTC=Vlt*C/3600	0.09	0.35
factor uso carril opuesto fLUo	0.94	0.99
Flujo opuesto por carril, por ciclo (veh/C/carril)	9.54	8.52
gf	19.29	14.16
Rpo	1	1
qro	0.752	0.752
gq	14.55	12.30
gu (condicion)	11.45	11.84
Flujo opuesto efectivo Voe	654.26	583.98
El Excibit C16-3	2.5	2.46
PL	0.02	0.03
fmin	0.078	0.080
fm	1.000	0.978
fLT	0.955	0.944

Fuente: (HCM 2000, 2012)

**Anexo 6: Calculo del factor de peatón/bicicleta para giros a la derecha**

<b>Exposición D16-4 Capítulo 16 -Intersecciones semaforizadas HCM2000</b>	
Efectos peatón/bicicleta para giros permitidos a la derecha HCM 2000	ACCESO 1
Longitud ciclo C(s)	105
Tiempo total de verde efectivo para peatones gp(s)	26
Volumen peatonal Vped (p/h)	91
Volumen bicicletas Vbic (b/h)	3
Vpedg = Vped (C/gp)	367.500
OCCpedg = Vpedg/2000 si Vpedg < 1000	0.184
Verde efectivo g(s)	26.000
Vbicg = Vbic (C/g)	12.115
OCCbicg = 0.02 + Vbicg/2700	0.024
OCCr =OCCpedg + OCCbicg - (OCCpedg)(OCCbicg)	0.204
No. Carriles de recepcion Nrec	2.000
No. Carriles de giro Nturn	1
ApbT	0.878
proporcion de giros a la derecha PRT	0.129
proporcion de giros a la derecha usando fase protegida PRT	0
fRpb	0.984

Fuente: (HCM 2000, 2012)

<b>Exposición D16-4 Capítulo 16 -Intersecciones semaforizadas HCM2000</b>		
Efectos peatón/bicicleta para giros permitidos a la izquierda HCM 2000	ACCESO 1	ACCESO 4
Longitud ciclo C(s)	105	105
Tiempo total de verde efectivo para peatones gp(s)	26	35
Volumen peatonal Vped (p/h)	91	88
Volumen bicicletas Vbic (b/h)	3	2
Vpedg = Vped (C/gp)	367.500	264.000
OCCpedg = Vpedg/2000 si Vpedg < 1000	0.184	0.132
Verde efectivo g(s)	26.000	35.000
Vbicg = Vbic (C/g)	12.115	6.000
OCCbicg = 0.02 + Vbicg/2700	0.024	0.022
OCCr =OCCpedg + OCCbicg - (OCCpedg)(OCCbicg)	0.204	0.151
No. Carriles de recepcion Nrec	2.000	2.000
No. Carriles de giro Nturn	1	1
ApbT	0.878	0.909
proporcion de giros a la izq PLT	0.129	0.252
proporcion de giros a la izq usando fase protegida PLT	0	0
fRpb	0.984	0.977

Fuente: (HCM 2000, 2012)

**Anexo 7: Toma de datos sin dispositivo semafórico auxiliar**

Acceso 1 - Carril 1						
No. ciclo	No. Vehiculos Eq. hasta que exista flujo (Ni)	Tiempo perdido en el arranque ti (s)	Vehiculos Eq. que cruzan (N)	Tiempo hasta que cruza ultimo veh tn (s)	perdida inicial	Intervalo (s/veh)
1	4	6.86	12	26.65	1	2.47
2	4	10.2	11	25.67	1.15	2.21
3	4	6.7	10	22.09	1.51	2.57
4	5	14.25	9	28.12	1.04	3.47
5	4	9.13	10	26.84	1.5	2.95
6	3	9.59	8	24.33	3.84	2.95
7	4	10.16	9	22.44	3.6	2.46
8	4	10.1	9	25.08	2.53	3.00
9	4	9.65	13	26.42	1.94	1.86
10	3	7.37	14	28.95	2.56	1.96
11	4	10.1	12	28.94	3.44	2.36
12	4	14.82	8	27.04	1.38	3.06
13	4	10.22	10	26.69	2.6	2.75
14	4	8.01	12	27.61	1.91	2.45
15	4	9.31	12	27.85	1.61	2.32
16	4	10.65	11	25.28	2.5	2.09
17	4	8.08	10	25.67	2.46	2.93
18	4	9.53	11	27.61	1.57	2.58
19	4	10.8	10	28.94	2.1	3.02
20	4	9.39	10	28.64	1.65	3.21
21	4	8.24	10	25.41	1.53	2.86
22	4	9.01	11	25.46	2.03	2.35
23	4	8.31	10	23.03	2.34	2.45
24	4	11.29	11	21.65	2.62	1.48
25	3	8.71	12	26.53	1.88	1.98
26	4	13.93	11	26.29	2.97	1.77
27	4	9.32	9	28.7	4	3.88
28	4	11.59	12	26.56	3.02	1.87
29	4	10.42	11	27.63	3.12	2.46
30	4	10.51	11	26.42	3.32	2.27
31	4	10.75	11	27.57	4.28	2.40
32	3	8.45	12	28.39	2.56	2.22
33	4	10.07	10	27.98	2.56	2.99
34	3	11.32	9	26.57	4.37	2.54
35	4	11.03	10	27.05	3.53	2.67
36	4	13.78	10	28.4	3.28	2.44

37	4	13.75	13	27.01	2.04	1.47
38	4	11.72	11	26.97	2.58	2.18
39	4	8.2	11	24.13	2.18	2.28
40	5	10.24	11	27.7	2.22	2.91
41	4	10.08	10	27.56	1.81	2.91
42	4	9.05	12	29.26	0.91	2.53
43	4	9	12	28.74	1.53	2.47
44	4	10.62	13	31.24	1.9	2.29
45	4	11.84	10	25.83	3.91	2.33
46	4	10.05	12	29.83	1.03	2.47
47	3	8.53	11	26.84	0.97	2.29
48	4	10.38	11	25.59	1.93	2.17
49	4	11.72	11	27.49	3.08	2.25
50	4	10.61	10	22.61	2.21	2.00
51	4	9.42	12	27.64	1.44	2.28
52	4	11.62	10	28.56	2.12	2.82
53	4	13.25	12	25.74	2.66	1.56
54	5	12.09	9	26.35	4.56	3.57
55	4	11.34	10	28.92	2.28	2.93
56	4	12.21	11	29.92	1.49	2.53
57	4	13.48	10	27.86	5.13	2.40
58	4	10.56	11	27.84	2.5	2.47
59	4	10.31	12	27.55	2.25	2.16
60	4	12.5	12	27.53	4.87	1.88
61	4	11.61	9	26.31	2.25	2.94
62	4	13.45	9	26.51	1.47	2.61
63	5	12.86	11	25.5	2.65	2.11
64	4	11.59	10	27.77	2.11	2.70
65	4	10.11	12	26.95	2.18	2.11
66	4	14.31	10	26.42	3.72	2.02
67	4	11.44	10	24.33	1.31	2.15
68	5	9.25	10	24.93	1.36	3.14

Acceso 1 - Carril 2						
No. ciclo	No. Vehiculos Eq. hasta que exista flujo (Ni)	Tiempo perdido en el arranque ti (s)	Vehiculos Eq. que cruzan (N)	Tiempo hasta que cruza ultimo veh tn (s)	perdida inicial	Intervalo (s/veh)
1	4	9.17	10	25.01	1.5	2.64
2	4	8.97	9	25.56	1.31	3.32
3	5	11.63	12	27.08	1.62	2.21
4	5	12.34	13	27.21	1.56	1.86
5	5	10.99	12	28.89	1.62	2.56
6	4	8.03	12	29.41	2.09	2.67
7	4	14.13	10	27.22	2.13	2.18
8	4	6.3	11	27.6	1.59	3.04
9	3	11.13	8	24.19	3.12	2.61
10	4	8.05	14	26.88	0.62	1.88
11	4	9.32	11	26.59	3.04	2.47
12	5	10.36	14	29.18	1.56	2.09
13	4	7.39	12	25.54	1.03	2.27
14	4	11.09	9	25.17	1.59	2.82
15	5	12.9	10	27.52	2.41	2.92
16	4	11.45	10	25.81	2.28	2.39
17	4	11.82	10	25.95	1.93	2.36
18	4	10.34	10	27.49	2.34	2.86
19	4	10.96	10	25.63	2.15	2.45
20	4	10.71	11	28.1	1.72	2.48
21	4	9.22	12	23.31	2.21	1.76
22	4	7.03	11	27.87	2.46	2.98
23	5	11.53	8	19.54	1.5	2.67
24	4	7.82	9	18.84	1.93	2.20
25	4	12.84	11	29.31	2.61	2.35
26	3	7.04	11	22.97	1.98	1.99
27	4	9.54	10	26.72	3.03	2.86
28	4	9.18	10	26.52	2.82	2.89
29	4	10.31	9	27.31	2.22	3.40
30	5	11.63	11	25.6	1.54	2.33
31	3	7.2	9	27.85	1.76	3.44
32	4	8.11	12	26.41	1.4	2.29
33	4	12.06	10	26.91	2.37	2.48
34	4	9.17	9	24.24	3.1	3.01
35	5	14.43	11	27.35	2.6	2.15
36	4	8.74	10	23.51	2.16	2.46
37	5	13.63	11	28.14	2.31	2.42

38	5	12.12	11	25.96	0.96	2.31
39	4	10.25	11	24.47	1.16	2.03
40	4	9.2	10	21.8	2.47	2.10
41	4	10.43	11	27.18	2.02	2.39
42	4	8.29	11	24.15	3.84	2.27
43	5	12.38	9	26.47	1.69	3.52
44	4	10.16	8	19.42	1.72	2.32
45	4	7.88	9	17.76	2.5	1.98
46	4	8.41	11	22.08	1.57	1.95
47	4	10.57	12	25.96	2.11	1.92
48	4	11.45	10	27.27	3.41	2.64
49	4	11.37	9	23.71	3.66	2.47
50	4	7.94	12	25.63	1.53	2.21
51	4	10.4	11	25.97	1.84	2.22
52	4	10.44	10	24.29	2.57	2.31
53	4	9.54	8	19.27	1.53	2.43
54	4	11.86	10	25.59	2.06	2.29
55	4	9.04	10	22.49	1.87	2.24
56	4	10.9	9	23.12	2.25	2.44
57	4	10.59	9	22.11	2.34	2.30
58	5	8.72	8	16.11	1.81	2.46
59	4	7.07	14	26.54	1.54	1.95
60	4	12.25	11	27.73	3.53	2.21
61	4	9.24	13	28.48	2.59	2.14
62	5	10.35	13	28.53	1.41	2.27
63	4	9.93	9	22.21	1.88	2.46
64	4	8.96	9	24.89	1.78	3.19
65	5	14.14	10	28.73	2.45	2.92
66	4	10.63	11	28.3	1.31	2.52
67	4	10.27	10	25.24	1.66	2.50
68	4	10.76	9	26.92	1.56	3.23

Acceso 2 - Carril 1						
No. ciclo	No. Vehiculos Eq. hasta que exista flujo (Ni)	Tiempo perdido en el arranque ti (s)	Vehiculos Eq. que cruzan (N)	Tiempo hasta que cruza ultimo veh tn (s)	perdida inicial	Intervalo (s/veh)
1	3	5.98	14	29.95	0.97	2.18
2	3	5.93	15	28.05	0.89	1.84
3	3	7.14	18	28.23	2.25	1.41
4	3	6.19	13	28.28	1.54	2.21
5	3	7.86	14	29.54	1.92	1.97
6	4	10.63	13	26.56	2.84	1.77
7	4	9.55	16	30.33	2.28	1.73
8	4	13.23	13	24.48	1.36	1.25
9	3	7.83	17	28.9	1.5	1.51
10	4	9.07	14	28.28	2.33	1.92
11	3	7.57	15	28.57	2.06	1.75
12	4	11.32	12	26.26	2.16	1.87
13	4	8.91	11	28.58	1.41	2.81
14	3	6.59	12	22.67	1.15	1.79
15	3	6.99	13	25.28	2.14	1.83
16	4	9.42	11	28.53	2.76	2.73
17	4	8.23	13	28.51	1.49	2.25
18	4	9.61	12	27.66	0.75	2.26
19	4	9.5	13	27.95	1.5	2.05
20	4	7.07	12	27.14	2.58	2.51
21	4	10	12	28.68	2.07	2.34
22	4	10.72	13	28.02	2.26	1.92
23	4	10.55	11	27.9	1.5	2.48
24	3	8.3	12	27.2	2.89	2.10
25	4	10.41	11	27.94	1.54	2.50
26	3	8.56	12	29.32	1.88	2.31
27	3	7.79	13	30.63	1.18	2.28
28	4	9.42	14	25.93	1.92	1.65
29	4	8.44	11	27.81	0.79	2.77
30	3	7.43	12	28.88	0.83	2.38
31	3	7.62	13	28.34	2.16	2.07
32	4	9.04	12	26.93	1.82	2.24
33	4	8.52	13	30	0.81	2.39
34	3	7.1	14	28.31	1.06	1.93
35	4	10.69	10	28.43	1.52	2.96
36	4	9.47	13	28.9	1.66	2.16
37	4	11.07	13	29.87	2.06	2.09

38	4	9.85	12	27.26	1.62	2.18
39	3	8.19	8	26.88	2.03	3.74
40	2	4.49	10	25.53	0.45	2.63
41	4	9.29	13	28.06	1.97	2.09
42	4	11.48	12	27.73	2.22	2.03
43	4	9.09	11	24.91	2.25	2.26
44	3	4.78	13	27.7	0.36	2.29
45	3	6.96	11	28.75	1.79	2.72
46	3	7.98	11	24	2	2.00
47	3	7.85	11	22.94	1.96	1.89
48	3	5.42	11	28.1	0.55	2.84
49	4	7.01	13	28.76	1.62	2.42
50	4	8.01	12	28.38	1.76	2.55
51	3	7.87	15	28.28	2.44	1.70
52	4	11.19	11	28.81	1.4	2.52
53	5	9.88	13	27.29	1.33	2.18
54	4	9.75	11	28.32	2.37	2.65
55	3	5.2	13	26.04	0.84	2.08
56	4	11.33	11	26.7	2.21	2.20
57	3	8.26	13	27.93	1.39	1.97
58	4	9.61	12	17.89	2.26	1.04
59	4	10.49	12	27.32	2.17	2.10
60	4	7.54	13	26.81	1.54	2.14
61	4	10.11	9	27.14	1.74	3.41
62	4	9.05	15	29.35	1.41	1.85
63	4	7.27	12	28.15	1.67	2.61
64	4	10.5	12	27.22	1.37	2.09
65	4	9.21	12	28.58	1.89	2.42
66	4	9.8	12	29.04	1.15	2.41
67	4	8.34	14	28.77	1.1	2.04
68	3	13.15	10	28.01	7.32	2.12

Acceso 2 - Carril 2						
No. ciclo	No. Vehiculos Eq. hasta que exista flujo (Ni)	Tiempo perdido en el arranque ti (s)	Vehiculos Eq. que cruzan (N)	Tiempo hasta que cruza ultimo veh tn (s)	perdida inicial	Intervalo (s/veh)
1	4	5.04	13	27.75	0.49	2.52
2	4	8.79	14	27.91	1.01	1.91
3	4	6.3	17	28.87	1.4	1.74
4	3	9.9	14	27.06	4.46	1.56
5	4	14.17	14	32.28	1.84	1.81
6	4	11.76	11	30.18	2.98	2.63
7	3	8.41	11	26.87	2.99	2.31
8	3	7.54	12	27.08	2.98	2.17
9	3	7.55	14	30.16	0.96	2.06
10	3	9.04	12	25.36	1.96	1.81
11	3	5.74	15	28.11	1.8	1.86
12	4	9.72	15	29.59	1.29	1.81
13	4	10.51	12	27.71	0.7	2.15
14	3	5.71	11	26.93	1.32	2.65
15	3	6.91	9	20.66	2.09	2.29
16	4	4.56	13	28.34	1.15	2.64
17	4	6.93	12	29.54	1.4	2.83
18	4	8.4	14	28.54	1.4	2.01
19	4	10.15	12	28.71	2.14	2.32
20	4	10.78	12	25.66	3.11	1.86
21	3	6.68	14	26.71	1.83	1.82
22	4	10.71	16	30.73	1.24	1.67
23	3	11.34	13	28.85	1.5	1.75
24	4	7.83	12	26.13	2.95	2.29
25	4	8.54	10	28.93	0.76	3.40
26	3	5.76	14	28.33	1.46	2.05
27	4	6.68	12	28.48	1.08	2.73
28	3	6.69	13	29.09	2.61	2.24
29	3	6.95	16	28.32	3.01	1.64
30	4	10.44	11	23.21	1.77	1.82
31	4	9.63	11	29.83	2.19	2.89
32	4	7.85	12	28.41	1.54	2.57
33	5	10.54	13	28.17	1.17	2.20
34	4	8.88	12	27.93	2.29	2.38
35	5	12.66	10	27.72	2.23	3.01
36	4	9.44	12	28.5	1.85	2.38
37	4	9.44	13	27.19	2.5	1.97

38	4	8.99	12	30.85	1.59	2.73
39	4	10.7	13	28.1	2.43	1.93
40	3	7.5	10	27.02	1.78	2.79
41	4	9.63	8	26.31	1.42	4.17
42	4	8.78	12	26.7	2.38	2.24
43	4	9.48	13	27.76	1.1	2.03
44	4	11.34	10	27.7	1.64	2.73
45	4	6.48	13	25.43	0.54	2.11
46	4	7.93	14	28.78	1.76	2.09
47	4	9.19	11	27.29	2.27	2.59
48	4	9.09	12	27.98	1.56	2.36
49	4	6.66	12	29.7	0.83	2.88
50	4	7.73	13	28.16	1.66	2.27
51	4	10.15	13	25.78	3.45	1.74
52	4	11.28	10	29.05	1.46	2.96
53	4	8.71	12	26.8	1.59	2.26
54	5	15.39	12	27.14	2.64	1.68
55	4	8.63	15	26.88	0.86	1.66
56	5	11.45	13	28.02	2.24	2.07
57	4	8.93	9	29.43	2.04	4.10
58	3	6.51	11	27.16	1.33	2.58
59	4	10.56	12	30.93	2.05	2.55
60	4	7.98	11	26.54	0.85	2.65
61	4	8.96	11	25.83	1.21	2.41
62	3	6.75	12	28.65	1.1	2.43
63	3	8.4	12	28.71	1.64	2.26
64	4	9.41	13	28.68	1.91	2.14
65	5	9.96	14	30	3.44	2.23
66	4	11.35	12	26.68	2.86	1.92
67	4	7.59	12	27.75	0.71	2.52
68	6	13.27	12	26.21	1.19	2.16

Acceso 3						
No. ciclo	No. Vehiculos Eq. hasta que exista flujo (Ni)	Tiempo perdido en el arranque ti (s)	Vehiculos Eq. que cruzan (N)	Tiempo hasta que cruza ultimo veh tn (s)	perdida inicial	Intervalo (s/veh)
1	3	6.82	15	36.09	3.41	2.44
2	4	8.62	18	35.61	2.28	1.93
3	3	5.94	18	32.1	2.3	1.74
4	4	9.41	17	35.31	2.63	1.99
5	6	14.35	20	34.44	1.9	1.44
6	3	8.35	19	33.92	2.84	1.60
7	3	7.5	17	33.42	3.97	1.85
8	3	8.09	19	33.74	2.41	1.60
9	3	5.96	22	34.72	1.5	1.51
10	4	10	17	33.35	1.83	1.80
11	4	8.78	20	34.76	2.25	1.62
12	5	13	19	34.77	1.56	1.56
13	4	8.47	15	32.96	1.97	2.23
14	5	12.16	14	32.87	2.47	2.30
15	3	8.83	15	33.97	3.94	2.10
16	4	13.61	15	34.46	4.09	1.90
17	4	6.34	15	31.54	1.53	2.29
18	3	9.21	12	33.17	2.6	2.66
19	3	11.18	13	31.93	4.07	2.08
20	3	8.78	14	31.36	3.85	2.05
21	3	9.47	13	32.62	4	2.32
22	4	13.46	15	34.96	5.5	1.95
23	4	9.74	16	32	2.1	1.86
24	4	8.77	19	33.85	1.94	1.67
25	6	16.58	13	33.36	2	2.40
26	3	9.85	15	33.27	2.28	1.95
27	4	12.1	15	34.55	2.1	2.04
28	4	11.83	17	34.33	3.28	1.73
29	4	10.5	17	33.6	2.59	1.78
30	3	6.18	22	36.04	1.57	1.57
31	5	12.61	19	33.61	1.85	1.50
32	5	12.08	18	35.34	0.91	1.79
33	4	7.67	22	35.35	1.34	1.54
34	4	8.99	16	32.38	2.43	1.95
35	3	3.38	13	32.93	2.25	2.96
36	3	6.87	16	34.65	2.5	2.14
37	3	8.24	18	34.2	1.59	1.73
38	4	12.2	17	33.97	2.84	1.67

39	3	8.57	14	34.78	2.12	2.38
40	4	9.7	17	31.07	1.97	1.64
41	4	10.57	14	32.95	2.41	2.24
42	4	7.76	14	32.08	1.25	2.43
43	4	12.29	13	33.07	2.41	2.31
44	3	6.81	16	33.0	1.28	2.01
45	4	11.12	15	33.94	3.72	2.07
46	3	7.58	14	34.46	3.37	2.44
47	3	15.51	10	34.72	7.78	2.74
48	3	9.75	14	32.84	2	2.10
49	5	15.53	14	34.8	3.06	2.14
50	4	13.91	12	33.85	5.43	2.49
51	4	12.26	14	30.72	2.56	1.85
52	4	9.66	13	32.68	2.62	2.56
53	4	11.79	14	32.5	2.29	2.07
54	4	13.24	10	32.6	2.47	3.23
55	4	8.79	14	33.83	2.44	2.50
56	3	11.3	14	33.41	1.03	2.01
57	3	9	13	33.49	2.56	2.45
58	4	13.13	13	34.04	5.75	2.32
59	4	11.43	13	32.3	1.88	2.32
60	4	9.19	12	29.65	2.37	2.56
61	4	11.28	14	32.87	2.97	2.16
62	4	13.13	13	34.04	5.75	2.32
63	3	10.07	14	33.58	3.68	2.14
64	3	9.95	12	32	5.5	2.45
65	4	11.87	12	31.46	2.4	2.45
66	4	8.49	13	33.82	1.85	2.81
67	4	9.02	14	33.34	2.12	2.43
68	3	9.99	13	34.44	2.44	2.45

**Anexo 8: Toma de datos con dispositivo semafórico auxiliar**

Acceso 1 - Carril 1						
No. ciclo	No. Vehiculos Eq. hasta que exista flujo (Ni)	Tiempo perdido en el arranque ti (s)	Vehiculos Eq. que cruzan (N)	Tiempo hasta que cruza ultimo veh tn (s)	perdida inicial	Intervalo (s/veh)
1	4	7.92	10	22.67	1.91	2.46
2	4	8.43	9	22.42	1.5	2.80
3	4	7.12	13	26.81	1.75	2.19
4	4	11.31	12	27.13	3.42	1.98
5	4	11.18	11	27.77	2.46	2.37
6	4	10.16	13	28.32	2.72	2.02
7	4	8.77	13	25.95	1.52	1.91
8	4	10.28	9	24	1.97	2.74
9	4	10.5	11	24.4	1.83	1.99
10	5	10.05	13	27.77	1.8	2.22
11	4	10.51	11	28.23	3.48	2.53
12	4	8.35	11	26.25	2.29	2.86
13	4	11.4	11	23.7	1.9	1.76
14	4	8.71	10	28.85	1.36	3.36
15	4	9.99	10	26.77	1.17	2.80
16	4	9.07	12	27.02	1.92	2.24
17	4	6.94	11	23.96	2	2.43
18	4	15.66	13	27.33	2.55	1.30
19	4	10.25	8	22.35	2.99	3.03
20	4	7.67	11	24.83	2.02	2.45
21	4	10.63	12	27.02	1.93	1.76
22	4	9.99	10	23.05	1.98	2.18
23	3	6.53	10	26.3	1.73	2.82
24	4	15.24	11	29.19	0.93	1.99
25	4	10.18	11	28.08	1.84	2.56
26	4	13.85	12	26.16	4.49	1.54
27	4	11.13	9	23.31	2.88	2.44
28	4	8.94	10	27.28	1.95	3.06
29	4	9.4	11	27.41	1.06	2.57
30	4	10.28	10	27.17	2.4	2.82
31	4	10.01	8	23.74	1.82	3.43
32	4	8.96	10	27.88	1.36	3.15
33	4	7.7	11	23.42	2.41	2.25
34	4	8.9	8	24.9	1.79	4.00
35	4	10.7	11	26.58	1.92	2.27
36	4	10.59	12	26.72	1.93	2.02

37	4	10.47	11	27	1.22	2.36
38	4	9.32	11	25.86	0.88	2.36
39	4	9.6	10	26.66	2.4	2.84
40	3	7.35	11	23.96	1.9	2.08
41	3	8	10	29.81	1.72	3.12
42	4	8.61	9	21.61	2.35	2.60
43	4	8.69	9	23.92	0.7	3.05
44	3	8.92	11	27.86	3.03	2.37
45	4	9.19	11	26.28	2.54	2.44
46	4	10.1	9	26.79	2.23	3.34
47	4	10.37	9	26.73	3.41	3.27
48	4	10.91	9	22.66	2.92	2.35
49	3	8.47	12	29.02	2.06	2.28
50	4	9.55	9	21.44	1.45	2.38
51	5	11.66	13	25.56	1.19	1.74
52	4	9.83	10	24.24	1.8	2.40
53	4	10.1	9	25.77	4.16	3.13
54	3	7.53	10	25.23	1.31	2.53
55	4	8.27	12	26.15	1.58	2.24
56	3	7.2	11	25.93	1.73	2.34
57	4	9.35	8	22.81	2.94	3.37
58	3	6.98	11	23.6	0.62	2.08
59	4	7.21	8	17.36	1.49	2.54
60	4	10.1	11	28.91	1.71	2.69
61	3	6.27	9	28.29	2.5	3.67
62	3	5.91	10	26.05	2.14	2.88
63	3	8.32	12	27.45	3.8	2.13
64	4	8.06	13	26.2	1.42	2.02
65	3	5.17	10	26.53	1.28	3.05
66	4	8.04	10	28.3	1.32	3.38
67	4	9	10	25.63	1.84	2.77
68	4	10.7	10	28.11	2.35	2.90

Acceso 1 - Carril 2						
No. ciclo	No. Vehiculos Eq. hasta que exista flujo (Ni)	Tiempo perdido en el arranque ti (s)	Vehiculos Eq. que cruzan (N)	Tiempo hasta que cruza ultimo veh tn (s)	perdida inicial	Intervalo (s/veh)
1	4	7.78	9	22.16	1.53	2.88
2	4	9.08	9	22.54	1.75	2.69
3	4	9.55	9	28.64	1.39	3.82
4	4	10.54	10	27.86	1.53	2.89
5	4	10.86	9	25.43	1.64	2.91
6	3	9.96	9	29.06	1.53	3.18
7	3	8.73	10	26.2	1.54	2.50
8	4	7.11	10	24.18	1.24	2.85
9	5	13.94	10	29.52	1.86	3.12
10	4	10.83	10	28.01	2.41	2.86
11	4	10.25	11	28.54	2.26	2.61
12	4	11.74	8	26.12	2.54	2.86
13	3	5.59	11	26.82	1.05	2.65
14	4	10.55	10	24.13	2.04	2.26
15	4	13.23	9	29.56	1.61	3.27
16	4	8.93	8	18.61	0.88	2.42
17	4	11.43	9	26.56	2.44	3.03
18	4	15.14	9	26.38	2.21	2.25
19	3	6.06	11	25.38	1.61	2.42
20	3	7.43	12	28.34	3.56	2.32
21	4	9.86	11	27.22	2.16	1.76
22	4	7.76	11	26.93	2.18	2.74
23	4	5.19	12	27.23	1.08	2.76
24	4	10.8	9	28.19	1.99	3.48
25	3	5.52	11	27.64	1.45	2.77
26	4	12.7	11	27.72	2.3	2.15
27	4	11.93	10	26.99	2.61	2.51
28	4	9.22	9	26.38	3.19	3.43
29	3	6.17	12	25.62	0.96	2.16
30	4	13.48	11	26.72	1.38	1.89
31	3	9.94	9	25.88	1.86	2.66
32	3	6.68	12	24.38	2.01	1.97
33	4	11.12	10	24.41	1.44	2.22
34	5	9.96	8	19.45	2.83	3.16
35	3	6.45	10	28.32	1.59	3.12
36	4	9.33	11	26.19	0.99	2.41
37	3	7.27	13	26.15	1.7	1.89
38	3	7.53	9	22.55	2.09	2.50

39	4	8.8	10	28.31	2.21	3.25
40	4	7.3	12	26.32	1.91	2.38
41	3	7.44	10	26.46	1.61	2.72
42	5	14.56	10	25.33	4.09	2.15
43	3	6.11	10	28.96	0.7	3.26
44	4	7.65	13	27.65	2.03	2.22
45	3	9.46	9	25.64	4.27	2.70
46	4	9.59	11	27.48	1.32	2.56
47	3	6.83	11	27.81	2	2.62
48	4	11.08	10	26.73	2.41	2.61
49	3	8.83	13	29	4.15	2.02
50	3	8.28	9	22.95	1.57	2.45
51	3	7.16	11	24.88	1.56	2.22
52	4	10.65	9	24.78	1.6	2.83
53	4	7.59	9	20.95	2.41	2.67
54	3	5.09	10	21.04	1.18	2.28
55	3	4.11	11	27.59	0.92	2.94
56	4	9.04	9	21.99	2.88	2.59
57	3	5.54	10	23.46	1.63	2.56
58	4	9.46	9	21.31	2.66	2.37
59	4	9.27	11	28.43	1.09	2.74
60	3	6.23	9	21.86	1.56	2.61
61	3	7.56	8	21.11	2.53	2.71
62	3	7.19	10	26.6	2.43	2.77
63	3	5.54	9	21.93	2	2.73
64	4	10.9	11	29	3.8	2.59
65	4	9.11	12	26.75	2.16	2.21
66	3	7.19	11	26.48	1.56	2.41
67	3	7.09	11	25.54	2.81	2.31
68	4	10.64	11	28.08	1.35	2.49

Acceso 2 - Carril 1						
No. ciclo	No. Vehiculos Eq. hasta que exista flujo (Ni)	Tiempo perdido en el arranque ti (s)	Vehiculos Eq. que cruzan (N)	Tiempo hasta que cruza ultimo veh tn (s)	perdida inicial	Intervalo (s/veh)
1	4	10.99	14	26.49	1.24	1.55
2	5	9.56	17	27.36	3.19	1.48
3	4	6.23	17	27.11	1.7	1.61
4	4	7.49	16	28.86	0.59	1.78
5	4	6.76	14	29.19	0.62	2.24
6	4	7.68	13	26.25	1.06	2.06
7	4	6.18	14	30.74	1.49	2.46
8	4	9.07	12	26.13	1.12	2.13
9	4	7.12	13	29.02	0.66	2.43
10	4	10.31	13	28.81	1	2.06
11	4	9.71	13	28.75	1.54	2.12
12	4	6.74	16	29.72	0.92	2.86
13	4	9.29	12	29.01	1.54	2.47
14	4	7.99	12	29.31	1.22	2.67
15	4	8.2	13	28.43	1.32	2.25
16	4	9.69	13	28.06	1.01	2.04
17	4	10.85	15	29.92	2.69	1.73
18	4	6.56	14	29.33	1.51	2.28
19	4	10.63	12	27.92	1.86	2.16
20	4	7.29	14	29.25	1.11	2.20
21	4	9.34	14	29.19	1.39	1.76
22	4	8.23	12	26.26	1.19	2.25
23	4	12.06	14	27.37	2.32	1.53
24	4	9.25	14	31.4	0.97	2.22
25	3	7.21	12	25.81	2.7	2.07
26	4	10.37	15	28.39	2.56	1.64
27	4	6.92	14	28.49	2.04	2.16
28	3	9.15	11	26.99	1.03	2.23
29	4	9.82	9	27.94	1.53	3.62
30	4	7.95	13	26.9	1.94	2.11
31	4	9.76	15	28.65	0.88	1.72
32	4	8.08	14	29.81	2.01	2.17
33	4	9.62	12	28.79	1.29	2.40
34	4	11.02	13	27.93	1.08	1.88
35	4	10.17	13	28.03	1.17	1.98
36	4	9.07	10	25.95	1.66	2.81
37	4	10.92	13	28.01	1.49	1.90

38	4	12.51	11	28.51	1.36	2.29
39	3	8.34	12	26.47	2.34	2.01
40	4	6.44	12	28.67	1.47	2.78
41	4	8.22	10	26.73	0.93	3.09
42	4	10.03	10	30.16	2.28	3.36
43	4	12.3	9	27.15	1.28	2.97
44	4	10.1	11	28.8	2.27	2.67
45	4	10.38	10	27.07	2.53	2.78
46	3	6.54	16	28.47	1.78	1.69
47	4	8.08	12	23.05	0.88	1.87
48	4	6.07	13	28.08	0.92	2.45
49	4	8.93	9	25.26	1.83	3.27
50	5	8.51	9	21.77	0.98	3.32
51	4	6.98	14	26.18	1.49	1.92
52	4	8.52	13	28.42	1.19	2.21
53	3	7.52	10	27.37	1.73	2.84
54	4	8.72	11	24.81	1.36	2.30
55	4	10.9	9	27.34	2.03	3.29
56	4	10.54	12	28.87	1.58	2.29
57	4	8.31	15	27.47	0.8	1.74
58	4	8.99	15	30.62	1.84	1.97
59	4	6.08	13	27.58	0.84	2.39
60	3	6.56	13	28.26	1.09	2.17
61	3	7.29	10	27.33	1.49	2.86
62	4	8.42	11	26.92	1.31	2.64
63	4	7.77	12	26.84	1.41	2.38
64	4	9.54	12	29.54	1.02	2.50
65	5	12.3	11	25.08	0.51	2.13
66	4	11.13	12	26.77	1.1	1.96
67	4	10.44	12	28.4	2.21	2.25
68	3	8.18	11	25.66	1.57	2.19

Acceso 2 - Carril 2						
No. ciclo	No. Vehiculos Eq. hasta que exista flujo (Ni)	Tiempo perdido en el arranque ti (s)	Vehiculos Eq. que cruzan (N)	Tiempo hasta que cruza ultimo veh tn (s)	perdida inicial	Intervalo (s/veh)
1	4	7.29	14	27.38	1.41	2.01
2	4	8.48	15	27.7	2.05	1.75
3	3	4.36	18	29.38	1.55	1.67
4	3	4.78	16	29.65	1.03	1.91
5	3	5.99	16	29.36	1.9	1.80
6	4	8.41	12	26.48	1.21	2.26
7	4	5.41	15	28.71	0.78	2.12
8	3	10.86	11	29.28	2.66	2.30
9	3	5.6	13	26.98	0.91	2.14
10	3	5.33	12	26.11	0.59	2.31
11	4	9.26	9	26.46	0.61	3.44
12	4	7.33	16	29.13	1.48	2.86
13	3	6.83	16	30.54	1.06	1.82
14	3	6.46	16	28.64	2.43	1.71
15	3	9.3	10	26.91	1.29	2.52
16	3	5.64	15	28.66	1.16	1.92
17	4	10.6	11	25.56	1.48	2.14
18	5	13.24	11	23.02	1.54	1.63
19	3	4.59	14	28.18	1.16	2.14
20	4	8.91	13	27.4	1.28	2.05
21	3	7.34	15	28.28	1.8	1.76
22	4	5.87	17	30.5	1.17	1.89
23	4	10	10	27.05	1.13	2.84
24	3	7.09	13	27.09	2.03	2.00
25	6	14.32	13	29.36	1.08	2.15
26	3	5.55	13	28.24	1.17	2.27
27	3	5.83	16	26.91	1.32	1.62
28	4	9.22	14	28.41	1.15	1.92
29	4	8.01	13	26.64	0.75	2.07
30	4	8.36	9	28.1	0.94	3.95
31	4	8.78	15	27.51	2.05	1.70
32	4	8.05	15	26.82	1.61	1.71
33	4	8.05	10	24.88	1.28	2.81
34	4	9.16	12	29	1.46	2.48
35	4	13.95	11	28.69	2.68	2.11
36	4	13.58	9	27.56	1.32	2.80
37	4	8.44	13	28.44	4.62	2.22

38	4	11.74	10	28.04	2.33	2.72
39	4	8.69	10	26.8	4.49	3.02
40	4	10.78	10	27.53	1.28	2.79
41	3	9.43	11	25.91	1.75	2.06
42	4	9.48	13	27.93	0.83	2.05
43	4	9.41	12	26.28	1.24	2.11
44	4	11.41	11	29.2	0.82	2.54
45	4	9.35	13	28.9	2.16	2.17
46	4	9.51	12	29.35	1.84	2.48
47	3	8.93	11	27.32	1.98	2.30
48	4	7.36	14	29.71	1.62	2.24
49	4	9.88	11	26.75	1.64	2.41
50	3	5.25	12	26.54	1.17	2.37
51	4	12.03	11	28.76	2.48	2.39
52	4	10.68	11	28.44	1.91	2.54
53	3	4.81	13	26.31	0.85	2.15
54	4	7.26	14	26.27	0.53	1.90
55	4	9.91	12	27.94	1.19	2.25
56	4	8.44	11	24.71	1.12	2.32
57	3	5.46	14	26.7	2.1	1.93
58	4	8.57	10	26.48	0.99	2.99
59	4	9.3	12	26.75	1.95	2.18
60	3	9.54	10	28.06	1.64	2.65
61	4	7.49	10	29.29	1.26	3.63
62	3	5.94	13	27.65	1.46	2.17
63	4	6.19	12	28.64	0.44	2.81
64	5	15.39	10	26.69	1.26	2.26
65	3	5.83	10	27.43	0.61	3.09
66	4	9.09	11	26.38	0.73	2.47
67	3	4.16	11	25.88	0.38	2.72
68	3	7.41	12	26.54	1.21	2.13

Acceso 3						
No. ciclo	No. Vehiculos Eq. hasta que exista flujo (Ni)	Tiempo perdido en el arranque ti (s)	Vehiculos Eq. que cruzan (N)	Tiempo hasta que cruza ultimo veh tn (s)	perdida inicial	Intervalo (s/veh)
1	5	12.78	14	33.88	2.06	2.34
2	4	7.44	15	31.03	1.75	2.14
3	3	7.74	17	33.91	2.19	1.87
4	3	5.78	18	33.6	0.63	1.85
5	3	7	18	33.14	1.11	1.74
6	4	10.27	21	33.69	1.72	1.38
7	4	9.91	19	34.86	1.84	1.66
8	4	8.89	18	33.61	1.53	1.77
9	3	7.35	15	33.26	1.28	2.16
10	3	6.14	17	33.47	2.28	1.95
11	4	7.15	20	32.87	2.5	1.61
12	4	7.18	16	33.68	2.27	2.86
13	4	11.41	18	33.31	3.91	1.56
14	4	9.34	17	33.05	1.29	1.82
15	4	9.29	15	33.22	3.38	2.18
16	4	8.31	15	33.19	2.62	2.26
17	4	8.07	16	35.21	2.94	2.26
18	4	8.33	16	32.41	2.41	2.01
19	3	7.27	14	32.72	1.59	2.31
20	3	7.07	17	35.04	1.25	2.00
21	4	8.62	15	30.36	2.09	1.76
22	4	9.67	15	32.51	2.29	2.08
23	3	7.11	14	32.03	2.25	2.27
24	3	7.15	15	31.45	2.4	2.03
25	4	7.28	15	32.16	2.28	2.26
26	4	10.87	13	30.86	3.01	2.22
27	3	7.63	17	33.49	2.44	1.85
28	4	10.26	15	34.1	3.64	2.17
29	4	7.47	15	33.68	2.49	2.38
30	3	6.78	18	34.49	3.1	1.85
31	3	9.52	14	33.4	4.68	2.17
32	3	8.45	15	31.56	1.69	1.93
33	4	9.09	12	30.79	1.56	2.71
34	3	8.47	11	31.1	1.07	2.83
35	4	12.3	14	33.22	3.56	2.09
36	5	12.9	14	33.71	1.72	2.31
37	4	8.45	15	32.34	2.21	2.17

38	4	10.59	14	32.1	3.56	2.15
39	4	11.7	13	33.21	2.04	2.39
40	3	7.7	13	31.68	2.62	2.40
41	4	8.01	14	33.35	1.53	2.53
42	3	8.96	14	31.45	1.44	2.04
43	4	9.44	11	33.32	2.65	3.41
44	4	8.28	12	30.4	2.15	2.77
45	4	6.94	14	33.99	1.63	2.71
46	4	8.06	15	33.25	2.4	2.29
47	4	11.11	13	32.25	4.09	2.35
48	3	6.21	12	31.68	1.79	2.83
49	4	11.67	13	31.42	3.22	2.19
50	4	7.33	15	34.41	1.76	2.46
51	3	9.91	11	33.16	1.91	2.91
52	4	9.57	15	32.56	2.69	2.09
53	4	7.31	15	33.15	1.66	2.35
54	3	8.5	12	34.7	4.32	2.91
55	4	12.03	14	33.84	1.85	2.18
56	4	9.99	14	31.07	2.44	2.11
57	3	8.33	14	32.53	2.28	2.20
58	4	10.98	11	31.33	3.13	2.91
59	3	12.82	11	32.05	4.31	2.40
60	3	6.29	15	31.48	3.31	2.10
61	4	14.58	11	33.35	2.5	2.68
62	4	8.5	12	34.7	4.32	3.28
63	4	8.83	13	32.43	2.56	2.62
64	4	8.84	14	32.73	0.82	2.39
65	4	9.11	12	33.98	1.63	3.11
66	4	10.31	14	32.77	1.28	2.25
67	4	9.87	14	35.74	5.4	2.59
68	4	7.42	14	31.3	1.56	2.39

## **Anexo 9: Especificaciones técnicas del dispositivo semafórico auxiliar.**

### **ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA SEMAFOROS AUXILIARES**

#### **– Generalidades**

Cada módulo consistirá en un conjunto ensamblado que utiliza LEDs como fuente de luz, para ser aplicados en secciones de semáforos vehiculares, instalados en el poste del semáforo principal y a la altura del ojo del conductor.

Los LEDs utilizados en los módulos serán de tecnología AlInGaP (aluminio, indio, galio, fósforo), para los colores rojo, y GaN (nitruro de galio) para el color verde, y serán del tipo ultra brillante, para 100.000 horas de operación continua.

Los módulos tendrán una vida útil mínima de 48 meses. Todos los módulos deberán cumplir todos los parámetros de esta especificación durante dicho lapso de tiempo.

Los LEDs individuales estarán conectados de tal modo que el apagado o la falta de un LED no dé lugar al apagado del módulo entero.

#### **– Estanqueidad y grado de protección.**

Los cuerpos deberán ser estancos de forma de que los agentes atmosféricos no dificulten el correcto funcionamiento ni impliquen la desconexión por actuación de los interruptores diferenciales.

Las borneras interiores deberán tener la suficiente aislación para evitar que la humedad ambiente provoque la situación mencionada.

Cada semáforo deberá ser provisto con un tapón apto para cerrar herméticamente cualquiera de los extremos para acoplamiento que este posea y no se utilicen para la instalación.

Para asegurar la hermeticidad entre las puertas y el frente, entre el lente y su marco y entre la unión de diferentes secciones se emplearán burletes adecuados y removibles para su sustitución, los que no permitirán la entrada de polvo, agua o humedad. Se utilizará un material suficientemente elástico y blando, que no degrade a la intemperie.

#### **– Sistema óptico.**

El sistema óptico debe ser de características tales que cada lente presente un disco luminoso de 12 cm de diámetro, y que en su conjunto con el reflector y la visera no permitan la aparición de la denominada "Luz Fantasma". Los lentes no tendrán rajaduras, burbujas u otras imperfecciones que afecten su eficiencia.

Se colocarán un aproximado de 70 luces led en cada disco luminoso de acuerdo a la proporción con los semáforos normales usados en la ciudad que son de 20 cm de diámetro y cuentan con aproximadamente 120 luces led.

**–Características eléctricas.**

Las fluctuaciones de la tensión de línea, no tendrán ningún efecto visible en la intensidad luminosa emitida por los módulos.

El factor de potencia del módulo de LED tendrá un valor de 0.92 o mayor.

La distorsión armónica total de THD (corriente y tensión) inducida en la línea de corriente alterna por un módulo de LED, no excederá el 20 por ciento.

El circuito electrónico de alimentación y regulación de tensión del módulo, incluirá una protección contra sobretensión y supresión de transitorios originados por ruido eléctrico.

El circuito electrónico del módulo de LEDs, deberá prevenir el parpadeo perceptible a simple vista, operando dentro de la gama del voltaje típico especificado.

El dispositivo deberá ser conectado mediante voltaje directo, en paralelo al semáforo principal.

**– Requisitos físicos y mecánicos**

Los módulos estarán diseñados para ser utilizados como una extensión del semáforo existente en la zona, únicamente exceptuando el color amarillo, el cual no se replicará de ninguna manera en el dispositivo mencionado. Los módulos serán herméticos contra el ingreso de polvo y humedad, para proteger todos los componentes internos.

A continuación, se anexan los bosquejos del dispositivo a ser instalado, así como también la aplicación de estos dispositivos en otras ciudades para una mayor comprensión de la investigación experimental que se llevara a cabo.



Ilustración 1: Bosquejo del dispositivo auxiliar

Nota: La instalación del dispositivo semafórico auxiliar se trabajará según las instrucciones y métodos aceptados por la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte. (EMOV EP)

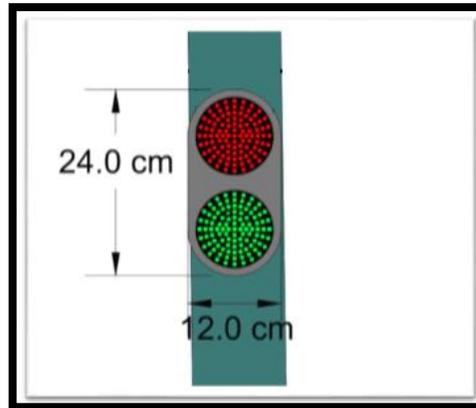


Ilustración 3: Dimensiones del dispositivo auxiliar instalado en el poste del semáforo principal.

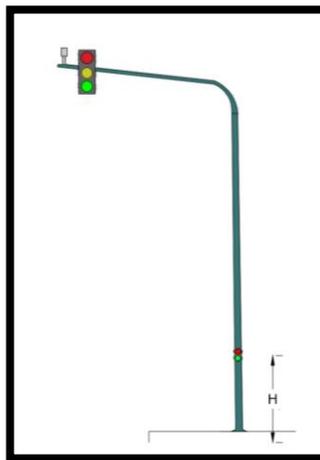


Ilustración 4: Dispositivo auxiliar instalado en el poste del semáforo principal a la altura de la vista del conductor (Altura H será determinada en el transcurso de la investigación).



Ilustración 5: Dispositivo auxiliar similar al propuesto, implementado al sistema semafórico de la ciudad de París – Francia para ayudar a la movilidad de vehículos motorizados y ciclistas. (Google, 2018)

## **Bibliografía**

Akcelik, R. (1998). *Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis*. *Australian Road Research Board* (Vol. 70). <https://doi.org/10.1002/bjs.1800700620>

ALAIX, V. (2000). *Principios sobre Semáforos*. *Universidad nacional de Colombia* (Vol. 301).

Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2010). *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones*.

Chevrolet. (2012). Ficha Técnica Chevrolet Silverado: Recuperado de <http://artevirtual.com.mx/cm/PDFspecs/2012-silverado-1500-2500.pdf>

Chevrolet. (2017). Ficha Técnica Chevrolet Aveo Family: Recuperado de [https://www.chevrolet.com.ec/content/dam/Chevrolet/lat-am/Ecuador/nscwebsite/es/Home/Cars/Aveo\\_Family/Model\\_Overview/02\\_pdf/Hoja\\_t%C3%A9cnica\\_Aveo\\_Family.pdf](https://www.chevrolet.com.ec/content/dam/Chevrolet/lat-am/Ecuador/nscwebsite/es/Home/Cars/Aveo_Family/Model_Overview/02_pdf/Hoja_t%C3%A9cnica_Aveo_Family.pdf).

eLIFE. (2016). A century of trends in adult human height. Retrieved from <https://elifesciences.org/articles/13410>

Google. (2018a). Boulevard de Grenelle - Google Maps: Recuperado de <https://www.google.com/maps/@48.849571,2.2988548,17z>

Google. (2018b). Google Maps: Recuperado de <https://www.google.com/maps/@-2.8903317,-79.0289056,59m/data=!3m1!1e3>

HCM 2000. Traffic Research Board (2012). *Highway Capacity Manual*.

INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2010). Fascículo Provincial Azuay.

INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2016). Anuario de Transporte.

INEN, Servicio Ecuatoriano de Normalización (2012). Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004:2012 Parte 5. Quito.

Mejía, D. P., & Morocho, J. F. (2016). *Obtención de la disposición a pagar para disminuir la congestión vehicular en las Avenidas: Huayna Cápac, 12 de Abril,*

*Remigio Crespo Toral, Fray Vicente Solano y Américas, de la ciudad de Cuenca periodo 2015.* Universidad de Cuenca.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2010). *AMPLIACIÓN DE LA AV . ORDOÑEZ LASSO.*

Minitab, I. (2017). Minitab 18. *Software*

Minitab 18. (2017). ¿Qué es ANOVA?: Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-anova/>

Municipalidad de Cuenca. (2015). *Plan de Movilidad y Espacios Públicos de Cuenca 2015-2025.*

OMS, (2015). *Uso del celular al volante: un problema creciente de distracción del conductor.* WHO. World Health Organization.

Regalado, I. A. (2017). *Análisis y propuesta de solución integral al congestionamiento vehicular que se produce en la Av. 24 de Mayo y Vía al Valle, de la ciudad de Cuenca.* Universidad de Cuenca.

Spiegel, M., & Stephens, L. (2008). *Estadística Schaum.* McGraw-Hill Interamericana de España S.L.

Vargas, W. E. V. (2007). El efecto de los vendedores ambulantes en las intersecciones semaforizadas sobre la movilidad de Bogotá. *Revista de Topografía Azimut, 1*, 53–64.

# **“Análisis de flujos de saturación en accesos de una intersección semaforizada de la ciudad de Cuenca - Ecuador con la instalación de dispositivos semafóricos auxiliares”**

Daniel Suconota Vega, Fernando Urdiales Gómez

Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay

## **Resumen**

La investigación experimental y analítica consistió en la comparación de tiempos perdidos por los conductores al momento en que el semáforo inicia el verde, antes y después de instalar un dispositivo semafórico auxiliar, en tres accesos de la intersección semaforizada de la Av. Ordoñez Laso y Los Cedros en la ciudad de Cuenca - Ecuador. La comparación se realizó mediante la toma de datos por carril y por acceso en horas pico, y cálculos basados en modelos matemáticos para cuantificar la variación del flujo de saturación en los accesos. Finalmente se logró validar la hipótesis mediante un análisis de varianza con el método de Tukey para comparaciones múltiples, donde se obtuvo como resultado un aumento del 5.0% - 7.7% del flujo de saturación.

**Palabras clave:** Intersección Semaforizada; Tiempo Perdido en el Arranque; Flujo de Saturación; Dispositivo Semafórico Auxiliar

## **Abstract:**

This experimental and analytical research compared the times lost by drivers when the traffic light changes to green. The times were compared before and after installing an auxiliary traffic light device in three accesses of the intersection at Ordoñez Laso and Los Cedros Aves. in Cuenca. The comparison was performed taking data by lane and by access during rush hours with calculation based on mathematical models to quantify the variation of the saturation flow in the accesses. Finally, the hypothesis was validated with the variance analysis through the Tukey method for multiple comparisons. An increase of the saturation flow from 5.0% to 7.7% was obtained as result.

**Keywords:** Signalized Intersection, Los Time at Start-up, Saturation Flow; Auxiliary Traffic Light Device

## 1. Introducción

Cuenca tiene un parque automotor en constante crecimiento, es por esto que las vías del centro histórico y las principales arterias viales de la ciudad no abastecen a la demanda vehicular en horas pico. El estudio publicado en el año 2013 en El Plan de Movilidad y Espacios Públicos de Cuenca [1] dice que al interior de la ciudad el 69% de viajes son realizados en vehículos motorizados y una tasa ocupacional de 1.0 a 1.5 (personas por vehículo). A todo esto, sumado el calculado índice de motorización actual en la ciudad de 313.5 vehículos por cada 1.000 habitantes, se logra dar una idea de la movilidad en la ciudad austral. La Av. Ordoñez Laso es una arteria vial que conecta el corazón de la urbe con sectores como Sayausi, Balzay, San Joaquín, y con la vía Cuenca-Molleturo-Naranjal. Además, la avenida sirve como ruta de las líneas de transporte público, también dispone de ciclo-vía, es decir, está sometida a un alto tráfico de vehículos, peatones y ciclistas. La avenida tiene un Trafico Promedio Diario Anual TPDA2018 de 26.913 vehículos, dato que se obtuvo mediante una proyección con el modelo logístico del TPDA2010 de 20.100 vehículos que da el MTOP [2].

Los flujos vehiculares son afectados por factores como la distracción de conductores, irrespeto a señales de tránsito, vendedores ambulantes, inapropiada infraestructura vial, entre otros. Al momento que un conductor se distrae y su atención se aleja de la tarea de conducir, la toma de decisiones y el tiempo de reacción se ven afectados. Dichas actividades generadas al interior del vehículo según la OMS [3] son fumar, hablar, comer, manipular equipos de audio o video, arreglarse y el uso de dispositivos electrónicos, de estas acciones la más preocupante es el uso del celular al volante, en consecuencia, estas distracciones perjudican la circulación vehicular.

En la mayoría de las grandes ciudades alrededor del mundo existen problemas de congestión vehicular, es por esto que se han puesto a prueba diferentes tecnologías para optimizar los flujos vehiculares y seguridad vial en intersecciones semaforizadas. Franz Joseph Rogelez [4] en el año 2013 presento una alternativa para mejorar la movilidad en la ciudad de Bogotá, por medio de un algoritmo genético que modifica los tiempos semafóricos, lograron reducir la longitud de la cola vehicular en un 17%. Mohamed Shawky y Abdulla Al-Ghafli [5] estudiaron la demora inicial en el arranque, y los factores que afectan a éste en intersecciones semaforizadas en la ciudad de Abu Dhabi (EAU) obteniendo un valor estimado de 2.201 segundos con una desviación estándar de 1.823 s. La idea propuesta, en la Conferencia Internacional sobre Adquisición Inteligente de Datos y Sistemas de Computación Avanzados (IDAACS) del año 2013 en Berlín, por Vladimir Hahanov et al. [6] propone un servicio en línea en la nube *Green Wave Traffic* para monitorear y controlar el tráfico en tiempo real para mejorar la calidad y seguridad del movimiento vehicular y minimizar el tiempo y costos de viaje. La investigación más próxima al presente estudio es la realizada por Limanond, Prabjabok y Tippayawong [7] en la ciudad de Bangkok sobre el impacto de contadores regresivos que indican el cambio de fase en intersecciones semaforizadas, donde se obtuvo como resultado una disminución del 22% en el tiempo perdido en el arranque y un aumento de 120 vehículos extra por hora en la intersección estudiada.

Como una medida para mejorar el flujo vehicular, se puso a prueba un dispositivo semafórico auxiliar ubicado a nivel de la vista de los conductores, el mismo que busca reducir el tiempo de reacción de conductores cuando ocurre el cambio de fase del semáforo. Siendo la idea principal aprovechar el tiempo de verde al máximo al disminuir el **tiempo perdido en el arranque**<sup>1</sup>. La presente investigación es un análisis microscópico del estado actual de la intersección semaforizada

---

<sup>1</sup> Es el tiempo transcurrido entre el cambio de luz verde y el paso de la parte frontal del vehículo con flujo, usualmente el cuarto vehículo. Valor generalmente entre diez y catorce segundos según la HCM-2000.

de la Av. Ordoñez Lazo y Los Cedros en la ciudad de Cuenca, así como también el análisis y comparación de los tiempos perdidos en el arranque y flujos de saturación sin y con los dispositivos semafóricos auxiliares colocados en tres, de los cuatro, accesos de la intersección semaforizada. La HCM-2000 [8] y Cal & Mayor [9] dan los principios básicos del tránsito para definir parámetros de los flujos vehiculares y su forma correcta de interpretación, adicional a una completa guía para estudiar los posibles fenómenos del tránsito. Se utilizó un modelo matemático como base para determinar los flujos de saturación antes y después de implementar el dispositivo semafórico auxiliar, para finalmente comprobar la hipótesis mediante un análisis de varianza (ANOVA) con el método de Tukey y afirmar que existe diferencia entre las medias de las dos muestras levantadas.

## 2. Metodología

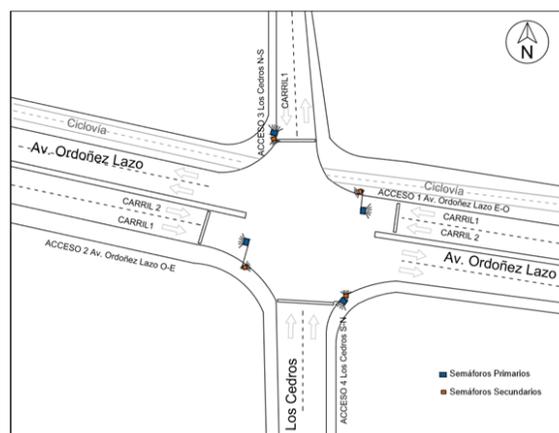
La metodología propuesta consiste en determinar el nivel de servicio, flujos de saturación y obtener la altura a la que se instaló el dispositivo semafórico auxiliar de tres accesos semafóricos, para determinar la cantidad de vehículos que cruzan el acceso.

Para la realización de este trabajo se empleó la información levantada en campo, de la intersección semafórica de la Av. Ordoñez Lazo y Los Cedros en la ciudad de Cuenca, en cada accesos se obtuvieron valores de número de vehículos que cruzan por ciclo semafórico, tiempo perdido en el arranque, pérdida inicial, tiempos semafóricos, número de vehículos para que exista flujo

Esta información sirve para el cálculo de nuevos flujos de saturación en base al modelo propuesto y prueba de hipótesis de los tiempos perdidos en el arranque antes y después de instalar el dispositivo.

### a) Nivel de Servicio y flujo de saturación observado

Para la obtención de los niveles de servicio y flujos de saturación fue necesario definir la nomenclatura de los accesos y carriles de la intersección semafórica que fueron la base del levantamiento de información, según la Gráfica 1. Se estudió tres accesos, omitiendo el Acceso 4 (Los Cedros S-N), ya que este acceso presenta características similares al Acceso 2 en cuanto a número de carriles y flujo vehicular.



Gráfica 1: Esquema de la intersección semafórica y ubicación de semáforos de la Av. Ordoñez Lazo y Los Cedros.

Para medir de forma cualitativa y cuantitativa la calidad de una intersección semafórica se usa el concepto de Nivel de Servicio, que describe las condiciones del tránsito mediante el cálculo de factores externos e internos [8].

Para el análisis microscópico de la intersección fue necesario obtener un flujo de saturación observado por carril en los tres accesos estudiados. Procedimiento indicado a detalle en el Apéndice H del Capítulo 16 del HCM-2000 [8] que consiste en el levantamiento de información en campo y el cálculo de parámetros básicos del tránsito como el intervalo promedio (s/veh), tasa de descarga (veh/s), tiempo de reacción del primer conductor en la cola (perdida inicial), tiempo de verde hasta el cruce de la parte frontal del vehículo en flujo que generalmente es el cuarto vehículo de la cola (tiempo perdido en el arranque) y número de vehículos promedio que cruza en una fase de verde.

#### **b) Ubicación del dispositivo semafórico auxiliar**

Para poder determinar la altura del dispositivo semafórico auxiliar, se necesita conocer la altura promedio de la vista de un conductor de vehículo privado, la altura de la vista del conductor y por ende la altura de los dispositivos fue determinada mediante el promedio de altura entre dos vehículos tipo en base a datos de matriculación del año 2016 publicados por el INEC [10]. En la Gráfica 2 se muestra el dispositivo semafórico auxiliar instalado y en funcionamiento.



Gráfica 2: Dispositivo Semafórico Auxiliar instalado, Acceso 3

#### **c) Levantamiento de información**

Luego de la instalación del dispositivo, a través de cronómetros se determinó la pérdida inicial, el tiempo perdido en el arranque y el tiempo en que cruza el último vehículo en cada fase de verde, durante dos horas pico por cada carril, lo que dio como resultado un conteo de 68 ciclos sin dispositivo auxiliar por carril de cada acceso y la misma cantidad con dispositivo auxiliar, adicional a esto se obtuvo el número de vehículos que cruzaron la intersección por fase de verde y el número de vehículos necesarios para que exista flujo, que se llegó a determinar que es igual a cuatro. Con estos datos se pudo determinar el intervalo promedio, tasa de descarga promedio, tiempo promedio en que cruza el último vehículo, vehículos promedio que cruzan, pérdida inicial sin y con dispositivo y tiempo perdido en el arranque con y sin dispositivo.

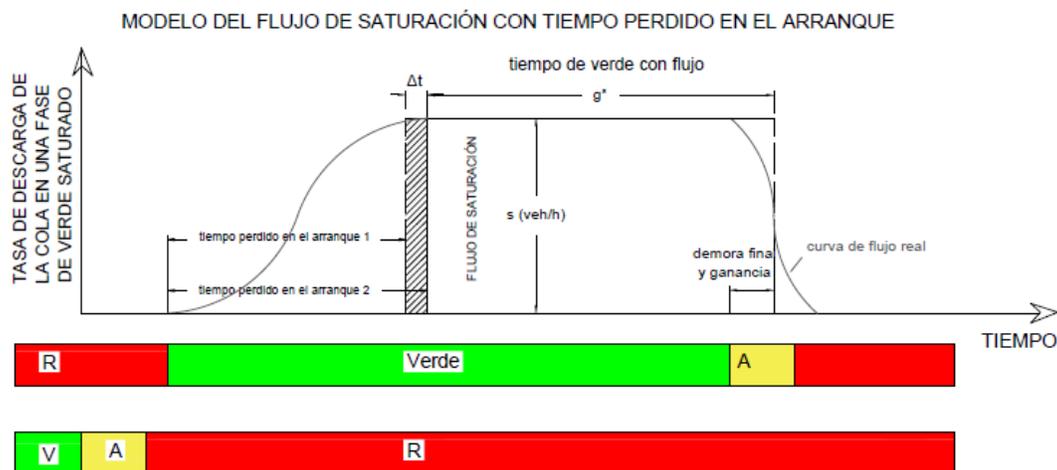
Para el levantamiento de información sin los dispositivos semafóricos auxiliares se empleó cámaras de conteo vehicular en la intersección semaforizada la última semana del mes de septiembre del año 2018. De la misma manera se levantó la información para la primera semana del mes de octubre del año 2018, donde los dispositivos semafóricos auxiliares ya estaban trabajando en los tres accesos de la intersección. Los dispositivos semafóricos auxiliares fueron instalados con la aprobación y colaboración de la Empresa Pública de Movilidad y Transporte de Cuenca (EMOV-EP).

#### d) Modelo básico de flujo de saturación

El “Modelo Básico de Flujo de Saturación” propuesto por Akcelik Rahmi [11] muestra la relación entre el flujo de saturación y los tiempos de verde para cada fase, en donde el tiempo de verde efectivo multiplicado por la tasa de descarga en una fase de verde saturado equivale al área del rectángulo de flujo efectivo que representa el número de vehículos que cruzan por la intersección. Debido a que en este modelo la variación de la pérdida inicial no representa un aumento significativo en la cantidad de vehículos que cruzan en una fase de verde saturado (área del rectángulo), se optó por analizar el tiempo perdido en el arranque como un factor importante en la variación de vehículos que cruzan por fase de verde.

Para calcular un aumento en el flujo de saturación al variar el tiempo perdido en el arranque, se calcula el área del rectángulo que resulta del producto de la tasa de flujo y el tiempo de verde con flujo, este tiempo se obtiene de la diferencia entre el tiempo en que cruza el último vehículo y el tiempo perdido en el arranque. Ver Gráfica 3.

Para lograr comparar el efecto de los tiempos perdidos en el arranque en el modelo planteado, se considero constante la tasa de flujo y el tiempo en el que cruza el ultimo vehiculo, promedio de los datos obtenidos en campo.



Gráfica 3 Modelo de Flujo de Saturación con Tiempo Perdido en el Arranque

#### e) Análisis de varianza

La varianza mide que tan dispersos están los datos con respecto a la media, la varianza es igual al cuadrado de la desviación estándar.

El análisis de varianza (ANOVA) se basa en comparar las medias de dos poblaciones, es decir prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales, estas poblaciones deben seguir una distribución aproximadamente normal con varianzas iguales entre los niveles de factores. Para realizar un ANOVA se debe definir una hipótesis nula, que establece que todas las medias de la población son iguales; y una hipótesis alternativa que establece al menos una diferencia.

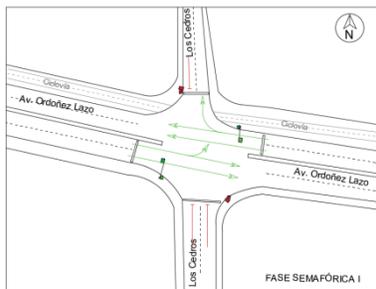
Si el valor  $p$  es menor al nivel de significancia, se concluye que las medias de las poblaciones son diferentes, para tener más detalle en la diferencia entre medias específicas se utiliza el método de comparaciones múltiples como el de Tukey. Para demostrar que los tiempos perdidos en el arranque varían al momento de colocar el dispositivo semafórico auxiliar, se realizó un ANOVA con el método de Tukey para comparaciones múltiples, en donde las dos poblaciones a comparar corresponden a los tiempos perdidos en el arranque tomados por acceso sin dispositivo y con dispositivo.

Este análisis se realizó mediante el programa Mintab 18, con un nivel de confianza conjunto de 95%, considerando como hipótesis nula que el tiempo perdido en el arranque sin dispositivo es igual al tiempo perdido en el arranque con dispositivo y como hipótesis alternativa que dichos tiempos son diferentes.

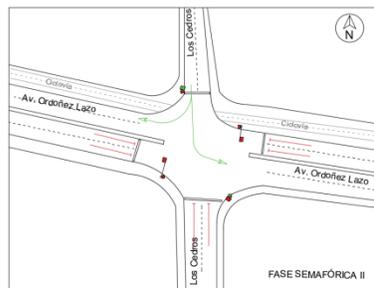
### 3. Resultados

Los resultados expuestos a continuación siguen el orden de la metodología, es por esto, que el resultado de mayor relevancia es la comprobación de la hipótesis referente al aumento en el flujo de saturación producto de la disminución del tiempo perdido en el arranque en el Acceso 1 y Acceso 3.

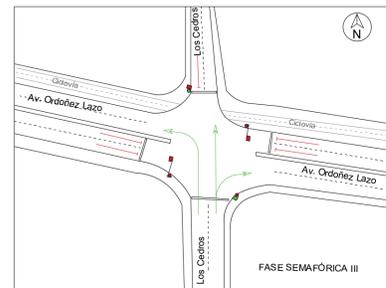
Las fases semafóricas actuales de la intersección semaforizada estudiada se presentan en la Gráfica 4, Gráfica 5 y Gráfica 6.



Gráfica 4: Fase semafórica I



Gráfica 5: Fase semafórica II



Gráfica 6: Fase semafórica III

Los tiempos semafóricos de la intersección a estudiar fueron aportados por la Dirección Municipal de Transito de Cuenca (DMT). El tiempo del ciclo semafórico es de 105 segundos, llegando a la configuración mostrada en la Gráfica 7. De las tres fases que componen el ciclo semafórico, entran en el estudio solamente la Fase I y Fase II.



Gráfica 7: Tiempos del ciclo semafórico.

Posterior a la obtención de los tiempos semafóricos se realizó un conteo de doce horas en cada acceso a estudiar, para conocer el comportamiento del tráfico a lo largo del día. En la Tabla 1 se exponen las horas pico.

Tabla 1: Horas Pico por Acceso

	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
<i>Hora pico mañana</i>	10H00 - 11H00	07H30 - 08H30	07H30 - 08H30
<i>Hora pico tarde</i>	13H00 - 14H00	15H00 - 16H00	12H30 - 13H30

Con los datos obtenidos de este conteo y basados en la metodología de la HCM-2000 [8], se obtuvieron los flujos de saturación indicados en la Tabla 2 y niveles de servicio de cada acceso pertinentes a la Tabla 3.

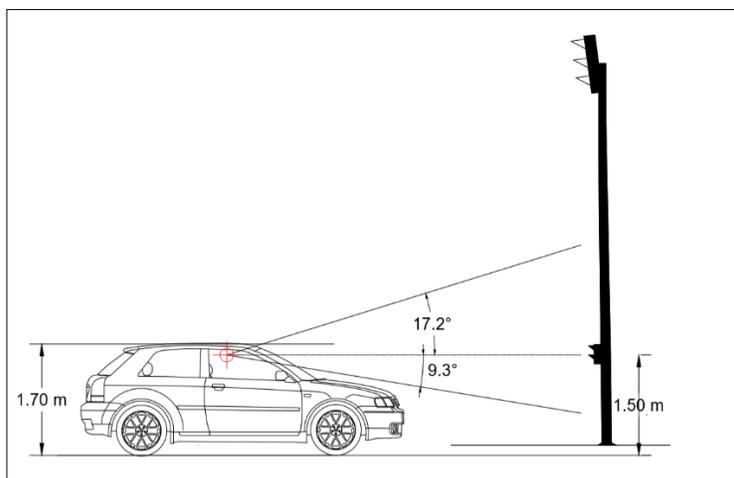
Tabla 2: Flujo de saturación calculado por Acceso.

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
S = 2993	S = 2948	S = 1821

Tabla 3: Nivel de servicio por Acceso

Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
Nivel C	Nivel C	Nivel C

Una vez obtenido el nivel de servicio se procedió al cálculo de la altura a la que se instaló el dispositivo semafórico auxiliar, que fue de 1.50 metros desde la calzada, en base al promedio de alturas de dos vehículos tipo de la marca más usada en el país según clase, datos obtenidos del INEC [10]. Los cuales fueron Chevrolet clase Automóviles y Chevrolet clase Camioneta. La altura de la vista del conductor se pudo determinar que esta aproximadamente de 20 a 30 centímetros por debajo de la altura del vehículo, todo esto se obtuvo mediante una muestra de veinte vehículos aleatorios con un conductor de altura promedio del país [12]. En la Gráfica 8 se muestra una vista lateral de un vehículo de altura promedio y del dispositivo instalado, aparte el campo de visión humano al interior de un vehículo según Victor Alaix [13].



Gráfica 8: Vista lateral de un vehículo de altura promedio a la espera del cambio de fase.

Luego de la instalación del dispositivo se procedió al levantamiento de información en campo en los tres accesos estudiados obteniendo como resultado los valores de la Tabla 4 y Tabla 5.

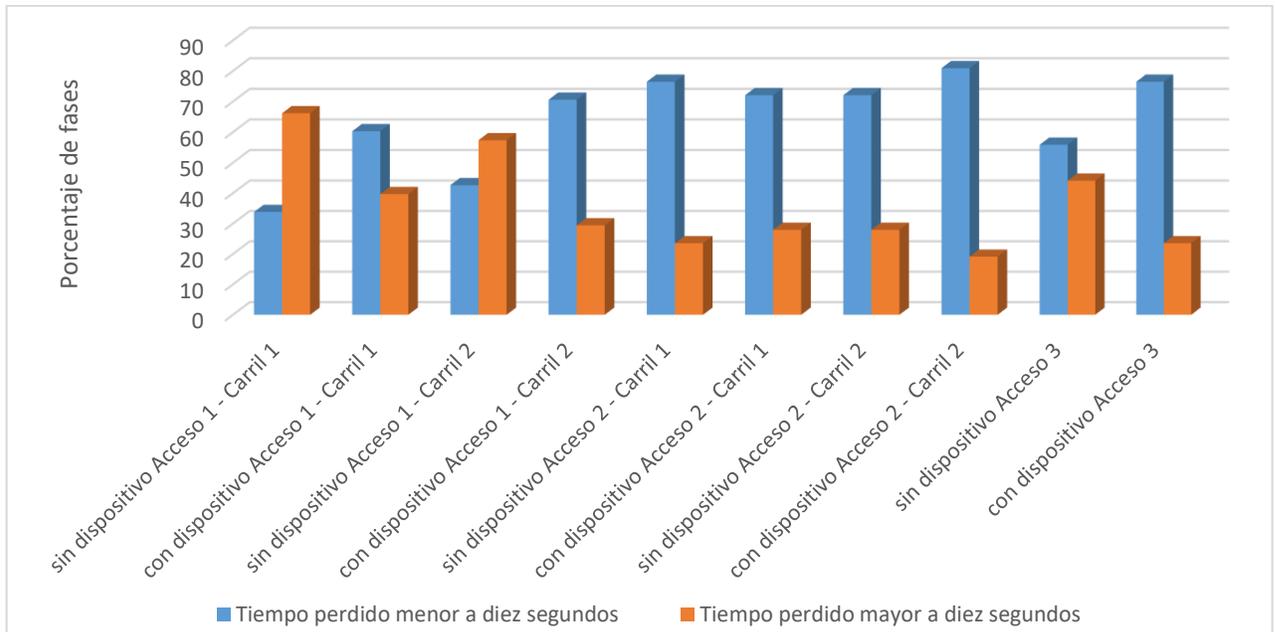
Tabla 4: Promedio de datos tomados en campo.

Intervalo promedio (s/veh)	Acceso 1	Carril 1	2.50
		Carril 2	2.55
	Acceso 2	Carril 1	2.24
		Carril 2	2.30
	Acceso 3	Carril 1	2.19
	Tasa promedio de descarga de la cola. (veh/s)	Acceso 1	Carril 1
Carril 2			0.39
Acceso 2		Carril 1	0.45
		Carril 2	0.44
Acceso 3		Carril 1	0.46
Tiempo que cruza el último vehículo (s)		Acceso 1	Carril 1
	Carril 2		25.61
	Acceso 2	Carril 1	27.69
		Carril 2	27.75
	Acceso 3	Carril 1	33.19
	Vehículos promedio que cruzan en una fase de verde saturado	Acceso 1	Carril 1
Carril 2			11
Acceso 2		Carril 1	13
		Carril 2	13
Acceso 3		Carril 1	16

Tabla 5: Tiempo perdido en el arranque con y sin dispositivo.

Sin dispositivo				Con dispositivo			
Tiempo perdido en el arranque (s)	Acceso 1	Carril 1	10.57	Tiempo perdido en el arranque (s)	Acceso 1	Carril 1	9.36
		Carril 2	10.18			Carril 2	8.9
	Acceso 2	Carril 1	8.72		Acceso 2	Carril 1	8.85
		Carril 2	8.92			Carril 2	8.37
	Acceso 3	Carril 1	10.13		Acceso 3	Carril 1	8.94

Mediante un análisis de los datos obtenidos en campo de tiempo perdido en el arranque se puede determinar de manera gráfica la variación de dichos tiempos, como se aprecia en la Gráfica 9.



Gráfica 9: Porcentaje de fases que tienen un tiempo perdido en el arranque menor y mayor a 10 segundos

De acuerdo a los datos de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los porcentajes de ganancia de los tiempos perdidos en el arranque con el dispositivo semafórico instalado se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6: Porcentaje de Ganancia de Tiempo Perdido en el Arranque con Dispositivo

Acceso 1		Acceso 2		Acceso 3
Carril 1	Carril 2	Carril 1	Carril 2	Carril 1
11.4%	12.6%	0%	6.2%	11.7%

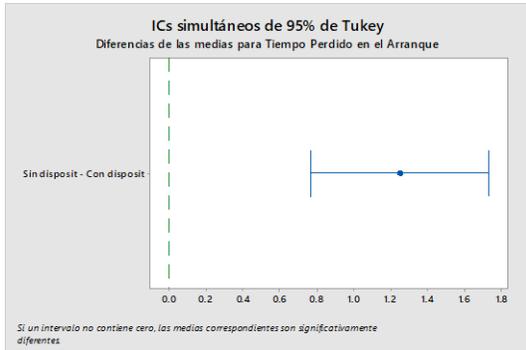
El número de vehículos que cruzan si se considera una variación del tiempo perdido en el arranque, sería el producto del flujo de saturación en vehículos/segundo y la ganancia del tiempo perdido en el arranque ( $\Delta t$ ), es decir, al aumentar el tiempo de verde con flujo ( $g^*$ ) se obtiene la ganancia de vehículos en flujo de saturación. De acuerdo al modelo de la Gráfica 3 se calculó el aumento del área del rectángulo obteniendo los resultados de la Tabla 7.

Tabla 7: Porcentajes de Aumento del Flujo de Saturación

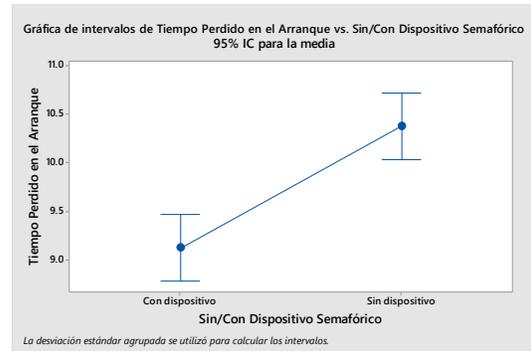
		Ganancia de vehículos hora de verde con flujo.	Porcentaje de aumento del flujo de saturación
Acceso 1	Carril 1	102	7.1%
	Carril 2	108	7.7%
Acceso 2	Carril 1	0	0.0%
	Carril 2	45	2.9%
Acceso 3	Carril 1	82	5.0%

Se pudo comprobar la disminución de tiempos en el Acceso 1 y Acceso 3, lo mismo que se pudo traducir en un aumento en el flujo de saturación con base en el modelo planteado.

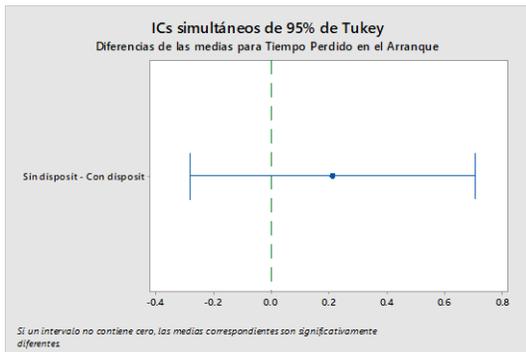
Finalmente, para demostrar que los tiempos perdidos en el arranque varían al momento de colocar el dispositivo semafórico auxiliar, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el método de Tukey para comparaciones múltiples, en donde las dos poblaciones a comparar corresponden a los tiempos tomados por acceso sin dispositivo y con dispositivo. Desde la Grafica 10 hasta la Grafica 15 se muestran los resultados del ANOVA realizado en Mintab 18.



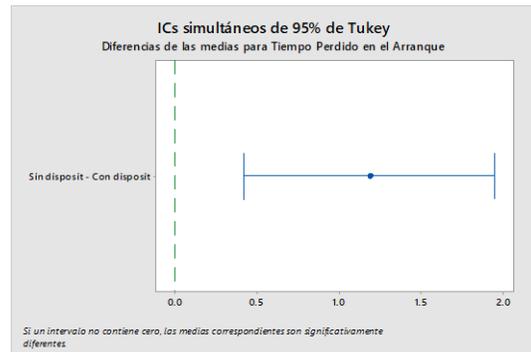
Gráfica 10: ICs simultáneos de 95% de Tukey, Acceso 1



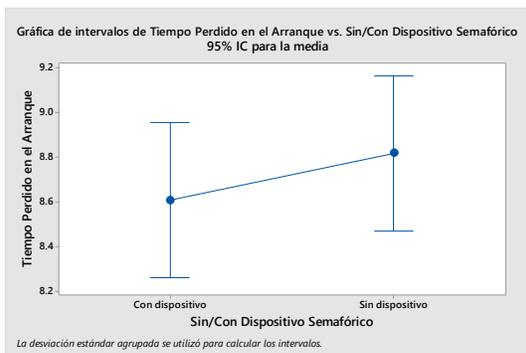
Gráfica 11: Tiempo perdido en el arranque Vs. Sin/Con dispositivo semafórico, Acceso 1



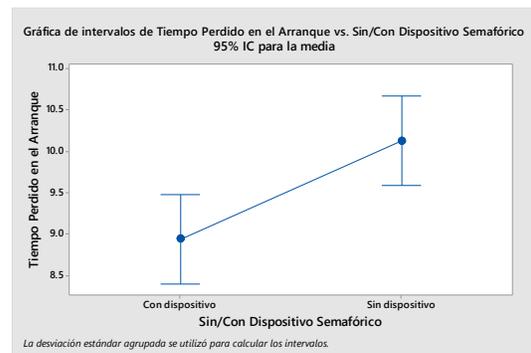
Gráfica 12: ICs simultáneos de 95% de Tukey, Acceso 2



Gráfica 14: ICs simultáneos de 95% de Tukey, Acceso 3



Gráfica 13: Tiempo perdido en el arranque Vs. Sin/Con dispositivo semafórico, Acceso 2



Gráfica 15: Tiempo perdido en el arranque Vs. Sin/Con dispositivo semafórico, Acceso 3

Según los datos obtenidos de Mintab 18 para el Acceso 1 el valor de  $p$  es igual a 0.000, menor al nivel de significancia, por lo que se puede afirmar que el tiempo perdido en el arranque sin dispositivo es mayor al tiempo perdido en el arranque con dispositivo, mientras que el valor de  $R$ -cuadrado igual a 8.73% indica que se necesita más información muestral. Para el Acceso 2 el valor de  $p$  es igual a 0.403, mayor al nivel de significancia, por lo que podemos decir que no hay evidencia estadística para afirmar que el tiempo perdido en el arranque sin dispositivo es diferente al tiempo perdido en el arranque con dispositivo, mientras que el valor de  $R$ -cuadrado igual a 0.26% indica que se necesita más información muestral. Y finalmente en el Acceso 3 el valor de  $p$  es igual a 0.003, menor al nivel de significancia, por lo que se puede afirmar que el tiempo perdido en el arranque sin dispositivo es mayor al tiempo perdido en el arranque con dispositivo, mientras que el valor de  $R$ -cuadrado igual a 6.57% indica que se necesita más información muestral.

#### 4. Discusión / Conclusiones

Para lograr de cierta manera pronosticar el comportamiento del tráfico en una infraestructura vial determinada y con ciertas condiciones de señalización, circulación y operación, es necesario basarse en hipótesis y modelos matemáticos que logren en lo más exacto cuantificar las características del tráfico. Se consideró necesario que los datos comparados sean los promedios de 68 ciclos semafóricos, para comparar parámetros que son muy particulares, antes y después de instalar el dispositivo semafórico auxiliar. También se debe mencionar que el proceder del tránsito, en cualquier momento del día, se deba a situaciones muy individuales y aleatorias lo que hace muy difícil definir parámetros como intervalos, flujos de saturación o tiempos para ser comparados unos con otros, con la metodología existente.

El "*Modelo Básico de Flujo de Saturación*" explicado en el libro Ingeniería de Transito, Fundamentos y Aplicaciones de Cal & Mayor [9] no contempla el tiempo perdido en el arranque como variable del flujo de saturación, por esta razón se realizó el análisis de los datos en base a un modelo diferente, pero con los mismos principios, donde el tiempo perdido en el arranque es un factor fundamental que afecta directamente el flujo de saturación.

Al analizar la ganancia de vehículos que cruzan en fase de verde saturado, se puede asociar los resultados por carril para dar una lectura por cada acceso estudiado, ya que cada uno tiene características diferentes. En el caso del Acceso 1, correspondiente a la Av. Ordoñez Laso E-O (vía arterial) se observa una disminución similar en ambos carriles, por ende, la ganancia de vehículos también es similar, obteniendo una ganancia total de 210 vehículos, en una hora de verde con flujo. En el Acceso 2, correspondiente a la Av. Ordoñez Laso O-E (vía arterial), también se pueden asociar los resultados por carriles para analizar los resultados menos favorables en ganancia de vehículos, se piensa que esta mínima reducción de tiempos, a comparación con los otros accesos, se debe al semáforo peatonal con contador inverso que ayuda a anticipar el cambio de color del semáforo, es por esto que la ganancia es la menor de todos los accesos con un total de 45 vehículos, en una hora de verde con flujo. Finalmente, en el Acceso 3 que corresponde al único carril de la calle Los Cedros N-S (vía colectora) los resultados son favorables con una ganancia de tiempo perdido en el arranque similar al Acceso 2 y una ganancia de 82 vehículos en una hora de verde con flujo.

Con los resultados obtenidos por acceso se usó un análisis de varianza, mismo que arrojó como resultado que no existe una mejora de tiempos en el Acceso 2. También es necesario ampliar la información muestral de todos los accesos debido a que se recomienda un valor de  $R^2 \geq 60\%$ .

Se considera necesario más investigación sobre el efecto de los dispositivos semafóricos auxiliares en la disminución de tiempos, ya que la evidencia estadística dice que el tamaño de la muestra es insuficiente. Finalmente, la hipótesis planteada se afirma para el Acceso 1 y Acceso 3, mientras que en Acceso 2 no hubo cambio en el tiempo perdido en el arranque.

### Referencias:

- [1] Municipalidad de Cuenca, *Plan de movilidad de Cuenca 2015-2025*. 2015.
- [2] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, *AMPLIACIÓN DE LA AV. ORDOÑEZ LASSO*. 2010.
- [3] Organización Mundial de la Salud OMS, "Uso del celular al volante: Un problema creciente de distracción del conductor," *Anim. Genet.*, vol. 39, no. 5, pp. 561–563, 2008.
- [4] F. Rogelez, "Sistema de semaforización inteligente en la ciudad de Bogotá para mejorar los tiempos de recorrido del sistema Transmilenio," *Fac. Ing. Sist.*, pp. 10–29, 2013.
- [5] M. Shawky and A. Al-ghafli, "Start-up delay Estimation at Signalized Intersections : Impact of Left-Turn Phasing Sequences," no. 11, pp. 7–12, 2016.
- [6] V. Hahanov *et al.*, "Cloud Traffic Monitoring and Control," no. September, pp. 244–248, 2013.
- [7] T. Limanond, P. Prabjabok, and K. Tippayawong, "Exploring impacts of countdown timers on traffic operations and driver behavior at a signalized intersection in Bangkok," *Transp. Policy*, vol. 17, no. 6, pp. 420–427, 2010.
- [8] TRB, *Highway Capacity Manual HCM-2000*. EEUU, 2012.
- [9] R. Cal y Mayor and J. Cárdenas, *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones*. 2010.
- [10] INEC, "Anuario de Transporte 2016," 2016. [Online]. Available: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjam-Dn1u3eAhWH1FkKHdbyCfYQFjAEgQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.ecuadorencifras.gob.ec%2Fdocumentos%2Fweb-inec%2Festadisticas\\_Economicas%2Festadistica%2520de%2520Transpo](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjam-Dn1u3eAhWH1FkKHdbyCfYQFjAEgQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.ecuadorencifras.gob.ec%2Fdocumentos%2Fweb-inec%2Festadisticas_Economicas%2Festadistica%2520de%2520Transpo).
- [11] R. Akcelik, *Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis*, vol. 70, no. 6. 1998.
- [12] eLIFE, "A century of trends in adult human height," 2016. [Online]. Available: <https://elifesciences.org/articles/13410>.
- [13] V. G. ALAIX, *Principios sobre Semáforos*, vol. 301, no. 5. 2000.