



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

**Determinación del flujo de saturación ideal para
intersecciones semaforicas en la ciudad de Cuenca,
Ecuador.**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON MENCIÓN EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

Autores:

LUISA MARÍA CASTRO VIVANCO
ROBERTO SEBASTIÁN BERNI GÓMEZ

Director:

ING. PABLO ANDRÉS CARVALLO CORRAL
CUENCA, ECUADOR

2023

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a las personas que me rodean como lo son mis pequeños hijos, a mi amada esposa Luisa que siempre ha estado a mi lado brindándome el afecto en los momentos buenos y malos, que son el pilar fundamental en mi vida y mi motivación y se lo dedico a mi madre que al final de todo si se pudo culminar con éxito ser profesional.

Sebastián Berni

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a mis dos queridos pequeños Romina y Thiago que han sido mi fuente de inspiración, motivación y me han dado las fuerzas necesarias para culminar mi carrera, a mi amado esposo por siempre haber estado ahí para mí, por darme su apoyo incondicional y haberme ayudado cuando más lo necesité, gracias por enseñarme mis tres amores a nunca rendirme a siempre salir adelante por ustedes por nuestra pequeña familia los amo. Dedico también el presente trabajo de titulación a mis queridos papás, gracias a ellos pude culminar mis estudios con éxito.

Luisa Castro

AGRADECIMIENTO

En agradecimiento especial para nuestro director de tesis, el Ing. Pablo Carvallo por guiarnos en el proceso de este proyecto y siempre darnos una mano cuando se necesitó y su amistad. A nuestra prestigiosa Universidad del Azuay, por brindarnos unos excelentes educadores que nos han ayudado a poder ser profesionales de excelencia con valores y principios.

Ing. José Vázquez, Ing. Vanessa Vanegas les agradezco por su comprensión y apoyo que nos brindaron durante nuestros estudios.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	v
ABSTRACT.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. ESTADO DEL ARTE	7
III. METODOLOGÍA	8
IV. RECOLECCIÓN DE DATOS EN CAMPO	11
V. RESULTADOS	13
a) Resultados de la Avenida Huayna Cápac y Avenida 12 de abril	13
b) Resultados de la Avenida Loja y Avenida 12 de abril.....	15
c) Resultados de la Avenida 12 de abril y Avenida Unidad Nacional.....	16
d) Resultados de la Avenida Loja y Avenida Remigio Crespo Toral	18
e) Resultados de la Avenida Pumapungo y Avenida Max Uhle.....	20
f) Resultados finales de la investigación a nivel de las cinco intersecciones	21
VI. CONCLUSIONES.....	22
VII. RECOMENDACIONES.....	22
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Potenciales Intersecciones semafóricas de Cuenca.....	9
Tabla 3.2 Intersecciones semafóricas seleccionadas.....	10
Tabla 5.1 Características de la intersección Avenida Huayna Cápac.....	13
Tabla 5.2 Resumen estadístico Avenida Huayna Cápac.....	14
Tabla 5.3 Flujo de Saturación ideal de la Ave. Huayna Cápac y Ave. 12 de abril.....	14
Tabla 5.4 Características de la intersección Avenida 12 de abril y Avenida Loja.....	15
Tabla 5.5 Resumen estadístico	15
Tabla 5.6 Flujo de Saturación ideal de la Ave. Loja y Ave. 12 de abril	16
Tabla 5.7 Características de la intersección Avenida Unidad Nacional	17
Tabla 5.8 Resumen estadístico	17
Tabla 5.9 Flujo de Saturación ideal de la Ave. Unidad Nacional y Ave. 12 de abril	18

Tabla 5.10 Características de la intersección Avenida Remigio Crespo.....	19
Tabla 5.11 Resumen estadístico	19
Tabla 5.12 Flujo de Saturación ideal de la Ave. Loja y Ave. Remigio Crespo Toral.....	20
Tabla 5.13 Características de la intersección Avenida Max Uhle	20
Tabla 5.14 Resumen estadístico	21
Tabla 5.15 Flujo de Saturación ideal de la Ave. Max Uhle y Ave. Pumapungo.....	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura IV-1 Ubicación de Intersecciones para la investigación.....	12
Figura IV-2 Ubicación de video cámaras en la Avenida 12 de abril y Avenida Loja.	12

Determinación del flujo de saturación ideal para intersecciones semafóricas en la ciudad de Cuenca, Ecuador.

RESUMEN

La estimación del flujo de saturación es crucial para evaluar el rendimiento de una intersección semaforizada. Aunque el HCM sugiere un valor de 1900 veh/hora verde/carril como índice de saturación ideal, este varía según la ciudad y las condiciones locales. Por ello, es importante calibrar esta cifra para nuestro medio. En este estudio, se analizaron 5 intersecciones de vías arteriales en Cuenca, totalizando 1039 ciclos semafóricos, y se obtuvo un headway de saturación promedio de 1.95 segundos. Así, la tasa de flujo de saturación ideal en Cuenca es de 1850 veh/hora verde/carril, inferior a los 1900 veh/hora verde/carril sugeridos por el HCM. La adopción de la cifra del HCM sobreestima la capacidad de las intersecciones semaforizadas en Cuenca y no refleja su nivel de servicio real.

Palabras claves - Flujo de saturación, Flujo de saturación ideal Intersecciones semafóricas, Cuenca.



Ing. Pablo Carvallo Corral

Director del trabajo de titulación



Ing. José Vázquez Calero

Coordinador de Escuela



Roberto Berni Gómez

Autor



Luisa Castro Vivanco

Autor

Determination of the ideal saturation flow for traffic signal intersections in the city of Cuenca, Ecuador.

ABSTRACT

Saturation flow estimation is crucial to evaluate the performance of a signalized intersection. Although the HCM suggests a value of 1900 veh/hour green/lane as the ideal saturation rate, this varies by city and local conditions. Therefore, it is important to calibrate this figure for our environment. In this study, 5 arterial road intersections in Cuenca were analyzed, totaling 1039 traffic signal cycles, and an average saturation headway of 1.95 seconds was obtained. Thus, the ideal saturation flow rate in Cuenca is 1850 veh/green hour/lane, lower than the 1900 veh/green hour/lane suggested by the HCM. The adoption of the HCM figure overestimates the capacity of the signalized intersections in Cuenca and does not reflect their actual level of service.

Key words -Saturation flow, Ideal saturation flow, Traffic signal intersections, Cuenca.



Ing. Pablo Carvallo Corral

Thesis Director



Ing. José Vázquez Calero

Faculty Director



Roberto Berni Gómez

Author



Luisa Castro Vivanco

Author



Determinación del flujo de saturación ideal para intersecciones semaforicas en la ciudad de Cuenca, Ecuador.

Luisa María Castro Vivanco, Roberto Sebastián Berni Gómez,

Pablo Andrés Carvallo Corral

Facultad de Ciencia y Tecnología/Escuela de Ingeniería Civil y Gerencia de Construcciones

ualuchis@es.uazuay.edu.ec, ssebas@es.uazuay.edu.ec,
pacarvallo@uazuay.edu.ec

Resumen – La estimación del flujo de saturación es crucial para evaluar el rendimiento de una intersección semaforizada. Aunque el HCM sugiere un valor de 1900 veh/hora verde/carril como índice de saturación ideal, este varía según la ciudad y las condiciones locales. Por ello, es importante calibrar esta cifra para nuestro medio. En este estudio, se analizaron 5 intersecciones de vías arteriales en Cuenca, totalizando 1039 ciclos semaforicos, y se obtuvo un headway de saturación promedio de 1.95 segundos. Así, la tasa de flujo de saturación ideal en Cuenca es de 1850 veh/hora verde/carril, inferior a los 1900 veh/hora verde/carril sugeridos por el HCM. La adopción de la cifra del HCM sobreestima la capacidad de las intersecciones semaforizadas en Cuenca y no refleja su nivel de servicio real.

Palabras claves - Flujo de saturación, Flujo de saturación ideal Intersecciones semaforicas, Cuenca.

Abstract - Saturation flow estimation is crucial to evaluate the performance of a signalized intersection. Although the HCM suggests a value of 1900 veh/hour green/lane as the ideal saturation rate, this varies by city and local conditions. Therefore, it is important to calibrate this figure for our environment. In this study, 5 arterial road intersections in Cuenca were analyzed, totaling 1039 traffic signal cycles, and an average saturation headway of 1.95 seconds was obtained. Thus, the ideal saturation flow rate in Cuenca is 1850 veh/green hour/lane, lower than the 1900 veh/green hour/lane suggested by the HCM. The adoption of the HCM figure overestimates the capacity of the signalized intersections in Cuenca and does not reflect their actual level of service.

Key words -Saturation flow, Ideal saturation flow, Traffic signal intersections, Cuenca.

I. INTRODUCCIÓN

La medición del flujo de saturación es un indicador clave para evaluar la capacidad del tráfico vial. Según el Highway Capacity Manual, este parámetro se define como la tasa de flujo vehicular que se alcanza en una sección de la vía en la que la velocidad del vehículo se estabiliza debido a la congestión del tráfico. Los métodos utilizados para determinar esta medida de rendimiento se desarrollaron en Estados Unidos de América, específicamente en el Highway Capacity Manual, sin embargo, las condiciones del tráfico en los países en vías de desarrollo suelen ser diferentes. La diferencia surge de la influencia de los siguientes factores:

- Combinación de vehículos: una multitud de diferentes tipos de vehículos, tanto motorizados como no motorizados, con diferentes rendimientos operativos;
- Comportamiento del conductor: mala disciplina en el carril y cumplimiento de las normas de tránsito;
- Transporte público: mezcla variada de tipos de autobuses, lugares de parada y estilos de conducción;
- Actividad al borde de la carretera: uso del suelo al borde de la carretera que genera estacionamiento y actividades no relacionadas con el transporte que reducen el ancho efectivo de la carretera.

Debido a estas diferencias fundamentales, las relaciones estándar para predecir los valores de los flujos de saturación, el tiempo perdido, utilizadas en Estados Unidos de América, no son apropiadas para los países en vías de desarrollo. Para un diseño correcto de la señal semafórica, estos parámetros deben estimarse en función de las condiciones de tráfico predominantes locales y, por lo tanto, requieren un enfoque diferente para el análisis.

El flujo de saturación es una medida de rendimiento macro de la operación de intersección. Es una indicación de la capacidad potencial de una intersección cuando opera bajo condiciones 'ideales'.

Los semáforos son dispositivos de control de tráfico utilizados para el manejo y gestión del flujo de tráfico a través de las intersecciones de forma eficiente y segura. Así sea para el diseño de nuevos planes de semaforización o ya sea para el análisis operacional de los existentes (para determinar el nivel de servicio), los ingenieros de tráfico necesitan una estimación precisa de la capacidad de las vías.

Según el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), la capacidad se define como "la máxima tasa de flujo de vehículos que pueden pasar por una sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado" (IMT, 2018, p. 3-3). Además, se menciona que este intervalo de tiempo suele ser de 15 minutos y que la capacidad puede verse afectada por diversos factores como el tipo de vehículos, el estado de la carretera, el clima, entre otros.

Capacidad se calcula de la siguiente forma (Ecuación 1):

$$c = s \cdot \frac{g}{C}$$

Donde:

c= Capacidad del acceso o grupo de carriles (Veh/hora)

s=Flujo de saturación del acceso o grupo de carriles (veh/hora verde).

g= Tiempo de verde efectivo para el acceso o grupo de carriles (s).

C= Longitud del ciclo del semáforo (s).

Por lo tanto, la tasa de flujo de saturación (s) es un parámetro básico utilizado para determinar la capacidad de una intersección semafórica. El Highway Capacity Manual (HCM) define la tasa de flujo de saturación, como la tasa equivalente por hora a la que los vehículos previamente en cola pueden cruzar una intersección en las condiciones existentes, suponiendo que la señal verde está disponible en todo momento y no se pierde tiempo (TRB, 2010). La tasa de flujo de saturación puede estimarse en campo midiendo el headway de saturación promedio y luego calculándolo mediante la siguiente ecuación (Ecuación 2)

$$s = \frac{3600}{\bar{h}_{sat}}$$

Donde:

s = Flujo de saturación del acceso o grupo de carriles (veh/hora verde).

\bar{h}_{sat} = Headway de Saturación (s).

El headway de saturación es el paso medio (intervalo de tiempo en segundos) entre vehículos que se produce después del cuarto vehículo de la cola y que continua hasta que el ultimo vehículo de la cola inicial despeja la intersección (TRB, 2010).

Sin embargo, muchos ingenieros optan por seguir el procedimiento establecido en el HCM para estimar la tasa de flujo de saturación utilizando la ecuación (Ecuación 3):

$$s = s_o \cdot N \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_L \cdot f_R \cdot f_{Lpb} \cdot f_{Rpb}$$

Donde:

s= Tasa del flujo de saturación (veh/hora verde).

s_o = Tasa de saturación ideal por carril, generalmente 1900(autos/hora verde/carril).

N= Número de carriles del grupo.

f_w = Factor de ajuste por el ancho del carril.

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

f_g =Factor de ajuste por pendiente del acceso.

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

f_{bb} = Factor de ajuste por bloqueo de buses que paran en el área de la intersección.

f_a = Factor de ajuste para el tipo de área.

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

f_L = Factor de ajuste para giros a la izquierda.

f_R = Factor de ajuste para giros a la derecha.

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

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

El Highway Capacity Manual (HCM) presenta una serie de factores de ajuste para la evaluación de intersecciones semaforizadas para corregir la capacidad de la intersección en función de las condiciones específicas de la misma, lo que permite una evaluación más precisa del rendimiento de la intersección.

El factor de ajuste por ancho de carril (f_w) del HCM se utiliza para ajustar la capacidad de una intersección semaforizada en función del ancho de los carriles de la vía que la compone. Según el manual, cuanto más ancho sea el carril, mayor será la capacidad de la intersección. Si el ancho de carril está entre 3.05 m y 3.93 m el factor f_w es de 1.00, si el ancho de carril es superior a 3.93 m el factor f_w es de 1.04, finalmente para ancho de carril inferior a 3.05 m el valor del factor f_w es 0.96 (TRB, 2010).

El factor de ajuste por vehículos pesados (f_{Hv}) según el Highway Capacity Manual (HCM) se utiliza para tener en cuenta el impacto que los vehículos pesados, como camiones y autobuses, tienen en la capacidad de la intersección. Dicho factor se lo puede obtener de la siguiente manera:

$$f_{Hv} = \frac{100}{100 + PHv(Et - 1)}$$

Donde:

PHv= Porcentaje de vehículos pesados en el correspondiente grupo.

Et= Numero equivalente de vehículos livianos a un vehículo pesado=2.

El factor de ajuste por pendiente del acceso, denotado como f_g en el HCM, se utiliza para corregir la capacidad de la intersección en función de la pendiente del acceso a la misma. Este factor de ajuste se expresa en términos de porcentaje de la pendiente del acceso, y se utiliza para reducir la capacidad de la intersección en pendientes pronunciadas. Los valores para este factor se calculan con la siguiente fórmula:

$$f_g = 1 - \frac{Pg}{200}$$

Donde:

Pg= Porcentaje de pendiente del acceso, correspondiente al grupo de movimientos.

El factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles según el

Highway Capacity Manual (HCM) se utiliza para corregir la capacidad de la intersección en función de la presencia de estacionamiento adyacente a los carriles de la intersección. Este factor de ajuste se representa por "fp" y se expresa como un porcentaje que varía según la cantidad y tipo de estacionamiento adyacente.

Según el HCM, los valores de "fp" se calculan utilizando la siguiente ecuación:

$$fp = \frac{N_i - 0.1 - \frac{18 * Nm}{3600}}{N_i} \geq 0.050$$

Donde:

Ni= Número de carriles del grupo i.

Nm= Número de vehículos que paran

El factor de ajuste por bloqueo de buses que paran en el área de la intersección según el Highway Capacity Manual (HCM) se refiere a la reducción de la capacidad de la intersección debido a la presencia de autobuses que se detienen en la zona de la intersección. Este factor de ajuste se denota como "fbb" y se puede obtener de la siguiente manera (TRB, 2010) :

$$fbb = \frac{N_i - \frac{14.4 * Nb}{3600}}{N_i} \geq 0.050$$

Donde:

Ni= Número de carriles del grupo i.

Nb= Número de vehículos que paran.

El HCM utiliza el factor de ajuste "fLu" para tener en cuenta la utilización de carriles en grupos de carriles con más de un carril y donde la demanda no es igual en cada carril. Los valores de este factor se determinan mediante la siguiente fórmula:

$$fLu = \frac{Vi}{V1(Ni)}$$

Donde:

Vi= Volumen de demanda del grupo de carriles i.

V1= Volumen de demanda del carril con el volumen más alto del grupo de carriles i.

Ni= Número de carriles del grupo i.

El HCM presenta dos factores de ajuste para la evaluación de giros en intersecciones semaforizadas: el factor de ajuste para giros a la izquierda (fL) y el factor de ajuste para giros a la derecha (fR). Estos factores se utilizan para corregir la capacidad del carril de giro correspondiente en función de las condiciones específicas de la intersección (TRB, 2010).

$$fL = \frac{1}{1 + 0.05Pl}$$

$$fR = 1.0 - 0.15Pr$$

Donde:

Pl= Proporción de giros a la izquierda en el grupo de carriles.

Pr= Proporción de giros a la derecha en el grupo de carriles.

Para carriles exclusivos con giro a la izquierda el factor fL es de 0.95.

Para carriles exclusivos con giro a la derecha el factor fL es de 0.85.

El factor de ajuste por bloqueo de peatones y bicicletas en giros a la izquierda y en giros a la derecha, denotado como "fPBL" y "fPBR" respectivamente, se utilizan para corregir la capacidad de la intersección en función de la interferencia de los peatones y ciclistas con los vehículos que giran. Estos factores de ajuste se calculan utilizando una ecuación específica que tiene en cuenta el volumen de peatones y ciclistas que atraviesan la intersección y el número de carriles afectados por su presencia.

El factor de ajuste por tipo de área, denotado como "fa", se utiliza para considerar las características de la zona en la que se encuentra la intersección. La ecuación específica para calcular este factor de ajuste varía según el tipo de área y se detalla en el Capítulo 17 del Highway Capacity Manual (HCM). Los diferentes tipos de área incluyen:

- Área comercial (CA)
- Área residencial (RA)

Para un área residencial el valor del factor "fa" es de 1 y para un área comercial adopta el valor de 0.9 (TRB, 2010).

El HCM sugiere un valor de la tasa de flujo de saturación ideal de 1900 (veh/hora verde/carril). Sin embargo, este valor debería ser calibrado para las condiciones locales. Esto se debe principalmente a la cultura y conducta de los conductores, características físicas y geométricas de la vía, clima los cuales pueden influir directamente. El HCM hace hincapié en la necesidad de adaptar los valores medidos localmente fuera de los Estados Unidos (TRB, 2010).

El objetivo de esta investigación es resumir el procedimiento llevado a cabo y los resultados alcanzados en la medición de la tasa de flujo de saturación base en campo para algunas intersecciones semafóricas relevantes en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Esto ayudara a los ingenieros locales a estimar mejor la tasa de flujo de saturación, la capacidad de las intersecciones semafóricas y niveles de servicio de Cuenca, Ecuador. En última instancia esto permitirá mejorar la funcionalidad de los semáforos y reducirá los retrasos para los vehículos.

II. ESTADO DEL ARTE

Varios investigadores han manifestado la importancia de la estimación de la tasa de flujo de saturación en condiciones locales de tráfico y de condiciones de vía.

En Ecuador no se tiene hasta el momento un valor propio de la tasa de flujo de saturación ideal, por lo cual se adopta valores propuestos por la HCM.

El valor de flujo de saturación según López V. es el valor del flujo por carril en el cual los vehículos pueden pasar a través de una intersección semafORIZADA partiendo de una cola en movimiento. Es decir, el valor de flujo de saturación representa el número de vehículos por hora por carril que pueden pasar a través de una intersección si el tiempo de luz verde estuviera disponible durante toda la hora y el flujo de los vehículos no fuese interrumpido. La determinación de la tasa de flujo de saturación ideal es importante para medir a nivel microscópico el rendimiento operacional de una intersección. Es un indicador de la capacidad potencial de una intersección bajo condiciones ideales. Las condiciones ideales de acuerdo a (TRB, 2010) son las siguientes:

- Ancho de carril de 3.6 m.
- No presencia de vehículos pesados.
- Pendiente de acceso nivelada.
- No obstruir el paso ya sea por peatones o ciclistas.
- No estacionamiento adyacente al carril dentro de 75 m de la línea de detención.
- No hay influencia por los vehículos que giran tanto a la derecha como a la izquierda en el otro carril de aproximación.

El primer semáforo fue instalado en Westminster, Inglaterra en el año 1868. El desarrollo natural del tráfico llevó a que se pasará de la operación manual de los semáforos, a semáforos automáticos de tiempo fijo por los años 1918. El primer estudio importante sobre la tasa de flujo de saturación fue realizado por Bruce Greene Shields en 1940 y se obtuvo una tasa media de flujo de saturación de 1714 vehículos por hora verde por carril (veh/hora verde/carril) y un tiempo perdido de arranque de 7,3 segundos. En las últimas décadas, muchos investigadores han realizado estudios en este contexto. Varias ediciones del Highway Capacity Manual han abordado esta cuestión. Razones como los cambios en el comportamiento del tráfico y las dimensiones físicas de los vehículos en cada país han hecho que se siga prestando atención a este importante parámetro del tráfico en varios países. En la actualidad el Highway Capacity Manual utiliza un valor de tasa de flujo de saturación de 1900 veh/hora verde/carril.

La investigación realizada por J. McMahon en 1997 en las ciudades del sur de Florida, EE.UU tuvo como resultado un valor de 1660 veh/hora verde/carril, la principal conclusión de dicha investigación fue que el flujo de saturación tiende a ser mayor a medida que el número de carriles sea mayor, independiente de las diferencias geográficas (McMahon, Krane, & Federico, 1997). Dunlap en el 2005 en una investigación en Pennsylvania, EE UU determinó que la tasa de flujo de saturación ideal media era de 1701 veh/hora verde/carril (Dunlap, 2005). En el 2011 en China Shao et al. Informaron sobre las tasas de flujo de saturación de 18 ciudades, utilizando cámaras de video y mediciones de campo en donde determinaron que el flujo de

saturación ideal es de 1800 veh/hora verde/ carril, la cual posteriormente se adopte este valor en China (Shao et al., 2011). A nivel de Latinoamérica investigaciones realizadas en Colombia, en el 2019 y en Perú en el 2018, utilizaron la metodología del HCM 2010 para determinar la tasa de flujo de saturación de la ciudad de Tunja, Colombia y Lima, Perú. Para el caso de Tunja, Colombia los resultados de la investigación arrojó como resultado un valor de 1740 veh/hora verde/carril (Vargas, 2019). Por otro lado, los resultados obtenidos en Lima fueron de 1626 veh/hora verde/carril (Torres& Alvarado,2018).Con estos valores implementaron mecanismos y estrategias para mejorar el tráfico de dichas ciudades.

III. METODOLOGÍA

La metodología para la determinación del flujo de saturación ideal para la ciudad de Cuenca, Ecuador, está compuesta en 3 fases las cuales fueron definidas a partir de revisión literaria relacionada en estudios realizados con anterioridad en diversos países, de igual manera para la determinación de cuáles serán las vías para el levantamiento de muestras en campo se utilizó una matriz de decisión con factores que se les considero importantes para el muestro de la presente investigación. Finalmente, se utilizó la metodología propuesta por el Highway Capacity Manual(TRB, 2010)

Fase 1: Estadística descriptiva para determinar número mínimo de muestras en campo.

Se debe establecer el tamaño mínimo de la muestra, el cual signifique que es un flujo de saturación representativo de todos los accesos e intersecciones semafóricas similares al observado y en condiciones análogas a las del día que se observaron. Ya que es imposible observar toda la población de accesos de interés, lo que se hace es observar una parte de la población denominada muestra, cuyas características de la muestra se inducen en este caso las características de la población. El tamaño mínimo de la muestra se puede establecer mediante la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ minimo de observaciones} = \left(\frac{\text{Constante } Z \cdot \text{Desviación estandar}}{\text{Error maximo permisible}} \right)^2$$

Donde:

Constante Z= 1.96, tomando un nivel de confianza del 95%

Desviación estándar= 140 veh/h

El valor de 140 veh/h en la desviación estándar es un parámetro típico establecido en 1991 por el Instituto de Ingenieros de Transporte (Institute of Transportation Engineers) el cual permite establecer un rango de dispersión permisible en los valores de flujo de saturación.

Por otro lado, el número de mínimo de observaciones es inversamente proporcional al error máximo permisible, es decir si se utiliza un error máximo permisible muy pequeño se obtendrá un número total de muestras considerablemente grande. Para la

presente investigación se utilizó un valor de 50 vehículos el cual fue establecido anteriormente para estudios similares por el Instituto de Ingenieros de Transporte.

Fase 2: Selección de Intersecciones Semafóricas.

Para realizar la investigación se debe aclarar cuales son las potenciales vías arteriales dentro de la ciudad de Cuenca. Para escoger las vías idóneas se estableció una matriz de decisión la cual como resultado arrojó las 5 intersecciones a utilizar en la investigación.

Los criterios para seleccionar las intersecciones de muestra que se emplearan en la presente investigación son los siguientes:

- Ancho de carril de 3.60 m.
- No hay parqueo adyacente al carril dentro de 75 metros de la línea de detención.
- No presencia de vehículos pesados.
- No hay influencia por los vehículos que giran tanto a la derecha como a la izquierda en el otro carril de aproximación.
- No influencia de circulación de peatones o bicicletas.
- La pendiente de aproximación sea nivelada.
- Colas de descarga de al menos 6 vehículos.

En la Tabla 3.1, se observa las potenciales intersecciones para realizar la investigación.

Tabla 3.1 Potenciales Intersecciones semafóricas de Cuenca.

	Intersección
1	Av. 12 de abril y Av. Loja
2	Av. 12 de abril y Av. Unidad Nacional
3	Av. Pumapungo y Av. Max Uhle
4	Av. Remigio Crespo Toral y Av. Loja
5	Av. 12 de abril y Av. Huayna Cápac
6	Av. 10 de agosto y Av. Francisco Moscoso
7	Av. 10 de agosto y Av. Ricardo Muñoz Dávila
8	Av. De las Américas y Av. Héroes de Verde loma
9	Av. De las Américas y Av. Loja
10	Av. Don Bosco y Av. 12 de octubre
11	Av. Don Bosco y Av. Loja
12	Av. Gil Ramírez Davalos y Av. Elia Liut
13	Av. Gil Ramírez Davalos y Av. Turuhuayco
14	Av. González Suarez y Av. Los Andes

15	Av. Guapondelig y Av. González Suarez
16	Av. Guapondelig y Av. Hurtado de Mendoza
17	Av. Hurtado de Mendoza y Av. Los Andes
18	Av. Loja y Av. 10 de agosto
19	Av. Ordoñez Lasso y Av. De los Cerezos
20	Av. Primero de Mayo y Av. 12 de octubre
21	Av. Remigio Crespo Toral y Av. Ricardo Muñoz Dávila
22	Av. Primero de mayo y Av. Loja

Fuente: Autores.

Después de asignar los puntajes respectivos a dichas intersecciones queda como resultado final las cinco intersecciones semafóricas las cuales se realizará la investigación en campo como se observa en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Intersecciones semafóricas seleccionadas.

	Intersección
1	Av. 12 de abril y Av. Loja
2	Av. 12 de abril y Av. Unidad Nacional
3	Av. Pumapungo y Av. Max Uhle
4	Av. Remigio Crespo Toral y Av. Loja
5	Av. 12 de abril y Av. Huayna Cápac

Fuente: Autores.

Fase 3: Implementación de la metodología propuesta por el HCM

Una vez escogidas las intersecciones de la muestra, se colocaron cámaras de grabación de video en cada intersección para grabar los carriles de estudio.

El marco temporal es decir la hora y fecha que se realizaron las grabaciones de video fue en días laborables en donde no se presentaron alteraciones meteorológicas, ni acontecimientos especiales.

Tras obtener todas las grabaciones de video de cada intersección necesarias para el estudio, se extrajo la siguiente información de las grabaciones de video:

- El número de vehículos en cola.
- El número de vehículos pesados (Buses y camiones) en cola.

- El tiempo de descarga de la cola, que se mide cuando el cuarto vehículo de la cola pasa la línea de detención tras el inicio del intervalo verde y hasta que el último vehículo de la cola inicial cruza la línea de detención.
- El número de vehículos que realiza algún tipo de giro.

Ya una vez recabada toda esta información, se ha calculado el headway de saturación de cada ciclo mediante:

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

Donde:

hsat= headway de saturación promedio (s).

T= Tiempo de descarga de la cola (s).

N= Numero de vehículos en movimiento en la cola menos los tres vehículos al principio de la cola.

Para tener en consideración la presencia de vehículos pesados (Buses y camiones) se utilizó un factor equivalente a vehículo liviano de 1.98, para convertir el tráfico mixto con vehículos pesados en tráfico de vehículos livianos únicamente (Andrade, M &Díaz, G, 2019).

Por último, se calculó la tasa de flujo de saturación base mediante la ecuación 2.

Una vez obtenido los resultados de tasa de flujo de saturación se procede a igualar la ecuación 2 y la ecuación 3 con el objetivo de obtener la tasa de flujo de saturación ideal (so) tomando en cuenta los factores de ajuste antes mencionados en la ecuación 3.

Como resultado tenemos la siguiente expresión (Ecuación 4):

$$s_o = \frac{3600}{\bar{h}_{sat}} \cdot \frac{1}{N \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_L \cdot f_R \cdot f_{Lpb} \cdot f_{Rpb}}$$

IV. RECOLECCIÓN DE DATOS EN CAMPO

Para medir la tasa de flujo de saturación en una intersección semafórica, se parte de la base de las 5 intersecciones semafóricas en Cuenca seleccionadas como se mencionó anteriormente.

La figura 4.1 muestra la ubicación de los lugares de estudio. Estas intersecciones tienen colas largas durante largos periodos de tiempo, especialmente en horas punta. Todos los datos se registraron durante días laborables durante el periodo comprendido entre octubre de 2022 y noviembre de 2022. Los datos de tráfico se recogieron a través de video y se esperaba que cada registro de video capturara todos los movimientos posibles: movimientos de giros (izquierda y derecha) y movimientos de paso. Lo ideal

es que la cámara se coloque de tal manera que permita ver el inicio y final de cada fase semafórica y la línea de detención del carril.

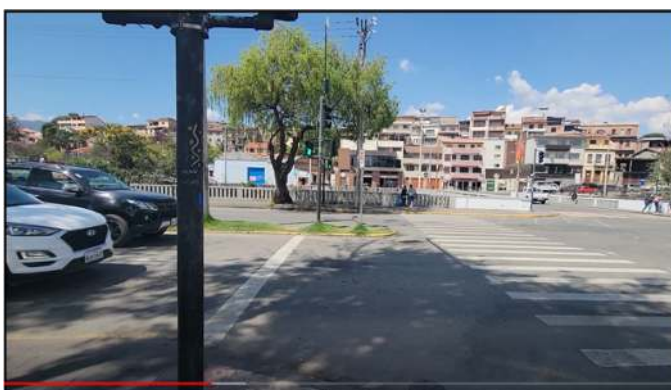
Figura IV-1 Ubicación de Intersecciones para la investigación.



Fuente: Google Earth (2023).

La figura 4.2 muestra la ubicación estratégica de las cámaras de grabación de video utilizadas para la recolección de datos necesarios en la intersección semafórica Ave. 12 de abril y Ave. Loja. La figura 4 es una captura de pantalla tomada de una de las grabaciones de video en la misma intersección antes mencionada. En algunos casos era imposible visualizar el final de la cola, por lo que se supuso que el final de la cola se producía cuando había una gran diferencia de tiempo entre dos vehículos consecutivos del mismo carril.

Figura IV-2 Ubicación de video cámaras en la Avenida 12 de abril y Avenida Loja.



Fuente: Autores.

Como se había mencionado anteriormente era necesario al menos 30 ciclos validos por carril de cada acceso para que la muestra sea representativa de cada carril.

V. RESULTADOS

Se observó un total de 1039 ciclos para esta investigación. Dentro de las características principales como era de esperarse se iba a observar una composición de tráfico mixto es decir la presencia de vehículos livianos, pesados y buses. En cuanto a valores podemos recalcar que se observaron un total de 6445 vehículos de los cuales 6264 eran vehículos livianos, 134 eran vehículos pesados y un total de 47 eran buses.

A partir de los ciclos validos se procedió a medir el tiempo de descarga de la cola (T).

A continuación, se utilizó la ecuación 2 para el cálculo de la tasa de flujo de saturación.

Posteriormente se realizó un análisis estadístico de cada carril para comprobar de que la desviación estándar era menor o igual a 140 vehículos.


a) Resultados de la Avenida Huayna Cápac y Avenida 12 de abril

Inicialmente, la intersección contaba con tres accesos, cada uno con dos carriles y características variables como la pendiente y el ancho de carril. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada acceso antes de la aplicación de los factores de ajuste.

En los accesos de la Avenida Huayna Cápac, se registró una media del valor de flujo de saturación de 1526 veh/hora verde y 1514 veh/hora verde, respectivamente. Para los accesos desde la Avenida 12 de abril hacia el Hospital Vicente Corral Moscoso, se obtuvo una media del valor de flujo de saturación de 1637 veh/hora verde y 1624 veh/hora verde.

Finalmente, en los accesos desde el Hospital Vicente Corral Moscoso hacia la Avenida 12 de abril, se registró una media del valor de flujo de saturación de 1674 veh/hora verde y 1710 veh/hora verde.

Tabla 5.1 Características de la intersección Avenida Huayna Cápac

 Avenida Huaynacapac	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO E-W CARRIL INTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO E-W CARRIL EXTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO N-S CARRIL INTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO N-S CARRIL EXTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO W-E CARRIL INTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO W-E CARRIL EXTERNO
Ancho carril(m)	3.30	3.35	2.9	2.9	3.5	3.5
Pendiente(°)	-3	-3	6	6	0	0

Fuente: Autores.


Tabla 5.2 Resumen estadístico Avenida Huayna Cápac

<i>Resumen estadístico</i>						
	Acceso EW 1	Acceso EW 2	Acceso WE 1	Acceso WE 2	Acceso NS 1	Acceso NS 2
Media	1673.94286	1709.75	1636.90909	1623.96875	1525.87097	1514.03125
Error típico	13.3778283	14.6139847	16.9590284	14.921737	14.6964074	14.586884
Mediana	1685	1716.5	1627	1641.5	1516	1513.5
Moda	1776	1602	1559	1726	1478	1509
Desviación estándar	✓ 79.1443	✓ 82.66918	✓ 97.4222	✓ 84.41009	✓ 81.82613	✓ 82.51588
Varianza de la muestra	6263.82017	6834.19355	9491.08523	7125.06351	6695.51613	6808.86996
Curtosis	-1.10336274	-1.11659555	-1.62572495	-1.34932445	-1.29219743	-1.55478403
Coeficiente de asimetría	-0.25463998	0.13117451	0.17798176	-0.14832157	0.02456067	0.06850346
Rango	269	272	277	264	250	236
Mínimo	1520	1589	1511	1480	1399	1396
Máximo	1789	1861	1788	1744	1649	1632
Suma	58588	54712	54018	51967	47302	48449
Cuenta	35	32	33	32	31	32
Nivel de confianza(95.0%)	27.1870181	29.8054183	34.5444104	30.4330832	30.0140681	29.7501462

Fuente: Autores.

Una vez determinados los valores correspondientes de los flujos de saturación de cada carril, se aplicó la Ecuación 4 para calcular el flujo de saturación ideal de cada carril, acceso y finalmente el valor representativo de la intersección, estimando un valor de 1859 veh/hora verde/carril para esta intersección.

Tabla 5.3 Flujo de Saturación ideal de la Ave. Huayna Cápac y Ave. 12 de abril

 Avenida Huaynacapac	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO E-W CARRIL INTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO E-W CARRIL EXTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO N-S CARRIL INTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO N-S CARRIL EXTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO W-E CARRIL INTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO W-E CARRIL EXTERNO
	hsat	2.15	2.11	2.36	2.38	2.20
S	1674.00	1710.00	1526.00	1514.00	1637.00	1624.00
Ni	1	1	1	1	1	1
fw	1	1	0.96	0.96	1	1
fhv	0.9996526	0.99986327	0.99956463	0.99963309	0.99953355	0.9998291
fg	0.9738175	0.9738175	1.0436375	1.0436375	1	1
fp	1	1	1	1	1	1
fb	1	1	1	1	1	1
fa	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
fLU	1	1	1	1	1	1
fL	1	1	1	1	1	1
fR	1	1	1	0.85	1	1
fLpb	1	1	1	1	1	1
fRpb	1	1	1	1	1	1
fi	0.876131	0.876316	0.90131	0.766166	0.89958	0.899846
	1911	1951	1693	1976	1820	1805
So acceso	1931		1835		1813	
So intersección	1859					
hsat	1.94					

Fuente: Autores.


b) Resultados de la Avenida Loja y Avenida 12 de abril

En cuanto a la intersección de la Avenida Loja y Avenida 12 de abril, la cual consta de tres accesos y dos carriles por acceso, con anchos de carril diferentes en cada acceso y pendiente.

De la misma manera que se realizó anteriormente, se detallan los resultados obtenidos de cada acceso previo a la aplicación de los factores de ajuste. Se obtuvo una media del valor de flujo de saturación de 1735 veh/hora verde y 1633 veh/hora verde para los accesos de la Avenida Loja.

Para los accesos desde la Avenida 12 de abril hacia la Universidad de Cuenca, se obtuvo una media del valor de flujo de saturación de 1650 veh/hora verde y 1545 veh/hora verde. Asimismo, para los accesos de la Avenida 12 de abril desde la Universidad de Cuenca se registró una media del valor de flujo de saturación de 1679 veh/hora verde. La tasa de flujo de saturación ideal para esta intersección es de 1868 veh/hora verde/carril.

Tabla 5.4 Características de la intersección Avenida 12 de abril y Avenida Loja

Ave. Loja y Ave. 12 de abril 	AVE LOJA SENTIDO S-N CARRIL IZQ	AVE LOJA SENTIDO S-N CARRIL DER	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO W E CARRIL INTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO W E CARRIL EXTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO E-W CARRIL INTERNO
Ancho carril(m)	3.15	3.2	3.7	3.7	3.7
Pendiente(°)	0	0	0	0	-2


Fuente: Autores.

Tabla 5.5 Resumen estadístico

<i>Resumen estadístico</i>					
	Acceso SN 1	Acceso SN 2	Acceso WE 1	Acceso WE 2	Acceso EW 1
Media	1734.84375	1633.32258	1649.9	1545	1678.87097
Error típico	14.7317485	11.4617069	12.6200306	14.6262243	11.9947786
Mediana	1719	1637	1643	1553.5	1681
Moda	1619	1607	1632	1649	1778
Desviación estándar	✓ 83.33535	✓ 63.81608	✓ 69.12275	✓ 80.11113	✓ 66.7841
Varianza de la muestra	6944.78125	4072.49247	4777.95517	6417.7931	4460.11613
Curtosis	-1.34468102	0.04464654	-0.38725289	-1.34689944	-0.04448647
Coefficiente de asimetría	0.13267277	-0.00273698	-0.21780609	-0.16406005	-0.64918747
Rango	249	256	258	231	242
Mínimo	1614	1510	1509	1418	1536
Máximo	1863	1766	1767	1649	1778
Suma	55515	50633	49497	46350	52045
Cuenta	32	31	30	30	31
Nivel de confianza(95.0%)	30.0455992	23.4079283	25.8108607	29.9139875	24.496606

Fuente: Autores.

Tabla 5.6 Flujo de Saturación ideal de la Ave. Loja y Ave. 12 de abril

Ave. Loja y Ave. 12 de abril		AVE LOJA SENTIDO S- N CARRIL IZQ	AVE LOJA SENTIDO S- N CARRIL DER	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO W E CARRIL INTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO W E CARRIL EXTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO E-W CARRIL INTERNO
hsat		2.07	2.20	2.18	2.33	2.14
S		1735.00	1633.00	1650.00	1545.00	1679.00
Ni		1	1	1	1	1
fw		1	1	1	1	1
fhv		0.999536	0.99989898	0.99978105	0.99946397	0.99967652
fg		1	1	1	1	0.982545
fp		1	1	1	1	1
fb		1	0.992	1	0.944	1
fa		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
fLU		1	1	1	1	1
fL		0.99554624	1	1	1	1
fR		1	0.98917526	1	1	1
fLpb		1	1	1	1	1
fRpb		1	1	1	1	1
fi		0.895576	0.883046	0.899803	0.849145	0.884004
		1937	1849	1834	1819	1899
So acceso		1893		1827		1899
So intersección		1868				
hsat		1.93				

Fuente: Autores.

c) Resultados de la Avenida 12 de abril y Avenida Unidad Nacional

Contextualizando, se trata de una intersección compuesta por cuatro accesos con dos carriles cada uno, pero con diferentes variables como pendiente y ancho de carril. A continuación, se presentan los resultados previos a la aplicación de los factores de ajuste para cada acceso, con el objetivo de realizar una comparación posterior.

El acceso desde la Avenida 12 de abril hacia el centro de Cuenca presentó un valor medio de flujo de saturación de 1727 veh/hora verde y 1724 veh/hora verde, respectivamente. En cambio, para el acceso desde la Avenida 12 de abril hacia el Coliseo Jefferson Pérez, se registraron flujos de saturación medios de 1641 veh/hora verde y 1662 veh/hora verde.

Para el acceso desde la Ave. Unidad Nacional hacia el Coliseo Jefferson Pérez, se obtuvo un valor medio del flujo de saturación de 1695 veh/hora verde en ambas direcciones.

Asimismo, para el acceso desde la Ave. Unidad Nacional con tráfico proveniente del Coliseo Jefferson Pérez, se obtuvieron valores medios de flujo de saturación de 1617 veh/hora verde y 1678 veh/hora verde. Cabe mencionar que la tasa de flujo de saturación ideal para esta intersección es de 1903 veh/hora verde/carril, un valor muy cercano al propuesto por el HCM.

Tabla 5.7 Características de la intersección Avenida Unidad Nacional

Ave. Unidad Nacional y Ave. 12 de abril	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO W,E, INTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO W,E, EXTERNO	AVE UNIDAD NACIONAL S,N, INTERNO	AVE UNIDAD NACIONAL S,N, EXTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO E,W, INTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO E,W, EXTERNO	AVE UNIDAD NACIONAL N,S, INTERNO	AVE UNIDAD NACIONAL N,S, EXTERNO
								
Ancho carril(m)	3	3	3,5	3	3,2	3,2	3,2	3,2
Pendiente(°)	0	0	0	0	-3	-3	0	0


Fuente: Autores.

Tabla 5.8 Resumen estadístico

Resumen estadístico								
	Acceso WE 1	Acceso WE 2	Acceso NS 1	Acceso NS 2	Acceso SN 1	Acceso SN 2	Acceso EW 1	Acceso EW 2
Media	1726.5	1723.66667	1616.56667	1677.93548	1694.6129	1695.17143	1641.22222	1661.86486
Error típico	12.4454046	10.9336382	12.2871471	12.2520076	9.73859161	12.0586442	14.6319454	10.5934397
Mediana	1728	1734	1619	1665	1706	1705	1638.5	1667
Moda	1614	1674	1619	1655	1748	1682	1622	1667
Desviación estándar	✓ 74.67243	✓ 65.60183	✓ 67.29948	✓ 68.21629	✓ 54.22218	✓ 71.3399	✓ 87.79167	✓ 64.43738
Varianza de la muestra	5575.97143	4303.6	4529.21954	4653.46237	2940.04516	5089.38151	7707.37778	4152.17568
Curtosis	-1.20032467	-0.73426508	-0.34467485	-1.01579815	-0.16753533	-0.20001746	-0.90750214	-0.53787285
Coefficiente de asimetría	0.03545821	-0.04781125	-0.32704343	0.12902805	-0.83400147	-0.58550831	-0.15973203	-0.19928847
Rango	241	246	243	233	207	277	322	241
Mínimo	1607	1600	1482	1558	1558	1532	1475	1532
Máximo	1848	1846	1725	1791	1765	1809	1797	1773
Suma	62154	62052	48497	52016	52533	59331	59084	61489
Cuenta	36	36	30	31	31	35	36	37
Nivel de confianza(95.0%)	25.2655145	22.1964656	25.1300375	25.0219376	19.8888574	24.5061135	29.7044284	21.4844915

Fuente: Autores.

Tabla 5.9 Flujo de Saturación ideal de la Ave. Unidad Nacional y Ave. 12 de abril

Ave. Unidad Nacional y Ave. 12 de abril		AVE 12 DE ABRIL SENTIDO W, E, INTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO W E, EXTERNO	AVE UNIDAD NACIONAL S, N, INTERNO	AVE UNIDAD NACIONAL S N, EXTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO E, W, INTERNO	AVE 12 DE ABRIL SENTIDO E, W, EXTERNO	AVE UNIDAD NACIONAL N, S, INTERNO	AVE UNIDAD NACIONAL N, S, EXTERNO
hsat		2.08	2.09	2.12	2.12	2.17	2.19	2.23	2.15
S		1727.00	1724.00	1695.00	1695.00	1662.00	1641.00	1617.00	1678.00
Ni		1	1	1	1	1	1	1	1
fw		1	1	1	1	1	1	1	1
fhv		1	0.99989721	0.99951747	1	1	0.99976334	0.99962114	0.99977108
fg		1	1	1	1	1.0001	1.0001	1	1
fp		1	1	1	1	1	1	1	1
fb		1	1	1	0.98	1	1	1	0.99992523
fa		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
fLU		1	1	1	1	1	1	1	1
fL		1	1	0.95	1	0.95	1	1	1
fR		1	0.99632867	1	0.99794521	1	1	1	0.97686916
flpb		1	1	1	1	1	1	1	1
fRpb		1	1	1	1	1	1	1	1
fi		0.9	0.896604	0.854587	0.880188	0.855086	0.899877	0.899659	0.878915
		1919	1923	1983	1926	1944	1824	1797	1909
So acceso		1921		1955		1884		1853	
So intersección		1903							
hsat		1.89							

Fuente: Autores.


d) Resultados de la Avenida Loja y Avenida Remigio Crespo Toral

Cabe mencionar que la intersección inicialmente cuenta con tres accesos, cada uno con dos carriles, y presentaba variables diferentes entre sí, como la pendiente y el ancho de carril. A continuación, se presentan los resultados obtenidos previos a la aplicación de los factores de ajuste para cada acceso, a fin de establecer una comparación posterior.

El acceso desde la Avenida Loja hacia el Centro Histórico presentó un valor medio de flujo de saturación de 1687 veh/hora verde y 1654 veh/hora verde, respectivamente. En cambio, para el acceso desde la Avenida Remigio Crespo Toral, desde el Redondel de los Tótems, se obtuvieron flujos de saturación media de 1650 veh/hora verde y 1571 veh/hora verde.

Asimismo, para el acceso desde la Avenida Remigio Crespo Toral con tráfico proveniente de la Avenida Solano, se obtuvieron valores medios de flujo de saturación de 1682 veh/hora verde y 1698 veh/hora verde. La tasa de flujo de saturación ideal para esta intersección es de 1797 veh/hora verde/carril.

Tabla 5.10 Características de la intersección Avenida Remigio Crespo

Ave. Loja y Ave. Remigio Crespo Toral	AVE LOJA SENTIDO W E CARRIL IZQ.	AVE LOJA SENTIDO W E CARRIL DER.	AVE REMIGIO CRESPO SENTIDO N-S CARRIL INTERNO	AVE REMIGIO CRESPO SENTIDO N-S CARRIL EXTERNO	AVE REMIGIO CRESPO SENTIDO S N CARRIL INTERNO	AVE REMIGIO CRESPO SENTIDO S N CARRIL EXTERNO
						
Ancho carril(m)	4.1	4.1	4.1	4	4.02	4.02
Pendiente(°)	0	0	0	0	-3	-3


Fuente: Autores.

Tabla 5.11 Resumen estadístico

	<i>Resumen estadístico</i>					
	Acceso WE 1	Acceso WE 2	Acceso SN 1	Acceso SN 2	Acceso NS 1	Acceso NS 2
Media	1687.48571	1654.03125	1697.83871	1681.96667	1650.16129	1721.06452
Error típico	11.6151431	13.0214219	13.7836663	12.8095226	11.6440115	11.1864872
Mediana	1690	1648	1706	1670.5	1654	1748
Moda	1756	1682	1731	1629	1565	1765
Desviación estándar	✓ 68.71611	✓ 73.66029	✓ 76.74421	✓ 70.16064	✓ 64.83111	✓ 62.28372
Varianza de la muestra	4721.9042	5425.8377	5889.67312	4922.51609	4203.07312	3879.26237
Curtosis	-0.07978882	-0.71408672	-1.08956978	-0.98299824	-0.00547696	-1.26797423
Coficiente de asimetría	-0.37714446	-0.33723771	0.13505645	0.17619838	-0.31334436	-0.12640869
Rango	264	263	255	247	270	205
Mínimo	1545	1513	1572	1558	1486	1622
Máximo	1809	1776	1827	1805	1756	1827
Suma	59062	52929	52633	50459	51155	53353
Cuenta	35	32	31	30	31	31
Nivel de confianza(95.0%)	23.6048107	26.557365	28.1500019	26.1984154	23.780244	22.8458547

Fuente: Autores.

Tabla 5.12 Flujo de Saturación ideal de la Ave. Loja y Ave. Remigio Crespo Toral

Ave. Loja y Ave. Remigio Crespo Toral		AVE LOJA SENTIDO W E CARRIL IZQ.	AVE LOJA SENTIDO W E CARRIL DER.	AVE REMIGIO CRESPO SENTIDO N-S CARRIL INTERNO	AVE REMIGIO CRESPO SENTIDO N-S CARRIL EXTERNO	AVE REMIGIO CRESPO SENTIDO S CARRIL INTERNO	AVE REMIGIO CRESPO SENTIDO S CARRIL EXTERNO
hsat		2.13	2.18	2.18	2.09	2.12	2.14
S		1687.00	1654.00	1650.00	1721.00	1698.00	1682.00
Ni		1	1	1	1	1	1
fw		1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
fhv		0.99995442	0.99979693	1	1	0.99958092	0.99971684
fg		1	1	1	1	1.0261825	1.0261825
fp		1	1	1	1	1	1
fb		1	0.984	1	1	1	0.992
fa		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
fLU		1	1	1	1	1	1
fL		0.99837474	1	0.97648262	1	1	1
fR		1	1	1	1	1	1
fLpb		1	1	1	1	1	1
fRpb		1	1	1	1	1	1
fi		0.9344436	0.920837	0.913988	0.936	0.960104	0.952553
		1805	1796	1805	1839	1769	1766
So acceso		1801		1822		1768	
So intersección		1797					
hsat		2					


Fuente: Autores.

e) Resultados de la Avenida Pumapungo y Avenida Max Uhle

Se evaluaron tres accesos de dos carriles cada uno en una intersección con variables como pendiente y ancho de carril.

Los valores medios de flujo de saturación obtenidos previos a la aplicación de factores de ajuste son: 1720 y 1621 veh/hora verde para el acceso de la Avenida Max Uhle hacia la Avenida 24 de mayo, 1595 y 1664 veh/hora verde para el acceso Avenida Max Uhle desde la Avenida 24 de mayo, 1658 y 1614 veh/hora verde para el acceso de la Avenida Pumapungo hacia el Parque El Paraíso, y 1679 veh/hora verde para el acceso de la Avenida Pumapungo desde el Parque El Paraíso.

Tabla 5.13 Características de la intersección Avenida Max Uhle

Ave. Max Uhle y Ave. Pumapungo		AVE MAX UHLE N-S CARRIL INTERNO	AVE MAX UHLE N-S CARRIL EXTERNO	AVE MAX UHLE SN CARRIL INTERNO	AVE MAX UHLE SN CARRIL EXTERNO	AVE PUMAPUNGO E W INTERNO	AVE PUMAPUNGO E W EXTERNO	AVE PUMAPUNGO W E EXTERNO
Ancho carril(m)		3.8	3.8	3.5	3.5	3.8	3.8	3.7
Pendiente(°)		0	0	0	0	-1	-1	-3

Fuente: Autores.

Tabla 5.14 Resumen estadístico

Resumen estadístico							
	Acceso NS 1	Acceso NS 2	Acceso WE 1	Acceso SN 1	Acceso SN 2	Acceso EW 1	Acceso EW 2
Media	1720.23529	1620.86667	1678.07895	1594.85714	1664.16129	1658.43333	1613.56667
Error típico	5.98870875	7.67975894	8.21825169	12.7964769	14.9076077	11.4801862	13.8124285
Mediana	1717	1630.5	1673.5	1607	1651	1651	1612.5
Moda	1701	1581	1684	1651	1558	1622	1690
Desviación estándar	✓ 34.91987	✓ 42.06377	✓ 50.66071	✓ 75.70498	✓ 83.00205	✓ 62.87957	✓ 75.65379
Varianza de la muestra	1219.3975	1769.36092	2566.50711	5731.2437	6889.33978	3953.84023	5723.4954
Curtosis	-0.85487154	0.60630192	-0.19932149	-1.16264825	-1.12474854	-0.96421347	-1.04045538
Coefficiente de asimetría	0.00813504	-0.72785498	0.28092281	-0.14374479	0.33028858	0.28002418	0.06981662
Rango	130	177	214	268	260	230	262
Mínimo	1656	1516	1570	1463	1558	1552	1494
Máximo	1786	1693	1784	1731	1818	1782	1756
Suma	58488	48626	63767	55820	51589	49753	48407
Cuenta	34	30	38	35	31	30	30
Nivel de confianza(95.0%)	12.1841196	15.7068706	16.6517596	26.0055698	30.4453966	23.479617	28.2495881

Fuente: Autores.

Se determinó que la tasa de flujo de saturación ideal para esta intersección es de 1797 veh/hora verde/carril.

Tabla 5.15 Flujo de Saturación ideal de la Ave. Max Uhle y Ave. Pumapungo

Ave. Max Uhle y Ave. Pumapungo		AVE MAX UHLE N-S CARRIL INTERNO		AVE MAX UHLE N-S CARRIL EXTERNO		AVE MAX UHLE SN CARRIL INTERNO		AVE MAX UHLE SN CARRIL EXTERNO		AVE PUMAPUNGO E W INTERNO		AVE PUMAPUNGO E W EXTERNO		AVE PUMAPUNGO W E EXTERNO	
hsat		2.09	2.22	2.26	2.16	2.17	2.23	2.14							
S		1720.00	1621.00	1595.00	1664.00	1658.00	1614.00	1679.00							
Ni		1	1	1	1	1	1	1							
fw		1	1	1	1	1	1	1							
fhw		0.99987437	0.99980913	1	1	1	1	1							
fg		1	1	1	1	1.0261825	1.0261825	1.0087275							
fp		1	1	1	1	1	1	1							
fb		1	1	1	1	1	1	1							
fa		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9							
fLU		1	1	1	1	1	1	1							
FL		1	1	1	1	0.99777566	1	0.99824869							
fR		1	0.99707792	1	0.98523316	1	0.99044586	1							
flpb		1	1	1	1	1	1	1							
fRpb		1	1	1	1	1	1	1							
fi		0.899887	0.897199	0.9	0.88671	0.92151	0.91474	0.906265							
		1911	1807	1772	1877	1799	1764	1853							
So acceso		1859		1825		1782		1822							
So intersección		1822													
hsat		1.98													

Fuente: Autores.

f) Resultados finales de la investigación a nivel de las cinco intersecciones

Para culminar los resultados, se procedió a obtener el valor representativo de las cinco intersecciones seleccionadas para ello se obtuvo la media de las cinco intersecciones como se presenta en la tabla 5.16.

Tabla 5.16 Tasa de flujo de saturación ideal de las cinco intersecciones seleccionadas

INTERSECCIÓN	Ciclos	Livianos	Pesados	Buses	So(veh/h)	hsat(s)
Ave. Loja y Ave. 12 de Abril	154	935	33	8	1868	1.93
Av. 12 de Abril y Av. Unidad Nacional	272	1676	30	17	1903	1.89
Av. Pumapungo y Av. Max Uhle	228	1151	6	1	1822	1.98
Av. Remigio Crespo Toral y Av. Loja	190	1148	18	7	1797	2.00
Av. 12 de Abril y Av. Huayna Cápac	195	1354	47	14	1859	1.94
Total	1039	6264	134	47		
				Media	1849.8	1.95

Fuente: Autores.

El valor de tasa de flujo de saturación ideal para las cinco intersecciones es de 1850 veh/hora verde/carril.

VI. CONCLUSIONES

La tasa de flujo de saturación ideal sugerido por el HCM ha sido utilizada alrededor de todo el mundo, sin embargo, el HCM aconseja que, debido a las condiciones locales de tráfico, conducta de los conductores influye en la estimación de la capacidad de una intersección semafórica y por lo tanto debe ser medido a nivel local. Una estimación precisa para una región determinada es de suma importancia en el diseño de los tiempos de un semáforo y la calibración de los mismos.

En este trabajo investigativo se utilizaron datos recogidos de cinco intersecciones arteriales relevantes dentro de la ciudad de Cuenca, Ecuador. A partir de un total de 6445 vehículos en movimiento y 1039 colas se calculó el headway de saturación promedio que era de 1.95 segundos. Como consecuencia la tasa de flujo de saturación ideal resulto ser de 1850 veh/hora verde/carril, lo cual es menor a 1900 veh/hora verde/carril sugerido por el HCM esto debido principalmente al comportamiento de los conductores y el entorno del tráfico.

Los resultados obtenidos en este trabajo, ayudaran a los ingenieros locales de tráfico a tener una mejor estimación de la capacidad en las intersecciones semafóricas.

VII. RECOMENDACIONES

Ampliar el número de investigaciones similares al presente trabajo daría como resultado a la obtención de una tasa de flujo de saturación ideal a nivel local total.

Antes de proceder a generalizar resultados puede ser necesario incrementar el tamaño de la muestra es decir tener un número mayor de colas o ciclos.

Se recomienda complementar con estudios de niveles de servicio de dichas intersecciones para constatar cuales son efectivamente los niveles de servicio locales con los datos obtenidos de este tipo de investigación.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Llanes, J. (2014). *Estimación de Flujo de Saturación en Intersecciones Semaforizadas Seleccionadas de la ciudad de México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- McMahon, J. W., Krane, J. P., & Federico, A. P. (1997). Saturation Flow Rates by Facility TYPE. *ITE Journal*, p. 46-50.
- Muñoz, S., Cárdenas, V., & Gonzalez, O. (2010). *Estudio de Flujo de Saturación*. Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Pérez, F., & Avendaño, Y. (2018). *Determinación de la Tasa de Flujo de saturación base mediante el HCM 2010 en el corredor Vial Ayacucho- Belén*. Perú: Universidad Andina del Cusco.
- Perez-Cartagena, R. T. (2004). *Predicting traffic conditions at indiana signalized intersections*. SPR-2796 Final Report.
- Vargas, J. D. (2019). *Determinación del Flujo de Saturación base (So), para ciudades pequeñas*. Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Symposium, G., & Woods, H. (2011). *Transportation Research Board, 75 years of the Fundamental Diagram for Traffic Flow Theory*. Massachusetts.
- Andrade Espinoza, M. Á., & Díaz Arce, G. E. (2019). *Determinación del Factor de Vehículo Liviano Equivalente (VLE) para intersecciones semaforicas relevantes en la ciudad de Cuenca-Ecuador* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Shao, C.-q., Rong, J., & Liu, X. M. (2011). *Study on the saturation flow rate and its influence factors at signalized intersections in China*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 504-514. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.04.471>
- Transportation Research Board of the National Academy. (2010). *Highway Capacity Manual*. Washington D.C.
- Dunlap, B. M. (2005). *Field measurement of ideal saturation flow rate from the highway capacity manual*. Retrieved from <https://researchrepository.wvu.edu/etd/1626>
- Torres Senmache, A. D., & Alvarado De la Cruz, R. J. (2018). *Análisis de flujo de saturación real en la intersección de av . primavera con av . encalada en la ciudad de Lima*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).