

Análisis de capacidad vial de la Av. Rodolfo Baquerizo Nazur y su intersección con la Av. Benjamín Carrión en la ciudad de Guayaquil utilizando synhcro 8.0

Resumen- En el presente trabajo de investigación se realizó la evaluación de la capacidad y nivel de servicio que oferta la Av. Rodolfo Baquerizo Nazur en intersección con la Av. Benjamín Carrión, ubicada al norte de la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas, República del Ecuador. Vías colectoras que son de extrema concurrencia vehicular por conectar el tránsito con algunas de las principales arterias viales del norte y centro de la ciudad.

Tomando en cuenta conceptos básicos de ingeniería de tránsito y siguiendo la metodología descrita en el capítulo 19 de la Sección de flujo interrumpido que pertenece al Highway Capacity Manual versión 2016 se desarrolló el análisis; el mismo que surge a partir del agravante problema que se sufre actualmente la ciudad en varios puntos de conflicto vehicular.

Además, se realiza una segunda evaluación mediante la utilización del software Synchro 8.0, que tiene por objetivo el evaluar el nivel de servicio.

A manera de realizar un análisis comparativo entre ambos procesos se encontró que, el modelamiento por medio software tiende a ser más conservador al momento de aplicar los factores de ajuste correspondientes en cada etapa del análisis.

Palabras claves—Nivel de servicio, intersección, Synchro.

Abstract- In this research work, the evaluation of the capacity and level of service offered by Rodolfo Baquerizo Nazur Ave. in intersection with Benjamin Carrion Ave., located in the north of the city of Guayaquil, Guayas province, Republic of Ecuador. Collecting roads that are extremely popular for connecting traffic with some of the main road arteries in the north and center of the city.

Taking into account basic concepts of traffic engineering and following the methodology described in Chapter 19 of the interrupted flow section that belongs to the Highway Capacity Manual version 2016, the analysis was developed, which arises from the aggravating problem that is currently undergoing the city in several points of vehicular conflict.

In addition, a second evaluation is carried out through the use of Synchro 8.0 software, which aims to assess the level of service.

In order to carry out a comparative analysis between the two processes, it was found that modeling through software tends to be more conservative when applying the corresponding adjustment factors at each stage of the analysis.

Keywords—Level of service, intersection, synchro.

I. INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento del parque automotor en la ciudad de Guayaquil ubicada en la provincia del Guayas-Ecuador se contrasta con problemas de congestión vehicular que día a día generan una variedad de molestias y retrasos de los usuarios que transitan por las diferentes vías urbanas. Es el caso de la intersección semaforizadas comprendida entre la Av. Rodolfo Baquerizo Nazur y Av. Benjamín Carrión al norte de la ciudad; las mismas que reciben elevados flujos vehiculares de varios sectores de la urbe porteña como son: la Garzota, La Alborada y Saucos (8 y 9), volúmenes de tráfico que tienen en común descargar sobre la Av. Francisco de Orellana y Av. Isidro Ayora que conducen desde el centro hacia el norte y noroeste de Guayaquil y viceversa.

Esta intersección soporta una considerable afluencia vehicular y peatonal, debido a que en la zona de estudio y sus sectores colindantes se presenta un elevado movimiento comercial; existiendo entidades bancarias, almacenes comerciales y restaurantes de comida rápida. Adicional a esto; por la intersección circulan varias líneas de buses de transporte público y camiones de menor tamaño que abastecen a la zona comercial y residencial.

La intersección está compuesta de cuatro accesos los cuales presentan entradas y salidas en cada sentido de circulación donde los movimientos o maniobras realizados en la misma son: giro a la izquierda, giro a la derecha y movimiento de frente.

La presente investigación evalúa la capacidad y nivel de servicio que oferta la intersección entre la Av. Rodolfo Baquerizo Nazur y Av. Benjamín Carrión mediante la aplicación de la metodología del Highway Capacity Manual 2016 para intersecciones semaforizadas y una comparación cualitativa con un análisis desarrollado mediante el software de tránsito SYNHCRO 8; el mismo que realiza una evaluación de capacidad y nivel de servicio bajo los mismos parámetros físicos y de tránsito prevalecientes en la zona de estudio.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.517>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

II. METODOLOGÍA

El presente estudio se realizó mediante la ejecución de tres fases que se describen en la Fig. 1:

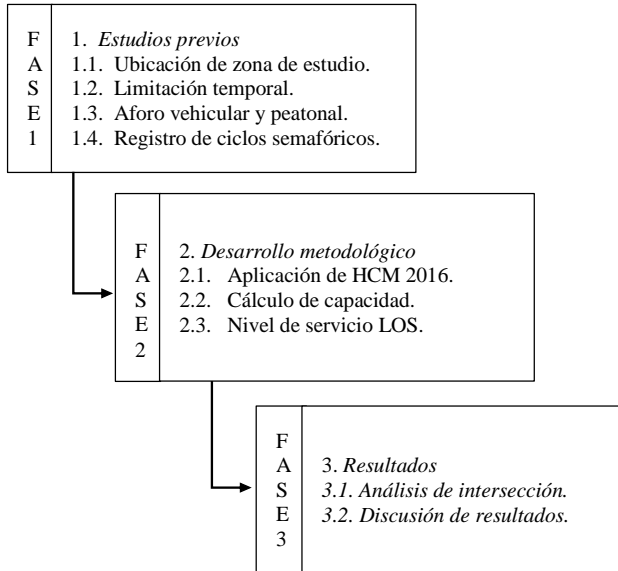


Fig. 1. Fases de desarrollo de la investigación.
Fuente: Propia de los autores – 2020.

Fase 1: Estudios previos

1.1. Ubicación de zona de estudio.

La zona de estudio se ubica en la ciudadela Alborada al norte de la ciudad, en la intersección comprendida entre la Av. Rodolfo Baquerizo Nazur y Av. Benjamín Carrión; que está compuesta de cuatro accesos con dos sentidos de circulación cada acceso [3].



Fig. 2. Ubicación de zona de estudio.
Fuente: Propia de los autores [3] – 2019.

1.2. Limitación temporal

Los datos fueron obtenidos mediante visitas de campo que se realizaron por un lapso de siete días consecutivos; que

inició el lunes 27 de mayo y finalizó el domingo 02 de junio de 2019 bajo condiciones de tránsito normales.

1.3. Aforo vehicular y peatonal

Para ejecutar un estudio de capacidad y nivel de servicio se parte de un aforo de tráfico, ya sean estos vehículos motorizados, peatones o ciclistas ya que dependerá del enfoque que tenga el estudio [2].

En la intersección en análisis los vehículos motorizados son los que predominan la circulación, teniendo entre estas motos, vehículos livianos, buses y camiones de dos ejes. Los volúmenes de tráfico se registraron de lunes a domingo por una semana, por un periodo de doce horas consecutivas.

De igual forma que el aforo vehicular se realizó un registro de la circulación peatonal que recibe la intersección para ejecutar un análisis completo y acorde al procedimiento propuesto en el presente estudio.

Además, es imprescindible el registro del tipo y la duración de los ciclos del sistema semafórico que rigen en la intersección, es por esto, que se tomó datos durante varios días para poder constatar si existen variaciones en los ciclos del semáforo.

Fase 2: Desarrollo metodológico

La evaluación de la capacidad y nivel de servicio de la intersección en análisis se realiza a través de la metodología propuesta en el Highway Capacity Manual 2016 en su capítulo 19; que se focaliza en el estudio de intersecciones señalizadas tomando como consideración el flujo interrumpido. El proceso es el que se describe en la Fig. 3:

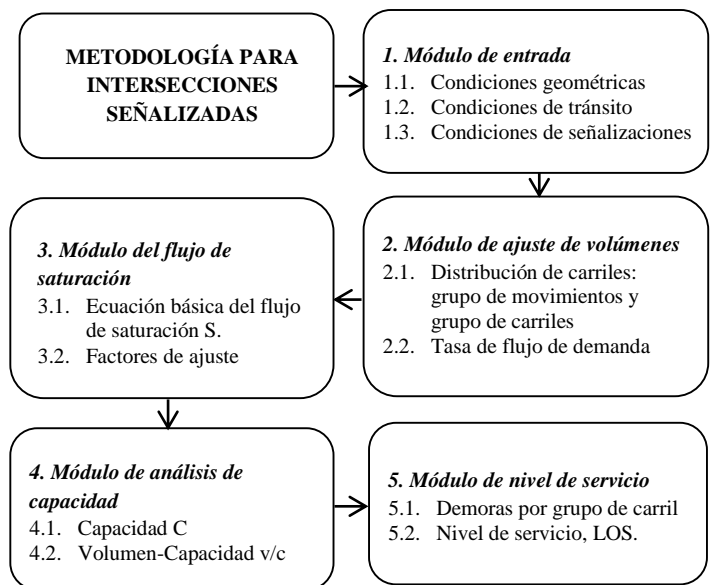


Fig. 3. Proceso metodológico del Highway Capacity Manual 2016.
Fuente: Propia de los autores [3] – 2019.

1. Módulo de entrada

Los módulos de entrada hacen referencia a aquellas características físicas propias de la intersección que parten de las condiciones geométricas, condiciones del tránsito y condiciones de la semaforización en las que opera la intersección como se detallan en la Tabla 1 [3].

TABLA 1.
Módulos de Entrada

	PARÁMETROS	SÍMBOLO
GEOMETRÍA	Tipo de área	CBD
	Número de carriles	N
	Ancho promedio de carriles (m)	W
	Pendiente (%)	G
	Carriles exclusivos	LT o RT
	Longitud de bahías de giro (m)	LR o RT, Ls
	Estacionamiento	
TRÁNSITO	Volumen de demanda por movimiento (veh/hora)	V
	Tasa de flujo de saturación de saturación base (veh. Liv/hora/carril)	So
	Factor horario de máxima demanda	FHMD
	Porcentaje de vehículos pesados (%)	HV
	Tasa de flujo peatonal del acceso (peatones/hora)	Vped
	Buses locales que se detienen en la intersección (autobuses/hora)	Nb
	Actividad de maniobras de estacionamiento (maniobras/hora)	Nm
	Tipo de llegada a la intersección	AT
	Proporción de vehículos que llegan en verde	Rp
	Velocidad de aproximación (Km/hora)	Sa
SEMAFORIZACIÓN	Longitud de ciclo (segundos)	C
	Tiempo en verde (segundos)	G
	Intervalo de cambio y despeje: Amarrillo más Todo Rojo (segundos)	Y
	Operación accionada o prefijada	
	Verde mínimo peatonal (segundos)	Gp
	Plan de fases	
Período de análisis (hora)	T	

Fuente: Propia de los autores [3] – 2019.

2. Módulo de ajuste de volúmenes

El Manual de Capacidad de Carreteras plantea en su metodología analizar por separado los grupos de movimientos y los grupos de carriles en cada uno de los accesos que componen la intersección [3]; a partir de determinadas reglas que se describen a continuación:

2.1. Grupos de movimiento

El manual recomienda previo a determinar los grupos de movimientos las siguientes reglas:

- Un movimiento de giro que utiliza uno o más carriles exclusivos y no carriles compartidos; debe ser considerado como un grupo de movimiento [3].
- Cualquier movimiento que no es asignado a un grupo según la regla anterior debe ser combinado dentro de un grupo de movimiento [3].

2.2. Grupo de carriles

- Un carril o carriles de giro exclusivo a la izquierda deben ser designados como un grupo de carriles separado. De igual manera para carril o carriles exclusivos de giro a la derecha [3].
- Cualquier carril compartido debe ser designado como un grupo de carril separado [3].
- Aquellos carriles que no sean exclusivos de giro o carriles compartidos se deben combinar en un grupo de carriles [3].

2.3. Tasa de flujo de demanda

La tasa de flujo de demanda de un movimiento de tráfico se refiere a la cantidad de vehículos que llegan a la intersección durante los quince minutos de máxima demanda.

$$V_p = V / FHMD \quad (1)$$

Dónde,

V_p = Tasa de flujo durante los quince minutos más saturado (vehículos/hora).

V = Volumen horario (vehículos/hora).

$FHMD$ = Factor horario de máxima demanda.

3. Módulo de flujo de saturación

3.1. Ecuación básica del flujo de saturación y factores de ajuste.

Es la tasa máxima de flujo para cada carril o grupo de carriles que refleja la aplicación de varios factores de ajuste sujetas a condiciones específicas presentes en la intersección [3]. Se calcula con la ecuación (2):

$$S = S_o (f_w)(f_{HVg})(f_p)(f_{bb})(f_a)(f_{LU})(f_{LT})(f_{RT})(f_{Lpb})(f_{Rpb}) \quad (2)$$

Dónde,

S = Índice de flujo de saturación del grupo de carriles, vehículos/hora/carril.

S_o = Tasa de flujo de saturación base por carril, autos/hora/carril.

f_w = Factor de ajuste por ancho de carril.

f_{HVg} = Factor de ajuste por vehículos pesados y pendiente en el acceso.

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

f_{bb} = Factor de ajuste por bloqueo de buses que se detienen dentro del área de la intersección.

f_a = Factor de ajuste por el tipo de área.

f_{LU} = Factor de ajuste por utilización del carril.

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

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

f_{Lpb} = Factor de ajuste peatonal para los movimientos de giro a la izquierda.

f_{Rpb} = Factor de ajuste peatonal-bicicleta para los movimientos de giro a la derecha.

4. Módulo de análisis de capacidad.

4.1. Capacidad

Esta se define para cada acceso o grupo de carriles como la tasa de flujo máxima que puede pasar a través de la intersección bajo condiciones propias de la misma [1]. Se calcula a partir de la ecuación (3):

$$c = N(s)(g/C) \quad (3)$$

Dónde,

c = Capacidad del grupo de carril, vehículos/hora.

N = Números de carriles.

s = Tasa de flujo de saturación del grupo de carriles, vehículos/hora/carril.

g = Tiempo de verde para el grupo de carriles, segundos.

g/C = Relación de verde efectivo para el grupo de carriles.

4.2. Relación volumen-capacidad.

Conocido como grado de saturación se obtiene a partir de la ecuación (4):

$$X = v/c \quad (4)$$

Dónde,

X = Relación volumen-capacidad.

v = Tasa de flujo de demanda actual.

c = Capacidad del grupo de carriles, vehículos/hora.

De manera que el grado de saturación del grupo de carriles se determina con la ecuación (5):

$$X_i = \frac{v}{s(g/C)} = \frac{(v/s)}{(g/C)} \quad (5)$$

Dónde,

X_i = Grado de saturación del grupo de carriles.

(v/s) = Relación de flujo del grupo de carriles.

(g/C) = Relación de verde efectivo en el grupo de carriles.

Es necesario determinar el grado de saturación crítico puesto que permite realizar una evaluación general de la intersección, tomando en cuenta los grupos de carriles con las relaciones de flujo más elevadas en cada fase. Se calcula con la ecuación (6):

$$X_c = \left(\frac{C}{C-L} \right) [\sum(v/s)] \quad (6)$$

Dónde,

X_c = Grado de saturación crítico.

C = Longitud del ciclo, segundos.

L = Tiempo perdido por ciclo, segundos.

$\sum(v/s)$ = Sumatoria de las relaciones de flujo para los grupos de carriles críticos.

5. Módulo de nivel de servicio

5.1. Determinación de las demoras

Los valores obtenidos de los cálculos representan la demora media por control que experimentan los vehículos

durante el periodo de análisis, incluido aquellas demoras ocurridas fuera del periodo de análisis cuando el grupo de carriles se encuentra sobresaturado [3].

$$d = d_1 + d_2 + d_3 \quad (7)$$

Dónde,

d = Demora media de control, segundos/vehículos.

d_1 = Demora uniforme, segundos/vehículos.

d_2 = Demora incremental, segundos/vehículos.

d_3 = Demora de cola inicial, segundos/vehículos.

5.1.1. Demora uniforme

Se la considera como aquella demora que ocurriría en caso de que todos los vehículos llegasen uniformemente distribuidos, es decir que no existiría saturación en ningún ciclo. Esta determinada con la ecuación (8):

$$d_1 = \frac{0,5C(1 - (g/C))^2}{1 - [\text{mín}(1, X)(g/c)]} \quad (8)$$

Dónde,

d_1 = Demora de control uniforme, segundos/vehículo.

C = Longitud del ciclo, segundos.

g/c = Relación de verde efectivo para el grupo de carriles.

X = Grado de saturación para el grupo de carriles.

5.1.2. Demora incremental

Se produce debido a que el flujo vehicular llega de manera aleatoria a la intersección, lo que ocasiona que algunos ciclos se sobresaturen. Se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$d_2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + (8klX/cT)} \right] \quad (9)$$

Dónde,

d_2 = Demora de incremental, segundos/vehículo.

X = Grado de saturación para el grupo de carriles.

T = Duración del período de análisis, 1/4 de hora.

c = Capacidad del grupo de carriles, vehículos/hora.

k = Factor de demora incremental.

l = Factor de ajuste por entrada de la intersección corriente arriba.

5.1.3. Demora por cola inicial

Esta demora se da cuando existe una cola remanente antes del periodo de análisis (T), incluye una demora complementaria por la cola inicial que primero deberá ser desalojada.

$$d_3 = \frac{1800Q_b(1 + u)t}{cT} \quad (10)$$

Dónde,

d_3 = Demora por cola inicial, segundos/vehículos.

Q_b = Cola inicial al empezar el período de análisis T , vehículos.

c = Capacidad, vehículo/hora.

T = Duración del periodo evaluado (0,25 horas)

t = Duración de la demanda insatisfecha, hora.
 u = Parámetro de demora.

5.1.4. Demoras agregadas.

Se refiere a una demora promedio de todos los grupos de carriles que componen el acceso. Se calcula con la ecuación (11):

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^A d_i v_i}{\sum_{i=1}^A v_i} \quad (11)$$

Dónde,

A = Número de grupos de carriles en el acceso.

d_A = Demora por acceso A , segundos/vehículos.

d_i = Demora en el grupo de carriles, segundos/vehículo.

v_i = Volumen ajustado del grupo de carriles, vehículos/hora.

5.1.5. Demora total en la intersección

Esta demora se representa como una media ponderada a nivel de toda la intersección.

$$d_I = \sum d_A V_A / \sum V_A \quad (12)$$

Dónde,

I = Número de accesos en la intersección.

d_I = Demora en la intersección I , segundos/vehículos.

d_A = Demora en el acceso A , segundos/vehículos.

V_A = Volumen ajustado del acceso A , vehículos/hora.

5.2. Nivel de servicio

El nivel de servicio de una intersección con semáforos se define a través de las demoras medias de los vehículos que se detienen por la acción de los semáforos, lo cual representa para el usuario una medida del tiempo perdido del viaje.

Se define seis niveles de servicio designados desde la letra A hasta la letra F, donde un nivel de servicio (LOS) A representa las mejores condiciones de circulación posibles desde el punto de vista del usuario y un LOS de F representan las peores condiciones de circulación.

TABLA 2.
Niveles de servicio para intersecciones.

NIVEL DE SERVICIO (LOS)						
LOS	A	B	C	D	E	F
Demoras (seg/veh)	≤ 10	10 - 20	20 - 35	35 - 55	55 - 80	> 80

Fuente: Propia de los autores [3] – 2019.

Fase 3: Resultados

3.1. Aforo de tráfico

En la Tabla 3 se muestran los resultados del aforo vehicular donde se contabilizaron motos, livianos, buses y camiones durante siete días consecutivos (lunes a domingo). En la misma se denota que el día con mayor afluencia vehicular es el día Jueves 30 de mayo, tomando de referencia este día para realizar el cálculo tipo y posterior evaluación de la capacidad y nivel de servicio; ya que presenta condiciones

no alteradas o típicas en sus flujos de tráfico en comparación con los días de inicio y fin de semana laboral [3].

TABLA 3.
Composición vehicular en la semana de aforo

DÍAS DE AFORO	TIPO DE VEHÍCULO				TOTAL
	MOTOS	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES	
Lunes 27-May-2019	3197	33654	2970	482	40303
Martes 28-May-2019	3433	32777	3034	611	39855
Miércoles 29-May-2019	3155	31759	2921	624	38459
Jueves 30-May-2019	3424	34386	2992	624	41426
Viernes 31-May-2019	3502	34526	3002	698	41728
Sábado 01-Jun-2019	3195	32401	2780	427	38803
Domingo 02-Jun-2019	2308	27720	2462	134	32624

Fuente: Propia de los autores [3] – 2019.

Con el objetivo de obtener resultados óptimos se realizó la conversión de los distintos vehículos a la condición necesaria de vehículos mixtos.

En la tabla 4 se aprecian los volúmenes diarios totales que recibieron cada uno de los accesos que componen la intersección (Sur-Norte; Norte-Sur; Este-Oeste; Oeste-Este) durante los siete días de aforo. En la misma se puede notar que el acceso con mayor afluencia vehicular es el que se encuentra en el sentido Oeste – Este sobre la Av. Benjamín Carrión y por el contrario el que recibe menor circulación vehicular es el que tiene sentido Norte-Sur sobre la Av. Rodolfo Baquerizo Nazur.

TABLA 4.
Volumen de tráfico semanal de intersección por acceso.

DÍAS DE AFORO	ACCESO			
	AV. RODOLFO BAQUERIZO (S-N)	AV. RODOLFO BAQUERIZO (N-S)	AV. BENJAMÍN CARRIÓN (E-W)	AV. BENJAMÍN CARRIÓN (W-E)
	Volumen Diario (veh)	Volumen Diario (veh)	Volumen Diario (veh)	Volumen Diario (veh)
Lunes 27-May	9806	7094	8486	12786
Martes 28-May	9959	6994	7505	13108
Miércoles 29-May	10157	6772	6531	12896
Jueves 30-May	10650	7327	7830	13336
Viernes 31-May	10515	7351	9721	11806
Sábado 01-Jun	10080	7101	8362	11130
Domingo 02-Jun	8420	6450	5674	10541
TOTAL	69587	49090	54110	85602

Fuente: Propia de los autores [3] – 2019.

3.2. Factores calculados para el análisis

Posterior al desglose y procesamiento de los volúmenes de tráfico es imprescindible definir algunos factores que

permitan continuar con el proceso de cálculo, como lo son: tráfico promedio horario, volumen horario de máxima demanda (VHMD), volumen máximo durante quince minutos (Q15máx.) y factor horario de máxima demanda (FHM D) que se presentan para cada día de aforo en la tabla 5.

TABLA 5.
Resumen de factores para análisis de intersección

DÍAS DE AFORO	VOLUMEN DIARIO (Veh/d)	VOLUMEN HORARIO (Veh/h)	HORA MÁX DEMANDA	VHMD (Veh/h)	Q15 Máx. (Veh/h)	FHM D
Lunes	38172	3181	17:00-18:00	3377	869	0.972
Martes	37566	3131	12:45-13:45	3346	880	0.950
Miércoles	36356	3030	12:00-13:00	3201	876	0.914
Jueves	39143	3262	18:00-19:00	3514	908	0.967
Viernes	39393	3283	14:00-15:00	3384	859	0.985
Sábado	36673	3056	17:30-18:30	3349	870	0.962
Domingo	31085	2590	12:00-13:00	3145	842	0.934

Fuente: Propia de los autores [3] – 2019.

Se observa que la hora con mayor congestión vehicular para el día de análisis (jueves 30) fue de 18:00 a 19:00 horas, cabe destacar que los volúmenes horarios de máxima demanda del resto de días de aforo son muy similares y están por encima de los 3100 veh/h respectivamente.

Además, indica que el factor horario de máxima demanda se encuentra con un valor cercano a la unidad, esto insinúa que la circulación vehicular cuenta con una distribución uniforme en sus flujos de tráfico.

En la Fig. 4 se presenta los movimientos o maniobras que se realizan en cada uno de los accesos; además de la cantidad de viajes que se ejecutaron desde los distintos puntos de entrada (E) hacia los diferentes puntos de salida (S) según el aforo realizado. Los viajes que se realizaron con mayor frecuencia a nivel de intersección fueron los viajes de frente o directos.

3.3. Aforo Peatonal

Conocer el volumen de peatones que transitan por la zona de estudio es imprescindible para desarrollar una evaluación completa y eficiente siguiendo los lineamientos que dicta el Manual de carreteras, es por eso que en la Tabla 6 se presenta los resultados del aforo peatonal que se realizó. La zona donde se encuentra ubicada la intersección es un sector de elevado movimiento comercial que se evidencia en los significativos flujos de peatones que circulan por los distintos accesos de la intersección.

Para el estudio se tomó en consideración el volumen peatonal de la hora con mayor demanda (18:00 a 19:00) que se registró para el día jueves 30 de mayo, produciéndose a dicha hora la mayor circulación peatonal.

TABLA 6.
Aforo peatonal de intersección.

DIA JUEVES 30	ACCESO				TOTAL
	AV. RODOLFO BAQUERIZO (S-N)	AV. RODOLFO BAQUERIZO (N-S)	AV. BENJAMÍN CARRIÓN (E-W)	AV. BENJAMÍN CARRIÓN (W-E)	
HORA	Peatones	Peatones	Peatones	Peatones	Peat/h
15:00 16:00	234	198	427	251	1110
16:00 17:00	211	199	392	270	1072
17:00 18:00	261	246	485	258	1250
18:00 19:00	224	264	593	252	1333
Total	930	907	1897	1031	4765

Fuente: Propia de los autores [3] – 2019.

3.4. Nivel de servicio para día de análisis

- Velocidad de aproximación

La evaluación de nivel de servicio obedece a una serie de parámetros que se ejecutan a partir de datos tomados en campo; dentro de estos se encuentra la velocidad de aproximación (SA) de los vehículos que transitan por la intersección, que acorde a la reglamentación dispuesta por la Comisión de Tránsito del Ecuador (CTE), al ser consideradas como vías colectoras urbanas la velocidad permitida de circulación es de 40 Km/h para ambas avenidas.

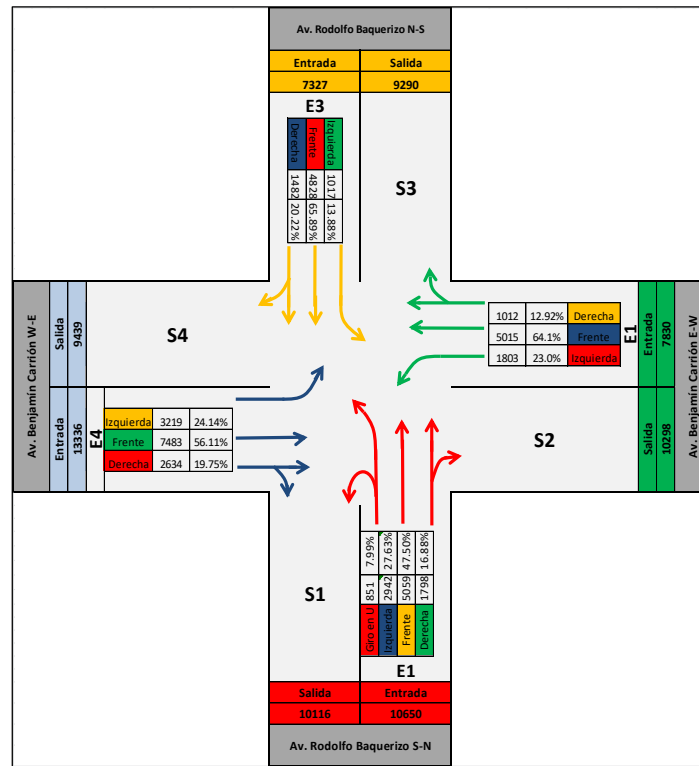


Fig. 4. Esquema de viajes por zonas en intersección (jueves 30).
Fuente: Propia de los autores [3] – 2019.

- **Sistema semafórico**

El modo de operación del sistema semafórico que rige en la intersección corresponde al tipo de *control prefijado*, es decir que no sufre variaciones en la duración de su ciclo bajo ninguna condición de tránsito, así se constató con el registro realizado in situ; que permitió conocer que la longitud del ciclo es de 2 minutos con 32 segundos (152 segundos) para los siete días de aforo.

- **Plan de fases**

El plan de fases asignado en la intersección está compuesto de cuatro fases (F1, F2, F3 y F4), una por cada acceso; permitiendo la completa y autónoma operación de cada grupo de movimientos sin producirse conflictos. Cada fase posee un intervalo o indicación verde, una indicación amarilla y un intervalo todo rojo [3].

- **Grupos de movimientos y carriles**

La agrupación de movimientos y carriles se definió a partir de las premisas establecidas por el manual de carreteras, a partir de estas premisas se estableció dos grupos de movimientos y dos grupos de carriles por acceso como se presenta en la Tabla 7. Se tomó esta consideración debido a la existencia de carriles exclusivos de giro a la izquierda en cada uno de los accesos [3].

Es necesario aclarar que en el acceso Sur-Norte sobre la Av. Rodolfo Baquerizo Nazur se permite realizar el giro en U para los vehículos livianos, sin embargo, para el presente estudio se adjuntó el volumen de flujo vehicular que realiza

este movimiento al volumen de flujo producido por los movimientos a la izquierda. [3].

TABLA 7.
Grupos de movimiento y grupos de carriles por acceso

ACCESO	NUMERO DE CARRILES	MOVIMIENTO POR CARRIL	GRUPO DE MOVIMIENTO	GRUPO DE CARRILES
Sur - Norte	3	Exclusivo Izquierda	GM 1	GC 1
		Directo	GM 2	GC 2
		Compartido		
Este - Oeste	3	Exclusivo Izquierda	GM 1	GC 1
		Directo	GM 2	GC 2
		Compartido		
Norte - Sur	3	Exclusivo Izquierda	GM 1	GC 1
		Directo	GM 2	GC 2
		Compartido		
Oeste - Este	5	Exclusivo Izquierda	GM 1	GC 1
		Directo	GM 2	GC 2
		Compartido		

Fuente: Propia de los autores [3] – 2019.

- **Módulo de Ajuste de volúmenes**

El análisis en la presente etapa se lo realizará para los grupos de carriles pertenecientes al sentido de circulación

menos afectado (Norte-Sur) y para el más afectado (Oeste-Este) tal como se aprecia en la Tabla 8.

TABLA 8.
Módulo de ajuste de volumen (accesos norte y oeste).

MÓDULO DE AJUSTE DE VOLUMEN						
Acceso	NORTE			OESTE		
Sentido de flujo vehicular	Norte - Sur			Oeste - Este		
Movimientos	MI	MF	MD	MI	MF	MD
Volumen, V (veh/h)	89	416	108	344	768	187
FHMD	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
Flujo ajustado, Vp (veh/h)	92	430	112	356	794	193
Grupo de carriles	MI	MF,MD		MI	MF,MD	
Número de carriles	1	2		2	3	
Flujo del grupo de carriles, Vi (veh/h)	92	542		356	987	
Prop. de vueltas a la izquierda y derecha	1.00	0.21		1.00	0.20	

Fuente: Propia de los autores [3] – 2019.

- Módulo de flujo de saturación

Siguiendo los parámetros establecidos en el Manual de referencia en su capítulo 19 de intersecciones semaforizadas y aplicando las ecuaciones presentadas en la metodología se obtuvo los factores de ajuste para la tasa de flujo de saturación de cada grupo de carriles considerados en este análisis como se indica en la tabla 9.

TABLA 9.
Módulo de flujo de saturación (accesos norte y oeste).

MÓDULO DE FLUJO DE SATURACIÓN				
Acceso	NORTE		OESTE	
Sentido de flujo vehicular	Norte - Sur		Oeste - Este	
Flujo de saturación base, So (veh/h/carril)	1900	1900	1900	1900
Factor de ajuste por ancho de carril, fw	0.97	0.97	0.99	0.92
Factor de ajuste por vehículos pesados, fhvg	0.99	0.91	0.97	0.98
Factor de ajuste por estacionamiento, fp	1.00	0.93	1.00	0.95
Factor de ajuste por bloqueo de buses, fbb	1.00	0.86	1.00	0.96
Factor de ajuste por tipo de área, fa	0.90	0.90	0.90	0.90
Factor de ajuste por utilización de carril, flu	1.00	0.90	1.00	0.83
Factor de ajuste por vueltas a la izquierda, flt	0.95	1.00	0.95	1.00
Factor de ajuste por vueltas a la derecha, frt	1.00	0.97	1.00	0.97
Factor de ajuste izquierdo de peatones, flpb	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de ajuste derecho de peatones, frpb	1.00	0.93	1.00	0.94
Flujo de saturación ajustado, Si (veh/h)	1561	965	1552	1063

Fuente: Propia de los autores [3] – 2019.

- Módulo de análisis de capacidad

En la tabla 10 se presenta la capacidad (ci) de los grupos de carriles correspondientes a los accesos analizados, al igual que su grado de saturación (Xi); siendo así que los valores superiores a la unidad indican un exceso de la demanda sobre la capacidad del grupo de carriles, como es el caso de los grupos que contienen carriles compartidos (movimientos de frente y derecha).

Así mismo para determinar el grado de saturación crítico de la intersección se consideró solo los grupos de carriles críticos de cada acceso; que reflejan los valores más altos de relación de flujo (Vi/Si) en el acceso.

TABLA 10.
Módulo análisis de capacidad (accesos norte y oeste).

MÓDULO DE ANÁLISIS DE CAPACIDAD				
Acceso	NORTE		OESTE	
Sentido de flujo vehicular	Norte - Sur		Oeste - Este	
Número de fases	F3	F3	F4	F4
Tipo de operación, Accionada(A) o Prefijada(P)	P	P	P	P
Flujo del grupo de carriles, Vi(veh/h)	92	542	356	987
Flujo de saturación ajustado, Si (veh/h)	1561	965	1552	1063
Tiempo verde efectivo, gi (s)	36	36	36	36
Relación de verde, gi/C	0.237	0.237	0.237	0.24
Capacidad del grupo de carriles, ci (veh/h)	369.7	457.1	735.3	755.1
Relación volumen-capacidad, Xi=Vi/Ci	0.248	1.19	0.484	1.307
Relación de flujo, Xi=Vi/Si	0.059	0.561	0.229	0.929
Grupo de carriles críticos por fase, X		X		X
Grado de saturación crítico, Xc	2.92			

Fuente: Propia de los autores [3] – 2019.

- Módulo de nivel de servicio

Con un nivel de servicio **D** para un grupo de carriles y **F** para el otro grupo de carriles respectivamente de los accesos considerados en este análisis, se estima que las demoras experimentadas por los usuarios son elevadas. Sin embargo, a nivel de accesos y en promedio total a nivel de intersección el nivel de servicio es **F**, lo que anuncia que el servicio que presta la intersección es paupérrimo.

TABLA 1.
Módulo de nivel de servicio (accesos norte y oeste).

MÓDULO DE NIVEL DE SERVICIO				
Acceso	NORTE		OESTE	
Sentido de flujo vehicular	Norte - Sur		Oeste - Este	
Flujo del grupo, Vi (veh/h)	92	542	356	987
Relación de verde, gi/C	0.237	0.237	0.237	0.237
Capacidad del grupo de carriles, ci (veh/h)	369.7	457.1	735.3	755.1
Relación volumen-capacidad, Xi=Vi/Ci	0.248	1.185	0.484	1.307
Demora uniforme, d1 (s/veh)	47.02	61.54	50.00	64.10
Demora incremental, d2 (s/veh)	1.4	99.6	1.8	139.0
Demora por cola inicial, d3 (s/veh)	0	0	0	0
Demora media por control de grupo, d (s/veh)	48.4	161.1	51.8	203.1
Nivel de servicio del grupo de carriles	D	F	D	F
Demora por acceso, dA (s/veh)	144,78		162,95	
Nivel de servicio del acceso	F		F	
Demora en toda la intersección, (s/veh)	162,04			
Nivel de servicio de la intersección	F			

Fuente: Propia de los autores [3] – 2019.

3.5. Análisis mediante software de tránsito (Synchro 8.0)

Synchro es un software de mucha utilidad que evalúa el nivel de servicio por grupo de carriles, por acceso y en general de la intersección; siguiendo los modelos matemáticos y premisas establecidas por el Highway Capacity Manual 2010. El programa comienza a partir del modelamiento de los volúmenes de tránsito y definición de las características geométricas de cada uno de los accesos que componen la intersección. Se presenta en la Fig. 5 los movimientos realizados además de los distintos flujos vehiculares que transitaron por la intersección el día Jueves 30 en su hora de máxima demanda.

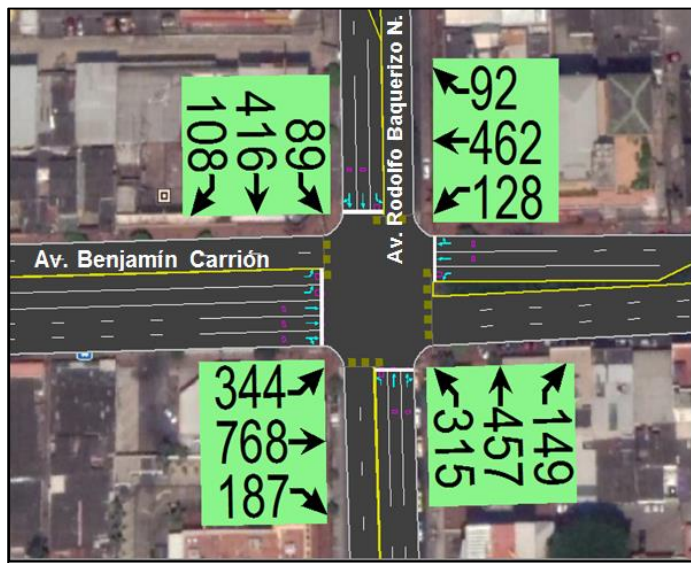


Fig. 5. Ingreso de volúmenes de tránsito mediante software.
Fuente: Propia de los autores – 2020.

En la siguiente etapa se definen las características del tránsito como son: su volumen peatonal, porcentaje de buses que bloquean la intersección, factor horario de máxima demanda, maniobras de parqueo, etc. Así mismo se determina las propiedades inherentes a la semaforización donde el plan de fases asignado conserva una especial atención dentro del manejo del software ya que el mismo por defecto tiende a emplear un patrón de fases preestablecido.

Como parte final del modelamiento se obtienen los resultados calculados por el software, como se aprecia en la Fig. 6. En la misma denota que el nivel de servicio que posee la intersección es D, para una longitud de ciclo de 152 segundos y bajo las condiciones prevalecientes de la zona de estudio. La demora que experimentan los usuarios es de 46 segundos y como mayor valor de relación volumen – capacidad (v/c) se tiene 1,06.

NODE SETTINGS	
Zone:	
X East (m):	312.2
Y North (m):	107.4
Z Elevation (m):	0.0
Description	
Control Type	Pretimed
Cycle Length (s):	152.0
Lock Timings:	<input type="checkbox"/>
Optimize Cycle Length:	Optimize
Optimize Splits:	Optimize
Actuated Cycle(s):	152.0
Natural Cycle(s):	50.0
Max v/c Ratio:	1.06
Intersection Delay (s):	46.0
Intersection LOS:	D
ICU:	0.85
ICU LOS:	E
Offset (s) :	0.0
Referenced to:	Begin of Green
Reference Phase:	2+6 - NBTL SBTL
Master Intersection:	<input type="checkbox"/>
Yield Point:	Single
Mandatory Stop On Yellow:	<input type="checkbox"/>

Fig. 6. Cuadro final de resultados de software.
Fuente: Propia de los autores – 2020.

3.5. Discusión de resultados

El presente estudio se desarrolló siguiendo la metodología propuesta por el HCM 2016 en la sección de circulación interrumpida, centrando su enfoque en el capítulo de intersecciones semaforizadas. Para el correcto desarrollo del mismo se realizó un aforo de tráfico, levantamiento topográfico, registró de tiempos de semáforos y aforo peatonal basándose en información de estudios previos de [3].

Los volúmenes vehiculares se mantienen relativamente constantes durante el día, con ligeras variaciones; lo que demuestra que la oferta vial de la intersección es superada por la demanda que recibe la misma. Esto a su vez se contrasta con el nivel de servicio **F** que presta la intersección.

El proceso de cálculo que aplica el software tiende a ser más conservador con respecto a sus resultados en comparación con el proceso manual desarrollado en el presente estudio. Existe un margen de error que debe ser considerado debido a valores que el software designa por defecto en el proceso de modelación. Valores como la tasa de flujo de saturación base que provee automáticamente 1900 v/h/carril, así como también sugiere un tiempo de ámbar y de todo rojo según los volúmenes y características físicas previamente ingresadas al programa.

El software determinó un nivel de servicio **D** para la intersección, valor cualitativo poco similar al determinado en el proceso de cálculo (LOS F) pero que; sin embargo, no está lejos de la realidad debido a que también se considera un

nivel de servicio poco aceptable para la demanda que recibe la intersección.

III. CONCLUSIONES

El sector posee un alto nivel comercial a lo largo de las avenidas estudiadas, esto se evidencia en el elevado tránsito peatonal que percibe la intersección a diario. Además, es importante acotar que en la intersección no se presentan conflictos con peatones en bicicletas.

En este caso no se tomó en cuenta la demora por cola inicial puesto que la cola de vehículos se despejó durante el periodo de análisis, aun así, el nivel de servicio para la intersección es F, con una demora global de 162,04 segundos; según el proceso matemático desarrollado en el estudio siguiendo los parámetros asignados. Para el resto de días de análisis los niveles de servicio presentan ligeras variaciones ya que fluctúan entre: D, E y F; esto se concibe en molestas demoras experimentadas por los usuarios de las avenidas.

El análisis para flujo interrumpido en intersecciones semaforizadas del Manual de carreteras en su versión 2016 es más riguroso en el *módulo de flujo de saturación* en comparación con versiones anteriores, cabe destacar que para el presente estudio no se consideró el factor de ajuste por trabajos en la zona y el factor por bloqueo de carril descendente.

El proceso que desarrolla el software Synchro 8 se rige a la versión del HCM 2010. Este software posee ciertas particularidades que se deben manejar a criterio del modelador puesto que el programa inserta valores por defecto, que a su vez pueden desviar o errar el resultado que se espera conseguir.

Según el modelamiento de este caso de estudio en base al tráfico actual y las condiciones físicas propias de la intersección el LOS asignado es **D** con una demora global de la intersección que asciende a los 46 segundos, estimaciones que difieren levemente con el cálculo desarrollado pero a manera comparativa ambos estudios sugieren que la demanda vehicular supera en gran medida a la oferta vial que la intersección ofrece; quedando así demostrado la urgente necesidad de una solución al problema de tráfico que esta presenta.

IV. RECOMENDACIONES

Debido a la elevada afluencia vehicular se recomienda no realizar trabajos de mantenimiento sobre la calzada, tales como bacheo, repavimentación, reparación de tuberías etc.

Se recomienda realizar un estudio de movilidad y factibilidad para las líneas de transporte público que transitan por la intersección; con el objetivo de reestructurar las rutas seguidas por este tipo de transporte, debido a que por las condiciones geométricas propias de la zona de estudio los buses contribuyen al congestionamiento vehicular al momento de recoger y dejar pasajeros en las paradas de buses.

Al momento de modelar un estudio de tránsito en un determinado software se recomienda conocer de amplia manera el modo de operación del programa y su margen de error, puesto que a pesar de obedecer un lineamiento programado; el mismo ejecuta operaciones que pueden ofuscar el debido y correcto desarrollo del estudio.

Se recomienda aplicar una modelación de software como especie de comprobación al cálculo manual que se realiza ante cualquier estudio de tránsito; esto a manera de reafirmar los resultados obtenidos; sin desmerecer el cálculo propio.

V. REFERENCIAS

- [1] Cal y Mayor, R., & Cárdenas Grisales, J. (2016). Ingeniería de Tránsito: fundamentos y aplicaciones. Bogotá: Alfaomega Colombiana S.A.
- [2] Cortez, M., & Marca, M. (2018). Análisis de la Influencia del Nuevo Puente Guayaquil - Samborondón Sobre el Nivel Operacional de la Avenida Pedro Menéndez Gilbert, Desde Planta Progreso Interagua Hasta Escuela de Infantería Aérea. Guayaquil.
- [3] Flores, G., & Villalta, E. (2019). Evaluación de la capacidad y nivel de servicio de la intersección comprendida entre la Av. Rodolfo Baquerizo Nazur y Av. Benjamín Carrión en la parroquia Tarqui de la ciudad de Guayaquil. Guayaquil.
- [4] Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). Norma Ecuatoriana Vial. Quito .
- [5] Romana, M., Nuñez, M., Martínez, J., & Diez, R. (2010). Manual de Capacidad de Carreteras: HCM 2010. Madrid: Fundación Confemetal.
- [6] Transportation Research Board. (2016). Highway Capacity Manual: A Guide for Multimodal Mobility Analysis. Washington D.C.: The National Research Council of Science-Engineering-Medicine. .
- [7] Vargas Vargas, W., Rincón Villalba, M., & González Vergara, C. (2012). Ingeniería de Tránsito: conceptos básicos. Bogotá: Universidad Distrital.