

Análisis del flujo vehicular en puntos críticos de la ciudad de Sonsonate, departamento de Sonsonate, El Salvador.

Universidad de Sonsonate.

Luis Antonio Toledo Cienfuegos, ltoledo@usonsonate.edu.sv
Mario Alonso Escobar Tobías, mescobar@usonsonate.edu.sv
Rubén Alfredo Mendoza Juárez, ramendoza@usonsonate.edu.sv

Resumen. *El objetivo del estudio fue hacer un análisis del flujo vehicular en los puntos de mayor congestión en la ciudad de Sonsonate, después del proyecto de reordenamiento ejecutado por la municipalidad. Específicamente comprende la identificación de los puntos críticos, el cálculo de las tasas de flujo y la presentación de alternativas para mejorar la fluidez en el tráfico de automotores. El estudio se focalizó en cuatro zonas de la ciudad, utilizando un cuadro matriz donde se registraba el número y tipo de vehículos que transitaban. Los resultados reflejan que la tasa máxima de flujo en horas pico en el centro de la ciudad es de 30 vehículos por minuto y que no debería provocar los congestionamientos que se generan. La realidad muestra que el congestionamiento se debe a la convergencia de muchas rutas de buses al centro de la ciudad y los hábitos que éstos tienen al hacer las paradas.*

Palabras claves: *flujo vehicular, puntos críticos de Sonsonate, congestión Sonsonate.*

I. INTRODUCCIÓN

Con el transcurso de los años, en las ciudades importantes de El Salvador, el flujo vehicular ha ido aumentando. El desarrollo vial ha sido insuficiente para enfrentar el crecimiento del parque

vehicular y actualmente se observa, en algunos puntos de las ciudades, un tráfico que excede al volumen de vehículos que puede pasar por ellos. Según el Vice-Ministerio de Transporte (Julio, 2014), el parque vehicular en El Salvador supera los 830,000 y aumenta anualmente entre 40,000 a 45,000 vehículos por año, de los cuales un poco más de 32,000 son nuevos, y el resto son vehículos con menos de 8 años de fabricación que ingresan chocados desde los Estados Unidos. Según la Asociación Salvadoreña de Medios de Publicidad Exterior ASMEPEX (2011) en Sonsonate diariamente ingresan 16,698 vehículos, 3,367 salen hacia Acajutla, 17,420 circulan por la Avenida Oidor Ramírez de Quiñónez y 2,642 salen de Sonsonate hacia Nahuizalco.

En Sonsonate, la circulación de los automotores en la zona céntrica de la ciudad generaba congestionamientos desde hace varios años. La ordenanza municipal del 2008, "Ordenanza Reguladora del Comercio Informal" que prohibía el uso de parques, aceras y

calles para las ventas informales, tuvo un efecto positivo temporal; sobre todo porque quedaba sin resolver el problema que se generaba sobre la tercera avenida sur. Es hasta enero de 2013 que se inauguró el proyecto Mega Plaza cuyo costo aproximado fue de 12 millones de dólares según AMUPREV (Alianzas Municipales para la Prevención de la Violencia en Centroamérica) y que cambió el panorama del flujo vehicular en el centro de la ciudad. Los congestionamientos dejaron de formarse en la zona sur-occidental de la ciudad y se trasladaron a otros puntos. El flujo de norte a sur sobre la avenida Morazán y sus intersecciones, en momentos generan un serio problema que debe atenderse lo más pronto posible.

Para abordar este problema se utilizó la técnica de análisis de redes. Ésta puede ser utilizada en diferentes circunstancias: redes de transporte, redes eléctricas, redes de comunicaciones, etc. La representación de redes (Frederick Hillier) se utiliza ampliamente en áreas como la producción, distribución, planeación de proyectos y administración de recursos, por citar algunos ejemplos. Para Hillier (2006) el concepto de red se define como una gráfica con un conjunto de líneas que unen a un conjunto de puntos llamados nodos o vértices. Las líneas se llaman arcos, ligaduras, aristas o ramas. En un problema de flujo de transporte, los arcos pueden ser la cantidad de automotores que pasan por una vía en un tiempo determinado; si el

flujo es en una sola dirección como en el caso de las calles de un solo sentido, el arco es dirigido (Hamdy Taha, 2011); si el flujo es en ambas direcciones (como en las calles de doble sentido), se dice que el arco es no dirigido. Una red que tiene solo arcos dirigidos se llama red dirigida. En el caso de la red de flujo vehicular, debe cumplirse que la suma de arcos que convergen a un nodo debe ser igual a la suma de los arcos que salen de ese nodo.

Con esta investigación se logra diagnosticar el flujo vehicular en puntos de mayor congestionamiento de la ciudad de Sonsonate tras la apertura del proyecto Mega Plaza, específicamente la identificación de puntos críticos, el cálculo de las tasas de flujo vehicular por minuto y proponer alternativas que mejoren el tráfico vehicular en las diferentes zonas de la ciudad.

II. METODOLOGÍA

Los datos obtenidos fueron analizados a través de una matriz donde se registraba el número de vehículos que transitaban por una vía cada treinta minutos, diferenciando entre buses, microbuses, taxis, vehículos livianos, camiones y pick up.

Para continuar la labor se tomó como base la experiencia y consulta ciudadana, identificando los puntos donde se forman los mayores problemas de tráfico vehicular. Con una distribución de 78 personas en turnos de 6 horas por la mañana y 6 horas por la tarde durante

los 7 días de la semana; estando los investigadores a cargo de dirigir y supervisar el proceso de recolección de los datos.

Los datos se agruparon por campos como zona, tipo de vehículo, vía, hora y día, de manera que se pudiera interpretar la información sobre el flujo de automotores en cada uno de esos campos. Las zonas fueron clasificadas en cuatro: la zona central de la ciudad, la zona sur ubicada en la entrada al Mega Plaza, la salida por la carretera Panamericana que conduce hacia Acajutla (a la altura de la terminal antigua) y la salida por la carretera Panamericana que conduce hacia San Salvador (a la altura del monumento al ferrocarril).

El flujo vehicular (q) es entonces el número de vehículos (N) que pasan durante un intervalo de tiempo específico (T) y se calcula con la siguiente expresión:

$$q = N/T$$

Al disponer de los valores de “ q ” en las diferentes vías, se obtienen los flujos en los cruces (nodos) que permite identificar el volumen en tránsito por un punto específico. También se construyó la red que permitió complementar los flujos en algunas vías. Con esta investigación no es posible identificar el volumen en tránsito diario debido a que el objetivo fue analizar el problema de congestionamiento que se produce en

horas pico, razón por la cual el estudio se realizó de 6 AM a 6 PM.

III. RESULTADOS

Zona 1. Centro de la ciudad.

Distribución del flujo vehicular según tipo de automotor:

TIPO	PORCENTAJE
LIVIANO	39.7%
TAXIS	3.8%
BUSES	11.0%
MICROBUS	7.7%
CAMION	9.7%
PICKUP	28.1%

Tabla 1. Flujo vehicular en la zona 1.

La tabla 1 muestra que cerca de 6 o 7 de cada 10 vehículos que circulan por el centro son pick ups o livianos; uno de cada 10 son buses y otro es camión. La cantidad de microbuses que circula es mucho menor a la cantidad de buses y 4 de cada 100 son taxis.

Como se observa (figura 1) la red vehicular de la zona uno tiene doce flujos:

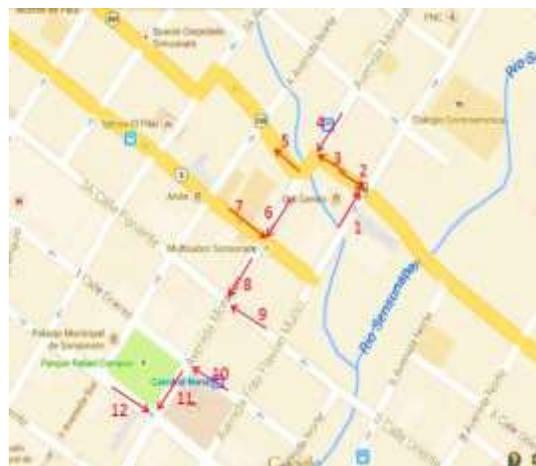


Figura 1. Mapa de la zona 1, centro de Sonsonate

Tasas de flujo “q” (vehículos/minuto)

flujo	promedio	Horas valle	Horas pico	nodo
1	4.19	2.33	5.42	A
2	1.78	1.48	2.51	
3	3.34	2.26	5.28	B
4	2.77	1.55	7.94	
5	1.78	1.37	3.09	C
6	5.27	3.09	6.22	
7	5.91	4.15	6.07	
8	7.25	6.32	10.22	D
9	3.51	2.26	5.18	
10	2.60	2.46	3.18	E
11	9.39	6.73	10.73	
12	17.69	14.00	18.43	

Tabla 2. Tasas de flujo de vehículos en la zona 1.

En la intersección de los flujos 1 y 2 (7ª C. O y Av. Fray Fabián Mucci) convergen cerca de 6 vehículos por minuto y 8 en horas pico; entre las rutas 3 y 4 (Av. Morazán y 7ª C.O.) el promedio es de 6 vehículos por minuto y 13 en horas pico; en la intersección de los flujos 6 y 7 (5ª C.P. y Av. Morazán) el promedio es de 11 vehículos por minuto y 12 en horas pico, por lo que es un nodo que tiene un flujo vehicular que fluctúa muy poco; en la intersección del flujo 8 y 9 (3ª C.O. y Av. Morazán) el flujo es de 11 vehículos por minuto, y en horas pico alcanza más de 15 por minuto. Sin embargo, el punto del centro de la ciudad más congestionado se ubica en la intersección de la calle Obispo Marroquín y la Avenida Morazán con un flujo promedio de 27 vehículos por minuto y 29 en horas pico por lo que también es un nodo que mantiene un flujo vehicular constante. La tabla 2

resume el comportamiento del tráfico en el centro de la ciudad.

Zona 2. Entrada al MEGAPLAZA

Distribución del flujo vehicular según tipo de automotor:

TIPO	PORCENTAJE
LIVIANO	30.1%
TAXIS	2.4%
BUSES	27.8%
MICROBUS	4.4%
CAMION	6.6%
PICKUP	28.7%

Tabla 3. Flujo vehicular en la zona 2.

La tabla 3 muestra que en la zona 2, el flujo vehicular en su mayoría son vehículos livianos, pickups y buses por ser la entrada hacia el Mercado local; 3 de cada 10 automotores que circulan en la zona son buses.

Como puede observarse (figura 2) la red vehicular de la zona 2 tiene 3 flujos, el 13 que son los que arriban sobre la prolongación de la Avenida Morazán (Avenida Rafael Campos), el 14 que son los que llegan sobre la 8ª Calle poniente y el 15 que viene de oriente a Poniente, que suben por un costado del Megaplaza y giran hacia la izquierda:

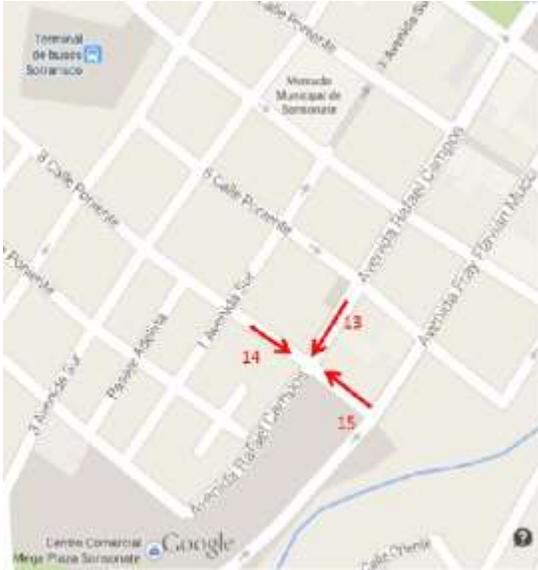


Figura 2. Mapa de la zona 2, Entrada a Mega Plaza

Tasas de flujo “q” (vehículos/minuto)

flujo	promedio	Horas valle	Horas pico	nodo
13	3.22	2.68	3.71	F
14	2.30	2	2.69	
15	0.92	0.78	1.10	

Tabla 4. Tasas de flujo de vehículos en la zona 2.

En la esquina de la entrada al Mega Plaza, en promedio, un vehículo llega cada nueve segundos, la mitad lo hacen por la Avenida Rafael Campos, y la otra mitad en su mayoría arriban por la 8ª Calle Poniente. El tráfico es bastante fluido debido a que los buses ingresan al costado del Megaplaza descongestionando los alrededores. La tabla 4 resume el comportamiento del tráfico en la zona 2.

Zona 3. Entrada a la ciudad por el sur de la carretera CA 12S.

Distribución del flujo vehicular según el tipo de automotor:

TIPO	PORCENTAJE
LIVIANO	36.2%
TAXIS	3.6%
BUSES	14.2%
MICROBUS	5.0%
CAMION	5.6%
PICKUP	35.4%

Tabla 5. Flujo vehicular en la zona 3.

La tabla 5 muestra que en el flujo vehicular en la zona, predominan los pickups y vehículos livianos, pero aumenta el flujo de buses debido a que es la única entrada a la terminal. Uno de cada 20 vehículos son camiones que ingresan a la ciudad por alguna diligencia que deben hacer, el resto que viene de Acajutla toma la vía alterna que lo conduce hacia Izalco, sin pasar por la ciudad de Sonsonate.

Como se observa (figura 3) la zona tiene seis flujos importantes:



Figura 3. Mapa de la zona 3, Entrada por el sur de la carretera CA 12S.

En la esquina del Pollo Campero converge un vehículo cada 5 segundos sobre la carretera CA 12S.

Tasas de flujo “q” (vehículos/minuto)

flujo	promedio	Horas valle	Horas pico	nodo
16	5.32	4.10	6.18	G
17	6.06	4.6	7.30	
18	6.10	5.75	7.22	
19	10.95	7.99	13.10	H
20	5.01	3.67	5.48	
21	5.14	4.02	6.17	

Tabla 6. Tasas de flujo de vehículos en la zona 3.

El flujo 16 que viene del centro de la ciudad hacia la terminal tiene un tiempo de llegada de un vehículo cada 11 segundos. En general es una de las esquinas de mayor flujo alcanzando en horas pico cerca de quince vehículos por minuto sobre la carretera y 6 que viajan del poniente al oriente de la ciudad. En promedio convergen 17 vehículos por minuto, alcanzando en horas pico los 21 y 15 en horas valle; significa que es un punto crítico de la ciudad en el que se mantiene un flujo de entre 15 y 21 vehículos por minuto. Las horas pico ocurren entre las 11 AM y 1 PM y entre 4:30PM y 5:30PM.

En la esquina de Bou, llegan un promedio de 16 vehículos por minuto de los cuales 5 ingresan a la ciudad por la 3ª C.O.; el flujo en horas pico alcanza los 19 vehículos por minuto y entre 5 y 6 de ellos entran por la 3ª C.O. En la tabla 6 se muestra un resumen del comportamiento del tráfico en la zona 3

Zona 4. Entrada a la ciudad por el norte de la carretera CA 12S.

Distribución del flujo vehicular según el tipo de automotor:

TIPO	PORCENTAJE
LIVIANO	47.5%
TAXIS	3.3%
BUSES	3.9%
MICROBUS	4.9%
CAMION	8.6%
PICKUP	31.8%

Tabla 7. Flujo vehicular en la zona 4.

La tabla 7 muestra que ocho de cada diez vehículos, en la zona, son livianos y pickups; 4 de cada 100 son buses debido a que solo ingresan por esa intersección los que provienen de Izalco. La mayoría de los vehículos pesados que provienen del interior del país toman la carretera alterna cuando se dirigen hacia Acajutla evitando entrar a la ciudad de Sonsonate.

En la zona se observan seis flujos (figura 4); en la intersección entre la 7ª C.O. y la carretera (monumento al ferrocarril), convergen unos 21 vehículos por minuto alcanzando los 26 vehículos en horas pico que son horas cercanas al mediodía y entre 4:30 PM y 5:30 PM.



Figura 4. Mapa de la zona 4, Entrada por el norte de la carretera CA 12S.

En la intersección entre cuarta calle de la Colonia Santa Marta y la Carretera CA 12S, llegan en promedio 16 vehículos por minuto, aproximadamente uno cada 4 segundos; en horas pico el flujo es de casi 20 vehículos por minuto; dos o tres de esos vehículos ingresan a la ciudad por la colonia Monte Río. La tabla 8 muestra el comportamiento del flujo vehicular en la zona 4.

Tasas de flujo “q” (vehículos/minuto)

flujo	promedio	Horas valle	Horas pico	nodo
22	7.86	6.69	9.55	I
23	2.48	2.10	3.29	
24	8.15	5.04	10.08	
25	7.37	5.35	8.50	J
26	5.99	4.49	6.69	
27	7.85	6.56	10.42	

Tabla 8. Tasas de flujo de vehículos en la zona 4.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aunque existen momentos en que el centro de la ciudad tiene, aparentemente, un exceso de flujo vehicular, los resultados muestran que en la intersección de la calle Obispo Marroquín y la Avenida Morazán se presenta el punto más crítico con un tiempo de llegada de un vehículo cada dos segundos en horas pico; si el semáforo tiene un tiempo de paso de 13 segundos, la cola más grande en horas pico sería de 7 vehículos. Los buses hacen la parada sobre la calle Obispo

Marroquín a la mitad de la vía, tardando de medio minuto a un minuto que es el tiempo suficiente para que la cola que inicialmente no debiera pasar de 7, pronto sea de entre 15 a 30; fenómeno que se repite en cada llegada de un bus, recordando que en esa cola de 15 o 30 hay entre 1 y 3 buses que repetirán el hecho al llegar a la parada.

El flujo por las rutas sobre la Avenida Morazán en horas pico, es de 10 vehículos por minuto por lo que no se esperarían congestionamientos; es importante colocar nuevamente el semáforo en la intersección de la 3ª C. O. y Av. Morazán, sobre todo por el tiempo que esperan en horas pico los que arriban sobre la 3ª C. O. provenientes del ex - cine Río. Es recomendable eliminar una de las tres paradas de buses de la ruta 53-E que están en los cuatrocientos metros de entre el parque Rafael Campo y el puente del río Julupe. Si en horas pico un bus hace una parada de 30 segundos entre la tercera y quinta calle genera una cola de 8 vehículos y con tres paradas en alrededor de 400 metros, se genera una cola de 24 vehículos en su recorrido.

Sobre la Avenida Fray Flavián Mucci en la intersección con la 7ª C. O. el flujo en horas pico es de 8 vehículos por minuto y no debería existir congestionamiento; sin embargo debe verificarse que los que transitan al norte hacia los centros escolares tomen su derecha al bajar a los estudiantes y además que no exista

posibilidad de parqueo por la izquierda. La señalización existe pero no se cumple. Las horas pico en el centro de la ciudad ocurren un poco antes de las siete de la mañana y en las horas cercanas al medio mediodía. Alrededor de las 9 AM y 2:30 PM se produce el menor flujo vehicular en la zona.

En las cercanías del Mega Plaza, no existen razones para que se produzcan congestionamientos; normalmente si el tiempo de espera en cola de los vehículos que ingresan al mercado se prolonga en horas picos, es por la única parada que se encuentra frente a él y por lo reducido de la calle. Las horas pico se mantienen desde las 10 de la mañana hasta pasado el mediodía.

En las zonas 3 y 4 se alcanzan las horas pico entre las 11 AM y 1 PM y nuevamente entre las 4:30 PM y 5:30 PM.

En las doce horas de mayor movimiento vehicular, a diario cerca de 4,363 automotores ingresan a la ciudad por la carretera que proviene de Acajutla y 5,700 lo hacen por la que proviene de San Salvador; 12,276 circulan diariamente por la Avenida Oidor Ramírez de Quiñónez en ambas direcciones.

V. REFERENCIAS

1. Hamdy Taha 2009, Investigación de Operaciones, 9ª Edición, Editorial Pearson.

2. Hillier-Lieberman 2006, Introducción a la Investigación de Operaciones, 8ª Edición, Editorial Mc Graw Hill.
3. AMUPREV. “El Salvador, Sonsonate: Alcaldía inauguró Centro Comercial Mega Plaza para recuperar el espacio público y el reordenamiento de la ciudad”. Disponible en <http://www.amuprev.org/noticias/?id=1931>
4. ASMEPEX, “Tráfico Promedio Anual 2011 en El Salvador”. Disponible en: <http://asmepe.com/traficovehicular.htm>
5. Vice-Ministerio de Transporte, El Salvador, “Parque Vehicular supera los 830 mil vehículos”, julio 2014. Disponible en: www.vmt.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&catid=1:noticias-ciudadano&id=1455:parque-vehicular-supera-los-830-mil-vehiculos&Itemid=77