

AFORO VEHICULAR EN UNA INTERSECCIÓN EN LA CIUDAD DE CELAYA

VEHICLE CAPACITY AT AN INTERSECTION IN THE CITY OF CELAYA

María del Carmen Escobar Castor

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
m2103042 @itcelaya.edu.mx

José Alfredo Jiménez García

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
josealfredo.jimenez@itcelaya.edu.mx

Vicente Figueroa Fernández

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
vicente.figueroa@itcelaya.edu.mx

Moisés Tapia Esquivias

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
moises.tapia@itcelaya.edu.mx

Recepción: 22/noviembre/2022

Aceptación: 30/mayo/2023

Resumen

Dada la complejidad del transporte urbano, se requiere cada vez en mayor grado la utilización de métodos y técnicas para cuantificar el mayor número posible de variables que tengan injerencia en el transporte. El presente trabajo tiene la finalidad de analizar el comportamiento del volumen vehicular en la intersección de las calles Av. México-Japón y Av. Tecnológico de la ciudad de Celaya. Se describe la geometría de la intersección, los movimientos permitidos que ocurren, así como otros detalles particulares que presenta y son de relevancia para el estudio. Para la investigación se realizó el aforo vehicular en los accesos de la intersección y se presenta un formato manual que permite registrar los tipos de vehículos y sus movimientos. Los datos obtenidos en el trabajo sirven para establecer variaciones horarias diarias y mensuales y el estudio más profundo de la intersección a través de la simulación.

Palabras clave: aforo vehicular, geometría de la intersección, volumen vehicular.

Abstract

Given the complexity of urban transport, the use of methods and techniques is increasingly required to quantify the greatest possible number of variables that have an influence on transport. The present work has the purpose of analyzing the behavior of the vehicular volume at the intersection of the streets Av. México-Japón and Av. Tecnológico in the city of Celaya. The geometry of the analyzed intersection, the allowed movements that can occur, as well as other details that the intersection presents and are relevant for the study are described. For the investigation, the vehicular capacity was carried out on the selected avenue at different times of the day and a manual format is presented that allows the types of vehicles and the movements in the analyzed intersection to be recorded. The data obtained in the work serve to establish daily and monthly hourly variations and the deeper study of the intersection through simulation.

Keywords: *vehicle capacity, geometry of the intersection, vehicle volume.*

1. Introducción

Uno de los principales problemas que a diario acontece en la ciudad de Celaya es el desproporcionado crecimiento del parque automotor producto del crecimiento económico y poblacional registrado en las últimas décadas. Según [ICAEG, 2020] la ciudad de Celaya presenta niveles elevados de contaminantes atmosféricos como el dióxido de nitrógeno (NO₂) y las partículas PM₁₀ [7].

De acuerdo con [ONU-HABITAT, 2016] en la ciudad de Celaya se deben realizar a nivel urbano estudios de movilidad necesarios para establecer estrategias integradas de movilidad sustentable (transporte público, peatón, ciclovía) con el propósito de reducir el uso del automóvil y concretar proyectos de transporte público, que reduzcan tiempos y costos de traslado a los ciudadanos.

La eficiencia de un sistema de transporte es un índice del desarrollo económico de un país. Esto significa que al contar con un sistema de transporte adecuado y eficiente ayuda al crecimiento económico y regional, permite la estandarización y la integración al mundo globalizado. Un buen diseño de las vías terrestres es clave para mantener un sistema de transporte eficaz [Villegas Villa, 2013].

El flujo de vehículos en una red vial muestra aspectos notables que justifican un tratamiento más elaborado que una simple organización de un conjunto de arterias viales, elaborando modelos que solucionen los problemas que se presenten en la circulación de los vehículos [Alpízar Arteaga & del Risco Sánchez, 2012].

El elemento inicial para llevar a cabo diversos análisis en materia de movilidad es la realización de aforos vehiculares, que están íntimamente relacionados con la planificación de sistemas de transporte. Cabe destacar que existen tecnologías capaces de llevar a cabo este tipo de estudio, que por sus elevados costos son de uso limitado, tales como detectores elevados de datos de tránsito, detectores de radar microondas, por mencionar algunos. [Bringas Flores, López García, & Mejía Olvera, 2016]. En este estudio se presenta un proceso para la recopilación de los aforos vehiculares en la intersección de las calles Av. México-Japón y Av. Tecnológico de la ciudad de Celaya con el objetivo de analizar el volumen de vehículos, su comportamiento y congestionamiento vehiculares. A partir de este análisis se podrán establecer variaciones horarias diarias y mensuales para mejorar el flujo vehicular, además de proporcionar los datos para realizar estudios más profundos en tan compleja intersección.

2. Métodos

Los estudios de aforos vehiculares pueden proporcionar una gran cantidad de información; sin embargo, también puede ser un esfuerzo que consuma mucho tiempo y recursos. Es fundamental coordinar de manera efectiva el esfuerzo de estos estudios para garantizar un resultado rentable. A continuación, se describe por pasos el proceso de aforo vehicular.

Definición del sistema bajo estudio

Para el estudio se seleccionó la intersección de las Avenidas México-Japón y Av. Tecnológico dentro de la ciudad de Celaya, Guanajuato. Se trata de una intersección semaforizada que conecta dos de las vías más importantes de la ciudad, y es considerada como una de las más transitadas y con mayor flujo vehicular. Además, cerca de ahí se encuentra la ciudad industrial lo que provoca

mucho tráfico pesado de vehículos de carga que satura la vialidad generando demoras de tiempo en la intersección. En la figura 1 se muestra una imagen de la intersección tomada de Google Earth.



Fuente: Tomada de Google Earth.

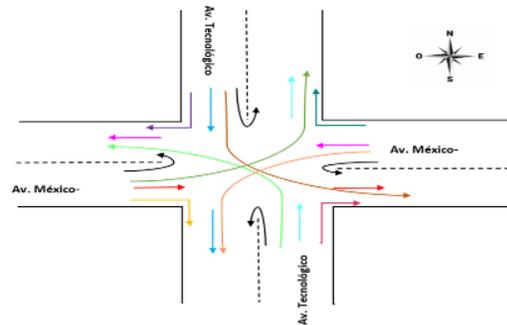
Figura 1 Intersección objeto de estudio.

Caracterización de la intersección

Para caracterizar la intersección se vuelve necesario realizar una descripción de su geometría. Esta intersección es el cruce de las Avenidas Tecnológico y México-Japón. Tiene cuatro accesos: dos por la Avenida Tecnológico en dirección Sur-Norte o Norte-Sur, y los otros dos por la Avenida México- Japón en dirección Este-Oeste y Oeste-Este. La zona cuenta con escasa vegetación, lo que puede afectar la calidad del aire. De acuerdo con lo observado en el área, la mayoría de los peatones utilizan los cruces peatonales para atravesar la intersección, aunque también se observó a algunos cruzando por zonas no designadas para ello, lo cual puede aumentar el riesgo de accidentes. Además, algunos peatones parecían distraídos con sus teléfonos móviles mientras cruzaban la calle, lo que también puede aumentar el riesgo de accidentes. En cuanto a los ciclistas, se observó que algunos utilizaban los carriles designados para ellos, mientras otros optaban por circular por la acera, lo cual puede ser peligroso para los peatones. También se observaron algunos ciclistas violando las señales del tráfico, como los semáforos y las señales de stop, lo que aumenta el riesgo de accidentes con vehículos motorizados.

En general, esta intersección presenta condiciones desfavorables en términos de movilidad y calidad del aire, lo que hace necesario encontrar soluciones para

mejorarla. Para el registro de los datos, fueron definidos los movimientos mostrados en figura 2, de manera que se pudiera llevar a cabo una adecuada recopilación de datos en la intersección. Cada movimiento (giro a la izquierda, movimiento frontal, giro a la derecha, vuelta continua) está representado por un color, excepto las vueltas continuas que se representan con flechas negras. En cada avenida hay un carril destinado a las bicicletas. Esta intersección presenta problemas de congestionamiento, debido a su cercanía con la ciudad Industrial recibe el tránsito de vehículos pesados y se incorporan vehículos de las carreteras de Salamanca-Celaya y Querétaro-Celaya, provocando embotellamientos y pérdidas de tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2 Movimientos en la intersección.

Clasificación de los vehículos

La clasificación vehicular es una forma de categorizar los diferentes tipos de vehículos que circulan en una vía. Esta clasificación es importante a la hora de realizar aforos vehiculares, ya que permite obtener información detallada sobre el volumen y la composición del tráfico en la zona de estudio. Se utilizó la clasificación empleada que se muestra en la tabla 1.

Recopilación de datos

Los aforos manuales consisten en registrar la cantidad de vehículos, por tipo, que cruzan una línea imaginaria en diferentes puntos carreteros y urbanos, con la finalidad de determinar 100% los volúmenes de vehículos, así como su composición vehicular. En su forma más simple, el aforo manual requiere a una persona con lápiz, anotando los movimientos por dirección y por tipo de vehículo en una hoja de

campo. La clasificación de los vehículos puede ser tan simple como la distinción entre el automóvil y el camión, o tan detallada por su número de ejes y/o peso [Villegas Villa, 2013]. La recopilación de datos se realizó mediante el método manual de forma indirecta. Según [Shafi Mir & Illahi, 2019] en este método, los datos se recopilan utilizando una cámara de video. El video se captura durante un período de tiempo determinado, los datos se recuperan y luego se ingresan en las hojas de observación al rebobinar.

Tabla 1 Clasificación de los vehículos.

Tipo de vehículo	Descripción gráfica
Ligero	Son vehículos diseñados para el transporte de pasajeros y carga ligera. Generalmente, tienen un peso máximo de 3.5 toneladas y suelen ser utilizados para viajes cortos o para uso personal.
Carga	Son vehículos diseñados para el transporte de mercancías y carga pesada. Estos vehículos pueden ser clasificados en diferentes categorías según su capacidad de carga, desde camiones ligeros hasta camiones pesados con capacidades superiores a 20 toneladas
Autobuses	Son vehículos diseñados para el transporte de pasajeros en trayectos de larga y corta distancia. Estos vehículos suelen ser clasificados según su capacidad de pasajeros, desde minibuses con capacidad para menos de 15 pasajeros, hasta autobuses articulados con capacidad para más de 80 pasajeros.
Motores	son vehículos de dos ruedas diseñados para el transporte de una o dos personas. Estos vehículos son muy utilizados en zonas urbanas debido a su bajo costo de adquisición y mantenimiento, y su facilidad de movilidad en el tráfico.
Bicicletas	Son vehículos de dos ruedas diseñados para el transporte de una persona. Las bicicletas son una alternativa sostenible y saludable para el transporte personal en zonas urbanas y rurales.

Fuente: adaptado de [Toledo Aguilar, 2017].

Ventajas del método:

- Aplicable cuando el volumen es alto.
- Además del volumen de tráfico, se pueden obtener varios parámetros de tráfico de la película grabada.
- Los datos se pueden cotejar y se puede garantizar la calidad.

Desventajas:

- Los datos no se utilizan inmediatamente después de la recopilación.
- Este proceso requiere mucho tiempo y es tedioso.

Realizar correctamente los aforos vehiculares es fundamental para la planificación, diseño y evaluación de políticas públicas de transporte, para la seguridad vial y para

la mejora de la eficiencia del transporte. La recolección de los datos se llevó a cabo en un día típico entre las 12 y 13 horas, considerado como horario pico ya que es cuando se presenta el mayor flujo vehicular observado.

Los aforos se realizaron mediante videograbación con el apoyo de un dron, lo que permitió registrar cuántos automóviles pasaban por cada uno de los semáforos como se muestra en tabla 2.

Tabla 2 Formato de aforos vehiculares.

Instituto Tecnológico de Celaya, Guanajuato.		Fecha:								
Registro de volúmenes vehiculares por maniobras y tipos de vehículos		Aforadores:								
Acceso: Ave. Tecnológico Norte-Sur		Aforadores:								
Volumen horario	Tipo de vehículos	Movimientos				Total	% Movimientos			
		GI	F	GD	VU		GI	F	GD	VU
Volumen de vehículos por hora	Ligero	176	628	116	32	952	22%	64%	11%	3%
	Autobuses	24	156	28	0	208				
	Carga	108	160	28	12	308				
	Motores	40	60	8	0	108				
	Bicicletas	0	8	0	0	8				
	Total	348	1012	180	44	1584				
Instituto Tecnológico de Celaya, Guanajuato.		Fecha:								
Registro de volúmenes vehiculares por maniobras y tipos de vehículos		Aforadores:								
Acceso: Ave. Tecnológico Sur-Norte		Aforadores:								
Volumen horario	Tipo de vehículos	Movimientos				Total	% Movimientos			
		GI	F	GD	VU		GI	F	GD	VU
Volumen de vehículos por hora	Ligero	264	612	92	100	1068	25%	57%	9%	9%
	Autobuses	0	32	4	0	36				
	Carga	12	72	12	16	112				
	Motores	44	24	12	4	84				
	Bicicletas	-	4	0	-	4				
	Total	320	744	120	120	1304				
Instituto Tecnológico de Celaya, Guanajuato		Fecha:								
Registro de volúmenes vehiculares por maniobras y tipos de vehículos		Aforadores:								
Acceso: Ave. México-Japón Oeste-Este		Aforadores:								
Volumen horario	Tipo de vehículos	Movimientos				Total	% Movimientos			
		GI	F	GD	VU		GI	F	GD	VU
Volumen de vehículos por hora	Ligero	308	284	140	36	768	40%	38%	16%	5%
	Autobuses	4	40	12	4	60				
	Carga	124	76	28	12	240				
	Motores	24	36	8	4	72				
	Bicicletas	-	-	-	-	-				
	Total	460	436	188	56	1140				
Instituto Tecnológico de Celaya, Guanajuato		Fecha:								
Registro de volúmenes vehiculares por maniobras y tipos de vehículos		Aforadores:								
Acceso: Ave. México-Japón Este-Oeste		Aforadores:								
Volumen horario	Tipo de vehículos	Movimientos				Total	% Movimientos			
		GI	F	GD	VU		GI	F	GD	VU
Volumen de vehículos por hora	Ligero	152	328	76	-	556	24%	62%	13%	0%
	Autobuses	20	36	-	-	56				
	Carga	24	92	36	4	156				
	Motores	24	88	8	-	120				
	Bicicletas	-	12	-	-	12				
	Total	220	556	120	4	900				

Fuente: elaboración propia.

Se registró el volumen para una hora. Se contaron los automóviles que pasaban por cada carril y los tipos de movimientos. En la tabla 2 se presenta el resumen de los aforos. Durante la recolección de datos, se registró un total de 4928 vehículos mixtos por hora. La intersección cuenta con semáforos sincronizados en cada una de las cuatro esquinas para coordinar el flujo vehicular y permitir el cruce seguro de peatones en los intervalos correspondientes. Se tomó el tiempo de ciclo (verde, amarillo y rojo) de los semáforos que se encuentran en el sistema a simular como se observa en la tabla 3.

Tabla 3 Control semafórico de la intersección analizada.

Accesos a la intersección de la Avenida Tecnológico y Avenida México-Japón	Luz de estado			Ciclo semafórico
	verde	amarilla	roja	
Avenida Tecnológico dirección Norte-Sur	30	2	113	145
Avenida Tecnológico dirección Sur-Norte	30	2	113	145
Avenida México- Japón dirección Oeste-Este	30	2	113	145
Avenida México- Japón dirección Oeste-Este	30	2	113	145

Fuente: elaboración propia.

3. Resultados

En primer lugar, se realizó el análisis exhaustivo de los datos recopilados, clasificándolos según el tipo de vehículos que transita por cada uno de los cuatro accesos de la intersección. Cabe destacar que, aunque los aforos de las bicicletas se incluyeron en la tabla 1, no se representaron gráficamente debido a su baja representatividad en el volumen total de circulación. De acuerdo con la gráfica de la figura 3 que corresponde a la composición vehicular de la intersección bajo estudio durante los ciclos analizados es evidente que existe un flujo vehicular significativo y es ocupado por los autos ligeros con un 72% del volumen total de circulación, seguidos por los vehículos de carga con 14%. En comparación, los autobuses presentan un menor movimiento de tránsito vehicular, en conjunto con las motos. En el caso de los accesos, el gráfico de la figura 4 revela que los accesos con mayor flujo vehicular son Avenida Tecnológico en dirección Norte-Sur y Avenida Tecnológico en dirección Sur-Norte, representando el 32 y 26% del volumen total, respectivamente. Estos resultados destacan la importancia de estos accesos en términos de tránsito vehicular en la intersección estudiada.



Figura 3 Composición vehicular en la intersección Av. México-Japón y Av. Tecnológico.

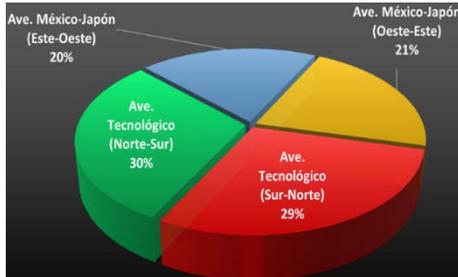


Figura 4 Flujo vehicular para cada uno de los accesos de la intersección analizada.

En cuanto a los tipos de movimientos, se registró que el movimiento frontal era el más común, con un total de 2748 vehículos por hora. Le siguió el giro a la izquierda, con 1348 vehículos por hora. Por otro lado, se observaron menos giros a la derecha, con 608 vehículos por hora, y vueltas continuas, con 224 vehículos por hora.

Estos resultados son de vital importancia para la planificación y diseño de políticas de transporte, así como para mejorar la eficiencia y seguridad vial en la intersección estudiada. Además, brindan información valiosa sobre los patrones de tráfico y los tipos de movimientos más frecuentes, lo cual puede ser utilizado para implementar mejoras en la infraestructura vial y optimizar los tiempos de viaje en la zona.

4. Discusión

Los estudios sobre movilidad urbana muestran la importancia de los aforos vehiculares, ya que estos permiten conocer los volúmenes y tipos de vehículos que circulan en la red de carreteras.

En la ciudad de Celaya se han realizado diversos estudios que se han centrado en la microsimulación de las avenidas e intersecciones más importantes de la ciudad. Tal es el caso de [Espinoza Mondragón, 2017], que a partir de un modelo de

microsimulación de la avenida Boulevard Adolfo López Mateos, propone un diseño de experimentos para reducir el tiempo de recorrido y por ende minimizar algunos efectos negativos en consecuencia del excesivo tráfico vehicular lo que permitió encontrar los niveles adecuados en los que se debía operar el sistema de tráfico vehicular para contribuir de manera importante al mejoramiento de la movilidad.

Por otro lado, [Toledo Aguilar, 2017] en su trabajo de investigación propuso un estudio para entender los efectos: productivo, ambiental y de infraestructura que se producen derivados de la movilidad vehicular, en avenidas como: Juan José Torres Landa, Irrigación, Constituyentes, 12 de octubre y prolongación Fco Juárez.

En la investigación de [Almanza Mendoza, 2019] se propuso el diseño de un sistema de ciclovías mediante un enfoque de microsimulación, el cual permitió analizar las rutas más eficientes para los ciclistas. En el estudio realizado por [Guzmán Sáenz, 2017] análisis del flujo vehicular empleando el enfoque de líneas de espera, en el corredor industrial Querétaro–León, tramo Celaya a Querétaro.

[Maus Acevedo, 2017] en su investigación realiza el análisis de tiempo de desplazamiento en la ciudad de Celaya a través del enfoque de líneas de espera.

Por último [Tiburcio Sánchez & Godínez López, 2017] en su estudio realizó un análisis del comportamiento del tráfico vehicular en una intersección vial mediante la simulación a través del software “ProModel”, simulando la situación actual y buscando mejoras del flujo vehicular reflejándose en la reducción de la cantidad de vehículos en línea de espera.

En todas las investigaciones revisadas se realizaron aforos vehiculares con el fin de obtener los datos necesarios para llevar a cabo el estudio, sin embargo, solo en la investigación de [Toledo Aguilar, 2017] se realizó un aforo de la intersección objeto de estudio del presente trabajo. Debido a la importancia que tiene dicha intersección y la propuesta de solución proyectada por el gobierno para ser implementada, se vuelve prioritario realizar un aforo vehicular que proporcione información renovada y de interés para el proyecto.

El presente trabajo es de mucha importancia ya que brinda un método detallado para realizar los aforos vehiculares. El registro correcto de la información posibilita que se pueda modelar con exactitud la intersección objeto de estudio, introducir

correctamente los datos en un software de microsimulación y luego estos datos reflejen la realidad de la situación actual.

5. Conclusiones

En este trabajo se brinda un formato manual que permite una recopilación precisa y completa de los datos de los aforos, lo cual es fundamental para la planificación, diseño y evaluación de políticas públicas de transporte. Al proporcionar una descripción clara de los pasos a seguir y los elementos para tener en cuenta durante la recopilación de datos, este formato facilita la estandarización y la replicabilidad de los estudios de aforos vehiculares. A partir de los datos de este estudio se concluye que en la intersección Avenida Tecnológico y Avenida México-Japón el mayor porcentaje de volumen vehicular lo ocupan los vehículos ligeros y de carga con un 72 y 14% respectivamente. Además, se identifica que el acceso con mayor flujo vehicular es la Avenida Tecnológico en dirección Norte-Sur con aproximadamente un 32% de tránsito. Estos hallazgos son importantes para la programación adecuada del tiempo verde en el ciclo semafórico de dicho acceso, considerando la demanda de vehículos.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Almanza Mendoza, A. d. (2019). Diseño de un sistema de ciclovías en la ciudad de Celaya mediante un enfoque de microsimulación. Celaya: Instituto Tecnológico de Celaya.
- [2] Alpízar Arteaga, E., & del Risco Sánchez, A. (2012). Diseño de un sensor de flujo vehicular basado en lazo inductivo. *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 33-44.
- [3] Bringas Flores, E., López García, K., & Mejía Olvera, A. (2016). Modelo de mejora continua basado en la implementación de un software en el proceso de aforos vehiculares. Ciudad de México: Instituto Politécnico Nacional.
- [4] Bustamante Garbo, G. T. (2017). Análisis de la variación del volumen vehicular del distribuidor de tráfico en el sentido desde Tillales a Río Siete. Machala: Universidad Técnica de Machala.

- [5] Espinoza Mondragón, J. (2017). Mejora del flujo vehicular y reducción de las emisiones de CO2 mediante un modelo de microsimulación utilizando el software PTV Vissim 7. Celaya: Instituto Tecnológico de Celaya.
- [6] FHWA. (2004). Traffic analysis toolbox Volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software. Washington: Washington: FHWA-HRT-04-040.
- [7] Guzmán Sáenz, G. (2017). Análisis del flujo vehicular en el corredor industrial Querétaro-León, tramo Celaya a Querétaro, a través del enfoque de líneas de espera. Celaya: Instituto Tecnológico de Celaya.
- [8] (ICAEG) Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato . (2020). Informe de Calidad del Aire del Estado de Guanajuato 2020. ICAEG.
- [9] Maus Acevedo, A. C. (2017). Análisis del tiempo de desplazamiento en la ciudad de Celaya a través del enfoque de líneas de espera. Celaya: Instituto Tecnológico de Celaya.
- [10] ONU-HABITAT. (2016). Índice Básico de las ciudades prósperas City Prosperity Index, CPI.
- [11] Shafi Mir, M., & Illahi, U. (2019). Traffic Engineering Laboratory Mnaual. Srinagar: National Institute of Technology Srinagar.
- [12] Tiburcio Sánchez, M. d., & Godínez López, R. (2017). Optimización de una intersección vial en la ciudad de Celaya mediante simulación con promodel. *Ciudad y desarrollo sustentable*, 49-59.
- [13] Toledo Aguilar, L. Á. (2017). Análisis del impacto de la movilidad vehicular en las avenidas importantes de la ciudad de Celaya, Guanajuato con enfoque de microsimulación. Celaya: Instituto Tecnológico de Celaya.
- [14] Villegas Villa, K. N. (2013). Medición de aforos en carreteras en México. Comparación de los resultados entre aforo automático y aforo manual. Ciudad de México: UNAM.