

CUELLOS DE BOTELLA EN LAS VALIDADES

Mariana Marcelino-Aranda¹
María del Carmen Martínez Cuevas¹

Cinthia Yareli Velazquez Ramos¹
Alejandro D. Camacho Vera²

¹ Instituto Politécnico Nacional- UPIICSA

² Instituto Politécnico Nacional- ENCB

mmarcelino@ipn.mx
mmartinezc1706@alumno.ipn.mx

cvelazquezr1903@alumno.ipn.mx
adcamachov@yahoo.com

Resumen

Los puntos de congestión recurrentes en las ciudades, conocidos como cuellos de botella, ocasionan demoras significativas, emiten contaminantes y afectan negativamente la calidad de vida de los residentes. Los principales factores que contribuyen a esta problemática son la alta densidad de población, la falta de suficiente infraestructura vial y el diseño ineficiente de calles y cruces. Para hacer frente a estos desafíos, se plantean soluciones como la mejora de la infraestructura vial, el impulso de transporte público eficiente, la implementación de medidas de gestión del tránsito y la promoción de la movilidad sostenible. Sin embargo, para lograr una implementación exitosa de estas soluciones, es necesario llevar a cabo una planificación integral, realizar inversiones y fomentar la colaboración entre las autoridades y los ciudadanos. Es fundamental abordar de manera efectiva los cuellos de botella en las vías de las ciudades con el fin de mejorar la movilidad urbana y la calidad de vida de sus habitantes.

Palabras Clave: Cuellos de botella, vialidades, intersecciones, ciudades sustentables.

Introducción

Las ciudades han llegado a ser los principales centros de las actividades económicas, por lo que la población tiende a desplazarse a éstas en busca de trabajo, educación, servicios, comodidades culturales o sociales, lo cual provoca la concentración de personas que requieren desplazarse de un punto a otro y por ende el aumento vehicular en las vialidades.

La necesidad de movilización y el incremento de la demanda del transporte requieren de infraestructura óptima, planeada y diseñada previamente para la construcción de vías y redes de conexión efectivas, sin embargo, en ciertas situaciones no es así. Es entonces, cuando las ciudades se enfrentan a problemas de transporte urbano, como son: el tránsito, accidentes de tránsito, contaminación del aire e impacto ambiental, por mencionar algunos.

La falta de vías adecuadas y la insuficiencia de carriles, contribuyen a la formación de cuellos de botella en puntos estratégicos, donde el flujo del tránsito se ve limitado por intersecciones congestionadas y calles restringidas, lo que provoca demoras. Las intersecciones son puntos donde se cruzan dos o más vías, en ocasiones su capacidad está restringida por la necesidad de ceder el paso a vehículos que se mueven en direcciones opuestas o que quieren girar en la misma dirección, causando que los vehículos tengan que esperar más tiempo para cruzar la intersección, lo que dar lugar a los cuellos de botella (Bull, 2003).

Antecedentes, definición, metodologías para la identificación y ubicaciones de los cuellos de botella

Los núcleos de población, en su búsqueda por la supervivencia y la coexistencia, sentaron las bases de lo que hoy se conoce como ciudades, donde el término “ciudad” proviene del latín civitas que era como los romanos llamaban a la ciudadanía romana. Los antecedentes de los cuellos de botella en las vialidades se remontan a estos primeros asentamientos humanos, dando lugar a nuevas formas urbanas, contenidos sociales y modos de vida, centralidades y otras innovaciones en el crecimiento de las configuraciones de la construcción urbana. (Capel, 2003, 9).

Estas nuevas formas urbanas permitieron ciertos progresos como el desarrollo de tecnología y urbanización, y por consecuencia de este último la necesidad de movilizarse, con lo que

incrementó la demanda del transporte. Estos dos últimos puntos requieren de infraestructura óptima, planeada y diseñada previamente para la construcción de vías y redes de conexión efectivas con el fin de conectar las ciudades de manera eficiente y cubrir la necesidad de movilización del crecimiento de la mancha urbana. Sin embargo, aunque lo ideal es planificar redes de vialidades de acuerdo con el crecimiento de las ciudades, en ciertas situaciones no es así. Por ejemplo, Yakarta, Indonesia experimenta un crecimiento explosivo sin una planificación urbana adecuada, lo que ha conducido a problemas de movilidad específicamente los “cuellos de botella” (Pérez, 2019). Un cuello de botella es una situación en la que la demanda de una vialidad excede la capacidad establecida y esto genera efectos negativos en la sociedad, economía y ambiente, entre los que se incluyen accidentes, pérdidas económicas y aumento de la contaminación (Bull, 2003).

Se considera que el término cuello de botella proviene del sector productivo y se define como una limitación de la capacidad que crea una dificultad para que fluya la demanda (Moore et al., 2013). En biología, se refiere a una limitación en la capacidad de una población para adaptarse a cambios ambientales o para mantener la diversidad genética (Lorenzo, 2014). En la gestión de proyectos, a un punto de congestión que causa retrasos en el flujo de trabajo (Benitez, 2021).

En el ámbito del transporte urbano desde una manera muy general Britannica Dictionary (2023), lo define como sección de carretera o autopista. No obstante, Hidalgo (2021) lo especifica cómo un punto de congestión en una vialidad, por su parte Collins (2023) considera que es un lugar donde una carretera se vuelve estrecha o donde se encuentra con otra carretera. Aquí tenemos que los tres autores coinciden que el tránsito se ve afectado, ya que se mueve lentamente, causa retrasos y en ocasiones provoca atascos.

El diccionario Merriam Webster (s.f) está de acuerdo con Collins que es una proporción estrecha de una carretera, mientras que la Federal Highway Administration por sus siglas en inglés FHWA (2016), señala que una vialidad no necesariamente tiene que estrecharse para que exista un cuello de botella, porque también son causados por zigzagreo o una subida.

Transportation Research Board en su libro HCM (Highway Capacity Manual) (2010), Jiménez (2011), FHWA (2007), Chen et al., (2004) concuerdan que es un elemento del sistema en el que la demanda excede la capacidad, es decir, son puntos donde no se tiene capacidad de satisfacer la demanda adicional.

Históricamente, los cuellos de botella se han clasificado en primer lugar como recurrentes, es decir, predecibles y rutinarios, mayormente durante las horas pico de desplazamiento, y siguen patrones de día de la semana y mes del año, los cuales generalmente se corrigen mediante rediseños. En segundo lugar, están los no recurrentes que se producen por eventos y factores aleatorios como incidentes, accidentes, mal tiempo, eventos especiales y zonas de trabajo, sus soluciones se encuentran menos influenciadas por el diseño y más por oportunidades de respuesta a eventos para mejorar la condición (FHWA, 2016; Transportation Research Board, 2010). Es importante enfatizar que “Un cuello de botella puede causar congestión, pero la congestión no siempre es el resultado de un cuello de botella” (FHWA, 2016, p. 10), de tal manera que éste ocurre en un punto específico de la vialidad y por su lado la congestión se da a lo largo de todo el corredor o vialidad, con lo que se deduce que los cuellos de botella comprenden solo una parte de las causas de la congestión y que este primero es un elemento subordinado.

Entonces, un cuello de botella es un punto en una vialidad donde los vehículos reducen su velocidad y experimentan retrasos en el flujo de tránsito vehicular, donde debido a la geometría e infraestructura de la vialidad se reducen carriles (no necesariamente) o la capacidad es rebasada por la demanda y generalmente son predecibles por las horas de máxima ocupación, estas causas son parte de los cuellos de botella recurrentes. Por otro lado, cuando se producen por factores externos y aleatorios tales como accidentes, incidentes o el clima, son llamados cuellos de botella no recurrentes.

El primer paso para dar solución a los cuellos de botella es identificarlos, esto se consigue mediante métodos que se basan principalmente en datos obtenidos de la carretera, que van desde su estructura geométrica hasta estudios realizados a la misma. En algunos casos se detectan fácilmente mediante la observación intuitiva y otros, en alguna zona determinada, implican análisis y comprensión de los flujos de tránsito o actividades que se detienen debido a problemas de congestión, infraestructura inadecuada u otros factores.

Uno de los métodos más fáciles para identificarlos es comparar las velocidades promedio de los tramos de una red vial. Los tramos con velocidades promedio más bajas que los demás tramos son probables cuellos de botella, ya que la cola que se forma en estos tramos reduce la velocidad de los vehículos (Ochoa, 2015).

FHWA (2016) comparte algunos de los métodos que se emplean para la identificación de los cuellos de botella en las vialidades:

- Método de filtrado Wavelet para arterias señalizadas. Consiste en analizar la variabilidad del flujo de tránsito en las arterias señalizadas con la finalidad de filtrar porciones de retraso que parecen no estar relacionadas con la congestión.
- Matriz de confiabilidad anual (ARM). Es útil para visualizar simultáneamente la intensidad y variabilidad de los cuellos de botella a lo largo del año o varios años, se desarrolló para integrar la confiabilidad en la evaluación de los cuellos de botella. Sin embargo, no cuantifica las reducciones de velocidad.
- Índice de intensidad de cuellos de botella (BII). Realiza la comparación entre el rendimiento establecido de la vía según sus características y el rendimiento real de la vialidad. Este método es un intento de capturar el tamaño y la forma del ARM en un solo número.
- Herramienta de identificación de congestiones y cuellos de botella (CBI). Esta herramienta utiliza técnicas como la identificación de la intensidad, duración de los cuellos de botella, así como la medición de la velocidad de los vehículos para identificar, medir y clasificar los cuellos de botella en las vialidades.

Zhenget al., (2011) consideran que el método más sencillo para identificar los cuellos de botella y las propagaciones espaciotemporales de las colas resultantes es mediante el uso de datos no procesados, como el recuento de vehículos, velocidades medias temporales u ocupación, provenientes de sensores de tránsito fijos.

Algunas ubicaciones comunes en las que se encuentran los cuellos de botella son en salidas de carril que son rampas de salida, donde generalmente los vehículos reducen gradualmente su velocidad para poder salir de la vialidad de manera segura, no obstante, estas rampas entorpecen la circulación del resto de vehículos. Por ejemplo, si el carril de salida no tiene la suficiente capacidad o tiene una longitud corta, forma una cola en la rampa que puede alargarse hasta la vialidad principal de la cual se está saliendo. De igual manera se tienen las rampas de entrada, son carriles que normalmente permiten incorporarse de una vialidad secundaria a una vialidad principal, aquí se ve afectado el flujo de vehículos si la vialidad principal no cuenta con carriles auxiliares, rampas de aceleración o rampas de acceso no muy

lejanas, o se encuentra con un volumen alto de vehículos que quieren entrar al mismo tiempo. Otra ubicación frecuente, es en intersecciones con una incorrecta sincronización de semáforos, que en conjunto generan interrupciones en el flujo del tránsito, lo que genera la formación de los cuellos de botella. Asimismo, la geometría y trazado de las vialidades en ocasiones provocan la reducción de velocidades, por ejemplo, en curvas cerradas, túneles o colinas, donde los conductores reducen la velocidad por motivos de seguridad, o en otros casos se tiene que los carriles de la vialidad son estrechos o se reduce en un punto el número de carriles, los cuales tienen un gran volumen y demanda de vehículos y camiones que la transitan.

Tal es el caso del segundo piso de la autopista México-Puebla, una obra que complicó la vialidad con un cuello de botella recurrente, ya que seis carriles se reducen a cuatro y posteriormente a dos (Llavén, 2023). Este segundo piso se construyó con el fin de reducir el tiempo de viaje de 50 a 10 minutos, entre la planta Volkswagen Puebla al estadio Cuauhtémoc. Sin embargo, los vehículos que transitan en los carriles públicos de la parte baja y los que transitan el segundo piso, se encuentran en el mismo punto de salida, produciendo el cuello de botella. Este es un ejemplo de la mala planificación de la vialidad, porque no se consideran las necesidades, geometría y trazado de las vialidades ya existentes.

Ahora bien, en la Ciudad de México la Alcaldía de Venustiano Carranza en cooperación con la SEMOVI (Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México) en el año de 2019 propusieron soluciones para reordenar las vialidades e intermediaciones del CETRAM (Centros de transferencia modal)-Pantitlán, abordando la problemática del transporte público de la zona, donde camiones, microbuses y taxis ocasionan los cuellos de botella por desórdenes viales en las que no solo se ven afectados los usuarios que transitan por las vialidades, sino también los vecinos aledaños. La Alcaldía Venustiano Carranza y SEMOVI plantearon las siguientes medidas para resolver el problema: Instalación de semáforos, dispositivos de control de tránsito y señalamientos, trabajos de balizamiento, ordenamiento de bases, sitios y lanzaderas de taxis y de transporte público, tanto de la Ciudad de México como del Estado de México (Alcaldía Venustiano Carranza, 2019).

Según estadísticas de INRIX Research (2022) dentro de las Ciudades más congestionadas del mundo se encuentra en 9° lugar la Ciudad de Monterrey con un promedio de 116 horas perdidas en el tránsito, en 22° lugar la Ciudad de México con 74 horas y en 86° lugar

Guadalajara con 52 horas, por lo tanto, son las tres primeras ciudades más congestionadas de México.

Conclusión

Los cuellos de botella en las vialidades son una problemática que afecta a las ciudades de todo el mundo, se producen cuando la demanda de una vialidad excede su capacidad, lo cual provoca congestión, retrasos, accidentes y contaminación. Los cuellos de botella tienen diversos orígenes, como la falta de planificación vial, el crecimiento exponencial de la mancha urbana, la congestión de las intersecciones o la desincronización de semáforos.

Para identificar los cuellos de botella se utilizar métodos, como la observación directa, la comparación de velocidades promedio de los tramos de una red vial y el análisis de datos del tránsito. Lo cual, permite tomar acción e implementar medidas de solución, como la ampliación de la capacidad de la vialidad, la mejora de la señalización, o la implementación de políticas de movilidad sostenible.

Referencias

- Alcaldía Venustiano Carranza. (2019). V. CARRANZA Y SEMOVI ALISTAN REORDENAR VIALIDADES EN INMEDIACIONES DEL CETRAM PANTITLÁN.
https://www.vcarranza.cdmx.gob.mx/transparencia/documentos_2019/art_121/52_F_LII/1_04OCT19_V_CARRANZA_SEMOVI.doc
- Benitez, G. (2021). Integración de procesos, gestión del riesgo y automatización en la gestión de las unidades militares. Ciencia y Poder Aéreo.
<https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.724>
- Britannica Dictionary. (2023). Encyclopædia Britannica.
<https://www.britannica.com/dictionary/bottleneck>
- Bull, A. (2003). Congestión de tránsito "El problema y como enfrentarlo", CEPAL.
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/baac8944-5176-4792-9b19-b49ea4062290/content>
- Capel, H. (2003), A modo de introducción: los problemas de las ciudades. Urbs, civitas y polis, en Ciudades, arquitectura y espacio urbano, núm. 3, Almería: Cajamar Caja Rural, pp. 9-21. https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=69e61aaa-41ee-4592-aa5b-1860c8d47823&groupId=7294824
- Chen, C., Skabardonis, A., & Varaiya, P. (2004). Systematic Identification of Freeway Bottlenecks. Transportation Research Record, 1867(1), 46-52.
<https://doi.org/10.3141/1867-06>

- Collins English Dictionary. (2023). Traffic bottleneck Definition and Meaning. <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/traffic-bottleneck>
- Federal Highway Administration. (2007). Traffic bottlenecks: a primer, focus on lowcost operational improvements. Washington, D.C.: Federal Highway Administration. https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/37869/dot_37869_DS1.pdf
- Federal Highway Administration. (2016). Traffic bottlenecks: Identification and solutions (No. FHWA-HRT-16-064). Washington, D.C.: Federal Highway Administration.
- Hidalgo, K. (2021). Intervenciones en “cuellos de botella” viales quedan en pausa tras caso Cochinilla. Ameliarueda.com. <https://ameliarueda.com/nota/intervenciones-cuellos-botella-viales-pausa-cochinilla-noticias-costa-rica>
- INRIX. (2022). INRIX 2022 Global Traffic Scorecard. Inrix. <https://inrix.com/scorecard/>
- Jiménez, A. L. (2011). Metodología experimental para ubicación de cuellos de botella urbanos [tesis de ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá].
- Llaven, Y. (2023). Analiza Federación solucionar “cuello de botella” del segundo piso de la autopista; el único fin es recaudatorio, acusa Céspedes - Puebla. La Jornada de Oriente. <https://www.lajornadadeoriente.com.mx/puebla/segundo-piso-de-la-autopista-2/>
- Lorenzo, V. (2014). Biología sintética: la ingeniería al asalto de la complejidad biológica. Arbor, 190 (768): a149. <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2014.768n4003>
- Merriam-Webster. (s.f.). Bottleneck. In Merriam-Webster.com dictionary. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/bottleneck>
- Moore, C., Bilodeau, N., Vitkus, P., & Powell, E. (2013). BPM CBOK: Version 3.0. Createspace Independent Publishing Platform.
- Ochoa, A. F. (2016). Desarrollo de una metodología para identificar cuellos de botella en una red de transporte público utilizando datos GPS de los buses [tesis de maestría, Universidad de los Andes de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/704f3fce-e97a-4e39-8201-f91d70e2ea92/content>
- Pérez, R. (2019). Yakarta, la megápolis que hace del atasco una forma de vida. La vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/ocio/viajes/20190301/46762371045/yakarta-la-megapolis-que-hace-del-atasco-una-forma-de-vida.html>
- Richard, B.F.R. (2009). Administración de operaciones. Producción y cadena de Suministros. MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. <https://ucreanop.com/wp-content/uploads/2020/08/Administracion-de-Operaciones-Produccion-y-Cadena-de-Suministro-13edi-Chase.pdf>
- Transportation Research Board. (2010). Highway Capacity Manual (5.ª ed., Vol. 2). Transportation Research Board, Washington, DC.

Zheng, Z., Ahn, S., Chen, D., & Laval, J. (2011). Applications of wavelet transform for analysis of freeway traffic: Bottlenecks, transient traffic, and traffic oscillations. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(2), 372-384.