



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**Utilización de mapas de calor para determinar zonas de
tráfico vehicular**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

Nombre de los autores:

**POLO ANDRESS AYMAR CÓRDOVA
MARIO ESTEBAN PEÑA CARDOSO**

Nombre del Director:

DANIEL CORDERO MORENO

Nombre del Codirector:

CHESTER SELLERS WALDEN

CUENCA-ECUADOR

2018

Dedicatoria:

A mis padres, Mario y Soraya, por brindarme siempre
su apoyo en cada paso de mi vida.

Mario Esteban

Dedicatoria:

La presente tesis está dedicada a Dios por guiarme para llegar a este momento tan especial. A mis padres, quienes siempre han estado apoyándome en todo ámbito de la vida, siendo el impulso para cada día ser mejor con su ejemplo y perseverancia.

Polo

Agradecimiento:

A los profesores: Chester Sellers, Daniel Cordero,
Mateo Coello y Omar Delgado; por su apoyo
incondicional en el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIAS	ii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGÍA	2
A. Área de estudio	2
B. Método de análisis	2
2.1. Toma de datos	2
2.2. Segmentación de datos	3
2.3. División por zonas	3
2.4. Generación de mapas de calor	3
3. RESULTADOS/ DISCUSIÓN	4
4. CONCLUSIONES	6
5. REFERENCIAS	7

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de la ciudad por zonas	2
Figura 2. Esquema de obtención de los datos	3
Figura 3. Promedio de velocidad del vehículo por horas	3
Figura 4. Proceso para la segregación de datos por cada zona	3
Figura 5. Relación entre consumo instantáneo y revoluciones	4
Figura 6. Consumo instantáneo de combustible menor a 0.5 mL/s de 11h00 a 14h00 en el centro histórico	4
Figura 7. Velocidades menores a 10 km/h de 14h00 a 17h00 en el centro histórico	4
Figura 8. Consumo instantáneo de combustible menor a 0.5 mL/s de 14h00 a 17h00 en el centro histórico	5
Figura 9. Consumo instantáneo de combustible menor a 0.5 mL/s en la zona A de 14h00 a 17h00	5
Figura 10. Consumo instantáneo de combustible menor a 0.5 mL/s en la zona B de 14h00 a 17h00	5
Figura 11. Consumo instantáneo de combustible menor a 0.5 mL/s en la zona C de 14h00 a 17h00	5
Figura 12. Relación entre monóxido de carbono y velocidad del vehículo	6
Figura 13. Relación entre rendimiento y velocidades promedios	6

ÍNDICE DE TABLAS

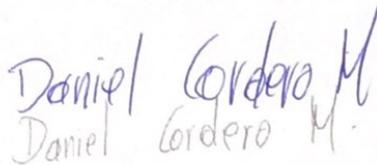
Tabla 1. Resultados obtenidos de los diferentes parámetros	4
---	---

UTILIZACIÓN DE MAPAS DE CALOR PARA DETERMINAR ZONAS DE TRÁFICO VEHICULAR.

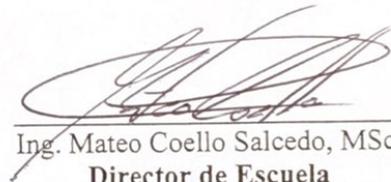
RESUMEN

Este trabajo presenta una metodología mediante el uso de mapas de calor para la determinación de zonas de tráfico vehicular utilizando datos reales de conducción en la ciudad. El estudio fue realizado en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Se utilizaron técnicas de análisis estadístico para la obtención de patrones de consumo instantáneo de combustible y velocidad del vehículo, asociados a su geo-localización. Los resultados obtenidos fueron representados utilizando mapas de calor mediante el software QGis. El trabajo se concentró en el centro histórico de la ciudad donde se obtuvieron 3 zonas claramente afectadas por la congestión vehicular.

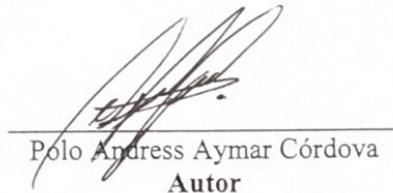
Palabras Clave—mapas de calor, tráfico, metodología, consumo instantáneo, velocidad.



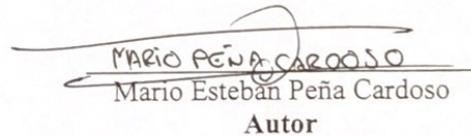
Ing. Daniel Cordero Moreno, PhD
Director del trabajo de titulación



Ing. Mateo Coello Salcedo, MSc.
Director de Escuela



Polo Andrés Aymar Córdova
Autor



MARIO PEÑA CARDOSO
Mario Estebán Peña Cardoso
Autor

USE OF HEAT MAPS TO DETERMINE TRAFFIC CONGESTION ZONES.

ABSTRACT

This paper presented a methodology through the use of heat maps for the determination of traffic zones using real driving data in the city. The study was conducted in Cuenca-Ecuador. Statistical analysis techniques were used to obtain patterns of instantaneous fuel consumption and vehicle speed associated with its geo-location. The obtained results were represented in heat maps using the QGis software. The work was focused in the historical center of the city, where 3 zones are clearly affected by traffic congestion.

Keywords— maps of heat, traffic, methodology, instantaneous consumption, speed.

Daniel Cordero M.
Daniel Cordero M.

Ing. Daniel Cordero Moreno, PhD
Thesis Director



Ing. Mateo Coello Salcedo, MSc.
Faculty Director

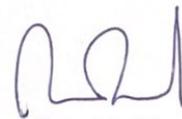


Polo Andress Aymar Córdova
Author

MARIO PEÑA CARDOSO
Mario Esteban Peña Cardoso
Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by
Ing. Paul Arpi

Trabajo de Titulación.
Polo Andress Aymar Córdova.
Mario Esteban Peña Cardoso.
Julio, 2018

UTILIZACIÓN DE MAPAS DE CALOR PARA DETERMINAR ZONAS DE TRÁFICO VEHICULAR

INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta una metodología para la determinación de zonas de tráfico en la ciudad, mediante el uso de mapas de calor. Esta investigación surge por el constante aumento del parque automotor en las ciudades, lo que deriva en el incremento del tráfico vehicular. Para poder generar planes de acción que busquen la mejora del tráfico en una ciudad, es necesario conocer las zonas y los horarios donde se generan problemas en la movilidad vehicular. Existen varias metodologías para determinar zonas de tráfico, sin embargo, muchas de estas demandan de una gran cantidad de personas para realizar el levantamiento de información o requieren de la extrapolación de datos, lo que no siempre llega a reflejar la realidad del tráfico vehicular en una ciudad. Este trabajo tiene como objetivo presentar una metodología fácil de utilizar en cualquier lugar, empleando datos reales del tráfico de la ciudad; que pueda servir como una herramienta para diferentes organismos de control, facilitando la toma de decisiones en movilidad y organización vehicular. Este proyecto fue realizado en Cuenca - Ecuador utilizando datos del recorrido diario de un taxi obtenidos mediante la interfaz OBD-II.

Utilización de mapas de calor para determinar zonas de tráfico vehicular

Polo Aymar Córdova
Facultad de Ciencia y Tecnología,
Ingeniería en Mecánica Automotíz
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
polo_a432mx@hotmail.com

Mario Peña Cardoso
Facultad de Ciencia y Tecnología,
Ingeniería en Mecánica Automotíz
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
mariopena212@gmail.com

Daniel Cordero Moreno
Centro de Investigación y Desarrollo
en Ingeniería Automotriz
(ERGON).
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
dacorderom@uazuay.edu.ec

Chester Sellers Walden
Instituto de Estudios de Régimen
Seccional del Ecuador (IERSE)
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
csellers@uazuay.edu.ec

Mateo Coello Salcedo
Centro de Investigación y Desarrollo
en Ingeniería Automotriz
(ERGON).
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
mfcuello@uazuay.edu.ec

Resumen— La congestión vehicular cada día es un problema más grave en las ciudades de todo el mundo, este problema no solo representa graves consecuencias a la salud de las personas o daños al medio ambiente; también genera grandes pérdidas de tiempo y económicas a los usuarios de diferentes medios de transporte que se reflejan en la economía de las ciudades y países. Es necesario plantear diferentes soluciones que ayuden a mejorar la movilidad en las ciudades, sin embargo el principal problema es determinar las zonas y horarios donde se presentan problemas de tráfico vehicular. Existen varias metodologías (conteos vehiculares, encuestas origen-destino, análisis viales, proyecciones de tráfico, etc); sin embargo, el uso de estas metodologías no siempre representan los datos de tráfico vehicular con un alto nivel de confianza. Por ello en este trabajo se plantea una nueva metodología mediante el uso de mapas de calor para la determinación de zonas de tráfico vehicular utilizando datos reales de conducción en la ciudad. El estudio fue realizado con datos reales de conducción obtenidos en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Se utilizaron técnicas de análisis estadístico para la obtención de patrones de consumo de combustible y velocidad asociados a su geo-localización. Los resultados obtenidos fueron representados utilizando mapas de calor mediante el software QGIS. El trabajo se concentró en el sector del centro histórico de la ciudad donde se obtuvieron 3 zonas claramente afectadas por la congestión vehicular verificando con ello la intensidad media diaria (IMD), la saturación de las vías, y sus respectivos niveles de servicio.

Palabras Claves— tráfico, mapas de calor, metodología.

Abstract— Traffic congestion every day is a more serious problem in cities around the world, this problem not only represents serious

consequences to the health of people or damage to the environment; It also generates great time and economic losses to users of different means of transport that is reflected in the economy of cities and countries. In the city of Cuenca (Ecuador), public and private transportation account for 76% of the city's pollution. It is necessary to propose different solutions that help improve mobility in cities; however, the main problem is to determine the zones and times where traffic problems arise. There are several methodologies (vehicle counts, origin-destination surveys, road analysis, etc) , but most of them do not immediately or realistically reflect these problems. Therefore, in this work a new methodology is proposed through the use of heat maps for the determination of vehicular traffic zones using real driving data in the city. Statistical analysis techniques were used to obtain patterns of fuel consumption and speed, associated with their geo-location. The results obtained were represented using heat maps using the free QGIS software. The work was concentrated in the historic center of the city where 3 zones clearly affected by traffic verifying with it the average daily intensity (IMD), the saturation of the roads, and the respective service levels.

Keywords— Traffic, heat maps, methodology.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la mayoría de ciudades en el mundo sufren de problemas de congestión vehicular; este problema hace que aumente el consumo de combustible, emisiones de gases contaminantes y pérdidas de tiempo para los habitantes[1]. En países en desarrollo, millones de personas se ven afectadas por el tráfico; por

ejemplo, el tiempo de viaje diario de los residentes en las 15 principales ciudades de China, es de 480 millones de horas, lo cual significa una pérdida de aproximadamente 158 millones de dólares diarios [1]. Las pérdidas económicas en 439 ciudades de los Estados Unidos, debidas a la congestión de tráfico, durante el año 2010, representaron alrededor de 115 mil millones de dólares; además se produjo un desperdicio de tiempo de 4,8 mil millones de horas y un consumo extra de combustible de 1,9 mil millones de galones. Estos factores representan un problema, tanto para los usuarios, como para el gobierno[1]. Cabe mencionar que el tráfico vehicular es la principal fuente de emisiones contaminantes, lo cual afecta a la salud de la comunidad. Estos impactos son más significativos durante las horas pico, cuando los volúmenes de tráfico se acercan y sobrepasan a la capacidad de las vialidades[2].

Para plantear posibles soluciones, a los problemas generados por el tráfico, es necesario determinar los puntos de congestión vehicular dentro de las ciudades. Para esto, existen varias metodologías utilizadas, como son: conteos volumétricos de tráfico, estudios origen-destino, análisis de capacidad vial, encuestas a conductores, etc [3]. Sin embargo, muchas de estas metodologías requieren de un gran número de personas para el levantamiento de información y la extrapolación de estos datos, para proyectar los resultados a varios meses o años; por lo que, la información obtenida por estos métodos no siempre representa la realidad que se vive día a día.

La visualización de datos puede comunicar información de forma clara y eficiente para los usuarios, de esta manera, los datos complejos son más accesibles, comprensibles y utilizables. Chang y Zhao (2016) analizaron las características espacio-temporales de la demanda de viajes en autobús utilizando mapas de calor, mismos que proporcionan una representación geo-visual de la distribución regional de la demanda de viajes en autobús [4], basada en la escala de colores. Geroliminis (2013) dibujó mapas de congestión estocástica y diagramas de espacio-temporal de velocidad de la carretera utilizando datos de velocidad para predecir la experiencia del tiempo de viaje [5]. Du, Wu, Yang y Zhou (2016), utilizaron el método de mapas de calor para visualizar el consumo de combustible en la red de carreteras de Beijing y determinaron la distribución del mismo en la dimensión espacial [1].

Estos estudios han demostrado plenamente las ventajas de la visualización de datos en el procesamiento a gran escala y reconocimiento de patrones. Por lo que la técnica del uso de mapas de calor, se ha convertido en una técnica ampliamente utilizada para visualizar complejos patrones espaciales [6].

En este trabajo se propone una metodología para identificar zonas de congestión vehicular, dentro una zona urbana, utilizando mapas de calor. Conociendo estos sectores de congestión vehicular se entregará, a los organismos de control de tránsito, una herramienta que sirva para buscar soluciones al tráfico y a la disminución del consumo de combustible, emisiones contaminantes, pérdida de tiempo y recursos.

II. METODOLOGÍA

La metodología propuesta consiste en determinar el área de estudio, análisis y segmentación de los datos, división de resultados por zonas de la ciudad y generación de los mapas de calor.

Para la realización de este trabajo se utilizaron datos de recorridos realizados en la ciudad de Cuenca. En cada recorrido se obtuvieron valores de latitud y longitud (WGS84), altitud (m), velocidad del vehículo (km/h), consumo instantáneo de combustible (mL/s), hora (hora, minutos y segundos) y la fecha (año, mes y día). Estos parámetros se necesitan para la generación de los mapas de calor. Los datos de los recorridos fueron obtenidos del estudio “Metodología para la obtención de los indicadores que describen la operación de taxis en la ciudad de Cuenca” donde se recopilaron datos de aproximadamente dos meses de trabajo de un taxi dentro de la ciudad de Cuenca [7].

A. Área de estudio

Cuenca se encuentra situada en la provincia del Azuay, al sur del Ecuador ($2^{\circ}53'50.78''S$, $79^{\circ}0'16.09''O$). Tiene una extensión de 3102,65 (Km²), con una población de aproximadamente 600.000 habitantes (ha), de los cuales el 65% representa al área urbana [8].

El plan de movilidad y ordenamiento territorial, realizado en Cuenca, divide a la ciudad en 24 zonas como se observa en la Figura 1. Esta división se encuentra determinada por zonas de actividad comercial, industrial y de vivienda. En la ciudad de Cuenca, el parque automotor consta de aproximadamente 475 buses y 110.000 vehículos livianos [9] y representa alrededor del 63% de modos de viaje en la ciudad[10]. Los vehículos son los responsables del 76% de la contaminación ambiental en Cuenca [9].

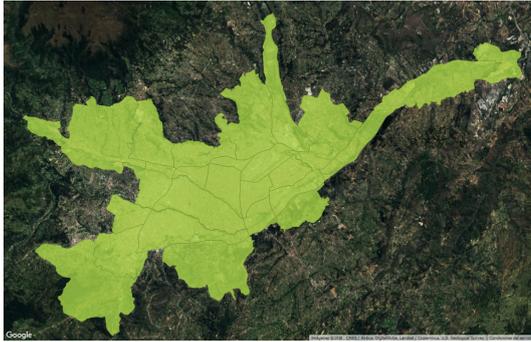


Figura 1. Clasificación de la ciudad por zonas.

B. Método de análisis

Para localizar las zonas que presentan problemas de tráfico vehicular mediante mapas de calor; se realizó: a) una recopilación de los datos obtenidos por recorridos realizados en la ciudad, b) análisis estadístico de segmentación de los datos c) interpretación de los horarios y d) relación de los mismos. Mediante estos pasos se obtiene la información para ser representada a través de mapas de calor.

1) Toma de datos

Los datos fueron obtenidos por medio de una interfaz OBD-II (*On Board Diagnostics*), el cual es un sistema de diagnóstico a bordo en vehículos adquiriendo un monitoreo y control completo del motor, parámetros de funcionamiento del vehículo y otros datos como se indica en la Figura 2. Se obtuvieron varios recorridos utilizando un taxi Hyundai Accent modelo 2009 motor 1.600 cm³. Se realizaron aproximadamente 1000 recorridos por toda la ciudad durante los meses de marzo y abril del año 2016 y se recolectaron alrededor de 1'400.000 segundos de información. Estos datos representan cerca de 5.550 km recorridos y 230 horas de manejo.



Figura 2. Esquema de obtención de los datos.

2) Segmentación de datos

Debido a que los recorridos fueron obtenidos durante las 24 horas, es necesario segmentar los datos; es decir, separarlos por franjas horarias. Esta segmentación se realizó debido a que no se contaba con un número suficiente de datos para poder realizar los mapas de calor por cada hora del día. Para la determinación de los rangos horarios utilizados en este estudio, se ordenaron los datos obtenidos en el taxi por hora; luego se obtuvo la velocidad promedio en cada hora del

día y se obtuvieron las velocidades promedio para organizarlas cada 3 horas como se muestra en la Figura 3, donde las velocidades de circulación tenían valores similares sin gran fluctuación.

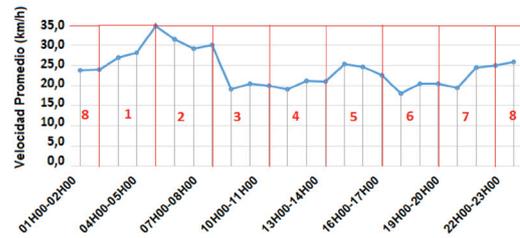


Figura 3. Promedio de velocidad del vehículo por horas.

Una vez segmentados los datos, se obtuvieron las velocidades promedio, consumo instantáneo promedio y distancia recorrida.

3) División por zonas

Los datos obtenidos luego de la segmentación y análisis estadístico son divididos en las 24 zonas que tiene la ciudad de Cuenca. Para clasificar los datos por zonas es debe representar todos los datos obtenidos en una sola capa vectorial (un solo conjunto de datos de geo-posición).

Utilizando el mapa de la ciudad clasificado por zonas [8] en el mismo sistema de coordenadas; se procede a cortar los datos en nuevas capas, esto se realiza por cada zona, de esta manera se obtienen 24 nuevas capas de datos, que representan cada una de las zonas de la ciudad como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Proceso para la segregación de datos por cada zona.

La clasificación por zonas ayuda a determinar diferentes lugares donde existen problemas de tráfico vehicular en cada zona sin afectar la representación de otros lugares en zonas distintas de la ciudad.

4) Generación de mapas de Calor

Para la creación de los mapas de calor se utilizó el software QGIS, donde se preparó un mapa base representando los datos segmentados. Para esto se cargaron las zonas, se combinaron los datos de acuerdo a lo requerido y se filtraron en franjas horarias. Esto sirve para observar el comportamiento del tráfico en diferentes rangos de horas y determinar si las zonas de congestión, obtenidas mediante esta metodología, son permanentes o varían a lo largo del día.

Los datos iniciales también fueron filtrados por consumo instantáneo de combustible (mL/s) y velocidad del vehículo (km/h). Esto da como resultado la obtención de dos mapas de calor por cada zona y rango horario, lo que permite contrastar los resultados entre un mapa y otro.

Los mapas de consumo instantáneo de combustible fueron creados con todos los datos menores o igual a 0.5 mL/s, mismos que, según un estudio de Gaines, Rask y Keller (2012), representan el consumo a ralentí de un motor a gasolina Ford de cuatro cilindros como se muestra en la Figura 5. Los mapas de velocidad fueron creados con el uso de todos los datos menores o igual a 10 km/h, ya que representan una velocidad de circulación baja y momentos donde el vehículo se encuentra detenido.

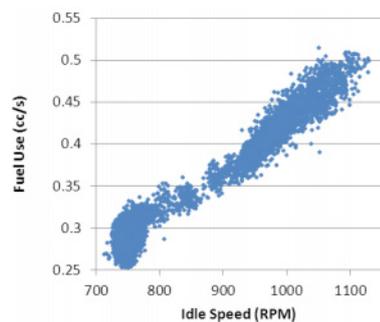


Figura 5. Relación entre consumo instantáneo y revoluciones. Tomado de: Gaines, Rask y Keller (2012)

De esta manera se obtienen 8 mapas de consumo instantáneo de combustible y 8 mapas de velocidad del vehículo por cada zona de la ciudad. En la Figura 6 se puede observar el resultado de uno de estos filtros, en este caso se filtraron los datos de consumo instantáneo menor a 0.5 mL/s en la franja horaria de 11h00-14h00 en la zona del centro histórico.

Al generar los mapas de calor se visualizan sectores de concentración de datos determinados por colores amarillos, naranjas y rojos (colores cálidos), estas zonas representan lugares donde el consumo instantáneo de combustible del vehículo es bajo y la velocidad de circulación es inferior a 10 km/h.

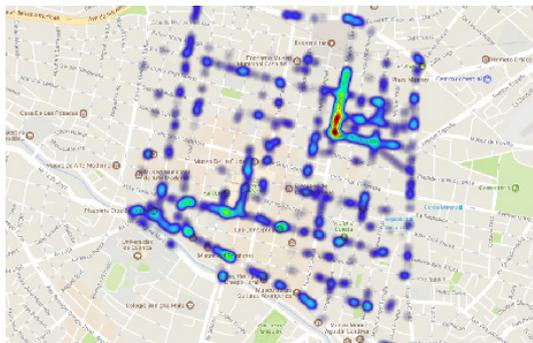


Figura 6. Consumo instantáneo de combustible menor a 0.5 mL/s de 11h00 a 14h00 en el centro histórico.

Es necesario determinar en cada punto de concentración de datos, el posible causante del tráfico, para de esta manera plantear recomendaciones. Con ello los mapas de calor se convierten, no simplemente en una manera de visualizar el resultado del análisis de los datos, sino en una herramienta que permite monitorizar el tráfico vehicular de la ciudad y con ello brinda la posibilidad de intervenir directamente en las zonas afectadas.

III. RESULTADOS / DISCUSIÓN

Los datos mostrados en la Tabla 1, representan las velocidades, consumo instantáneo de combustible promedio y los rendimientos del vehículo por cada rango horario. El rendimiento se obtuvo dividiendo el total de kilómetros recorridos para el combustible consumido en esa distancia (km/L), en los diferentes rangos horarios de los recorridos en la ciudad. Finalmente, con estos datos, se obtuvieron las horas de alto consumo de combustible, donde la velocidad de circulación promedio es menor a la media total.

En la Tabla 1 se puede observar que el consumo instantáneo de combustible promedio y el rendimiento es menor en horas pico; por lo cual, se puede asumir que el consumo total de combustible es mayor, debido a que se relaciona con la distancia recorrida por el vehículo. Con ello se determina que el vehículo en zonas de congestión vehicular tiene un mayor consumo de combustible que en zonas de flujo libre, debido a que recorre una menor distancia.

Tabla 1. Resultados obtenidos de los diferentes parámetros.

Rangos	V. prom (km/h)	Consumo. prom (mL/s)	Distancia recorrida (km)	Rendimiento (km/L)
02h00-05h00	29.65	1.05	1185.51	7.86
05h00-08h00	29.64	1.06	1146.87	7.77
08h00-11h00	19.88	0.79	823.25	6.98
11h00-14h00	21.42	0.81	1038.72	7.32
14h00-17h00	22.63	0.86	1038.72	7.32
17h00-20h00	19.68	0.77	985.29	7.14
20h00-23h00	22.77	0.85	994.31	7.42
23h00-02h00	24.50	0.91	920.02	7.49

Los resultados presentados muestran información de la zona del centro histórico de la ciudad. Esta zona fue utilizada para el estudio debido a que contiene la mayor cantidad de datos obtenidos por el interfaz colocado en el vehículo y según lo expresa el municipio de Cuenca en su “Plan de Movilidad y Ordenamiento Territorial” es una zona de importante actividad comercial [8].

En la Figura 7 y Figura 8 se muestran los mapas de calor correspondientes al rango horario de 14h00 a 17h00, donde se observan 3 zonas claramente afectadas debido a la congestión vehicular. Al hacer un acercamiento a estas zonas se pueden determinar las calles o intersecciones.

Estas zonas han sido determinadas como zona A, B y C para facilitar la explicación, se puede observar en la figura 7 esta clasificación.

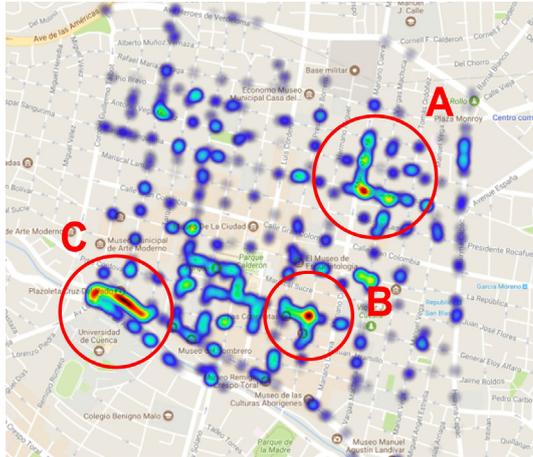


Figura 7. Velocidades menores a 10 km/h de 14h00 a 17h00 en el centro histórico.



Figura 8. Consumo instantáneo de combustible menor a 0.5 mL/s de 14h00 a 17h00 en el centro histórico.

En el caso de la “zona A” ubicada en la calle Gaspar Sangurima entre las calles Mariano Cueva y Vargas Machuca, como se indica en la Figura 9 se deduce que es una zona congestionada debido a que, junto a estas calles, se ubica un mercado (9 de Octubre) y una plaza de actividad comercial. En estas calles existen varios factores que podrían generar una disminución en la velocidad de circulación y el flujo vehicular, como son: mal uso del parqueo público (doble fila), constantes detenciones de tráfico para recoger o dejar pasajeros, mal uso de pasos peatonales, reducción de vía. Al comparar con los datos proporcionados acerca de los niveles de servicio y de saturación

del viario de la ciudad de Cuenca [10], se puede observar que la “zona A”, tiene una intensidad media diaria (IMD) de 12.000 vehículos, su saturación es del 88.21% y el nivel de servicio se encuentra en la categoría C, donde este nivel de servicio representa un flujo estable, pero marca el comienzo donde la maniobra comienza a ser restringida y la operación de los usuarios se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros [11].

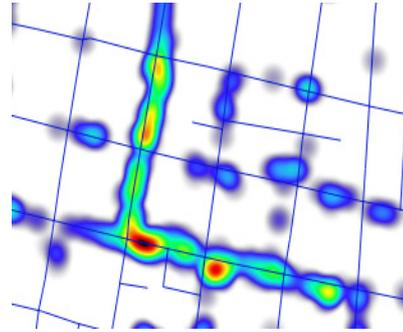


Figura 9. Consumo instantáneo de combustible menor a 0.5 mL/s en la zona A de 14h00 a 17h00.

En la zona “B”, que se muestra en la Figura 10, esta se encuentra en la intersección de las calles Presidente Córdova y Hermano Miguel. Esta intersección tiene un IMD de 12.669 vehículos, la saturación de esta vía es del 127.49% y tiene nivel de servicio D [10] donde presenta una circulación de densidad elevada, cuya velocidad y libertad de maniobra son seriamente restringidas, y el usuario experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo [11].

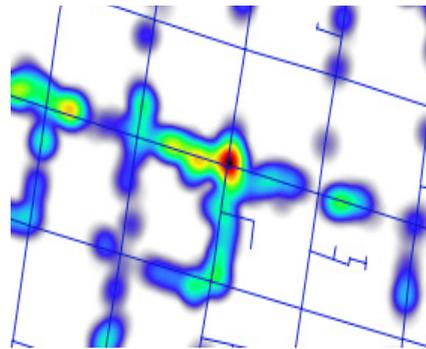


Figura 10. Consumo instantáneo de combustible menor a 0.5 mL/s en la zona B de 14h00 a 17h00.

Por su parte la zona “C”, presentada en la Figura 11, tiene una saturación de 126% y su nivel de servicio es E, este nivel de servicio representa una vía que su capacidad está al límite, la velocidad de todos los usuarios se ve reducida y la libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil siendo muy elevada la frustración de los conductores [11]. Tiene un IMD de 23.000 vehículos. Es una de las calles principales para acceder al centro histórico.

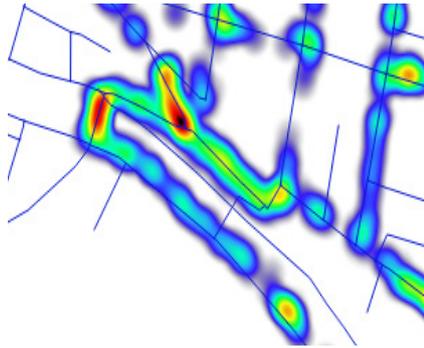


Figura 11. Consumo instantáneo de combustible menor a 0.5 mL/s en la zona C de 14h00 a 17h00.

Se observa que los resultados obtenidos en los mapas, comparando con los datos de saturación y niveles de servicio, derivan en que existe un problema de congestión vehicular en las zonas indicadas anteriormente. Es importante considerar que las zonas que se muestran en este artículo solo representan datos del rango horario de 14h00 a 17h00, sin embargo, se analizaron todos los rangos horarios mostrados en la Figura 3, obteniendo resultados para cada uno de los rangos y zonas de la ciudad. Esta metodología muestra cómo cambian las zonas de congestión vehicular a lo largo del día y en diferentes días de la semana, por lo que resulta una metodología útil que representa datos adquiridos del medio de manera más ágil que en otros métodos.

Con el uso de esta metodología se pueden también determinar zonas de alta contaminación debido a la congestión vehicular. Según el estudio “Driving to reduce fuel consumption and improve road safety”, a velocidades bajas de circulación, los vehículos producen mayor emisión de monóxidos de carbono (Figura 12), los cuales son perjudiciales para la salud. De esta manera, se podrían determinar zonas de alta concentración de contaminantes emanados por el vehículo para realizar estudios ambientales, basándose en la velocidad de circulación de los mismos, lo cual permite la metodología planteada en este estudio [12][13].

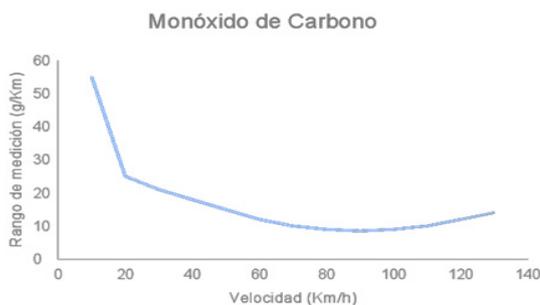


Figura 12. Relación entre monóxido de carbono y velocidad del vehículo, tomado de: M. S. N. Haworth (2001).

En la Figura 13 se muestran los valores promedio del rendimiento del consumo de combustible en los rangos de los horarios definidos, se puede observar que el valor es bajo en determinados rangos. De la misma manera, se observa la disminución de la velocidad promedio en los mismos rangos horarios, concluyendo que esta disminución en los promedios se genera debido a la congestión vehicular.

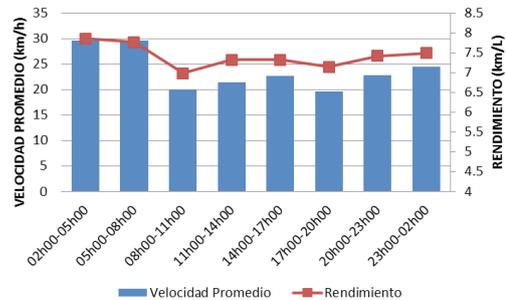


Figura 13. Relación entre rendimiento y velocidades promedios.

Se analizaron conjuntamente los mapas de calor obtenidos con fotografías aéreas realizadas mediante drones. Estas fotografías mostraron que las zonas obtenidas mediante los mapas de calor reflejaban claramente problemas de flujo vehicular en los horarios determinados. Demostrando de esta manera que la metodología planteada en este documento, es una manera confiable, de fácil representación y que podría ser aplicada en otras ciudades del mundo.

IV. CONCLUSIONES

En este documento se propone una metodología con el fin de determinar las zonas de congestión vehicular en una ciudad, utilizándose a la ciudad de Cuenca como escenario. Se analizó únicamente la zona del Centro Histórico, pero se han realizado mapas de calor de las 23 zonas identificando varias zonas con problemas de tráfico vehicular.

Partiendo del análisis estadístico, la segmentación de los datos por rangos de horas y el filtrado de datos; se obtuvo 3 zonas de baja velocidad de circulación y concentración de vehículos causado por el tráfico vehicular en el centro histórico de la ciudad, en el rango horario de 14h00 a 17h00 presentado en este documento. Comparando con datos de saturación de la vía y niveles de servicio obtenidos por la oficina del Plan de Movilidad de la Ciudad de Cuenca, se corroboran los resultados de nuestro estudio con los datos existentes del Municipio de Cuenca.

Los resultados mostrados en este estudio no representan el 100% de las zonas con problemas de tráfico que se muestran en otros estudios y las cuales fueron obtenidas con otras metodologías,

esto se puede deber al tamaño de la muestra utilizada para la elaboración de este trabajo. Es por esto que se sugiere que la muestra para una nueva investigación sea aún mayor y utilice un número mayor de vehículos para la toma de datos.

La metodología presentada también necesita una actualización periódica de los datos, debido al constante crecimiento de las zonas urbanas junto con el aumento del parque vehicular. El uso de datos en tiempo real resultarían eficaces en el uso de esta metodología para representar datos instantáneos de lo que sucede con el transporte público y privado en la ciudad.

Esta metodología puede ser utilizada como una herramienta que ayude en la toma de decisiones para instituciones encargadas del control del tránsito vehicular, entidades de planificación municipal, planteamiento de futuros estudios ambientales, entre otras utilidades que se puedan lograr de esta metodología.

V. REFERENCIAS

- [1] Y. Du, J. Wu, S. Yang, and L. Zhou, "Predicting vehicle fuel consumption patterns using floating vehicle data," *J. Environ. Sci.*, pp. 6–11, 2017.
- [2] N. P. R. Rodríguez Rucobo, D. J. Osiris Vidaña, and M. A. Rodríguez Esparza, "Evaluación del congestionamiento vehicular en intersecciones viales," *CULCYT Cult. Científica y Tecnológica*, vol. 0, no. 56, pp. 41–50, 2015.
- [3] A. Presidencial, "Problemas de la Movilidad Urbana : Estrategia y Medidas para su Mitigación," p. 232, 2014.
- [4] C. Yu and Z. C. He, "Analysing the spatial temporal characteristics of bus travel demand using the heat map," *J. Transp. Geogr.*, vol. 58, pp. 247–255, 2017.
- [5] M. Yildirimoglu and N. Geroliminis, "Experienced travel time prediction for congested freeways," *Transp. Res. Part B Methodol.*, vol. 53, pp. 45–63, 2013.
- [6] B. C. M. Benno Haarman, R. F. Riemersma-Van der Lek, W. A. Nolen, R. Mendes, H. A. Drexhage, and H. Burger, "Feature-expression heat maps - A new visual method to explore complex associations between two variable sets," *J. Biomed. Inform.*, vol. 53, pp. 156–161, 2015.
- [7] J. Zhunio Morocho, "Metodología para la obtención de los indicadores que describen la operación de taxis en la ciudad de Cuenca," Universidad del Azuay, 2017.
- [8] Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial," p. 750, 2015.
- [9] D. Vera, "En Cuenca, los carros generan el 76% de la contaminación," *El Telegrafo. Cuenca*, p. 1, Jul-2016.
- [10] GAD Municipal de Cuenca, "Plan de movilidad y espacios publicos," p. 116, 2015.
- [11] S. Trenzados, "3 Capacidad y Nivel de Servicio," pp. 41–48.
- [12] M. S. N. Haworth, "Driving to Reduce Fuel Consumption and Improve Road Safety," *Road Saf. Res. Polic. Educ. Conf. 2001*, Melbourne, Victoria, Aust., no. 5, p. 7, 2001.
- [13] C. Europea and D. E. M. De, *Gestión de velocidad*. 2006.