

Análisis De La Capacidad Vial Y Nivel De Servicio De Las Vías De Ingreso De La Ciudad De Machala

Analysis Of The Road Capacity And Service Level Of The Entry Roads Of The City Of Machala

Autores

José Miguel Peñafiel Pavón¹, Carlos Eugenio Sánchez Mendieta², Yudy Patricia Medina Sánchez³

¹Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, jpenafiel2@utmachala.edu.ec

²Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, csanchez@utmachala.edu.ec

³Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Pasaje, ymedina@utmachala.edu.ec

RESUMEN

El objetivo principal de la investigación surge de la necesidad de analizar los niveles de servicio y la relación volumen y capacidad vial de tramos viales de ingreso a la ciudad de Machala mediante el cálculo del manual HCM 2010 y la comprobación de los datos mediante el software de simulación Aimsun. El proceso a realizar inicia con un aforo vehicular, el cual obtiene datos como velocidades y clasificación vehicular, luego se procesan los datos elaborando tablas de variación de máxima demanda para la obtención del volumen horario de máxima demanda y el factor horario de máxima demanda para el posterior uso del ábaco de Curva Velocidad-Flujo para los niveles de servicio. Cumpliendo este proceso los resultados se detallan a continuación, La Vía Pajonal obtuvo un nivel de servicio A, la Avenida Bolívar Madero Vargas un nivel de servicio C, en la Avenida Colon Tinoco, Ferroviaria, Vía la Primavera y 25 de junio se generaron niveles de servicio B, estos resultados fueron comprobados con las simulaciones realizadas en Aimsun. Se obtuvo la relación entre Volumen-capacidad de las vías donde la Av. 25 de junio, Av. Bolívar Madero Vargas y Vía la Primavera obtuvieron valores de v/c iguales a 23%, mientras que el resto de ingresos se mantienen en valores por debajo del 20% de su capacidad.

Palabras claves: aforos vehiculares, capacidad vial, congestión vehicular, densidad, nivel de servicio.

ABSTRACT

The main objective of the research arises from the need to analyze the levels of service and the relationship between volume and road capacity of road sections entering the city of Machala by calculating the HCM 2010 manual and checking the data using the software aimun simulation. The process to be carried out begins with a vehicle capacity, which obtains data such as speeds and vehicle classification, then the data is processed, preparing maximum demand variation tables to obtain the hourly volume of maximum demand and the hourly factor of maximum demand for the subsequent use of the Velocity-Flow Curve chart for service levels. Complying with this process, the results are detailed below: La Vía Pajonal obtained a level of service A, Avenida Bolívar Madero Vargas a level of service C, in Avenida Colon Tinoco, Ferroviaria, Vía la Primavera and June 25, levels of service B, these results were verified with the simulations carried out in Aimsun. The relationship between Volume-capacity of the roads was obtained where Av. 25 de Junio, Av. Bolívar Madero Vargas and Vía la Primavera obtained values of v/c equal to 23%, while the rest of the revenues remain at values per less than 20% of its capacity.

Keywords: vehicle capacity, road capacity, vehicle congestion, density, level of service.

Nota Editorial: Recibido: Noviembre 2022 Aceptado: Diciembre 2022

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad no existe información publicada por el municipio o alguna entidad pública que hable sobre la demanda vehicular, la capacidad vial y el nivel de servicio de las vías de la ciudad. En futuras décadas el 90% de la población de Latinoamérica llegará a ocupar las zonas urbanas, afectando la movilidad urbana aumentando los volúmenes vehiculares y el congestionamiento en la ciudad. Sin embargo, si existen trabajos investigativos como el ejemplo realizado por docentes de la Universidad Técnica de Machala donde exponen el nivel de servicio de uno de los ingresos a la ciudad donde obtienen un nivel F en el año 2016 [1]. Con la presente investigación se pretende mostrar el análisis de la capacidad vial y los niveles de servicio para establecer soluciones a futuro mediante el proceso de cálculo del HCM 2010.

Los niveles de servicio permiten medir congestionamientos vehiculares existentes en las vías, esto debido a muchos factores como falta de carriles, mala señalización, estacionamientos no permitidos, y demás características que afectan la movilidad, sumado al principal que es el gran flujo de vehículos en las entradas de la ciudad. En Machala existen muchos puntos en los que se logra observar congestionamientos vehicular, por eso es de interés el estudio de las vías para proponer soluciones que competen como Ingenieros civiles, además se ha indicado que mediante las simulaciones se pueden optimizar los flujos vehiculares al tener un debido control [2].

El congestionamiento se define como el excedente de la demanda de tráfico respecto a la capacidad de la carretera en un tiempo determinado [3]. En cuanto a la densidad se identifica como el número de vehículos que pasan por una sección de vía en cierto tiempo, ya sea que estén detenidos o en movimiento. Su unidad es vehículos por kilómetro *veh/km*. Esta sirve para identificar el nivel de servicio de la vía ya que establece rangos en ábacos del manual HCM 2010 [4].

Existen antecedentes investigativos que han analizado la congestión en los cruces urbanos siendo uno de los principales problemas de movilidad en el mundo. Como ejemplo está la investigación realizada en el cruce señalado de Avenida América y Manabí en la ciudad de Portoviejo-Ecuador, donde parte del estudio fue evaluar los niveles de servicio de la intersección. Este método tuvo en cuenta el análisis de las secciones y señaléticas en la vía, se realizaron aforos vehiculares y peatonales varios días de la semana sin verse afectada por la ocurrencia de eventos inusuales que pudieran arrojar datos inexactos para el estudio [5].

1.1. OBJETIVOS Y ALCANCES

La presente investigación tuvo como objetivo el análisis de los niveles de servicio y la relación volumen-capacidad mediante métodos técnicos y experimentales de tránsito en las vías de acceso de la ciudad de Machala. Como alcance del trabajo se obtuvieron los resultados de los niveles de servicio y la relación volumen-capacidad con el uso del ábaco del HCM 2010 de las vías de ingreso de la ciudad. Se detallan los cálculos realizados para sintetizarlos y representarlos mediante tablas y gráficos para su respectivo análisis, comparándolos así con los resultados obtenidos en las simulaciones y proceder a sus debidas conclusiones.

2. METODOLOGÍA

En la figura 1 se muestra la representación del cantón Machala y se identifican con líneas en color rojo a las vías de ingreso de la ciudad, las cuales fueron utilizadas como objeto de estudio. En ellas se observa a la Av. 25 de junio que cuenta con cuatro carriles de ingreso y cuatro carriles de salida a la ciudad, la Av. Ferroviaria cuenta con tres carriles tanto al ingreso como en su salida, la calle Colon Tinoco cuenta con dos carriles de ingreso y dos de salida, la Av. Bolívar Madero Vargas cuenta con una vía bidireccional de 4 carriles, la Vía la Primavera y Pajonal son bidireccionales con dos carriles cada una. Estas vías se consideran de flujo rápido y no mantienen intersecciones semafóricas hasta cierto punto de las zonas urbanas.



Figura 1: Ingresos de la ciudad de Machala

En el primer paso se obtuvieron los datos de las vías estudiadas, para ello se realizó un aforo vehicular donde se toman datos importantes como los flujos vehiculares con el manejo de información de los contadores vehiculares automáticos, herramienta útil que evita tener el rango de error que se pueden obtener realizando conteos manuales. Estos aforos se realizaron en cada vía durante 7 días consecutivos. Los datos de salida que se necesitan de estos aforos serán el registro de velocidades, longitudes, tipos de vehículos, separación entre vehículos, densidades, volúmenes hasta informes donde se combinan varios datos [6]. Los cuales se obtienen con el uso del software de Metrocount en los informes de velocidades, tipos de vehículos, aforos vehiculares, porcentajes de vehículos de acuerdo a su dirección. Luego se procesan los datos mediante las fórmulas y cálculos que se establecen en el manual HCM 2010, además del uso del ábaco velocidad-flujo. Se utiliza el software de simulación vehicular AIMSUN, que da una mejor apreciación y entendimiento de la zona estudiada. Todas estas herramientas ayudan a llegar al correcto análisis por ser muy detallados y manejables. La simulación necesita de datos tales como velocidades, flujo vehicular y detalles geométricos que servirán para la comparación con los datos obtenidos mediante los cálculos [7].

Los valores obtenidos son aceptables en base a la investigación, sin embargo, los valores predeterminados en los ábacos del HCM 2010 como se representan para este método tienen un grado de sensibilidad y fueron obtenidos con parámetros que provienen de EE.UU, por ello se requiere una consideración especial y de ser posible, realizar la calibración con los datos de la vía a estudiar [8, 9].

Los niveles de servicio actualmente se definen como la capacidad de una sección midiendo la calidad operacional que ofrece al usuario. También se define como la relación de las capacidades viales y los flujos vehiculares, proponiendo así una escala desde A hasta F, siendo A una intensidad moderada y F la máxima intensidad antes del colapso [10, 11]. Para ello se verifica mediante los cálculos respectivos, ya que intervienen datos como la infraestructura vial, los semáforos, las velocidades, los diseños de las intersecciones, etc.

Para el análisis de los resultados se obtendrán los niveles de servicio de cada ingreso, lo cual se ilustrará de manera gráfica como se establece en el simulador, con el código de colores observado en la figura 2.

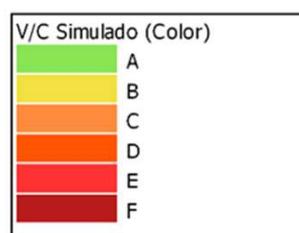


Figura 2: Niveles de servicio en simulaciones

3. RESULTADOS

A continuación se presenta en la tabla 1 el resumen de los cálculos obtenidos tanto de la relación volumen-capacidad y niveles de servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Machala realizados con el proceso del manual HCM 2010.

Tabla 1: Cuadro de resumen de Niveles de servicio de ingreso

DATOS	COLON TINOCO		FERROVIARIA		VIA LA PRIMAVER A		BOLIVAR MADERO VARGAS		25 DE JUNIO		VIA PAJONAL	
	ENTRADA MACHALA	SALIDA MACHALA	ENTRADA MACHALA	SALIDA MACHALA	ENTRADA Y SALIDA	ENTRADA Y SALIDA	ENTRADA MACHALA	SALIDA MACHALA	ENTRADA MACHALA	SALIDA MACHALA	ENTRADA Y SALIDA	ENTRADA Y SALIDA
Tasa de flujo equivalente en 15 minutos	351 veh/h/carril	326 veh/h/carril	233 veh/h/carril	203 veh/h/carril	507 veh/h/carril	512 veh/h/carril	499 veh/h/carril	423 veh/h/carril	337 veh/h/carril			
Volumen horario por sentido	640 veh/h	592 veh/h	627 veh/h	507 veh/h	862 veh/h	1965 veh/h	1794 veh/h	1572 veh/h	605 veh/h			
Factor de hora de máxima demanda	0,93	0,93	0,93	0,87	0,89	0,98	0,94	0,97	0,92			
Número de carriles por sentido	2	2	3	3	2	4	4	4	2			
Factor ajuste por presencia de vehículos pesados	0,980	0,977	0,965	0,957	0,955	0,978	0,956	0,958	0,977			
Porcentaje de camiones en la corriente vehicular	4%	4,7%	7,2%	8,9%	9,4%	4,4%	9,1%	8,8%	4,8%			
Automóviles equivalentes a un camión	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5			
Densidad	10 veh/km/carril	9 veh/km/carril	4 veh/km/carril	4 veh/km/carril	8 veh/km/carril	11 veh/km/carril	7 veh/km/carril	7 veh/km/carril	6 veh/km/carril			
Velocidad de flujo libre estimada	36 km/h	38 km/h	55 km/h	56,7 km/h	64 km/h	45 km/h	74 km/h	60 km/h	57,4 km/h			
Nivel de servicio	B	B	A	A	B	C	B	A	A			
Relación Volumen-Capacidad V/c	0,16	0,15	0,11	0,09	0,23	0,23	0,23	0,19	0,15			

CURVA VELOCIDAD-FLUJO COLON TINOCO

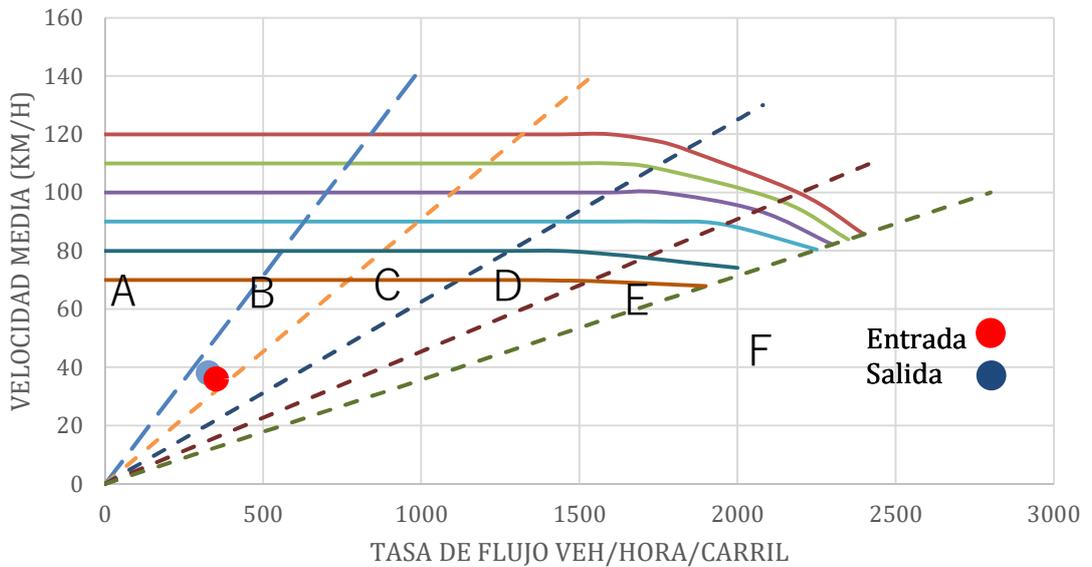


Figura 3: Curva Velocidad-Flujo según HCM 2010

En la tabla 1 y en el ábaco realizado observado en la figura 3, se indica un nivel de servicio B tanto al ingreso como en la salida de la ciudad, el cual indica que se encuentra en un flujo vehicular estable, sin embargo en campo en ocasiones se pueden observar dobleces en la movilidad como reducciones de velocidades, o congestionamientos en pequeños lapsos de tiempo.

Además se corrobora en la simulación, pues se obtienen resultados similares. En la figura 4 se observa la vía en un color amarillo lo cual significa un nivel de servicio B, igual al nivel de servicio calculado.

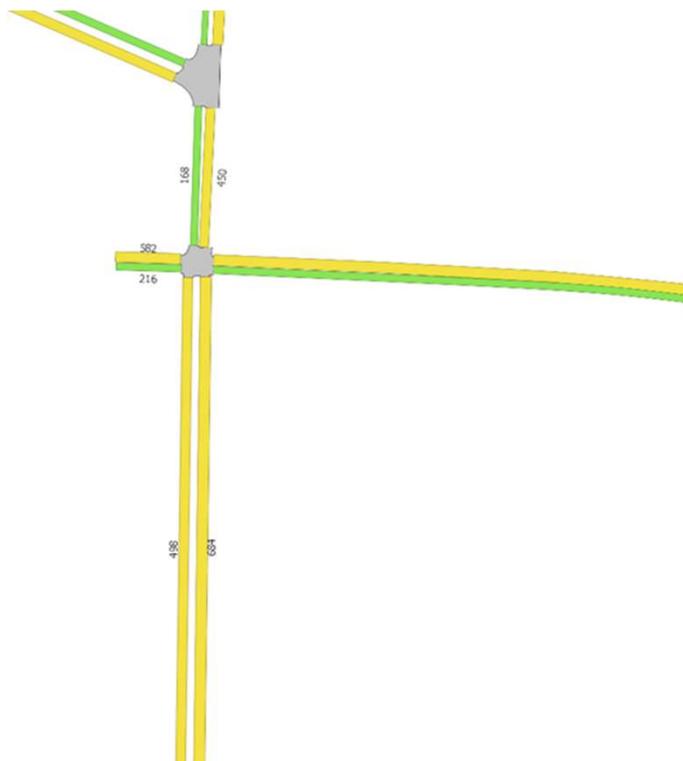


Figura 4: Simulación nivel de servicio Av. Colon Tinoco

AV. FERROVIARIA

CURVA VELOCIDAD-FLUJO FERROVIARIA

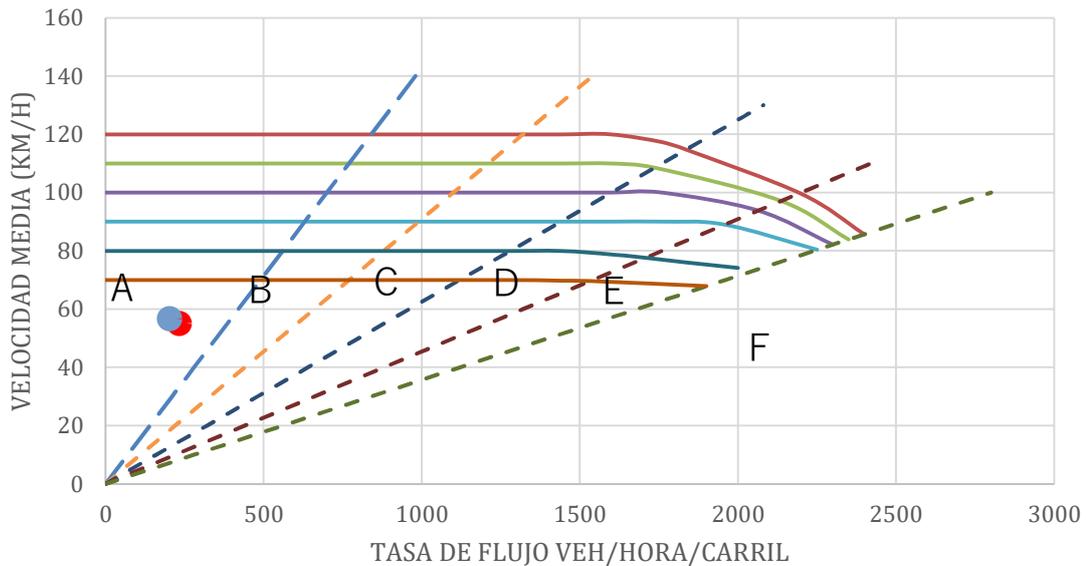


Figura 5: Curva Velocidad-Flujo según HCM 2010

En la Av. Ferroviaria se obtuvo un nivel de servicio A, el cual quiere decir que se encuentra en un flujo vehicular libre, y por lo general no se observan problemas con la circulación vehicular y las velocidades se mantienen estables, sin congestiones.

En la simulación se obtienen resultados similares, como se observa en la imagen de la figura 6, representado en color amarillo, lo cual significa un nivel de servicio B. En este caso existe una variación del valor obtenido en el ábaco respecto a la simulación debido a que en campo y en simulación existe un semáforo ubicado frente al Terminal Terrestre de Machala que genera que se detengan los vehículos en ese punto, por lo tanto, se tomará un servicio nivel B según se observa en la figura 6.

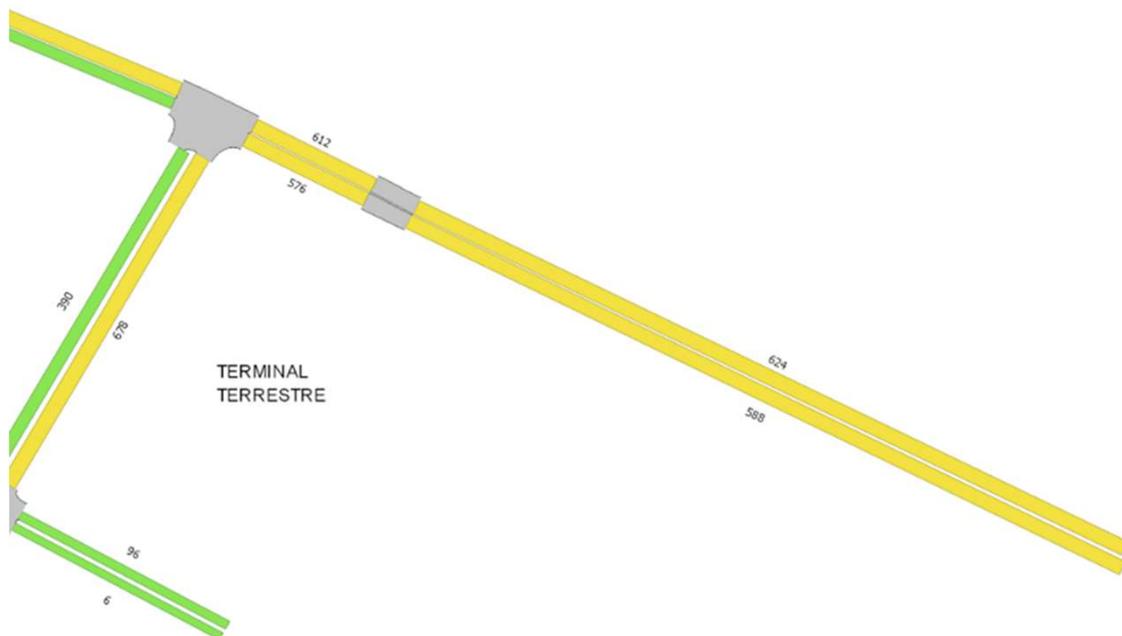


Figura 6: Simulación nivel de servicio Av. Ferroviaria

CURVA VELOCIDAD-FLUJO VIA LA PRIMAVERA

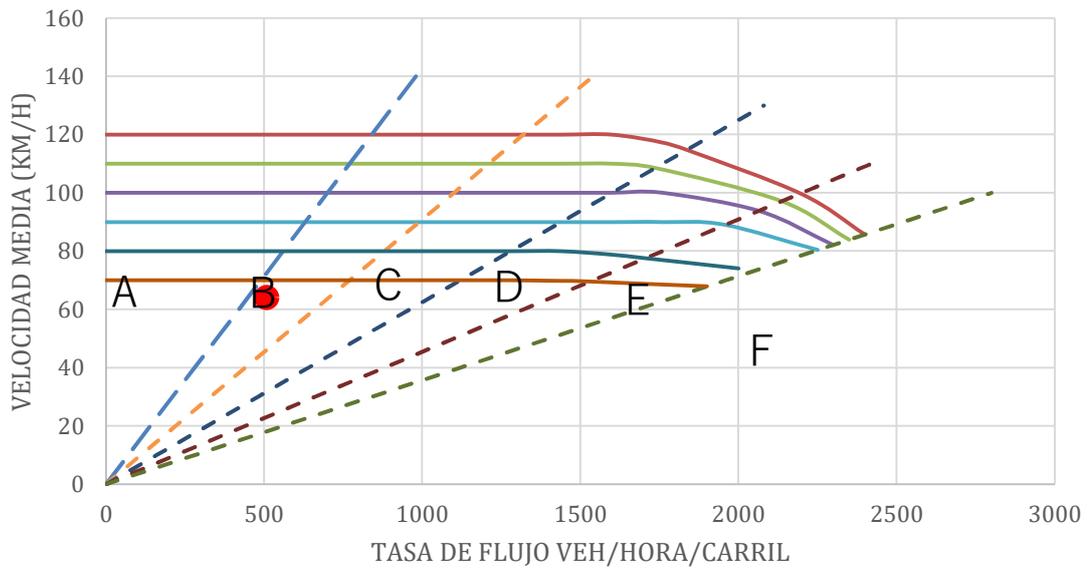


Figura 7: Curva Velocidad-Flujo según HCM 2010

En la Vía la Primavera se obtuvo un nivel de servicio B, considerando que el flujo vehicular es estable y puede presentar pequeños conflictos. En la simulación se alcanzaron iguales resultados, como se observa en la figura 8, donde el color amarillo significa un nivel de servicio B que coincide con los cálculos realizados.

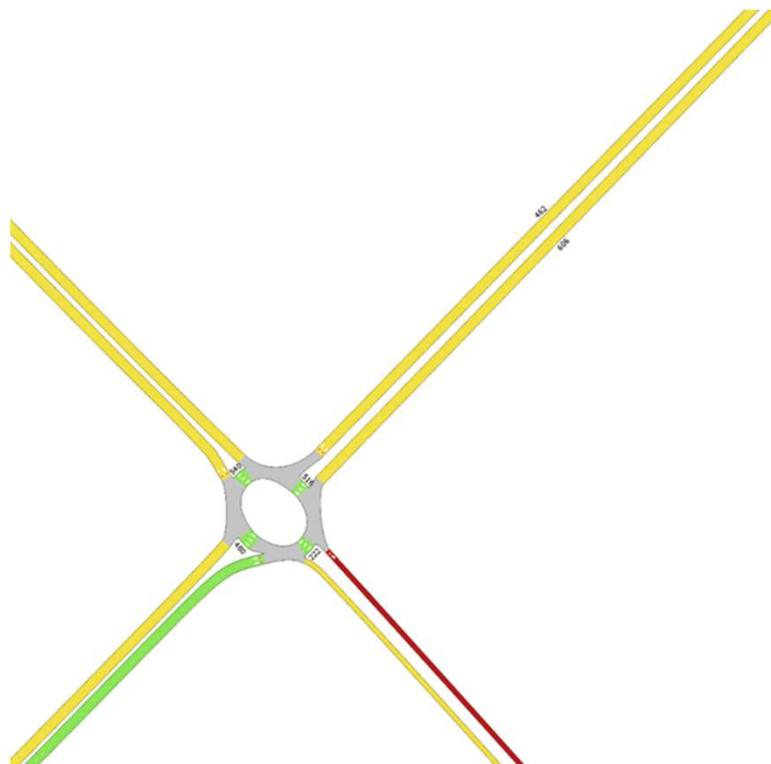


Figura 8: Simulación nivel de servicio Vía La Primavera

CURVA VELOCIDAD-FLUJO BOLIVAR MADERO VARGAS

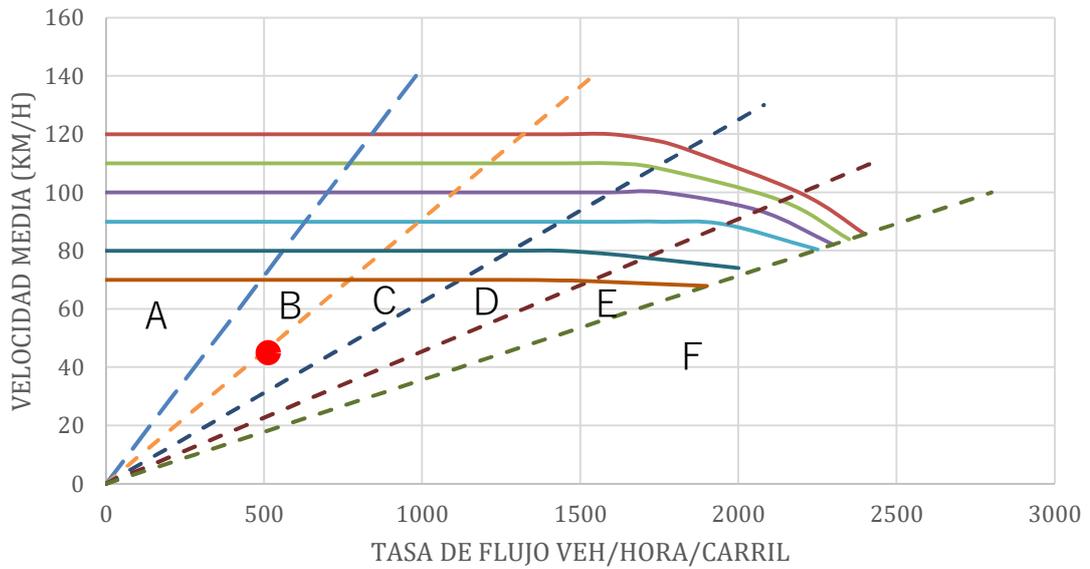


Figura 9: Curva Velocidad-Flujo según HCM 2010

De acuerdo a los resultados que aparecen en el cuadro resumen (tabla 1) y en el ábaco de la figura 9, se obtuvo un nivel de servicio C, considerándose el flujo vehicular estable, pero se observa menos libertad de movimiento, y velocidades más bajas. Esta vía, al ser la única que conecta al segundo puerto marítimo más importante del país alberga un tráfico de gran cantidad de camiones de carga, esto se relaciona con el nivel de servicio observado debido a las velocidades con las que tienen que circular y menor libertad de movimiento de los vehículos livianos. Se observa que en la simulación tiene color naranja indicando un nivel de servicio C que coincide con los cálculos realizados, incluso se observa que luego del ingreso de Autoridad portuaria el nivel de servicio mejora a B debido a que los vehículos de carga no avanzan por esa dirección.

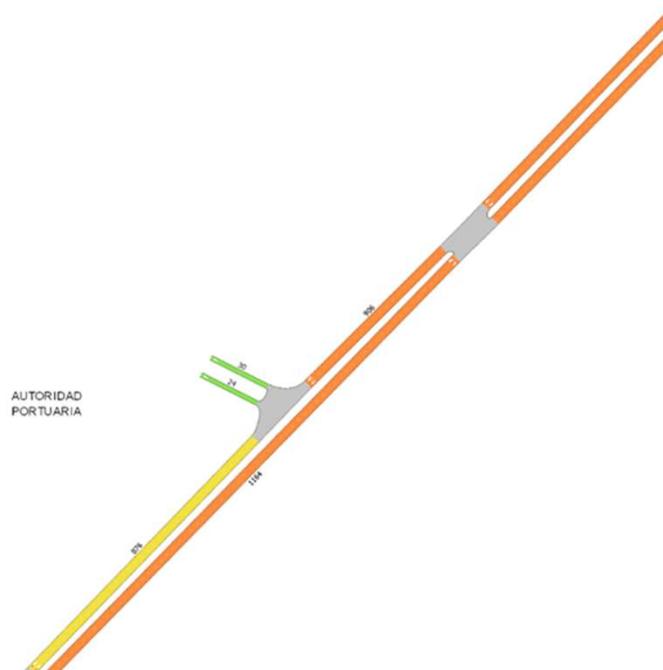


Figura 10: Simulación nivel de servicio Av. Bolívar Madero Vargas

CURVA VELOCIDAD-FLUJO 25 DE JUNIO

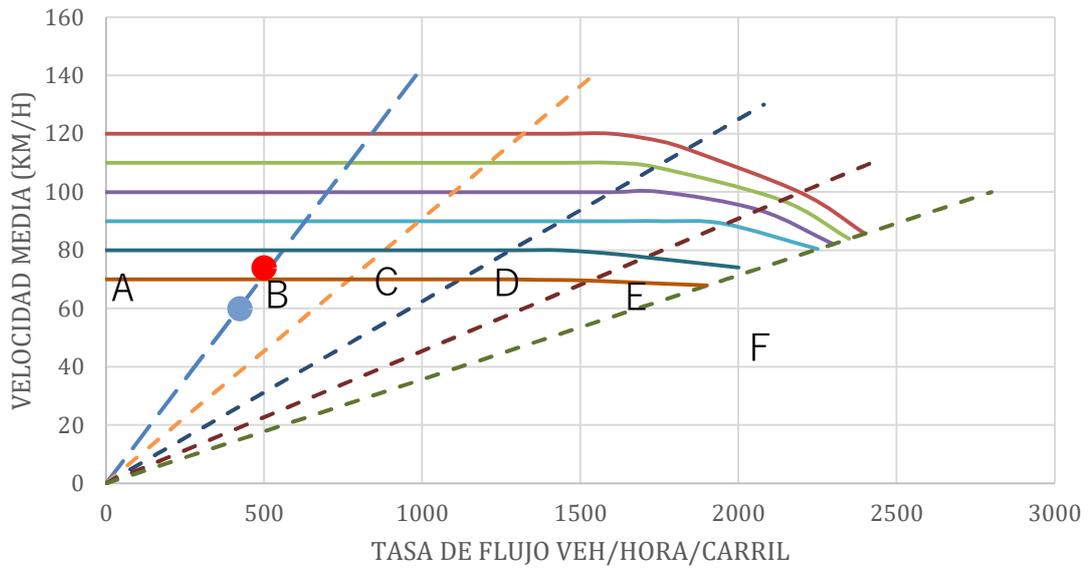


Figura 11: Curva Velocidad-Flujo según HCM 2010

El nivel de servicio en la Av. 25 de Junio es B, el cual corresponde a un flujo vehicular estable que puede presentar pequeños conflictos. Con la simulación se confirmaron los resultados, según se muestra en la imagen de la figura 12, estando con color amarillo la vía lo cual significa un nivel de servicio B.

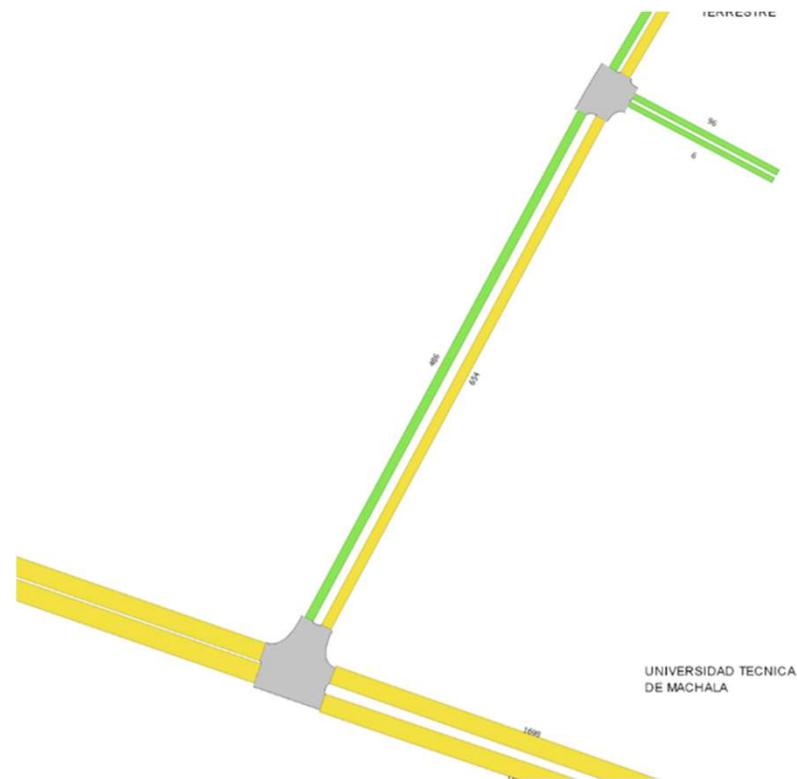


Figura 12: Simulación nivel de servicio Av. 25 de junio

4. CONCLUSIONES

Se verifica que la relación entre el volumen de tráfico y la capacidad vial actual de los ingresos a la ciudad de Machala no sobrepasan el 25%; siendo las calles de mayor uso respecto a su capacidad la Av. Bolívar Madero Vargas, Av. 25 de junio y Vía la Primavera, donde en todos estos ingresos se obtuvieron relaciones $V/c = 0.23$. Sabiendo que los valores de V/c varían entre 0 y 1, donde 1 es el máximo al que puede llegar una calzada, se comprueba que estas avenidas mantienen un régimen de trabajo aceptable.

Los niveles de servicio obtenidos con la aplicación del Highway Capacity Manual (HCM 2010) variaron entre A y C, donde la Av. Ferroviaria, Vía Pajonal y la Av. 25 de junio en sentido Oeste-Este saliendo de Machala obtuvieron un nivel de servicio A, mientras que la Av. Colon Tinoco, Vía la Primavera y la Av. 25 de junio en sentido Este-Oeste entrando a Machala obtuvieron un nivel de servicio B, finalizando con la Av. Bolívar Madero Vargas que posee un nivel de servicio C, siendo la más afectada tanto en la velocidad como en el flujo vehicular.

Aunque la Av. Bolívar Madero Vargas tiene valores V/c iguales a otros ingresos a la ciudad, su nivel de servicio es diferente debido a factores como la densidad vehicular, velocidades de circulación y tasas de flujo.

En las simulaciones vehiculares realizadas con el programa AIMSUN se obtuvieron resultados similares a los obtenidos al aplicar el procedimiento del HCM 2010, con excepción de la simulación de la Av. Ferroviaria donde mediante el cálculo se obtuvo un nivel de servicio A y en la simulación un nivel de servicio B pues posee condiciones físicas que no se toman en consideración en el cálculo realizado tales como cruces semaforicos.



1. E. J. Oyola Estrada, J. C. Berrú Cabrera, E. A. Romero Valdiviezo, L. O. Carrión Romero, F. A. Aguirre Morales, and M. A. Tacuri Rivas, "Evaluación de la congestión vehicular: Av. Castro Benítez y Vía Pajonal, Machala-Ecuador, año 2016," *Cumbres*, ISSN-e 1390-3365, vol. 3, no. 1, pp. 135–142, 2017.
2. C.-Y. Wu, M. Li, R. Jiang, Q.-Y. Hao, and M.-B. Hu, "Perimeter control for urban traffic system based on macroscopic fundamental diagram," *PHYSICA A-STATISTICAL MECHANICS AND ITS APPLICATIONS*, vol. 503, pp. 231–242, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.physa.2018.02.172.
3. W. Brilon and A. Estel, "Differentiated Analysis of Level of Service F Within the German Highway Capacity Manual," *Transportation Research Board of the National Academies.*, 2010, doi: 10.3141/2173-05.
4. D. Naranjo-Torres, "Análisis de la relación velocidad-densidad vehicular de la avenida calle 26 en Bogotá," *Ingenio Magno*, vol. 6, no. 1, pp. 76–88, Jan. 2015.
5. J. Vera, J. Loor, E. O. Hernández, and D. Delgado, "Análisis del nivel de servicio en la intersección de las avenidas Manabí y América, Portoviejo, Ecuador," *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721, vol. 6, no. 2, pp. 29–42, Dec. 2021, doi: 10.33936/RIEMAT.V6I2.4287.
6. V. T. Arasan and P. Vedagiri, "Study of the impact of exclusive bus lane under highly heterogeneous traffic condition," *Public Transport*, vol. 2, no. 1, pp. 135–155, May 2010, doi: 10.1007/S12469-010-0021-X.
7. M. Y. Madi, "Investigating and Calibrating the Dynamics of Vehicles in Traffic Microsimulations Models," *Transportation Research Procedia*, vol. 14, pp. 1782–1791, Jan. 2016, doi: 10.1016/J.TRPRO.2016.05.144.
8. J. D. Zegeer, M. Blogg, K. Nguyen, and M. Vandehey, "Default Values for Highway Capacity and Level of Service Analyses," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2071, no. 2071, pp. 35–43, Jan. 2008, doi: 10.3141/2071-05.
9. G. Thenoux and S. Lastra, "Aplicación y calibración del Highway Capacity Manual versión 2000 (HCM 2000) en una autopista chilena," 2004.
10. A. Louise, "Análisis de capacidad y nivel de servicio en la red de itinerarios peatonales por distritos: Aplicación a la calle Colón, Valencia," 2018.
11. P. K. Bhuyan and M. S. Nayak, "A Review on Level of Service Analysis of Urban Streets," *Transp Rev*, vol. 33, no. 2, pp. 219–238, Mar. 2013, doi: 10.1080/01441647.2013.779617.

