

Microsimulation of traffic and congestion of the interchange oval

Microsimulación de tráfico y congestiónamiento vehicular del óvalo de intercambio vial

Luciana Arlette Hernández Rodríguez Br.¹, Oscar Alejandro León Vallejo Br.², Josualdo Carlos Villar Quiroz, Mg.³, Karina Jacqueline Cárdenas Rodríguez MSc.⁴

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, UPN, Trujillo, Perú. Email: N00091345@upn.pe

² Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, UPN, Trujillo, Perú. Email: N00099642@upn.pe

³ Facultad de Estudios Generales - Humanidades, Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. Email: josualdo.villar@upn.edu.pe

⁴ Facultad de Estudios Generales - Ciencias, Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. Email: karina.cardenas@upn.edu.pe

Abstract– This article was carried out in the Larco Oval located at the intersection of South America and Victor Larco Avenues, in the city of Trujillo-Peru, with the objective of analyzing the microsimulation of traffic and vehicular congestion in the area. A descriptive non-experimental design was used, where the technique used for data collection was direct observation, with record cards and video cameras; the data analysis process was carried out through the construction of a microsimulation model with Vissim software, which allowed calculating performance indicators of the intersection. The microsimulation process yielded values related to travel time, which through calibration was estimated as an accurate representation of the existing situation through the model; thus, the vehicular congestion analyzed with the HCM 2010 methodology and the vehicular microsimulation obtained a high level of saturation, resulting in a level of service F that proves the supply-demand gap in the infrastructure. Therefore, the geometric design of a turbo traffic circle was proposed, which, following the same evaluation process, caused an important congestion relief up to a level of service D.

Keywords: traffic microsimulation, vehicular congestion, road interchange ovals.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el crecimiento poblacional y económico han generado un aumento de la demanda vehicular en las grandes ciudades para satisfacer las necesidades de las personas como el trabajo, estudio, recreación, descanso, etc., conllevando a una sobreexplotación de las vías existentes en distintas zonas de la ciudad durante un tiempo determinado, principalmente en las horas del día, debido al deseo de las personas en aprovechar este periodo para realizar sus diversas actividades (Thomson y Bull, 2002).

En relación al incremento del parque automotor, el congestionamiento vehicular es causado principalmente por los automóviles en comparativa con los buses, ya que llega a producir 11 veces la congestión atribuible a cada pasajero del bus, a raíz de que la capacidad promedio de un auto es de 1.5 pasajeros, mientras que la de un bus es de 50 (Thomson y Bull, 2002). No obstante, las redes viales también se ven continuamente afectadas por un inadecuado diseño o mantenimiento de estas a causa de las deficiencias en las oficinas del estado encargadas de controlar y administrar planes viales, reflejado en el deterioro de la señalización horizontal y fallas en el pavimento como depresiones.

Por otro lado, la falta de educación vial y las malas conductas de los choferes del transporte urbano generan cierto bloqueo en las intersecciones, como la necesidad de imponerse a otros vehículos para ahorrar tiempo, la detención de los buses en los puntos inmediatamente anterior a las intersecciones para dejar y recoger pasajeros, la baja velocidad con la que manejan algunos automóviles en busca de usuarios. Además, la presencia de vehículos en mal estado con bajo funcionamiento y el estacionamiento de estos en lugares donde no está permitido generan una reducción del flujo vehicular (Thomson y Bull, 2002).

Esta problemática se ha desarrollado progresivamente en la zona de aplicación, donde investigaciones realizadas por Transportes Metropolitanos de Trujillo (2015), confirman pésimos niveles de servicio, influenciados por la elevada concurrencia de los ciudadanos a universidades, colegios, centros comerciales y supermercados aledaños a las vías

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.378>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

arteriales de estudio, causando gran congestión de vehículos particulares en horas punta. Por su parte, la Sub Gerencia de Transporte y Tránsito de Trujillo Metropolitano, no evalúa adecuadamente el aforo de cada una de las rutas de las redes de circulación de la ciudad, acompañado de la falta de propuestas de mitigación que apliquen el uso de herramientas simuladoras de tráfico.

Para mantener bajo control esta problemática, surgen distintos enfoques que incluyen el mejoramiento de los hábitos de conducción, la provisión de mejor infraestructura (manejo de la oferta) y medidas de gestión de tránsito (manejo de la demanda), que incluyan un plan sostenible a lo largo del crecimiento poblacional (Thomson y Bull, 2002). En otras palabras, es necesario trabajar el tema en todos sus aspectos (tránsito, emisiones, peatones, etc.), para aplicar las medidas correctivas necesarias en la zona.

De esta manera, nace la necesidad de estudiar los distintos comportamientos del tráfico y buscar los parámetros de control exactos, que, de forma conjunta, permitan que la circulación se desarrolle de forma óptima. Es ahí, donde el uso de softwares simuladores permite al ingeniero de tráfico determinar distintas condiciones de tráfico a las cuales estará sometida la unidad de estudio dentro del modelo, para realizar el planteamiento de propuestas de mejora que sean garantía del control del volumen vehicular con el pasar de los años.

Dependiendo del área de estudio se pueden desarrollar modelos macroscópicos, microscópicos y mesoscópicos. Por lo cual, para la zona del proyecto se decidió utilizar el programa Vissim, siendo uno de los más conocidos mundialmente en planificación con enfoque microscópico, teniendo en cuenta cada una de las interacciones entre cada par de vehículos y peatones; asignando características propias a cada uno de ellos.

Vissim es de origen alemán y nació en la década de los noventa, expandiendo su aplicación por diferentes países europeos, el cual actualmente es utilizado en diferentes países del continente americano, ofreciendo una visión realista y detallada sobre el estatus del flujo vial y sus impactos, con la posibilidad de definir múltiples escenarios hipotéticos para distintas condiciones de circulación (PTV GROUP, 2020).

Gracias a los buenos resultados de la herramienta a nivel nacional e internacional, surge la necesidad de realizar un trabajo de investigación del análisis de una intersección tipo cruz, compuesta por 4 entradas y 4 salidas en la ciudad de Trujillo, Perú. Asimismo, comprobar que gracias a un buen estudio de la capacidad vial y sus fallencias (representados en el modelo), se pueden reducir los problemas que aquejan al cruce y a los peatones. Su realización constará de las

siguientes etapas: recolección de datos de campo y su procesamiento (el aforo vehicular, el aforo peatonal, fases de los semáforos, geometría del lugar, etc.); codificación de la red mediante el software y su posterior verificación; calibración del modelo; validación de la simulación mediante datos de entrada; completar el modelo y evaluar la circulación en situación real según los parámetros de eficiencia seleccionados (Alcalá, 2016).

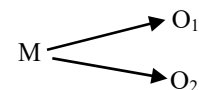
Esta investigación ofrece una visión simulada en tiempo real de la problemática y del entorno de la intersección a analizar, que plantea alternativas para ayudar a reducir el congestionamiento. De no ser aplicada, dejaría de representar un aporte para la oficina de Transportes Metropolitanos de Trujillo, en relación a la simulación aplicada en la zona de estudio o similares, lo cual posteriormente conllevaría a ser modificada según los lineamientos municipales; implicando, un estancamiento en lo que se refiere a la mejora de la economía y movilidad urbana de las ciudades.

En la presente investigación se analizará con respecto a las condiciones de campo la microsimulación de tráfico y el congestionamiento vehicular del Óvalo Larco en la ciudad de Trujillo, Perú, con objetivos específicos, realizar la construcción del modelo microsimulador bajo las condiciones de tráfico actuales, realizar la calibración y validación del modelo microsimulador, determinar los indicadores de desempeño mediante la metodología HCM (Highway Capacity Manual) 2010 y la microsimulación de tráfico en las condiciones actuales, elaborar el diseño geométrico de una turbo rotonda como alternativa de solución para la optimización de tráfico de la rotonda convencional, determinar los indicadores de desempeño mediante la microsimulación de tráfico con la incorporación de la turbo rotonda.

II. METODOLOGÍA

La presente investigación según el propósito es de tipo aplicada, ya que, busca la aplicación o utilización de los conocimientos de la investigación básica para contrastar la investigación a realizarse, además según el diseño es de tipo no experimental descriptiva, puesto que no existe la posibilidad de manipular las variables independientes para encontrar resultados en variables dependientes. Esta investigación se basa en la observación y tiene como objetivo describir el comportamiento de las variables en una muestra de la población.

Esquema del diseño de investigación: No experimental transversal



Donde:

O₁: Microsimulación de tráfico
O₂: Congestionamiento vehicular
M: El tránsito vehicular durante 19 horas continuas de 7 días a la semana en el Óvalo Larco en el distrito de Trujillo.

Población.

El tránsito vehicular en el Óvalo Larco en el distrito de Trujillo, 2021.

Muestra.

El tránsito vehicular durante 19 horas continuas de 7 días a la semana en los días 21 al 28 de junio del año 2021, en el Óvalo Larco en el distrito de Trujillo.

Técnica de recolección de datos.

Para el aforo vehicular se utilizó la técnica de observación directa con ayuda de un equipo de videograbación, cuya filmación se realizó mediante 2 cámaras de video colocadas en un edificio aledaño al óvalo con visibilidad a las 4 ramas de acceso (ver Figura 1).



Figura 1. Campo de visibilidad hacia el acceso Norte y Oeste del Óvalo Larco en hora punta turno noche

La técnica mencionada anteriormente también sirvió para recolectar otros datos, como es el caso de los tiempos de viaje, para lo cual se estableció un punto inicial y final del tramo en el que se deseó evaluar este parámetro en uno de los accesos al óvalo; la recolección de los datos se obtuvo mediante las videograbaciones y un cronómetro para determinar el tiempo total de recorrido incluyendo los tiempos de detención. Por su parte, la velocidad promedio de viaje en el óvalo, se calculó a través de pruebas realizadas en un vehicular particular con ayuda del velocímetro.

Además, se determinaron las medidas de los elementos de la rotonda y las dimensiones de las secciones viales utilizando la técnica de análisis documental, basándonos en la información expuesta en un plano catastral del distrito de Trujillo y un plano topográfico de las vías estructurales de la zona de estudio otorgado por el TMT (Transportes Metropolitanos de Trujillo). Así mismo, la observación directa permitió verificar en campo las dimensiones mostradas en los planos y las condiciones actuales del óvalo; con el propósito de reconocer el estado de las señaléticas y la existencia de fallas en el pavimento (depresiones, grietas por fatiga, etc.).

Se utilizó la técnica del análisis documental a través de la metodología HCM 2010 con la finalidad de estimar la capacidad teórica del óvalo utilizando los volúmenes máximos o de diseño. El Highway Capacity Manual establece un procedimiento de análisis para rotondas sin tomar en cuenta los dispositivos de control de tránsito existentes, lo cual fue compatible con el presente estudio al no contar con semáforos vehiculares y peatonales.

Se empleó el análisis microscópico como técnica de recolección de datos de los indicadores de desempeño presentes en el modelo base para la determinación del congestionamiento vehicular.

Instrumento de recolección de datos.

Los instrumentos para la recolección de datos que se emplearon en la variable de microsimulación de tráfico: planos otorgados por el TMT, cinta métrica, wincha láser, ficha técnica de registro para la medición de la geometría de las vías y evaluación del estado actual de la intersección; equipo de videograbación y fichas de registro para el conteo vehicular a detalle (ver Anexo N°5); equipo de videograbación, cronómetro y fichas de registro para la determinación de los tiempos de viaje. Por otra parte, se utilizó el software Vissim para obtener los indicadores de desempeño de la intersección analizada.

III. RESULTADOS

Construcción del modelo

Geometría de la rotonda

En la Figura 2 se visualiza la representación geométrica en vista en planta del Óvalo Larco en la actualidad, y en la Figura 3 se muestran las secciones viales por acceso.

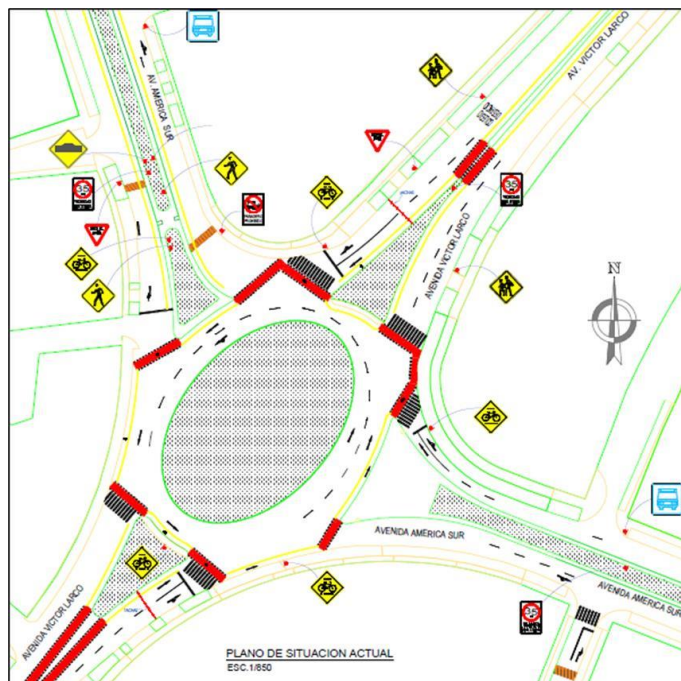
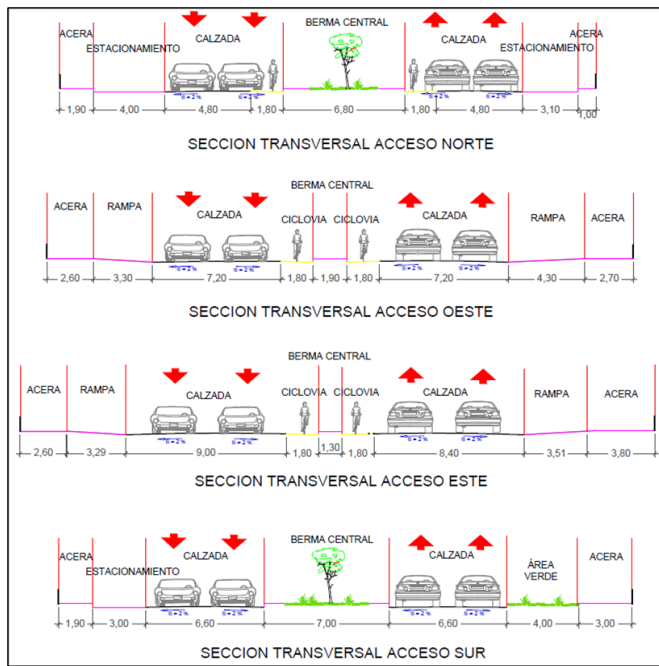
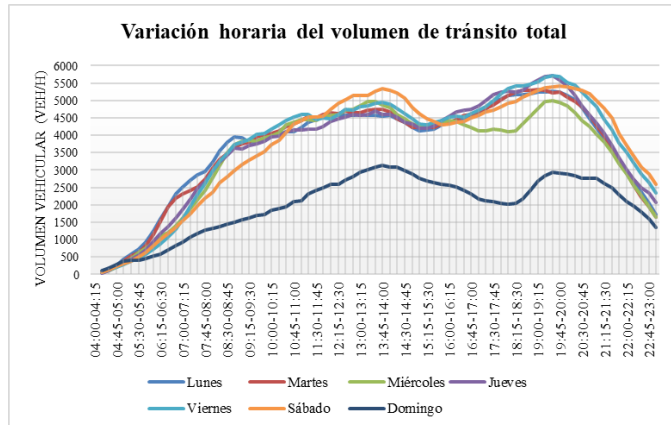


Figura 2. Geometría actual de la rotonda

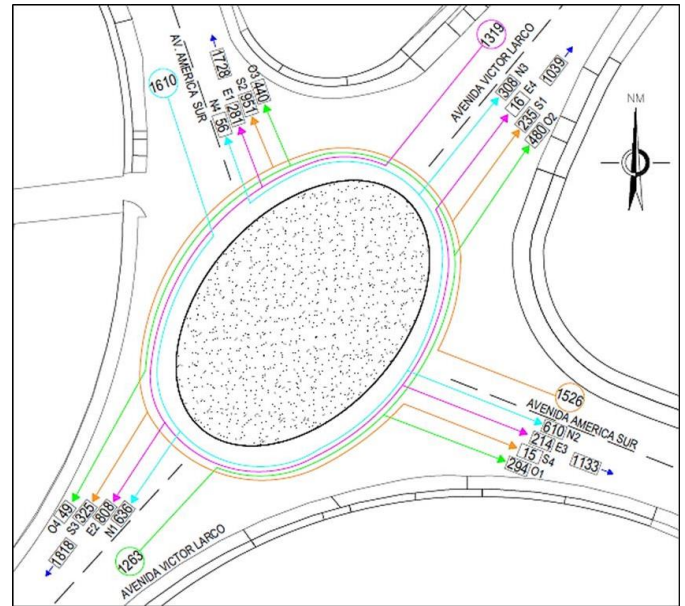


1.1.1. Variación horaria del volumen vehicular mixto

A continuación, en la Figura 4 se presenta la variación del comportamiento del volumen vehicular mixto durante la semana de análisis.

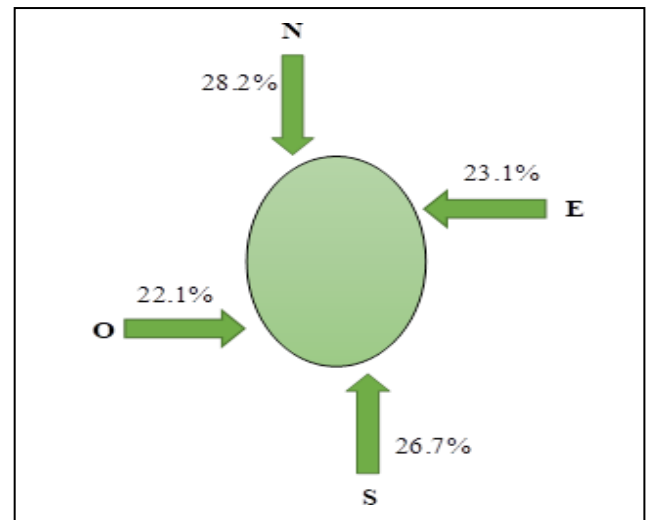


En la Figura 5 se observa el aforo vehicular direccional en la hora pico de 6:30 pm a 7:30 pm de los días 21 al 28 de junio del año 2021.



Porcentaje del flujo vehicular en la hora de máxima demanda

En la Figura 6 se observa el porcentaje representativo vehicular por cada entrada al óvalo en la hora pico.



Composición vehicular en la hora de máxima demanda

En la Tabla 1 se presenta el conteo detallado por tipo de vehículo en relación al acceso de entrada en el periodo que se produce el VHMD y en la Figura 7 su porcentaje representativo.

Tabla 1

Volumen de tránsito por tipo de vehículo en la hora pico del día crítico

Tipos de vehículo	Aforo				
	Norte	Sur	Este	Oeste	Total
Bicicleta, moto	196	244	214	205	859
Auto	1072	997	938	837	3844
Pick up	147	136	129	105	517
Combi rural	51	36	12	21	120
Microbús	74	63	17	84	238
Ómnibus	25	25	0	1	51
Camión	41	24	9	10	84
Tráiler	4	1	0	0	5
Total	1610	1526	1319	1263	5718

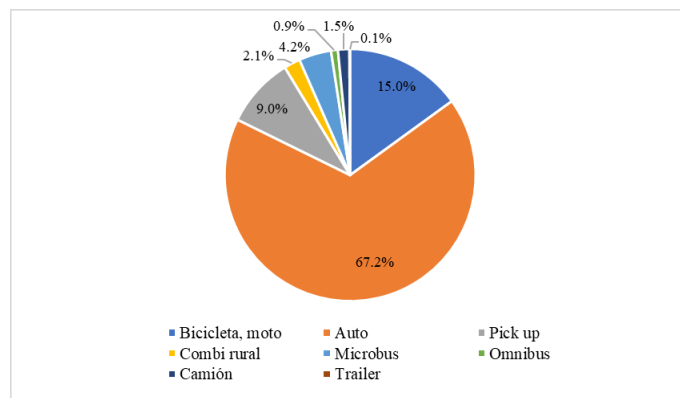


Figura 7. Composición vehicular en la hora pico

Análisis del flujo vehicular

En la Tabla 2 se muestra el proceso de análisis para determinar un posible congestionamiento dentro de los periodos de 15 minutos de la hora pico.

Tabla 2

Análisis del flujo vehicular mixto en la hora de máxima demanda

Día	Turno	Hora	V: VHM como V_{15} (veh/15m n)		
			V_{15}	V_{15max}	$V \leq V_{15}$

Jueves	Noche	18:30-18:45	1442	Posible problema de congestión	
		18:45-19:00	1432	1442	1430
		19:00-19:15	1429	Flujo normal	
		19:15-19:30	1415	Flujo normal	

Calibración y validación del modelo

Prueba de hipótesis T de Student

En la Tabla 3 y 4 se observan los datos necesarios y el proceso realizado para determinar los rangos de aceptación de la prueba T de Student para la calibración del modelo, de la misma forma, en la Tabla 5 y 6 se señalan los mismos resultados para la validación.

Tabla 3

Parámetros estadísticos para la calibración en el intento 17

Parámetros Estadísticos	
a_x	1
b_{x_add}	5
b_{x_mult}	4
$t_{(a/2)}$	1.96
X_1	13.98
X_2	13.96
N_1	361
N_2	15
S_1	0.56
S_2	0.48
Margen de error	0.25
Nivel de confianza	0.95
gdl	374

Tabla 4

Resultados de la prueba de hipótesis *T* de Student para la calibración

Secuencia	Expresión	Valor numérico
1	$X_1 - X_2$	0.02
2	$N_1 - 1$	360
3	$N_2 - 1$	14
4	$N_1 + N_2$	376
5	S_1^2	0.314
6	S_2^2	0.230
7	$1/N_1$	0.003
8	$1/N_2$	0.07
9	$1/N_1 + 1/N_2$	0.07
10	$(N_1 - 1) S_1^2 + (N_2 - 1) S_2^2$	116.12
11	$(N_1 + N_2) - 2$	374
12	S_p^2	0.310
13	$\sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}} * \sqrt{S_p^2}$	0.147
14	"13"* $T_{(a/2)}$	0.288
15	Extremo positivo: "1"-"14"	-0.268
16	Extremo positivo: "1"+"14"	0.308

Tabla 5

Parámetros estadísticos para la validación

Parámetros Estadísticos	
a_x	1
b_{x_add}	5
b_{x_mult}	4
$T_{(a/2)}$	1.96
X_1	8.89
X_2	8.61
N_1	361
N_2	15

S_1	0.74
S_2	0.5
Margen de error	0.25
Nivel de confianza	0.95
gdl	374

Tabla 6

Resultados de la prueba de hipótesis *T* de Student para la validación.

Secuencia	Expresión	Valor numérico
1	$X_1 - X_2$	0.28
2	$N_1 - 1$	360
3	$N_2 - 1$	14
4	$N_1 + N_2$	376
5	S_1^2	0.548
6	S_2^2	0.250
7	$1/N_1$	0.003
8	$1/N_2$	0.07
9	$1/N_1 + 1/N_2$	0.07
10	$(N_1 - 1) S_1^2 + (N_2 - 1) S_2^2$	200.64
11	$(N_1 + N_2) - 2$	374
12	S_p^2	0.536
13	$\sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}} * \sqrt{S_p^2}$	0.193
14	"13"* $T_{\alpha/2}$	0.378
15	Extremo negativo: "1" - "14"	-0.098
16	Extremo positivo: "1"+"14"	0.658

Indicadores de desempeño de la situación actual

En la Figura 8 y 9 se presentan los resultados obtenidos mediante la metodología HCM 2010 y la microsimulación en Vissim para los valores de longitud de cola y tiempo de demora, los cuales se resumen en la Tabla 7 con la finalidad de comparar los niveles de servicio resultantes en ambos casos.

Longitud de cola

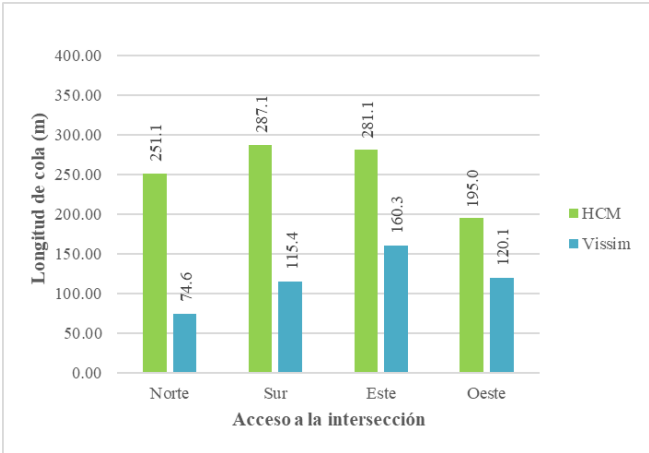


Figura 8. Longitud de cola actual por acceso HCM vs. Vissim

Tiempo de demora

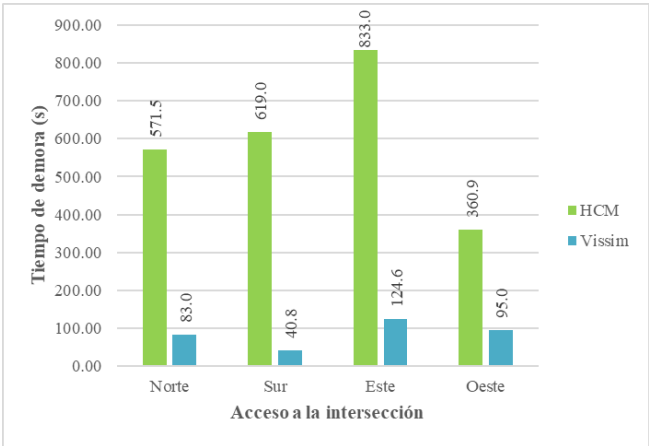


Figura 9. Tiempo de demora actual por acceso HCM vs. Vissim

Nivel de Servicio

Tabla 7

Resumen de indicadores de desempeño según la metodología HCM y Vissim

Acceso	Metodología HCM			Vissim		
	Long. de Cola (m)	Tiempo demora (s)	NDS	Long. de Cola (m)	Tiempo demora (s)	NDS
Norte	251.11	571.51	F	74.57	83.02	F
Sur	287.14	618.96	F	115.45	40.76	E
Este	281.13	833.02	F	160.31	124.59	F
Oeste	194.99	360.86	F	120.05	95.01	F

Diseño geométrico de una turbo rotonda propuesta
Geometría de la turbo rotonda

En la Figura 10 se grafica la geometría propuesta con la incorporación de una turbo rotonda tipo rotor en el ovalo de estudio.

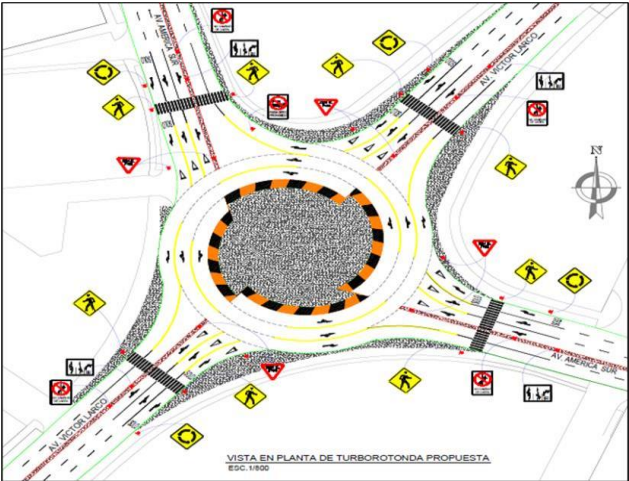


Figura 10. Geometría de la turbo rotonda propuesta (elaboración propia)

Indicadores de desempeño en la turbo rotonda
Longitud de cola

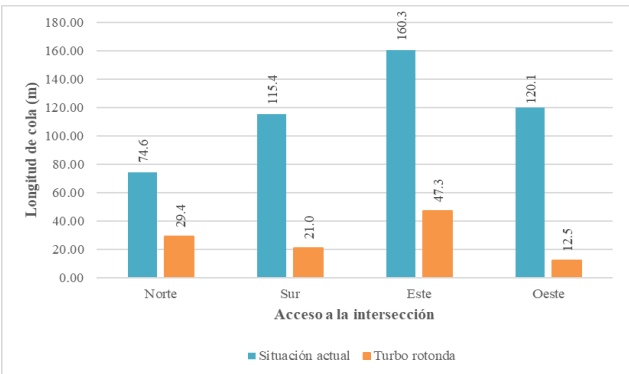
En la Figura 11 se visualiza la comparación de las longitudes de cola en la situación actual con respecto a la aplicación de la turbo rotonda propuesta, y en la Tabla 8 se indica el porcentaje de diferencia entre ellas.

Tabla 8

Comparación de longitudes de cola en la situación actual vs. turbo rotonda

Acceso	Situación actual (m)	Turbo rotonda	
		Long. Cola (m)	% Diferencia
Norte	74.57	29.35	-60.64%
Sur	115.45	20.97	-81.84%
Este	160.31	47.28	-70.51%
Oeste	120.05	12.52	-89.57%

Figura 11. Evaluación comparativa de longitudes de cola



Tiempo de demora

En la Figura 12 se muestra la comparación de los tiempos de demora en la situación actual con respecto a la aplicación de la turbo rotonda propuesta, y en la Tabla 9 se indica el porcentaje de diferencia entre ellos.

Tabla 9

Comparación de tiempos de demora en la situación actual vs. turbo rotonda

Acceso	Situación actual (s)	Turbo rotonda	
		Demora (s)	% Diferencia
Norte	83.02	32.81	-60.48%
Sur	40.76	23.50	-42.36%
Este	124.59	89.40	-28.24%
Oeste	95.01	14.60	-84.63%

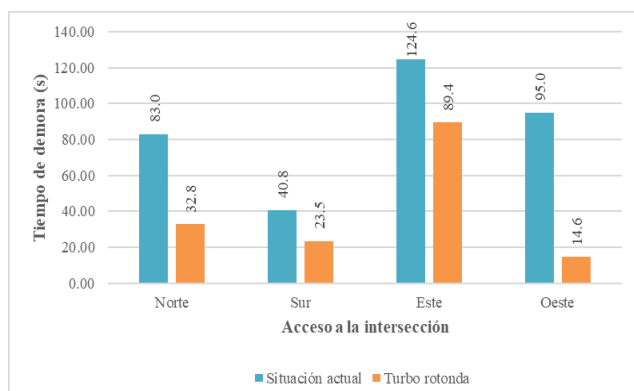


Figura 12. Evaluación comparativa de tiempos de demora

Nivel de Servicio

En la Figura 13 se representa la variación que sufre el nivel de servicio en cada acceso con la alternativa planteada con respecto a las condiciones actuales.

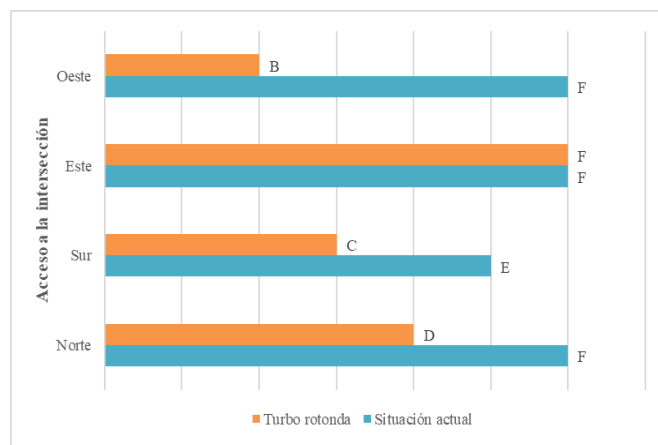


Figura 13. Evaluación comparativa de niveles de servicio

IV. CONCLUSIONES

- Se logró analizar la microsimulación de tráfico empleando el software Vissim en el Ovalo Larco, Trujillo, mediante el uso del indicador de tiempo de viaje manejado en campo, en base al cual se determinaron los parámetros de distancia promedio (a_x)=1, distancia de seguridad deseada (b_{x_add})= 5 y (b_{x_mult})= 4, propios del estilo de manejo en la zona; lo que permitió representar la red vial por medio de la calibración del modelo con un 95% de nivel significancia en la prueba de hipótesis nula T de Student; paralelamente, el congestionamiento vehicular en las condiciones actuales del ovalo según la metodología HCM 2010 y la microsimulación de tráfico vehicular identificaron deficiencias en su funcionamiento, reflejadas en niveles de servicio F que comprueban la brecha de oferta - demanda en la infraestructura existente de la intersección estudiada.
- Se realizó la construcción del modelo microsimulador con el software Vissim bajo las condiciones de tráfico actuales mediante la caracterización de la geometría vial, identificando dos carriles en las 4 entradas y salidas del óvalo, así como en la calzada circulatoria; contando con data de aforo vehicular direccional en la hora de máxima demanda del día jueves en el turno de 18:30 a 19:30, con un flujo total de 5718 veh. Adicionalmente, se consideraron todos los dispositivos de control de tránsito existentes (señalización, reductores de velocidad), y las zonas de puntos de conflicto fueron representadas mediante áreas de prioridad.
- Se realizó la calibración del modelo microsimulador determinando los parámetros Wiedemann correctos en el intento 17, cuyos resultados, que cumplieron con el número mínimo de corridas (15) según la FHWA (Federal Highway Administration), obtuvieron un promedio de tiempo de viaje de 13.96 seg con una desviación estándar de 0.48 seg que a comparación de la media de 13.98 seg junto a una desviación de 0.56 seg de campo resultan semejantes en un 95% mediante la comprobación de la hipótesis nula. A su vez, la validación del modelo se realizó con el ingreso de nuevos datos de entrada correspondientes al horario de 18:45 a 19:45 del día sábado, obteniendo un tiempo de viaje promedio de 8.61 seg con una desviación estándar de 0.50 seg, frente a una media de 8.89 seg y una desviación de 0.74 seg en campo, validando así la hipótesis nula de igualdad de medias.
- Se determinaron los indicadores de desempeño bajo las condiciones actuales mediante la metodología HCM 2010, con lo que se obtuvo longitudes de cola entre 195.0 a 287.1 m, tiempos de demora en un rango de 360.9 a 833.0 s, y niveles de servicio "F" en todos los accesos; mientras que, el software microsimulador arrojó valores de longitud de

cola entre 74.6 a 120.1 m y demoras desde 40.8 a 124.6 s, lo cual determinó niveles de servicio “F” en todas las entradas, a excepción del acceso Sur con un nivel “E”. En base a lo mencionado, se concluye que los valores más bajos en Vissim se sustentan en un proceso de simulación que ha tomado en cuenta las características geométricas, dispositivos de control de tránsito y comportamiento del conductor manejados en el óvalo de estudio; mientras que el proceso del HCM 2010 es aplicable solo para rotondas con una geometría similar a la convencional, considerando exclusivamente datos relacionado al flujo vehicular en la hora de máxima demanda, lo que genera resultados imprecisos y con menor validez.

- Se elaboró el diseño geométrico de una turbo rotonda como una alternativa de solución al tráfico vehicular según los fundamentos del manual de diseño de rotondas del Ministerio de Transportes de los Países Bajos, en base a lo cual se optó por usar un diseño tipo rotor al contar con una demanda vehicular de 5718 veh, lo cual implicó cambios geométricos en los accesos de entrada a la rotonda, aumentado el número de carriles a 3 con un ancho de 3.70m, lo cual conllevó a una reducción del ancho de las bermas centrales; pero, la característica principal que gobierna este sistema es la existencia de separadores de carril de resina que definen la elección entre 3 movimientos vehiculares por cada usuario; sin embargo, estos pueden ser montables para tolerar a vehículos que necesiten un mayor radio de giro.
- Se determinaron los indicadores de desempeño con la incorporación de la turbo rotonda mediante la microsimulación de tráfico, donde los valores de longitud de cola obtenidos fueron desde 12.5 m hasta 47.5m, presentando una reducción en un mínimo de 60.64% con lo obtenido en la geometría actual; de la misma manera, el tiempo de demora arroja valores que van desde los 14.60 seg hasta los 32.81 seg, que disminuyen los valores iniciales en un mínimo de 28.24%. Por consiguiente, através de estos 2 parámetros se define que el nivel deservicio asignado para las entradas Oeste, Este, Sur y Norte es “B”, “F”, “C” y “D”, respectivamente; demostrando que la combinación de la modificación geométrica y de uso de carriles exclusivos por movimiento mejoraría significativamente la eficiencia en una ovalo de estas características en la ciudad de Trujillo.

REFERENCIAS

- [1] Akyüz, E. (2015). Las soluciones a la congestión del tráfico en Estambul. *The Journal of Academic Social Science*, 3(16), 442 - 449. doi: [10.16992/ASOS.792](https://doi.org/10.16992/ASOS.792)
- [2] Alcalá, M. (2016). *Microsimulación del Tráfico de la intersección de las Avenidas Bolívar, Córdova y Calle Andalucía empleando el software Vissim 6* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- [3] Alegre, M. (2016). *Transporte Urbano: ¿Cómo resolver la movilidad en Lima y Callao?*. Recuperado de <https://www.cies.org.pe/es/investigaciones/elecciones-generales-2016/transporte-urbano-como-resolver-la-movilidad-en-lima-y>
- [4] Álvarez, J. (2017). *Microsimulación Intermodal en la ciudad del Cusco empleando los Software Vissim 8 y Viswalk 8* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- [5] Bloomberg, L., y Dale, J. (2000). Comparison of VISSIM and CORSIM Traffic Simulation Models on a Congested Network: *Transportation Research Record*, 1727(1), 52-60. (Sage CA: Los Angeles, CA). doi: 10.3141/1727-07
- [6] Bull, A. (2003). *Congestión de tránsito: El problema y cómo enfrentarlo*. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- [7] Cáceres, N., Díaz, N., y Morales, A. (2016). *Caracterización, modelación y diseño de intersecciones. Revisión literaria*. Universidad La Gran Colombia, Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://repository.ugc.edu.co/handle/11396/5139>
- [8] Cal y Mayor, R., y Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y aplicaciones*. (8.ª ed.). México: Alfaomega.
- [9] Chávez, N., Mancilla, J., Mariño, S., y Medina, L. (2019). *Propuesta de un nuevo diseño geométrico para la intersección Av. Javier Prado Este y Av. Melgarejo-Óvalo Huarochiri* (tesis de pregrado). Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú.
- [10] Consorcio GITEC-RUPPRECHT-PACT PERÚ. (2020). *Diagnóstico y prognosis del transporte y la movilidad urbana en la ciudad de Trujillo*. Recuperado de <http://sial.segat.gob.pe/documentos/diagnostico-prognosis-transporte-movilidad-urbana-ciudad-trujillo>
- [11] Darder, V. (2005). *Funciones de las rotondas urbanas y requerimientos urbanísticos de organización* (tesis de pregrado). La Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- [12] Delgado, J., Saavedra, P., y Velasco, R. M. (2011). *Modelación de problemas de flujo vehicular*. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, México.
- [13] Fabianova, J., Michalik, P., Janekova, J., y Fabian, M. (2020). Design and evaluation of a new intersection model to minimize congestions using VISSIM software. *Open Engineering*, 10(1), 48-56. doi: 10.1515/eng-2020-0019
- [14] Federal Highway Administration. (2004). *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*. Recuperado de <https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/>
- [15] Federal Highway Administration. (2019). *Turbo Roundabouts: Informational Primer*. Recuperado de <https://safety.fhwa.dot.gov/intersection/roundabouts/fhwaasa20019.pdf>
- [16] Fellendorf, M., y Vortisch, P. (2010). Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM. En J. Barceló (Ed.), *Fundamentals of Traffic Simulation* (pp. 63-93). New York, NY: Springer. doi: 10.1007/978-1-4419-6142-6_2
- [17] Fortuijn, L. (2009). Turbo roundabouts: Design principles and safety performance. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research*

Board, 2096(1), 16-24. doi: 10.3141/2096-03

- [18] García, J. (2016). *Aplicando Teoría de Colas en Dirección de Operaciones*. Recuperado de <http://personales.upv.es/jpgarcia/linkedddocuments/teoria-decolasdoc.pdf>
- [19] Gerlough, D. L., y Huber, M. J. (1975). *Traffic flow theory: A monograph*. Washington: Transportation Research Board, National Research Council.
- [20] Gibson, J. (2001). *Teoría de Flujos Vehiculares Apuntes de Clase*. Recuperado de https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/2/CI73I/1/material_docente/bajar?id_material=203202