

Evaluation of the impact of reducing the traffic light cycle for cars to improve non-vehicular transportation: A case of study in Lima.

Evaluación del impacto debido a la reducción del ciclo del semáforo en automóviles para mejorar el transporte no vehicular: un caso de estudio en Lima.

Gheyder Concha Bendezu¹, Rodrigo Lescano Loli¹ y Aldo Bravo Lizano¹

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú, u201414259@upc.edu.pe, u201421746@upc.edu.pe, aldo.bravo@upc.pe

Abstract - Faced with the new trend of sustainable and economical transport, the city is forced to develop infrastructure and transit technologies to incorporate pedestrians and users with non-motorized vehicles in the urban transport system. This research seeks to evaluate the consequences of optimizing a traffic light cycle with more equitable green times, which improves the movements of pedestrians and non-motorized vehicles (bicycles, scooters, skates, among others), without affecting the traffic of motorized vehicles (cars, buses, trucks and motorcycles). Field data such as speed of motorized and non-motorized vehicles per access, turns and movements per access, volume of motorized and non-motorized vehicles at the intersection, geometric measurements of the intersection; and the current semaphore cycle were taken into account to create a microsimulation in Vissim 9.0 software. This model was calibrated and validated through statistical evaluation, to represent a behavior similar to reality and simulate the current scenario. On the other hand, the field data previously collected was processed in Synchro 8.0 software, to obtain a new optimized traffic light cycle. With the new traffic light cycle obtained, Vissim 9.0 is entered for the microsimulation of the proposed scenario.

Finally, 2 microsimulations are obtained, one of the current scenario and the other of the proposed scenario, which were compared using 3 variables to determine the impact of the implementation of a traffic light with more equitable green times. The variables compared were: the length of the queue by access, vehicles stopped by access and delay of vehicles by access. The results reflect an 11% reduction in the delay in vehicle access, an average decrease of 12.5% for the length of the queue, and an average reduction of 5% for vehicles stopped for access.

Keywords-- bikeway, microsimulation; queue length, traffic light cycle, travel time.

Resumen - Frente a la nueva tendencia por el transporte sostenible y económico, la ciudad se ve obligada a desarrollar infraestructura y tecnologías de tránsito para incorporar peatones y usuarios con vehículos no motorizados en el sistema de transporte urbano. La presente investigación busca evaluar las consecuencias de optimizar un ciclo de semáforo con tiempos de verde más equitativos, que mejore los desplazamientos de peatones y vehículos no motorizados (bicicletas, scooters, patines, entre otros), sin afectar el tránsito de los vehículos motorizados (autos, buses, camiones y motos). Los datos de campo como la velocidad de los vehículos motorizados y no motorizados por acceso, giros y movimientos por acceso, volumen de vehículos motorizados y no motorizados en la intersección, medidas geométricas de la intersección; y el ciclo de semáforo actual se tomaron en cuenta para crear una microsimulación en el software Vissim 9.0. Este modelo fue calibrado y validado mediante evaluación estadística, para representar un comportamiento similar a la realidad y simular el escenario actual. Por otro lado, los datos de campo previamente recolectados se procesaron en el software Synchro 8.0, para obtener un nuevo ciclo del semáforo optimizado. Con el nuevo ciclo del semáforo obtenido, se ingresa al Vissim 9.0 para la microsimulación del escenario propuesto.

Finalmente, se obtienen 2 microsimulaciones, una del escenario actual y otra del escenario propuesto, las cuales se compararon mediante 3 variables con el fin de determinar el impacto por la introducción de un semáforo con tiempos de verde más equitativos. Las variables comparadas fueron: la longitud de la cola por acceso, vehículos detenidos por acceso y retraso de vehículos por acceso. Los resultados reflejan una reducción del 11% en la demora de vehículos por acceso, una disminución promedio del 12,5% para la longitud de la cola y una reducción promedio del 5% para los vehículos detenidos por acceso.

Palabras clave-: ciclovía, microsimulación; longitud de cola, ciclo semafórico, tiempos de viaje.

Digital Object Identifier: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.339>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390
DO NOT REMOVE

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población mundial trae consigo un aumento en el crecimiento urbano y esto se aprecia en los principales países en vías de desarrollo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) analiza el impacto de la salud y la forma en que se construyen las ciudades. Se estima que, en un futuro no muy lejano, el 70% de la población mundial residirá en áreas urbanas y las grandes ciudades están empezando a considerar un modelo de planificación urbana para la adaptación de la sobrepoblación que se avecina.

Actualmente, solo la contaminación del aire causa unos tres millones de muertes prematuras al año, dejando de lado el impacto en la salud de los accidentes de tráfico, el ruido o el sedentarismo. Así, la búsqueda de sistemas sostenibles que den preferencia a la salud, puedan ser una ruta de las ciudades del futuro. El tiempo en que los automóviles y los buses de transporte público eran la primera opción para desplazarse parece haber llegado a su fin. La movilidad a pie y el despliegue de ciclovías se abren paso como alternativas. Asimismo, la Salud Pública y Medio Ambiente de la OMS, asegura que "Existe evidencia de que las políticas que promueven el transporte público y zonas seguras para peatones y ciclistas reducirían la mortalidad prematura" [1].

Por otro lado, la mala planificación, la sobrepoblación en la ciudad, el mal diseño de las vías y la mala organización trae como consecuencia un tráfico caótico, ya que se busca cubrir la demanda de las personas que buscan desplazarse a sus centros de labores, estudios, recreación y salud por medio del transporte público como primera opción con un 75,6%, seguido por el transporte particular con un 15,5% de las preferencias. Finalmente, el transporte no motorizado es el menos utilizado por las personas con un 8,9% [2].

II. ESTADO DEL ARTE

En el artículo "Criterios geométricos y funcionales como enfoque metodológico para implementar una nueva ciclovía en una red vial urbana existente: un estudio de caso en Roma", presenta un estudio para implementar una nueva ruta ciclista en la red vial existente en Roma, Italia. Para el diseño de esta nueva red, los autores evaluaron 5 tramos densamente transitados, entre los cuales destaca el segundo, el cual vio reducido el ciclo de semáforo de autos para dar paso tanto al tranvía como a los ciclistas en sus respectivas fases. La diferencia es que en nuestro proyecto se propone la optimización de un ciclo semafórico de 4 fases a 3 fases en una intersección, fomentando la movilidad en bicicleta; mejorando e implementando infraestructuras para vehículos no motores y agilizar el transporte motorizado y/o privado. Asimismo limitando los accidentes de tráfico que ocurren en áreas urbanas y especialmente en las intersecciones, donde los ciclistas y motociclistas son los más vulnerables en la investigación [3].

En la investigación, "Metodología para determinar la optimización del ciclo del semáforo basado en simulaciones", los autores registraron la ruta de los vehículos que llegan a la intersección con sus respectivos giros permitidos, velocidades, cambios de carril y ciclo del semáforo en la intersección, para llevarlo al Vissim. En la simulación del modelo, optimizan el ciclo del semáforo cada 15 minutos de acuerdo a la demanda observada en campo y logran una reducción de la longitud de cola y de tiempo de demora del 10% y 14 % respectivamente [4]. A diferencia de nuestra investigación se complementó con el software Synchro para una mejora en la distribución del ciclo semafórico, una optimización deseable. Después del análisis se concluye que la modificación del sistema de semáforos inteligentes es beneficiosa en términos de duración de viaje.

En la investigación, "Una implementación de razonamiento basado en casos para controlar las señales de los semáforos", Se presenta una metodología que permite incluir un modelo basado en agentes autónomos e inteligentes capaces de manipular las fases de los ciclos en una intersección densamente transitada, en la cual se da una fase de semáforo extra para un tranvía. La optimización del ciclo del semáforo es llevada al Vissim, donde se proponen 3 esquemas o escenarios: el primero, donde el semáforo inteligente da prioridad al acceso con más vehículos en espera, el segundo con prioridad exclusiva al tranvía; y un último, a una combinación entre las 2 primeras configuraciones, siendo esta última la más eficiente del ciclo. Esta permite, a pesar de añadir una fase, reducir el tiempo de demora de la intersección en 27,3 segundos y mejorar el nivel de servicio ,ya que pasa de un nivel D a un nivel C, a diferencia de las los otros 2 escenarios que logran un nivel de servicio D [5].

III. METODOLOGIA

Los datos necesarios para la investigación se pueden dividir en 3 ítems estratégicos: el primero es el dato numérico, proporcionado por el comportamiento de los vehículos motorizados que interactúan con vehículos no motorizados y peatones en la hora pico de tráfico (17:00 a 18:00). En este ítem, se recolectó la información de datos como el conteo de vehículos, y peatones por acceso mediante diversas visitas a campo para cuantificar la cantidad de vehículos motores, no motores y peatones. Asimismo, las trayectorias, cambios de carril, velocidad y tiempo de viaje de vehículos no motorizados y vehículos motorizados. El segundo elemento son las medidas geométricas de pavimentos, aceras, mobiliario urbano y ciclovías. Finalmente, el tercer ítem es el registro del ciclo semafórico vigente registradas mediante la visita a campo con todas sus fases y giros permitidos en el cruce.

Por ende, estos valores se utilizaron para crear un modelo de microsimulación con el fin de recrear la intersección existente. El proceso de calibración y validación ayudó a hacer un modelo tan cercano a la realidad. La recreación en

el software Vissim /Viswalk permitió encontrar los tres valores para compararlos con el modelo propuesto. Los tres valores fueron: longitud de la cola por acceso, vehículos detenidos por acceso y retraso de vehículos por acceso. Por otro lado, los datos de entrada recopilados anteriormente se recrearon en Synchro 8.0 para optimizar el ciclo de semáforo existente. Este nuevo ciclo se introdujo en el software Vissim para comparar el modelo actual y el propuesto mediante los tres valores mencionados anteriormente.

A. Recopilación de la información

Se realizó la toma de datos de campo, donde se registró el ciclo del semáforo de la intersección estudiada, así como las fases de movimiento por cada acceso al igual que los giros permitidos por cada acceso, como se puede observar en la Fig. 1; En esta figura se puede observar el nombre de las avenidas y calles que conforman la intersección: avenida Javier Prado, avenida Arenales, avenida Jorge Basadre y la calle Ollanta.

También se tomó las medidas geométricas como el ancho de los carriles por acceso, la longitud del paso peatonal, pendientes, ancho de la acera y de la ciclovía existente para poder ser recreados en el software.

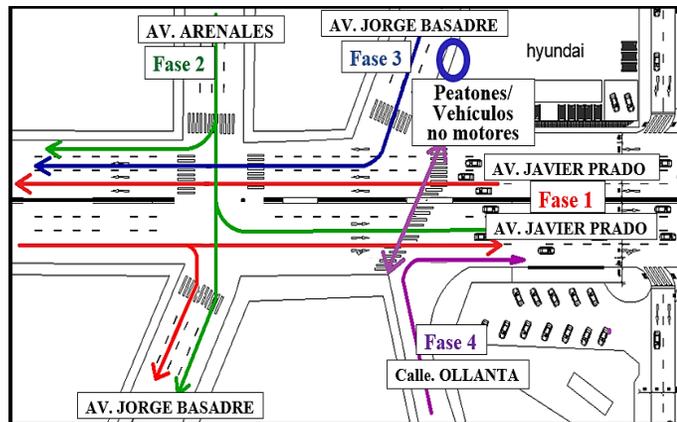


Fig. 1: Diagrama de movimientos de la intersección y levantamiento geométrico

En cuanto al ciclo del semáforo existente, como se aprecia en la **Tabla 1**, se registró las distintas fases las cuales se detallan a continuación: Para la avenida Javier Prado Oeste-Este y viceversa (fase 1) que posee un tiempo de verde de 310 segundos y 155 segundos de rojo; para la avenida Arenales (fase 2), posee un tiempo de verde de 140 segundos y un tiempo de rojo de 325 segundos. Mientras que para la avenida Jorge Basadre (fase 3), este registró un tiempo de verde de 100 segundos y 365 segundos en rojo. Finalmente, para la última o cuarta fase, que es compartida entre la calle Ollanta y los peatones con usuarios de vehículos no motores, sólo tienen un tiempo de verde de 35 segundos para cruzar la avenida Javier Prado que son aproximadamente 35 metros y

430 segundos en rojo. Todas las fases cuentan con 3 segundos de luz amarilla.

TABLA 1: Fases del semáforo actual

Acceso y fase	Actual		
	Verde	Amarillo	Rojo
Javier Prado (Ø1)	310	3	155
Arenales(Ø2)	140	3	325
Jorge Basadre(Ø3)	100	3	365
Ollanta/ Peatones-Vehículos no motores (Ø4)	35	3	430
Total	468 segundos		

Por otro lado, con el fin de representar el comportamiento de los usuarios con vehículos no motorizados en el modelo de microsimulación del Software Vissim 9.0, se registraron los datos de tiempos y velocidades mediante visitas de campo. El círculo azul de la Fig. 1 encierra una sección que funciona como un detector. Tiene 30 metros de longitud, por lo que este tramo (detector) registró el tiempo en que un vehículo no motorizado entra y sale del tramo delimitado. Los datos del detector vienen dados por Vissim 9.0, según el número de corridas, los resultados son mejores con un número apropiado de corridas (número de simulaciones).

$$N = [t(0.025; n - 1) * \frac{s}{e}]^2 \dots (1)$$

Para encontrar el número de corridas(N) usamos la ecuación (1). Estas corridas representan cuántas veces se debe simular el modelo en un tiempo específico (la presente investigación consideró 1 hora), para que pueda contemplar diferentes escenarios en la microsimulación. El valor de “t” se halla mediante la tabla t de student, “n” es el valor promedio de la muestra, “s” es el valor de la desviación estándar y “e” representa el rango de error de la muestra. Los datos de entrada de la **Tabla 2** se toman de un tiempo de viaje de 25 vehículos no motorizados en segundos, a lo largo de la sección de 30 metros de longitud mencionada anteriormente.

TABLA 2: Datos de entrada para el número de corridas

Promedio(s)	4.33
Desv. Est.(s)	0.73
Error	0.433
t[0.025,n-1]	2.1448
Número de corridas	14

Luego, la **Tabla 3** muestra la cuantificación de los datos de 25 vehículos no motorizados aleatorios, así como la medición de los tiempos de viaje para una distancia de 30 metros.

Con la información de la Tabla 3, se calcula la tabla de velocidad, que se define como las frecuencias relativas acumuladas para representar las velocidades de los vehículos no motorizados en el modelo de microsimulación.

TABLA 3: Data de vehículos no motores

	Tiempo (s)	Velocidad(m/s)	Velocidad (km/h)
Promedio	16.27	1.93	6.96
Desv. Est.	3.28	0.47	1.69
Máximo	20.76	3.14	11.32
Mínimo	9.54	1.45	5.20

La **Tabla 4** muestra el cálculo de las frecuencias relativas acumuladas. Este valor representa la incidencia más representativa de la velocidad de los vehículos no motorizados.

TABLA 4: Frecuencias relativas acumuladas (H)

Rango	Frecuencia (f)	Frec. Acum. (F)	Frec. Relativa (h)	Frec. Relat. Acum (H)
6	9	9	0.36	0.36
7.5	9	18	0.36	0.72
9	4	22	0.16	0.88
10.5	2	24	0.08	0.96
12	1	25	0.04	1

Con las frecuencias relativas acumuladas de la **Tabla 4** se desarrollan las gráficas que representan las velocidades la curva de distribución de velocidades a partir de la tabla anterior donde se determina el eje "x" como el rango, del mismo modo, en el eje "y" como la frecuencia relativa acumulada. En la fig. 2 se muestra el grafico de distribución de velocidad del rango que representa la velocidad de vehículos no motores.

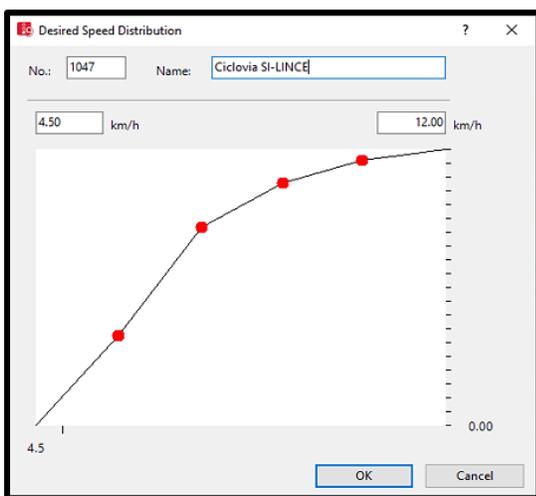


Fig. 2: Distribución de velocidades de los vehículos no motores sin considerar la optimización del ciclo semafórico

B. Calibración con Vissim 9.0

Las principales categorías de parámetros de calibración de vehículos son: el comportamiento de seguimiento del vehículo, el comportamiento de cambio de carril requerido y las distancias de cambio de carril. Además, la interacción entre el parámetro de líder y seguidor se calibra en el software Vissim [6,7].

El proceso de calibración comenzó con la comparación entre el tiempo de viaje de los vehículos no motorizados en el campo y los tiempos de viaje registrados por el software después de la microsimulación.

De esta forma, los parámetros de Wiedemann, a través de un proceso iterativo, ayudaron a calibrar el modelo. La variable "ax" que es la distancia entre los vehículos cuando están detenidos, "bx" que representa la distancia de seguridad (parte aditiva) y "abx" vinculada a la distancia de seguridad (parte multiplicativa), estos valores se muestran en la **Tabla 5**. Además, la **Tabla 6** que se compara el tiempo de viaje en campo promedio de 25 muestras de vehículos no motorizados, con los tiempos simulados en Vissim, en una sección de 30 metros y catorce corridas (simulaciones para Vissim).

TABLA 5: Parámetros de Wiedemann

	ax	bx	abx
Valor	2	1,5	4

TABLA 6: Frecuencia relativa acumulada (H)

	Tiempo (s)	Tiempo en Vissim(s)
Promedio	14.28	14.42
Desv. Est.	1,52	1,23
Máximo	16.35	16.45
Mínimo	10.35	11,88

En la Fig. 3 se muestra la gráfica de distribución normal en el programa Statkey mostró que los límites de aceptación están entre -0,960 y 0,955, donde la diferencia media es 0,14 (s). Por tanto, se puede afirmar que el modelo de microsimulación está calibrado [8].

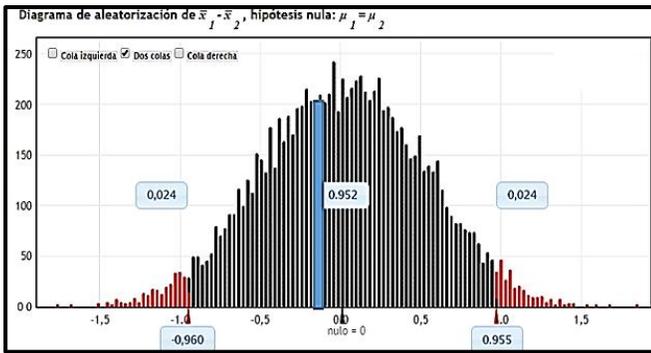


Fig. 3: Distribución de hipótesis nula

C. Optimización del ciclo del semáforo

Para la optimización del ciclo del semáforo, el software Synchro 8.0 permite mejorar el ciclo del semáforo de acuerdo con la asignación de rutas de vehículos motorizados, no motorizados, la demanda por acceso y secuencia de fases del cruce actual [9]. Así, el software Synchro 8.0 redujo el número de fases de 4 a 3, como se puede apreciar en la Fig. 4. La tercera fase unifica los movimientos de Jorge Basadre con Ollanta y la fase para cruzar de los usuarios de vehículos no motorizados, ya que los movimientos de estos 3 grupos no se intersectan entre sí.

Actual		Optimizado	
Ø1 Av. Javier Prado	Ø2 Arenales	Ø1 Av. Javier Prado	Ø2 Arenales
Ø3 Av. Jorge Basadre	Ø4 Peatones/Veh. No motores	Ø3 Av. Jorge Basadre/ Peatones y Veh. No motores/ Calle Ollanta	

Fig.4: Comparación entre el diagrama de fases actual (izquierda) y el optimizado (derecha)

La **Tabla 7** muestra los valores principales que Synchro procesó para cada acceso. Los valores de ancho de carril y factores para giro a derecha e izquierda dieron el flujo saturado por acceso [10]. Para la configuración de volumen, los datos recopilados como el porcentaje de vehículos pesados en horas pico, el bloqueo de autobuses (número de vehículos por cada hora) y el conflicto tanto de peatones

como en los usuarios con bicicletas o vehículos no motores dieron como resultado el volumen de tráfico, que se utiliza como entrada, como división mínima, división total, tiempo en amarillo y la capacidad de volumen (el ratio) para determinar el tiempo adecuado para cada fase en las avenidas, esto presenta la duración óptima del ciclo semafórico.

TABLA 7: Ciclo de semáforo optimizado

Ø	Ø1		Ø2	Ø3		
	Av. JP (E-O)	Av. JP (O-E)	Arenales	Jorge Basadre	Peatones/VNM/Ollanta	
Configuración de carril	Volumen de tráfico	2443.0	2375.0	930.0	119.0	89.0
	Flujo saturado ideal	1900.0	1900.0	1900.0	1900.0	1900.0
	Ancho de carril (m)	3.3	3.3	3.0	3.3	3.0
	Factor de giro izquierda	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Giro a la derecha	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Flujo saturado	5337.0	5631.0	5336.0	1575.0	1559.0
Configuración de volumen	Factor de hora pico	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9
	Vehículo pesado (%)	2.0	2.0	2.0	0.0	0.0
	Bloqueo de bus	30.0	30.0	25.0	0.0	0.0
	Peatones en conflicto	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Ajustes de tiempo	Bicicletas en conflicto	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Volumen de tráfico	2443.0	2375.0	930.0	119.0	89.0
	Minutos divididos	80.0	80.0	50.0	30.0	30.0
	División total	250.0	250.0	100.0	50.0	50.0
	Tiempo en amarillo	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	Ratio (Cap. de volumen)	0.7	0.8	0.7	0.3	0.2
Nivel de servicio	F	F	F	C	C	

El ciclo del semáforo pasó de 468 segundos (Tabla 1) a 400 segundos (Tabla 8). La primera fase 1 (Ø1) redujo su tiempo de verde en 60 segundos y aumentó su tiempo de rojo en 8 segundos. Para la fase 2 (Ø2), el tiempo en verde de la avenida Arenales no sufrió muchos cambios, pero su tiempo en rojo se redujo en 66 segundos. Después, el tiempo de verde para vehículos no motorizados y peatones (Ø3) aumentó en 20 segundos. Esta fase es la que ha ganado más tiempo en verde, en comparación con las otras dos fases. Esta fase garantiza un desplazamiento seguro de vehículos no motorizados y peatones.

TABLA 8: Valores de sincronización del ciclo optimizado: Configuración de carril, volumen y tiempo

Acceso y fase	Optimizado		
	Verde	Amarillo	Rojo
Javier Prado (Ø1)	250	3	147
Arenales(Ø2)	100	3	297
Jorge Basadre/Ollanta/ Peatones-Vehículos no motores (Ø3)	50	3	347
Total	400 segundos		

Finalmente, se registró un nuevo ciclo de semáforo en Vissim 9.0. La investigación evaluó el impacto de la reducción del ciclo del semáforo, lo que supuso la reducción del tiempo verde en la avenida Javier Prado. El objetivo de este estudio era medir y cuantificar el efecto de la reducción del ciclo del

semáforo y si este nuevo ciclo hacía más o menos fluido el cruce estudiado. La investigación eligió tres variables para evaluar los posibles efectos en el desempeño de los vehículos motorizados: retraso del vehículo, longitud de la cola y vehículos detenidos, cada una por acceso y una variable para evaluar el desempeño del vehículo no motorizado.

IV. RESULTADOS

Para medir la mejora del tiempo de viaje no motorizado, Vissim recolectó el tiempo de viaje promedio de los usuarios de vehículos no motorizados en un tramo delimitado de 475 metros (dos cuadras antes y dos cuadras después de la intersección analizada), con el ciclo del semáforo optimizado. El tiempo de viaje promedio para los mencionados fue de 610 segundos en el modelo actual, mientras que para el modelo propuesto fue de 540 segundos. El tiempo de viaje se redujo en 70 segundos, como se aprecia en la Fig. 5.

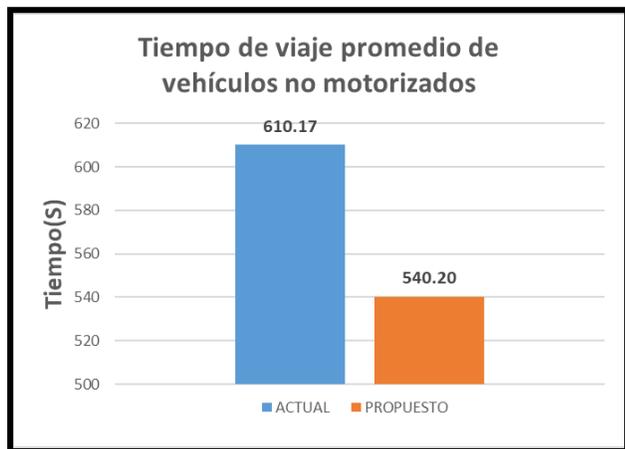


Fig. 5: Promedio del tiempo de viaje de un vehículo no motorizado

En la Fig. 6, la demora de vehículos para Javier Prado (sentido Este – Oeste) y Javier Prado (sentido Oeste – Este) aumentó en 27 segundos, pero disminuyó en 100 segundos para la avenida Arenales, sin embargo, este cambio permitió una mejor distribución de las demoras de vehículos para la intersección. De hecho, el tiempo de demora total para el modelo actual fue de 432 segundos y para el modelo propuesto fue de 385 segundos. La diferencia fue de 47 segundos.

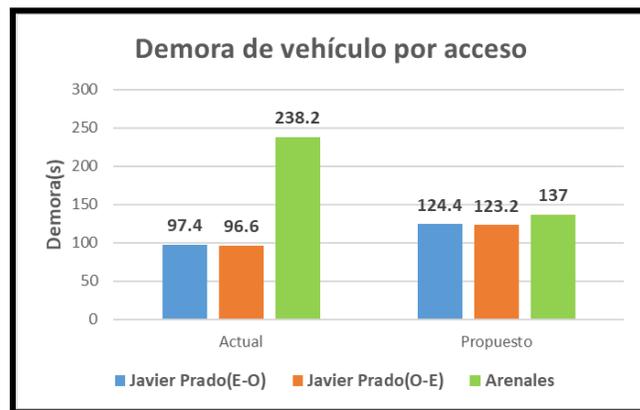


Fig. 6: Comparación de retrasos de vehículos por acceso entre el modelo actual y el propuesto

De la misma forma, la Fig. 7 compara la reducción en términos de vehículos detenidos por hora para cada avenida de la intersección. Para las avenidas Javier Prado (E-O), Javier Prado de (O-E) y Arenales hay una reducción de 110, 113 y 73 vehículos respectivamente, es decir, una mejora entre un 4% y un 5,5% aproximadamente.

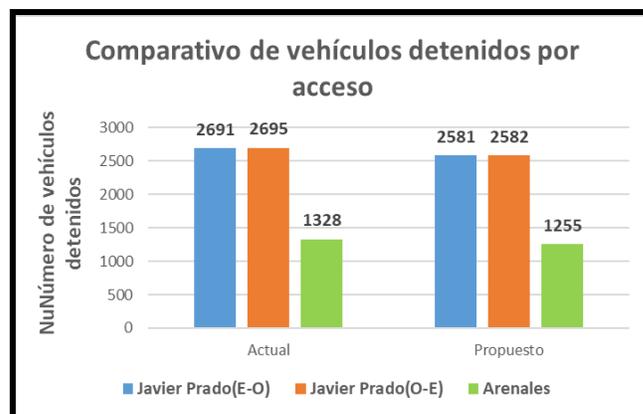


Fig. 7: Comparación de vehículos detenidos por acceso

Luego, la comparación de longitudes de cola por acceso en la Fig. 8, mostró que la longitud de cola de Javier Prado (E-O) se redujo en 20,74 metros, Javier Prado (O-E) se redujo en 24,48 metros y Arenales se redujo en 7 metros. Por tanto, el porcentaje de reducción de la longitud de la cola es del 8,57%, 16,21% y 12,74% respectivamente.

VI. REFERENCIAS

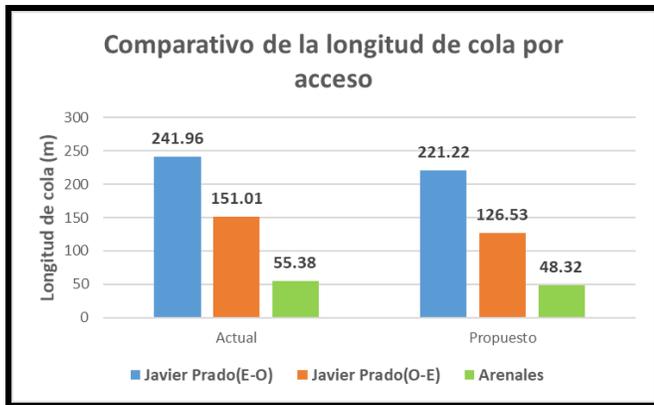


Fig. 8: Comparación de la longitud de la cola entre el modelo actual y propuesto por acceso

V. CONCLUSIONES

Hay una mejora sustancial en el tiempo de viaje de vehículos no motorizados de 70 segundos, lo que equivale a una mejora del 11% después de optimizar un semáforo para una avenida muy transitada.

La demora vehicular aumentó en un 27% para la avenida Javier Prado en ambos sentidos y disminuyó un 42,5% en Arenales, sin embargo, este aumento y disminución para cada avenida permite una mejor distribución de las demoras, reduciendo la enorme diferencia entre las avenidas Javier Prado y Arenales.

Asimismo, una optimización del ciclo del semáforo y su beneficio en la reducción de la longitud de las colas de vehículos garantizan la eficiencia del modelo propuesto con una reducción porcentual de 8.57%, 16.2% y 12.74% según Synchro 8.0.

La reducción de vehículos detenidos por hora para las avenidas Javier Prado (E-O) y Javier Prado de (O-E) es del 4% mientras que para la avenida Arenales la reducción es del 5,5%.

Se puede concluir que la inclusión de usuarios de vehículos no motorizados en una intersección muy transitada es posible, ya que el rediseño del ciclo del semáforo no afectó a usuarios de vehículos motores (autos, camiones, motos y buses), sino que por el contrario, mejoró las condiciones actuales, beneficiando a ambos tipos de transporte.

- [1] Dora, C. (30 de junio de 2017). "Toda la planificación urbana del mundo es para los coches; la gente no importa". El País, págs. 02-10.
- [2] Alegre Escorza, M (Agosto del 2016). "Transporte urbano". Consorcio de investigación económico y social. págs. 07-09.
- [3] Di Mascio, P., Fusco, G., Grappasonni, G., Moretti, L., Ragnoli, A. (2018). Criterios geométricos y funcionales como enfoque metodológico para implementar un nuevo carril bici en una red vial urbana existente: un estudio de caso en Roma. *Sostenibilidad (Suiza)* 10 (8), 2951.
- [4] G Rivera et al 2020. "Metodología para la determinación de ciclos optimizados de semáforos basada en simulación". *Conf. PIO Ser: Mater. Sci. Ing.* 758 012047.
- [5] Castán, J. A., Ibarra, S., Laria, J., Guzmán, J., & Castán, E. (2014). Control de tráfico basado en agentes inteligentes. *Polibits*, 50, 61–68.
- [6] L. Ma, B. Chen, X. Wang, Z. Zhu, R. Wang X. Qiu. "El análisis de la velocidad deseada en el modelo de fuerza social utilizando un enfoque basado en datos", *Physica A*, vol. 525, págs. 894-911. Julio 2019.
- [7] Salazar Solano, C. (2018). Análisis por Micro simulación de la intersección entre la Av. Brasil y el Jr. General Borgoño empleando Vissim 8. (Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Católica Del Perú, Perú.
- [8] Larrea, D., Alcalde, C., Silvera, M., Campos, F. (2020). Influencia del Comportamiento Psicofísico de los Peatones en la Calibración y Validación de Modelos Vissim / Viswalk de Microsimulación. 10.18687 / LACCEI2020.
- [9] Kaufmann, J. ,(2016). Tija de sillín de bicicleta inteligente de fibra de carbono con integración de luz y sensor, Technische Universität Chemnitz, Straße der Nationen (562 - 567).
- [10] Martins, V., Rufino, J, (2019), Towards personal virtual traffic lights. *Information*, ssue 1, 2019, Article number 32.