

Replanteo físico y operacional de una rotonda urbana de cinco carriles interiores en situación de congestión para mejorar su eficiencia y seguridad vial

Fernando Tarquino Torres, PhD¹, Jorge Yauyo Baltazar, Bachelor², and Daniela Perez Vargas, Bachelor³

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú, pcciftar@upc.edu.pe

²Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú, u201315587@upc.edu.pe, u201414210@upc.edu.pe

Summary: *In this article, we present a proposal for the physical redesign of an existing roundabout, with five interior lanes; to a new design called a turbo roundabout; widely tested in European cities. The result of the proposal will demonstrate mathematically, the optimization in the operation and the level of security of the infrastructure; through the microscopic simulation of the traffic developed in the facilities of the University carried out in the Vissim 9 software. To achieve this rethinking, the Roundabout Manual: application and design was used. The methodology used in this research was developed in this Manual, of European origin; which proposes: a) collection of vehicular traffic information in the study area, b) processing of the data obtained to carry out the geometric design of the roundabout, and c) comparison between service levels (LOS) and efficiency measures (MOE) of roundabouts in current situation versus proposal. The compared results were: a) the distances traveled by vehicles crossing the turbo roundabout, on average 38.79 meters / vehicles were reduced compared to the multi-lane roundabout; b) travel times, on average, were also reduced by 83.26 seconds / vehicle; and c) as a result, an improvement in LOS from F to C was obtained.*

Keywords-- *Turbo roundabouts; road safety; capacity; traffic accident; vehicular congestion; rail separators; points of conflict.*

I. INTRODUCTION (HEADING 1)

Durante las últimas décadas, los accidentes de tránsito (AT) han sido una de las 10 causas de defunción en todo el mundo. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2015), este ha causado 1.3 millones de muertes a consecuencia de los AT durante el año 2015. De las cuales la razón más recurrente de dichos accidentes se debe a la congestión vehicular.

Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), Lima es una de las ciudades con mayor tasa de accidentes de tránsito en el Perú [1]. Debido a que presentó un informe donde listó los principales distritos que presentaron mayor incidencia de AT, lo cual las denominó puntos negros. En ese contexto, actualmente la glorieta también conocida como rotonda, ubicada en la avenida Javier Prado Este, pertenece a dicho listado.

Cabe mencionar, que el tipo de accidente más frecuente en esta zona, son las colisiones (accidente que se produce entre dos vehículos en movimiento) con 73 AT. Además, las causas asociadas en gran medida son el diseño geométrico de la intersección, la invasión del carril, maniobras no permitidas y el exceso de velocidad con 80 AT.

En resumen, la urgente necesidad de resolver el problema de la seguridad vial en la ciudad de Lima ha obligado a plantear soluciones a corto plazo e inadecuadas, como es el caso de la rotonda Monitor ubicada en el distrito de Santiago de Surco, su ineficiente diseño se debe al incumplimiento de normativas como los manuales de carreteras utilizadas para el diseño en su construcción: Diseño Geométrico 2001 [2] y el Manual Roundabouts - Application and Design [3], aplicados en los parámetros del diseño geométrico de rotondas y turbo rotondas respectivamente. La omisión del manual en su construcción lleva consigo consecuencias graves que aquejan a la sociedad como es el aumento de la inseguridad vial y la congestión vehicular en la zona.

Por otro lado, en un estudio realizado por Pitlova Eva sobre la comparación de las rotondas de un solo carril vs. La turbo rotondas propuesta, se tiene como resultados que los tiempos de espera promedio disminuyen significativamente en un 70% al 90% en comparación con los tiempos de espera de la Rotonda [4].

Así mismo, en otro estudio realizado por Dabbour concluye que las turbo-rotondas representan una solución adecuada en materia de seguridad debido a una reducción consistente de puntos de conflicto y en términos de capacidad una Turbo Rotonda presenta mayores beneficios [5].

II. ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN DE LA ROTONDA

La definición sobre una glorieta o rotonda según Gallardo (2005) es toda aquella intersección dotada de un isla central y rodeada por una calzada circular con sentido de circulación anti-horario en donde se interseca con varias calles o avenidas [6].

A. Recolección de información de la rotonda

Se realizó el levantamiento topográfico de la rotonda, donde se obtuvo como resultado las dimensiones geométricas de la glorieta y posteriormente se hizo un conteo de flujo vehicular.

En este sentido, la rotonda tiene un diámetro de 74 metros y posee 5 carriles de circulación en el anillo con 2.8 metros de ancho por cada carril. La configuración de su entrada está conformada por 4 ramales de acceso, donde el acceso norte y este contienen 3 carriles de acceso, el sur 4 carriles (de los cuales 2 son en sentido contrario al flujo vehicular), y el oeste 4 carriles (posee una vía auxiliar con 2 carriles de salida).

Para una mayor eficiencia, el conteo se realizó para cada acceso y giro realizado por los vehículos dentro de la rotonda. Asimismo, se dividió en cuadrantes y se enumeró los posibles movimientos realizados. Los resultados obtenidos del aforo se presentan en la Tabla I, donde se obtuvo la hora pico entre las 7:15 am y 8:15 am, contando con un total de 2958 vehículos que pasan por el primer cuadrante, 855 en el segundo cuadrante, 2638 en el tercer cuadrante y 4446 vehículos en el cuarto cuadrante. La configuración de la enumeración de los giros realizados se presenta en la figura 1, a su vez se diagrama la distribución de cada cuadrante, I (A,1,2,4,3); II (C, 6 ,5); III (D, 7, 8, 9); IV (E, 10, B). Finalmente, se obtiene el volumen horario de máxima demanda (VHMD) para toda la rotonda.

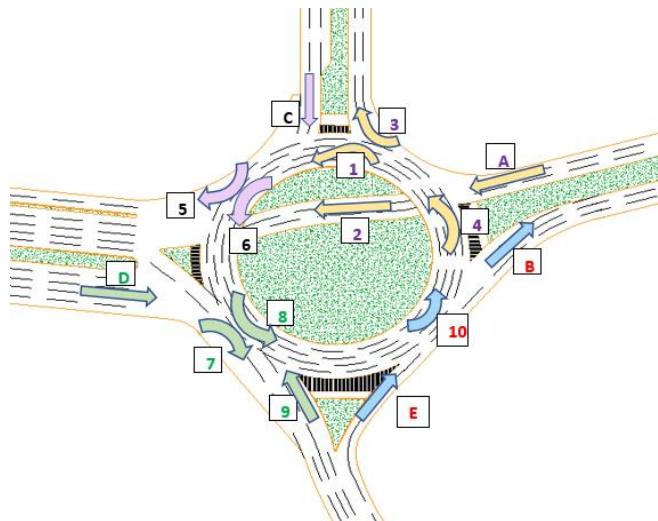


Fig. 1. Giros presentes en la rotonda, y distribución de cuadrantes (I,II,II y IV)

TABLA I. CALCULO DEL VHMD

VHMD	
I Cuadrante	2958
II Cuadrante	855
III Cuadrante	2638
IV Cuadrante	4446
Rotonda	10897

Para determinar la capacidad de la rotonda multicarril, se utilizó la fórmula de Wardrop, donde interviene la geometría de las entradas y de la sección de entrecruzamiento (ecuación 1). La figura 2 presenta los parámetros que requiere la fórmula (2).

$$e = \frac{(e1 + e2)}{2} \quad (1)$$

$$Qp = \frac{(160 \times W \times (\frac{1+e}{W}))}{(1 + \frac{L}{L})} \quad (2)$$

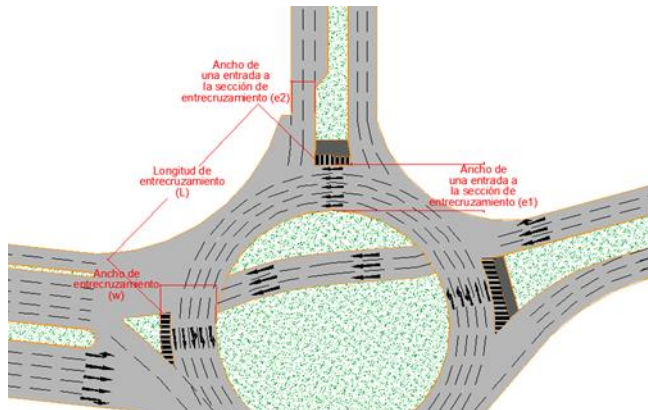


Fig. 2. Fórmula de Wardrop: Capacidad de entrecruzamiento de la rotonda

En la rotonda actual se calculó el nivel de servicio de acuerdo a la capacidad de cada ramal, esto se logra al obtener el valor de la demora determinada por la ecuación 3, donde se observa una comodidad baja para los usuarios y a su vez la congestión que presentan las vías [7]. La Tabla II muestra la clasificación del nivel de servicio con respecto a cada demora, donde F representa caos vehicular y A como un flujo libre de tráfico.

$$d = \frac{3600}{C} + 900 \times H \times \left(\frac{1}{C} - 1 + \sqrt{\left(\frac{1}{C} - 1\right)^2 + \frac{3600 \times I}{450 \times H}} \right) + 5 \quad (3)$$

TABLA II. NIVEL DE SERVICIO POR ACCESO

DATOS	ACCESO			
	SUR	NORTE	OESTE	ESTE
C	1418	1543	2200	1539
H	0.25	0.25	0.25	0.25
I	8746	1710	5703	9626
D	36	26	38	40
Nivel de Servicio	E	D	D	F

III. DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA TURBO ROTONDA

Para el diseño geométrico, se propuso la turbo rotonda tipo rotor según el manual *Roundabouts - Application and Design* de los Países Bajos [3], debido a su capacidad teórica de 4,500 pcu/h, los volúmenes obtenidos en la hora punta de la situación actual fueron de alrededor de 4,159 pcu/h. Las características geométricas de la turbo rotor, presenta tres carriles de entrada y dos carriles de salida; sin embargo, en nuestro caso se optó por la inclusión de un carril adicional al ramal de salida por lo que presenta tres carriles. Se utilizó el software AutoCAD para el

trazado del diseño geométrico de la propuesta planteada. La figura 3 presenta el diseño del bloque turbo rotor, para el caso de estudio. De la misma manera, la figura 4 muestra la sección transversal de la isla central de radio de 25 m, ancho de carril circulante de 5.0 m y separadores de carril de 0.30m.

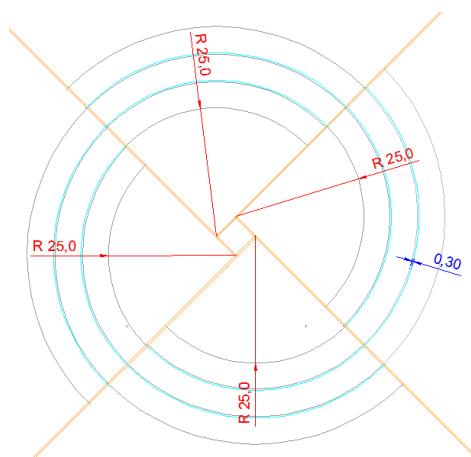


Fig. 3. Diseño del bloque turbo rotor



Fig. 4. Sección transversal del bloque turbo rotor

En ese contexto, la geometría de una rotonda depende del diseño del vehículo seleccionado. Debido a que la ubicación de la rotonda se encuentra en una zona urbana circulan mayormente vehículos livianos, con poca presencia de vehículos pesados, se seleccionaron los vehículos de diseño tipo B2 y VL planteados por el MTC, con una longitud total de 13.20 m, separación entre ejes de 8.25m y radio mínimo de giro de 12.8 m para el tipo B2 y 7.30 m de radio de giro para el tipo VL. La figura 5 presenta los radios de giro mínimos considerados para el diseño de la turbo rotonda.

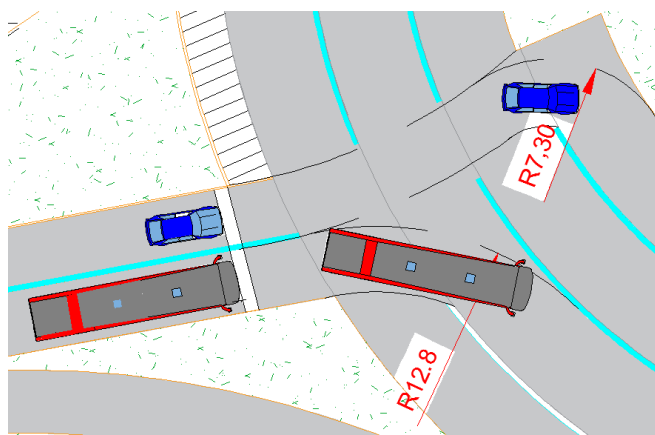


Fig. 5. Radios de giro dentro de la turbo rotonda

La Tabla III muestra las medidas de los ramales de accesos de la glorieta, se optó por eliminar un carril para los accesos que contienen menor volumen vehicular y a su vez eliminar el carril en contra que se encontraba en el acceso sur.

TABLA III. DIMENSIONES DE LOS CARRILES DE ENTRADA Y SALIDA

Vía	Acceso	Salida	N° de Carriles		Ancho de carril de cada acceso (m)
			Acceso (m)	Salida (m)	
Av. Javier Prado Este	Norte	Oeste	3	5	3.6
Av. Javier Prado Este	Sur	Este	3	5	
Av. Las Palmeras	Este	Sur	3	5	
Av. Las Palmeras	Oeste	Norte	3	5	
Av. Club Golf Los Incas	Norte	Oeste	3	5	

Asimismo, se calculó la distancia visual de parada con la ecuación 4, la cual se midió en la calzada de entrada y circulatoria, donde se obtuvo como resultado una distancia de 40.4 metros según la velocidad de diseño calculada. La distancia visual de parada representa el espacio que tendrá el conductor para percibir y reaccionar a un objeto en la calzada y para frenar a una parada completa antes de llegar al objeto en cuestión [8]. Para ello, es necesario conocer las velocidades en la entrada y la velocidad circulatoria máxima de la rotonda las cuales son 50 km/h y 42 km/h respectivamente. La figura 6 muestra la distancia visual de parada calculada.

$$d = 0.278 \times 2.5 \times 50 + 0.039 \times \frac{50^2}{3.4} \quad (4)$$

$$d = 63.4 \text{ m}$$

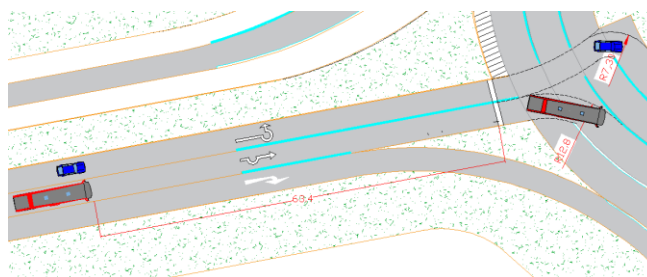


Fig. 6. Distancia visual de parada en la turbo rotonda

De la misma forma la figura 7 representa gráficamente las medidas de las distancias de parada en la calzada circulatoria para cada tipo de vehículo, donde los vehículos tipo VL y B2 presentaron velocidades de 42 y 39 km/h respectivamente.

- Para autos (VL)

$$d = 0.278 \times 2.5 \times 42 + 0.039 \times \frac{42^2}{3.4} = 49.4 \text{ m} \quad (5)$$

- Para buses (B2)

$$d = 0.278 \times 2.5 \times 39 + 0.039 \times \frac{39^2}{3.4} = 44.6 \text{ m} \quad (6)$$

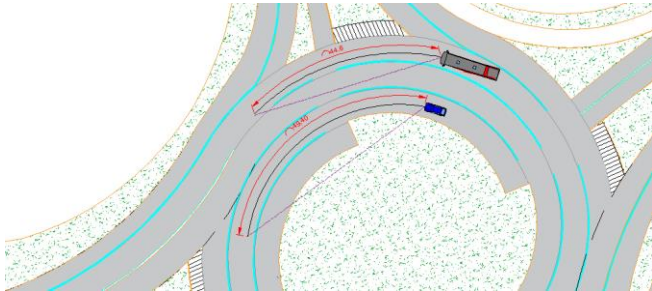


Fig. 7. Distancia visual de parada en la calzada circulatoria de la turbo rotonda para cada vehículo de diseño

Posteriormente con las modificaciones realizadas se pasó a colocar áreas verdes en las calzadas donde se redujeron los carriles para que la intersección sea más amigable con el medio que la rodea y la turbo rotonda presente un diseño más paisajístico. La figura 8, representa el diseño de la turbo rotonda con las medidas propuestas de los carriles, separadores y diámetro de la isla para la turbo rotonda tipo rotor.

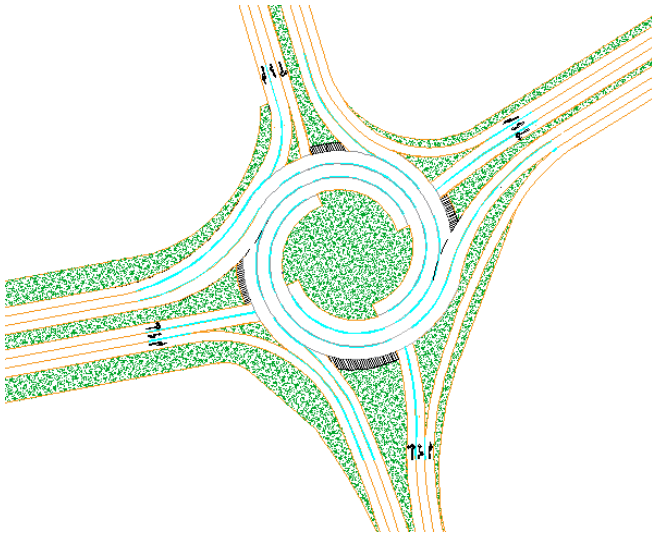


Fig. 8. Geometría propuesta: Turbo rotonda tipo Rotor

Por otro lado, la correcta operatividad de la turbo rotonda exige una señalización, visible y de fácil entendimiento, debido a que a la característica geométrica de forma espiral no permite al usuario el cambio de carriles durante el recorrido por la calzada circulatoria. [9] Debido a esto, es necesario que los conductores elijan el carril correcto antes de entrar a la rotonda. Es por ello que la señalética debe ser informativa, para brindar suficiente tiempo al conductor de elegir el carril requerido. La

configuración de las flechas para la señalización vertical debe poseer la misma configuración que se usa en el pavimento. [10] Por lo cual, se propone para la turbo rotonda, flechas direccionales tipo curvo que serán plasmadas en el pavimento y en las señales verticales que direccionen el recorrido, esto se realizó debido a la necesidad de mejorar la señalización para rotondas en el país, propuestas en el Manual de dispositivos de control de tránsito [11].

Para terminar con el diseño, se prosiguió a colocar la señalización vertical y horizontal correspondiente. La figura 9, representa la turbo rotonda con la señalización horizontal y vertical correspondiente para un mejor uso de la glorieta y la seguridad de esta. Además, se plantea colocar señalización vertical cada 500m, 300m y 200m antes de llegar a la rotonda, para que los usuarios reconozcan la rotonda y no presenten inconvenientes al momento de transitar por la turbo rotonda.

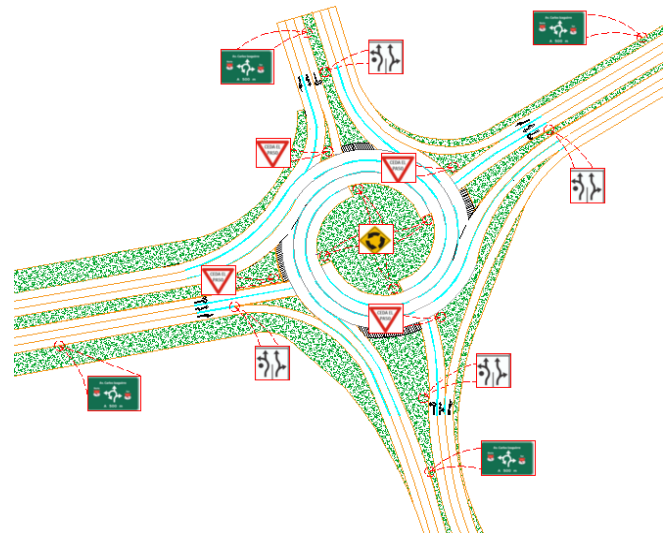


Fig. 9. Señalización horizontal y vertical de la situación propuesta

IV. MICROSIMULACIONES

A. Microsimulación de la rotonda multicarril:

Se inicia realizando la geometría de la rotonda con las distancias obtenidas del levantamiento topográfico. Posteriormente, se añadió el volumen de autos para cada acceso en la hora de máxima demanda, estos volúmenes se obtuvieron previamente del aforo vehicular. Después, se conocen los puntos de conflicto, donde el Software Vissim lo puede definir automáticamente y luego fue necesario asignar los carriles que tienen preferencia dentro de estos puntos de conflicto. Para este caso, los carriles que tienen preferencia son los que circulan dentro de la isla de la rotonda.

Para el diseño de una rotonda no se toma en cuenta la semaforización, ya que esta no cuenta con semáforos. Sin embargo, para que la simulación sea lo más parecida a la realidad se midieron los tiempos en los que los policías de tránsito paran el flujo vehicular en algunos accesos y al mismo tiempo dan paso en otros accesos. De esta manera, se añadió

ciclos semafóricos a la rotonda en reemplazo de los policías de tránsito que operan en la rotonda. Como se observa en la figura 10, se tiene luz verde para los vehículos que transitan en la isla de la rotonda y luz roja para los vehículos que se encuentran en el acceso de la Av. Javier Prado de oeste a este.



Fig. 10. Simulación en vista 3D

Para conocer los parámetros de eficiencia en tiempos de viaje, es necesario colocar puntos de control para cada ruta (origen y destino), de esta manera se calculó los tiempos de viaje mínimo, promedio y máximo que se tardan en recorrer los autos para cada ruta respectiva. La figura 11 representa gráficamente los contadores colocados para el modelamiento.



Fig. 11. Definición de contadores de colas en los ramales de la rotonda

Finalmente, se corrió el modelo con todos los datos ingresados al Vissim, este procedimiento fue realizado varias veces para tener resultados óptimos del modelamiento

B. Microsimulación de la Turbo rotonda tipo rotor

Para comenzar a realizar la simulación es necesario tener los datos del diseño geométrico ya calculados en el capítulo anterior.

En el diseño de la Turbo Rotonda las señalizaciones cumplirán un importante rol ya que van a dirigir de manera adecuada el destino de los conductores. Estos también fueron definidos para cada ramal en la simulación del Vissim. Posteriormente, se añadió los flujos para cada acceso los cuales serán los mismos flujos usados para la simulación de la rotonda. También, fue necesario definir las áreas de conflicto, donde se tendrá preferencia a los autos que circulan dentro de la isla de la rotonda. En la figura 13 se observa que los carriles en conflicto con preferencia están pintados de verde, mientras que las que no tienen preferencia están pintadas de rojo.



Fig. 13. Definición de áreas de conflicto dentro de la Turbo Rotonda

Para poder obtener resultados de la eficiencia que presenta la Turbo Rotonda en su tiempo de viaje, fue necesario colocar puntos de control en los extremos de cada carril ya que cada uno de ellos presentará distintos destinos. Por ejemplo, en la figura 14 se ha definido un viaje con origen en Av. Javier Prado Este y destino Av. Las Palmeras.



Fig. 14. Definición de contadores y tiempos de viaje para cada acceso de la Turbo Rotonda

Posteriormente para obtener una mejor calibración de programa, se tomó en consideración los parámetros de Wiedemann⁷⁴ para realizar la simulación en Vissim 9, ya que los conductores de los buses locales que transitan por la rotonda tienen un comportamiento diferente al de los conductores de autos [12]. Cabe mencionar que en su mayoría el tipo de vehículo que transitan en la rotonda son autos con un 80.5% y buses locales se tiene 13.6%. Los siguientes parámetros que se tomaron en consideración para el modelo son:

- Distancia de detención promedio (ax): Define la distancia promedio entre dos vehículos. para los buses locales la distancia que se ha tomado en consideración es de 0.4m.
- Parte aditiva de la distancia de seguridad (bx add): Valor usado para el cálculo de la distancia de seguridad deseada d , el valor que se tomó en cuenta para la simulación fue de 2.00

- Parte multiplicativa de la distancia de seguridad (bx mult): valor usado para el cálculo de la distancia de seguridad deseada d. Para la simulación el valor fue de 3.00

Por último, se corrió el modelo con todos los datos ingresados al Vissim, este procedimiento debe ser realizado varias veces para tener resultados óptimos del modelamiento.

Para validar los resultados obtenidos por el software Vissim, se analizó el comportamiento de los indicadores de operación, para obtener el nivel de servicio y realizar una comparación de los resultados entre la rotonda y la turbo rotonda. Se usó la fórmula empírica de Geoffrey E. Havers (GEH). Donde sí GEH es inferior a 10 se le considera una adecuación buena entre el modelado y los volúmenes/hora observados que sirven para justificar una investigación [13].

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \quad (7)$$

$$GEH = \sqrt{\frac{2(78.8-177.55)^2}{78.8+177.55}} = 8.72$$

Según el resultado, se considera una buena correspondencia entre los valores observados y modelados de la investigación presente.

V. RESULTADOS:

En la etapa de diseño, para la turbo rotonda propuesta se eliminaron dos carriles para los accesos este y oeste y se aumentó el ancho de carril de 3 metros a 3.6 metros. Los que permitirá una mejor transitabilidad vehicular para los usuarios. Asimismo, al reducir la cantidad de carriles, los espacios ganados se utilizaron para mejorar la visibilidad del entorno plantando áreas verdes en las bermas laterales de cada acceso, mejorando su diseño paisajístico.

Para obtener los resultados del análisis comparativo en la etapa de operación se identificó y analizó cada ruta y giro permitido dentro de la turbo rotonda los cuales están representado en la Tabla IV y figura 15.

TABLA IV. CODIFICACIÓN DE RUTAS

ORIGEN – DESTINO	
K	Av. Javier Prado (Surco) - Av. Javier Prado (Molina)
H	Av. Javier Prado (Molina) - Av. Javier Prado (Surco)
G	Av. Javier Prado Este- Av. Las Palmeras
B	Av. Las Palmeras - Av. Club Golf Los Incas
I	Av. Javier Prado Este - Av. Club Golf Los Incas
A	Av. Las Palmeras - Av. Javier Prado Este Oeste
C	Av. Las Palmeras - Av. Javier Prado Este (Molina)
F	Av. Club Golf Los Incas - Av. Javier Prado Este

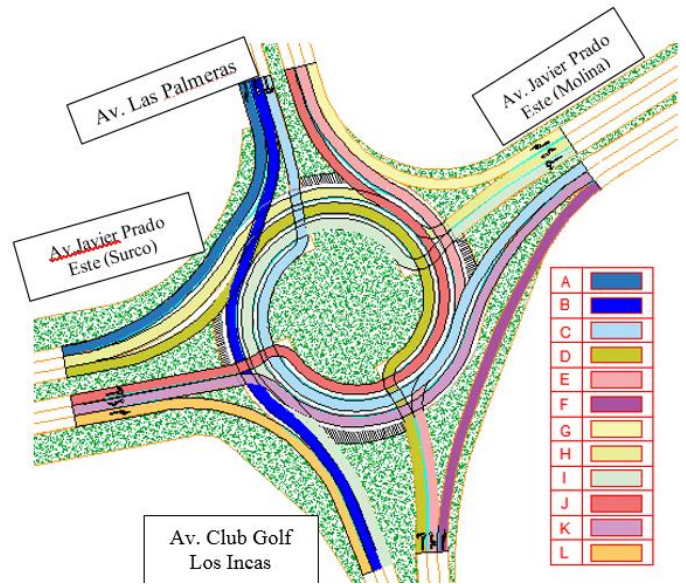


Fig. 15. Codificación de las rutas planteadas (cada color planteado representa una ruta de la Turbo Rotonda)

De esta comparación mencionada, se evidencia una disminución considerable de los tiempos de viaje (Δt) y distancia recorrida (Δm) para los vehículos analizados en la rotonda y turbo rotonda, lo que garantiza la optimización de la operación en la turbo rotonda. Sin embargo, ocurre solo un aumento de tiempo en el sentido de Javier Prado (Molina) – Javier Prado (Surco) que representamos como la ruta H y también un único aumento de distancia de viaje de 20m de la Av. Club Golf Los Incas con destino a la Av. Javier Prado, la cual esta representada como la ruta F. Todos estos datos detallados para cada ruta de la turbo rotonda se pueden observar en la Tabla V.

TABLA V. COMPARACIÓN DE TIEMPO DE VIAJE DE LA ROTONDA VS. TURBO ROTONDA

Origen-Destino	VEH	Rotonda Tiempo de Viaje (s)	Turbo Rotonda Tiempo de Viaje (s)	Δt	Rotonda Distancia de Viaje (m)	Turbo Rotonda Distancia de Viaje (m)	Δm
K	114	202.66	86.63	116.03	395.16	362.70	32.46
H	40	78.80	213.66	-134.86	363.17	338.13	25.04
G	230	52.70	29.20	23.50	232.05	190.11	41.94
B	38	212.66	68.38	144.28	270.20	260.14	10.06
I	206	180.16	37.78	142.38	380.13	256.78	123.4
A	68	152.00	30.49	121.51	245.81	224.86	20.95
C	33	250.79	80.61	170.18	414.95	338.28	76.67
F	85	118.58	35.31	83.27	237.89	258.02	-20.0
Prom.		156.04	72.78		317.42	278.63	

En la etapa de seguridad, se reducen los puntos de conflicto en la intersección gracias al diseño que presenta la turbo rotonda, lo que significa que disminuye la probabilidad de que ocurra un accidente por choque entre vehículos. Asimismo, en la Tabla VI se observa un resumen general de la red, donde se hace una comparación Rotonda vs Turbo de tiempo o demoras promedios, velocidades promedias y distancias recorridas promedios de manera general en toda la red modelada con el Vissim. Esto nos brinda una visión general de operación de ambas modelaciones realizadas.

TABLA VI. EVALUACIÓN GENERAL DEL DESEMPEÑO PROMEDIO DE LA ROTONDA VS. TURBO ROTONDA

Rotonda	Turbo Rotonda	Rotonda	Turbo Rotonda	Rotonda	Turbo Rotonda
Demora Promedio	Demora Promedio	Velocidad Promedio	Velocidad Promedio	Distancia Total	Distancia Total
109.02 s	20.53 s	7.20 km/h	17.30 km/h	284.94 km	197.23 km

TABLA VII NIVELES DE SERVICIO (LOS) SEGÚN DEMORA

NIVEL DE SERVICIO	DEMORA
A	0 – 10
B	> 10 – 15
C	>15 – 25
D	>25 – 35
E	>35 – 60
F	>60

Finalmente, de acuerdo con los resultados presentados en la Tabla VI, se identificó en la rotonda (situación actual) una demora de 109.02 segundos/veh, por lo que, al presentar este valor, el nivel de servicio que ofrece la intersección es de tipo F según la Tabla VII que clasifica el nivel de servicio en función

de su demora media [14]. Mientras que en la turbo rotonda (situación propuesta) se observa que la demora se reduce a 20.53 segundos, lo que equivale a un nivel de servicio tipo C, lo cual representa un flujo estable a comparación de la rotonda actual.

VI. CONCLUSIONES:

Se realizaron cambios geométricos en los accesos de entrada de la rotonda, disminuyendo y aumentando los números de carriles con un ancho constante de 3.6 metros para cada ramal. Asimismo, se planteó el radio espiral de 25 metros con 4 carriles internos de 5 metros por cada carril interior que posee la glorieta.

Se redujeron los tiempos de viajes promedios de 156.04 segundos a 72.78 segundos y las distancias recorridas promedios de 317.42 metros a 278.63 metros para los vehículos analizados, lo que garantiza una optimización en la operación de la turbo rotonda.

Se observa un nivel de servicio F en la rotonda actual, mientras que en el diseño propuesto el nivel de servicio mejora a C, por lo que se evidencia la mejora de la seguridad y eficiencia de la rotonda.

Basándose en los resultados de la investigación la propuesta planteada excluye cualquier tipo de semaforización, debido a que al variar su geometría e implementar señalizaciones verticales y horizontales correspondientes, se mejora la eficiencia del desplazamiento de los flujos de la turbo rotonda.

La presente investigación muestra que la turbo rotonda puede ser una solución sostenible, debido a que al realizar un replanteo físico geométrico se incrementó y varió las dimensiones de la intersección, obteniendo como resultado que las áreas verdes aumentaron de 6004.3 metros cuadrados a 10420.215 metros cuadrados, siendo la turbo rotonda amigable con el medio ambiente.

VII. REFERENCIAS:

- [1] Peru-Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2015): Consejo Nacional de Seguridad Vial. Proyecto de identificación y priorización de Puntos negros.
- [2] Peru-Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). Manual de Carreteras Diseño Geométrico.
- [3] Ministry of Transport, Public Works and Water management Partners for Roads. (2009). Roundabouts - Application and Design. Netherlands: Royal Haskoning DVH.
- [4] Pitlova E, & Kocianova A. (2017). Case study: capacity characteristics comparison of single-lane roundabout and turbo-roundabouts. Procedia Engineering (192) 701 – 706, (38).
- [5] Essam D, Marwa A, Mina, Malak M, & Murtuza Haider. (2018). Evaluating safety effectiveness of roundabouts in Abu Dhabi. IATSS Research 274–283, (42). Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0386111217301516> [Consulta: 28 de marzo de 2019].

- [6] Vera, D. (2014). Estudio y mejora de la fluidez del tránsito mediante el diseño de una rotonda en la intersección Los Robles – Los Laureles, Valdivia (tesis de título). Universidad Austral de Chile.
- [7] THE HIGHWAYS AGENCY 2007 Design Manual for Roads and Bridges. Volume 6, Section 2 Part 3: Geometric Design of Roundabout. London: Stationery Office Books.
- [8] NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM 2010 NCHRP REPORT 672: Roundabouts: An Informational Guide. Second Edition Washington D.C.: Transportation Research Board.
- [9] Federal Highway Administration. (2019). Turbo Roundabouts. Information. FHWA Safety Program, Publication No. FHWA-SA-20-019, Washington, D.C.
- [10] Federal Highway Administration. (2019). ROUNDABOUTS: An Informational Guide. Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-RD-00-067, Washington, D.C.
- [11] Peru-Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras.
- [12] Wiedemann, R., Reiter, U., 1992. Microscopic traffic simulation: the simulation system MISSION, background and actual state. Proj. ICARUS Final Report. Brussels, CEC 2.
- [13] Ñañez, P., y Quijano, N., Forraje Social en Control de Tráfico Urbano. Revista Oficial de ITS Colombia Andina Traffic, No.4, pp 55 - 60, Santafé de Bogotá, Colombia, 2008.
- [14] Transportation Research Board. (2010). Highway Capacity Manual. Washington, DC., USA:TRB