

# Análisis Geométrico De La Rotonda Del Monumento A La Paz En La Ciudad De Huaquillas

## Geometric Analysis Of The Roundabout Of The Peace Monument In The City Of Huaquillas

### Autores

**Billy Henry Paladines Calderon<sup>1</sup>, Erwin Javier Oyola Estrada<sup>2</sup>, Leyden Oswaldo Carrión Romero<sup>3</sup>, Elsi América Romero Valdiviezo<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador  
e-mail: [bpaladine2@utmachala.edu.ec](mailto:bpaladine2@utmachala.edu.ec)

<sup>2</sup> Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador  
e-mail: [eoyola@utmachala.edu.ec](mailto:eoyola@utmachala.edu.ec)

<sup>3</sup> Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador  
e-mail: [locarrion@utmachala.edu.ec](mailto:locarrion@utmachala.edu.ec)

<sup>4</sup> Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador  
e-mail: [eromero@utmachala.edu.ec](mailto:eromero@utmachala.edu.ec)

### RESUMEN

*Se pretende determinar una nueva geometría para la intersección, que permita garantizar la seguridad y fluidez del tráfico, con base en el manual de la Federal Highway Administration (FHWA) y siguiendo la premisa de evitar invadir con la nueva proyección los predios adyacentes a la vía secundaria que conecta con la rotonda. Se aborda la investigación partiendo de una simple observación al circular dentro de la rotonda y notar que el trayecto es desordenado. Se opta por realizar un levantamiento topográfico para conocer la geometría existente, para ello se utilizó el método fotogramétrico con imágenes aéreas obtenidas con un dron cuadricóptero. Fue necesario un aforo vehicular para determinar la relación de demanda – capacidad de la intersección, este se ejecutó en un lapso de siete días. Posteriormente, con software de análisis de tráfico, se comprobó dicho porcentaje; y con un programa de diseño CAD se realizó una verificación para validar la nueva geometría planteada. Se encontró que las isletas deflectoras de la calle principal no poseen los radios de giro adecuados al tamaño de la isleta central, con alrededor de 20 metros en los accesos, y no dirigen el tráfico de manera suave hacia el anillo de circulación de dos carriles. Por su parte, las isletas deflectoras de la calle secundaria no respetan el ancho del anillo de circulación y se vuelven un obstáculo para los vehículos que ya ingresaron a la rotonda. Además, provocan que los vehículos del carril exterior invadan el carril interior.*

**Palabras claves:** *glorieta, rotonda, trazado, tráfico, isletas.*

### ABSTRACT

It is intended to determine a new geometry for the intersection, which allows to guarantee the safety and fluidity of traffic, based on the Federal Highway Administration (FHWA) manual and following the premise of avoiding invading the properties adjacent to the road with the new projection. secondary that connects with the roundabout. The investigation is approached starting from a simple observation when driving inside the roundabout and noticing that the route is messy. It is decided to carry out a topographic survey to know the existing geometry, for this the photogrammetric method was used with aerial images obtained with a quadcopter drone. A vehicle capacity was necessary to determine the relation of demand - capacity of the intersection, this was executed in a period of seven days. Subsequently, with traffic analysis software, said percentage was verified; and with a CAD design program a verification was carried out to validate the new geometry proposed. It was found that the deflection islands of the main street do not have adequate turning radii for the size of the central island, with around 20 meters at the accesses, and do not direct traffic smoothly towards the two-lane traffic ring. For their part, the deflection islands of the secondary street do not respect the width of the traffic ring and become an obstacle for vehicles that have already entered the roundabout. In addition, they cause vehicles from the outside lane to invade the inside lane.

**Keywords:** roundabout, layout, traffic, islets.

Nota Editorial: Recibido: Noviembre 2022 Aceptado: Diciembre 2022

# 1. INTRODUCCIÓN

La importancia de una red vial en buen estado justifica que las normativas atiendan con vehemencia la creación y cuidado de estas infraestructuras. Recuérdese que el rol de una red vial tiene gran significancia para el desarrollo socioeconómico de las zonas urbanas y rurales [1], paradójicamente, es también responsable de externalidades negativas en ese aspecto cuando las condiciones de la infraestructura no son las adecuadas [2]. En los últimos años, en Ecuador, se han desarrollado nuevos proyectos viales que, acorde al crecimiento poblacional, han mejorado el transporte terrestre y lo han ido adecuando a las nuevas necesidades de volumen y comodidad.

Con el crecimiento de las ciudades se presentan nuevos retos, de los cuales, unos de los de más importantes y complejos son los de control de tráfico, no por nada las administraciones se preocupan cada vez más por optimizar este apartado [3]. Las ciudades más grandes presentan los retos más complejos, puesto que su demografía y geografía genera situaciones de estrechez y poca libertad de expansión territorial [4]. Este problema se acentúa en la región montañosa. Por su parte, la región costera, aún sin las complicaciones del relieve, presentan sus propias complejidades.

Los nuevos proyectos apuntan a infraestructura y sistemas de transporte modernos, que permitan tener modelos eficientes y que, a su vez, igualen las oportunidades de accesibilidad en el territorio [5]. Recientemente se han notado esfuerzos para plantear soluciones que integren las tecnologías más recientes de los vehículos (sensores de velocidad, lluvia, GPS, entre otros) y complementarlo dentro de Sistemas Inteligentes de Transporte, llamados ITS [6]. Dentro de estos sistemas se apunta a la adopción de Redes Vehiculares *Ad hoc* (VANET's) que permiten un funcionamiento colectivo de los vehículos e infraestructura vial, y que se pueden orientar a la optimización del consumo de energía, monitoreo del tráfico, detección y control de congestiones [6, 7].

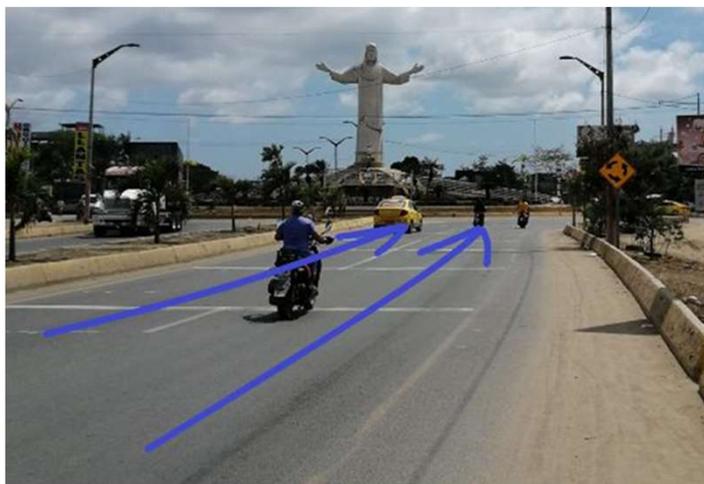
Cabe recalcar que la seguridad vial es un tema que no debe descuidarse, las normativas internacionales exigen vehículos más seguros en los países desarrollados [8], algo que lamentablemente está demorando en aplicarse en países latinoamericanos. El éxito de ese aspecto va de la mano de la infraestructura vial y de la calidad de los vehículos que circulan en ella [9]. La infraestructura debe proyectarse de manera cuidadosa, con especial atención en la estimación del flujo de tráfico [10] y en la señalización [11]. Por ello es que los estudios de vialidad buscan métodos más sofisticados para evaluar el tráfico y, por consiguiente, llegar a resultados que contribuyan al mejoramiento de la seguridad vial [12].

En la intersección objeto de este proyecto, se implementó una glorieta para conducir el tráfico de la Av. La República y la Av. Martha Bucaram, ver figura 1. Además, dicho proyecto se pensó como un símbolo de atractivo turístico, dando homenaje a los históricos acuerdos logrados con el país vecino, Perú, y tomando el nombre de "Monumento a la Paz". En conjunto, la vía principal se amplió a cuatro carriles en total y se pavimentó la vía secundaria de dos carriles.



**Figura 1:** Vista aérea de la intersección Av. La República y Av. Martha Bucaram, Huaquillas. 2003 (izquierda) y 2020 (derecha).

El proyecto fue inaugurado en octubre de 2010 y supuso un avance en la infraestructura vial, mejoró el ingreso a la ciudad desde el norte del país y significó un buen aporte a la estética, consolidando un símbolo característico de la ciudad fronteriza. Sin embargo, con el aumento del tráfico, se acentúa la problemática objeto de este trabajo; y es que la geometría de la isleta deflectorora no logra conducir el tráfico de forma fluida al ingreso y salida de la rotonda. El circular a través de la rotonda se vuelve tedioso, ver figuras 2 y 3, debido a que para entrar a ella se debe hacer un giro muy brusco, la trayectoria de los ingresos en la Av. La República dirige a los vehículos de frente hacia el redondel, convirtiéndolo básicamente en un obstáculo.



**Figura 2:** Trayectoria de ingreso a la rotonda por la vía principal



**Figura 3:** Ancho de circulación afectado por isletas secundarias

## 2. DESARROLLO

El área urbana de Huaquillas ha mejorado significativamente en los últimos años. Conjuntamente, los retos en materia de circulación vial se han remarcado. Por ello, es importante concebir obras que estén pensadas a futuro, de forma que no se conviertan en un inconveniente dentro de su plazo de vida útil.

La modificación de la geometría de la intersección busca solucionar la problemática partiendo de varias premisas, el mantener la geometría de la isleta central que contiene este importante símbolo de la ciudad y el evitar invadir los predios que se encuentran en la vía secundaria. Esto para no generar un impacto negativo en las familias que habitan cerca de la intersección y para conservar intacto el símbolo de paz de la ciudad.

Con ello, las isletas deflectoras son las que recibirán las modificaciones, respetando los radios de ingreso y salida a la rotonda que especifica el manual de la FHWA 2010 y los manuales de diseño de carreteras de los países vecinos.

El proceso de diseño de la alternativa de solución comprende una etapa de levantamiento de información y otra de diseño, para este cometido se usó softwares específicos de fotogrametría, análisis de tráfico y diseño asistido por computadora (CAD).

## 2.1. Caracterización

La zona de estudio se encuentra en la principal vía de ingreso y salida de la ciudad, en la Av. La República y la Av. Martha Bucaram. Esta intersección recibe gran parte del tráfico que ingresa a la ciudad y conecta con el Hospital Básico de Huaquillas por su avenida secundaria, ver figura 4.



**Figura 4:** Zona de estudio.

La problemática se hace evidente al circular por la Av. La República, el ingreso a la rotonda es brusco, y las isletas deflectoras no cumplen la función que deberían, el tráfico se conduce directamente de frente hacia la rotonda. Partiendo de ello, se debe obtener la información específica para determinar la solución.

## 2.2. Aforo vehicular

Los aforos vehiculares suponen un tema de gran importancia en casi todas las aplicaciones referentes al tráfico [13]. Conocer la cantidad y tipología de los vehículos que circulan por una determinada vía y/o intersección es esencial en proyectos viales de diseño, intervención, monitoreo, gestión y mantenimiento, a tal punto de llegar a desarrollarse sistemas de transporte inteligente en los que se da solución al conteo vehicular mediante cámaras de video y algoritmos de detección [14].

Para el presente estudio se realizó un conteo manual mediante un aplicativo móvil que duró 5 días tomando en consideración las horas de mayor tráfico. En la zona de estudio se identificaron los horarios pico de inicio de jornada (7h00 – 8h00), mediodía (12h30 – 13h30) y término de jornada (17h30 – 18h30), ver figura 5.



**Figura 5:** Resumen esquemático de tráfico en la rotonda y relación uso capacidad (v/c)

## 2.3. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico de la intersección se llevó a cabo mediante fotogrametría y puntos de control tomados con GPS. Este método permite optimizar los tiempos de obtención de información en campo [15, 16]. Se utilizó un dron de tipo multirrotores debido a que la zona de estudio levantada comprende un área relativamente pequeña (2.25 hectáreas aproximadamente), el modelo específico es DJI Phantom 4 Pro v2.

El plan de vuelo y captura de información se realizó en un dispositivo móvil. Se tomaron un total de 21 fotografías a una altura media aproximada de 166 m, lo que proporcionó un solapamiento de más de 9 imágenes por sector en la zona de interés y una resolución de 4,12 cm/píxel.

La cantidad de imágenes se establece en base a la fidelidad del modelo que se quiera obtener [17], mientras mayor sea el número, mayor será la información recopilada y la reconstrucción del modelo será más fidedigna [18]. Se buscó obtener un alto grado de m para poder obtener medidas precisas sobre la ortofoto y el modelo digital de elevaciones.

Con la ortofoto georreferenciada se pueden realizar las mediciones respectivas para conocer las características de la estructura existente, ver figura 6, medir el diámetro de la isleta central, los anchos de carril, dimensiones de las isletas deflectoras, radios de ingreso y salida a la rotonda.

Los datos más relevantes son los radios de ingreso que lo establecen las isletas deflectoras, ver tabla 1.



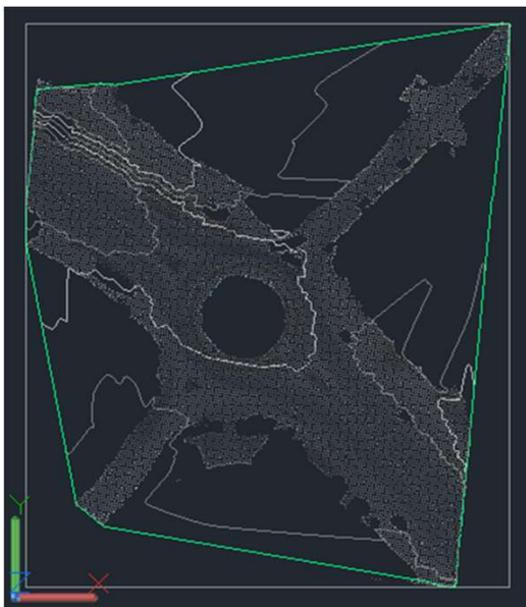
**Figura 6:** Estructura existente, radios de ingreso y dimensión de isleta central.

**Tabla 1:** Características geométricas de la rotonda y sus accesos.

Descripción	Dimensión (m)
Diámetro de isleta central	40.4
Radio de entrada (ramal SE)	20.0
Radio de salida (ramal SE)	23.9
Radio de entrada (ramal NO)	21.2
Radio de salida (ramal NO)	32.6

## 2.4. Modelo

Para tener el modelo en tres dimensiones dentro de Civil 3D se debe importar la nube de puntos que anteriormente se clasificó y depuró. Se crea una superficie basada en una red irregular de triángulos (TIN) a partir de la nube. El intervalo de las curvas de nivel debe ser el adecuado, acorde a las características del terreno, para visualizar los relieves existentes, ver figura 7.



**Figura 7:** Superficie, curvas de nivel

Se dibujan los alineamientos, en este caso corresponden a las vías Av. La República y Martha Bucaram, principal y secundaria, respectivamente. Los alineamientos corresponden a los ejes viales sobre los que se generará la intersección a diseñar. Se trazan coincidentes con el eje de las calles sobre la ortofoto de la zona de estudio, ver figura 8.



**Figura 8:** Trazado de ejes viales

Por consiguiente, se define la rotonda como objeto paramétrico dentro del software. Se debe ingresar el diámetro de la isleta central, el número de carriles y la designación de la superficie sobre la que se implanta el proyecto, ver tablas 2 y 3. El software intenta resolver la intersección de forma predeterminada con la normativa de diseño que se escoja, que en este caso es Federal Highway Administration (FHWA) 2010 referido a Rotondas Urbanas de dos carriles. Todas las consideraciones de diseño se refieren a esta normativa y se verifica la coincidencia con normas suramericanas.

**Tabla 2:** Dimensiones de ramales correspondientes a la Av. la República.

<b>Av. La República ramales SE y NO</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Dimensión en metros</b>
<b>Carriles</b>	4
<b>Ancho de carriles</b>	3.65
<b>Espaldón exterior</b>	2.45
<b>Espaldón interior</b>	1
<b>Ancho de parterre</b>	2.7

**Tabla 3:** Dimensiones de ramales correspondientes a la Av. Martha Bucaram.

<b>Av. Martha Bucaram ramales SO y NE</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Dimensión en metros</b>
<b>Carriles</b>	2
<b>Ancho de carriles</b>	3.65
<b>Espaldones</b>	1.35

## 2.5. Isletas deflectoras

Las isletas canalizadoras, también llamadas deflectoras, son los elementos más importantes de las rotondas, luego de la isleta central, ver tablas 4 y 5 y figura 9. Estas son las encargadas de dirigir el tráfico correctamente al ingreso y salida de una intersección con rotonda. Los manuales de diseño coinciden en que se deben respetar radios mínimos en la trayectoria de ingreso y salida a la rotonda.

**Tabla 4:** Criterios de diseño de glorietas. Fuente: Norma de diseño geométrico de carreteras. Colombia 2008.

Descripción		Unidad	Magnitud
Diámetro mínimo de la isleta central		m	25
Diámetro mínimo del círculo inscrito		m	50
Radio interior mínimo en los accesos	De entrada	m	30
	De salida	m	40

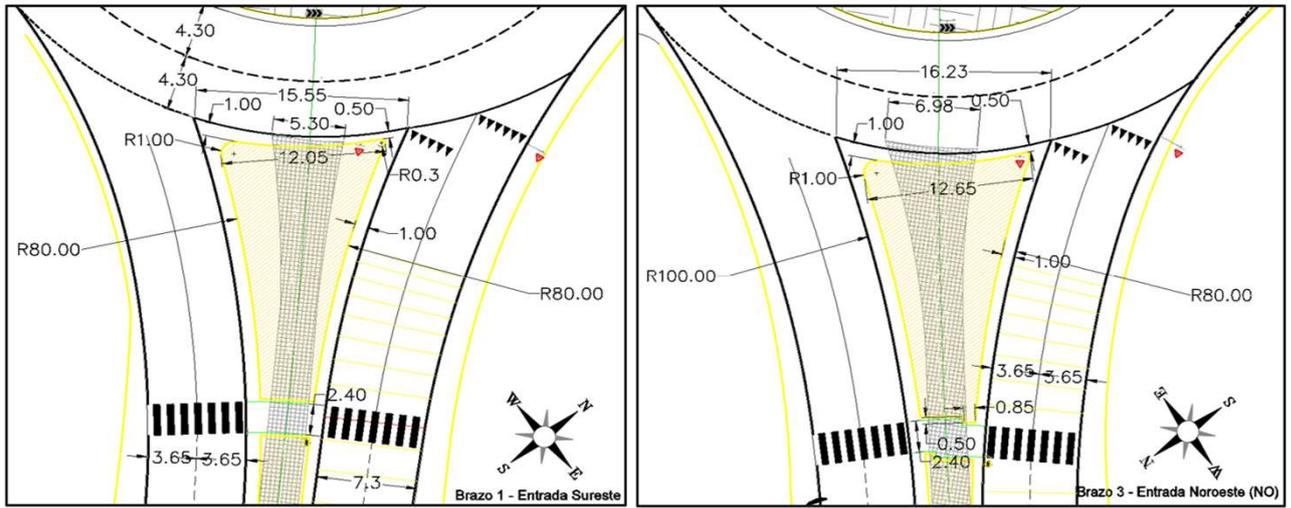


**Figura 9:** Proyección de ingresos a la rotonda

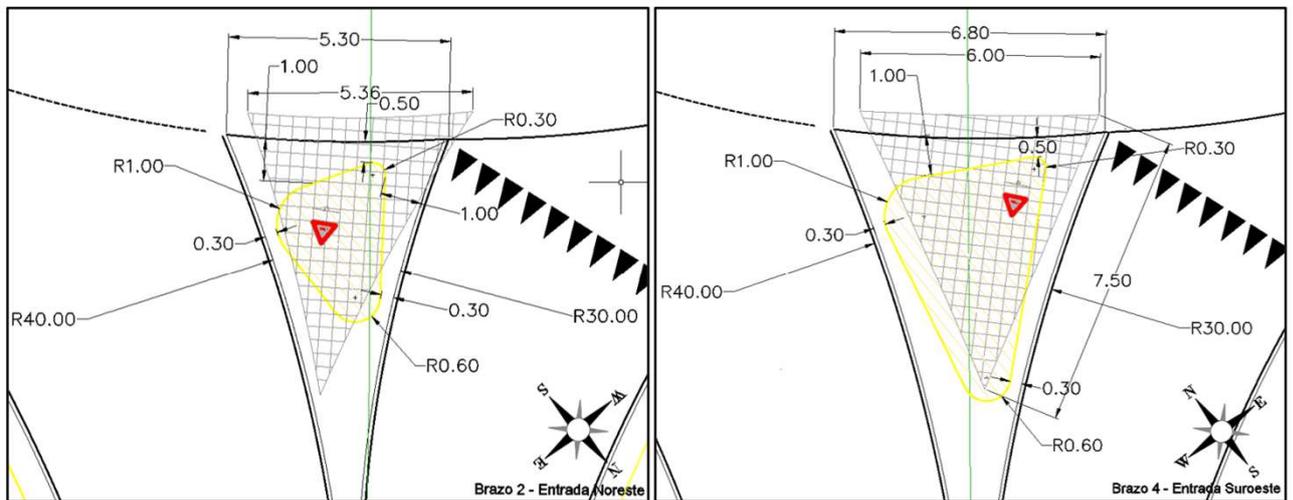
**Tabla 5:** Radios de entrada y salida definidos para las isletas deflectoras.

Descripción	Accesos			
	SE	NE	NO	SO
Radio interno de entrada (m)	80	30	80	30
Radio interno de salida (m)	80	40	100	40

Con base en el Manual de diseño de Carreteras [19], al tratarse de vías urbanas, se adoptan los radios de curvatura mínimos para las entradas y salidas de los accesos de la Av. Martha Bucaram. Debido al escaso espacio disponible. Este inconveniente se debe a que no existió una planificación adecuada al crecimiento de la ciudad y no se determinó correctamente la línea de fábrica al legalizar los terrenos adyacentes a esta intersección. La nueva proyección se definió como se muestra a continuación:

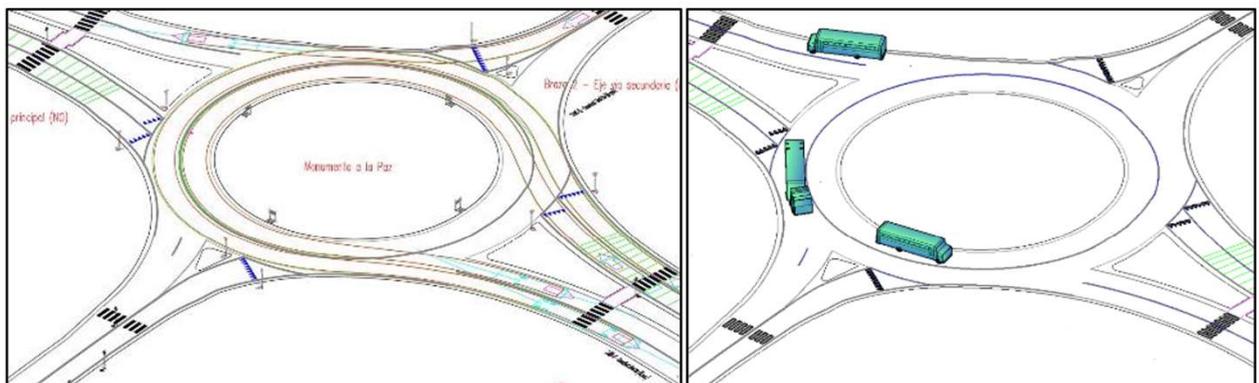


**Figura 10:** Geometría proyectada de accesos de la vía principal.



**Figura 11:** Geometría proyectada de los accesos de la vía secundaria.

Por último, con el modelo digital de la rotonda se testeó la trayectoria de vehículos pesados para verificar que se elimina el entrecruzamiento en el anillo de circulación de la rotonda con el nuevo diseño geométrico de las isletas deflectoras.



**Figura 12:** Modelado de trayectoria de vehículos y prueba con vehículos pesados para comprobar el entrecruzamiento.

### 3. CONCLUSIONES

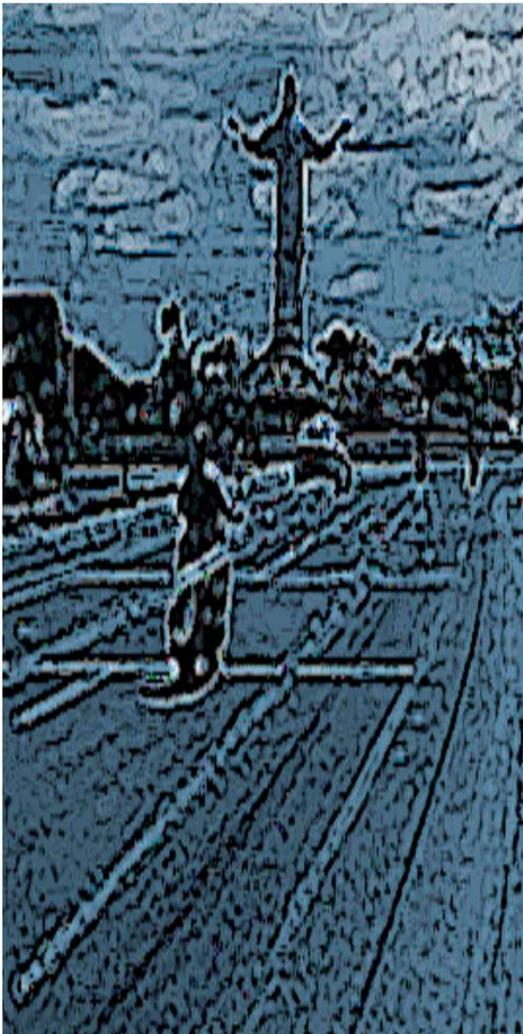
Las intersecciones con rotonda son consideradas, por el Manual de Diseño de Carreteras, como la solución a nivel más segura, teniendo un grado de uso relativamente alto en vías importantes y entre los beneficios destacan la reducción del número de puntos de conflicto en comparación a otras alternativas.

Las rotondas son más eficientes en cuánto los ramales que se conectan a ella tengan características similares y cuando las maniobras de giro sean las que predominen. Sin embargo, tiene puntos en contra como el requerimiento de una amplia zona de implantación, esto conlleva a requerir más superficie pavimentada, lo que aumenta su costo. Entonces, el escoger esta solución para una intersección necesita de un análisis minucioso de la realidad de las vías a conectar y de la disponibilidad de espacio y recursos.

En la intersección analizada se evidencia que el espacio disponible es muy limitado, especialmente en los accesos de la vía secundaria, la Av. Martha Bucaram. Además, de la información obtenida con el levantamiento fotogramétrico, se observa que el ancho de la calzada de circulación de la rotonda no es uniforme en toda la circunferencia, esto debido a una errónea ubicación de las isletas deflectoras de los cuatro accesos.

El aforo vehicular indica que no se ve superada la capacidad de la intersección, lo que demuestra que la solución aplicable es enteramente de carácter geométrico.

El diseño planteado se ocupa de corregir la ubicación y la forma de las isletas deflectoras. Para los accesos de la vía secundaria se requieren isletas más pequeñas que las existentes, contrario a lo que ocurre en la vía principal, donde se requieren isletas significativamente más grandes para cumplir con los radios mínimos especificados por norma y para direccionar de forma tangencial el tráfico hacia el anillo de circulación.



1. S. Caro y B. Caicedo, "Tecnologías para vías terciarias: perspectivas y experiencias desde la academia", *Revista de Ingeniería*, núm. 45, pp. 12–21, ene. 2017, doi: 10.16924/revinge.45.3.
2. L. Machado y L. S. Piccinini, "Os desafios para a efetividade da implementação dos planos de mobilidade urbana: uma revisão sistemática", *urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana*, vol. 10, pp. 72–94, feb. 2018, doi: 10.1590/2175-3369.010.001.AO06.
3. S. Ibarra, E. Castán, J. Laria, J. A. Castán, y J. Guzmán, "Control de tráfico basado en agentes inteligentes", *Polibits*, vol. 50, pp. 61–68, 2014, Consultado: el 29 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=402640464010>
4. N. Iván-Herrera-Herrera, S. Luján-Mora, E. R. Gómez-Torres, N. Iván-Herrera-Herrera, S. Luján-Mora, y E. R. Gómez-Torres, "Integración de herramientas para la toma de decisiones en la congestión vehicular", *DYNA*, vol. 85, núm. 205, pp. 363–370, jun. 2018, doi: 10.15446/dyna.v85n205.67745.
5. D. Hernández y R. Witter, "Entre la ingeniería y la antropología: hacia un sistema de indicadores integrado sobre transporte público y movilidad", *Revista Transporte y Territorio*, núm. 4, Universidad de Buenos Aires, pp. 29–46, 2011, Consultado: el 10 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=333027082003>
6. O. O. Sarasti, G. L. Ramírez, O. O. Sarasti, y G. L. Ramírez, "Aplicaciones para redes VANET enfocadas en la sostenibilidad ambiental, una revisión sistemática", *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, p. 23, 2014, [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-81702014000200007](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702014000200007)
7. J. Singh y K. Singh, "Congestion control in vehicular Ad Hoc Network: A Review", *Next-Generation Networks*, vol. 638, pp. 489–496, 2018, doi: 10.1007/978-981-10-6005-2\_49.
8. S. S. Nanthini, S. Anusubha, y G. Jenisha, "Safety precautions for crashes involving electric vehicles", *IJRTER*, vol. 05, núm. Special Issue 07, pp. 78–82, mar. 2019, doi: 10.23883/IJRTER.CONF.20190304.012.UAX77.
9. S. Sohrabi, A. Khodadadi, S. M. Mousavi, B. Dadashova, y D. Lord, "Quantifying the automated vehicle safety performance: A scoping review of the literature, evaluation of methods, and directions for future research", *Accident Analysis & Prevention*, vol. 152, p. 106003, mar. 2021, doi: 10.1016/j.aap.2021.106003.
10. A. Bouhaloufa, K. Zellat, y T. Kadri, "Probabilistic evaluation of traffic flux and bridges safety (La evaluación probabilística de flujo del tráfico y seguridad del puente)", *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, vol. 33, p. 8, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v33n2/0718-5073-ric-33-02-00147.pdf>
11. O. Oviedo-Trespalacios, V. Truelove, B. Watson, y J. A. Hinton, "The impact of road advertising signs on driver behaviour and implications for road safety: A critical systematic review", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 122, pp. 85–98, abr. 2019, doi: 10.1016/j.tra.2019.01.012.
12. A. Ziakopoulos, A. Theofilatos, E. Papadimitriou, y G. Yannis, "A meta-analysis of the impacts of operating in-vehicle information systems on road safety", *IATSS Research*, vol. 43, núm. 3, pp. 185–194, oct. 2019, doi: 10.1016/j.iatssr.2019.01.003.
13. M. a. Abdelwahab, "Fast approach for efficient vehicle counting", *Electronics Letters*, vol. 55, núm. 1, pp. 20–22, 2019, doi: 10.1049/el.2018.6719.
14. Z. Dai et al., "Video-Based vehicle counting framework", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 64460–64470, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2914254.
15. L. Tello-Cifuentes et al., "Evaluación de daños en pavimentos flexibles usando fotogrametría terrestre y redes neuronales", *Tecnológicas*, vol. 24, núm. 50, pp. 59–71, abr. 2021, doi: 10.22430/22565337.1686.
16. M. Koeva, M. Muneza, C. Gevaert, M. Gerke, y F. Nex, "Using UAVs for map creation and updating. A case study in Rwanda", *Survey Review*, vol. 50, núm. 361, pp. 312–325, jul. 2018, doi: 10.1080/00396265.2016.1268756.
17. S. A. Valverde, A. F. Appel, y R. Rimolo-Donadio, "Fotogrametría terrestre con sistemas aéreos autónomos no tripulados", *Investiga. Tec*, núm. 31, pp. 4–4, 2018, [En línea]. Disponible en: [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga\\_tec/article/view/3475](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga_tec/article/view/3475)
18. L. Polidori, C. R. T. Caldeira, M. Smessaert, y M. E. Hage, "Digital elevation modeling through forests: the challenge of the Amazon", *Acta Amaz.*, vol. 52, pp. 69–80, mar. 2022, doi: 10.1590/1809-4392202103091.
19. Normas de Diseño Geométrico de Carreteras. Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3V1mikC>