

Evaluación Del Diseño Geométrico De La Intersección Tipo Rotonda El Aguador En La Ciudad De Machala.

6

*Evaluation Of The Geometric Design Of The El Aguador
Roundabout Intersection In The City Of Machala*

Autores

Angie Mayded Japón Nevarez

Ing. Civil, Universidad Técnica de Machala, Ecuador

ajapon1@utmachala.edu.e

<https://orcid.org/0000-0002-4899-8151>

Erwin Javier Oyola Estrada2

Ing. Civil, Universidad Técnica de Machala, Ecuador

eoyola@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4710-681x>

Elsi América Romero Valdiviezo

Ing. Civil, Universidad Técnica de Machala, Ecuador

eromero@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7482-7324>

Evaluación Del Diseño Geométrico De La Intersección Tipo Rotonda El Aguador En La Ciudad De Machala.

6

Evaluation Of The Geometric Design Of The El Aguador Roundabout Intersection In The City Of Machala

RESUMEN

Las rotondas son intersecciones ampliamente utilizadas por su capacidad para mejorar la fluidez vehicular y reducir los puntos de conflicto. No obstante, su efectividad depende de un diseño geométrico adecuado que considere el tipo de tráfico, los volúmenes de ingreso y la seguridad de los usuarios. En la ciudad de Machala, la Rotonda El Aguador constituye un punto estratégico que conecta las avenidas Guayas, Circunvalación Norte (Noroeste y Sureste) y Vía La Primavera, vías con alta carga vehicular que cumplen funciones de conexión logística y de movilidad urbana. El crecimiento del parque automotor y la variabilidad en los anchos de carril y radios de giro han generado problemas de congestión y demoras, sobre todo en horas pico, así como riesgos de accidentes en esta intersección. Este estudio tiene como objetivo evaluar el estado actual del diseño geométrico de la Rotonda El Aguador de forma elíptica y proponer alternativas de mejora que incrementen su capacidad operativa y seguridad vial. Los resultados obtenidos confirman la necesidad de un rediseño integral que optimice radios de giro, dimensiones de carriles y señalización. Su implementación permitirá reducir la congestión y mejorar la movilidad en uno de los nodos más importantes de Machala.

Palabras clave: congestionamiento, diseño, elementos geométricos, elíptica, rotonda

ABSTRACT

Roundabouts are a widely adopted intersection type recognized for their ability to enhance traffic flow efficiency and reduce potential conflict points. However, their operational performance is highly dependent on an adequate geometric design that considers traffic composition, entry volumes, and user safety. In the city of Machala, the El Aguador Roundabout functions as a strategic transportation node, connecting Guayas Avenue, Circunvalación Norte (Northwest and Southeast), and La Primavera Avenue—arterial corridors with significant traffic demand that support both logistic operations and urban mobility. The rapid increase in the vehicle fleet, combined with inconsistencies in lane widths and turning radii, has resulted in recurrent congestion, extended travel times during peak hours, and elevated crash risk at this intersection. The present study seeks to evaluate the existing conditions of the elliptical geometric design of the El Aguador Roundabout and to propose redesign alternatives aimed at improving its operational capacity and safety performance. The results confirm the need for a comprehensive geometric redesign that optimizes turning radii, lane configurations, and traffic control devices. Implementing these measures is expected to alleviate congestion and significantly enhance mobility at one of Machala's most critical traffic nodes.

Keywords: congestion, design, geometric elements, elliptical, roundabout

Nota Editorial: Recibido: 12 de Junio 2025 Aceptado: 19 de Septiembre 2025

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto del desarrollo vial en Ecuador, las rotondas han surgido como una solución estratégica para mejorar la seguridad y la eficiencia del tráfico en intersecciones de alta demanda. Evaluar la influencia del diseño geométrico en la Rotonda El Aguador, ubicada en la ciudad de Machala, resulta fundamental para garantizar que tanto vehículos livianos como pesados puedan transitar sin obstruir el flujo vehicular ni generar congestión, evitando así daños a elementos circundantes y cumpliendo con el objetivo de reducir la velocidad y mejorar la seguridad vial.

En Ecuador, la carencia de normas técnicas específicas para el diseño de rotondas ha generado inconsistencias en su construcción y operación, afectando la fluidez del tránsito. La adopción de criterios basados en estándares internacionales podría contribuir a optimizar su funcionamiento. Comprender las trayectorias de giro, las velocidades y otros factores que afectan las maniobras vehiculares es esencial para determinar soluciones adecuadas [1].

En el caso particular de la Rotonda El Aguador, se ha identificado una variabilidad en los anchos de los carriles, lo que afecta la visibilidad y eleva el riesgo de colisiones, aumentando la probabilidad de accidentes. Además, el diseño geométrico de las vías de acceso presenta desafíos notables, como la reducción del ancho en ciertos ramales, formando cuellos de botella, y radios de giro insuficientes para vehículos pesados, factores que comprometen la eficiencia operativa de la rotonda.

Durante periodos de alta demanda, los conductores enfrentan demoras significativas debido a la desaceleración, las colas y la espera para incorporarse al flujo vehicular [2], resulta en una congestión significativa. Esto no solo incrementa el tiempo total de desplazamiento, sino que también puede llevar a un mayor consumo de combustible y a un aumento de las emisiones de gases contaminantes.

El radio de giro insuficiente y ángulos de entrada inadecuados, presentes en cerca del 60 % del trazado, constituyen factores críticos de conflicto vehicular [3].

La necesidad de mejorar el diseño geométrico de esta intersección es evidente, dado el impacto que las rotondas tienen en la circulación tanto en sus accesos como en las vías adyacentes. En condiciones de saturación, incluso pequeñas interrupciones pueden afectar significativamente el flujo general [4]. En América Latina, el crecimiento urbano no planificado ha generado un aumento del parque automotor privado, intensificando los desafíos de movilidad [5].

Una rotonda funcional debe estar diseñada para satisfacer las necesidades básicas de los usuarios, como la seguridad y la comodidad, a través de estrategias que optimicen el uso del espacio vial [6]. Este tipo de intersecciones suele ser preferido sobre otras alternativas no semaforizadas por su capacidad para reducir puntos de conflicto y fomentar velocidades de entrada más bajas [7].

Machala, como una de las ciudades más pobladas de la provincia de El Oro y centro logístico clave para el transporte de banano, experimenta un crecimiento vehicular significativo. La zona de estudio constituye una vía de conexión hacia otras regiones, lo cual incrementa el tránsito de vehículos de carga y pasajeros. En este contexto, la configuración geométrica de la rotonda debe considerar las características del parque vehicular [8].

Diversos estudios han demostrado que la implementación de rotondas puede reducir la congestión vehicular, especialmente al minimizar los choques frontales y laterales al obligar a los conductores a reducir la velocidad [9].

Este estudio evalúa la condición geométrica de la rotonda del monumento El Aguador, considerando los radios de giro requeridos y las trayectorias de los vehículos, con base en un levantamiento topográfico realizado mediante tecnología RTK y dron, lo que permite una recolección de datos más rápida y segura, incluso en zonas de difícil acceso [10].

A nivel internacional, investigaciones como la desarrollada en Beijing (China) han analizado la relación entre el ancho de carril y diversos factores de diseño, concluyendo que anchos de 3.1 m y 2.8 m (en zonas limitadas) son los más eficientes para intersecciones urbanas [11]. De manera similar, en Bogotá se ha evaluado el impacto del espacio reducido en rotondas, utilizando simulaciones en software microscópico como Vissim para optimizar la infraestructura vial [12].

Otras experiencias, como la propuesta de mejora en la intersección de la Avenida Tinkuy en Potosí (Bolivia), han demostrado que la implementación de una nueva rotonda puede mejorar significativamente el nivel de servicio [13]. En Portoviejo (Ecuador), se ha identificado que los vehículos livianos representan la principal causa de congestión, lo cual refuerza la necesidad de un diseño adecuado que permita una movilidad urbana sostenible [14].

Finalmente, el desarrollo de modelos de diseño óptimo, como los implementados en la ciudad de Machala utilizando el software AIMSUN, ha mostrado que la eficiencia del tráfico urbano depende no solo de la geometría, sino también de una correcta gestión de los puntos de control como los semáforos. [15]

Objetivos y alcances

Evaluar el diseño geométrico de la intersección tipo rotonda el aguador en la ciudad de machala, provincia de el oro, ecuador, mediante el análisis de sus elementos geométricos, flujos vehiculares y cumplimiento de la normativa vigente, con el fin de proponer un rediseño que mejore la capacidad operativa y la seguridad vial.

El estudio evalúa el diseño geométrico y la operación vial de la rotonda el aguador en machala, mediante levantamientos topográficos y aforos vehiculares para la formulación de rediseño geométrico con base en normativas nacionales e internacionales, orientada a optimizar la capacidad de la intersección y garantizar la seguridad de todos los usuarios, incluyendo automóviles, camiones, buses y motociclistas y peatones.

2. METODOLOGÍA

En la rotonda El Aguador, la zona de estudio se ha delimitado considerando un radio de 100 metros desde el centro de la glorieta hacia los cuatro carriles de circulación de cada una de las vías que convergen en la intersección. Estas vías están conformadas principalmente por las avenidas Circunvalación Norte y Guayas, ubicadas dentro del perímetro urbano de la ciudad de Machala. Asimismo, se incluye la Avenida Primavera, una ruta estratégica que conecta el Norte de la provincia con la parroquia La Iberia y facilita el transporte de banano hacia el Puerto Bolívar. En la Figura 1 se presenta la delimitación de la zona de estudio.



Fig. 1- Delimitación de la zona de estudio del Monumento Al Aguador

El presente trabajo se enmarca dentro de una investigación aplicada, tiene como objetivo principal la evaluación del diseño geométrico de la rotonda, basado en normativas técnicas y análisis de datos como la capacidad vehicular. Además, corresponde a una investigación descriptiva puesto que se detallan las condiciones actuales de la vialidad y se analizan los efectos de diseño.

El enfoque metodológico es de tipo cuantitativo, centrado en la recopilación de datos medibles, modelaciones geométricas y análisis de capacidad vial, que ayudan a la determinación de los criterios óptimos para el diseño de La Rotonda El Aguador.

Para cumplir con los objetivos planteados, se recurrió a la revisión bibliográfica y normativa, empleando manuales técnicos como el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, así como los lineamientos de la normativa AASHTO, con el fin de establecer los criterios de evaluación del diseño geométrico.

El levantamiento topográfico se ejecutó mediante el uso de tecnología RTK y vehículos aéreos no tripulados (dron), lo cual permitió obtener un modelo digital de terreno detallado y seguro, incluso en zonas de difícil acceso. Esta información sirvió como base para la generación de planos actualizados y la verificación de las condiciones geométricas actuales de la intersección.

Para el análisis y rediseño geométrico se utilizaron herramientas de diseño asistido por computadora (CAD), lo que permitió generar planos a escala real y simular el comportamiento del tráfico con diferentes configuraciones. Se emplearon softwares especializados como AutoCAD Civil 3D y Vehicle Tracking, con el fin de validar trayectorias vehiculares, radios de giro y anchos de carril.

Rotonda. Intersecciones con un carril de circulación unidireccional el cual va rodeando una isla central, mayormente se encuentran diseños de rotondas donde los vehículos que ingresan a este tipo de intersección deben ceder el paso a los vehículos que se encuentra en el carril circular. Se sitúa una rotonda en algún terreno donde las condiciones de circulación vehicular no son favorables, por lo tanto, para que la rotonda tenga eficiencia operativa está directamente conectado con las condiciones de tráfico en el carril circular y por supuesto del diseño geométrico de la misma [16].

Diseño de rotonda. Un buen diseño de rotonda desempeña un papel fundamental en la trayectoria vehicular, donde soluciona el tráfico óptimo de las condiciones que se presente. Un diseño adecuado de la rotonda se basa en primer lugar en las dimensiones de las vías que convergen en la intersección donde se selecciona el radio exterior para determinar la capacidad y eficiencia, permitiendo un flujo vehicular más suave, otro dato para el diseño inicial es la colocación de ejes de los tramos aproximados y definir cuál será la geometría de diseño de los carriles de entrada y salida que tendrá [17].

Análisis de la trayectoria barrida. Con este análisis se puede asegurar que la geometría de la rotonda permite que los vehículos circulen de manera segura y eficiente. Esto se realiza dibujando las trayectorias que tienen los vehículos en movimiento que se han diseñado para todas las direcciones posibles que se puede presentar en un plano de intersecciones. Se puede realizar hoy en día mediante un simulador por medio de un computador utilizando software especializado como es Vehicle tracking, AutoTURN o también AutoTRACK. [18].

Ancho de carril. Actualmente los estudios que se han realizado se ha destacado que la desviación del ángulo recto debe reducirse a 25° para así poder cumplir con las condiciones de distancia visual en las intersecciones. La desviación máxima es de 30° , pero si se habla de ángulos de 60° a 120° ya se van a la categoría de ángulos rectos de intersección entre ejes para el proceso de examinar la distancia de parada y así poder calcular la capacidad de tráfico en las intersecciones [19].

Radio de la isla central. Un tamaño adecuado del radio de la isla central permite que los vehículos grandes puedan maniobrar correctamente, mientras que asegura que los vehículos más pequeños reduzcan su velocidad [20].

Densidad Vial. El tráfico depende mucho si la zona es transitada con una densidad vial alta, esto depende si el área es urbana, suburbana o rural; las vías urbanas tienen un desarrollo mayor que las otras por su bajo volumen de tráfico. El kilometraje de las carreteras dentro de una distancia radial predefinida es lo que define la densidad vial [21].

Conteo vehicular. La congestión vehicular reduce la productividad y contribuye a la contaminación ambiental. Estimar la cantidad de vehículos en condiciones complejas es clave para prevenir congestiones severas y optimizar el flujo de tráfico, permitiendo la planificación dinámica de rutas para evitar vías saturadas [22]

Capacidad vehicular. La capacidad de la red es un indicador esencial para medir el rendimiento del sistema de tráfico. Determina el flujo máximo de vehículos que puede soportar sin afectar la movilidad. Su análisis es clave para mejorar la planificación y optimización del tránsito [23]

Seguridad Vial. Una de las principales ventajas de las rotondas es la seguridad vial. Estas disminuyen la cantidad de posibles puntos de conflicto y ayudan a prevenir colisiones frontales y en ángulo recto, que suelen ser especialmente peligrosas [24]

3. RESULTADOS

Geometría actual de la Rotonda EL Aguador. Las dimensiones actuales de la rotonda El Aguador presentan una configuración elíptica, lo que genera longitudes diferentes a lo largo de sus ejes mayor y menor.

La rotonda presenta un diseño sencillo, con una isleta central de dimensiones relativamente pequeñas en comparación con el volumen de tráfico que soporta diariamente. En sus accesos, convergen cuatro vías principales con ángulos de aproximación irregulares, lo cual dificulta las maniobras de ingreso y salida de los vehículos.

La configuración geométrica de la rotonda evidencia ciertas limitaciones funcionales. La isleta central presenta un diámetro reducido en relación con la intensidad de tráfico actual, lo que restringe el radio de giro y compromete las maniobras de vehículos pesados, como camiones y buses. Por otra parte, la intersección reúne cuatro accesos principales con ángulos de aproximación heterogéneos —algunos cercanos a 90° y otros más agudos— que dificultan la fluidez del tránsito.

Entre las principales deficiencias identificadas se encuentran una isleta central de dimensiones reducidas, radios de giro insuficientes en accesos y salidas, ausencia de carriles segregados para movimientos dominantes y falta de elementos de canalización peatonal.

En la Fig. 2 y la Tabla 1 se expone el trazado geométrico correspondiente a cada uno de los ramales que conforman la intersección, evidenciando las diferencias estructurales presentes en la glorieta.

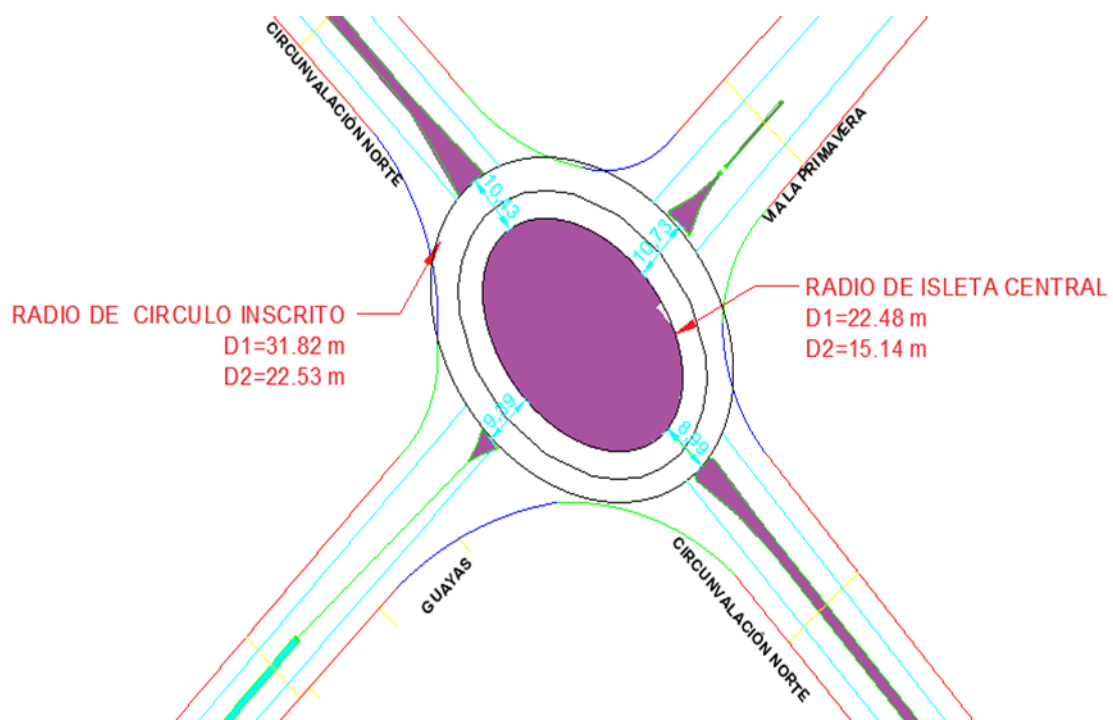


Fig. 2- Rotonda El Aguador

Tabla 1–Medidas de la Rotonda El Aguador

MEDIDAS DE LA ROTONDA EL AGUADOR	
RADIO DE ISLETA CENTRAL MAYOR	22.48 m
RADIO DE ISLETA CENTRAL MENOR	15.14 m
RADIO DE CIRCULO INSCRITO MAYOR	31.82 m
RADIO DE CIRCULO INSCRITO MENOR	23.53 m

Análisis Topográfico-Fotogramétrico. A través del levantamiento topográfico realizado en la zona de estudio, se establecieron cinco puntos de referencia mediante la tecnología RTK, utilizando el sistema de coordenadas WGS 84 / UTM Zona 17S. Estos puntos de control terrestre fueron empleados como guía para la operación del dron DJI Mavic 2 Pro, equipado con una cámara Hasselblad L1D-20c, que permitió la captura de imágenes de alta resolución. Esta información resultó idónea para la generación de modelos tridimensionales y ortomosaicos de alta precisión.

Se muestra el patrón de vuelo planificado por el dron, la línea verde representa este recorrido y el orden desde el punto de partida azul que se tomaron las imágenes hasta el último punto del patrón utilizado, lo que garantizó una cobertura adecuada del área de estudio. En la Fig. 3 se muestra el patron de vuelo del dron.



Fig. 3- Patrón de vuelo del dron

Interpretación de conteo vehicular. Se realizó un conteo vehicular en campo durante tres días: viernes, sábado y lunes, esta elección responde a la necesidad de capturar los distintos patrones de movilidad que se producen a lo largo de la semana. El viernes refleja el tránsito asociado al cierre de actividades laborales, con un incremento en desplazamientos hacia áreas comerciales y residenciales. El sábado muestra un mayor flujo en zonas comerciales y recreativas, mientras que el lunes, aunque presenta menor tráfico laboral, concentra desplazamientos hacia zonas periféricas y recreativas, además de un mayor uso de motocicletas.

Los datos fueron clasificados por tipo de vehículo (automóviles, camiones, buses y motos) y por dirección de ingreso a la glorieta. Las Tablas 2 a 5 muestran el volumen vehicular registrado en cada uno de los cuatro ramales que conforman la rotonda.

Tabla 2–Conteo vehicular de la calle Circunvalación Norte (Noroeste)

CIRCUNVLACIÓN NORTE (NOROESTE)																
	AUTOMOVILES				CAMIONES				BUSES				MOTOS			
HORA	↑	←	→	↻	↑	←	→	↻	↑	←	→	↻	↑	←	→	↻
Viernes	9:00 A 10:00	233	87	80	2	30	39	1	0	0	0	0	75	11	20	2
	11:20 A 12:20	182	102	68	1	12	28	1	0	0	1	0	65	31	18	0
	17:00 A 18:00	220	98	67	4	45	43	4	0	0	0	0	86	16	33	0
Sábado	9:00 A 10:00	244	96	78	0	28	28	2	0	0	0	0	56	28	18	0
	11:20 A 12:20	235	123	82	0	14	29	1	0	0	0	0	73	33	23	1
	17:00 A 18:00	220	111	80	2	39	34	3	2	0	0	0	68	22	27	0
Lunes	9:00 A 10:00	218	114	83	1	36	33	1	0	0	0	0	88	10	22	0
	11:20 A 12:20	198	96	75	0	15	34	3	0	0	0	0	64	13	20	1
	17:00 A 18:00	232	98	64	2	27	28	2	1	0	0	0	53	13	23	0

Tabla 3 –Conteo vehicular de la calle Guayas

GUAYAS																
	AUTOMOVILES				CAMIONES				BUSES				MOTOS			
HORA	↑	←	→	↻	↑	←	→	↻	↑	←	→	↻	↑	←	→	↻
Viernes	9:00 A 10:00	237	111	130	17	23	2	30	5	1	0	0	3	71	36	97
	11:20 A 12:20	263	124	37	3	11	40	3	0	0	1	0	0	87	16	3
	17:00 A 18:00	214	110	46	9	11	5	4	0	0	0	0	0	14	8	12
Sábado	9:00 A 10:00	226	123	123	6	12	10	28	0	0	0	0	1	82	28	86
	11:20 A 12:20	247	106	119	2	15	34	16	0	0	0	0	0	85	14	24
	17:00 A 18:00	198	103	43	0	6	4	10	3	0	0	0	0	11	7	16
Lunes	9:00 A 10:00	246	118	128	5	15	7	32	0	0	0	0	0	68	21	64
	11:20 A 12:20	213	131	56	2	9	14	4	0	0	0	0	0	92	25	23
	17:00 A 18:00	160	98	31	2	5	5	4	1	0	0	0	0	12	16	13

Tabla 4–Conteo vehicular de la calle Circunvalación Norte (Sureste)

CIRCUNVALACIÓN NORTE(SURESTE)																
	AUTOMOVILES				CAMIONES				BUSES				MOTOS			
HORA	↑	←	→	↻	↑	←	→	↻	↑	←	→	↻	↑	←	→	↻
Viernes	9:00 A 10:00	105	18	74	3	17	0	4	0	5	0	1	0	38	5	37
	11:20 A 12:20	168	16	73	4	20	4	5	0	3	0	0	0	60	3	65
	17:00 A 18:00	98	12	73	0	16	1	5	1	4	0	0	0	23	4	27
Sábado	9:00 A 10:00	117	16	58	2	13	2	2	0	4	0	0	2	42	4	43
	11:20 A 12:20	154	13	76	2	18	0	0	0	5	0	0	0	59	6	37
	17:00 A 18:00	101	11	73	0	9	0	5	0	5	0	0	0	38	3	16
Lunes	9:00 A 10:00	153	21	79	0	20	4	3	1	3	0	0	0	63	4	61
	11:20 A 12:20	152	18	65	0	16	7	5	0	5	0	0	1	34	5	37
	17:00 A 18:00	123	15	53	0	14	0	4	0	5	0	0	0	27	5	19

Tabla 5—Conteo vehicular de la Vía la Primavera

		VIA LA PRIMAVERA																VOLUMEN TOTAL DE ENTRADA
		AUTOMOVILES				CAMIONES				BUSES				MOTOS				
		HORA	↑	←	→	↻	↑	←	→	↻	↑	←	→	↻	↑	←	→	
Viernes	9:00 A 10:00	101	104	128	0	10	11	20	0	0	2	8	0	53	56	43	1	537
	11:20 A 12:20	117	101	90	0	14	20	15	0	0	1	7	0	53	35	27	0	480
	17:00 A 18:00	104	98	101	0	11	14	12	0	0	2	7	0	48	30	37	0	464
Sábado	9:00 A 10:00	111	99	113	0	13	17	17	0	0	2	7	0	57	47	38	0	521
	11:20 A 12:20	98	105	87	0	14	12	13	1	0	1	8	0	55	34	32	0	460
	17:00 A 18:00	115	102	97	0	10	16	13	0	0	2	8	0	49	30	17	0	459
Lunes	9:00 A 10:00	97	106	125	0	7	12	19	0	0	2	7	0	52	54	42	0	523
	11:20 A 12:20	114	103	114	0	9	16	16	0	1	2	6	0	56	33	42	0	512
	17:00 A 18:00	104	97	127	0	9	9	11	0	1	1	7	0	47	48	16	0	477

La tabla 6 resume los valores totales de vehículos registrados durante las jornadas de aforo realizadas en las cuatro intersecciones principales que confluyen en la Rotonda El Aguador:

Tabla 6— Resultados del aforo Vehicular por tipo y vía

VIA	Total por carril Automoviles (veh/h)	Total por carril Camiones (veh/h)	Total por carril Buses (veh/h)	Total por carril Motos (veh/h)	Total Vehiculos Observados
Circunvalación Norte (Noroeste)	3596	563	2	1013	5174
Guayas	3787	368	6	1034	5195
Circunvalación Norte (Sureste)	1946	196	43	768	2953
Vía La Primavera	2858	361	82	1132	4433

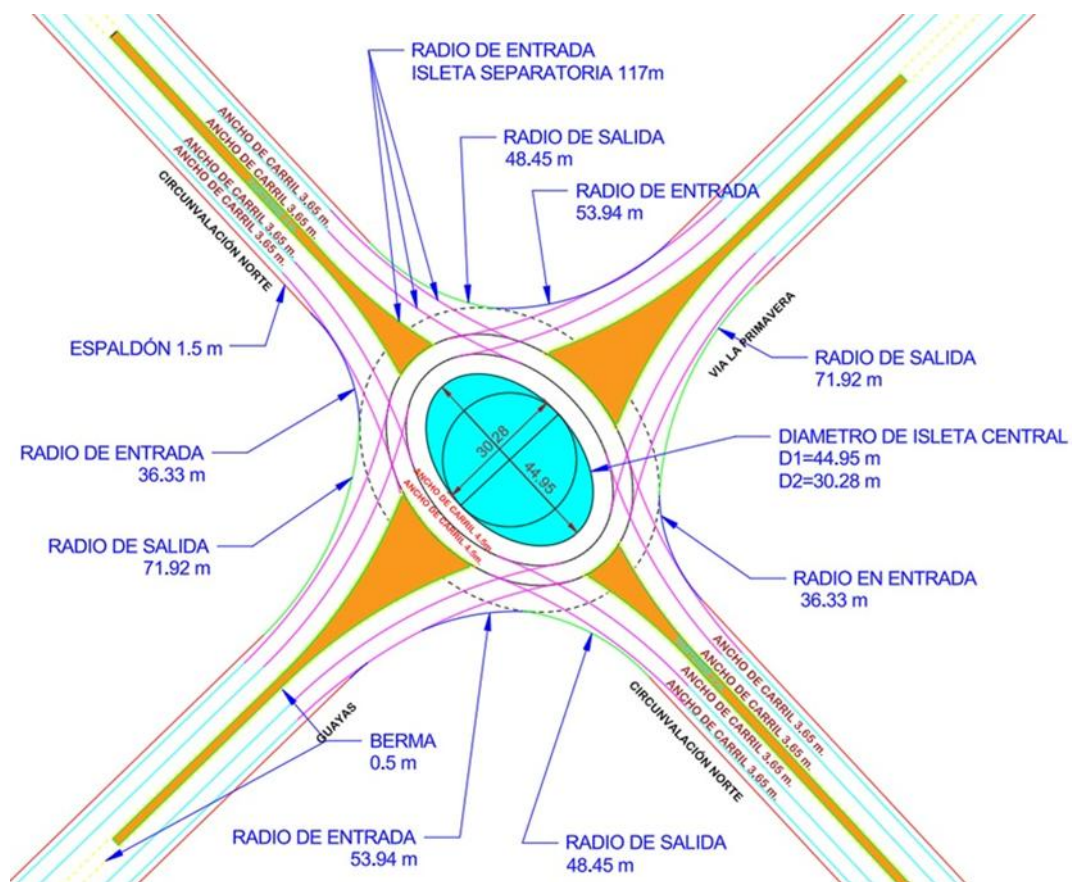
El análisis de las intersecciones que alimentan la Rotonda El Aguador muestra diferencias claras en el volumen y tipo de tránsito. Las vías Guayas y Circunvalación Norte (Noroeste) registran los flujos más altos, con más de 5000 vehículos, lo que indica una mayor carga operativa. Los automóviles particulares son el tipo de vehículo más común en todas las vías, especialmente en Guayas, donde superan los 3787 vehículos.

Aunque los camiones no son tan numerosos, su presencia afecta el diseño geométrico por su tamaño y radio de giro, especialmente en la Circunvalación Norte (Noroeste). En contraste, los buses aparecen en menor proporción, pero no deben ser ignorados, ya que podrían ganar relevancia con futuras mejoras en el transporte público. Las motocicletas también tienen una participación considerable, sobre todo en Vía La Primavera, lo que implica retos de seguridad por su alta exposición y maniobras impredecibles.

El análisis comparativo de los accesos evidencia la diferencia de flujo vehicular que cada vía ejerce sobre la Rotonda El Aguador, destacando la Calle Guayas como el punto de mayor demanda. La significativa presencia de vehículos en los otros accesos, como la Circunvalación Norte (Noroeste) y la vía La Primavera, también revela la necesidad de abordar de manera integral el diseño geométrico y la operación de la intersección. Por su parte, aunque el acceso desde la Circunvalación Norte (Sureste) presenta un flujo menor, la diversidad de movimientos registrados justifica su inclusión en cualquier propuesta de optimización.

El análisis integral confirma que la Rotonda El Aguador, en su configuración actual, enfrenta una diferencia significativa por parte de una demanda vehicular y en constante crecimiento. La propuesta de rediseño geométrico constituye una solución técnica que mejora la capacidad, fluidez y seguridad vial de la intersección, alineándose con las necesidades de movilidad urbana de la ciudad de Machala.

Los resultados de la tabulación del conteo vehicular de los ramales que acceden a la Rotonda el Aguador, se muestran en la Fig. 4.



En lo referente al trabajo de campo, el uso de tecnologías avanzadas como el sistema RTK y el dron DJI Mavic 2 Pro permitió optimizar el levantamiento topográfico, reduciendo el tiempo de exposición en zonas de alto tránsito y mejorando la seguridad del equipo técnico. Este enfoque no solo agilizó la recopilación de datos, sino que también garantizó una cobertura integral de la zona de estudio.

El conteo vehicular, realizado manualmente durante tres días y en distintos horarios, proporcionó una base sólida para clasificar el nivel de servicio de la rotonda. Se registró un volumen crítico de hasta 763 vehículos por hora en la avenida Guayas, lo que representa un nivel de tráfico moderado y sugiere que la infraestructura se encuentra al 50 % de su capacidad operativa. Este dato es relevante para la planificación futura, ya que evidencia la necesidad de mantener un diseño que responda adecuadamente a la demanda vehicular proyectada.

4. CONCLUSIONES

El análisis del diseño geométrico actual de la Rotonda El Aguador evidenció limitaciones que afectan su funcionalidad y seguridad vial. Los radios de giro reducidos, la variabilidad en los anchos de carril y los ángulos irregulares de aproximación generan conflictos en los accesos y salidas, especialmente para vehículos pesados, incrementando el riesgo de accidentes y la congestión en horas pico.

Los resultados del aforo vehicular mostraron una carga operativa desigual en los accesos de la rotonda. Las vías Guayas y Circunvalación Norte (Noroeste) concentraron los mayores volúmenes de ingreso, superando los 570 vehículos por hora en promedio, mientras que el acceso Sureste presentó el menor flujo. Este desequilibrio afecta la fluidez del tránsito y pone de manifiesto la necesidad de un rediseño integral que redistribuya mejor los flujos.

La propuesta de optimización geométrica permitirá incrementar la capacidad operativa y mejorar la seguridad de los usuarios. La incorporación de radios de giro adecuados, carriles de entrada y salida con dimensiones estandarizadas, alineadas a normativas nacionales e internacionales, facilitará una circulación más eficiente y reducirá los tiempos de espera, garantizando una movilidad sostenible en uno de los nodos viales más importantes de la ciudad de Machala.

1. C. Dias, M. Iryo-Asano, M. Abdullah, T. Oguchi, y W. Alhajyaseen, «Modeling Trajectories and Trajectory Variation of Turning Vehicles at Signalized Intersections», IEEE Access, vol. 8, pp. 109821-109834, 2020, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3002020>
2. M. Alshannaq y R. Imam, «Evaluating the safety performance of roundabouts», Transport Problems, vol. 15, n.o 1, pp. 141-152, 2020, doi: <https://doi.org/10.21307/tp-2020-013>
3. Bezina, V. Dragčević, y I. Stančerić, «Approach Alignment Impact on the Geometric Design of Urban Roundabouts», Transportation Research Procedia, vol. 45, pp. 700-707, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.108>
4. S. Davidović, V. Bogdanović, N. Garunović, Z. Papić, y D. Pamučar, «Research on Speeds at Roundabouts for the Needs of Sustainable Traffic Management», Sustainability, vol. 13, n.o 1, p. 399, ene. 2021, doi: 10.3390/su13010399.
5. J. | Vera, J. Loor, E. Ortiz Hernández, y D. Delgado, «Análisis del nivel de servicio en la intersección de las avenidas Manabí y América, Portoviejo, Ecuador: Analysis of the service level at the intersection of the Manabí and America avenues, Portoviejo, Ecuador», R, vol. 6, n.o 2, pp. 29-42, dic. 2021, doi: <https://doi.org/10.33936/riemat.v6i2.4287>
6. S. Ahac y V. Dragčević, «Geometric Design of Suburban Roundabouts», Encyclopedia, vol. 1, n.o 3, pp. 720-743, ago. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1030056>
7. T. I. Alhadidi, M. N. Al-Marafi, y A. Alazimi, «Development of safety performance measures for different crashes severity at urban roundabouts», Results in Engineering, vol. 25, p. 103680, mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103680>
8. D. Perez, F. Tarquino, y J. Yauyo, «Replanteo físico y operativo de una rotonda urbana de cinco rieles interiores en situación de congestión para mejorar su eficiencia y seguridad vial», en Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development "Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Based Economy", Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2020. doi: <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.385>
9. A. Anagnostopoulos y F. Kehagia, «CAVs and roundabouts: research on traffic impacts and design elements», Transportation Research Procedia, vol. 49, pp. 83-94, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.09.008>
10. E. J. Cortés Ospina, «Levantamientos topográficos mediante el uso de drones», ICTI, vol. 8, n.o 2, pp. 100-113, sep. 2021, doi: <https://doi.org/10.26495/icti.v8i2.1912>
11. X. Chang, H. Li, J. Rong, X. Chen, y Y. Wang, «Determining the appropriate lane width at urban signalised intersections – a case study in Beijing», IET Intelligent Trans Sys, vol. 13, n.o 12, pp. 1785-1791, dic. 2019, doi: <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5401>
12. C. O. V. Luna, M. Y. G. Esquivel, M. Silvera, y F. Campos, «Evaluation of the influence of the turning radius of heavy vehicles inside a roundabout in vehicular conflicts», en 2023 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI), Bogotá, Colombia: IEEE, oct. 2023, pp. 1-5. doi: <https://doi.org/10.1109/CONIITI61170.2023.10324050>
13. J. B. Maldonado Ballesteros, «Optimización del servicio para mitigar la congestión vehicular», criterio, vol. 3, n.o 4, pp. 50-58, abr. 2023, doi: <https://doi.org/10.62319/criterio.v.3i4.18>
14. K. Abata, F. Artega, y D. Delgado, «Análisis del congestionamiento vehicular en diferentes intersecciones en la ciudad de Portoviejo, Ecuador», R, vol. 7, n.o 1, jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.33936/riemat.v7i1.4836>
15. J. Salinas Gonzales, Torres Chamba Joselyn, E. Romero Valdiviezo, and C. Sanchez Mendieta, «Evaluation With AIMSUN Of A Signalized Intersection In The City Of Machala, Ecuador», vol. 5, n.o 1, 25 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/228>
16. A. Čudina Ivančev, M. Ahac, S. Ahac, y V. Dragčević, «Comparison of Single-Lane Roundabout Entry Degree of Saturation Estimations from Analytical and Regression Models», Algorithms, vol. 16, n.o 3, p. 164, mar. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/a16030164>

17. S. Ahac, M. Ahac, T. Džambas, y V. Dragčević, «The Design Vehicle Steering Path Construction Based on the Hairpin Bend Geometry—Application in Roundabout Design», *Applied Sciences*, vol. 12, n.o 21, p. 11019, oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/app122111019>
18. A. Čudina Ivančev, M. Ahac, S. Ahac, y V. Dragčević, «Comparison of Single-Lane Roundabout Entry Degree of Saturation Estimations from Analytical and Regression Models», *Algorithms*, vol. 16, n.o 3, p. 164, mar. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/a16030164>
19. Design limits for intersection angles between approach legs of suburban roundabouts», *JCE*, vol. 71, n.o 5, pp. 389-399, jun. 2019, doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.2029.2017>
20. A. R. Dabiri, I. Aghayan, y F. Hadadi, «A comparative analysis of the performance of turbo roundabouts based on geometric characteristics and traffic scenarios», *Transportation Letters*, vol. 13, n.o 9, pp. 674-685, oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1757198>
21. S. S. Pulugurtha y S. Mathew, «Modeling AADT on local functionally classified roads using land use, road density, and nearest nonlocal road data», *Journal of Transport Geography*, vol. 93, p. 103071, may 2021, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2021.103071
22. Y. Jin, J. Wu, W. Wang, Y. Wang, X. Yang, y J. Zheng, «Dense Vehicle Counting Estimation via a Synergism Attention Network», *Electronics*, vol. 11, n.o 22, p. 3792, nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/electronics11223792>
23. Z. Ge, M. Du, J. Zhou, X. Jiang, X. Shan, y X. Zhao, «An Assessment Scheme for Road Network Capacity under Demand Uncertainty», *Applied Sciences*, vol. 13, n.o 13, p. 7485, jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/app13137485>
24. S. Zakeri y A.-A. Choupani, «Operational Evaluation of a Thoroughabout to Give Priority to Public Transport at Standard Roundabouts», *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2021, pp. 1-13, sep. 2021, doi: <https://doi.org/10.1155/2021/1840040>