



**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

Universidad Latina de Costa Rica

Facultad de Ingenierías y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

Licenciatura en Ingeniería Civil

Tesis de Grado

**ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE VOLUMEN VEHICULAR POR CARRIL DE
ENTRADA A LA ROTONDA DE PASO ANCHO Y EL CÁLCULO DE LOS
INTERVALOS CRÍTICOS**

Autor: Christopher Enrique Dávila Montoya

Tutor: Ing. Jose María Ulate

Lector: Ing. Daniel Chacón Oviedo

Heredia, setiembre 2019



UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DEL VOLUMEN VEHICULAR POR CARRIL DE ENTRADA A LA ROTONDA DE PASO ANCHO Y EL CÁLCULO DE LOS INTERVALOS CRÍTICOS.", fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.

ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZÁRATE
TUTOR

ING. DANIEL ALONSO CHACÓN OVIEDO
LECTOR

ING. DOMINGO ERNESTO DELGADO MARTINEZ, PH. D
REPRESENTANTE DE RECTORÍA

COMITÉ ASESOR

ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZÁRATE
TUTOR

ING. DANIEL ALONSO CHACÓN OVIEDO
LECTOR

ING. DOMINGO ERNESTO DELGADO MARTINEZ, PH. D
REPRESENTANTE DE RECTORÍA

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD TESIS DE GRADO**

Heredia, 28 de agosto, de 2019

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE VOLUMEN VEHICULAR POR CARRIL DE ENTRADA A LA ROTONDA DE PASO ANCHO Y EL CALCULO DE LOS INTERVOS CRITICOS por parte del estudiante: Christopher Enrique Dávila Montoya, como requisito para que el citado estudiante puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,


Ing. Jose Maria Diato Zárate

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD TESIS DE GRADO**

Heredia, 28 de agosto, de 2019

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE VOLUMEN VEHICULAR POR CARRIL DE ENTRADA A LA ROTONDA DE PASO ANCHO Y EL CALCULO DE LOS INTERVOS CRITICOS por parte del estudiante: Christopher Enrique Dávila Montoya, como requisito para que el citado estudiante puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,


Ing. Daniel Chacón Oviedo



"Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación"

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Christoher Enrique Dávila Montoya

De la Carrera / Programa: Ingeniería Civil

autor (es) del (de la) (Indique tipo de trabajo): Tesis de grado
titulado:

Análisis de Distribución de Volumen Vehicular por Carril de Entrada a la Rotonda de Paso Ancho y el Cálculo de los Intervalos Críticos

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) **13** del mes **setiembre** del año **2019** a las **10:00**. Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio; que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores *Según orden de mención el inicio de esta carta:*

Carta de filóloga

24 de septiembre, 2019.

Señores

Facultad de Ingenierías y Tecnologías de la Información y la Comunicación
Universidad Latina de Costa Rica

Estimados señores

La suscrita Edith Raissa Pizarro Alfaro con cédula de identidad N° 401780133, profesional en Filología, hace constar que revisó el documento denominado **“ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE VOLUMEN VEHICULAR POR CARRIL DE ENTRADA A LA ROTONDA DE PASO ANCHO Y EL CÁLCULO DE LOS INTERVALOS CRÍTICOS”**, del estudiante **Christopher Enrique Dávila Montoya**, al cual se le aplicaron las revisiones y observaciones relacionadas con aspectos de construcción gramatical, ortografía, redacción, entre otros.

Dado lo anterior, certifico que el documento contiene las observaciones y correcciones solicitadas, quedando de conformidad con lo pactado.

Atentamente,



Licda. Edith Raissa Pizarro Alfaro
Código del Colegio 35554



Agradecimientos

Estas líneas representan el final de un largo y provechoso camino, el cual no ha sido fácil y gracias a el paso por mi vida de personas como las que a continuación voy a mencionar con mucho orgullo culmino una etapa más.

Primeramente, le quiero agradecer a Dios por nunca dejarme solo y ponerme todas esas pruebas tan difíciles y hacerme creer que soy capaz de alcanzar todo lo que me proponga, a ti Dios padre te lo debo todo.

A mi padre y a mi madre que a pesar de las situaciones de la vida me han dado su amor incondicional para hacer esto posible, los amo con toda mi alma.

A Kattia Acuña por haber estado en este duro proceso y siempre levantarme cuando intenté rendirme y me frustré cuando no podía más, ella estuvo ahí animándome para seguir luchando, una mujer que vale más de lo que podrías imaginar.

A mi tutor Jose María Ulate le agradezco por creer que yo era capaz de llevar este tema adelante y apoyarme cuando necesité de su ayuda.

A todas las personas y compañeros que a lo largo de este largo tiempo de una u otra manera me ayudaron hasta con el detalle más mínimo, no me alcanza el espacio para mencionar a todas, pero de corazón gracias.

Dedicatorias

Le dedico este trabajo a mi Dios, al que le debo todo, al que me ha enseñado que en la vida siempre me estará ayudando a salir adelante y que a pesar de cualquier adversidad siempre ha estado conmigo, mi Dios te amo y soy fiel creyente de que sin vos mi vida no significaría nada.

A vos abuela Chilo que a pesar de la distancia siempre me has amado y has estado pendiente de mi sintiéndote orgulloso de lo que soy, este trabajo te lo dedico con mucho amor.

Epígrafe

“Soy gran creyente en la
suerte y he descubierto que
mientras más duro trabajo
más suerte tengo.”

Thomas Jefferson

Resumen

Este trabajo realizó un análisis del volumen vehicular por carril de entrada y calculó los intervalos críticos presentes en la intersección tipo rotonda de Paso Ancho para llevar a cabo una comparación con datos actuales con los que se definieron en el método para estimar la capacidad y demoras en las intersecciones tipo rotonda de Costa Rica.

Los objetivos establecidos se desarrollaron con ayuda de la metodología creada por el ingeniero Mario Durán y recomendaciones dadas por el MOPT (Ministerio de Obras Públicas y Transportes) para llevar a cabo aforos vehiculares, por lo que los resultados que se logren obtener tendrán las bases necesarias para ser tomados en cuenta en el estudio

Los intervalos críticos son factores vitales para el diseño de una intersección tipo rotonda por lo que para solucionar problemas de congestión vial en rotondas se debe de tomar en cuenta el impacto que estos intervalos generan y poder tener un criterio concreto de la afectación que producen en temas de demoras, colas y capacidades de la intersección por lo cual, tener un panorama claro de cuáles son sus variaciones y poder tomar decisiones correctas conlleva a obtener buenos resultados.

Actualmente en los diseños de rotondas se sigue utilizando el método para estimar la capacidad y demoras en una intersección tipo rotonda en Costa Rica, el cual según los datos obtenidos en campo sigue siendo útil ya que las variaciones son ligeramente diferentes en comparación con los datos que se estimaron en los años noventa donde se empezó a utilizar este método. Como restricciones se impone crear nuevas ecuaciones o mejoras al método, ya que la finalidad de este trabajo consiste en analizar la situación actual que se presenta en la rotonda de Paso Ancho.

Se pudo concluir que los intervalos críticos que se pueden recolectar actualmente en la rotonda de Paso Ancho siguen siendo similares a los descritos en la

metodología hecha por el ingeniero Mario Durán, lo que retribuye a que esta teoría aun no es superada.

Abstract

This work accomplished an analysis of vehicular volume per entry lane and calculated critical intervals present at the roundabout intersection of Paso Ancho to bring about a compare a comparison with current data with which they were defined in the method to estimate the capacity and delays in roundabout intersection of Costa Rica.

The established objectives were developed with help of the method created by the engineer Mario Durán and recommendations gave by the MOPT (Ministry of Public Works and Transportation) to carry out vehicle counts, therefore, the results obtained will have the necessary bases to be taken into account in the study.

Critical intervals are vital factors for the design of a roundabout intersection, so in order to solve traffic congestion problems in roundabouts, the impact that these intervals generate must be taken into account ant to have a specific criterion so the affectation they produce in issues of delays, queues and capacities of the intersection, therefore, having a clear picture of what their variations are being able to make correct decisions leads to good results.

Currently, in the roundabout designs, the method for estimating the capacity and delays in a roundabout intersection in Costa Rica is still used, which according to the data obtained in the field is still useful since the variations are slightly different compared to the data that they were estimated in the 1990's there this method began to be used. As restrictions it is necessary to create new equations or improvements to the method since the purpose of this work is to analyze the current situation that occurs in the roundabout of Paso Ancho.

It could be concluded that the critical intervals that can be currently collected at the Paso Ancho roundabout are still similar to those described in the methodology made by the engineer Mario Durán, which compensates that this theory is not yet overcome.

Contenido

Agradecimientos	I
Dedicatorias	VIII
Epígrafe	IX
Resumen.....	X
Abstract	XII
Índice de Gráficos.....	XV
Índice de Ilustraciones	XV
Índice de tablas	XVI
Introducción	1
a) Antecedentes del problema.....	1
b) Planteamiento del problema	3
c) Hipótesis.....	5
d) Objetivos	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
e) Justificación del estudio.....	6
f) Alcances y limitaciones de la investigación	6
g) Impacto de la investigación	7
Capítulo 1. Marco teórico	8
Rotondas.....	8
Elementos de una rotonda	8
Anillo de circulación.....	8
Isla principal.....	8
Entradas y salidas	9
Señalización	9
Rotondas de un solo carril	9
Rotondas múltiples.....	10
Capacidad de una rotonda.....	11
Tipos de capacidades.....	12
Vehículo modelo para diseño de rotonda.....	13
Estructura del sistema de transporte.....	14
Comportamiento de los conductores.....	15

Intervalos críticos y de seguimiento	15
Demoras.....	16
Flujo vehicular	16
Volumen vehicular	17
Longitudes de cola	18
Estudio de volúmenes de tránsito.....	19
Tipos de tránsito	21
Nivel de servicio.....	21
Método para estimar la capacidad y demoras en las intersecciones tipo rotonda en Costa Rica	22
Capítulo 2. Marco Metodológico	29
2.1 Paradigma, enfoque metodológico y métodos de investigación propuestos	29
2.2 Diseño de investigación.....	29
2.2.1 Enfoque metodológico	29
2.2.2 Método de investigación propuesto.....	30
2.3 Recolección de datos.....	30
2.3.1 Estimación de la capacidad de una rotonda de dos carriles. Método para estimar capacidad y demoras en las intersecciones tipo rotonda de Costa Rica	30
2.3.2 Equipo	31
2.4 Variables	32
2.5 Población y muestra	34
2.6 Selección de la muestra.....	34
2.7 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	35
2.8 Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de datos	35
2.8.1 Método para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotonda de Costa Rica	35
2.8.1.1 Procedimiento.....	35
2.9 Cronograma de trabajo para Seminario de Graduación.....	38
Capítulo 3. Análisis de resultados	40
3.1 Análisis de datos.....	40
3.2 Resultados y datos obtenidos.....	54
3.2.1 Obtención de ángulo de entrada	54
3.3.1. Aforos vehiculares realizados el viernes 14 de junio medición matutina	56
3.3.2. Aforos vehiculares realizados el martes 18 de junio medición matutina.....	57

3.3.3. Aforos vehiculares realizados el martes 18 de junio medición vespertina	58
3.3.4 Aforos vehiculares realizados el miércoles 19 de junio medición vespertina	59
3.4 Percepción de los datos obtenidos	60
3.4.1 Análisis de la distribución vehicular y los intervalos críticos del aforo vehicular realizado el viernes 14 de junio de 2019 en horario matutino.....	61
3.4.2 Análisis de la distribución vehicular y los intervalos críticos del aforo vehicular realizado el martes 18 de junio de 2019 en horario matutino.	65
3.4.3 Análisis de la distribución vehicular y los intervalos críticos del aforo vehicular realizado el martes 18 de junio de 2019 en horario vespertino.	69
3.4.4 Análisis de la distribución vehicular y los intervalos críticos del aforo vehicular realizado el miércoles 19 de junio de 2019 en horario matutino.	73
3.4.5 Análisis de la distribución vehicular y los intervalos críticos obtenidos de los cuatro aforos vehiculares realizados	77
Capítulo 4. Conclusiones	79
Recomendaciones	80
Bibliografía	81
Anexos	83

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Gráfico comparativo viernes 14 de junio horario matutino.....	65
Gráfico 2. Gráfico comparativo martes 18 de junio horario matutino	68
Gráfico 3. Gráfico comparativo martes 18 de junio horario vespertino.....	73
Gráfico 4. Gráfico comparativo miércoles 19 de junio horario vespertino.....	77
Gráfico 5. Gráfico comparativo de los intervalos críticos tomados en los cuatro aforos realizados	78

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Trayecto de estudio, rotonda de Paso Ancho-Circunvalación sur	4
Ilustración 2. Rotonda de un solo carril	10
Ilustración 3. Rotonda múltiple de dos carriles de entrada y dos carriles de circulación.....	11
Ilustración 4. Tipos de flujo	13
Ilustración 5. Funcionamiento de una rotonda.....	16
Ilustración 6. Longitudes de cola presentes en la entrada de una rotonda.....	19
Ilustración 7. Longitud media de cola	26
Ilustración 8. Plano constructivo rotonda de Paso Ancho	32
Ilustración 9. Ángulo de entrada a rotonda	36

Ilustración 10. Aforador realizando conteo vehicular.....	37
Ilustración 11. Asignación de código a carriles de entrada.....	40
Ilustración 12. Formación de los ángulos de entrada en la rotonda de Paso Ancho.....	55
Ilustración 13. Ángulo de entrada en rotonda e intervalos críticos estimados por el método para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotonda en Costa Rica.....	56
Ilustración 14. Muro ubicado en entrada 5 que dificulta la visibilidad.....	64
Ilustración 15. Obstrucción visual a raíz de vehículos en carril izquierdo.	72

Índice de tablas

Tabla 1. Intervalos críticos y de seguimiento propuestos por el HCM 2010.....	2
Tabla 2. Modelos de capacidad del HCM 2010 para diferentes configuraciones.....	2
Tabla 3. Comparación de valores de t_c , t_f , "A" y "B" del carril izquierdo en rotondas (2c-2e) de Córdoba y otros países.....	3
Tabla 4. Distribución de volúmenes.....	23
Tabla 5. Demora geométrica.....	28
Tabla 6. Definición del nivel de servicio.....	28
Tabla 7. Aforo vehicular.....	32
Tabla 8. Variables tomadas en cuenta para la investigación.....	34
Tabla 9. Cronograma de trabajo.....	39
Tabla 10. Aforos vehiculares para el día viernes 14 de junio de 2019 horario matutino.....	41
Tabla 11. Aforos vehiculares para el día viernes 14 de junio de 2019 horario matutino.....	42
Tabla 12. Aforos vehiculares para el día viernes 14 de junio de 2019 horario matutino.....	42
Tabla 13. Aforos vehiculares para el día viernes 14 de junio de 2019 horario matutino.....	43
Tabla 14. Aforos vehiculares para el día viernes 14 de junio de 2019 horario matutino.....	44
Tabla 15. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario matutino.....	44
Tabla 16. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario matutino.....	45
Tabla 17. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario matutino.....	46
Tabla 18. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario matutino.....	46
Tabla 19. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario matutino.....	47
Tabla 20. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario vespertino.....	48
Tabla 21. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario vespertino.....	48
Tabla 22. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario vespertino.....	49
Tabla 23. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario vespertino.....	50
Tabla 24. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario vespertino.....	50
Tabla 25. Aforos vehiculares para el día miércoles 19 de junio de 2019 horario vespertino.....	51
Tabla 26. Aforos vehiculares para el día miércoles 19 de junio de 2019 horario vespertino.....	52
Tabla 27. Aforos vehiculares para el día miércoles 19 de junio de 2019 horario vespertino.....	52
Tabla 28. Aforos vehiculares para el día miércoles 19 de junio de 2019 horario vespertino.....	53
Tabla 29. Aforos vehiculares para el día miércoles 19 de junio de 2019 horario vespertino.....	54
Tabla 30. Porcentaje de la distribución de los vehículos en el aforo matutino del 14 de junio de 2019.....	57

Tabla 31. Cantidad de vehículos por carril e intervalos críticos del aforo matutino del 14 de junio de 2019.....	57
Tabla 32. Porcentaje de la distribución de los vehículos en el aforo matutino del 18 de junio de 2019.....	58
Tabla 33. Cantidad de vehículos por carril e intervalos críticos del aforo matutino del 18 de junio de 2019.....	58
Tabla 34. Porcentaje de la distribución de los vehículos en el aforo vespertino del 18 de junio de 2019.....	59
Tabla 35. Cantidad de vehículos por carril e intervalos críticos del aforo vespertino del 18 de junio de 2019.....	59
Tabla 36. Porcentaje de la distribución de los vehículos en el aforo vespertino del 19 de junio de 2019.....	59
Tabla 37. Cantidad de vehículos por carril e intervalos críticos del aforo vespertino del 19 de junio de 2019.....	60
Tabla 38. Cuadro comparativo 1	61
Tabla 39. Cuadro comparativo 2	65
Tabla 40. Cuadro comparativo 3	69
Tabla 41. Cuadro comparativo 4	73
Tabla 42. Comparación de los intervalos críticos de todos los aforos	77

Introducción

a) Antecedentes del problema

La distribución vehicular y los intervalos críticos son algunos de los problemas que han afectado históricamente el correcto tránsito dentro de los carriles de una rotonda, ya que en ciertos momentos se dan maniobras indebidas que obstaculizan el libre movimiento de los demás conductores.

De acuerdo con la Ley de Tránsito, a la hora de conducir en una rotonda en Costa Rica no se permite el entrecruzamiento dentro de la rotonda de un carril a otro, por lo que, cada conductor se debe de situar en el carril de entrada correspondiente a su ramal de salida, pero según los comportamientos habituales que se observan en las rotondas de Costa Rica, cotidianamente no se cumple con lo estipulado por la ley, la cual no permite maniobras indebidas, dado lo anterior, los intervalos críticos se ven afectados, y por ende, las longitudes de las colas no disminuyen.

La metodología del Ingeniero Mario Durán que se utilizó para crear las rotondas, fueron basadas en metodologías provenientes de Inglaterra, Alemania y Suecia las cuales fueron estudiadas por ingenieros del Ministerio de Obras Públicas y Transportes y adecuadas por los mismos a las condiciones locales en el momento en que se implementaron, tomando en cuenta los datos existentes, pero con el paso del tiempo, el problema ha venido aumentando, por lo que el gobierno ha realizado mejoras en las rotondas que solucionan el problema de momento, pero no de raíz, por esta razón, al día de hoy aún no se tiene alguna metodología diferente que ayude a evaluar los factores que influyen y afectan para al menos reducir los problemas que se analizan en esta investigación. Según el HCM 2010, se establecen ciertos factores para el cálculo de los intervalos críticos dependiendo de las condiciones que haya en campo, lo que da una perspectiva de por qué los tiempos de entrada a los carriles de circulación o bien, de prioridad en la rotonda varían de acuerdo con los factores que se pueden presentar en las rotondas.

Configuración		t_c	t_f
Entrada de un carril	Un carril de circulación	5.19	3.19
	Dos carriles de circulación	4.11	3.19
Entrada de dos carriles con dos carriles de circulación	Carril Izquierdo	4.29	3.19
	Carril Derecho	4.11	3.19

Tabla 1. Intervalos críticos y de seguimiento propuestos por el HCM 2010

Fuente: Capacidad de rotondas, Caso Córdoba (2013)

Donde

t_c = Intervalo crítico

t_f = Intervalo de seguimiento

Además, se exponen algunos modelos para estimar la capacidad de cada carril de entrada para distintas geometrías de rotondas para los intervalos anteriormente mostrados.

Configuración		Modelo de capacidad
Entrada de un carril	Un carril de circulación	$c = 1.130 * e^{(-0.001 * V_e)}$
	Dos carriles de circulación	$c = 1.130 * e^{(-0.0007 * V_e)}$
Entrada de dos carriles con dos carriles de circulación	Carril izquierdo	$C_{e,L} = 1.130 * e^{(-0.00075 * V_e)}$
	Carril derecho	$C_{e,R} = 1.130 * e^{(-0.0007 * V_e)}$

Tabla 2. Modelos de capacidad del HCM 2010 para diferentes configuraciones

Fuente: Capacidad de rotondas, Caso Córdoba (2013)

Donde

c = capacidad del carril de entrada

V_c = Flujo conflictivo

$c_{e,L}$ = Capacidad del carril derecho de entrada

$c_{e,R}$ = Capacidad del carril izquierdo de entrada

En Argentina se pudo encontrar una solución al problema con base en el comportamiento de los conductores según los parámetros indicados por el manual HCM 2010, que involucraba vehículos en cola en sus diferentes ramales, esto dependiendo de la cantidad de carriles de entrada y circulación que tuviera el lugar que se analiza. Los factores de intervalos críticos y de seguimiento se ven afectados por el tipo de maniobra que se ve involucrado a realizar el conductor, lo que también depende del tipo de vehículo que este conduzca.

Rotondas Multicarriles	t_c	t_f	A	B
RNM 2c-2e	3.34	2.11	1706	0.0006
RRB 2c-2e	3.43	2.20	1636	0.0006
NCHRP 572	4.50	3.40	1059	0.0008
California	4.70	2.20	1636	0.001
Uruguay	3.40	2.20	1636	0.0006
HCM2010	4.29	3.19	1130	0.00075
Alemania	4.40	3.20	1125	0.00078
Italia	3.85	2.59	1390	0.00071

Tabla 3. Comparación de valores de t_c , t_f , "A" y "B" del carril izquierdo en rotondas (2c-2e) de Córdoba y otros países

Fuente: Capacidad de rotondas, Caso Córdoba (2013)

b) Planteamiento del problema

¿Cuáles son los factores que influyen a la hora de investigar la distribución del volumen vehicular por carril de entrada a una intersección tipo rotonda que afectan la obtención de los intervalos críticos? ¿Cómo se relacionan estas condiciones presentes en la rotonda de Paso Ancho con los intervalos críticos?, debido a que a lo largo del día, la distribución vehicular varía, aunque conforme se acercan las horas pico el tráfico vehicular aumenta, a raíz de esto, los intervalos de seguimiento para entrar a una rotonda se reducen y provoca congestiones en los

ramales, los rangos de horas en los que el Ministerio de Obras Públicas y Transportes recomienda analizar intersecciones es entre las 6:30 a.m. y las 8:30 a.m., además por la tarde desde las 4:30 p.m. hasta las 6:30 p.m. aproximadamente.

La intersección tipo rotonda elegida para la investigación es la rotonda de Paso Ancho, ubicada en el sector Sur de San José, ya que es actualmente la que por sus condiciones daría un mejor panorama de la realidad, esto porque actualmente se están realizando obras de mejora en la rotonda de las Garantías Sociales, y esto genera una afectación en las rotondas aledañas. La rotonda de Paso Ancho se quiere evaluar para obtener datos actualizados de la distribución vehicular que transita en cada uno de los ramales que posee la rotonda con el fin de determinar cuáles son los intervalos críticos.

En la siguiente imagen se expone la ubicación de la rotonda de estudio la cual está ubicada sobre Circunvalación Sur, entre las rotondas de San Sebastián y la Y griega.



Ilustración 1. Trayecto de estudio, rotonda de Paso Ancho-Circunvalación sur

Fuente: Imagen tomada de Google Maps

c) Hipótesis

Comprobar si los intervalos críticos son directamente afectados por las condiciones presentes en la rotonda de Paso Ancho ya que, si tomamos en cuenta las dimensiones geométricas de la rotonda, el comportamiento del conductor debido al tipo de maniobra que quiere realizar y el tipo de vehículo que conduce se podría incurrir en actos que modifiquen los intervalos críticos. Por lo anterior, se prevé que los resultados serán diferentes a los obtenidos en investigaciones realizadas por el ingeniero Mario Durán.

d) Objetivos

Objetivo General

Evaluar datos reales y actuales de las distribuciones de volumen vehicular por carril de entrada en la rotonda de Paso Ancho que puedan facilitar la obtención de los intervalos críticos.

Objetivos Específicos

- Realizar aforos vehiculares teniendo en cuenta la clasificación de cuales tipos de vehículos transitan por la rotonda de Paso Ancho.
- Analizar el comportamiento de los conductores a la hora de entrar a la rotonda.
- Identificar el tiempo promedio de entrada a la rotonda de cada vehículo tomando en cuenta su clasificación.

- Comparar los intervalos críticos actuales con los que se tomaron en cuenta en la investigación realizada por el Ingeniero Mario Durán.

e) Justificación del estudio

Las condiciones presentes en una rotonda son básicamente los elementos que se toman en cuenta para el diseño de una intersección de este tipo, por esto es importante tener conocimiento de cómo se comportan todas las variables involucradas para facilitar el proceso de evaluación de condiciones. Al tener claro cuál es el panorama en el que trabaja una rotonda se argumenta que muchos de sus problemas como colas y demoras se generan a partir de factores que se pueden mejorar ya que esto concede a la comunidad diseñadora del área de transportes beneficios de cómo proponer soluciones eficientes en los modelos actuales de rotondas, lo que también traería beneficios colaterales para el sector comercial que podría transitar en menos tiempo por este tipo de intersecciones que indirectamente apunta hacia un menor gasto económico o bien, al gobierno costarricense aportaría un menor desgaste en las estructuras de pavimento que se ven afectadas por cargas estáticas producto de las colas que se generan en los carriles de entrada a una rotonda lo cual reduciría los gastos que se toman en cuenta para el mantenimiento de infraestructura vial.

f) Alcances y limitaciones de la investigación

La investigación abarca exclusivamente las condiciones presentes en la rotonda de Paso Ancho para poderse apoyar en teorías dadas por el Highway Capacity Manual y el Método para Estimar la Capacidad y Demoras en las Intersecciones tipo Rotonda de Costa Rica que son manuales dirigidos hacia los problemas que se ven involucrados en la ingeniería de transportes. Además, producto de la poca información que se puede encontrar para las condiciones de

Costa Rica no se desviara la investigación a temas desconocidos, dado esto, tampoco se modificarán ni se generarán ecuaciones nuevas a las ya existentes.

No se recomendarán soluciones al problema debido a que el presente trabajo tiene un enfoque descriptivo que tiene como finalidad explicar la situación presente en la rotonda de Paso Ancho.

El proceso de conteos vehiculares se realizará por medios manuales a cargo de personal capacitado en las horas pico donde se puedan medir los parámetros en los escenarios más críticos para poder obtener el comportamiento de la distribución del volumen vehicular y los intervalos críticos de manera concisa, cabe mencionar que en el conteo no se tomarán en cuenta motocicletas.

g) Impacto de la investigación

Los datos que se evaluarán en esta investigación podrán ser utilizados por investigadores que decidan estudiar el tema para poder generar una solución al problema actual que se vive en la rotonda de Paso Ancho, el cual ayudaría a reducir las colas que se generan producto del poco tiempo de entrada con el que cuentan los conductores estando en los carriles de espera, además, los datos tomados y evaluados ayudarían a los diseñadores responsables de las rotondas de nuestro país a crear una nueva metodología que pueda tomar en cuenta las dimensiones de los carriles, la cantidad de carriles, el tipo de carril y el tiempo que dura un vehículo al entrar a los carriles de circulación con el fin de que se comprenda cómo se comporta un intervalo crítico de acuerdo con todas las condiciones anteriormente mencionadas. Además, se quiere aprovechar esta investigación para que se tenga un panorama más claro de un tema del que se encuentra muy poca información en Costa Rica que, además, puede ayudar a generar mejores diseños en las rotondas que puedan ser capaces de soportar el volumen demandado de una zona en específico.

Capítulo 1. Marco teórico

Rotondas

Las intersecciones giratorias tuvieron su aparición en tierras europeas donde el uso de los automóviles no era común en cualquier parte. Dichas intersecciones fueron creadas para resolver los congestionamientos viales debido a la gran cantidad de vehículos existentes provocando colapsos vehiculares a sus vías afluentes.

Primeramente, se pensaba que los ingenieros ingleses habían sido los pioneros de la solución que tenía forma de intersección giratoria para combatir los problemas que se generaban en cuanto al volumen de vehículos. Sin embargo, como mencionó Torres Alzamora (2010.p.3) la persona merecedora del mérito a esta solución corresponde al francés Eugene Hénard. A pesar de las ventajas que ofrecen estas intersecciones se trabajó en la mejora de los modelos diseñando diferentes tipos de rotondas que debido a diferentes condiciones de diseño se eligen a conveniencia del lugar.

Elementos de una rotonda

A continuación, se mencionarán los factores que están presentes en las rotondas, aunque cabe destacar que en todos los casos las dimensiones o el diseño de dichos elementos pueden cambiar, a continuación, se mencionan los más comunes:

Anillo de circulación

Se trata de la calzada de circulación la cual debe estar asfaltada desde el borde de la isla principal hasta el borde exterior de la rotonda por donde circula la corriente principal (Torres Alzamora, 2015, p.6)

Isla principal

Esta zona no está destinada a la circulación de vehículos, la misma suele ser circular. La isleta principal tiene como función reducir la velocidad de los vehículos

que van a ingresar a la intersección para así poder establecer un tránsito de vehículos más fluido que ayude a cada conductor dirigirse hacia su ramal de destino. Con un buen diseño de la isla principal es posible establecer dimensiones que permita a los automotores de larga longitud realizar giros de manera eficaz (Ortega Guaricela, 2017, p. 13).

Entradas y salidas

Acá se encuentra la zona donde circulan los vehículos que dejan los carriles de circulación para salir por los ramales de destino y también el punto donde los vehículos se incorporan a la intersección. Esta separa a la entrada y la salida por medio de una pequeña isla donde generalmente los peatones se apoyan para poder concretar el cruce a los sentidos opuestos de donde han venido (Torres Alzamora, 2015, p. 6)

Señalización

Este factor tiene como finalidad advertir al conductor de una condición presente al llegar a la intersección o de orientar sobre los posibles destinos que se pueden tomar. Es importante su visibilidad tanto de manera vertical como horizontal para prevenir todo tipo de accidentes.

Rotondas de un solo carril

Su principal característica es que solo posee un carril de entrada en cada ramal, así como un carril de circulación lo que llega a tener una menor capacidad de volumen vehicular por lo que el radio de la intersección puede ser desde 27m hasta 55m los cuales se definen a partir del vehículo de diseño. Esta rotonda posee isletas separadoras en las entradas que permiten que el vehículo que entra al carril de circulación tenga más tiempo para entender cuál es la maniobra que realizará el conductor que está manejando sobre la corriente principal (Oscar Savastano, 2010).

En La figura 2 se ilustra un esquema acorde con las condiciones presentes en una rotonda de un solo carril.

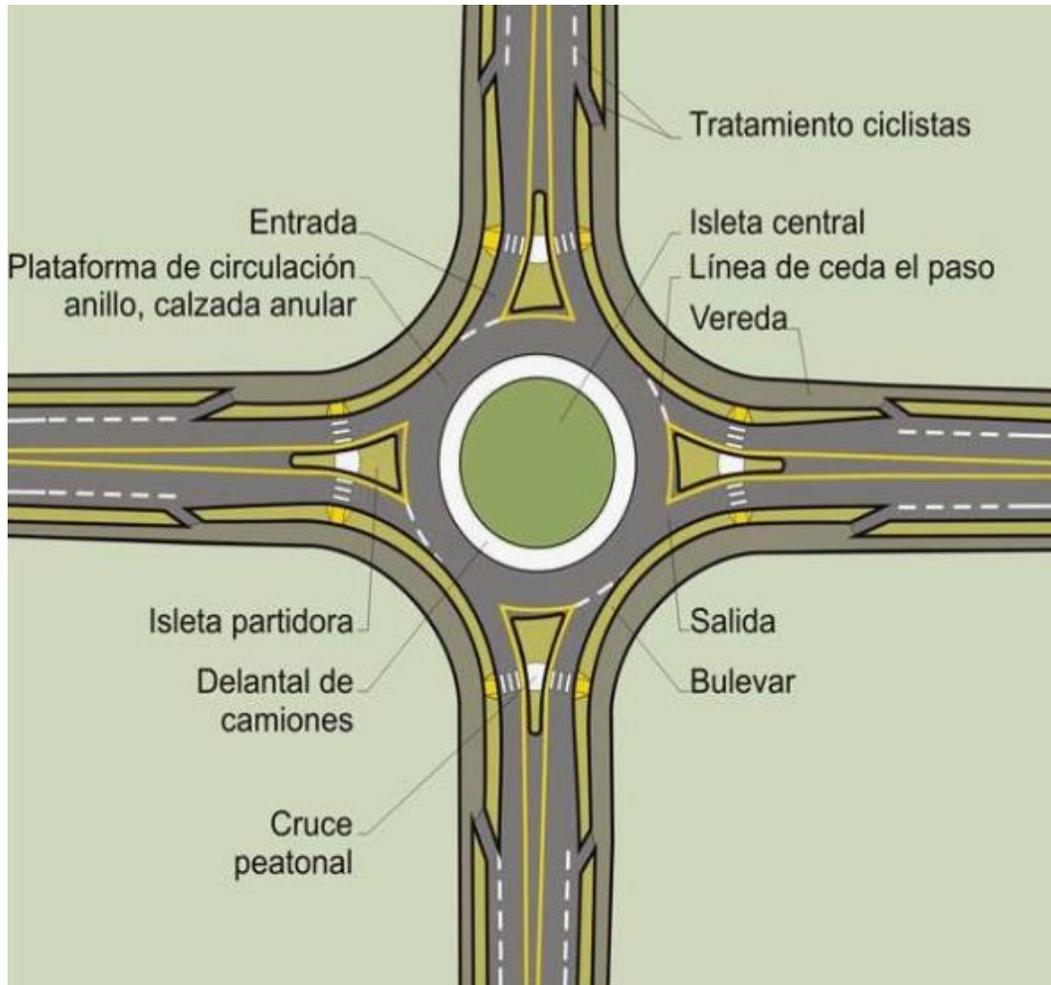


Ilustración 2. Rotonda de un solo carril

Fuente: Escuela Técnica de vialidad Nacional N°1 M.M. de O. Don Oreste Casano

Rotondas múltiples

Las rotondas de varios carriles poseen más de un carril en al menos una entrada de la rotonda, además en la calzada de circulación se tiene al menos dos carriles (Michael Morris, 2010, p.21-7) donde generalmente los vehículos que entran al carril externo provenientes de carriles derechos de entrada no son conflictivos

para la corriente principal ya que esto obedece a una salida próxima. En el caso de los conductores que no utilizan las señales adecuadas para realizar una maniobra dentro de la rotonda generan cierta incertidumbre a los demás conductores, esta situación se asimila a los conductores que se sitúan en el carril derecho de entrada con destino a los carriles internos de circulación por lo que viene a ser una práctica indebida en el uso de estas intersecciones donde además genera modificaciones en los intervalos de seguimiento presentes en los carriles de circulación. En la Figura 3 se muestra la estructura de una rotonda de dos carriles de circulación y dos carriles de entrada en dos de sus ramales donde además se observan elementos como isletas y pasos peatonales que forman parte de una intersección tipo rotonda.

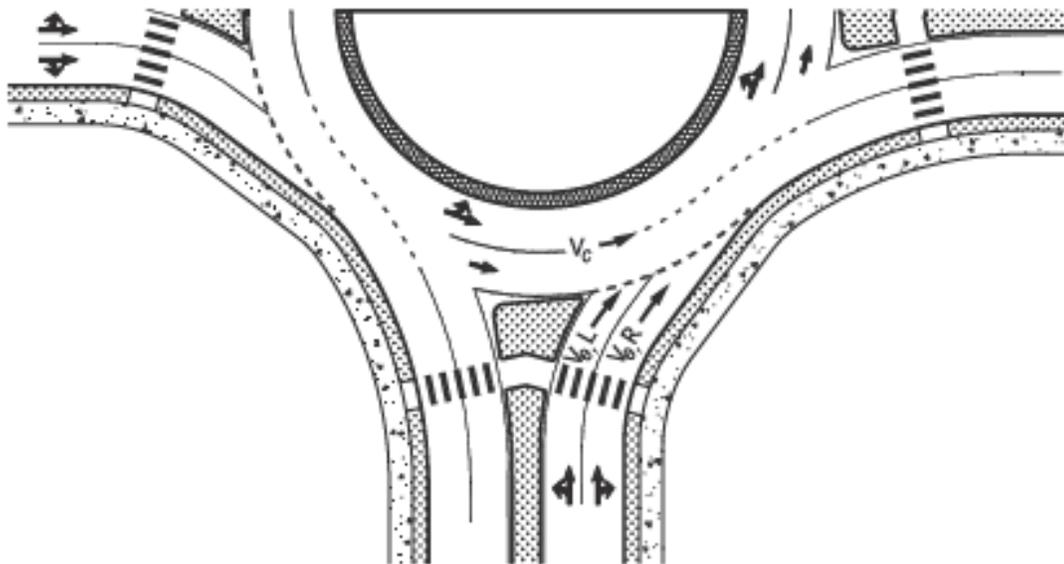


Ilustración 3. Rotonda múltiple de dos carriles de entrada y dos carriles de circulación.

Fuente: High Capacity Manual 2010

Capacidad de una rotonda

El enfoque de capacidad de una rotonda es directamente afectado por los patrones de flujo que se componen de flujo de entrada, flujo de circulación y flujo de salida. Entre estos el más conflictivo es el flujo de circulación que pasa directamente

al frente de las entradas de los ramales y afecta proporcionalmente al flujo de salida ya que difiere en las decisiones que los vehículos salientes tienen que tomar, mientras que el flujo de circulación sigue dentro de la rotonda.

Tipos de capacidades

La capacidad de un carril determina cuál es el volumen vehicular máximo que puede circular por él, tomando en cuenta una velocidad constante donde se pueden mencionar algunos tipos tales como:

- Capacidad básica: Corresponde al máximo de vehículos que pueden pasar por un solo carril a lo largo de una hora en las condiciones óptimas tanto de los vehículos como de la vía y las condiciones físicas presentes en los lugares donde se realizan los conteos.
- Capacidad posible: Es el máximo de vehículos que pueden pasar por un carril durante un hora dada en las condiciones que se presentan en el tramo de la vía tomando en cuenta el tráfico vehicular que circula en dicha sección.
- Capacidad práctica: Es el máximo de vehículos que puede pasar por un carril durante una hora dada sin que el volumen vehicular que circula por él sea tan grande para provocar pérdidas en el tiempo, peligro o restricción de maniobras de los conductores en el campo más allá de lo permitido, esto en las condiciones que se presentan en el lugar tomando en cuenta el tráfico que pasa por dicho tramo.

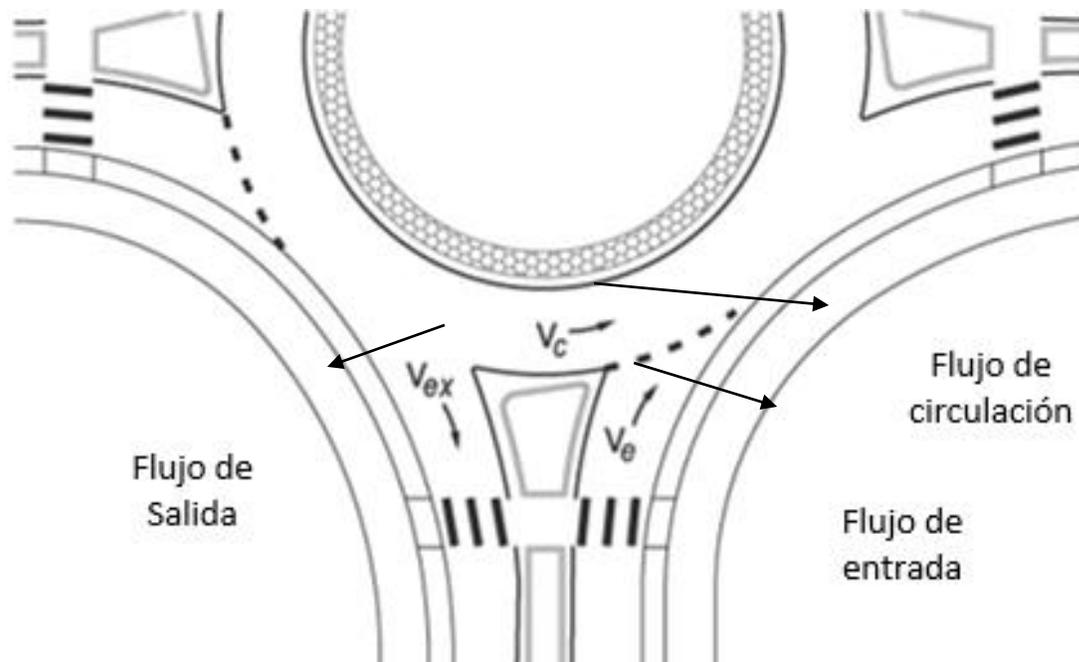


Ilustración 4. Tipos de flujo

Fuente: High Capacity Manual 2010

Cuando no hay flujo de circulación el flujo de entrada tiene paso libre por lo que se entiende como una señalización verde en una intersección semaforizada, pero, si en alguna ocasión el flujo de circulación y el flujo entrante son lo suficientemente grandes para generar un colapso se generarán colapsos lo que podría provocar problemas en la intersección.

Vehículo modelo para diseño de rotonda

Un aspecto muy importante a la hora de realizar un diseño de intersección tipo rotonda es el vehículo modelo con el que se basará para determinar la velocidad máxima y mínima en los carriles de circulación, así como en los carriles de entrada, donde además se determinarán los radios de giro máximos para un vehículo que se puedan realizar todos los giros permitidos por este tipo de intersecciones. Esto depende de la funcionalidad de la rotonda debido a que las condiciones siempre van a cambiar por lo que los radios de giros pueden variar dependiendo de la

longitud del vehículo circulante que va desde una motocicleta hasta un camión que lleve con él un furgón, además, se tiene que tomar en cuenta las restricciones de suelo que pueden llegar a ser un factor limitante (Ortega Guaricela, 2017, p. 12)

Estructura del sistema de transporte

En el sistema de transporte influyen todos los elementos involucrados en la vida cotidiana los cuales toman en cuenta personas vehículos, vehículos transportados por la red de infraestructura, etc. En esta estructura se deben tomar en cuenta todos los movimientos posibles a los que se expone un medio de transporte desde todos los orígenes y hacia todos los destinos.



Ilustración 5. Tipos de transportes

Fuente: Moldtrans

El sistema de transporte de una localidad está totalmente relacionado con su sistema socioeconómico, por ejemplo, cuanto más rápido estos transiten por las vías más rápido llegarán a sus destinos y harán crecer la economía de la localidad lo cual genera numerosos beneficios.

Una pauta que rige a la ingeniería de transportes es que el transporte está integrado al movimiento comercial por lo que cualquier proyecto de infraestructura tendrá una repercusión en todas las problemáticas que se quieran tomar en cuenta. (Ingeniería de tránsito; 1994, p 32)

Algunos de los tipos de transportes que se logran apreciar en las vías son los siguientes:

- Automóviles diversos
- Trenes
- Camiones
- Autobuses
- Motocicletas
- Bicicletas

Comportamiento de los conductores

La forma de conducir por medio de una rotonda se basa en ceder espacio para que los vehículos de los carriles principales puedan tener libre tránsito por lo que es un factor de suma importancia en este tipo de intersecciones.

La conducta correcta a la hora de estar dentro de los carriles principales se basa en señalar las maniobras que se van a realizar ya que esto no generaría incertidumbre entre los demás conductores. Dado esto, es importante situarse en los carriles de entrada correspondientes a los destinos que se van a tomar, lo que generaría un menor tiempo de espera para llegar a los carriles de circulación según la maniobra que se realice y además reduciría la posibilidad de un accidente de tránsito.

Intervalos críticos y de seguimiento

Estos términos se refieren a intervalos de tiempo que se presentan en la funcionalidad de una rotonda, eso sí, de manera diferente ya que un intervalo crítico viene dado por el tiempo que dura un vehículo en situarse en alguno de los carriles de la corriente principal desde el momento en que se ubica en la entrada de alguno

de los ramales, el cual tiene que ser medido y depende de factores como el tipo de maniobra que se va a realizar, las condiciones geométricas de la rotonda y el comportamiento de los conductores presentes en la intersección. Por su parte el intervalo de seguimiento como lo menciona Mario Durán (1990) está estipulado como el intervalo de tiempo requerido para que un vehículo en la entrada de un ramal siga a otro vehículo que está entrando a la rotonda el cual también tiene que medirse en sitio (Mario Durán,1990, p. 11).

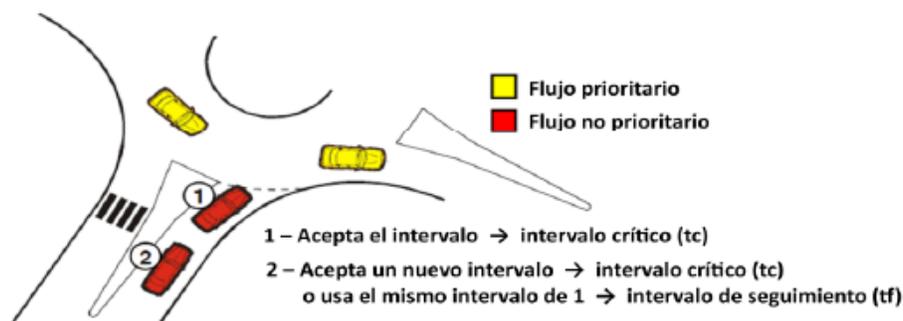


Ilustración 6. Funcionamiento de una rotonda

Fuente: Capacidad de rotondas, Caso Córdoba (2013)

Demoras

Se conoce como el tiempo que empieza desde que un vehículo llega a la cola de una fila entrante a una intersección hasta que el mismo llega al principio, lo cual se determina mediante mediciones de tiempo que pueden ser afectadas por las condiciones presentes en una intersección. Estas proporcionan información de importancia que puede ayudar a solucionar los problemas viales de acuerdo con las necesidades de un conflicto por resolver (Mario Durán,1990, p. 15).

Flujo vehicular

Es la cantidad equivalente de vehículos que por hora circulan por un determinado punto en específico, sección o carril de una carretera durante un

intervalo de tiempo definido siendo menor a una hora, lo más común es medirlos en intervalos de 15 minutos. Este rubro puede tener variaciones que dependen de las situaciones o condiciones que se presentan un punto en específico por el transcurso de una hora. Se diferencia del volumen vehicular porque este se basa en contabilizar la cantidad de vehículos que circulan por un punto determinado durante un intervalo de tiempo menor a una hora, el cual se expresa como un factor que representa a cada hora en que se realizan los aforos vehiculares. (HCM 2010)

Volumen vehicular

Como ya anteriormente se mencionó porque este factor únicamente contabiliza los vehículos que circulan por un punto en específico durante un tiempo determinado sin involucrar ninguno otro elemento. Cabe mencionar que la medida de estos factores se expresa en términos de periodos anuales, diarios, horarios o sub-horarios por lo que es de suma importancia definirlo de manera correcta para poder tomar las decisiones acertadas y así poder también obtener los mejores resultados.



Ilustración 7. Flujo vehicular

Fuente: Ministerio de Obras Públicas(Panamá)

Longitudes de cola

Estos factores se determinan por medio de la cantidad de vehículos que realizan la respectiva fila para entrar a la intersección la cual es medida por intervalos de tiempo para identificar en qué momento se presentó la longitud más extensa (Mario Durán,1990, p. 15). Siendo un elemento que depende de las variables anteriormente mencionadas puede aportar el criterio de afectación que genera un problema en una intersección debido a un mal diseño, un problema de infraestructura o bien situaciones imprevistas que aparecen en carretera.



Ilustración 8. Longitudes de cola presentes en la entrada de una rotonda

Fuente: Google

Estudio de volúmenes de tránsito

Se realizan con el fin de obtener datos que demuestran la realidad en el campo relacionados con movimientos de vehículos sobre puntos y ubicaciones específicas dentro de un sistema vial de carreteras, calles o intersecciones.

Pueden ser desde muy sencillos como los que se realizan en sectores aislados, túneles o puentes hasta los más complicados como los son los estudios que se realizan en toda una red vial de determinada localidad.

Todos los datos que se obtienen pueden tener diferente objetivo ya que muchas veces se puede mencionar aspectos como el tipo de vehículo, el volumen vehicular por carril, demoras, capacidades, velocidades y tiempos de desplazamiento como los intervalos críticos (Douglas Mendez, 2009, p 32). En muchas ocasiones estos aforos se realizan en tiempos de horas, días, semanas o hasta meses dependiendo del fin con el que se está realizando el estudio.

Algunos de los objetivos de estos estudios pueden ser:

- Comparación de los intervalos críticos de diferentes carriles en estudio.
- Determinación de los tipos de vehículos que transitan por una vía.
- Asignaciones de tránsito a nuevas vías.
- Ser elemento de una investigación.



Ilustración 9. Aforador que realiza el conteo de vehículos

Fuente: Autor

En este tipo de estudios se puede tener información variada y concisa en la cual se pueden mencionar aspectos tales como:

- Dirección del recorrido
- Procedencia de los vehículos
- Tipo de carril
- Longitudes de cola

- Demoras
- Número de pasajeros por vehículo
- Movimientos realizados por los peatones

Tipos de tránsito

En el caso de los tipos de tránsito se debe establecer cuál es el volumen vehicular que circula actualmente como en el futuro.

Tránsito actual: Se conforma de la cantidad de vehículos que durante un lapso se movilizan en direcciones opuestas en cierta ubicación.

Tránsito futuro: Está compuesto por el valor proyectado del tránsito a partir del año en que se espera se finalicen las obras. El tránsito futuro estará dado del valor proyectado los cuales se dividen en:

Tránsito normal: Resulta de del crecimiento esperado del tránsito en las vías existentes. El mismo se calcula por medio de tablas de crecimiento obtenidos por métodos estadísticos del tránsito del pasado

Tránsito desviado(Atraído): Es el resultante del crecimiento esperado del tránsito desviado de otras carreteras hacia la carretera proyectada para un menor costo de transporte. (Corea y Asociados S.A; 2008, p 29)

Tránsito generado: Es generado por las facilidades hechas por el mejoramiento de una intersección o carretera sin las cuales este no se originaría por ningún otro motivo.

Nivel de servicio

El nivel de servicio es una estratificación cuantitativa o bien medida de rendimiento que representan la calidad del servicio por medio de medidas que varían de acuerdo con las condiciones presentes, estas se llaman medidas de servicio los cuales van de la "A" a la "F" siendo "A" al nivel de servicio más alto y siendo "F" el nivel de servicio más bajo representando las peores condiciones que se pueden dar en el lugar. Por temas ambientales las carreteras no fueron acondicionadas para que tengan un buen nivel de servicio en horas pico.(HCM 2010, Estados Unidos, p5-3)

Método para estimar la capacidad y demoras en las intersecciones tipo rotonda en Costa Rica

En Costa Rica se creó este método en el año 1990 ya que no existía un método propio que pudiera facilitar la obtención de datos para diseñar una rotonda ya que se deben de tomar en cuenta medidas de eficiencia como demoras, longitudes de cola, capacidad y proporción de vehículos detenidos (Mario Durán, 1990, p. 5). Dichos datos son de alta relevancia ya que producto de estos se pueden plantear propuestas o planteamientos que tengan como finalidad la solución de un problema presente en una intersección tipo rotonda ya que proveen información indispensable para evaluar los diseños carriles de giro, determinación de posibles interferencias, etc.

Cabe mencionar que en condiciones de flujo discontinuo la relación volumen/capacidad no siempre describe de manera clara el nivel de servicio de una intersección, dado esto se propuso un método no solo estimara la capacidad de la rotonda sino también las demoras y longitudes de cola. Por lo anterior el método se divide en dos módulos donde primero se estima la capacidad de la rotonda y luego se calculan las demoras y las longitudes de cola en función del volumen/capacidad obtenido en el primer módulo.

La metodología se rige por los siguientes pasos:

- 1- Se realiza una visita en campo y se realiza el conteo de vehículos que pasa por una entrada durante una hora y se calcula el factor de hora pico para luego dividir al volumen horario

$$FHP\ 15 = \frac{\text{Volumen total en una hora}}{4 * \text{volumen máximo en 15 min}} \quad (1)$$

Donde

FHP: Factor de hora pico

$$\text{Tasa de flujo horario} = \frac{\text{Volumen horario}}{FHP\ 15} \quad (2)$$

Se determina de acuerdo con los carriles el porcentaje de distribución por carril según la tabla 4

Distribución del volumen secundario por carril		
Rotonda con acceso de dos carriles		
Izquierda	Derecha	Horario
55%	45%	Hora pico
45%	55%	Fuera hora pico

Tabla 4. Distribución de volúmenes

Fuente: Método para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotunda en Costa Rica

Donde de acuerdo con las condiciones de la rotonda se tiene que tomar un 55% del volumen para el carril izquierdo y un 45% para el carril derecho en hora pico. En el caso de horario fuera hora pico un 45% para el carril izquierdo y un 55% para el carril derecho.

2- Se determinan los valores de los volúmenes opuestos para cada carril de acceso

$$V_{op} - q_2 = q_{CT} + q_{BI} \quad (3)$$

$$V_{op} - q_1 = K_1 * q_{D1} + q_{CI} + q_{CT} + V_{op} - q_2 \quad (4)$$

$$K = 0 \text{ si } X > 5m$$

$$K = 0.1 \text{ si } X < 5m$$

Donde:

V_{op} = Volumen opuesto para cada carril de acceso

K = Coeficiente de corrección por geometría

q_1 = Volumen vehicular de carril izquierdo de entrada

q_2 = Volumen vehicular de carril derecho de entrada

q_{CT} = Volumen vehicular de carril que se dirige a dirección opuesta

q_{BI} = Volumen vehicular de carril que se dirige hacia la tercera salida

q_{CI} = Volumen vehicular perpendicular a q_{BI} de carril que se dirige hacia la tercera salida

- 3- Se determinan los intervalos de seguimiento provenientes de la corriente principal tomando en cuenta el porcentaje de vehículos pesados

$$\beta_2 = 2.1seg \quad \text{Radio rotonda} < 15m$$

$$\beta_2 = 2.3seg \quad \text{Radio rotonda} > 15m, \text{ entrada normal } \varphi \leq 60^\circ$$

$$\beta_2 = 2.5seg \quad \text{Radio rotonda} > 15m, \text{ entrada forzada } \varphi > 60^\circ$$

Factor de corrección \rightarrow + 0.1seg por cada 10% pesados

Donde:

β_2 = Intervalo de seguimiento

φ = Ángulo de giro desde el carril de entrada

- 4- Se determinan los intervalos críticos que se generan desde la señal de ceda ubicada en el carril de entrada hasta llegar al carril ubicado en la corriente principal.

$$t_c = 4.0seg \quad \text{Radio rotonda} > 15m, \text{ entrada tangencial, } \varphi < 40^\circ$$

$$t_c = 4.2seg \quad \text{Radio rotonda} > 15m, \text{ entrada normal, } 40^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$$

$$t_c = 4.5seg \quad \text{Radio rotonda} > 15m, \text{ entrada forzada, } \varphi > 60^\circ$$

$$t_c = 4.0seg \quad \text{Radio rotonda} < 15m$$

Factor de corrección

 + 0.3seg por cada 10% pesados
- 0.2seg para corriente carril derecho

Los anteriores valores se dan para diseños nuevos de rotondas, para el caso de esta investigación se toman estos datos como referencia ya que dadas las condiciones actuales se compararán con los datos obtenidos a raíz de la recolección de datos hecha en campo para este trabajo, los cuales serán medidos desde que el vehículo empieza su movimiento desde la señalización de ceda el paso en el carril de entrada hasta situarse en el carril de la corriente principal.

- 5- Se estima la capacidad de volumen vehicular que posee la intersección, esto para rotondas de dos o más carriles.

$$C_2 = \frac{V_{op} * e^{\left(\frac{V_{op} * (\beta_2 - t_c)}{3600}\right)}}{e^{\left(\frac{V_{op} * \beta_2}{3600}\right)}} \quad (5)$$

Donde:

C_2 = Capacidad de la intersección de dos carriles

V_{op} = Volumen opuesto (Vehículos mixtos por hora)

β_2 = Intervalo de seguimiento en segundos

t_c = Intervalo critico en segundos

- 6- Se determina la longitud media de cola que existe en los carriles de entrada mediante el siguiente gráfico

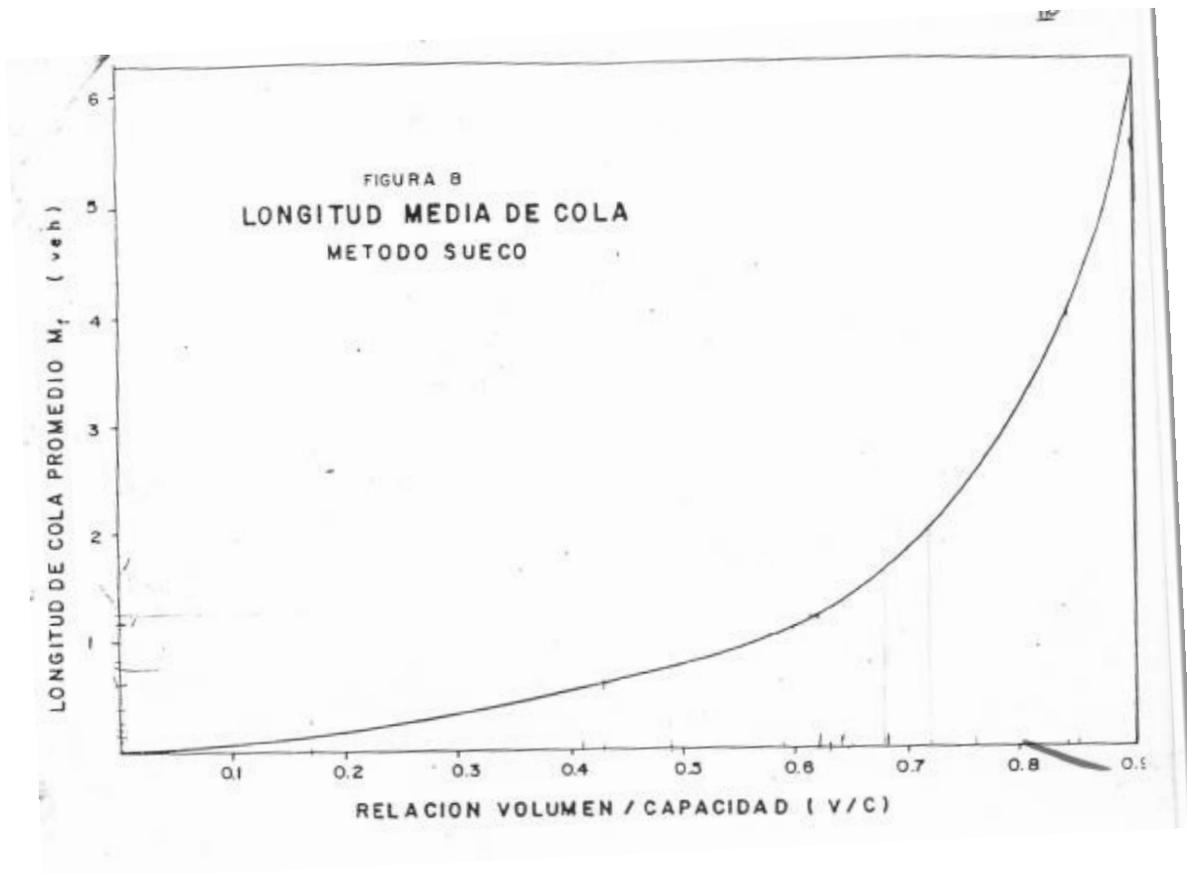


Ilustración 10. Longitud media de cola

Fuente: Método para estimar la capacidad y demoras en las intersecciones tipo rotonda de Costa Rica

Donde

M_f = Longitud de cola promedio

(V/C) = Relación volumen / capacidad

Si las circunstancias requieren que este dato se dé en metros y no en vehículos se optará por aplicar la siguiente fórmula

$$M_f = M_f * (7.5 + (\%T * 0.07)) \quad (6)$$

Donde

M_f = Longitud de cola promedio

%T = Porcentaje de vehículos pesados en el acceso

7- Se determina la probabilidad de detenerse en la señal de ceda antes de entrar a la rotonda en la cola por medio de la siguiente fórmula

$$P_s = 100 * (1 - p_f + p_f * p_k) \quad (7)$$

Donde

P_s = Probabilidad de detenerse

P_s = Probabilidad de aceptar el primer intervalo obtenido de la imagen 5 con V_{op} y t_c

P_k = V/C, es la probabilidad de esperar en cola

8- Se realiza la estimación de la demora media total mediante la siguiente fórmula

$$d = d_v + d_k \quad (8)$$

Donde

d = Demora media total en $\frac{seg}{veh}$

$$D_v = Demora en espera \left(\frac{seg}{veh} \right) \left(\frac{M_f * 3600}{V_2} \right)$$

V_2 = Volumen horario del carril en estudio

d_k = Demora geométrica en Demora geométrica en veh/

seg(se obtiene de tabla 7 en función de velocidad de aproximación y la probabilidad de detenerse)

Velocidad aproximada(km/h)	Probabilidad de detenerse(%)	Tipo de movimiento		
				
50	0	7	5	3
	20	9	7	5
	40	11	9	7
	60	13	11	10
	80	15	13	12
	100	17	15	14
70	0	12	10	8
	20	14	12	10
	40	17	14	12
	60	19	17	15
	80	22	19	17
	100	24	21	19

Tabla 5. Demora geométrica

Fuente: Fuente: Método para estimar la capacidad y demoras en las intersecciones tipo rotonda de Costa Rica (1990)

- 9- Se determina el nivel de servicio de la intersección donde se indicó que el método HCM es posible estimar el nivel de servicio mediante el valor de la demora media total

Definición de nivel de servicio	
Nivel de servicio	Demora Media Total(seg/veh)
A	≤ 10
B	10 a 20
C	20 a 30
D	30 a 40
E	40 a 150
F	≥ 150

Tabla 6. Definición del nivel de servicio

Fuente: Fuente: Método para estimar la capacidad y demoras en las intersecciones tipo rotonda de Costa Rica (1990)

Capítulo 2. Marco Metodológico

2.1 Paradigma, enfoque metodológico y métodos de investigación propuestos

Según los flujos vehiculares modernos se necesita de intersecciones tipo rotonda para poder agilizar el libre tránsito de los vehículos ya que este tipo de infraestructura vial optimiza los tiempos de desplazamiento de un lugar a otro ya que elimina los giros izquierdos a diferencia de una intersección que se rige por señales de semáforo, lo cual es una situación que se debe afrontar debido a que en Costa Rica no se diseñan rotondas con metodologías modernas sino con estándares establecidos en el siglo pasado por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

En el presente trabajo se analizará el comportamiento de los intervalos críticos de acuerdo con las variables dependientes e independientes que participan en el proceso de distribución de volumen vehicular por carril de entrada, donde los datos se ven afectados por elementos que inciden directamente en los resultados. Por lo tanto, se desarrollará un paso a paso de los rubros que se tienen que realizar para llegar a obtener los aspectos que ayuden a demostrar los objetivos planteados, esto por medio de metodologías ya establecidas y herramientas tecnológicas como Excel que facilitarán el procesamiento y análisis de los datos recolectados en campo para describir la problemática existente en la rotonda de Paso Ancho.

2.2 Diseño de investigación

2.2.1 Enfoque metodológico

La investigación tendrá un enfoque cuantitativo ya que de acuerdo con los objetivos planteados y los elementos que forman parte del presente trabajo ya que como indican Hernández, Fernández y Baptista,(2010) se debe expresar una relación entre dos o más variables, dado esto, se podrá evaluar la procedencia de un intervalo crítico a raíz de las condiciones presentes en la rotonda de Paso Ancho,

lo que podrá justificar el comportamiento de la distribución del volumen vehicular por carril de entrada a la intersección.

2.2.2 Método de investigación propuesto

Según las condiciones con las que se trabajará y los objetivos de la investigación se optará por diseñar un método no experimental transaccional exploratorio para poder describir y analizar el comportamiento de las variables ya que es un problema poco conocido en Costa Rica, esto para definir una relación entre los intervalos críticos que influyen en la capacidad de una rotonda y su distribución de volumen vehicular por carril de entrada. Para este caso se realizará un conteo vehicular en campo que tomará en cuenta las variables que forman parte del problema con el fin de recolectar los datos necesarios, para luego, ser procesados mediante el Método para Estimar la Capacidad y Demoras en las Intersecciones tipo Rotonda de Costa Rica que ayuden a dar un panorama más claro del tema. En dicho método se tendrán que medir factores en campo como la cantidad de vehículos que transitan por cada uno de los ramales, así como también los tipos de vehículos, ya sean vehículos pesados o vehículos livianos tomando en cuenta solo los carriles de entrada, además, se tomarán los intervalos críticos que abarcan el tiempo desde el arranque de un vehículo en el carril de entrada hasta su posicionamiento en el carril de la corriente principal.

2.3 Recolección de datos.

2.3.1 Estimación de la capacidad de una rotonda de dos carriles. Método para estimar capacidad y demoras en las intersecciones tipo rotonda de Costa Rica

En intersecciones tipo rotonda existen varias incidencias que se toman en cuenta a la hora de efectuar el diseño, por lo que podemos encontrar datos relacionados con el número de carriles de circulación, ángulos de entrada de cada carril, el radio central de la rotonda, la separación entre salidas y entradas de la rotonda, los intervalos críticos y de seguimiento, así como el volumen vehicular en el carril de entrada a la rotonda que fluye por cada ramal. Dado esto, se necesita

realizar visitas al campo, en este caso a la rotonda de Paso Ancho y medir volúmenes vehiculares en intervalos de 15 minutos para ser transformados a tasa de flujo horario (Metodología Durán, 1990)

2.3.2 Equipo

- Tabla de aforo vehicular

Esta tabla será utilizada para definir la cantidad de vehículos que transitan en la rotonda de Paso Ancho, así como para medir los intervalos críticos. Estos aforos serán realizados en cuatro lapsos de dos horas en diferentes días y horarios, eso sí, realizando al menos uno de estos en un horario donde el flujo vehicular sea bastante alto.

Fecha: 14/06/2019 Aforador: Christopher Entrada: ---						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
6:00 - 6:15						
6:15 - 6:30						
6:30 - 6:45						
6:45 - 7:00						
7:00 - 7:15						
7:15 - 7:30						
7:30 - 7:45						
7:45 - 8:00						
15:00-15:15						
15:15-15:30						
15:30-15:45						
15:45-16:00						
16:00-16:15						
16:15-16:30						
16:30-16:45						
16:45-17:00						

Tabla 7. Aforo vehicular

Fuente: Propia

- Microsoft Excel
- Google Earth
- Civil 3D 2018
- Planos Arquitectónicos del CONAVI

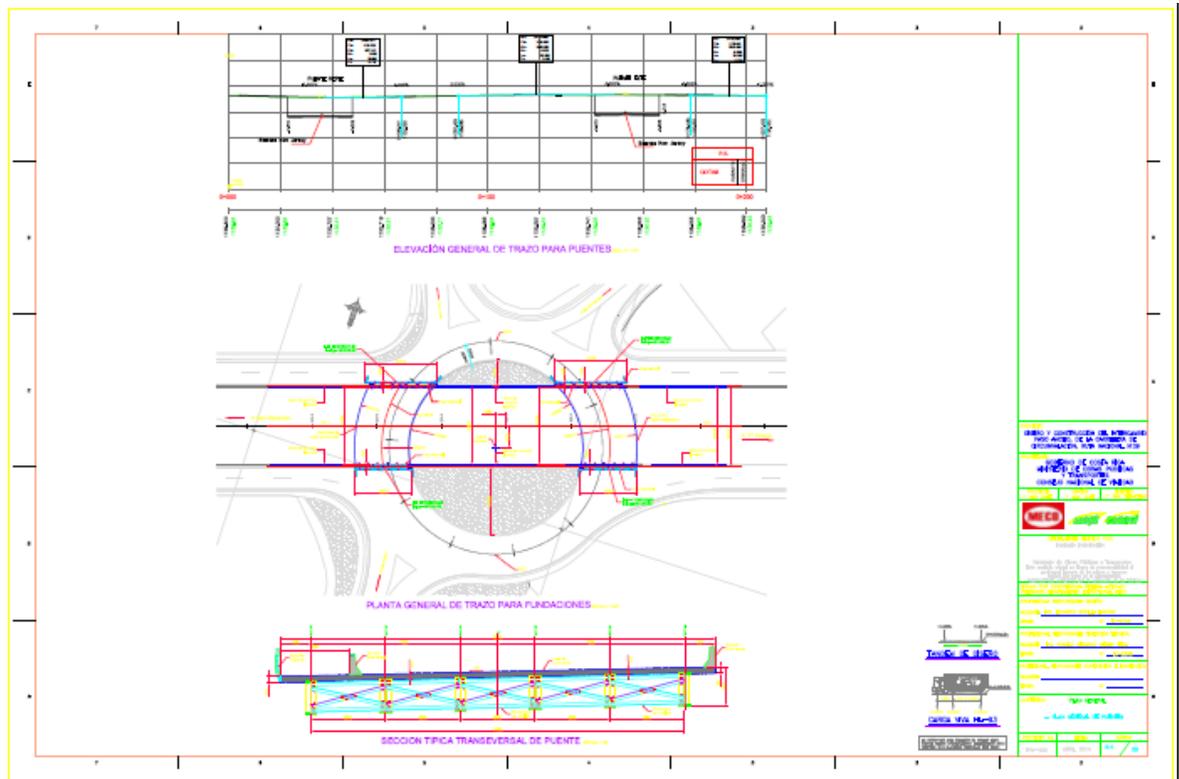


Ilustración 11. Plano constructivo rotonda de Paso Ancho

Fuente: CONAVI

2.4 Variables

En la rotonda de Paso Ancho se tienen todas las condiciones necesarias para poder analizar la distribución del volumen vehicular y el cálculo de los intervalos críticos, por lo que las variables se presentan a continuación:

Variable Dependiente	Variable Independiente	Relación
----------------------	------------------------	----------

Intervalo crítico	Comportamiento del conductor	Esto se debe a que dependiendo de la maniobra que se lleve a cabo el tiempo de entrada a la rotonda puede aumentar o disminuir
	Velocidad de la corriente principal	La velocidad de los vehículos de la corriente principal reduce el espacio útil para que los vehículos de la corriente secundaria puedan acceder a los carriles de la rotonda
	Volumen Vehicular	El factor del volumen vehicular es directamente proporcional a los intervalos críticos ya que debido a menor volumen vehicular menor tiempo durará el intervalo crítico y viceversa
Distribución de viajes	Ley de tránsito	La ley de tránsito indica que cada vehículo debe tener que situar en el carril que le corresponda de acuerdo a su destino lo cual evita maniobras indebidas dentro de los carriles principales de la rotonda

	Volumen Vehicular	<p>El volumen vehicular genera modificaciones en las distribuciones de vehículos ya que de acuerdo con la cantidad de automotores que hayan en una intersección los conductores suelen tomar la decisión de escoger rutas alternas o, otros conductores tomar la ruta más atípica</p>
--	-------------------	---

Tabla 8. Variables tomadas en cuenta para la investigación

Fuente: Propia

2.5 Población y muestra

La investigación se basa en analizar la distribución del volumen vehicular y los intervalos críticos que se presentan en la rotonda de Paso Ancho en San José los cuales se generan a raíz del comportamiento de los conductores, la geometría de la intersección y el tipo de vehículo que transita por la intersección donde estos serán identificados por colaboradores que serán previamente capacitados para elaborar los conteos.

2.6 Selección de la muestra

La muestra que será investigada en la rotonda de Paso Ancho se define como una unidad de análisis que se selecciona de forma conveniente ya que los resultados no pueden ser generalizados debido a que existen otras rotondas que se ubican en diferentes zonas geográficas distribuidas a lo largo de Costa Rica, lo que incide en el cambio de condiciones que generan diferencias en la distribución del volumen vehicular e intervalos críticos.

Cabe mencionar que al ser una prueba no probabilística se deberá tener control de los elementos que serán seleccionados previamente en el planteamiento del problema.

2.7 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Se realizarán trabajos de campo que involucran aforos vehiculares y mediciones de la geometría de la rotonda los cuales van a ser llevados a cabo con ayuda de cinta métrica. En el caso del radio de la rotonda el CONAVI brindará los planos de diseño de dicha rotonda para identificar cuál es la medida desde el centro de la rotonda hasta el borde interno de la calzada dado que esta se encuentra sobre un paso elevado, lo que imposibilita realizar la medición físicamente.

A su vez habrá personas encargadas de medir intervalos de tiempo necesarios para obtener un panorama claro del volumen vehicular por carril de entrada, los cuales definirán la cantidad de vehículos y su clasificación, por lo que se apoyarán en la tabla 7 que corresponde a la tabla de aforos vehiculares, con el fin de realizar los conteos vehiculares que darán el número de automotores que transitan sobre la intersección.

2.8 Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de datos

2.8.1 Método para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotonda de Costa Rica

En dicho método se utilizarán algunos de los procedimientos útiles para realizar un análisis de la distribución del volumen vehicular y de la diferencia que existe en los intervalos críticos obtenidos en campo.

2.8.1.1 Procedimiento

1. Para empezar, se procede a realizar el cálculo del ángulo de entrada a la rotonda con ayuda de los planos proporcionados por el CONAVI. Se exporta el plano en PDF hacia Civil 3D 2018 y se dibuja una línea desde el centro de la rotonda hasta el centro de cada una de las entradas. Luego de haber hecho

esto se dibuja una línea del centro de cada una de las entradas hasta el centro de la corriente principal como se logra apreciar en la siguiente imagen

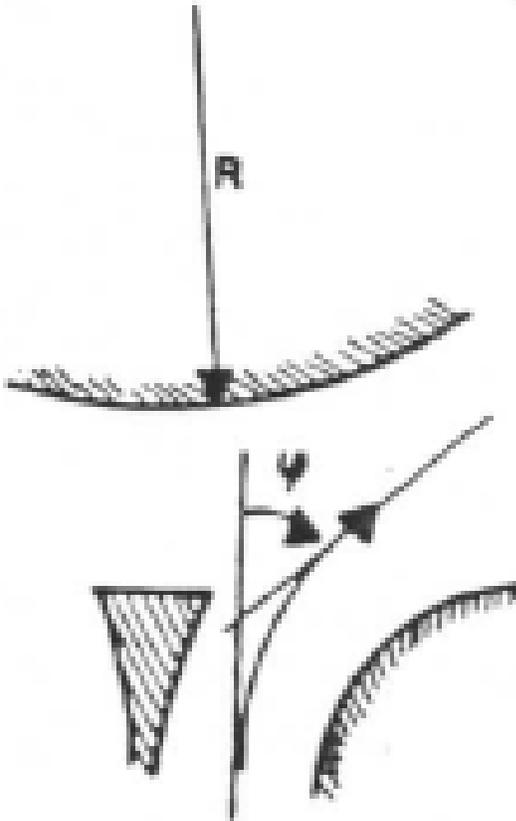


Ilustración 12. Ángulo de entrada a rotonda

Fuete: Método para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotonda en Costa Rica

Donde:

μ = *Ángulo de entrada*

2. Consiguiente a esto se ubicará a una persona capacitada para realizar aforos vehiculares en cada una de las entradas de la rotonda hacia la corriente principal proporcionándoles a todos los aforadores la tabla 7 del presente documento



Ilustración 13. Aforador realizando conteo vehicular

Fuente: Autor

3. Una vez ubicados los aforadores se procede a empezar el conteo vehicular tomando en cuenta cada uno de los aspectos de la tabla donde se tienen que contabilizar por separado los vehículos livianos y pesados dependiendo de su carril de circulación, ya sea carril izquierdo o carril derecho.
4. En cada uno de los intervalos de medición de 15 minutos se tomará el tiempo de los intervalos críticos de los vehículos tomando únicamente el tiempo total de entrada de 10 vehículos por carril y por cada intervalo de 15 minutos.
5. Teniendo ya los aforos vehiculares con sus respectivos intervalos se saca un promedio de los intervalos tomados dividiéndolos entre la cantidad de vehículos que se tomó en cuenta para la medición de intervalos críticos (10 vehículos) como se expresa en la siguiente fórmula:

$$\text{Intervalo crítico} = \frac{\text{Tiempo total}}{\text{Cantidad de vehículos}} \quad (9)$$

6. Se procede a ingresar los datos a Microsoft Excel separando la cantidad y el tipo de vehículo por cada intervalo de 15 minutos en el que también se anota el intervalo crítico correspondiente en cada uno de los intervalos de medición realizado cada 15 minutos.
7. Luego se procede a aplicar los factores de corrección en los intervalos obtenidos donde se suma 0.3 segundos a cada intervalo por cada 10% de vehículos pesados que transiten en el carril.
8. Consiguiente a esto se resta 0.2 segundos a todos los intervalos críticos del carril derecho.
9. Se genera un promedio de los intervalos críticos obtenidos en cada uno de los carriles.
10. Teniendo ya los ángulos de entrada y los intervalos críticos con sus respectivos factores de corrección se realiza un análisis de la distribución del volumen vehicular por carril de entrada y una comparación de los intervalos críticos tomados en campo y los descritos en la metodología hecha por el ingeniero Mario Durán.

Existe la posibilidad de graficar el comportamiento de la distribución vehicular y los intervalos críticos estipulados anteriormente en la investigación en función de las condiciones existentes con el fin de ampliar y expresar los resultados obtenidos del presente trabajo.

2.9 Cronograma de trabajo para Seminario de Graduación

Actividad	Cuatrimestre														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Inicio del TFG	■														
Reunión con tutor	■		■		■		■		■		■		■		
Elaboración de plan estratégico para aforos de semana 2	■														
Aforos vehiculares		■													
Procesamiento de datos recopilados		■	■												
Analisis de datos recopilados			■	■	■	■	■	■	■						
Reunion con lector						■						■			
Entrega del 1er informe parcial				■											
Elaboración de conclusiones y recomendaciones										■					
Entrega del 2do informe parcial										■					
Referencias bibliográficas	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Correcciones del segundo informe parcial											■	■			
Entrega del borrador final al tutor													■		
Entrega del borrador final al lector														■	
Defensa de TFG															■

Tabla 9. Cronograma de trabajo

Fuente: Propia

Capítulo 3. Análisis de resultados

3.1 Análisis de datos

Para efectos de organización se procede a asignar un código a cada una de las entradas de la rotonda los cuales vienen representados en la siguiente ilustración.



Ilustración 14. Asignación de código a carriles de entrada

Fuente: AM Prensa

La descripción de cada una de las entradas a la rotonda es la siguiente:

- E1: Vehículos provenientes de Paso Ancho
- E2: Vehículos provenientes del paso a desnivel del Parque de La Paz
- E3: Vehículos provenientes del Barrio del Carmen
- E4: Vehículos provenientes de Zorobarú
- E5: Vehículos provenientes del paso a desnivel de San Sebastián

En las siguientes tablas se pueden apreciar los datos obtenidos de los aforos vehiculares realizados en la rotonda de Paso Ancho, los cuales serán utilizados para poder llevar un análisis de la distribución del volumen vehicular por carril de entrada, además, son útiles para llevar a cabo una comparación en los intervalos críticos que

se pudieron apreciar el día que se realizaron los conteos vehiculares con los que se establecieron al momento de crear la metodología de Durán.

Datos de Conteos Vehiculares Viernes 14 de junio 2019 6:00a.m.-8:00a.m.						
Fecha: 14/06/2019 Aforador: Jean Carlo Rivera Entrada: E1						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
6:00 - 6:15	97	53	5	7	3.26	2.40
6:15 - 6:30	143	112	13	3	5.34	5.09
6:30 - 6:45	129	103	9	7	4.21	4.78
6:45 - 7:00	158	107	9	11	4.02	4.40
7:00 - 7:15	137	109	12	8	5.46	2.92
7:15 - 7:30	146	123	14	9	4.55	5.44
7:30 - 7:45	139	71	12	8	3.47	3.63
7:45 - 8:00	146	70	10	3	3.36	2.78

Tabla 10. Aforos vehiculares para el día viernes 14 de junio de 2019 horario matutino

Fuente: Autor

Fecha: 14/06/2019 Aforador: Jose Gonzalez Entrada: E2						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
6:00 - 6:15	24	40	3	1	2.40	2.15

6:15 - 6:30	35	33	5	2	2.48	2.58
6:30 - 6:45	35	41	2	2	3.23	3.43
6:45 - 7:00	23	34	2	2	2.45	3.26
7:00 - 7:15	20	38	2	1	2.73	2.57
7:15 - 7:30	24	32	4	3	2.87	2.79
7:30 - 7:45	29	46	4	2	2.56	2.09
7:45 - 8:00	22	34	2	4	2.81	2.53

Tabla 11. Aforos vehiculares para el día viernes 14 de junio de 2019 horario matutino

Fuente: Autor

Fecha: 14/06/2019 Aforador: Frander Torres Entrada: E3						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
6:00 - 6:15	20	No aplica	4	No aplica	4.06	No aplica
6:15 - 6:30	32		2		2.93	
6:30 - 6:45	40		1		2.62	
6:45 - 7:00	23		3		3.76	
7:00 - 7:15	29		4		3.68	
7:15 - 7:30	25		1		3.23	
7:30 - 7:45	20		1		3.32	
7:45 - 8:00	27		3		2.98	

Tabla 12. Aforos vehiculares para el día viernes 14 de junio de 2019 horario matutino

Fuente: Autor

Fecha: 14/06/2019 Aforador: Christopher Entrada: E4						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
6:00 - 6:15	41	33	0	6	3.86	3.09
6:15 - 6:30	45	37	3	6	2.87	2.75
6:30 - 6:45	38	42	0	4	2.65	2.68
6:45 - 7:00	44	46	1	8	3.15	2.51
7:00 - 7:15	50	53	0	5	3.73	2.35
7:15 - 7:30	41	35	0	6	3.10	2.42
7:30 - 7:45	59	44	0	5	2.88	2.06
7:45 - 8:00	46	53	2	8	3.00	2.32

Tabla 13. Aforos vehiculares para el día viernes 14 de junio de 2019 horario matutino

Fuente: Autor

Fecha: 14/06/2019 Aforador: Roger Entrada: E5						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
6:00 - 6:15	39	21	8	3	2.35	2.68
6:15 - 6:30	61	14	5	3	2.43	2.81
6:30 - 6:45	74	11	6	3	2.32	2.51
6:45 - 7:00	38	13	5	3	2.96	2.55
7:00 - 7:15	78	13	1	3	2.83	3.08

7:15 - 7:30	62	12	6	4	3.71	3.12
7:30 - 7:45	50	13	1	0	2.33	3.17
7:45 - 8:00	39	16	1	1	2.95	3.14

Tabla 14. Aforos vehiculares para el día viernes 14 de junio de 2019 horario matutino

Fuente: Autor

Segundo día de aforo, medición matutina.

Datos de Conteos Vehiculares Martes 18 de junio 2019 6:00a.m.-8:00a.m.						
Fecha: 18/06/2019 Aforador: Christopher Entrada: E1						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
6:00 - 6:15	185	115	10	6	3.26	2.57
6:15 - 6:30	169	147	12	7	2.79	2.35
6:30 - 6:45	176	143	7	5	3.21	2.07
6:45 - 7:00	161	127	8	6	3.48	2.37
7:00 - 7:15	192	113	7	9	3.10	2.13
7:15 - 7:30	153	115	10	2	3.09	2.69
7:30 - 7:45	162	115	11	4	3.66	2.31
7:45 - 8:00	149	81	7	6	3.62	2.45

Tabla 15. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario matutino

Fuente: Autor

Fecha: 18/06/2019 Aforador: Julián Benavides Entrada: E2
--

Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
6:00 - 6:15	15	25	3	4	3.69	3.10
6:15 - 6:30	13	27	1	2	3.85	3.55
6:30 - 6:45	32	28	2	3	3.10	3.84
6:45 - 7:00	27	26	5	2	3.97	3.23
7:00 - 7:15	30	28	2	1	3.91	3.32
7:15 - 7:30	19	40	1	4	3.51	3.23
7:30 - 7:45	18	20	2	4	3.58	3.09
7:45 - 8:00	18	27	0	1	3.13	3.26

Tabla 16. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario matutino

Fuente: Autor

Fecha: 18/06/2019 Aforador: Frander Torres Entrada: E3						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
6:00 - 6:15	18	No aplica	2	No aplica	2.94	No aplica
6:15 - 6:30	30		1		2.72	
6:30 - 6:45	26		3		3.22	
6:45 - 7:00	39		3		2.98	
7:00 - 7:15	20		3		2.78	
7:15 - 7:30	20		0		3.14	

7:30 - 7:45	18		1		2.84	
7:45 - 8:00	15		0		2.80	

Tabla 17. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario matutino

Fuente: Autor

Fecha: 18/06/2019 Aforador: Jean Carlo Rivera Entrada: E4						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
6:00 - 6:15	42	37	1	7	4.05	3.45
6:15 - 6:30	37	33	2	8	3.38	3.08
6:30 - 6:45	49	57	1	5	3.51	3.00
6:45 - 7:00	32	35	1	7	3.13	4.14
7:00 - 7:15	40	44	0	6	3.66	3.28
7:15 - 7:30	34	33	2	5	2.72	3.28
7:30 - 7:45	40	37	3	8	3.04	4.00
7:45 - 8:00	43	43	5	7	3.17	3.58

Tabla 18. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario matutino

Fuente: Autor

Fecha: 18/06/2019 Aforador: Esteban Luna Entrada: E5						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
6:00 - 6:15	50	8	0	1	3.88	2.92

6:15 - 6:30	86	9	1	2	4.01	2.31
6:30 - 6:45	96	11	2	1	2.83	3.78
6:45 - 7:00	88	14	4	1	2.89	2.92
7:00 - 7:15	85	15	1	2	5.67	3.64
7:15 - 7:30	92	16	0	2	3.08	1.92
7:30 - 7:45	80	15	1	0	3.62	2.56
7:45 - 8:00	53	3	3	0	2.91	3.80

Tabla 19. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario matutino

Fuente: Autor

Segundo día de aforo, medición vespertina.

Datos de Conteos Vehiculares Martes 18 de junio 2019 1:00p.m.-3:00a.m.						
Fecha: 18/06/2019 Aforador: Adrián Entrada: E1						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
13:00-13:15	32	34	7	1	2.22	1.82
13:15-13:30	43	40	10	4	1.83	1.89
13:30-13:45	40	41	4	3	2.40	2.30
13:45-14:00	43	35	2	2	2.03	2.10
14:00-14:15	36	41	7	5	2.69	3.43
14:15-14:30	27	38	3	4	2.41	2.06

14:30-14:45	60	57	2	3	2.03	1.64
14:45-15:00	48	55	1	5	1.89	1.80

Tabla 20. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario vespertino

Fuente: Autor

Fecha: 18/06/2019 Aforador: Christopher Entrada: E2						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
13:00-13:15	33	21	0	3	2.96	2.08
13:15-13:30	30	28	0	2	2.66	2.10
13:30-13:45	34	28	4	0	3.39	2.71
13:45-14:00	34	31	1	3	2.88	2.89
14:00-14:15	32	29	1	2	3.11	2.59
14:15-14:30	43	31	1	4	2.97	3.72
14:30-14:45	34	18	0	1	3.57	2.53
14:45-15:00	22	21	1	1	3.57	2.58

Tabla 21. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario vespertino

Fuente: Autor

Fecha: 18/06/2019 Aforador: Kattia Entrada: E3						
--	--	--	--	--	--	--

Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
13:00-13:15	43	No aplica	4	No aplica	3.05	No aplica
13:15-13:30	22		0		2.88	
13:30-13:45	46		0		3.21	
13:45-14:00	33		3		2.97	
14:00-14:15	44		3		2.67	
14:15-14:30	35		1		3.03	
14:30-14:45	45		0		3.66	
14:45-15:00	41		1		3.13	

Tabla 22. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario vespertino

Fuente: Autor

Fecha: 18/06/2019 Aforador: Guiselle Entrada: E4						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
13:00-13:15	44	53	22	21	5.55	6.11
13:15-13:30	29	51	16	11	3.78	5.86
13:30-13:45	41	59	14	12	3.44	3.08
13:45-14:00	33	58	9	9	3.10	2.86
14:00-14:15	22	56	7	12	3.09	4.21

14:15-14:30	48	91	6	8	2.33	3.56
14:30-14:45	47	106	6	7	3.31	4.01
14:45-15:00	45	95	7	7	4.07	3.56

Tabla 23. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario vespertino

Fuente: Autor

Fecha: 18/06/2019 Aforador: Sebastián Entrada: E5						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
13:00-13:15	16	2	1	0	2.78	2.04
13:15-13:30	28	2	0	0	2.45	2.69
13:30-13:45	24	1	1	2	2.50	2.57
13:45-14:00	24	0	1	0	2.91	0.00
14:00-14:15	28	0	2	0	2.24	0.00
14:15-14:30	20	0	2	0	2.09	0.00
14:30-14:45	40	2	5	0	2.49	2.73
14:45-15:00	18	0	1	1	1.50	2.24

Tabla 24. Aforos vehiculares para el día martes 18 de junio de 2019 horario vespertino

Fuente: Autor

Tercer día de aforo, medición vespertina.

Datos de Conteos Vehiculares miércoles 19 de junio 2019 3:00p.m.-5:00p.m.

Fecha: 19/06/2019 Aforador: Adrián Entrada: E1						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
15:00-15:15	75	58	1	2	2.26	2.08
15:15-15:30	88	75	1	4	2.45	2.23
15:30-15:45	66	67	3	1	2.04	2.00
15:45-16:00	50	44	2	2	2.23	2.01
16:00-16:15	65	79	4	2	2.06	1.83
16:15-16:30	73	65	4	3	1.83	2.04
16:30-16:45	78	92	1	4	2.21	2.06
16:45-17:00	79	87	3	5	2.08	1.90

Tabla 25. Aforos vehiculares para el día miércoles 19 de junio de 2019 horario vespertino

Fuente: Autor

Fecha: 19/06/2019 Aforador: Christopher Entrada: E2						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
15:00-15:15	33	37	2	1	3.11	2.39
15:15-15:30	34	34	1	4	3.03	2.55
15:30-15:45	31	18	2	0	3.15	2.16
15:45-16:00	43	33	0	0	3.71	2.63

16:00-16:15	44	38	2	1	3.81	3.02
16:15-16:30	38	30	1	3	3.33	3.08
16:30-16:45	39	28	1	1	3.10	2.69
16:45-17:00	38	27	1	0	3.68	2.43

Tabla 26. Aforos vehiculares para el día miércoles 19 de junio de 2019 horario vespertino

Fuente: Autor

Fecha: 19/06/2019 Aforador: Kattia Entrada: E3						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
15:00-15:15	30	No aplica	3	No aplica	3.61	No aplica
15:15-15:30	44		1		2.84	
15:30-15:45	44		1		2.37	
15:45-16:00	42		3		3.00	
16:00-16:15	51		0		3.26	
16:15-16:30	48		2		2.87	
16:30-16:45	59		0		2.96	
16:45-17:00	63		2		3.56	

Tabla 27. Aforos vehiculares para el día miércoles 19 de junio de 2019 horario vespertino

Fuente: Autor

Fecha: 19/06/2019 Aforador: Guiselle Entrada: E4						
--	--	--	--	--	--	--

Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
15:00-15:15	49	103	10	8	4.76	4.13
15:15-15:30	52	105	5	12	3.62	3.87
15:30-15:45	60	113	10	13	2.63	4.20
15:45-16:00	61	127	16	16	3.88	3.03
16:00-16:15	66	139	3	4	2.84	3.38
16:15-16:30	66	138	9	6	3.50	2.90
16:30-16:45	56	126	5	4	3.30	3.39
16:45-17:00	58	124	4	3	3.48	2.26

Tabla 28. Aforos vehiculares para el día miércoles 19 de junio de 2019 horario vespertino

Fuente: Autor

Fecha: 19/06/2019 Aforador: Sebastián Entrada: E5						
Hora	Livianos Carril Izquierdo	Livianos Carril Derecho	Pesados Carril Izquierdo	Pesados Carril Derecho	Intervalo Crítico Carril Izquierdo(s)	Intervalo Crítico Carril Derecho(s)
15:00-15:15	22	1	0	1	2.13	3.13
15:15-15:30	27	0	1	0	1.78	0.00
15:30-15:45	25	0	1	1	2.26	3.33
15:45-16:00	35	0	0	0	2.11	0.00
16:00-16:15	26	0	1	0	1.82	0.00
16:15-16:30	21	1	2	1	2.06	2.11

16:30-16:45	32	1	0	2	1.80	1.75
16:45-17:00	32	1	0	0	1.69	1.50

Tabla 29. Aforos vehiculares para el día miércoles 19 de junio de 2019 horario vespertino

Fuente: Autor

La recomendación dada por el ingeniero Jose María Ulate fue realizar al menos una de las 4 mediciones en un horario donde el flujo vehicular fuera crítico. En el caso de esta investigación los aforos realizados en la jornada de la mañana contenían un flujo vehicular bastante crítico en la entrada 1, o sea, los vehículos provenientes de Paso Ancho. Además, en la jornada de la tarde se apreció que en la entrada 4 el flujo vehicular aumentaba considerablemente conforme pasaban las horas.

3.2 Resultados y datos obtenidos

Teniendo los datos debidamente tabulados, se tiene como referencia el método para estimar la capacidad y demoras en las intersecciones tipo rotonda de Costa Rica creado por el Ingeniero Mario Durán del cual se sigue un paso a paso de lo que se necesita analizar para efectuar un análisis de distribución de volumen vehicular que, además, pueda tener la capacidad de hacer una comparación entre los intervalos críticos que se tomaron en campo y los establecidos por esta metodología.

3.2.1 Obtención de ángulo de entrada

Siguiendo los pasos que se mencionaron en el punto dos y tres del inciso 2.8.1.1 se logra hacer lo estipulado y se logran los siguientes resultados.

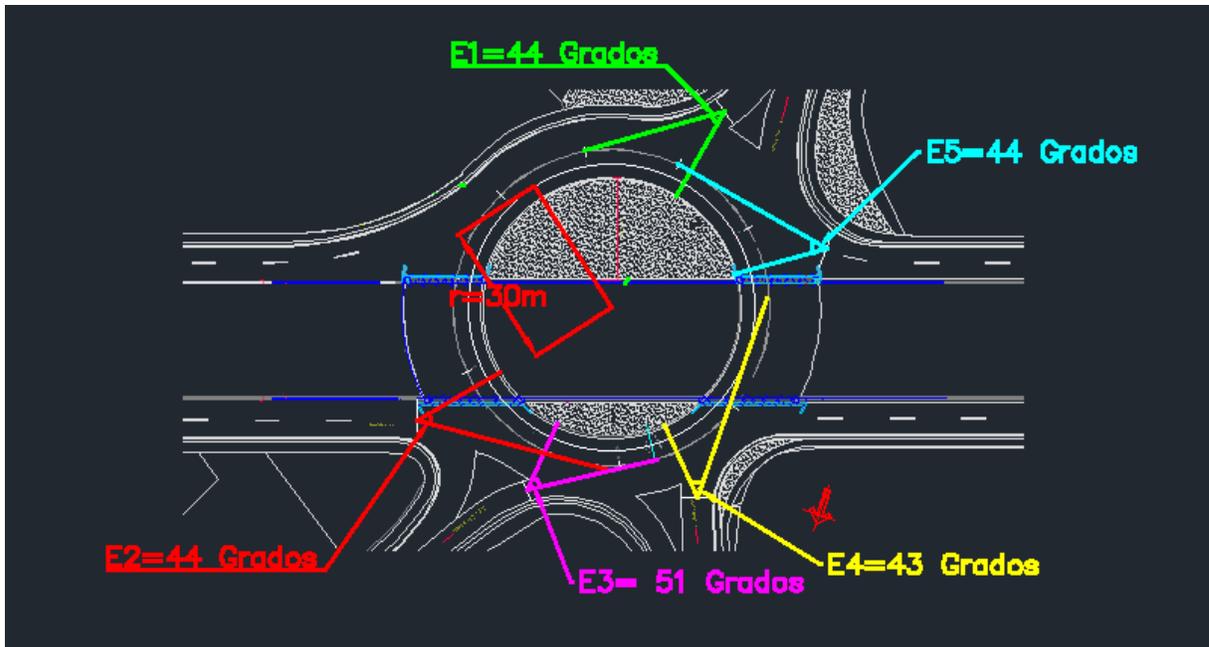


Ilustración 15. Formación de los ángulos de entrada en la rotonda de Paso Ancho

Fuente: Autor

Donde se menciona que el intervalo correspondiente a la rotonda de Paso Ancho tiene un tiempo de 4,2 segundos, esto ya que según las características de la misma se aprecian ángulos mayores a 40 grados, pero menores a 60 grados formado en la entrada a la rotonda y el centro de la corriente principal, dando origen a una entrada de origen normal como se muestra en la figura 20 el cual ilustra la formación de dicho ángulo.

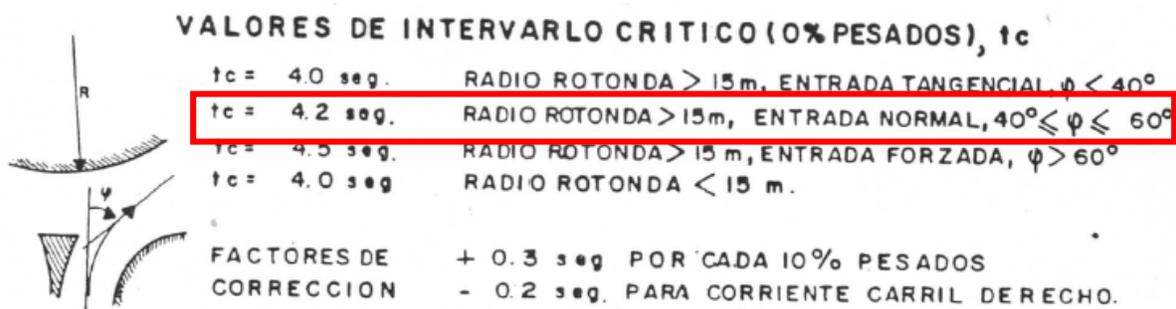


Ilustración 16. Ángulo de entrada en rotonda e intervalos críticos estimados por el método para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotonda en Costa Rica

Fuente: Método para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotonda en Costa Rica

Según los aforos realizados se nota una diferencia en los tiempos bastante similar a los intervalos críticos propuestos por la metodología por lo que se realizará un análisis de los datos obtenidos en los conteos vehiculares para demostrar las causas que incidieron en la variación de los intervalos críticos.

Según la metodología expuesta por el ingeniero Mario Durán cada 10% de vehículos pesados provocan un aumento de tiempo en los intervalos críticos ya que la duración del desplazamiento que realizan estos automotores para entrar a la corriente principal implica un tiempo más elevado debido a razones como el peso del vehículo, la dificultad en la manipulación de las marchas del automotor o hasta la poca visibilidad que se tiene a la hora de conducir.

3.3.1. Aforos vehiculares realizados el viernes 14 de junio medición matutina

En la siguiente tabla se puede observar la cantidad de vehículos y el porcentaje de cada uno de los tipos de vehículos que se tomaron en cuenta en el aforo vehicular.

Entrada	Cantidad Vehículos Livianos	Cantidad Vehículos Pesados	Total	Porcentaje Vehículos Livianos	Porcentaje Vehículos Pesados
Entrada 1	1843	140	1983	93%	7%
Entrada 2	510	41	551	93%	7%
Entrada 3	216	19	235	92%	8%

Entrada 4	707	54	761	93%	7%
Entrada 5	554	53	607	91%	9%

Tabla 30. Porcentaje de la distribución de los vehículos en el aforo matutino del 14 de junio de 2019

Fuente: Autor

A continuación, se presenta la tabla 31 que refleja la cantidad de vehículos que pasaron por cada uno de los carriles de las cinco entradas en intervalos de quince minutos que, además, la cual nos da un panorama claro de los datos que se obtuvieron en campo sin aplicar ninguna modificación debido a que según la metodología para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotonda de Costa Rica. Además, se expone la cantidad de vehículos que circularon por cada una de las entradas de la rotonda las cuales se ven descritas en la imagen 8 del presente documento.

Entrada	Vehículos carril Izquierdo	Vehículos carril Derecho	Intervalo crítico carril izquierdo(s)	Intervalo crítico carril derecho(s)	Intervalo Metodología Durán(s)
Entrada 1	1179	804	4.21	3.93	4.2
Entrada 2	236	315	2.69	2.68	4.2
Entrada 3	235	0	3.32	0	4.2
Entrada 4	370	391	3.16	2.52	4.2
Entrada 5	474	133	2.74	2.88	4.2

Tabla 31. Cantidad de vehículos por carril e intervalos críticos del aforo matutino del 14 de junio de 2019

Fuente: Autor

3.3.2. Aforos vehiculares realizados el martes 18 de junio medición matutina

En la siguiente tabla se puede observar la cantidad de vehículos y el porcentaje de cada uno de los tipos de vehículos que se tomaron en cuenta en el aforo vehicular.

Entrada	Cantidad Vehículos Livianos	Cantidad Vehículos Pesados	Total	Porcentaje Vehículos Livianos	Porcentaje Vehículos Pesados
Entrada 1	2303	117	2420	95%	5%
Entrada 2	393	37	430	16%	2%
Entrada 3	186	13	199	8%	1%
Entrada 4	636	68	704	26%	3%

Entrada 5	721	21	742	30%	1%
-----------	-----	----	-----	-----	----

Tabla 32. Porcentaje de la distribución de los vehículos en el aforo matutino del 18 de junio de 2019

Fuente: Autor

A continuación, se presenta la tabla 33 que refleja la cantidad de vehículos que pasaron por cada uno de los carriles de las cinco entradas en intervalos de quince minutos que, además, la cual nos da un panorama claro de los datos que se obtuvieron en campo sin aplicar ninguna modificación debido a que según la metodología para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotonda de Costa Rica. Además, se expone la cantidad de vehículos que circularon por cada una de las entradas de la rotonda las cuales se ven descritas en la imagen 8 del presente documento.

Entrada	Vehículos carril Izquierdo	Vehículos carril Derecho	Intervalo Carril Izquierdo	Intervalo Carril Derecho	Intervalo Metodología Durán
Entrada 1	1419	1001	3.28	2.37	4.2
Entrada 2	188	242	3.59	3.33	4.2
Entrada 3	199	0	3.93	0	4.2
Entrada 4	332	372	3.33	3.48	4.2
Entrada 5	642	100	3.61	2.98	4.2

Tabla 33. Cantidad de vehículos por carril e intervalos críticos del aforo matutino del 18 de junio de 2019

Fuente: Autor

3.3.3. Aforos vehiculares realizados el martes 18 de junio medición vespertina

En la siguiente tabla se puede observar la cantidad de vehículos y el porcentaje de cada uno de los tipos de vehículos que se tomaron en cuenta en el aforo vehicular.

Entrada	Cantidad Livianos	Cantidad Pesados	Total	Porcentaje Livianos	Porcentaje pesados
Entrada 1	670	63	733	91%	9%
Entrada 2	469	24	493	95%	5%
Entrada 3	309	12	321	96%	4%
Entrada 4	878	174	1052	83%	17%

Entrada 5	205	16	221	93%	7%
-----------	-----	----	-----	-----	----

Tabla 34. Porcentaje de la distribución de los vehículos en el aforo vespertino del 18 de junio de 2019

Fuente: Autor

A continuación, se presenta la tabla 35 que refleja la cantidad de vehículos que pasaron por cada uno de los carriles de las cinco entradas en intervalos de quince minutos que, además, la cual nos da un panorama claro de los datos que se obtuvieron en campo sin aplicar ninguna modificación debido a que según la metodología para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotonda de Costa Rica. Además, se expone la cantidad de vehículos que circularon por cada una de las entradas de la rotonda las cuales se ven descritas en la imagen 8 del presente documento.

Entrada	Vehículos carril Izquierdo	Vehículos carril Derecho	Intervalo crítico carril izquierdo(s)	Intervalo crítico carril derecho(s)	Intervalo Metodología Durán(s)
Entrada 1	365	368	2.19	2.13	4.2
Entrada 2	270	223	3.14	2.65	4.2
Entrada 3	714	0	3.07	0	4.2
Entrada 4	926	1697	3.58	4.16	4.2
Entrada 5	436	19	2.37	2.45	4.2

Tabla 35. Cantidad de vehículos por carril e intervalos críticos del aforo vespertino del 18 de junio de 2019

Fuente: Autor

3.3.4 Aforos vehiculares realizados el miércoles 19 de junio medición vespertina

En la siguiente tabla se puede observar la cantidad de vehículos y el porcentaje de cada uno de los tipos de vehículos que se tomaron en cuenta en el aforo vehicular.

Entrada	Cantidad Livianos	Cantidad Pesados	Total	Porcentaje Livianos	Porcentaje pesados
Entrada 1	1141	42	1183	96%	4%
Entrada 2	545	20	565	96%	4%
Entrada 3	381	12	393	97%	3%
Entrada 4	1443	128	1571	92%	8%
Entrada 5	224	10	234	96%	4%

Tabla 36. Porcentaje de la distribución de los vehículos en el aforo vespertino del 19 de junio de 2019

Fuente: Autor

A continuación, se presenta la tabla 37 que refleja la cantidad de vehículos que pasaron por cada uno de los carriles de las cinco entradas en intervalos de quince minutos que, además, la cual nos da un panorama claro de los datos que se obtuvieron en campo sin aplicar ninguna modificación debido a que según la metodología para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotonda de Costa Rica. Además, se expone la cantidad de vehículos que circularon por cada una de las entradas de la rotonda las cuales se ven descritas en la imagen 8 del presente documento.

Entrada	Vehículos carril Izquierdo	Vehículos carril Derecho	Intervalo crítico carril izquierdo(s)	Intervalo crítico carril derecho(s)	Intervalo Metodología Durán(s)
Entrada 1	593	590	2.14	2.02	4.2
Entrada 2	310	255	3.37	2.62	4.2
Entrada 3	714	0	3.06	0	4.2
Entrada 4	926	1697	3.50	3.39	4.2
Entrada 5	436	19	1.96	2.36	4.2

Tabla 37. Cantidad de vehículos por carril e intervalos críticos del aforo vespertino del 19 de junio de 2019

Fuente: Autor

3.4 Percepción de los datos obtenidos

Según todos los componentes que se observaron en el campo se puede determinar que los volúmenes de vehículos pueden variar dependiendo de muchos factores que de una u otra forma logran afectar. Además, un dato que incide en las entradas dos, tres cuatro y cinco es que contienen volúmenes vehiculares bastante parecidos y no muy altos en comparación con la entrada uno, esto únicamente en aforos matutinos.

Cabe mencionar que existieron factores que distinguieron en la obtención de los intervalos críticos como la indecisión de los conductores a entrar a los carriles de circulación en la rotonda debido a malas maniobras que estaban dentro de dichos carriles de circulación, la distracción de estos con los acompañantes de sus carros

o hasta por atender el celular. Si bien es cierto, se puede apreciar en los datos recopilados que los intervalos críticos variaron en gran cantidad de segundos de una entrada a otra, en lo que también influye las horas en que se presenciaron dichas situaciones.

3.4.1 Análisis de la distribución vehicular y los intervalos críticos del aforo vehicular realizado el viernes 14 de junio de 2019 en horario matutino.

En la siguiente tabla se ilustrarán los resultados que hacen referencia a los datos obtenidos en campo con sus respectivos factores de corrección.

Cuadro comparativo 1. Aforo viernes 14 de junio de 6am a 8am								
Entrada	Vehiculos carril Izquierdo	Vehiculos carril Derecho	Porcentaje vehiculos carril izquierdo	Porcentaje vehiculos carril derecho	Porcentaje de pesados carril Izquierdo	Porcentaje de pesados carril Derecho	Porcentaje Vehicular	In
Entrada 1	1179	804	59.46%	40.54%	7.12%	6.97%	47.93%	
Entrada 2	236	315	42.83%	57.17%	10.17%	5.40%	13.32%	
Entrada 3	235	0	100.00%	0.00%	8.09%	0.00%	5.68%	
Entrada 4	370	391	48.62%	51.38%	1.62%	12.28%	18.39%	
Entrada 5	474	133	78.09%	21.91%	6.96%	15.04%	14.67%	

Cuadro comparativo 1. Aforo viernes 14 de junio de 6am a 8am										
Entrada	Vehiculos carril Izquierdo	Vehiculos carril Derecho	Porcentaje vehiculos carril izquierdo	Porcentaje vehiculos carril derecho	Porcentaje de pesados carril izquierdo	Porcentaje de pesados carril Derecho	Porcentaje Vehicular	Intervalo carril Izquierdo	Intervalo carril Derecho	Intervalo Metodología Durán
Entrada 1	1179	804	59.46%	40.54%	7.12%	6.97%	47.93%	4.21	3.81	4.2
Entrada 2	236	315	42.83%	57.17%	10.17%	5.40%	13.32%	2.84	2.51	4.2
Entrada 3	235	0	100.00%	0.00%	8.09%	0.00%	5.68%	3.47	0	4.2
Entrada 4	370	391	48.62%	51.38%	1.62%	12.28%	18.39%	3.16	2.55	4.2
Entrada 5	474	133	78.09%	21.91%	6.96%	15.04%	14.67%	2.81	2.98	4.2

Tabla 38. Cuadro comparativo 1

Fuente: Autor

- Entrada 1: Los intervalos críticos obtenidos en esta entrada con su respectivo factor de corrección se acercaron en gran proporción a los propuestos por el ingeniero Mario Durán los cuales en los dos carriles tienen una variación máxima de 0.21 segundos. En esta entrada se tuvo casi el 48% de los vehículos contabilizados en este aforo, dado esto de todas las entradas esta fue la que también tuvo sus intervalos críticos más elevados.
- Entrada 2: El tiempo del intervalo crítico del carril derecho fue el más bajo de todo el aforo con un tiempo de 2.51 segundos el cual se genera debido a la facilidad de entrar a la corriente principal debido a que la mayoría de los vehículos de la entrada 1 en su mayoría transitaban por el carril interno de la corriente principal, situación que facilitaba el acceso a la rotonda para los vehículos del carril derecho ubicado en la entrada 2. Por su parte el intervalo crítico del carril izquierdo de 2.81 segundos se mantuvo en un rango promedio en comparación con los demás intervalos críticos medidos en este aforo.
- Entrada 3: En esta entrada solo se contaba con un carril por lo que se tomó como un carril izquierdo donde a pesar de que su volumen vehicular fue el más bajo de todo el aforo el intervalo crítico se acercó sustancialmente al descrito en la metodología realizada por el ingeniero Mario Durán con un tiempo de 3.47 segundos. Un factor que pudo afectar el aumento de este intervalo crítico fue la rapidez con la que los vehículos de la entrada 2 ingresaban a la corriente principal de la rotonda, en especial los vehículos que transitaban por el carril derecho.
- Entrada 4: Se detectó que en horas de la mañana esta es la segunda entrada con mayor flujo vehicular con un porcentaje de poco más del 18% con base en la totalidad de los vehículos contabilizados. La mayoría de estos vehículos provienen de San Jose donde además se presenció gran cantidad de autobuses que circulaban en el carril derecho los cuales casi no respetaban

la señal de ceda correspondiente y producto del bajo flujo vehicular en esa ubicación los conductores pasaban a velocidades elevadas para ser una intersección tipo rotonda. Por esto se pudo obtener uno de los intervalos críticos más bajos con un tiempo de 2.55 segundos, en el caso del intervalo crítico para los vehículos que transitaron por el carril izquierdo con un tiempo de 3.16 segundos fue suficiente para concretar que está bastante cerca de los 4 segundos que define la metodología del ingeniero Mario Durán.

- Entrada 5: Se logró evidenciar que en esta entrada se estuvieron dos de los tres intervalos críticos de todo en aforo con tiempos de 2.81 y 2.98 para los carriles izquierdo y derecho respectivamente. Dado que en esta ubicación se pudo ver un volumen vehicular bastante bajo, la facilidad para que los vehículos de esta entrada logaran ingresar a la corriente principal de la rotonda era bastante, se daba con frecuencia.

Un dato que se diferencia de todos los demás es que solo en esta entrada en intervalo crítico del carril derecho es mayor al del carril izquierdo con 0.17 segundos más, esto porque se observó que la visibilidad en este punto no era la más adecuada producto de los vehículos del carril izquierdo y un muro que dificulta la visibilidad de los vehículos de la corriente principal como se muestra en la siguiente imagen.



Ilustración 17. Muro ubicado en entrada 5 que dificulta la visibilidad.

Fuente: Autor

A continuación, se muestra un gráfico donde se comparan los tiempos obtenidos en campo de los intervalos críticos de los dos carriles involucrados en cada una de las entradas (a excepción de la entrada 3) y el tiempo del intervalo crítico definido por la metodología del ingeniero Mario Durán.

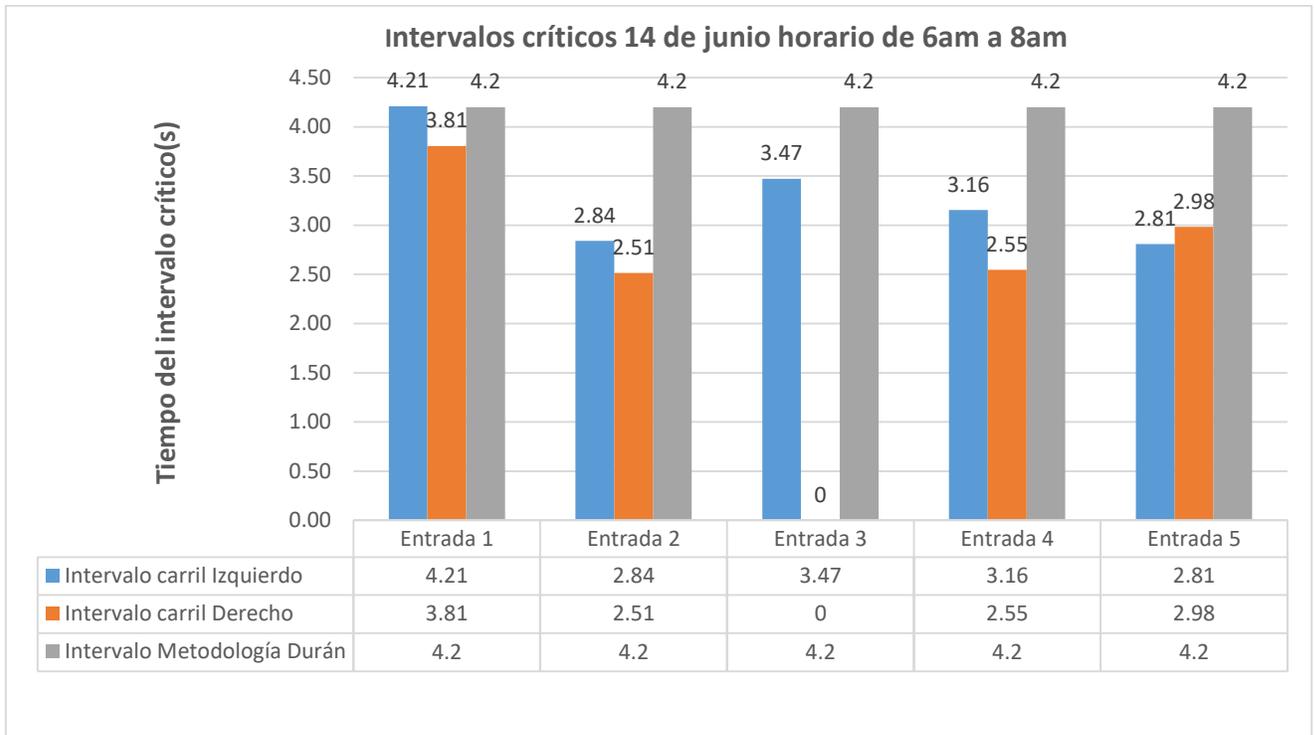


Gráfico 1. Gráfico comparativo viernes 14 de junio horario matutino

Fuente: Autor

3.4.2 Análisis de la distribución vehicular y los intervalos críticos del aforo vehicular realizado el martes 18 de junio de 2019 en horario matutino.

En la siguiente tabla se ilustrarán los resultados que hacen referencia a los datos obtenidos en campo con sus respectivos factores de corrección.

Cuadro comparativo 2. Aforo martes 18 de junio de 6am a 8am								
Entrada	Vehiculos carril Izquierdo	Vehiculos carril Derecho	Porcentaje vehiculos carril izquierdo	Porcentaje vehiculos carril derecho	Porcentaje de pesados carril Izquierdo	Porcentaje de pesados carril Derecho	Porcentaje Vehicular	Interv carril Izquierdo
Entrada 1	1419	1001	58.64%	41.36%	5.07%	4.50%	53.84%	3.28
Entrada 2	188	242	43.72%	56.28%	8.51%	8.68%	9.57%	3.71
Entrada 3	199	0	100.00%	0.00%	6.53%	0.00%	4.43%	3.04
Entrada 4	332	372	47.16%	52.84%	4.52%	14.25%	15.66%	3.37
Entrada 5	642	100	86.52%	13.48%	1.87%	9.00%	16.51%	3.62

Cuadro comparativo 2. Aforo martes 18 de junio de 6am a 8am										
Entrada	Vehículos carril izquierdo	Vehículos carril Derecho	Porcentaje vehículos carril izquierdo	Porcentaje vehículos carril derecho	Porcentaje de pesados carril izquierdo	Porcentaje de pesados carril Derecho	Porcentaje Vehicular	Intervalo carril izquierdo	Intervalo carril Derecho	Intervalo Metodología Durán
Entrada 1	1419	1001	58.64%	41.36%	5.07%	4.50%	53.84%	3.28	2.17	4.2
Entrada 2	188	242	43.72%	56.28%	8.51%	8.68%	9.57%	3.71	3.20	4.2
Entrada 3	199	0	100.00%	0.00%	6.53%	0.00%	4.43%	3.04	0	4.2
Entrada 4	332	372	47.16%	52.84%	4.52%	14.25%	15.66%	3.37	3.54	4.2
Entrada 5	642	100	86.52%	13.48%	1.87%	9.00%	16.51%	3.61	2.93	4.2

Tabla 39. Cuadro comparativo 2

Fuente: Autor

- Entrada 1: Se presenta una situación bastante similar a la del viernes 14 de junio. Casi el 54% del volumen vehicular que se tomó en cuenta para el estudio transitó por la entrada 1, generando intervalos críticos para el carril izquierdo y carril derecho de 3.28 segundos y 2.17 segundos respectivamente. En el caso del intervalo crítico del carril izquierdo se mantiene cerca de lo estipulado por la metodología en estudio, no así el intervalo crítico del carril derecho el que debido al bajo flujo vehicular que recibe desde las entradas 4 y 5 logra ser reducido en casi dos segundos, lo que hace distinguir este dato de los mencionados en la metodología.
- Entrada 2: Se determina que el segundo volumen vehicular más bajo del aforo realizado se encuentra en la entrada 2, en la que los intervalos críticos del carril izquierdo y el carril izquierdo fueron 3.71 y 3.20 respectivamente la

cual se ven influidos por la cantidad de vehículos de la corriente principal que retrasan la entrada a los carriles de la rotonda. A diferencia del primer día de mediciones se pudo determinar que existió mayor flujo vehicular, a lo que se puede crear una relación al aumento en los tiempos de los intervalos críticos, donde, además, se puede mencionar que estos aumentos o disminuciones en los intervalos críticos no manejan ningún patrón por lo cual pueden variar, pero siempre mantiene su comportamiento de cercanía a los intervalos descritos en la metodología del ingeniero Mario Durán.

- Entrada 3: Se evidencia el volumen vehicular más bajo del aforo con solamente 199 vehículos representando solo el 4.43% de los vehículos tomados en cuenta en los conteos vehiculares de todas las entradas. El intervalo crítico del único carril que tiene la entrada presentó una disminución, lo cual se puede mencionar que la disminución de los vehículos y el aumento en los intervalos críticos de la entrada dos pudo tener un impacto que logró disminuir el intervalo crítico de la entrada tres.
- Entrada 4: El flujo vehicular en esta entrada tuvo una disminución de casi 100 vehículos en comparación con el primer aforo, pero tuvo un aumento en los intervalos críticos de los dos carriles. El rápido acceso de los vehículos de la entrada 3 y el constante paso de los vehículos de la entrada dos por la corriente principal pudieron tener impacto en el aumento de los mismos. Se observó muchas veces que los vehículos de la entrada dos se desviaban hacia la salida que se ubica junto a la entrada cuatro sin poner direccionales por lo que los conductores de la entrada cuatro en este lapso de horario dudaban muchas veces de realizar la maniobra de entrada rápidamente hacia la corriente principal. Dado esto se tuvieron intervalos críticos de 3.37 y 3.54 para los carriles izquierdo y derecho de la entrada 4, lo que generó una diferencia de 0.21 segundos para el carril izquierdo y casi un segundo para el carril derecho.
- Entrada 5: El comportamiento de los intervalos críticos varió en gran cantidad en comparación con los obtenidos en el primer aforo realizado el día viernes. Se tuvo un aumento de 1.2 segundos para el intervalo del carril izquierdo y

una disminución de 0.05 segundos para el intervalo crítico del carril derecho, dado esto queda en evidencia lo que se observó por el aforador Esteban Luna ese día el cual observó que en esta ubicación de la rotonda la mayoría de vehículos de la corriente principal circulan por el carril interno de la rotonda lo que dificulta el ingreso de los vehículos del carril izquierdo a la rotonda, no siendo así para los vehículos del carril derecho los cuales no tuvieron mayor problema para el ingreso a la corriente principal.

A continuación, se muestra un gráfico donde se comparan los tiempos obtenidos en campo de los intervalos críticos de los dos carriles involucrados en cada una de las entradas (a excepción de la entrada 3) y el tiempo del intervalo crítico definido por la metodología del ingeniero Mario Durán.

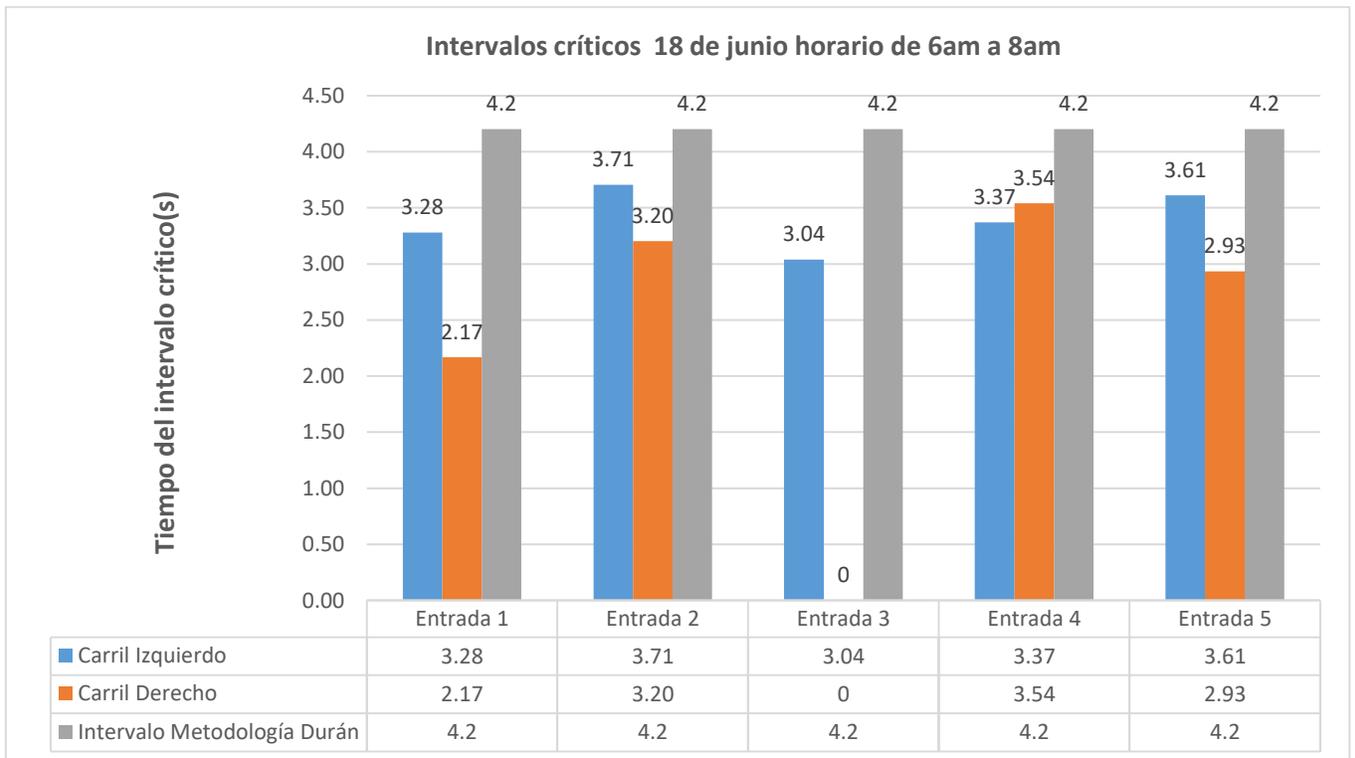


Gráfico 2. Gráfico comparativo martes 18 de junio horario matutino

Fuente: Autor

3.4.3 Análisis de la distribución vehicular y los intervalos críticos del aforo vehicular realizado el martes 18 de junio de 2019 en horario vespertino.

En la siguiente tabla se ilustrarán los resultados que hacen referencia a los datos obtenidos en campo con sus respectivos factores de corrección.

Cuadro comparativo 3. Aforo martes 18 de junio de 1pm a 3pm								
Entrada	Vehiculos carril Izquierdo	Vehiculos carril Derecho	Porcentaje vehiculos carril izquierdo	Porcentaje vehiculos carril derecho	Porcentaje de pesados carril izquierdo	Porcentaje de pesados carril Derecho	Porcentaje Vehicular	Intervalo carril izquierdo
Entrada 1	365	368	49.80%	50.20%	9.86%	7.34%	14.61%	2.34
Entrada 2	270	223	54.77%	45.23%	2.96%	7.17%	9.82%	3.18
Entrada 3	714	0	100.00%	0.00%	3.74%	0.00%	14.23%	3.07
Entrada 4	926	1697	35.30%	64.70%	21.97%	13.26%	52.27%	4.15
Entrada 5	436	19	95.82%	4.18%	6.16%	30.00%	9.07%	2.41

Cuadro comparativo 3. Aforo martes 18 de junio de 1pm a 3pm										
Entrada	Vehículos carril Izquierdo	Vehículos carril Derecho	Porcentaje vehiculos carril izquierdo	Porcentaje vehiculos carril derecho	Porcentaje de pesados carril izquierdo	Porcentaje de pesados carril Derecho	Porcentaje Vehicular	Intervalo carril izquierdo	Intervalo carril Derecho	Intervalo Metodología Durán
Entrada 1	365	368	49.80%	50.20%	9.86%	7.34%	14.61%	2.34	1.97	4.2
Entrada 2	270	223	54.77%	45.23%	2.96%	7.17%	9.82%	3.18	2.53	4.2
Entrada 3	714	0	100.00%	0.00%	3.74%	0.00%	14.23%	3.07	0	4.2
Entrada 4	926	1697	35.30%	64.70%	21.97%	13.26%	52.27%	4.15	4.18	4.2
Entrada 5	436	19	95.82%	4.18%	6.16%	30.00%	9.07%	2.41	3.21	4.2

Tabla 40. Cuadro comparativo 3

Fuente: Autor

- Entrada 1: Para esta medición vehicular los datos cambiaron drásticamente en comparación con los aforos realizados anteriormente debido a que en

horas de la tarde los residentes de paso ancho dejan de desplazarse a sus trabajos como mayoritariamente se da en horas tempranas. Por esta razón el volumen vehicular que circula por esta entrada se redujo sustancialmente en comparación a los dos aforos anteriores pasando a solamente un 14.61% del volumen total tomado en cuenta. Además, los intervalos críticos también tuvieron una reducción en su tiempo y alguna de las razones con más peso fue que al tener tanta visibilidad en esta entrada y donde muy pocas veces se tuvo cola de vehículos los vehículos ni siquiera detenían su vehículo en la señal de ceda, sino que directamente ingresaban a la corriente principal generando intervalos críticos más cortos los cuales se redujeron casi a la mitad en el caso del carril izquierdo con un tiempo de 2.34 segundos. En cuanto al intervalo crítico del carril derecho se presentó una reducción de casi 2 segundos, teniendo un tiempo de 1.97 segundos siendo el intervalo más corto de acuerdo con los tomados en toda la medición.

- Entrada 2: El porcentaje del volumen vehicular en esta entrada se mantuvo constante en este tercer aforo con un 9.82% para un total de 493 vehículos. Además, sus intervalos críticos fueron de 3.18 segundos y 2.53 segundos manteniéndose por debajo de los obtenidos en el aforo matutino del 18 de junio y por encima de los intervalos obtenidos el viernes 14 de junio en horario matutino, manteniendo una variación no mayor a 1 segundo. Esta variación en los datos
- Entrada 3: A diferencia de los aforos anteriores en este caso la entrada no fue la que registró el menor volumen vehicular en esta franja horaria sino llegó a contener solamente 0.38% menos vehículos que la entrada 1 con un porcentaje de 14.23% generando demoras más elevadas que forzaban también a que el conductor que estaba al frente de la fila de vehículos hiciera la maniobra de ingreso a la corriente principal de manera más rápida. Se puede decir que los intervalos críticos se mantuvieron constante aumentando únicamente 0.03 segundos más que en el aforo realizado el mismo día, pero en horario matutino. Este tiempo fue de 3.07 el cual además

generaba un flujo vehicular en la corriente principal que mayoritariamente afectaba al ingreso a la rotonda de los vehículos de la entrada 4.

- Entrada 4: Más de la mitad de los vehículos tomados en cuenta para el aforo circularon por esta entrada siendo en esta franja horaria la entrada con más volumen vehicular con un 52.27% lo que afectó el ingreso hacia la corriente principal de las entradas 5 y 1.

Se logra registrar intervalos críticos que aumentaron de forma contundente ya que para el carril izquierdo se obtuvo un tiempo de 4.15 segundos y para el carril derecho se obtuvo un tiempo de 4.18 segundos teniendo estos un aumento de al menos 0.28 segundos en el carril izquierdo y de 0.24 segundos en el carril derecho. Dado esto, se puede deducir que el aumento en el flujo vehicular afecta al aumento de los intervalos críticos, los cuales se ven afectados también por el aumento del flujo vehicular en la entrada 3 que, además, también redujo el tiempo de sus intervalos críticos en esta franja horaria.

- Entrada 5: El siguiente caso fue la entrada donde se detalló menor flujo vehicular debido a que a lo largo de todos los intervalos de 15 minutos que se midieron muy pocas veces circularon vehículos por el carril derecho lo que además hace referencia al alto tiempo del intervalo crítico de ese carril que fue 3.21 segundos lo que en ninguno de los dos aforos realizados anteriormente se había dado por lo que se procedió a observar el comportamiento típico del lugar y se logra constatar que muchas veces los vehículos que transitan en el carril derecho tienen una obstrucción visual a raíz de un muro que divide el paso peatonal del puente con el paso vehicular, además, la obstrucción visual generada por los vehículos que se ubican en el carril izquierdo como se muestra en la siguiente imagen:



Ilustración 18. Obstrucción visual a raíz de vehículos en carril izquierdo.

Fuente: Autor

Cabe mencionar que en el caso del intervalo críticos del carril izquierdo se obtuvo un tiempo de 2.41 segundos siendo un dato bastante reducido en comparación con los intervalos de las demás entradas a excepción del intervalo crítico de la entrada uno la cual es solamente 0.07 segundos más reducido con un tiempo de 2.34 segundos. El volumen vehicular presentado en esta zona representa la cantidad de vehículos más reducida con únicamente el 9.07% de la totalidad de los vehículos, lo que hace que los intervalos críticos de la entrada 1 sean suficientemente reducidos para estar por debajo de los dos anteriores aforos.

A continuación, se muestra un gráfico donde se comparan los tiempos obtenidos en campo de los intervalos críticos de los dos carriles involucrados en

cada una de las entradas (a excepción de la entrada 3) y el tiempo del intervalo crítico definido por la metodología del ingeniero Mario Durán.

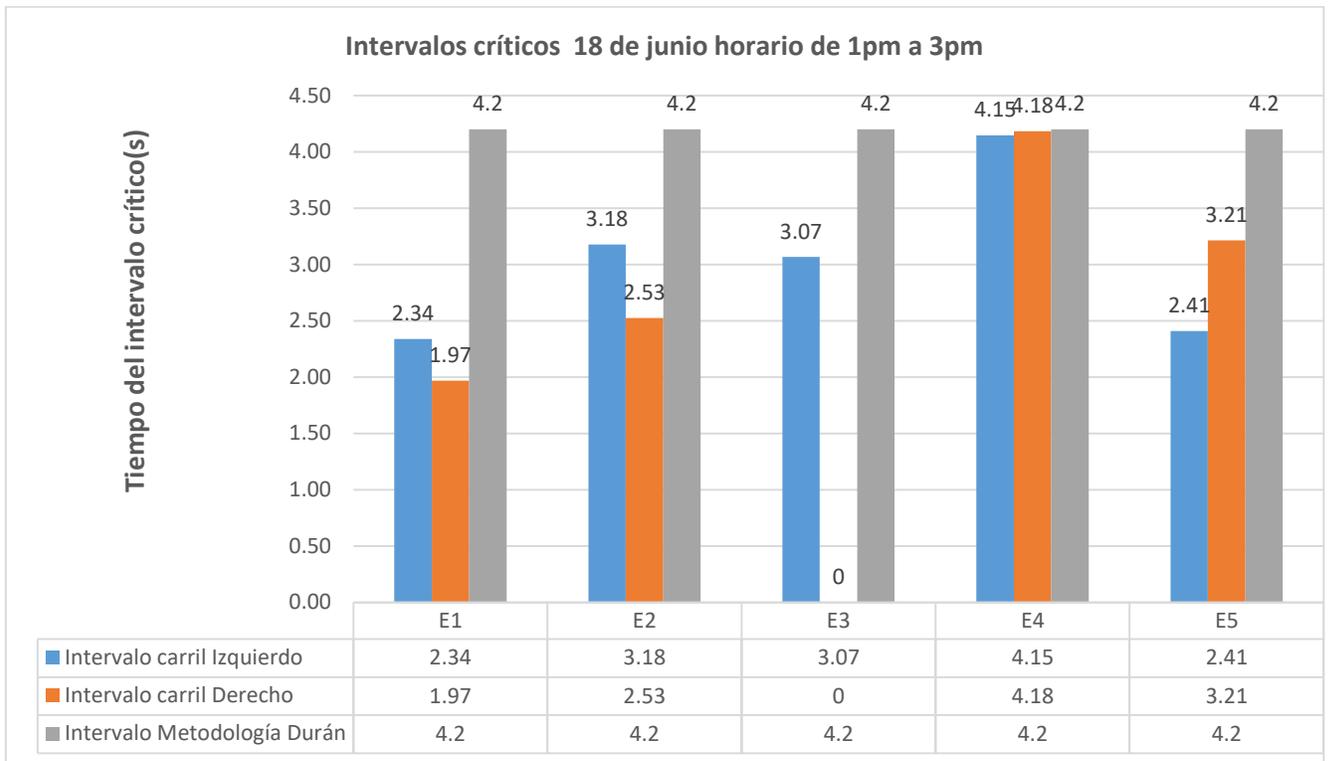


Gráfico 3. Gráfico comparativo martes 18 de junio horario vespertino

Fuente: Autor

3.4.4 Análisis de la distribución vehicular y los intervalos críticos del aforo vehicular realizado el miércoles 19 de junio de 2019 en horario matutino.

En la siguiente tabla se ilustrarán los resultados que hacen referencia a los datos obtenidos en campo con sus respectivos factores de corrección.

Cuadro comparativo 4. Aforo miércoles 19 de junio de 3pm a 5pm

Entrada	Vehiculos carril Izquierdo	Vehiculos carril Derecho	Porcentaje vehiculos carril izquierdo	Porcentaje vehiculos carril derecho	Porcentaje de pesados carril izquierdo	Porcentaje de pesados carril Derecho	Porcentaje Vehicular	Intervalo carril Izquierdo
Entrada 1	593	590	50.13%	49.87%	3.20%	3.90%	21.35%	2.14
Entrada 2	310	255	54.87%	45.13%	3.23%	3.92%	10.20%	3.37
Entrada 3	714	0	100.00%	0.00%	3.05%	0.00%	12.89%	3.06
Entrada 4	926	1697	35.30%	64.70%	11.70%	6.34%	47.35%	3.69

Entrada 5	436	19	95.82%	4.18%	2.22%	55.56%	8.21%	1.96
-----------	-----	----	--------	-------	-------	--------	-------	------

Cuadro comparativo 4. Aforo miércoles 19 de junio de 3pm a 5pm										
Entrada	Vehículos carril izquierdo	Vehículos carril Derecho	Porcentaje vehículos carril izquierdo	Porcentaje vehículos carril derecho	Porcentaje de pesados carril izquierdo	Porcentaje de pesados carril Derecho	Porcentaje Vehicular	Intervalo carril izquierdo	Intervalo carril Derecho	Intervalo Metodología Durán
Entrada 1	593	590	50.13%	49.87%	3.20%	3.90%	21.35%	2.14	1.82	4.2
Entrada 2	310	255	54.87%	45.13%	3.23%	3.92%	10.20%	3.37	2.46	4.2
Entrada 3	714	0	100.00%	0.00%	3.05%	0.00%	12.89%	3.06	0	4.2
Entrada 4	926	1697	35.30%	64.70%	11.70%	6.34%	47.35%	3.69	3.31	4.2
Entrada 5	436	19	95.82%	4.18%	2.22%	55.56%	8.21%	1.96	3.10	4.2

Tabla 41. Cuadro comparativo 4

Fuente: Autor

- Entrada 1: Para este horario en el que se realizó el aforo vehicular se presentaron condiciones diferentes a las que se pudieron apreciar en los aforos anteriores ya que el flujo vehicular aumento a 21.35% a diferencia del aforo realizado en horas de la tarde el día 18 de junio y disminuyó alrededor de la mitad en comparación con los aforos del día 14 y 18 de junio en horario matutino. En relación con los intervalos críticos se obtuvo una leve disminución en el intervalo crítico del carril izquierdo de 0.2 segundos generando un tiempo de 2.14 segundos, dada esta disminución se puede concretar que el volumen vehicular de la entrada 5 que en este aforo vehicular fue donde se presentó su menor porcentaje de flujo vehicular. Además, en el sitio se observó que la mayoría de los vehículos que circulaban por la entrada 4 se dirigían hacia la salida que se ubicaba justo al lado de la entrada 1 en dirección a Paso Ancho, donde en los aforos matutinos se recibía el mayor porcentaje de flujo vehicular. En el caso del

intervalo crítico del carril derecho se tuvo un tiempo de 1.82 segundos lo cual presentó una disminución de 0.15 en comparación al intervalo de esta misma ubicación, pero en el aforo del día 18 de junio en horario vespertino lo cual hace alusión a que se tenía muy poco flujo vehicular en la corriente principal que facilitaba el acceso a la rotonda. Estos datos permiten expresar que los intervalos críticos de la metodología del ingeniero Mario Durán se asemejan mucho a los obtenidos en esta entrada.

- Entrada 2: El porcentaje de vehículos que circularon por esta entrada se mantuvo similar en relación con la cantidad de vehículos que transitaron por esta entrada en el aforo del día 18 de junio en el horario vespertino teniendo un leve aumento de 0.38% para un porcentaje de 10.20% dado esto sus intervalos críticos también se mantuvieron bastante parecidos a los del aforo del día anterior solo tuvieron una leve diferencia. Realizando una comparación con los intervalos críticos de esta misma entrada en el horario vespertino el día 18 de junio se tiene que para el carril izquierdo aumentó en 0.19 segundos para un tiempo total de 3.37 segundos teniendo una situación similar al intervalo crítico del carril derecho que no varió sustancialmente y llegó a un tiempo de 2.46 segundos logrando una disminución únicamente de 0.07 segundos.

Los dos intervalos críticos obtenidos en esta entrada lograron asemejarse a los descritos por la metodología que se utiliza en esta investigación con diferencias no mayores a 2 segundos, lo cual permite seguir usando los 4 segundos establecidos para un intervalo crítico por medio de la metodología creada por el ingeniero Mario Durán.

- Entrada 3: A pesar de tener únicamente un carril el porcentaje del flujo vehicular en esta entrada aumento en comparación con los aforos matutinos con un porcentaje de 12.89%, eso sí, teniendo una disminución del 1.33% en comparación al aforo vespertino del día martes 18 de junio. Esta cantidad de vehículos presentó casi el mismo comportamiento del aforo del día anterior tanto así que el intervalo obtenido en esta entrada se mantuvo prácticamente igual solamente con un aumento de 0.01 segundos donde se pudieron

observar condiciones de retraso al ingresar a la rotonda por la cantidad de vehículos que provenían de las entradas 1 y 2.

- Entrada 4: Al igual que en el aforo del día 18 de junio se presenta el volumen vehicular más crítico representando casi la mitad de los vehículos que se tomaron en cuenta con un porcentaje de 47.35%. En cuanto a los intervalos críticos se detectó una reducción de 0.46 segundos en el carril izquierdo para un tiempo de 3.69 segundos, además, para el carril derecho se detectó también una reducción, pero en este caso de 0.87 segundos para un tiempo de 3.31 segundos. Estas dos comparaciones en los intervalos críticos se realizaron con respecto a los intervalos obtenidos en el aforo realizado el 18 de junio ya que sus comportamientos en campo fueron bastante similares, siendo a pesar de sus diferencias bastante similares a los intervalos críticos dados en la metodología.
- Entrada 5: Como se mencionó en el análisis de la entrada 1 de este aforo, se puede apreciar que el porcentaje más bajo de volumen vehicular se presentó en esta entrada con solo un 8.21%. Dado esto se logró detectar diferencias en los intervalos críticos donde el intervalo crítico del carril izquierdo tuvo una disminución de 0.45 segundos para un tiempo de 1.96 segundos. En cuanto al carril derecho se pudo reconocer una leve disminución de solamente 0.11 segundos en el intervalo crítico para un tiempo de 3.10 segundos que refleja lo observado en campo donde los vehículos que transitan por este carril duran más ingresando a la rotonda por temas de visibilidad con vehículos del carril izquierdo y un muro para el paso peatonal. Aun presentándose las disminuciones en los tiempos de los intervalos críticos se mantiene la semejanza con los intervalos descritos en la metodología hecha por el ingeniero Mario Durán.

A continuación, se muestra un gráfico donde se comparan los tiempos obtenidos en campo de los intervalos críticos de los dos carriles involucrados en cada una de las entradas (a excepción de la entrada 3) y el tiempo del intervalo crítico definido por la metodología del ingeniero Mario Durán.

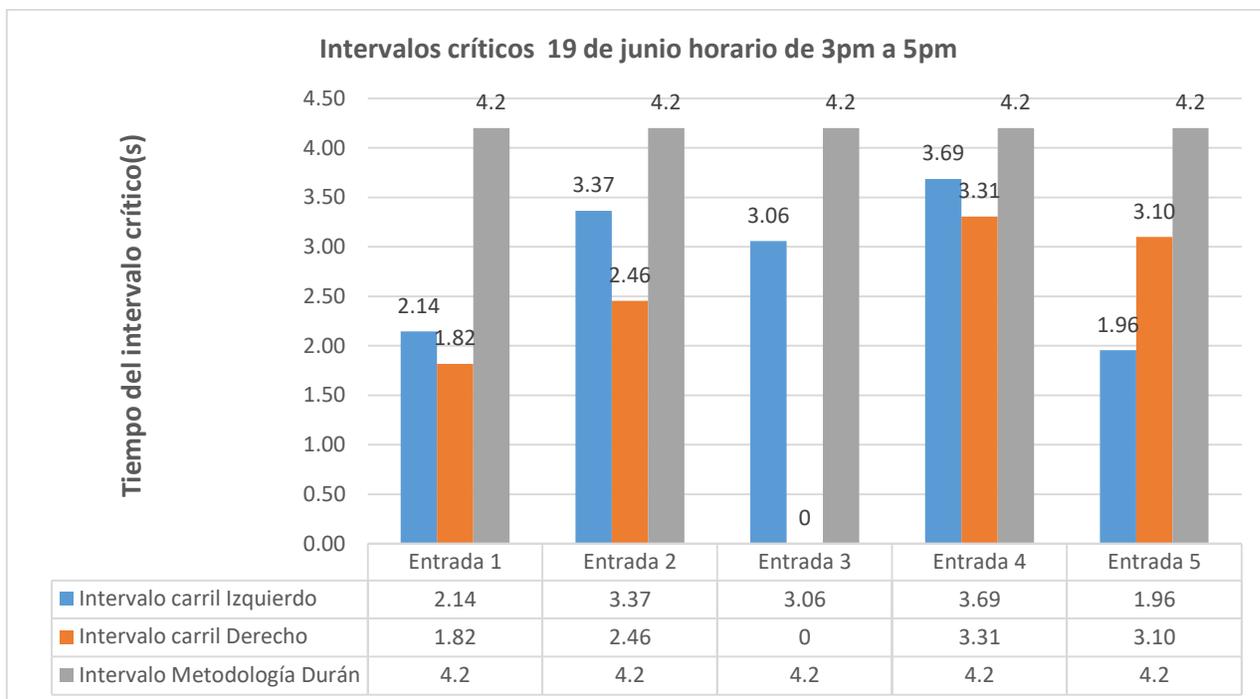


Gráfico 4. Gráfico comparativo miércoles 19 de junio horario vespertino

Fuente: Autor

3.4.5 Análisis de la distribución vehicular y los intervalos críticos obtenidos de los cuatro aforos vehiculares realizados

A continuación, se evidencian los intervalos críticos promedios de todas las entradas con sus respectivos carriles, los cuales ya incluyen los factores de corrección producto de la cantidad de vehículos pesados que circularon por cada una de las entradas.

Intervalo crítico promedio tomado en cada una de las entradas para todos los aforos realizados			
Entrada	Intervalo carril izquierdo	Intervalo carril derecho	Intervalo Metodología Duran
Entrada 1	2.99	2.44	4.2
Entrada 2	3.27	2.67	4.2
Entrada 3	3.16	-	4.2
Entrada 4	3.59	3.39	4.2
Entrada 5	2.70	3.06	4.2

Tabla 42. Comparación de los intervalos críticos de todos los aforos

Fuente: Autor

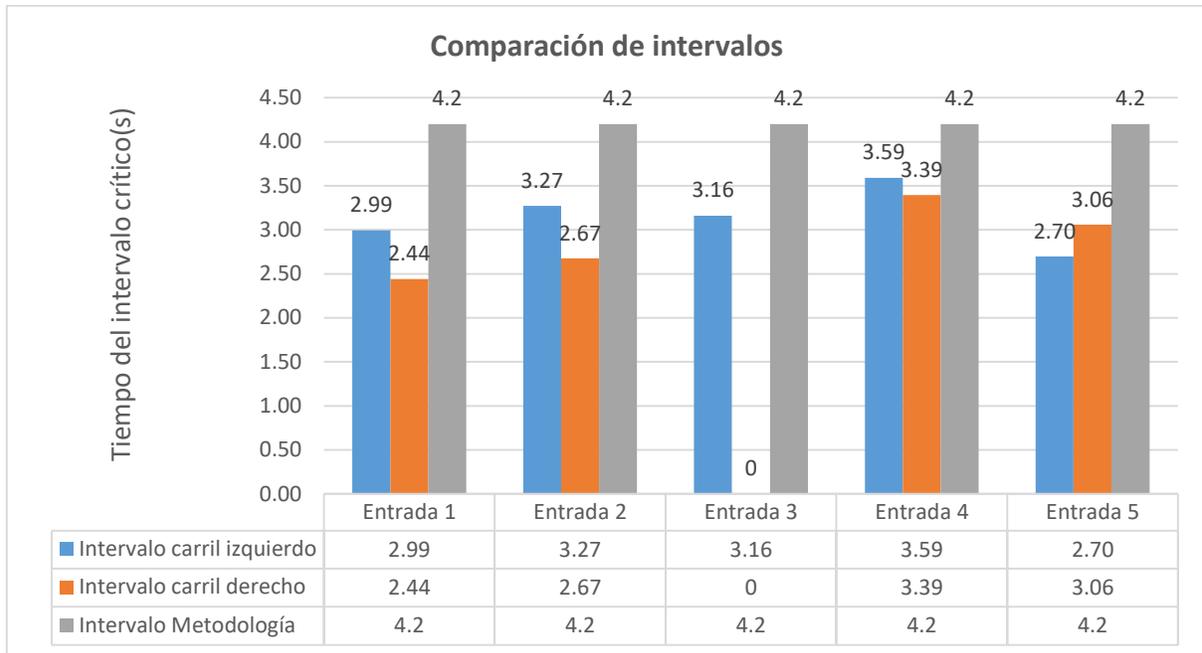


Gráfico 5. Gráfico comparativo de los intervalos críticos tomados en los cuatro aforos realizados

Fuente: Autor

A lo largo de toda la medición se observaron comportamientos que llegaron a afectar en la disminución o el aumento de los intervalos críticos donde se presentaron situaciones como la omisión del uso de direccionales en los vehículos que muchas veces confundían a los conductores, la dificultad en temas de visibilidad, la distracción en teléfonos celulares o en conversaciones con los acompañantes del vehículo.

Capítulo 4. Conclusiones

A continuación, se exponen las conclusiones que se han forjado a partir de los resultados obtenidos en el análisis que se elaboró con base al método para estimar la capacidad y en las intersecciones tipo rotonda de Costa Rica y los datos obtenidos en campo.

- Se logró demostrar que el comportamiento del flujo vehicular y los datos obtenidos en campo siguen siendo bastante similares a los descritos por el método para estimar la capacidad y demoras en las intersecciones tipo rotonda de Costa Rica, siendo una metodología aun eficiente para ser tomada en cuenta en el diseño de intersecciones tipo rotonda, ya que los datos tomados en campo se acercan a los descritos por el ingeniero Mario Durán.
- Durante el proceso de aforos vehiculares se concretó la obtención de los tipos y la cantidad de vehículos que circularon por cada una de las entradas de la rotonda, así como los intervalos críticos que fueron obtenidos en cada una de las entradas con las instrucciones dadas por la metodología para estimar la capacidad y demoras en las intersecciones tipo rotonda de Costa Rica.
- Su pudo detectar una gran cantidad de razones por el cual los conductores muchas veces extienden el tiempo que duran entrando a una intersección tipo rotonda, lo que también hace que genere un crecimiento en los tiempos de las demoras de cada una de las entradas a la intersección.
- De acuerdo con lo detallado en la metodología del ingeniero Mario Durán se identifican los tiempos promedios de entrada a la rotonda teniendo en cuenta factores de corrección que modifican los intervalos críticos dependiendo de la clasificación y cantidad de vehículos que circulan por un carril.
- Con base en lo que se experimentó en campo y luego de procesar los datos obtenidos se puede afirmar terminantemente que los resultados alcanzados tienen una gran relación con los intervalos definidos por la metodología para estimar la capacidad y demoras en las intersecciones

tipo rotonda de Costa Rica por lo cual realizar recolección de datos para tomar alguna decisión no va a tener una gran variación de acuerdo con lo estipulado en la investigación hecha por el ingeniero Mario Durán.

- Se demuestra que la hipótesis del trabajo es correcta ya que los intervalos críticos obtenidos en la investigación fueron diferentes a los descritos en la metodología para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotonda en Costa Rica, donde se evaluaron todos los factores que pudieron afectar la variación de dichos intervalos a raíz de condiciones que se observaron en campo.

Recomendaciones

- Crear alguna solución que pueda ampliar la visión para los conductores del carril derecho en la entrada 5, en la cual la visibilidad muchas veces se ve obstruida por el muro que divide el paso peatonal con el paso vehicular.
- No realizar visitas de campo a la hora de tomar decisiones que se basen en los intervalos críticos ya que los descritos por la metodología, aun siendo diferentes se mantienen similares a los obtenidos en campo.
- Realizar aforos vehiculares en horarios de mayor flujo vehicular para obtener datos en los escenarios más críticos.
- Realizar esta misma investigación en todas las rotondas ubicadas en la actual circunvalación norte para tener un panorama general del comportamiento de las rotondas más críticas en Costa Rica en la cual se presentan diferentes condiciones en todas las intersecciones.
- Mantener la continuidad del uso del método para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotonda en Costa Rica con el fin del diseño de nuevas intersecciones de este tipo.

Bibliografía

- Alzamora, A. T. (20105). *Análisis y comparacion de criterios de diseño geometricoen las rotondas modernas*. Piura: Universidad de Piura.
- Castellano, G. J. (2013). *CALIBRACIÓN DEL MODELO DE CAPACIDAD DE ROTONDAS DEL HCM 2010 A CONDICIONES LOCALES: CASO CÓRDOBA, ARGENTINA*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- EC, R. (15 de Marzo de 2019). *El Comercio*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/tecnologia/actualidad/excel-trucos-ahorrar-manejar-programa-noticia-466379>
- Editor, M. B. (19 de MARZO de 2019). *The Minitab Blog*. Obtenido de <http://blog.minitab.com/blog/understanding-statistics/see-the-new-features-and-enhancements-in-minitab-18-statistical-software>
- Elektra.com.mx. (10 de Marzo de 2019). *Elektra*. Obtenido de <https://www.elektra.com.mx/camara-fotografica-canon-eos-1300d-negra-2004184/p>
- Garber, N. J. (2005). *Ingenieria de tránsito y carreteras*. México: Thomson.
- Gestión, R. (01 de Marzo de 2019). *Gestión*. Obtenido de <https://gestion.pe/tecnologia/google-earth-lanza-nueva-version-inteligencia-artificial-133618>
- Guaricela, H. E. (05 de Setiembre de 2017). Evaluacion de la capacidad en rotondas, en funcion de la optimizacion de su diseño geometrico basado en un aumento de la seguridad. Caso de estudio Cuenca. Leiria, Brasil.
- IngenieriaReal.com. (13 de Marzo de 2019). *www.ingenieriareal.com*. Obtenido de ¿En realidad sabes como se debe circular en una rotonda?: <https://ingenieriareal.com/como-circular-rotonda/>
- Maps, G. (13 de febrero de 2019). *Google Maps*. Obtenido de Google Maps: <https://www.google.com/maps/place/Rotonda+de+Paso+Ancho,+San+Jose>
- Moldtrans, C. (5 de diciembre de 2018). *Moldtrans* . Obtenido de Moldtrans: <https://www.moldtrans.com/exportacion-e-importacion-como-elegir-medio-de-transporte-en-funcion-de-la-mercancia/>
- Montero, K. A. (2016). *Reordenamiento Vial en el casco central del cantón de Garabito*. San Jose: Biblioteca Luis Demetrio Tinoco.
- Morris, M. R. (2010). *High Capacity Manual*. Washington D.C: Copyrighted Materials.
- Morris, M. R. (2010). *Highway Capacity Manual 2010*. Washington D.C: National Academy of Sciences.
- Morris, M. R. (2010). Highway Capacity Manual 2010. En M. R. Morris, *Highway Capacity Manual 2010* (págs. 5-3). Washington DC, Estados Unidos: Transportation Research Board.

- Ortega, S. (2017 de marzo de 2017). *LeasePlan*. Obtenido de <https://www.leaseplango.es/blog/seguridad-vial/circular-rotondas-lo-necesitas-saber/>
- Panamá, M. d. (4 de Agosto de 2019). *Ministerio de Obras Públicas Panamá*. Recuperado el 11 de agosto de 2019, de <http://www.mop.gob.pa/inauguracion-oficial-del-viaducto-avenida-de-los-martires/>
- Prensa, R. A. (20 de Julio de 2017). *AM Prensa*. Obtenido de <https://amprensa.com/2017/07/sin-cumplir-ano-inaugurada-cierran-rotonda-paso-ancho-mes/>
- S.A., C. y. (3 de Octubre de 2008). *Manual para la revision de estudios de tránsito*. Managua, Nicaragua: Ministerio de Transporte e Infraestructura División General de Planificación. Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-para-revision-estudios-de-transito.pdf>
- Savastano, O. (04 de Octubre de 2011). *Docplayer*. Obtenido de <https://docplayer.es/69687245-Unidad-7-rotondas-distribuidores-parte-2.html>
- Spíndola, M. R. (1994). *Ingeniería de Transito, fundamentos y aplicaciones*. México D.F: Alfaomega.
- T., D. M. (Abril de 2009). *Maestría en vías terrestres Propedéutico*. Obtenido de Wordpress: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/volumenes-ingenieria-de-transito.pdf>
- Vargas, R. R. (5 de marzo de 2011). *Análisis Funcional y Optimización Rotonda de Zapote*. Obtenido de United Nations Development Programme: procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=33132

Anexos

Todas las fotos adjuntas corresponden a los aforos vehiculares realizados los días 14, 18 y 19 de junio de 2019



























