



**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**

POWERED BY **Arizona State University**

Universidad Latina de Costa Rica

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TIC'S

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo final de graduación para optar por el grado académico de Licenciado en
Ingeniería Civil

Modalidad Proyecto de Graduación

**Análisis del congestionamiento vehicular de la intersección de la ruta 32 con la
ruta 36 y la calle 9**

Sustentante:

Damark Beale Nelson

Tutor: José María Ulate

San Pedro, Montes de Oca

19 de diciembre 2022

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Análisis del congestionamiento vehicular de la intersección de la ruta 32 con la ruta 36 y la calle 9 en el cantón de Limón, por el (la) estudiante: Damark Beale Nelson, fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede San Pedro, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

**José María
Ulate
Zárate** Firmado digitalmente
por José María Ulate
Zárate
Fecha: 2022.12.21
09:21:09 -06'00'

José María Ulate Zárate
Tutor

**ERICK GUSTAVO
CRUZ PADILLA
(FIRMA)** Firmado digitalmente
por ERICK GUSTAVO
CRUZ PADILLA (FIRMA)
Fecha: 2022.12.22
07:11:32 -06'00'

Erick Gustavo Cruz Padilla
Lector

**JOSE JOAQUIN
RODRIGUEZ
RODRIGUEZ
(FIRMA)** Firmado digitalmente
por JOSE JOAQUIN
RODRIGUEZ
RODRIGUEZ (FIRMA)
Fecha: 2022.12.21
09:31:06 -06'00'

José Joaquín Rodríguez
Representante

CARTA DE REVISIÓN FILOLÓGICA

Puntarenas, 22 de diciembre de 2022

Señores

Universidad Latina de Costa Rica

Estimada señores:

Por este medio, yo, Alejandro José Mena Monge, mayor, soltero, filólogo, incorporado a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 313, vecino de Buenos Aires de Puntarenas, portador de la cédula de identidad número 1-1540-0005, hago constar:

1. Que he revisado el Proyecto de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil titulado "**Análisis del congestionamiento vehicular de la intersección de la ruta 32 con la ruta 36 y la calle 9 en el cantón de Limón**"
2. Que el Proyecto de Graduación es sustentado por el estudiante Damark Beale Nelson, cédula 7-0276-0289.
3. Que se le han hecho las correcciones pertinentes en acentuación, ortografía, puntuación, concordancia gramatical, coherencia, formato APA y otras del campo filológico.
4. Que se han hecho las observaciones pertinentes y que cualquier cambio posterior a esta revisión queda bajo la responsabilidad del sustentante.

En espera de que mi participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Latina de Costa Rica, se suscribe atentamente,



Alejandro José Mena Monge

Bach. en Filología Española

Céd. 1-1540-0005

Carné No. 313

Filólogo

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Damark Rashad Beale Nelson estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy Autor Intelectual de la Tesis titulado:

Análisis de congestionamiento vehicular de la intersección de la ruta 32 con la ruta 36 y la calle 9 del cantón de Limon

Por lo que libero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en Limon,9/12/22

A handwritten signature in black ink that reads "Damark B. Nelson". The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath it.

Damark Rashad Beale Nelson

Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico)

Universidad Latina de Costa Rica

Yo (Nosotros):	Damark Beale Nelson
De la Carrera / Programa:	Licenciatura en Ingeniería civil
Modalidad de TFG:	Proyecto
Titulado:	Análisis del congestionamiento vehicular de la intersección de la ruta 32 con la ruta 36 y la calle 9

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el “**AUTOR**”), declara lo siguiente: **PRIMERO:** Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la “**OBRA**”). **SEGUNDO:** El **AUTOR** autoriza y cede a favor de la **UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L.** con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la “**UNIVERSIDAD**”), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la **OBRA** necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la **OBRA** con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO:** El **AUTOR** acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la **UNIVERSIDAD** no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO:** El **AUTOR** garantiza la originalidad de la **OBRA**, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la **OBRA**, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del **AUTOR** y este garantiza mantener indemne a la **UNIVERSIDAD** ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO:** El **AUTOR** se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la **UNIVERSIDAD**. **SEXTO:** La presente autorización y cesión se regirá por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el **AUTOR** y la **UNIVERSIDAD**, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO:** El **AUTOR** acepta que la **UNIVERSIDAD**, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de

presentación relacionado con la **OBRA**, y el **AUTOR**, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la **UNIVERSIDAD**, por lo que el **AUTOR** haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. **OCTAVO:** El **AUTOR** concede a **UNIVERSIDAD.**, el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD.** puede, sin cambiar el contenido, traducir la **OBRA** a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. **NOVENO:** El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD** puede conservar más de una copia de este envío de la **OBRA** por fines de seguridad, respaldo y preservación. El **AUTOR** declara que el envío de la **OBRA** es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. **DÉCIMO:** El **AUTOR** manifiesta que la **OBRA** y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la **OBRA** contiene material del que no posee los derechos de autor, el **AUTOR** declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a **UNIVERSIDAD** los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el **AUTOR** autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la **UNIVERSIDAD** utiliza la **OBRA** sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. **SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO.** La presente autorización se extiende el día 19 de Diciembre de 2022 a las 10:00

Firma del estudiante(s):



Agradecimientos

Agradezco primero Dios por haberme dejado llegar hasta este momento y dame la sabiduría y paciencia para afrontar esta meta de vida, ya que no es fácil llegar hasta acá.

Quiero agradecer a toda mi familia que estuvieron apoyándome desde el día uno en especial a mis padres que han sido mis modelos a seguir y los que me han ayudado a avanzar en cada meta que me he propuesto en la vida y esta no fue la excepción en este difícil proceso.

También quiero agradecer a los profesores que fueron parte de este proceso ya que fueron de gran ayuda para tener conocimiento y ayudarme a prepararme para la siguiente parte de mi vida que es ser un gran profesional. Cabe mencionar quiero agradecer al profesor José María Ulate por ayudarme y guiarme en este proyecto que fue muy importante para mí

Dedicatoria

Este proyecto sólo quiero dedicar a toda mi familia en especial a mis padres porque muchos han sido parte de este gran proceso en el que me han dado consejos y él recibió apoyo moral de su parte durante todo el proceso.

Resumen

La siguiente investigación se contextualiza en el cantón central de Limón, específicamente. Se analiza 1 intersección en la ruta 32, al costado del Mercado Central de Limón, la cual está controlada por medio de semáforos y señales de alto. En primera instancia, se propone un conteo del volumen vehicular, con el fin de obtener la tasa de flujo y promediar la demora y la longitud de cola que presentan los accesos de entrada, ya que en estas intersecciones se presentan choques frecuentemente, causados -en su mayoría- por los conductores, debido a la realización de maniobras riesgosas mientras se está al volante.

Al obtener los resultados de campo de los conteos, se determina cuáles son los principales problemas de la intersección en estudio y se procede a realizar un análisis de capacidad de la misma, con un listado de procedimientos del Manual HCM 2010, que permiten calcular el porcentaje de demora.

Al hacer el cálculo, se logra apreciar que los datos alcanzados del Manual y las deficiencias que presentan estas intersecciones, comparados con el sistema Synchro 10, -por lo general- arroja resultados que se acercan más a lo analizado en el campo, aunque estos no son totalmente precisos, de tal manera que -a modo de soluciones- se va utilizar una propuesta existente del Mopt para realizar un análisis de capacidad de la rotonda mediante la metodología de Mario Duran con el fin de mejorar la seguridad vial y evitar grandes colas generadas por el volumen vehicular. Al obtener ambos resultados se realizó una comparación de los niveles de servicio para ver si la rotonda puede solucionar el problema de congestamiento vehicular.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo 1. Introducción	1
Antecedentes	1
Planteamiento del problema.....	2
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos	4
Justificación	5
Alcances	5
Limitaciones.....	6
Impacto.....	6
Hipótesis.....	6
Capítulo 2: Marco teórico	7
Tránsito vehicular	7
Características del tránsito vehicular	7
Componentes del tránsito.....	7
Peatón.....	8
Conductor.....	8
Vehículo	8
Tipo de vehículo.....	8
Vía.....	9
Funciones de la red vial	9
Volumen vehicular	10
Volúmenes de tránsito.....	11
Variación del volumen de tránsito en hora pico	12
Factor de máxima demanda	12

Relación Volumen – Capacidad.....	13
Factores que afectan la capacidad vehicular	13
Tasa de flujo.....	13
Determinación de la tasa de flujo.....	14
El volumen de flujo continuo.....	14
Flujo discontinuo o interrumpido	14
Distribución composición del volumen de transito	14
Velocidad	15
Velocidad de flujo libre.....	15
Densidad.....	15
Condiciones de la infraestructura vial.....	16
Prioridades de movimiento	16
Intersecciones viales	16
Clasificación de las intersecciones.....	16
Canalización de intersecciones	17
Tipos de intersecciones	17
Intersecciones controladas por ALTO y CEDA	18
Capacidad y niveles de servicio	18
Semáforo	19
Intervalo de cambio de fase	20
Flujo de saturación.....	20
Capacidad en intersecciones semaforizadas	21
Niveles de servicio en intersecciones semaforizadas.....	21
Intersecciones controladas por semáforos.....	22
Factores que influyen en los niveles de servicio.....	24

Longitudes de cola	25
Demora.....	25
Capacidad de una rotonda	26
Método para determinar la capacidad y demoras en las rotondas en Costa Rica	26
HCM 2010.....	32
Recopilación de datos	33
Capítulo 3: Marco metodológico	33
Paradigma, enfoque y método de investigación	33
Definición de variables	34
Sujetos y fuentes de información.....	35
Población.....	35
Muestra.....	35
Instrumentos y técnicas de recopilación de datos	36
Cronograma.....	37
Capítulo 3: Análisis de resultados.....	38
Análisis de datos	38
Resultados de la intersección de 6:00 a. m. a 8:00 a. m.	51
Resultados de la intersección de 11:00 a. m. a 1:00 p. m.	52
Resultados de la intersección de 5:00 p. m. a 7:00 p.m.....	54
Resultados de la Rotonda	55
Comparación de resultados de niveles de servicio.....	86
Análisis de los resultados de los niveles de servicio.....	90
Conclusiones	93
Recomendaciones.....	94
Referencias bibliográficas.....	95

Anexos	97
Glosario	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Foto aérea de la ruta 32 y de la intersección en estudio</i>	3
Figura 2 <i>Gráfico de longitud media de cola</i>	29
Figura 3 <i>Expropiación de terreno</i>	37
Figura 4 <i>Resultados del Synchro 10 para el 2024 Resultados del Synchro 10 para el 2024</i>	51
Figura 5 <i>Resultados del Synchro 10 para el 2029</i>	52
Figura 6 <i>Resultados del Synchro 10 para el 2024</i>	53
Figura 7 <i>Resultados del Synchro 10 para el 2029</i>	53
Figura 8 <i>Resultados del Synchro 10 para el 2024</i>	54
Figura 9 <i>Resultados del Synchro 10 para el 2029</i>	55
Figura 10	55
Figura 11 <i>Comparación de niveles de servicio 2022</i>	86
Figura 12 <i>Comparación de niveles de servicio 2024</i>	86
Figura 13 <i>Comparación de niveles de servicio 2029</i>	87
Figura 14 <i>Comparación de niveles de servicio 2022</i>	87
Figura 15 <i>Comparación de niveles de servicio 2024</i>	88
Figura 16 <i>Comparación de niveles de servicio 2029</i>	88
Figura 17 <i>Comparación de niveles de servicio 2022</i>	89
Figura 18 <i>Comparación de niveles de servicio 2024</i>	89
Figura 19 <i>Comparación de niveles de servicio 2029</i>	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Nivel de servicio para semáforos</i>	22
Tabla 3 <i>Distribución del volumen secundario por carril</i>	27
Tabla 4 <i>Tabla de demora geométrica</i>	31
Tabla 5 <i>Tabla de longitud media de cola</i>	31
Tabla 6 <i>Identificación de las variables</i>	34
Tabla 7 <i>Movimiento 2</i>	39
Tabla 8 <i>Movimiento 3</i>	39
Tabla 9 <i>Movimiento 5</i>	40
Tabla 10 <i>Movimiento 7</i>	40
Tabla 11 <i>Movimiento 9</i>	41
Tabla 12 <i>Movimiento 10</i>	41
Tabla 13 <i>Movimiento 11</i>	42
Tabla 14 <i>Movimiento 12</i>	42
Tabla 15 <i>Movimiento 2</i>	43
Tabla 16 <i>Movimiento 3</i>	43
Tabla 17 <i>Movimiento 5</i>	44
Tabla 18 <i>Movimiento 7</i>	44
Tabla 19 <i>Movimiento 9</i>	45
Tabla 20 <i>Movimiento 10</i>	45
Tabla 21 <i>Movimiento 11</i>	46
Tabla 22 <i>Movimiento 12</i>	46
Tabla 23 <i>Movimiento 2</i>	47
Tabla 24 <i>Movimiento 3</i>	47
Tabla 25 <i>Movimiento 5</i>	48
Tabla 26 <i>Movimiento 7</i>	48
Tabla 27 <i>Movimiento 9</i>	49
Tabla 28 <i>Movimiento 10</i>	49
Tabla 29 <i>Movimiento 11</i>	50
Tabla 30 <i>Movimiento 12</i>	50
Tabla 31 <i>Análisis de capacidad de la intersección, de 6:00 a. m. a 8:00 a. m.</i>	51

Tabla 32 <i>Análisis de capacidad de la intersección, de 11:00 a. m. a 1:00 p. m.</i>	52
Tabla 33 <i>Análisis de capacidad de la intersección, de 5:00 p. m. a 7:00 p. m.</i>	54
Tabla 34 <i>Volumen de livianos por accesos de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2022</i>	56
Tabla 35 <i>Volumen de pesados por accesos de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2022</i>	56
Tabla 36 <i>Estimación de capacidad de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2022</i>	57
Tabla 37 <i>Probabilidad de detenerse de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2022</i>	57
Tabla 38 <i>Estimación de demora y nivel de servicio de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2022</i>	58
Tabla 39 <i>Volumen de livianos por accesos de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2022</i>	58
Tabla 40 <i>Volumen de pesados por accesos de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2022</i>	59
Tabla 41 <i>Estimación de capacidad de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2022</i>	59
Tabla 42 <i>Probabilidad de detenerse de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2022</i>	60
Tabla 43 <i>Estimación de demora y nivel de servicio de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2022</i>	60
Tabla 44 <i>Volumen de livianos por accesos de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2024</i>	61
Tabla 45 <i>Volumen de pesados por accesos de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2024</i>	61
Tabla 46 <i>Estimación de capacidad para livianos de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2024</i>	62
Tabla 47 <i>Estimación de capacidad para livianos de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2024</i>	62
Tabla 48 <i>Estimación de capacidad para livianos de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2024</i>	63
Tabla 49 <i>Volumen de livianos por accesos de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2029</i>	63
Tabla 50 <i>Volumen de pesados por accesos de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2029</i>	64
Tabla 51 <i>Estimación de capacidad de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2029</i>	64
Tabla 52 <i>Estimación de capacidad de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2029</i>	65
Tabla 53 <i>Estimación de capacidad de 6:00 a. m. a 8:00 a. m. para 2029</i>	65
Tabla 54 <i>Volumen de livianos por accesos de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2022</i>	66
Tabla 55 <i>Volumen de pesados por accesos de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2022</i>	66
Tabla 56 <i>Estimación de capacidad de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2022</i>	67
Tabla 57 <i>Probabilidad de detenerse 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2022</i>	67
Tabla 58 <i>Estimación de demora y nivel de servicio de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2022</i>	68
Tabla 59 <i>Volumen de livianos por accesos de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2022</i>	68

Tabla 60 <i>Volumen de pesados por accesos de 11:00 a. m. a 1:00 p. m para 2022</i>	69
Tabla 61 <i>Estimación de capacidad de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2022</i>	69
Tabla 62 <i>Probabilidad de detenerse de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2022</i>	70
Tabla 63 <i>Estimación de demora y nivel de servicio de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2022</i>	70
.....	
Tabla 64 <i>Volumen de livianos por accesos de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2024</i>	71
Tabla 65 <i>Volumen de pesados por accesos de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2024</i>	71
Tabla 66 <i>Estimación de capacidad de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2024</i>	72
Tabla 67 <i>Estimación de capacidad de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2024</i>	72
Tabla 68 <i>Estimación de capacidad de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2024</i>	73
Tabla 69 <i>Volumen de livianos por accesos de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2029</i>	73
Tabla 70 <i>Volumen de pesados por accesos de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2029</i>	74
Tabla 71 <i>Estimación de capacidad de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2029</i>	74
Tabla 72 <i>Estimación de capacidad de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2029</i>	75
Tabla 73 <i>Estimación de capacidad de 11:00 a. m. a 1:00 p. m. para 2029</i>	75
Tabla 74 <i>Volumen de livianos por accesos de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2022</i>	76
Tabla 75 <i>Volumen de pesados por accesos de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2022</i>	76
Tabla 76 <i>Estimación de capacidad de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2022</i>	77
Tabla 77 <i>Probabilidad de detenerse de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2022</i>	77
Tabla 78 <i>Estimación de demora y nivel de servicio para 2022</i>	78
Tabla 79 <i>Volumen de livianos por accesos de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2022</i>	78
Tabla 80 <i>Volumen de pesados por accesos de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2022</i>	79
Tabla 81 <i>Estimación de capacidad de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2022</i>	79
Tabla 82 <i>Probabilidad de detenerse de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2022</i>	80
Tabla 83 <i>Estimación de demora y nivel de servicio de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2022</i>	80
.....	
Tabla 84 <i>Volumen de livianos por accesos de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2024</i>	81
Tabla 85 <i>Volumen de pesados por accesos de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2024</i>	81
Tabla 86 <i>Estimación de capacidad de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2024</i>	82
Tabla 87 <i>Estimación de capacidad de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2024</i>	82
Tabla 88 <i>Estimación de capacidad de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2024</i>	83

Tabla 89 <i>Volumen de livianos por accesos de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2029</i>	83
Tabla 90 <i>Volumen de pesados por accesos de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2029</i>	84
Tabla 91 <i>Estimación de capacidad de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2029</i>	84
Tabla 92 <i>Estimación de capacidad de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2029</i>	85
Tabla 93 <i>Estimación de capacidad de 5:00 p. m. a 7:00 p. m. para 2029</i>	85

Capítulo 1. Introducción

Antecedentes

El congestionamiento vial es uno de los principales problemas en las intersecciones de Costa Rica, causados por maniobras irresponsables que generan accidentes que colapsan las vías, por la mala sincronización de los semáforos, por una inadecuada distribución vehicular, por deterioro en la demarcación y señalización de las vías, etc.

Al respecto, en el contexto internacional, Jerez y Morales (2015) se basaron en analizar los niveles de servicio y en determinar los puntos críticos en la ciudad de Azogues en Ecuador, en donde se presentaron algunas medidas como solución para los problemas de tráfico vehicular y mejorar la seguridad de las carreteras, las cuales se observan en los resultados de los volúmenes y movimientos en los puntos de congestionamiento con semáforo y sin semáforo, con su respectiva metodología.

Aunado a lo anterior, Tichuanca y Farin (2020), en su investigación, que se basó determinar la capacidad y analizar el flujo vehicular de la vía semaforizadas Av. Tacna -Jr. Arbulú- de la ciudad de Puno en Perú, en donde se aplica la metodología HCM 2000 y el Synchro .8.

Por su parte, en el contexto nacional, Dávila (2019) llevó a cabo un análisis de entrada y salida por carril de la carretera, además de la determinación de los intervalos críticos que hay en la intersección tipo rotonda de Paso Ancho de Costa Rica, donde se realizó una comparación con datos actuales al momento de la investigación, de manera que se escogió la metodología para estimar la capacidad y demoras en las intersecciones tipo rotonda de Costa Rica.

Finalmente, Gómez (2019) se basó en determinar los problemas que tiene la trayectoria del tren de pasajeros de INCOFER y la red vial del sector Norte-Sur del cantón de Paraíso, para proponer soluciones que permitieran mejorar el tránsito del tren, ante la habilitación de uno nuevo.

Planteamiento del problema

Como pregunta de investigación, se planteó la siguiente: ¿cómo disminuir el congestionamiento vial en la intersección entre la ruta 32, la ruta 36 y la calle 9 en el cantón de Limón?

Lo anterior responde al gran congestionamiento vial que se vive casi a diario en la zona mencionada, producido por la conducción irresponsable, por la falta de sincronización en las carreteras, por problemas a nivel de infraestructura vial (como la falta de aceras y la poca demarcación en algunas carreteras). De esta manera, con la ayuda del *software* Synchro 10, se buscará determinar cuáles son las zonas más congestionadas y cuáles tienen más estados críticos con la longitud de cola, para así realizar una lista del volumen vehicular de las intersecciones en donde se pretende proponer medidas para solventar los problemas en la infraestructura y volumen vehicular.

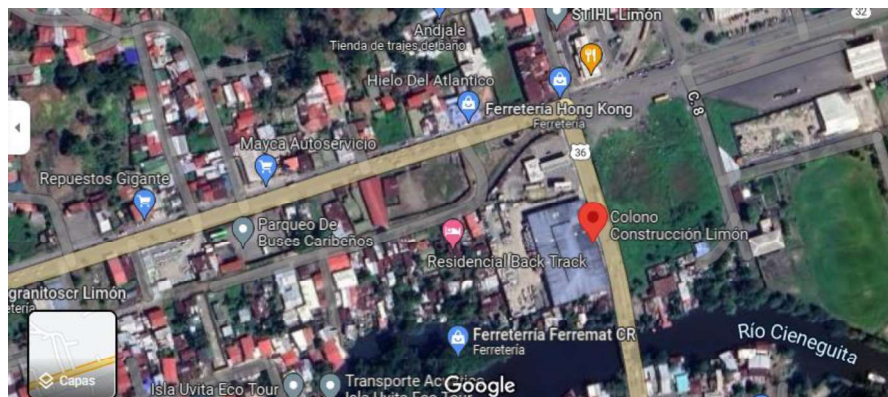
Dichas problemáticas responden a que cada vez son más los cambios en la infraestructura vial del país, por lo que, para buscar darle más seguridad vial a los conductores y peatones, se va insistir en utilizar el Manual de Capacidad de Carreteras 2010 y la metodología de Mario Durán, para estimar la capacidad y así obtener los niveles de servicio que tienen sistemas de control, como los semáforos, en donde se van a tomar en consideración las prioridades de los giros a la izquierda y derecha, movimientos directos y -también- cómo están establecidas las prioridades en la intersección.

Para este análisis de congestionamiento vehicular, se va a tomar en cuenta la metodología del HCM 2010 (*Highway Capacity Manual* o Manual de Capacidad de Carreteras) y la metodología de Mario Durán (1990), además de los programas computacionales, como el Synchro 10. Este *software* permitirá simular la distribución del volumen de vehículos en las intersecciones y obtiene resultados casi perfectos de la longitud de cola y del tiempo de demora. Cabe mencionar que, con esta metodología, será posible evidenciar los puntos críticos presentes en la infraestructura vial del país, específicamente en la intersección que está en el cruce entre la ruta 32 y la ruta 35, ubicada en el cantón de Limón, ya que es una de las carreteras más transitadas y congestionadas del país (ver Figura 1).

A su vez, se plantea el análisis de una propuesta existente del MOPT, sobre la realización de una rotonda en ese cruce, para comparar los niveles de servicio y determinar si es viable empezar esta obra.

Figura 1

Foto aérea de la ruta 32 y de la intersección en estudio



Nota: Tomada de Google Maps, 2022.

Objetivo general

Analizar la capacidad del volumen vehicular de la intersección de la ruta 32 con la ruta 36 y la calle 9 en el cantón de Limón.

Objetivos específicos

- Determinar los aforos vehiculares de la intersección y el tiempo de demora.
- Determinar las maniobras de los conductores dentro de la intersección.
- Analizar una propuesta existente del tránsito.
- Comparar los niveles de servicio.
- Analizar los resultados de los niveles de servicio.

Justificación

Actualmente, en el cantón central de Limón, es característica la afluencia de medios de transporte, lo cual suele generar congestión vehicular, en gran parte debido a problemas en el funcionamiento de los semáforos y en la demarcación vial; esto, sumado a la irresponsabilidad de algunos peatones y de muchos conductores al tomar el volante, genera gran cantidad de accidentes en las calles, lo que no deja más que el aumento del tráfico vehicular en la ruta 32. Entre las imprudencias que cometen los conductores, cabe destacar la obstrucción de salidas y el uso de ciertas zonas de la vía como parqueos, limitando el libre tránsito, la usurpación de los demás carriles, la inatención a las señales de tránsito y a los semáforos, la conducción a velocidades no permitidas, etc.

Aunado a lo anterior, resalta que esta ruta es una de las que más presencia de vehículos pesados tiene, ya que es una zona muy comercial en el sector agropecuario, lo que conlleva la frecuente movilización de productos; de tal manera que ralentiza el tránsito y complica la movilización rápida por las vías, alterando el estado de ánimo de los demás conductores y propiciando -por ende- maniobras peligrosas, falsos adelantamientos y accidentes que pueden ser fatales. Dada esta problemática, se hace evidente la necesidad de plantear una propuesta que incluya medidas que propicien el mejoramiento de la educación y la infraestructura vial, de ahí la iniciativa de implementar el programa digital SYNCHRO 10, para obtener datos confiables que puedan ser analizados con precisión y objetividad, y determinar la zona crítica de los lugares más congestionados.

Alcances

- El proceso de conteos vehiculares se llevará a cabo en las horas pico, de los panoramas más críticos, para así verificar cómo se comporta la distribución vehicular.
- Se realizarán 3 conteos diarios por intersección, tomando en cuenta las horas pico en la mañana, mediodía y tarde.
- Se tomarán en cuenta vehículos livianos y pesados.
- Se va a observar el comportamiento de los conductores a la hora de entrar a la intersección.
- Se va a determinar las zonas con demarcación vial.

Limitaciones

- Se analizarán los resultados solo con el Synchro 10.
- Se analizará la capacidad de las intersecciones mediante el *software* Synchro 10 y la rotonda mediante la metodología del ingeniero Mario Durán.
- Se determinarán los puntos críticos de demora y cola.
- Se utilizará el manual de carreteras 2010, para obtener las ecuaciones.
- Solo se analizará 1 intersección.

Impacto

El impacto que se espera obtener con esta investigación consiste en la recolección de datos necesarios para determinar los puntos críticos, realizando una comparación del congestionamiento vial que había en esa zona con vía ya cambiada con las medidas propuestas para agilizar el flujo vehicular, con la información teórica obtenida utilizando el HCM 2010, mediante las ecuaciones, para realizar el análisis estimando capacidad de la intersección, obteniendo la longitud de cola y demora y los resultados para programarlos en el Synchro 10. Además, se podría realizar una comparación entre el flujo real y el flujo vehicular y así observar los resultados en el *software*.

De esta forma, se espera que esto mejore el flujo del tránsito en las intersecciones en cuestión, la calidad de vida de las personas, al alivianar el estrés causado por el congestionamiento vial, así como la disminución de los choques y accidentes. A su vez, se busca que los peatones se sientan y encuentren más seguros al caminar cerca de estas intersecciones y es importante decir que, de mejorar esta situación, también los comercios cercanos a estas vías se verían beneficiados, pues es una ruta de paso para quienes se dirigen a disfrutar de los atractivos turísticos de la provincia caribeña.

Hipótesis

Esta investigación puede favorecer la solución de las problemáticas viales presentes en las intersecciones en estudio, incentivando cambios positivos para los sectores comercial y turístico de la provincia limonense, debido a que es una de las carreteras transitadas del país.

Capítulo 2: Marco teórico

A continuación, se aborda una serie de conceptos necesarios para contextualizar y acuerpar la propuesta de investigación que se aborda en el presente estudio. Cabe destacar que dichos conceptos se enmarcan dentro del ámbito vial, de tal manera que se habla sobre el tránsito vehicular, los componentes y volúmenes del tránsito, tasa de flujo, intersecciones, longitud de cola, entre otros.

Tránsito vehicular

De acuerdo el HCM (2010), se puede entender el tránsito vehicular como el volumen o cantidad de vehículos en una calle, vía y carreteras. Se debe tomar en cuenta que las características del tránsito son muy importantes a la hora de utilizar una calle o carretera.

Características del tránsito vehicular

Las características del tránsito son analizadas dependiendo de diferentes variables que son conocidos como factores y limitaciones que tienen los vehículos. Las variables son el volumen, la densidad y la velocidad, y se toman en cuenta estas tres, ya que se relacionan entre ellas para influir en el tráfico vehicular a la hora de transitar por las carreteras, además de que son importantes para determinar el nivel de servicio (Cal et al, 2007, p. 35).

Componentes del tránsito

De acuerdo con el Cal et al. (2007), los componentes del tránsito refieren a los diferentes elementos que se ven involucrados en el flujo vehicular diario, además de las distintas condiciones viales que influyen, como el clima. Entre los principales componentes, sobresalen el usuario, el vehículo, los dispositivos de control, las carreteras y las autopistas, y dichos componentes influyen mucho a la hora de determinar el nivel de servicio para una carretera (Cal et al, 2007, p. 40).

Los componentes del tránsito se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Usuarios: peatones, conductores y ciclistas.
- Vehículos: livianos y pesados.
- Vialidad: autopistas y carreteras.
- Dispositivos de control: semáforos vehiculares, Altos y Ceda, islas de canalización.

Peatón

El peatón es la persona que se traslada caminando por las aceras de las vías públicas. Cabe mencionar que se le puede considerar como uno de los principales problemas del tránsito vial, en el sentido de que, según Cal et al. (2007), en una gran cantidad de países de mundo, los vehículos tienen una gran influencia y ocurren muchos accidentes de tránsito a causa de la irresponsabilidad de los peatones que no siguen las instrucciones de cruzar en las zonas marcadas para tal fin (p. 40), dejando una cifra muy alta de muertes anualmente.

Conductor

El conductor es el individuo que maneja un vehículo. Hay que decir que todo conductor tiene una responsabilidad muy grande, puesto que el menor descuido puede terminar en accidentes fatales, de tal manera que, según Cal et al. (2007, p. 45), factores como el consumo de alcohol, el cansancio y las maniobras imprudentes son los principales enemigos de los conductores.

Vehículo

El vehículo es un elemento importante del tráfico vehicular, ya que es el que más se encuentra presente en las carreteras, transitando, y la cantidad de estos aumenta cada año (Cal et al., 2007, p. 68). Conviene agregar que los vehículos son importantes para realizar diseños geométricos de las carreteras, ya que depende de las dimensiones de los vehículos y sus características para determinar el ancho de los carriles, además de las zonas de estacionamiento. También, ayudan a determinar el radio de giro del vehículo para el diseño transversal y se toman en consideración los reglamentos que determinan el ancho de los carriles y los factores que necesitan las vías, donde los vehículos son clasificados según las dimensiones y los pesos a la hora de realizar los estudios (Barrientos 2019, pp. 34-35)

Tipo de vehículo

El tipo de vehículo es fundamental para el flujo vehicular, ya que causa gran impacto en la capacidad de las vías o carreteras, a razón de la gran variedad de tamaños, con lo cual se determinan los niveles de servicio, porque la distribución vehicular en el tránsito es muy importante; además, para saber la frecuencia vehicular de los diferentes tipos en algunos carriles (Barrientos, 2019). Entre los tipos de vehículos están los livianos, los autobuses, los pesados, etc.

Vía

Según el Diccionario de la Real Academia Española (2022), el término vía tiene como definición “calzada construida para la circulación rodada”, pero también se puede expresar como “parte del suelo explanado que permite la circulación por medio de carriles”, aunque una mejor definición sería “carretera, camino o sitio por donde transita el público” (Barrientos, 2019, p. 38).

En resumen, no queda duda de que es un elemento fundamental que permite el paso de vehículos. Para garantizar una circulación segura y estable, es necesario disponer de una superficie asfáltica bien preparada y que cumpla con las condiciones adecuadas, con el fin de que el conductor pueda desplazarse sin tener que realizar maniobras peligrosas o arriesgadas.

De acuerdo con Cal et al. (2007), citado por Barrientos (2019, p. 38), hay diferentes tipos de vías, las cuales se describen a continuación:

- Autopistas: calzada separada por dos o más carriles. “Son divididas, con control total de sus accesos. Una autopista tiene control total de sus flujos conflictivos, en tanto que una vía rápida puede o no tener algunas intersecciones a desnivel”.
- Carreteras multicarriles: “son carreteras que podrían estar separadas y contar con dos o más carriles, por lo general se presentan accesos”.
- Carreteras de dos carriles: “estas carreteras cuentan solamente con dos carriles, uno por cada sentido, sus intersecciones se presentan a nivel y con accesos directos a sus márgenes”.

Funciones de la red vial

La importancia de las redes viales radica en que buscan facilitar la trayectoria de los conductores y que todas las vías sean seguras y cómodas para los usuarios. Para Barrientos (2019), citando a Kraemer et al. (2006), “Como factor indispensable de las vías, es necesario que un conjunto de caminos que existen en un área determinada forme una red de varias vías conectadas entre sí, que permita la unión de dos puntos de interés dentro de una misma área limitada” (p. 39).

Por su parte, de acuerdo con Barrientos (2019), las carreteras se pueden clasificar desde primer hasta tercer orden:

- Carreteras de primer orden: son muy importantes, ya que unen otras carreteras de las naciones, para realizar diferentes actividades, de hecho, son fundamentales para las principales zonas productoras. Además, son de interés nacional, ya que -por sus características- tienen como

función ser vías rápidas y para largos trayectos. Se puede decir que son las vías principales que están en la Gran Área Metropolitana (p. 40).

- Carreteras de segundo orden: son carreteras de trayectos cortos que funcionan como vías hacia diferentes sectores comerciales y laborales, por lo que suelen estar muy congestionadas al tener mucho flujo vehicular. Su importancia radica en que permiten la unión de diferentes zonas urbanas y cabe mencionar que las vías de estas carreteras pueden tener un ancho de 16 metros en vías que van a zonas industriales (p. 40).

- Carreteras de tercer orden: son carreteras que poseen derecho mínimo de 7 metros en las vías; se encuentran en caminos muy pequeños y con sectores que tienen el paso limitado, donde se llega a zonas municipales como barrios, comunidades y urbanizaciones (p. 40).

Volumen vehicular

Según Cal et al. (2007), el volumen vehicular se refiere a “el número total de vehículos que pasan por una vía o carretera específica durante el lapso de tiempo determinado” (p. 153). Cabe mencionar que este depende de diferentes factores determinados por periodos horarios diarios, anuales, máxima demanda y horario de proyecto, por lo que es de mucha importancia identificar las horas de mayor tránsito, para tomar las decisiones correctas y obtener mejores resultados en el volumen vehicular de tránsito.

A partir de lo anterior, a continuación, se describen los diferentes tipos de volumen vehicular, según Cal et al. (2007):

- Volumen de tránsito horarios: dependiendo de la hora seleccionada, se conoce como la cantidad de vehículos de tránsito horario.
- Volumen horario máximo anual (VHMA): se parte de un carril en una hora seleccionada anualmente.
- Volumen de horario máximo demanda (VHMD): refiere a la cantidad de vehículos que se movilizan por una zona determinada de la carretera.
- Volumen horario de proyecto: es la cantidad de vehículos que transitan de forma horaria que sirven de base para determinar cuáles son características geométricas de cada vía; es importante que se proyecte con un volumen horario pronosticado. (pp. 154-155)

Volúmenes de tránsito

Dependiendo de la duración del tiempo:

- Tránsito Anual (TA)

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

TPDA: Tránsito promedio diario anual.

TA: Tránsito total anual.

- Tránsito Mensual (TM)

$$TPDM = \frac{TM}{30}$$

TPDM: Tránsito promedio diario mensual.

TM: Tránsito total mensual.

- Tránsito Semanal (TS)

$$TPDS = \frac{TS}{7}$$

TPDS: Tránsito promedio diario semanal.

TS: Tránsito total semanal.

- Tránsito Diario (TD)

$$TPD = \frac{N}{T}$$

TPD: Tránsito promedio diario

N: Número de vehículos que transitan

T: tiempo de circulación.

- Tránsito Horario (TH)
- Menor a una hora (QI)

Variación del volumen de tránsito en hora pico

La variación del volumen de tránsito dentro de la hora donde hay máxima demanda para una vía o calle puede ser parecida durante varios días de la misma semana; sin embargo, el panorama podría variar dependiendo de la intersección y de en qué sector se localice, por lo tanto, es fundamental saber la variación del volumen en las horas y las zonas precisas donde hay máxima demanda, para obtener los datos de los volúmenes de hora pico y así realizar una correcta planificación de los volúmenes de tránsito en diferentes tiempos en el transcurso del día, y organizar la zonas de estacionamientos, las maniobras permitidas por las vías y la sincronización de los fases de los semáforos (Cal et al., 2007).

Los tiempos en la hora de máxima demanda son cambiantes, pero los más repetitivos son 5, 10 o 15 minutos, que son los más comunes en la hora pico, en donde los factores pueden variar por diferentes aspectos como los que se mencionan a continuación:

- Dirección de recorrido
- Trayectoria de vehículos
- Los tipos de carril
- La longitud de cola
- Demoras
- Cantidad de pasajeros que hay en un vehículo
- Los peatones

Factor de máxima demanda

Es importante saber las variaciones del volumen vehicular dentro de la hora pico o de máxima demanda, ya que ayuda a conocer la duración del recorrido de los vehículos en su trayecto. Con esta información, se puede hacer un plan para organizar los controles del tránsito, como, por ejemplo: colocar giro de izquierda o derecha en algunos sectores para mejorar el flujo vehicular e impedir algunas maniobras peligrosas; además, se pueden determinar las intersecciones que van a tener semáforos (HCM, 2010, p. 8-2).

Relación Volumen – Capacidad

Una vía funciona correctamente dependiendo del volumen de tráfico y cuando los vehículos circulan a una velocidad aceptable señaladas en dicha carretera. La vía o carretera - dependiendo de su geometría- puede ayudar a disminuir las longitudes de cola y las demoras, ya que muchas carreteras pueden priorizar un alto volumen de tránsito; además, si en algunos casos los volúmenes vehiculares tienen datos casi idénticos con los de capacidad, entonces, el tránsito se vuelve peligroso e inestable.

El problema es que -con las densidades altas- la carretera se vuelve más crítica, como cuando los vehículos transitan a velocidades bajas, ya que -en estas condiciones- la conducción se complica, lo que causa que detengan momentáneamente el tránsito (HCM, 2010).

Se pueden obtener tres diferentes posibilidades en cuanto a la relación volumen-capacidad:

Si $\text{Volumen/Capacidad} < 1$, el sistema vehicular puede colapsar.

Si $\text{Volumen/Capacidad} > 1$, el sistema vehicular puede estar saturado.

Si $\text{Volumen/Capacidad} = 1$, el sistema vehicular está en su límite.

Factores que afectan la capacidad vehicular

Cuando se están realizando mejoras en las vías, hay que implementar un análisis para saber si lo que se plantea corregir es lo mejor para ser considerado en las condiciones reales de la carretera, lo cual se toma como lo ideal; cuando se realiza una mejora, no se toma en consideración la idea de incrementar su capacidad. En las condiciones ideales, “se presume buen clima, pavimento en buen estado, usuarios “racionales” y la inexistencia de incidentes que obstruyan el flujo” (Cerquera, 2007, p. 5).

Tasa de flujo

Es la cantidad de veces que los vehículos transitan en la misma zona de la carretera, tomando en consideración el lapso de tiempo, que normalmente es de 15 minutos. Cabe mencionar que las tasas de volúmenes de máxima capacidad y los volúmenes por hora producen el factor de hora pico (FHP) que hay en una vía y con los resultados se calcula (HCM, 2010).

Determinación de la tasa de flujo

De acuerdo con Cal et al. (2007), para variar los resultados del flujo vehicular y evitar que los resultados de una hora pico genere cambios en los datos (debido a que los intervalos donde hay una mayor circulación, en la cual no se da en una hora exacta), se calculó un factor pico que permite calibrar la tasa de ajuste de flujo de demanda:

$$V_p = \frac{V}{PHF}$$

VP: Volumen de cada hora

V: volumen vehicular

PHF: factor de hora pico

El volumen de flujo continuo

Es la cantidad de vehículos que transita por las calles de manera fluida, sin tener ningún contratiempo y que las condiciones de las carreteras no generen problemas, por lo que hay un volumen vehicular que no se detiene. Para mantener esa fluidez, no hay semáforos en esas carreteras y, por ende, tampoco demoras ni longitudes de cola; de hecho, el único factor que podría detener una carretera con flujo continuo es un accidente de tránsito (HCM, 2010).

Flujo discontinuo o interrumpido

Es el flujo en el cual el volumen vehicular tiene interrupciones frecuentes por diferentes situaciones en la carretera, así que los controles del tránsito y los accidentes vehiculares son factores muy comunes que causan un flujo interrumpido; así, entre dichos controles de tránsito, se pueden mencionar los semáforos, las señales de alto o ceda, etc., pero también hay que considerar la geometría de las carreteras (HCM, 2010).

Distribución composición del volumen de tránsito

La distribución del volumen vehicular toma en consideración los carriles de la carretera, ya que esta puede ser de dos o más carriles. Además, hay vehículos que condicionan la distribución, como los autobuses y los taxis que van siempre en el carril exterior, a la par de las aceras, por las paradas, además de los giros de izquierda y derecha; mientras hay carriles para los otros vehículos que van a un flujo vehicular continuo (Cal et al., 2007, p. 162).

Velocidad

Según el HMC (2010), el término de velocidad se define como “distancia entre tiempo” y es muy importante para las carreteras, ya que es un medidor eficiente para determinar el nivel de servicio (p. 7-38). De acuerdo con Cal et al. (2007), esta se calcula con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{d}{t}$$

V = velocidad constante (kilómetros por hora)

d = distancia recorrido (kilómetros)

t = tiempo de recorrido (horas)

Velocidad de flujo libre

Según Cal et al. (2007), la velocidad de flujo libre es la velocidad promedio que los vehículos tienen a la hora circular por una vía o carril, tomando en consideración ciertas condiciones de un volumen disminuido, mientras en otras situaciones los conductores van por ese carril sin restricciones en una alta velocidad permitida sin ninguna demora.

Densidad

Según el HCM (2010): “La densidad es el número de vehículos que están transitando por la longitud en un carril de una carretera y normalmente se expresa la densidad como vehículos por kilómetro” (p. 4-6) y se calcula con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{V}{S}$$

Donde:

v = velocidad

S = Velocidad promedio

D = Densidad

Condiciones de la infraestructura vial

Son características geométricas que posee una vía o carretera, así como también las aceras, los espaldones y el terreno donde está construida la carretera (Baeza y Martínez, 2012).

-Condiciones de tránsito

Se refiere a las condiciones que producen un volumen y distribución del tránsito, tomando en cuenta los tipos de vehículos que circulan en las carreteras. (p. 52)

-Condiciones por controles

Toma en consideración para el control del tránsito los límites de velocidad, semáforos y señales preventivas. (p. 53)

Prioridades de movimiento

Las prioridades de movimiento de los vehículos en una intersección posibilitan un flujo vehicular más ordenado y estable, al tiempo que previene accidentes; por esta razón, Transportation Research Board (2010) enumera un orden de movimientos a considerar:

- 1) Giros a la izquierda desde la carretera principal.
- 2) Giros a la derecha desde la carretera secundaria.
- 3) Giros en U desde la carretera principal.
- 4) Movimientos a través de la intersección desde la carretera secundaria.
- 5) Giros a la izquierda de la carretera secundaria. (p. 19-8)

Intersecciones viales

Es donde hay más de dos vías en las que su principal función es disminuir congestionamientos y ayudar en el cambio de dirección a la hora de realizar la maniobra en la vía. Las intersecciones utilizan mucho los sistemas de control, como semáforos y señales de tránsito, en donde cumplen una labor muy importante y facilitan el traslado de los peatones (Baeza y Martínez, 2012).

Clasificación de las intersecciones

De acuerdo con Baeza y Martínez (2012), estas se clasifican en tres tipos:

- Los desniveles sin rampas
- Los desniveles con rampas
- Desnivel

Las intersecciones sin rampas tienen flujos vehiculares muy fluidos, por la distribución del flujo vehicular para el momento del cruce con diferentes niveles, además, hay giros, lo que ayuda a eliminar los conflictos potenciales en flujos vehiculares.

A su vez, las intersecciones desnivel son de tipo tres o de tres vías y su importancia radica en que son intersecciones de cuatro o tréboles que les permiten a los vehículos cuatro entradas y múltiples vías. Asimismo, las intersecciones de nivel son muy costosas, ya que son muy provechosas para los conductores pues dan muchas garantías a la hora de resolver un problema.

Canalización de intersecciones

Según Baeza y Martínez (2012), las islas de canalización tienen un rol importante en las intersecciones, porque ayudan a los conductores a estar prevenidos; además, son una de las más recomendables, puesto que ayudan al conductor a aumentar su visibilidad al realizar el cruce y disminuyen la complejidad de las maniobras principales, aunque hay que tomar en cuenta las curvas en la carretera principal, debido a que -mientras el tamaño del giro sea más grande- más complicada se vuelve la maniobra, al aumentar el área de vía.

Tipos de intersecciones

De acuerdo con Baeza y Martínez (2012, p. 45), se puede hablar de intersecciones de tres ramales, que son las carreteras principales que se convierten en secundarias en algunas ocasiones, por su geometría y se dividen en dos:

Intersecciones en T: son los que forman ángulos mayores a los 60° .

Intersecciones Y: son los que forman ángulos menores a los 60° entre los ramales.

A su vez, se refieren a las intersecciones de cuatro ramales, que refieren al cruce de dos vías o cuatro ramales y tienen rangos similares; pueden ser de dos tipos (p. 46):

Interacciones en Cruz: los ramales están formados tipo cruz, con ángulos superiores a los 60° con direcciones perpendiculares.

Interacciones en X: tienen dos sectores ángulos inferiores a 60° .

Las intersecciones con poco flujo vehicular pueden no estar canalizadas y, conforme siga incrementando el volumen vehicular, será importante poner las islas de canalización en las intersecciones, con el fin de ayudar en la vía principal, convirtiéndola en una vía secundaria.

Intersecciones controladas por ALTO y CEDA

-Capacidad: “Es la cantidad de vehículos o personas que pueden circular por intersecciones controladas por un ALTO y CEDA” (HCM, 2010, p. 8-2).

-Intervalo crítico: Es el mínimo de tiempo que hay para que dos vehículos puedan atravesar el flujo principal. Según el HCM (2010), su capacidad depende de

$$t_{C,X} = t_{C,base} + t_{C,HV}P_{HV} + t_{C,G}G - t_{C,T} - t_{3,LT}$$

- $t_{C,base}$: intervalo crítico base.
- $t_{C,H}$: ajuste por vehículos pesados.
- P_{HV} : % de vehículos pesados que van en el movimiento secundario.
- $t_{C,G}$: ajuste por pendiente.
- G : pendiente, dividido por 100.
- $t_{3,LT}$: Ajuste por geometría.

-Intervalo de seguimiento (t_c): tiempo (s) mínimo entre dos vehículos del flujo secundario.

$$t_{f,X} = t_{f,base} + t_{f,HV}P_{HV}$$

$t_{f,base}$: intervalo de seguimiento base.

$t_{f,HV}$: ajuste por vehículos pesados.

P_{HV} : % de vehículos pesados del movimiento secundario.

Capacidad y niveles de servicio

-Capacidad: según el HCM (2010), es la cantidad máxima de vehículos que se puede controlar en una carretera, calle o intersección. El análisis de la capacidad de una

carretera tiene como principal objetivo determinar el volumen vehicular que una carretera puede tener, tomando en cuenta que el tránsito sea seguro y estable durante un período.

Además, la estimación de la capacidad de las vías sirve por diferentes motivos importantes: definir el ancho de la vía tomado en consideración, el número de carriles que puede tener la carretera y así obtener una dimensión, así como otras cuestiones de importancia en una vía; también, ayuda a mejorar los alineamientos (p. 8-2).

-Nivel de servicio: de acuerdo con el HCM (2010), se utiliza para medir la calidad de las carreteras y así saber cuáles son las condiciones que hay y observar el nivel de volumen vehicular. Las condiciones que se toman en cuenta son la seguridad en las vías, la oportunidad de realizar maniobras no peligrosas y el estado de la carretera. El nivel de servicio puede ser afectado por diferentes factores que son conocidos como internos y externos.

La velocidad es uno de los factores internos establecida en las carreteras, además de las diferentes maniobras en cambio de direcciones. Entre los factores externos, están la mala sincronización del semáforo y el estado de las vías, por ejemplo. El manual de capacidad vial estableció seis niveles de servicios: A, B, C, D, E y F, con los cuales se ha definido si las condiciones de la carretera son buenas (p. 8-9).

Semáforo

El semáforo es el dispositivo que tiene el principal control de las carreteras, ya que ordena el flujo vehicular. Cabe mencionar que hay momentos en los que causan una demora en el flujo vehicular, sin embargo, cumplen un rol importante y satisfactorio al distribuir el tiempo en cada fase, dependiendo de cómo esté el volumen vehicular. Generalmente, se dividen en tres colores: rojo, amarillo y verde, y los hay también para facilitar la circulación de los peatones (HCM, 2000).

Según el HCM (2010), el semáforo cumple funciones como las siguientes:

- Contraer la velocidad de vehículos en la vía para tener un flujo vehicular constante.
- Regular el tránsito vehicular.
- Disminuir la capacidad numerosa de accidentes.
- La distribución de vehículos durante fases, tomando en cuenta la relación fundamental que hay con los volúmenes de tránsito, dependiendo de la duración en cada fase, en la demanda de hora pico.

Por su parte, el semáforo tiene elementos fundamentales que son factores en su funcionamiento:

-Intervalo de cambio de fase: según el HCM (2010), tiene como función calcular el tiempo de cambio de fase que toma en consideración la percepción de los conductores, en relación con el tiempo en el cual son importantes al momento de conducir en una intersección.

-Longitud de ciclo: en los semáforos, siempre se busca una demora óptima de la intersección, siempre tratando que sea la mínima.

-Vehículos equivalentes: la variedad de vehículos es muy importante de tomar en cuenta y esto hace referencia a los vehículos pesados.

Intervalo de cambio de fase

Según Baeza y Martínez (2012, p. 33) este intervalo se refiere al cambio en un intervalo de tiempo de las fases, a partir de una desaceleración en el tiempo de percepción del semáforo, al momento de cambiar de amarillo a rojo. El cálculo se hace a partir de la siguiente ecuación:

$$y = \left(t + \frac{v}{2a} \right) + \left(W + \frac{L}{v} \right)$$

Donde:

Y: Intervalo de cambio de fase amarillo más todo rojo

t: Tiempo de percepción reacción de los conductores

V: Velocidad de los vehículos

A: desaceleración

W: Ancho de interacción

L: Longitud del vehículo

Flujo de saturación

De acuerdo con lo mencionado por el HCM (2010), el flujo de saturación es cuando hay una gran cantidad de vehículos que causa que la capacidad del carril llegue a su límite y se clasifica en dos: Flujo de Saturación Real y Flujo de Saturación Básico.

Capacidad en intersecciones semaforizadas

Refiere a la mayor cantidad de volumen vehicular que puede cruzar por las intersecciones semaforizadas; normalmente, el tiempo promedio es de 15 minutos instalación de los semáforos de debe ser precisa para no afectar el flujo. Cabe mencionar que esto solo aplica para rutas principales en las intersecciones y el nivel de servicio de la capacidad de intersecciones se analiza n por separado.

Niveles de servicio en intersecciones semaforizadas

En las intersecciones, es importante tomar en cuenta si las vías están correctamente estructuradas o no, ya que eso puede causar demoras y afectar los niveles de servicio de las intersecciones en zonas semaforizadas, debido al lapso de tiempo que pierde en el viaje, además del gasto del combustible extra; también, es una medida de los conductores que demuestran frustración e incomodidad al momento de conducir (Cal et al., 2007, p. 365).

-Nivel de servicio A

Según Cal et al., (2007). se opera con demoras muy bajas menores de 10 segundos por vehículo que llegan cuando el semáforo está en fase verde y los vehículos no se detienen. La longitud puede influir en disminuir las demoras. (p. 365)

-Nivel de servicio B

Según Cal et al. (2007), tienen demoras en un intervalo de tiempo entre 10 y 20 segundos por vehículo; algunos vehículos disminuyen su velocidad y empiezan a detenerse.

-Nivel de servicio C

Según Cal et al. (2007), tienen demoras entre 20 y 35 segundos; el flujo vehicular tiene una circulación regular y -sin embargo- empiezan las congestiones vehiculares.

-Nivel de servicio D

Según Cal et al. (2007) tienen demoras en centros, entre 35 y 55 segundos por vehículo. Las demoras pueden deberse a la mala progresión del tránsito o por llegar en semáforos en rojo, además de longitudes de cola amplias.

-Nivel de servicio E

Según Cal et al. (2007), tienen demoras entre 55 y 80 segundos por vehículo, las cuales son provocadas por flujos vehiculares muy lentos y colas muy largas.

-Nivel de servicio F

Según Cal et al. (2007), tienen demoras que duran más de 80 segundos por vehículo, en donde hay un flujo vehicular muy congestionado porque la capacidad en el carril está muy saturada.

Tabla 1

Nivel de servicio para semáforos

Nivel de servicio	Demora por control (Segundos/Vehículos)
A	≤ 10
B	> 10 -20
C	> 20 -35
D	> 35 – 55
E	> 55 – 80
F	> 80

Nota: Tomado del libro Highway Capacity Manual, 2010.

Intersecciones controladas por semáforos

ALTO y CEDA

• Capacidad: Se refiere al número máximo de vehículos que circulan en una intersección regulada por ALTO y CEDA durante un periodo de tiempo.

Entre los elementos que afectan los niveles de servicio en una intersección regulada con alto y cede, se distinguen los factores internos y externos: donde -de los internos que más se conocen- están el volumen del tránsito vehicular, la velocidad y el porcentaje de maniobras irresponsables de los conductores; en los externos, están la mala sincronización de los semáforos, la anchura de las vías y las pendientes.

Por su parte, Cal et al. (2007) establecen seis niveles de servicios: A, B, C, D, E y F; dependiendo del nivel, se va a conocer si las condiciones son favorables o no para la circulación de los vehículos (p. 328). Dichos niveles se abordan a continuación:

-Nivel de servicio A

Cuando hay una circulación de alto tránsito y no se presenta ningún problema para los conductores, el flujo vehicular es constante y la carretera o vía están en excelentes condiciones.

-Nivel de servicio B

En este nivel, todavía ocurre un flujo vehicular muy constante, sin embargo, en algunos sectores de la carretera -al momento de haber volumen vehicular-, la velocidad disminuye, pero la circulación sigue con un buen flujo, aunque haya conductores que recurran a maniobras irresponsables que alteren el tránsito seguro.

-Nivel de servicio C

Tiene un rango de volumen vehicular estable, pero es ahí donde los conductores tienden a realizar maniobras que afectan la seguridad de otros conductores, por lo que se empiezan a restringir algunos carriles y el nivel de tránsito empieza a disminuir.

-Nivel de servicio D

En este nivel de servicio, aunque la circulación es estable y a una velocidad notable, ya se empiezan a notar zonas restringidas en donde el nivel de velocidad disminuye contundentemente los flujos de vehicular, lo que puede generar demoras y pequeñas colas.

-Nivel de servicio E

Ya en este nivel de servicio, el flujo vehicular sí se complica, pues está en el límite de la capacidad de la velocidad y se presentan algunas situaciones en carretera que restringe a los conductores y los obliga a ser más precavidos, debido a que se vuelve una carretera más inestable debido al flujo vehicular lento, lo que genera conflictos en las trayectorias.

-Nivel de servicio F

En este nivel, hay un flujo vehicular muy complicado, por la cantidad de vehículos en un sector conflictivo, en el cual el flujo vehicular es muy lento, hay grandes colas y tiempos de demora que pasan los intervalos de tiempo con zonas en las carreteras muy inestables.

Factores que influyen en los niveles de servicio

Hay diferentes componentes en el tránsito que pueden variar el nivel de servicio, por lo que se pueden medir los flujos en un horario en el que hay mucha demanda, cuando este no comprende horas pico; de esta manera, el clima puede ser un factor, ya que los conductores deben disminuir la velocidad, lo que ralentiza el tránsito. Normalmente, los tiempos de demora van de los 5 a un máximo de 15 minutos, siendo este último el tiempo más crítico (Baeza y Martínez, 2012).

Cabe destacar que no se suelen hacer estudios de capacidad que permitan conocer el número máximo de vehículos que pueden formar parte del flujo vehicular en carretera, sino que se suele calcular el nivel de servicio con enfoque en determinado tramo, así como la tasa de flujo permitida, de acuerdo con cada nivel; de esta manera, se analizan los volúmenes y flujos, para precisar el momento en el que se alcanzará la capacidad del sistema vial, según la zona (HCM, 2010).

Por su parte, Baeza y Martínez (2012) afirman que en nivel de servicio también tienen que tomarse en consideración factores externos que inciden para medir en un horario que convenga, mientras que los factores internos se miden durante el periodo de mayor flujo. A su vez, explican lo siguiente:

En función el nivel de servicio es la cantidad de vehículos que por un lapso de tiempo puede circular por la vía o calle. No obstante, ese flujo vehicular se va incrementando a medida que el nivel de servicio vaya disminuyendo hasta que disminuya al nivel de servicio más bajo que es considerado el peor, determinando las condiciones más desfavorables.

A lo largo de los años se tiene como pensamiento que la velocidad es el indicador más común para determinar cuál es el nivel de servicio no obstante hay diferentes métodos más modernos en las que son instruidos además de la velocidad otros indicadores.

Este análisis normalmente se utiliza y es fundamental para saber los efectos de los factores interno y externos en la capacidad base del tramo en las carreteras y el flujo vehicular que hace parte a los niveles de servicio que afectan los estudios de capacidad que

ayudan a medir los factores que se observan en las carreteras, en donde se realizó una clasificación de factores y se determinaron y son valorados. (pp. 53-54)

Longitudes de cola

De acuerdo con Cal et al. (2007), estos factores se demuestran por del número de vehículos que están atrapados en un embotellamiento en una larga fila para entrar a la intersección, donde se toman en cuenta los intervalos de tiempo y así obtener datos precisos de cuando se formó la longitud de cola. Son un elemento que considera las variables mencionadas y pueden ser de gran ayuda, ya que permite evidenciar la presencia de un problema en una intersección que está mal diseñada, conocido como un problema de infraestructura vial.

Demora

Se conoce como el tiempo que inicia cuando el vehículo está en la parte final de una fila de congestionamiento en una intersección o carretera, hasta llegar al frente de la fila; cabe mencionar que se obtienen los datos de demora por medio mediciones cuantitativas de tiempo, para calcular los minutos en que fue afectado el conductor por las condiciones que hay en una intersección (Cal et al., 2007, p. 371).

Dado lo anterior, la demora es el estado crítico en un tránsito vehicular interrumpido y se expresa con la siguiente ecuación:

$$d = d1 + d2 + d3$$

$$d = d1 * PF + d3$$

Donde:

d_i = Demora media por acceso (Segundo/vehículos)

d_1 = Demora uniforme (Segundo/vehículos)

d_2 = Demora incremental (Segundo/vehículos)

d_3 = Demora inicial (Segundo/vehículos)

PF = Factor de ajuste de progresión

Capacidad de una rotonda

Según Dávila (2019), el enfoque de la capacidad de una rotonda es afectado por diferentes aspectos que influyen en el flujo vehicular de una rotonda, como el flujo de entrada, circulación y salida; donde el flujo de circulación es el que afecta más por las entradas de las rotondas y eso tiene efecto en las salidas de los vehículos (p. 11).

Método para determinar la capacidad y demoras en las rotondas en Costa Rica

Esta metodología se creó en Costa Rica en 1990, a razón de que no había un método para determinar los datos al diseñar una rotonda, ya que se hicieron más comunes en esa época; por lo tanto, se creó el método para obtener los valores de hora pico, las demoras, longitudes de cola y probabilidad de detenerse para las rotondas (Durán, 1990, p. 5). Dichos datos son de suma relevancia para las rotondas a la hora de planificar la parte geométrica, el diseño de carriles y el radio de giro.

La metodología tiene los siguientes pasos:

1. Se realiza una visita al campo para hacer el conteo del aforo vehicular durante una hora, dividiendo en lapsos de 15 minutos los aforos, y se calcula el factor de hora pico:

$$FHP\ 15 = \frac{\text{Volumen total en una hora}}{4 * \text{volumen maximo en 15 min}}$$

Donde:

FHP: Factor de hora pico

$$\text{Tasa de flujo horario} = \frac{\text{Volumen horario}}{FHP\ 15}$$

2. Se determina dependiendo de los carriles el porcentaje que se usa para la distribución del carril.

Tabla 2*Distribución del volumen secundario por carril*

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

Nota: Tomado del método para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotondas, 1990, en Costa Rica.

Se obtienen esos porcentajes, dependiendo de las condiciones que hay en la rotonda en donde el porcentaje del volumen en el carril izquierdo es de 55 %, mientras el derecho es de 45 % para el factor de máxima demanda y fuera de la hora de máxima demanda es al contrario.

3. Para cada carril, se determinan los volúmenes opuestos:

$$V_{OP} - q_2 = q_{ct} + q_{BI}$$

$$V_{OP} - q_1 = K_1 * q_{D1} + q_{CI} + q_{CT} + V_{OP} + q_2$$

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

$$K=0.1 \text{ Si } X > 5m$$

Donde:

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

K = Coeficiente de corrección por geometría

q_1 = Es el volumen vehicular en la entrada carril izquierdo

q_2 = Es el volumen vehicular en la entrada carril derecho

q_{CT} = Es el volumen vehicular que va en el carril opuesto

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

4. Se determinan los intervalos críticos y de seguimiento.

De acuerdo con Durán (1990), se refiere a lapsos de tiempo en zonas que están muy afectadas por el congestionamiento en la intersección; no obstante, es afectado directamente por el tiempo que dura un conductor en el congestionamiento, el cual empieza en el momento en el que se ubica al principio de la vía algún sector de los ramales (p. 11).

Intervalo de seguimiento:

$B_2 = 2.1$ Cuando el radio de la rotonda < 15

$B_2 = 2.3$ Cuando el radio de la rotonda > 15 , entrada normal $\varphi \leq 60^\circ$

$B_2 = 2.5$ Cuando el radio de la rotonda > 15 , entrada normal $\varphi > 60^\circ$

Factor de corrección = + 0.1 seg por el porcentaje de pesados por carril

Donde:

B_2 : es el intervalo de seguimiento

φ : es el ángulo de giro desde la entrada del carril

Intervalo crítico:

$t_c = 4.0$ Cuando el radio de la rotonda < 15

$t_c = 4.2$ Cuando el radio de la rotonda > 15 , entrada normal $\varphi \leq 40^\circ$ $\varphi > 60^\circ$

$t_c = 4.5$ Cuando el radio de la rotonda > 15 , entrada normal $\varphi > 60^\circ$

$t_c = 4.0$ Cuando el radio de la rotonda < 15

Factor de corrección = + 0.3 seg por el porcentaje de pesados por carril

- 0.2 seg el carril derecho

Donde:

t_c : es el intervalo crítico

5. Se determina la capacidad de la rotonda.

$$C_2 = \frac{V_{OP} * e^{\left(\frac{V_{OP} * (B_2 - t_c)}{3600}\right)}}{e^{\left(\frac{V_{OP} * B_2}{3600}\right)}}$$

Donde:

C_2 : capacidad de las intersecciones con dos carriles

V_{OP} : Volúmenes opuestos

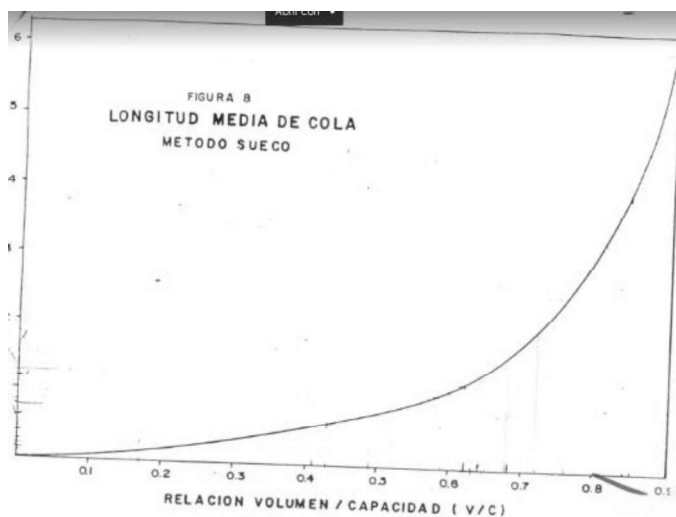
t_c : es el intervalo crítico

B_2 : es el intervalo de seguimiento

6. Se obtiene la longitud de cola media mediante el siguiente gráfico:

Figura 2

Gráfico de longitud media de cola



Nota: Tomado del método para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotondas, 1990, en Costa Rica.

Donde:

Mf : Longitud de cola promedio

(V/C) : Relación volumen entre capacidad

$$Mf = Mf * (7.5 + (\%T * 0.07))$$

Donde:

Mf : Longitud de cola promedio

$\%T$: Porcentaje de los vehículos pesados

7. Determinación de la probabilidad de detenerse.

$$Ps = 100 * (1 - pf + pf * pk)$$

Donde:

Ps = Probabilidad de detenerse

Pf = Probabilidad de detenerse dependiendo de Vop

Pk = Se obtiene del volumen entre capacidad

8. Estimación de la demora total.

$$d = dv + dk$$




Donde:

d : Demora total

Dv : Demora que está en espera

Dk : Demora geométrica

Tabla 3*Tabla de demora geométrica*

Demora geométrica				
Velocidad aprox	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

Nota: Tomado del método para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotondas, 1990 en Costa Rica

8. Se determinan los niveles de servicio de la rotonda

Tabla 4*Tabla de longitud media de cola*

Nivel de servicio de la rotonda	
Nivel de servicio	Demora media total
A	≤ 10
B	10 a 20
C	20 a 30
D	30 a 40
E	40 a 150

F	≥ 150
----------	------------

Nota: Tomado del método para estimar la capacidad y demoras en intersecciones tipo rotondas, 1990, en Costa Rica.

HCM 2010

El Manual de Capacidad de Carreteras es un libro de transportación de los Estados Unidos que tiene definiciones y procedimientos para estimar la capacidad y el nivel de servicio de las carreteras. El Manual busca disminuir el congestionamiento vial de las carreteras promoviendo sistemas utilizando los valores de capacidad y los niveles de servicio de las carreteras. Cabe mencionar que estos sistemas tienen diferentes parámetros y métodos desarrollados por diferentes investigaciones durante años pasados en donde se busca mejorar las condiciones del tránsito vehicular en el mundo. Se toman en consideración diferentes investigaciones en la cual tuvieron datos con resultados defectuosos y aplicados en los Estados Unidos.

De acuerdo con algunos principios presentados por el Manual, es importante destacar lo que se considera fundamental, como lo es el tránsito, la geometría vehicular y los dispositivos de control. De esta manera, se toma en consideración la demanda de los usuarios del tránsito, desarrollando carreteras satisfactorias para el usuario de tránsito, que sean cómodas para el conductor, y controles que regulan el tránsito vehicular, con el objetivo de tener una alta cantidad de vehículos en un flujo continuo y evitando congestionamientos viales.

Por su parte, el manual HCM tienen tres niveles, según Baeza y Martínez (2012):

- Análisis de circulación: el cual se conoce como la aplicación que se basa en datos actuales de tránsito de una carretera que son regulados, pero es importante tener en cuenta las condiciones de la carretera, para saber cuáles son los parámetros; también, tiene la función de poder medir un vehículo en movimiento, sin importar la velocidad, para así determinar el nivel de servicio con el Manual.
- Diseño: al requerir grandes inversiones en el diseño, se debe garantizar que su utilidad sea duradera, de tal manera que es importante saber desde antes cuál será la demanda de circulación vehicular en el año, a fin de satisfacerla.
- Planeación: refiere al momento de iniciar con el planteamiento de la construcción del diseño de una vía y todavía no se conoce con exactitud los detalles importantes, que pueden

implicar métodos complicados como parte de los procedimientos de planeación, pero también muy efectivos, lo cual permite no usar el refinamiento innecesario en trabajos donde se planifica.

Recopilación de datos

La recolección de datos, en este caso, refiere al conteo de la cantidad de vehículos que hay en una carretera, donde los datos demuestran los movimientos de las personas o vehículos dentro de un sistema vehicular, con el objetivo de entender el comportamiento de las maniobras de los conductores. Además, hay diferentes maneras y técnicas con las que se puede realizar el conteo del aforo vehicular, como el conteo manual, que es con papel y lápiz; además, existe el aforo electrónico, en la cual se utilizan aparatos automáticos de conteo. Cabe mencionar que es fundamental tener un análisis antes de los recursos que se van a necesitar, para saber la técnica más recomendable que se va usar, al tiempo que se deben tener en consideración los días y horas en los cuales se va a realizar el conteo, para obtener resultados más precisos (Cal et al., 2007).

Una aplicación fundamental para medir el aforo vehicular es el *software* Synchro 10, ya que permite revisar los resultados de los aforos vehiculares con más precisión, tomando en cuenta la ubicación de las interacciones y la sincronización de los altos, cedas y semáforos, para así tener un alto grado de efectividad en los resultados del nivel de servicio, los volúmenes opuestos y la relación volumen-capacidad; además, sirve para detectar los problemas de congestión vial. En el caso del sim traffic, ayuda con las intersecciones, caracterizando las zonas semaforizadas y señalizadas.

Capítulo 3: Marco metodológico

Paradigma, enfoque y método de investigación

Esta investigación se desarrolló a partir del método cuantitativo, dado que se buscó recopilar información que sería fundamental para realizar una comparación de los datos de los registros a ser utilizados para el análisis vehicular en la zona central de la provincia de Limón, definiendo factores que afectan el flujo continuo y modulándolos por medio del *software* Synchro 10, para así compararlos con los datos obtenidos del Manual HCM (2010).

Cabe destacar que, según Bolaños (2019), este método se basa en el principio general de determinar un conjunto de escenarios de análisis lo suficientemente amplios para cada

experimento, de manera que los resultados obtenidos puedan ser generalizados para todo tipo de intersecciones prioritarias, además de obtener las demoras y longitudes de cola del congestionamiento, para proponer las medidas correspondientes.

Por su parte, según Hernández Sampieri et al. (2014), el enfoque cuantitativo se centra en la recolección de datos para confirmar una hipótesis en una investigación con base en el análisis estadístico de los datos recopilados del proyecto. Tomando en cuenta el primer capítulo de este trabajo, se consideró apropiado plantear la investigación bajo dicho enfoque, debido a que se propone el conteo de los aforos para obtener el volumen vehicular y luego representar en una gráfica los porcentajes obtenidos. Además, de manera cuantitativa, se definen y enumeran los problemas, se adquieren datos de entrada y salida de los vehículos, se desarrollan y prueban soluciones para las vías, y se analizan los resultados.

Por otro lado, resulta importante agilizar los flujos vehiculares en las intersecciones, ya que esa es una de sus funciones, de ahí la necesidad de mejorar la infraestructura vial y optimizar los intervalos de tiempo, lo que -a su vez- favorece la normalidad en las maniobras de los conductores; es por lo anterior que se tomó en cuenta la ecuación del HCM (2010), para obtener los intervalos críticos, los tiempos de demora y la longitud de cola, para luego realizar un análisis en el Synchro 10.

Definición de variables

Para este estudio, se utilizaron dos variables muy importantes para realizar el análisis de capacidad de las intersecciones, las cuales se muestran en la Tabla 6.

Tabla 5

Identificación de las variables

Objetivo	Variable dependiente	Variable independiente	Herramientas
Determinar las dimensiones de la infraestructura vial	Se obtienen registros nacionales de las vías a partir de pasadas investigaciones del MOPT.	Las zonas que están cambiando por antiguas zonas dañadas por los vehículos.	Se necesitó una cinta métrica larga para medir las dimensiones de las vías.

Realizar el conteo del volumen vehicular	El conteo manual del volumen vehicular	El volumen vehicular puede cambiar notablemente dependiendo de la época en la cual se realice la investigación.	Se necesitó un cronómetro para medir el tiempo de demora.
Analizar una propuesta existente del tránsito.	Se obtiene información de los ingenieros del Mopt	La propuesta puede cambiar detalles de la ora que está en análisis	Se necesitó información de la propuesta de Mopt.
Comparar los niveles de servicio.	Los resultados del nivel de servicio de la intersección y la rotonda	Los niveles deservicio pueden cambiar dependiendo del volumen vehicular de ese día	Se necesitó los resultados de los niveles de servicio.

Nota: Elaboración propia, 2022.

Sujetos y fuentes de información

Como fuentes de información, se utilizaron libros como “Ingeniería de Tránsito” de Cal et al. (2007), así como la versión más nueva de este último, del año 2010. A su vez, se recurrió al registro nacional del MOPT sobre esta carretera, para obtener investigaciones y normas utilizadas en el área.

Población

Esta investigación está dirigida a los habitantes del cantón central de Limón, con el objetivo de facilitar sus traslados por esta zona y mejorar la seguridad vial, de manera que se planteó analizar el volumen vehicular, para obtener los datos de demora y la longitud de cola en la intersección descrita anteriormente; además, a partir del *software* Synchro 10, se buscó determinar cuáles eran los intervalos críticos. Adicional a esto, se tomó en cuenta la cantidad de vehículos pesados que transitan por esa zona, para analizar su afectación en las maniobras de los conductores.

Muestra

La muestra para alcanzar el objetivo general de este proyecto fue la cantidad de vehículos que transitaban por la intersección que conecta con la ruta 32 con la ruta 36 y la calle 9 en el cantón

de Limón, ya que de ahí se tomaron los datos para hacer la respectiva comparación de la situación real de las intersecciones con lo descrito en el HCM (2010).

Instrumentos y técnicas de recopilación de datos

Hay que destacar que la Dirección General del MOPT cuenta con un registro de las características de las carreteras además de volúmenes vehiculares de investigaciones anteriores, además de información de las futuras obra a realizar en las carreteras del país mediante funcionarios y Registro nacional. Para poder realizar un levantamiento vehicular, es indispensable obtener datos de ingreso, como lo es el ancho de calzada y la capacidad vehicular, por lo que se visitó las zonas en cuestión y se hizo un conteo de volumen vehicular en distintos horarios, para así demostrar el comportamiento real de estas intersecciones.

Estos conteos se realizaron en una intersección que conecta la ruta 32, la 36 y la calle 9, frente al McDonald del cantón de Limón; durante las horas pico de la mañana, medio día y tarde noche, para presenciar mayor flujo vehicular, utilizando tablas con las horas respectivas, para que la toma de datos fuera precisa. Además, se midieron los tiempos de demora y las longitudes de cola, para determinar los niveles de servicio de la intersección.

Se utilizó esta plantilla para la recolección de datos.

Fecha:			
Aforador:			
Movimiento :			
Hora	Livianos	Pesados	Total
5:00-5:15			
5:15-5:30			
5:30-5:45			
5:45-6:00			
6:00-6:15			
6:15-6:30			
6:30-6:45			
6:45-7:00			

Una vez obtenidos los datos del levantamiento vehicular de la intersección mediante una hoja de cálculo realizada en la aplicación *Excel*, se procedió a proyectar los volúmenes vehiculares

de la intersección para el año 2024 y 2029 y se determinaron los niveles de servicios mediante el *software* Synchro 10. Al concluir con los resultados de los niveles de servicio de la intersección, se procedió a analizar el funcionamiento de una rotonda en vez de la intersección, siguiendo los procedimientos de la metodología de Mario Durán, para así estimar la capacidad de la rotonda, determinando los tiempos de demora y su nivel de servicio.

Al finalizar el análisis, se realizó la comparación de los resultados de los niveles de servicio de la intersección y la rotonda, para así determinar si la rotonda va disminuir el congestionamiento vial y, en caso de construir la rotonda, se procede a la siguiente expropiación.

Figura 3

Expropiación de terreno



Cronograma

Cronograma															
Actividad	Cuatrimestre														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Inicio de TFG	■														
Medir las dimensiones las vías	■	■	■												
Reunión con el tutor	■		■		■		■		■		■			■	
Realizar el conteo de aforos vehiculares				■	■										
Procesamiento de los datos recolectados					■										
Realizar los cálculos de demora y longitud de cola						■	■								
Colocar los resultados de demora en el Synchro 10							■	■							
Entrega del primer avance								■	■						
Implementar las correcciones del primer avance										■	■	■			
Elaboración de las conclusiones													■		

Referencias bibliográficas																				
Entrega del documento final del TFG																				
Presentación del TFG																				

Nota: Elaboración propia, 2022.

Capítulo 3: Análisis de resultados

Análisis de datos

En este apartado, se llevará a cabo una descripción de los resultados obtenidos a partir del conteo de los aforos vehiculares de la intersección que conecta la ruta 32 con la ruta 36 y la calle 9, donde se hizo la distinción entre vehículos pesados y livianos. Los conteos se realizaron en la mañana, al medio día y en la tarde noche.

Cabe destacar que la intersección está distribuida de la siguiente manera:

- Movimiento 2: son los vehículos que van desde San José hacia Limón centro.
- Movimiento 3: son los vehículos que van desde San José y que realizan un giro a la derecha, hacia Puerto Viejo.
- Movimiento 5: son los vehículos que van desde Limón centro hacia San José.
- Movimiento 7: son los vehículos que van desde Cieneguita hacia San José.
- Movimiento 9: son los vehículos que van desde Cieneguita hacia Limón centro.
- Movimiento 10: son los vehículos que van desde los barrios del norte de Limón hacia Limón centro.
- Movimiento 11: son los vehículos que van desde los barrios del norte de Limón hacia Puerto Viejo.
- Movimiento 12: son los vehículos que van desde los barrios del norte de Limón hacia San José.

Habiendo conocido las direcciones de los movimientos, se procede a presentar los datos obtenidos en los diferentes conteos, empezando con los de la mañana (ver tablas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14).

Tabla 6*Movimiento 2*

Fecha: Lunes 9 de octubre			
Aforador: Damark Beale			
Movimiento 2			
Hora	Livianos	Pesados	Total
6:00 am-6:15 am	55	6	61
6:15 am-6:30 am	68	9	77
6:30 am-6:45 am	68	7	75
6:45 am-7:00 am	73	6	79
7:00 am-7:15 am	57	9	66
7:15 am-7:30 am	63	7	70
7:30 am-7:45 am	65	12	77
7:45 am-8:00 am	43	7	50

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 7*Movimiento 3*

Fecha: Lunes 9 de octubre			
Aforador: Damark Beale			
Movimiento 3			
Hora	Livianos	Pesados	Total
6:00 am-6:15 am	9	2	11
6:15 am-6:30 am	8	2	10
6:30 am-6:45 am	7	1	8
6:45 am-7:00 am	7	1	8
7:00 am-7:15 am	9	1	10
7:15 am-7:30 am	10	4	14
7:30 am-7:45 am	9	2	11
7:45 am-8:00 am	8	1	9

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 8

Movimiento 5

Fecha: Lunes 9 de octubre Aforador: Damark Beale Movimiento 5			
Hora	Livianos	Pesados	Total
6:00 am-6:15 am	60	5	65
6:15 am-6:30 am	63	5	68
6:30 am-6:45 am	67	3	70
6:45 am-7:00 am	66	5	71
7:00 am-7:15 am	65	7	72
7:15 am-7:30 am	61	6	67
7:30 am-7:45 am	63	5	68
7:45 am-8:00 am	50	6	56

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 9

Movimiento 7

Fecha: Lunes 9 de octubre Aforador: Marvin Beale Movimiento 7			
Hora	Livianos	Pesados	Total
6:00 am-6:15 am	5	1	6
6:15 am-6:30 am	5	2	7
6:30 am-6:45 am	8	1	9
6:45 am-7:00 am	12	1	13
7:00 am-7:15 am	9	2	11
7:15 am-7:30 am	7	1	8
7:30 am-7:45 am	7	1	8
7:45 am-8:00 am	6	1	7

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 10

Movimiento 9

Fecha: Lunes 9 de octubre Aforador: Marvin Beale Movimiento 9			
Hora	Livianos	Pesados	Total
6:00 am-6:15 am	29	3	32
6:15 am-6:30 am	35	6	41
6:30 am-6:45 am	48	3	51
6:45 am-7:00 am	46	5	51
7:00 am-7:15 am	40	4	44
7:15 am-7:30 am	43	2	45
7:30 am-7:45 am	41	9	50
7:45 am-8:00 am	32	6	38

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 11

Movimiento 10

Fecha: Lunes 9 de octubre Aforador: Denia Allen Movimiento 10			
Hora	Livianos	Pesados	Total
6:00 am-6:15 am	3	0	3
6:15 am-6:30 am	5	0	5
6:30 am-6:45 am	5	2	7
6:45 am-7:00 am	3	0	3
7:00 am-7:15 am	4	0	4
7:15 am-7:30 am	4	1	5
7:30 am-7:45 am	6	0	6
7:45 am-8:00 am	5	0	5

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 12*Movimiento 11*

Fecha: Lunes 9 de octubre			
Aforador: Denia Allen			
Movimiento 11			
Hora	Livianos	Pesados	Total
6:00 am-6:15 am	24	4	28
6:15 am-6:30 am	22	2	24
6:30 am-6:45 am	28	2	30
6:45 am-7:00 am	15	4	19
7:00 am-7:15 am	17	3	20
7:15 am-7:30 am	12	0	12
7:30 am-7:45 am	15	1	16
7:45 am-8:00 am	10	1	11

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 13*Movimiento 12*

Fecha: Lunes 9 de octubre			
Aforador: Denia Allen			
Movimiento 12			
Hora	Livianos	Pesados	Total
6:00 am-6:15 am	16	2	18
6:15 am-6:30 am	20	1	21
6:30 am-6:45 am	18	1	19
6:45 am-7:00 am	10	2	12
7:00 am-7:15 am	6	0	6
7:15 am-7:30 am	5	1	6
7:30 am-7:45 am	16	0	16
7:45 am-8:00 am	5	0	5

Nota: Elaboración propia, 2022.

Por su parte, se procede a presentar los datos recolectados en los conteos del medio día (ver tablas 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22).

Tabla 14

Movimiento 2

Fecha: Lunes 9 de octubre Aforador: Damark Beale Movimiento 2			
Hora	Livianos	Pesados	Total
11:00 am-11:15 am	57	9	66
11:15 am-11:30 am	40	5	45
11:30 am-11:45 am	67	6	73
11:45 am-12:00 pm	58	4	62
12:00 pm -12:15 pm	68	3	71
12:15 pm-12:30 pm	64	6	70
12:30 pm-12:45 pm	55	3	58
12:45 pm-1:00 pm	65	2	67

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 15

Movimiento 3

Fecha: Lunes 9 de octubre Aforador: Damark Beale Movimiento 3			
Hora	Livianos	Pesados	Total
11:00 am-11:15 am	15	3	18
11:15 am-11:30 am	9	2	11
11:30 am-11:45 am	11	5	16
11:45 am-12:00 pm	9	4	13
12:00 pm -12:15 pm	13	5	18
12:15 pm-12:30 pm	14	2	16
12:30 pm-12:45 pm	12	3	15
12:45 pm-1:00 pm	8	1	9

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 16*Movimiento 5*

Fecha: Lunes 9 de octubre Aforador: Damark Beale Movimiento 5			
Hora	Livianos	Pesados	Total
11:00 am-11:15 am	42	4	46
11:15 am-11:30 am	50	3	53
11:30 am-11:45 am	40	3	43
11:45 am-12:00 pm	37	2	39
12:00 pm -12:15 pm	48	5	53
12:15 pm-12:30 pm	32	6	38
12:30 pm-12:45 pm	42	2	44
12:45 pm-1:00 pm	40	4	44

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 17*Movimiento 7*

Fecha: Lunes 9 de octubre Aforador: Marvin Beale Movimiento 7			
Hora	Livianos	Pesados	Total
11:00 am-11:15 am	9	3	12
11:15 am-11:30 am	5	1	6
11:30 am-11:45 am	7	2	9
11:45 am-12:00 pm	4	1	5
12:00 pm -12:15 pm	9	0	9
12:15 pm-12:30 pm	6	2	8
12:30 pm-12:45 pm	4	1	5
12:45 pm-1:00 pm	6	0	6

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 18*Movimiento 9*

Fecha: Lunes 9 de octubre			
Aforador: Marvin Beale			
Movimiento 9			
Hora	Livianos	Pesados	Total
11:00 am-11:15 am	20	5	25
11:15 am-11:30 am	25	3	28
11:30 am-11:45 am	34	2	36
11:45 am-12:00 pm	30	4	34
12:00 pm -12:15 pm	25	4	29
12:15 pm-12:30 pm	20	3	23
12:30 pm-12:45 pm	26	1	27
12:45 pm-1:00 pm	35	2	37

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 19*Movimiento 10*

Fecha: Lunes 9 de octubre			
Aforador: Denia Allen			
Movimiento 10			
Hora	Livianos	Pesados	Total
11:00 am-11:15 am	7	0	7
11:15 am-11:30 am	8	2	10
11:30 am-11:45 am	4	2	6
11:45 am-12:00 pm	5	0	5
12:00 pm -12:15 pm	7	1	8
12:15 pm-12:30 pm	4	1	5
12:30 pm-12:45 pm	7	0	7
12:45 pm-1:00 pm	3	0	3

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 20*Movimiento 11*

Fecha: Lunes 9 de octubre			
Aforador: Denia Allen			
Movimiento 11			
Hora	Livianos	Pesados	Total
11:00 am-11:15 am	12	2	14
11:15 am-11:30 am	17	3	20
11:30 am-11:45 am	11	2	13
11:45 am-12:00 pm	12	4	16
12:00 pm -12:15 pm	9	3	12
12:15 pm-12:30 pm	8	0	8
12:30 pm-12:45 pm	12	1	13
12:45 pm-1:00 pm	9	1	10

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 21*Movimiento 12*

Fecha: Lunes 9 de octubre			
Aforador: Denia Allen			
Movimiento 12			
Hora	Livianos	Pesados	Total
11:00 am-11:15 am	5	2	7
11:15 am-11:30 am	6	1	7
11:30 am-11:45 am	3	1	4
11:45 am-12:00 pm	5	1	6
12:00 pm -12:15 pm	6	1	7
12:15 pm-12:30 pm	5	2	7
12:30 pm-12:45 pm	3	2	5
12:45 pm-1:00 pm	5	3	8

Nota: Elaboración propia, 2022.

Por último, se presentan los datos correspondientes a los conteos de la tarde noche (ver tablas 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 y 30).

Tabla 22

Movimiento 2

Fecha: Lunes 9 de octubre Aforador: Damark Beale Movimiento 2			
Hora	Livianos	Pesados	Total
5:00 pm-5:15 pm	45	6	51
5:15 pm-5:30 pm	53	5	58
5:30-5:45	60	3	63
5:45-6:00	40	6	46
6:00-6:15	55	6	61
6:15-6:30	48	5	53
6:30-6:45	38	4	42
6:45-7:00	30	2	32

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 23

Movimiento 3

Fecha: Lunes 9 de octubre Aforador: Damark Beale Movimiento 3			
Hora	Livianos	Pesados	Total
5:00-5:15	12	4	16
5:15-5:30	15	5	20
5:30-5:45	8	4	12
5:45-6:00	10	3	13
6:00-6:15	11	2	13
6:15-6:30	8	3	11
6:30-6:45	7	1	8
6:45-7:00	5	3	8

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 24*Movimiento 5*

Fecha: Lunes 9 de octubre			
Aforador: Damark Beale			
Movimiento 5			
Hora	Livianos	Pesados	Total
5:00-5:15	53	8	61
5:15-5:30	48	4	52
5:30-5:45	40	5	45
5:45-6:00	35	6	41
6:00-6:15	30	5	35
6:15-6:30	33	3	36
6:30-6:45	24	2	26
6:45-7:00	15	3	18

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 25*Movimiento 7*

Fecha: Lunes 9 de octubre			
Aforador: Marvin Beale			
Movimiento 7			
Hora	Livianos	Pesados	Total
5:00-5:15	8	4	12
5:15-5:30	10	2	12
5:30-5:45	10	2	12
5:45-6:00	9	1	10
6:00-6:15	11	2	13
6:15-6:30	10	0	10
6:30-6:45	6	1	7
6:45-7:00	4	0	4

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 26*Movimiento 9*

Fecha: Lunes 9 de octubre			
Aforador: Marvin Beale			
Movimiento 9			
Hora	Livianos	Pesados	Total
5:00-5:15	19	5	24
5:15-5:30	32	7	39
5:30-5:45	30	5	35
5:45-6:00	28	4	32
6:00-6:15	40	3	43
6:15-6:30	20	4	24
6:30-6:45	15	2	17
6:45-7:00	10	0	10

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 27*Movimiento 10*

Fecha: Lunes 9 de octubre			
Aforador: Denia Allen			
Movimiento 10			
Hora	Livianos	Pesados	Total
5:00-5:15	4	0	4
5:15-5:30	5	3	8
5:30-5:45	6	2	8
5:45-6:00	6	2	8
6:00-6:15	5	1	6
6:15-6:30	4	2	6
6:30-6:45	4	0	4
6:45-7:00	5	0	5

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 28*Movimiento 11*

Fecha: Lunes 9 de octubre			
Aforador: Denia Allen			
Movimiento 11			
Hora	Livianos	Pesados	Total
5:00-5:15	15	5	20
5:15-5:30	20	2	22
5:30-5:45	22	1	23
5:45-6:00	14	3	17
6:00-6:15	10	2	12
6:15-6:30	22	0	22
6:30-6:45	14	2	16
6:45-7:00	10	0	10

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 29*Movimiento 12*

Fecha: Lunes 9 de octubre			
Aforador: Denia Allen			
Movimiento 12			
Hora	Livianos	Pesados	Total
5:00-5:15	25	3	28
5:15-5:30	15	3	18
5:30-5:45	19	1	20
5:45-6:00	12	4	16
6:00-6:15	9	0	9
6:15-6:30	3	1	4
6:30-6:45	5	2	7
6:45-7:00	8	0	8

Nota: Elaboración propia, 2022.

Resultados de la intersección de 6:00 a. m. a 8:00 a. m.

Se realizó el análisis de capacidad de la intersección, para determinar el nivel de servicio en la mañana. Los resultados se muestran en la Tabla 31 y en las figuras 4 y 5.

Tabla 30

Análisis de capacidad de la intersección en hora pico de 6:00 a. m. a 7:00 a. m.

Análisis de la intersección de 6:00 a. m. a 7:00 a. m.										
Movimiento	Prioridad	Volumen	VHMD	%Pesados	FHP	demora	Nivel de servicio	2024	2029	
2	1	555	292	11	0,92	65,8	E	591	650	
3	1	81	37	17	0,84	6,4	A	86	95	
5	1	537	274	8	0,96	49,4	D	572	629	
7	3	69	35	14	0,67	45,2	D	73	81	
9	2	352	175	11	0,86	11,3	B	375	412	
10	4	38	18	8	0,64	15,7	E	40	44	
11	3	160	101	11	0,32	70	E	170	187	
12	2	103	70	7	0,23	13,5	B	110	121	

Nota: Elaboración propia, 2022.

Figura 4

Resultados del Synchro 10 para el 2024

TIMING SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR	PED	HOLD
Minimum Initial (s)	—	5.0	5.0	—	5.0	—	5.0	—	5.0	5.0	5.0	5.0	—	—
Minimum Split (s)	—	23.0	23.0	—	23.0	—	23.0	—	23.0	23.0	23.0	23.0	—	—
Total Split (s)	—	50.0	50.0	—	50.0	—	24.0	—	24.0	46.0	46.0	46.0	—	—
Yellow Time (s)	—	3.0	3.0	—	3.0	—	3.0	—	3.0	3.0	3.0	3.0	—	—
All-Red Time (s)	—	2.0	2.0	—	2.0	—	2.0	—	2.0	2.0	2.0	2.0	—	—
Lost Time Adjust (s)	—	0.0	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	0.0	—	—
Lagging Phase?	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	<input type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	—	—	—	—
Allow Lead/Lag Optimize?	—	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	—	—	—	—
Recall Mode	—	Max	Max	—	Max	—	Max	—	Max	Max	Max	Max	—	—
Speed limit (km/h)	—	48	—	—	48	—	—	48	—	—	48	—	—	—
Actuated Effict. Green (s)	—	45.0	45.0	—	45.0	—	19.0	—	19.0	—	41.0	41.0	—	—
Actuated g/C Ratio	—	0.38	0.38	—	0.38	—	0.16	—	0.16	—	0.34	0.34	—	—
Volume to Capacity Ratio	—	1.00	0.18	—	0.90	—	0.44	—	0.77	—	1.02	0.67	—	—
Control Delay (s)	—	73.6	8.2	—	54.4	—	51.8	—	13.6	—	81.2	21.2	—	—
Queue Delay (s)	—	0.0	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	0.0	—	—
Total Delay (s)	—	73.6	8.2	—	54.4	—	51.8	—	13.6	—	81.2	21.2	—	—
Level of Service	—	E	A	—	D	—	D	—	B	—	F	C	—	—
Approach Delay (s)	—	64.6	—	—	54.4	—	—	20.7	—	—	55.7	—	—	—
Approach LOS	—	E	—	—	D	—	—	C	—	—	E	—	—	—
Queue Length 50th (m)	—	157.6	2.8	—	138.3	—	24.7	—	1.7	—	~151.6	44.7	—	—
Queue Length 95th (m)	—	#238.3	12.7	—	#208.5	—	31.4	—	28.4	—	49.7	0.0	—	—
Stops (vph)	—	514	17	—	502	—	66	—	50	—	182	49	—	—
Fuel Used (l/hr)	—	72	5	—	59	—	6	—	12	—	21	5	—	—

Nota: Datos obtenidos del Synchro 10.

Figura 5

Resultados del Synchro 10 para el 2029

TIMING SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR	PED	HOLD
Minimum Initial (s)	—	5.0	5.0	—	5.0	—	5.0	—	5.0	5.0	5.0	5.0	—	—
Minimum Split (s)	—	23.0	23.0	—	23.0	—	23.0	—	23.0	23.0	23.0	23.0	—	—
Total Split (s)	—	50.0	50.0	—	50.0	—	23.0	—	23.0	47.0	47.0	47.0	—	—
Yellow Time (s)	—	3.0	3.0	—	3.0	—	3.0	—	3.0	3.0	3.0	3.0	—	—
All-Red Time (s)	—	2.0	2.0	—	2.0	—	2.0	—	2.0	2.0	2.0	2.0	—	—
Lost Time Adjust (s)	—	0.0	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	0.0	—	—
Lagging Phase?	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	<input type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	—
Allow Lead/Lag Optimize?	—	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	—
Recall Mode	—	Max	Max	—	Max	—	Max	—	Max	Max	Max	Max	—	—
Speed limit (km/h)	—	48	—	—	48	—	—	—	48	—	—	48	—	—
Actuated Effct. Green (s)	—	45.0	45.0	—	45.0	—	18.0	—	18.0	—	42.0	42.0	—	—
Actuated g/C Ratio	—	0.38	0.38	—	0.38	—	0.15	—	0.15	—	0.35	0.35	—	—
Volume to Capacity Ratio	—	1.10	0.20	—	0.99	—	0.51	—	0.79	—	1.09	0.75	—	—
Control Delay (s)	—	102.6	9.3	—	71.5	—	55.4	—	16.2	—	101.9	29.0	—	—
Queue Delay (s)	—	0.0	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	0.0	—	—
Total Delay (s)	—	102.6	9.3	—	71.5	—	55.4	—	16.2	—	101.9	29.0	—	—
Level of Service	—	F	A	—	E	—	E	—	B	—	F	C	—	—
Approach Delay (s)	—	89.7	—	—	71.5	—	—	24.1	—	—	70.9	—	—	—
Approach LOS	—	F	—	—	E	—	—	C	—	—	E	—	—	—
Queue Length 50th (m)	—	~199.1	4.5	—	160.1	—	28.0	—	5.0	—	~182.5	66.7	—	—
Queue Length 95th (m)	—	#273.9	15.1	—	#241.0	—	34.6	—	34.3	—	54.2	0.0	—	—
Stops (vph)	—	552	22	—	546	—	74	—	54	—	196	71	—	—
Fuel Used (l/hr)	—	93	6	—	74	—	6	—	13	—	27	7	—	—

Nota: Datos obtenidos del Synchro 10.

Resultados de la intersección de 11:00 a. m. a 1:00 p. m.

Se realizó el análisis de capacidad de la intersección, para determinar el nivel de servicio al medio día. Los resultados se muestran en la Tabla 32 y en las figuras 6 y 7.

Tabla 31

Análisis de capacidad de la intersección en hora pico de 11:00 a. m. a 12:00 p. m.

Análisis de la intersección de 11:00 a. m. a 12:00 p. m.										
Movimiento	Prioridad	Volumen	VHMD	%Pesados	FHP	Demora	Nivel de servicio	2024	2029	
2	1	512	246	7,4	0,93	27,6	C	545	599	
3	1	116	58	21,6	0,81	3,7	A	124	136	
5	1	360	181	8,1	0,85	22,8	C	383	421	
7	3	60	32	16,7	0,67	34,8	C	64	70	
9	2	239	123	10,0	0,90	8,5	A	255	280	
10	4	51	28	11,8	0,70	5,1	D	54	60	
11	3	106	63	15,1	0,79	42	D	113	124	
12	2	51	24	25,5	0,86	3,1	A	54	60	

Nota: Elaboración propia, 2022.

Figura 6

Resultados del Synchro 10 para el 2024

TIMING SETTINGS														
Minimum Initial (s)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0		
Minimum Split (s)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0		
Total Split (s)	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0		
Yellow Time (s)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0		
All-Red Time (s)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0		
Lost Time Adjust (s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Lagging Phase?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Allow Lead/Lag Optimize?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Recall Mode	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max		
Speed limit (km/h)	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48		
Actuated Effct. Green (s)	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	18.0	18.0	18.0	31.0	31.0	31.0		
Actuated g/C Ratio	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.17	0.17	0.17	0.29	0.29	0.29		
Volume to Capacity Ratio	0.87	0.23	0.23	0.57	0.57	0.57	0.36	0.36	0.36	0.88	0.37	0.37		
Control Delay (s)	45.2	4.4	4.4	29.0	29.0	29.0	43.3	10.3	10.3	56.0	5.9	5.9		
Queue Delay (s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Total Delay (s)	45.2	4.4	4.4	29.0	29.0	29.0	43.3	10.3	10.3	56.0	5.9	5.9		
Level of Service	D	A	A	C	C	C	D	B	B	E	A	A		
Approach Delay (s)	37.0	37.0	37.0	29.0	29.0	29.0	18.4	18.4	18.4	39.4	39.4	39.4		
Approach LOS	D	D	D	C	C	C	B	B	B	D	D	D		
Queue Length 50th (m)	116.6	0.0	0.0	66.5	66.5	66.5	18.6	0.0	0.0	90.2	0.0	0.0		
Queue Length 95th (m)	#183.2	10.2	10.2	98.0	98.0	98.0	25.2	19.7	19.7	35.5	0.0	0.0		
Stops (vph)	471	13	13	294	294	294	55	33	33	148	6	6		
Fuel Used (l/hr)	54	7	7	31	31	31	4	7	7	14	1	1		

Nota: Datos obtenidos del Synchro 10.

Figura 7

Resultados del Synchro 10 para el 2029

TIMING SETTINGS														
Minimum Initial (s)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0		
Minimum Split (s)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0		
Total Split (s)	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	24.0	24.0	24.0	42.0	42.0	42.0		
Yellow Time (s)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0		
All-Red Time (s)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0		
Lost Time Adjust (s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Lagging Phase?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Allow Lead/Lag Optimize?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Recall Mode	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max		
Speed limit (km/h)	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48		
Actuated Effct. Green (s)	49.0	49.0	49.0	49.0	49.0	49.0	19.0	19.0	19.0	37.0	37.0	37.0		
Actuated g/C Ratio	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.16	0.16	0.16	0.31	0.31	0.31		
Volume to Capacity Ratio	0.93	0.25	0.25	0.61	0.61	0.61	0.42	0.42	0.42	0.92	0.38	0.38		
Control Delay (s)	55.6	6.4	6.4	32.5	32.5	32.5	51.3	11.4	11.4	64.0	5.9	5.9		
Queue Delay (s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Total Delay (s)	55.6	6.4	6.4	32.5	32.5	32.5	51.3	11.4	11.4	64.0	5.9	5.9		
Level of Service	E	A	A	C	C	C	D	B	B	E	A	A		
Approach Delay (s)	45.8	45.8	45.8	32.5	32.5	32.5	21.1	21.1	21.1	44.7	44.7	44.7		
Approach LOS	D	D	D	C	C	C	C	C	C	D	D	D		
Queue Length 50th (m)	151.8	3.4	3.4	84.5	84.5	84.5	23.5	0.0	0.0	115.0	0.4	0.4		
Queue Length 95th (m)	#228.7	14.6	14.6	120.2	120.2	120.2	30.2	22.1	22.1	42.8	0.0	0.0		
Stops (vph)	520	21	21	327	327	327	62	33	33	162	6	6		
Fuel Used (l/hr)	65	8	8	36	36	36	5	8	8	16	2	2		

Nota: Datos obtenidos del Synchro 10.

Resultados de la intersección de 5:00 p. m. a 7:00 p.m

Se realizó el análisis de capacidad de la intersección, para determinar el nivel de servicio al medio día. Los resultados se muestran en la Tabla 33 y en las figuras 8 y 9.

Tabla 32

Análisis de capacidad de la intersección en hora pico de 5:00 p. m. a 6:00 p. m.

Análisis de la intersección de 5:00 p. m. a 7:00 p. m.									
Movimiento	Prioridad	Volumen	VHMD	%Pesados	FHP	demora	Nivel de servicio	2024	2029
2	1	406	218	9,1	1,18	48,4	D	432	475
3	1	101	61	24,8	0,95	7	A	108	118
5	1	314	199	11,5	1,21	38,2	D	334	368
7	3	80	46	15,0	1,15	36,1	D	85	94
9	2	224	130	13,4	1,02	9	A	239	262
10	4	49	28	20,4	0,88	2,8	D	52	57
11	3	142	82	10,6	0,45	44	D	151	166
12	2	110	82	12,7	0,49	25,5	C	117	129

Nota: Elaboración propia, 2022

Figura 8

Resultados del Synchro 10 para el 2024

TIMING SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR	PED	HOLD
Minimum Initial (s)	—	5.0	5.0	—	5.0	—	5.0	—	5.0	5.0	5.0	5.0	—	—
Minimum Split (s)	—	23.0	23.0	—	23.0	—	23.0	—	23.0	23.0	23.0	23.0	—	—
Total Split (s)	—	38.0	38.0	—	38.0	—	23.0	—	23.0	43.0	43.0	43.0	—	—
Yellow Time (s)	—	3.0	3.0	—	3.0	—	3.0	—	3.0	3.0	3.0	3.0	—	—
All-Red Time (s)	—	2.0	2.0	—	2.0	—	2.0	—	2.0	2.0	2.0	2.0	—	—
Lost Time Adjust (s)	—	0.0	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	0.0	—	—
Lagging Phase?	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	<input type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	—	—	—	—
Allow Lead/Lag Optimize?	—	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	—	—	—	—
Recall Mode	—	Max	Max	—	Max	—	Max	—	Max	Max	Max	Max	—	—
Speed limit (km/h)	—	48	—	—	48	—	—	48	—	—	48	—	—	—
Actuated Effct. Green (s)	—	33.0	33.0	—	33.0	—	18.0	—	18.0	—	38.0	38.0	—	—
Actuated g/C Ratio	—	0.32	0.32	—	0.32	—	0.17	—	0.17	—	0.37	0.37	—	—
Volume to Capacity Ratio	—	0.87	0.26	—	0.62	—	0.47	—	0.58	—	0.89	0.63	—	—
Control Delay (s)	—	51.3	5.8	—	36.1	—	45.0	—	10.0	—	49.0	12.5	—	—
Queue Delay (s)	—	0.0	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	0.0	—	—
Total Delay (s)	—	51.3	5.8	—	36.1	—	45.0	—	10.0	—	49.0	12.5	—	—
Level of Service	—	D	A	—	D	—	D	—	A	—	D	B	—	—
Approach Delay (s)	—	40.8	—	—	36.1	—	—	21.0	—	—	32.3	—	—	—
Approach LOS	—	D	—	—	D	—	—	C	—	—	C	—	—	—
Queue Length 50th (m)	—	93.6	0.0	—	62.7	—	24.6	—	0.0	—	109.1	23.0	—	—
Queue Length 95th (m)	—	#151.4	11.3	—	94.3	—	31.2	—	19.1	—	39.1	0.0	—	—
Stops (vph)	—	379	15	—	280	—	76	—	31	—	176	35	—	—
Fuel Used (l/hr)	—	45	6	—	30	—	6	—	6	—	15	4	—	—

Nota: Datos obtenidos del Synchro 10.

Figura 9

Resultados del Synchro 10 para el 2029

TIMING SETTINGS														
Minimum Initial (s)	—	5.0	5.0	—	5.0	—	5.0	—	5.0	5.0	5.0	5.0	—	—
Minimum Split (s)	—	23.0	23.0	—	23.0	—	23.0	—	23.0	23.0	23.0	23.0	—	—
Total Split (s)	—	44.0	44.0	—	44.0	—	23.0	—	23.0	51.0	51.0	51.0	—	—
Yellow Time (s)	—	3.0	3.0	—	3.0	—	3.0	—	3.0	3.0	3.0	3.0	—	—
All-Red Time (s)	—	2.0	2.0	—	2.0	—	2.0	—	2.0	2.0	2.0	2.0	—	—
Lost Time Adjust (s)	—	0.0	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	0.0	—	—
Lagging Phase?	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	<input type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	—	—	—	—
Allow Lead/Lag Optimize?	—	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	—	—	—	—	—
Recall Mode	—	Max	Max	—	Max	—	Max	—	Max	Max	Max	Max	—	—
Speed limit (km/h)	—	48	—	—	48	—	—	—	48	—	—	48	—	—
Actuated Effct. Green (s)	—	39.0	39.0	—	39.0	—	18.0	—	18.0	—	46.0	46.0	—	—
Actuated g/C Ratio	—	0.33	0.33	—	0.33	—	0.15	—	0.15	—	0.39	0.39	—	—
Volume to Capacity Ratio	—	0.91	0.26	—	0.66	—	0.58	—	0.61	—	0.91	0.69	—	—
Control Delay (s)	—	60.3	6.3	—	40.3	—	57.1	—	11.4	—	54.1	19.2	—	—
Queue Delay (s)	—	0.0	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	—	0.0	0.0	—	—
Total Delay (s)	—	60.3	6.3	—	40.3	—	57.1	—	11.4	—	54.1	19.2	—	—
Level of Service	—	E	A	—	D	—	E	—	B	—	D	B	—	—
Approach Delay (s)	—	48.8	—	—	40.3	—	—	26.7	—	—	38.1	—	—	—
Approach LOS	—	D	—	—	D	—	—	C	—	—	D	—	—	—
Queue Length 50th (m)	—	119.8	0.7	—	79.5	—	32.1	—	0.0	—	138.4	49.9	—	—
Queue Length 95th (m)	—	#186.1	12.3	—	115.0	—	38.8	—	20.5	—	46.2	0.0	—	—
Stops (vph)	—	418	16	—	312	—	87	—	30	—	194	57	—	—
Fuel Used (l/hr)	—	53	6	—	34	—	8	—	7	—	18	6	—	—

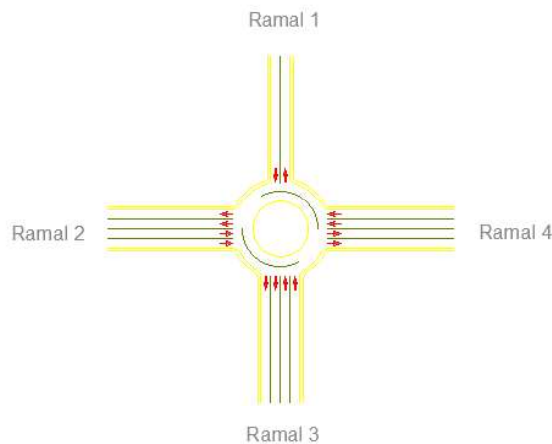
Nota: Datos obtenidos del Synchro 10.

Resultados de la Rotonda

A partir de los resultados de la intersección, se creó una matriz donde se proyectan los volúmenes vehiculares que van a transitar en la rotonda, para así determinar los niveles de servicio en una rotonda de 2 carriles por ramal.

Figura 10

Propuesta de Rotonda



Nota: Elaboración propia, 2022.

El siguiente análisis es para el tránsito vehicular de la rotonda en la mañana de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. La cual tiene una hora pico de 6:00 a.m. a 7 a.m. .

Tabla 33

Volumen de livianos por accesos de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022

Volumen de livianos por accesos de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. 2022								
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia	
R1		0	96	143	35	274	274	0,00%
R2		0	0	67	492	559	559	0,00%
R3		0	59	0	314	373	373	0,00%
R4		0	495	0	0	495	495	0,00%
Suma		0	650	210	841			
Total		0	650	210	841			
Diferencia		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 34

Volumen de pesados por accesos de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022

Volumen de pesados por acceso de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022								
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia	Pes%
R1	0	7	17	3	27	27	0,00%	9
R2	0	0	14	63	77	77	0,00%	12
R3	0	10	0	38	48	48	0,00%	11
R4	0	42	0	0	42	42	0,00%	8
Suma	0	59	31	104				
Total	0	59	31	104				
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				

Nota: Elaboración propia, 2022

Tabla 35*Estimación de capacidad de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022*

Estimación de capacidad de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022							
Ramales	Vop	Volumen del carril	tc	B2	Capacidad	Relación V/C	
Ramal 1 carril interno	554	151	4,3	2,4	353	0,78	
Ramal 1 carril externo	554	123	4,3	2,4	353	0,78	
Ramal 2 carril interno	731	307	4,4	2,4	403	1,39	
Ramal 2 carril externo	210	252	4,4	2,4	177	3,16	
Ramal 3 carril interno	706	205	4,3	2,4	397	0,94	
Ramal 3 carril externo	527	168	4,3	2,4	343	1,09	
Ramal 4 carril interno	848	272	4,2	2,4	427	1,16	
Ramal 4 carril externo	67	223	4,2	2,4	63	7,80	

*Nota: Elaboración propia, 2022.***Tabla 36***Probabilidad de detenerse de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022*

Probabilidad de detenerse de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022		
MF	PF	Ps
6,51	0,5	89,7
6,51	0,5	89,7
11,66	0,3	112,5
26,54	0,9	297,6
7,89	0,3	97,9
9,13	0,5	104,2
9,75	0,3	104,1
65,52	1,2	928,4

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 37*Estimación de demora y nivel de servicio de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022*

Estimación de demora y nivel de servicio de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022						
dv	dk	Δdk	dk	d	Los	
155,6	13	4,0	8,9	164,5	F	
190,2	13	4,0	8,9	199,1	F	
136,5	16	7,2	8,3	144,8	E	
379,8	36	16,5	20,0	399,7	F	
138,4	14	4,9	9,0	147,5	E	
195,9	15	5,7	9,0	204,8	F	
128,9	15	6,0	8,6	137,5	E	
1058,9	108	40,8	66,9	1125,8	F	

*Nota: Elaboración propia, 2022.***Tabla 38***Volumen de livianos por accesos de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022*

Volumen de livianos por accesos de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022							
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia
R1	0	105	132	37	274	274	0,00%
R2	0	0	65	494	559	559	0,00%
R3	0	63	0	310	373	373	0,00%
R4	0	482	13	0	495	495	0,00%
Suma	0	650	210	841			
Total	0	650	210	841			
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 39*Volumen de pesados por accesos de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022*

Volumen de pesados por accesos de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022								
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia	Pes%
R1	0	13	10	4	27	27	0,00%	9
R2	0	0	8	69	77	77	0,00%	12
R3	0	17	0	31	48	48	0,00%	11
R4	0	29	13	0	42	42	0,00%	8
Suma	0	59	31	104				
Total	0	59	31	104				
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				

*Nota: Elaboración propia, 2022***Tabla 40***Estimación de capacidad de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022*

Estimación de capacidad de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022							
Ramales	Vop	Volumen del carril	tc	B2	Capacidad	Relación V/C	
Ramal 1 carril interno	545	151	4,3	2,4	350	0,78	
Ramal 1 carril externo	545	123	4,3	2,4	350	0,78	
Ramal 2 carril interno	728	307	4,4	2,4	402	1,39	
Ramal 2 carril externo	197	252	4,4	2,4	168	3,33	
Ramal 3 carril interno	708	205	4,3	2,4	398	0,94	
Ramal 3 carril externo	531	168	4,3	2,4	345	1,08	
Ramal 4 carril interno	848	272	4,2	2,4	427	1,16	
Ramal 4 carril externo	65	223	4,2	2,4	62	8,03	

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 41*Probabilidad de detenerse de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022*

Probabilidad de detenerse de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022		
MF	PF	Ps
6,57	0,5	89,8
6,57	0,5	89,8
11,68	0,3	112,7
27,99	0,9	319,0
7,88	0,3	97,9
9,09	0,5	104,0
9,75	0,3	104,1
67,43	1,2	959,4

Nota: Elaboración propia, 2022.**Tabla 42***Estimación de demora y nivel de servicio de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022*

Estimación de demora y nivel de servicio de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022					
dv	dk	Δdk	dk	d	Los
157,0	13	4,1	8,9	165,9	F
191,9	13	4,1	8,9	200,8	F
136,7	16	7,2	8,3	145,1	E
400,5	39	17,4	21,5	422,0	F
138,3	14	4,9	9,0	147,3	E
195,0	15	5,6	9,0	204,0	F
128,9	15	6,0	8,6	137,5	E
1089,7	111	41,9	69,2	1158,9	F

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 43*Volumen de livianos por accesos de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2024*

Volumen de livianos por accesos de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2024							
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia
R1	0	112	141	39	292	292	0,00%
R2	0	0	69	526	595	595	0,00%
R3	0	67	0	330	397	397	0,00%
R4	0	513	14	0	527	527	0,00%
Suma	0	692	224	896			
Total	0	692	224	896			
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			

*Nota: Elaboración propia, 2022.***Tabla 44***Volumen de pesados por accesos de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2024*

Volumen de pesados por accesos de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2024								
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia	Pes%
R1	0	14	11	4	29	29	0,00%	9
R2	0	0	9	73	82	82	0,00%	12
R3	0	18	0	33	51	51	0,00%	11
R4	0	31	14	0	45	45	0,00%	8
Suma	0	63	33	111				
Total	0	63	33	111				
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 45*Estimación de capacidad de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2024*

Estimación de capacidad de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2022						
Ramales	Vop	Volumen del carril	tc	B2	Capacidad	Relación V/C
Ramal 1 carril interno	581	160	4,3	2,4	362	0,81
Ramal 1 carril externo	580	131	4,3	2,4	362	0,81
Ramal 2 carril interno	776	327	4,4	2,4	412	1,44
Ramal 2 carril externo	209	268	4,4	2,4	177	3,37
Ramal 3 carril interno	754	218	4,3	2,4	408	0,97
Ramal 3 carril externo	565	179	4,3	2,4	357	1,11
Ramal 4 carril interno	903	290	4,2	2,4	434	1,21
Ramal 4 carril externo	69	237	4,2	2,4	65	8,05

Nota: Elaboración propia, 2022.**Tabla 46***Estimación de capacidad de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2024*

Probabilidad de detenerse de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2024		
MF	PF	Ps
6,76	0,4	91,5
6,76	0,4	91,5
12,14	0,3	113,1
28,28	0,9	316,7
8,18	0,3	99,2
9,35	0,4	105,1
10,19	0,2	104,9
67,66	1,2	955,5

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 47*Estimación de capacidad de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2024*

Estimación de demora y nivel de servicio de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2024					
dv	dk	Δdk	dk	d	Los
151,7	13	4,2	9,0	160,7	F
185,4	13	4,2	9,0	194,4	F
133,4	16	7,5	8,1	141,5	E
380,0	39	17,6	21,0	401,1	F
134,8	14	5,1	9,0	143,8	E
188,3	15	5,8	8,9	197,3	F
126,6	15	6,3	8,4	134,9	E
1026,7	111	42,1	68,6	1095,3	F

Nota: Elaboración propia, 2022.**Tabla 48***Volumen de livianos por accesos de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2029*

Volumen de livianos por accesos de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2029							
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia
R1	0	131	165	46	342	342	0,00%
R2	0	0	81	616	697	697	0,00%
R3	0	79	0	386	465	465	0,00%
R4	0	601	16	0	617	617	0,00%
Suma	0	810	262	1048			
Total	0	810	262	1048			
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 49

Volumen de pesados por accesos de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2029

Volumen de pesados por accesos de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2029								
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia	Pes%
R1	0	16	12	5	34	34	0,00%	9
R2	0	0	10	86	96	96	0,00%	12
R3	0	21	0	39	60	60	0,00%	11
R4	0	36	16	0	52	52	0,00%	8
Suma	0	74	39	130				
Total	0	74	39	130				
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 50

Estimación de capacidad de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2029

Estimación de capacidad de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2029							
Ramales	Vop	Volumen del carril	tc	B2	Capacidad	Relacion V/C	
Ramal 1 carril interno	679,5	188	4,3	2,4	391	0,87	
Ramal 1 carril externo	679,4	154	4,3	2,4	391	0,87	
Ramal 2 carril interno	907,8	383	4,4	2,4	433	1,61	
Ramal 2 carril externo	245,6	314	4,4	2,4	201	3,47	
Ramal 3 carril interno	882,3	256	4,3	2,4	430	1,08	
Ramal 3 carril externo	662,0	209	4,3	2,4	386	1,20	
Ramal 4 carril interno	1056,6	339	4,2	2,4	449	1,37	
Ramal 4 carril externo	81,0	278	4,2	2,4	76	8,13	

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 51*Estimación de capacidad de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2029*

Probabilidad de detenerse para 2029		
MF	PF	Ps
7,33	0,4	95,4
7,33	0,4	95,4
13,52	0,2	113,8
29,12	0,9	310,2
9,08	0,2	101,9
10,12	0,4	107,6
11,55	0,2	106,3
68,31	1,2	944,8

Nota: Elaboración propia, 2022.**Tabla 52***Estimación de capacidad de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2029*

Estimación de demora y nivel de servicio de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. para 2029					
dv	dk	Δdk	dk	d	Los
140,4	14	4,5	9,1	149,5	F
171,7	14	4,5	9,1	180,8	F
127,0	16	8,4	7,3	134,3	E
334,3	38	18,1	19,8	354,1	F
127,9	14	5,6	8,7	136,6	E
174,1	15	6,3	8,7	182,8	F
122,5	15	7,2	7,7	130,2	E
885,5	110	42,5	67,0	952,5	F

Nota: Elaboración propia, 2022.

Por otro lado, se presenta el análisis para el tránsito vehicular de la rotonda al medio día de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. La cual tiene una hora pico de 11:00 a.m. a 12 p.m. .

Tabla 53

Volumen de livianos por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022

Volumen de livianos por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022							
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia
R1	0	38	90	45	173	173	0,00%
R2	0	0	91	474	565	565	0,00%
R3	0	50	0	215	265	265	0,00%
R4	0	331	0	0	331	331	0,00%
Suma	0	419	181	734			
Total	0	419	181	734			
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 54

Volumen de pesados por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022

Volumen de pesados por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022								
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia	Pes%
R1	0	13	16	6	35	35	0,00%	17
R2	0	0	25	38	63	63	0,00%	10
R3	0	10	0	24	34	34	0,00%	11
R4	0	29	0	0	29	29	0,00%	8
Suma	0	52	41	68				
Total	0	52	41	68				
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 55*Estimación de capacidad de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022*

Estimación de capacidad de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022						
Ramales	Vop	Volumen del carril	tc	B2	Capacidad	Relación V/C
Ramal 1 carril interno	381	95	4,5	2,5	279	0,62
Ramal 1 carril externo	381	78	4,5	2,5	279	0,62
Ramal 2 carril interno	519	311	4,3	2,4	340	1,66
Ramal 2 carril externo	181	254	4,3	2,4	156	3,62
Ramal 3 carril interno	660	146	4,3	2,4	385	0,69
Ramal 3 carril externo	519	119	4,3	2,4	340	0,78
Ramal 4 carril interno	743	182	4,2	2,4	407	0,81
Ramal 4 carril externo	91	149	4,2	2,4	85	3,92

*Nota: Elaboración propia, 2022.***Tabla 56***Probabilidad de detenerse de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022*

Probabilidad de detenerse de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022		
MF	PF	Ps
5,22	0,6	75,4
5,22	0,7	75,4
13,94	0,5	132,6
30,38	1,0	353,7
5,78	0,4	88,4
6,55	0,5	89,1
6,83	0,3	94,1
32,89	1,2	438,5

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 57*Estimación de demora y nivel de servicio de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022*

Estimación de demora y nivel de servicio de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022					
dv	dk	Δdk	dk	d	Los
197,3	11	3,2	8,1	205,5	F
241,2	11	3,2	8,1	249,4	F
161,5	18	8,7	9,2	170,7	F
430,1	43	18,9	23,9	454,0	F
142,7	13	3,6	9,3	151,9	F
197,6	13	4,1	8,9	206,5	F
135,1	13	4,2	9,3	144,4	E
795,0	52	20,5	31,9	826,9	F

Nota: Elaboración propia, 2022.**Tabla 58***Volumen de livianos por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022*

Volumen de livianos por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022							
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia
R1	0	48	85	40	173	173	0,00%
R2	0	0	81	484	565	565	0,00%
R3	0	55	0	210	265	265	0,00%
R4	0	316	15	0	331	331	0,00%
Suma	0	419	181	734			
Total	0	419	181	734			
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 59

Volumen de pesados por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022

Volumen de pesados por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022								
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia	Pes%
R1	0	19	15	1	35	35	0,00%	17
R2	0	0	18	45	63	63	0,00%	10
R3	0	12	0	22	34	34	0,00%	11
R4	0	21	8	0	29	29	0,00%	8
Suma	0	52	41	68				
Total	0	52	41	68				
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 60

Estimación de capacidad de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022

Estimación de capacidad de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022							
Ramales	Vop	Volumen del carril	tc	B2	Capacidad	Relacion V/C	
Ramal 1 carril interno	371	95	4,5	2,5	274	0,63	
Ramal 1 carril externo	371	78	4,5	2,5	273	0,63	
Ramal 2 carril interno	509	311	4,3	2,4	336	1,68	
Ramal 2 carril externo	166	254	4,3	2,4	145	3,90	
Ramal 3 carril interno	669	146	4,3	2,4	388	0,68	
Ramal 3 carril externo	524	119	4,3	2,4	342	0,77	
Ramal 4 carril interno	742	182	4,2	2,4	407	0,81	
Ramal 4 carril externo	81	149	4,2	2,4	76	4,36	

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 61*Probabilidad de detenerse de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022*

Probabilidad de detenerse de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022		
MF	PF	Ps
5,31	0,7	75,6
5,31	0,7	75,6
14,11	0,5	134,2
32,72	1,0	389,3
5,74	0,4	88,4
6,51	0,5	89,0
6,84	0,3	94,1
36,65	1,2	498,4

Nota: Elaboración propia, 2022.**Tabla 62***Estimación de demora y nivel de servicio de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022*

Estimación de demora y nivel de servicio de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2022					
dv	dk	Δdk	dk	d	Los
201,0	11	3,3	8,1	209,1	F
245,7	11	3,3	8,1	253,8	F
163,5	18	8,8	9,3	172,7	F
463,3	47	20,3	26,5	489,8	F
141,7	13	3,5	9,3	151,0	F
196,5	13	4,0	8,9	205,4	F
135,2	13	4,2	9,3	144,4	E
885,9	59	22,8	36,3	922,2	F

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 63

Volumen de livianos por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2024

Volumen de livianos por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2024							
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia
R1	0	51	91	43	184	184	0,00%
R2	0	0	86	515	602	602	0,00%
R3	0	59	0	224	282	282	0,00%
R4	0	337	16	0	353	353	0,00%
Suma	0	446	193	782			
Total	0	446	193	782			
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 64

Volumen de pesados por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2024

Volumen de pesados por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2024								
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia	Pes%
R1	0	20	16	1	37	37	0,00%	17
R2	0	0	19	48	67	67	0,00%	10
R3	0	13	0	23	36	36	0,00%	11
R4	0	22	9	0	31	31	0,00%	8
Suma	0	55	44	72				
Total	0	55	44	72				
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 65*Estimación de capacidad de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2024*

Estimación de capacidad de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2024						
Ramales	Vop	Volumen del carril	tc	B2	Capacidad	Relación V/C
Ramal 1 carril interno	395,2	101	4,5	2,5	286	0,65
Ramal 1 carril externo	395,1	83	4,5	2,5	286	0,65
Ramal 2 carril interno	541,6	331	4,3	2,4	349	1,73
Ramal 2 carril externo	176,8	271	4,3	2,4	153	3,93
Ramal 3 carril interno	712,5	155	4,3	2,4	399	0,71
Ramal 3 carril externo	558,1	127	4,3	2,4	354	0,80
Ramal 4 carril interno	790,4	194	4,2	2,4	417	0,85
Ramal 4 carril externo	86,3	159	4,2	2,4	80	4,38

Nota: Elaboración propia, 2022.**Tabla 66***Estimación de capacidad de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2024*

Probabilidad de detenerse de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. p para 2024		
MF	PF	Ps
5,42	0,6	77,6
5,42	0,6	77,6
14,49	0,5	134,2
33,01	1,0	386,5
5,94	0,3	90,2
6,69	0,5	90,7
7,11	0,3	95,6
36,81	1,2	496,4

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 67*Estimación de capacidad de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2024*

Estimación de demora y nivel de servicio de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2024					
dv	dk	Δdk	dk	d	Los
192,5	12	3,4	8,3	200,8	F
235,3	12	3,4	8,3	243,6	F
157,7	18	9,0	9,0	166,7	F
438,8	46	20,5	26,0	464,8	F
137,9	13	3,7	9,4	147,2	F
189,7	13	4,1	9,0	198,7	F
132,0	14	4,4	9,2	141,2	E
835,4	59	22,9	36,0	871,4	F

Nota: Elaboración propia, 2022.**Tabla 68***Volumen de livianos por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2029*

Volumen de livianos por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 a.m. para 2029							
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia
R1	0	60	106	50	216	216	0,00%
R2	0	0	101	603	704	704	0,00%
R3	0	69	0	262	330	330	0,00%
R4	0	394	19	0	413	413	0,00%
Suma	0	522	226	915			
Total	0	522	226	915			
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 69

Volumen de pesados por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2029

Volumen de pesados por accesos de 11:00 a.m. a 1:00 a.m. para 2029								
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia	Pes%
R1	0	24	19	1	44	44	0,00%	17
R2	0	0	22	56	79	79	0,00%	10
R3	0	15	0	27	42	42	0,00%	11
R4	0	26	10	0	36	36	0,00%	8
Suma	0	65	51	85				
Total	0	65	51	85				
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 70

Estimación de capacidad de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2029

Estimación de capacidad de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2029							
Ramales	Vop	Volumen del carril	tc	B2	Capacidad	Relación V/C	
Ramal 1 carril interno	462,6	119	4,5	2,5	316	0,68	
Ramal 1 carril externo	462,5	97	4,5	2,5	316	0,68	
Ramal 2 carril interno	633,9	387	4,3	2,4	379	1,86	
Ramal 2 carril externo	207,0	317	4,3	2,4	175	4,03	
Ramal 3 carril interno	834,0	182	4,3	2,4	423	0,78	
Ramal 3 carril externo	653,3	149	4,3	2,4	384	0,86	
Ramal 4 carril interno	925,2	227	4,2	2,4	437	0,94	
Ramal 4 carril externo	101,0	186	4,2	2,4	93	4,43	

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 71*Estimación de capacidad de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2029*

Probabilidad de detenerse de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2029		
MF	PF	Ps
5,73	0,6	82,4
5,73	0,6	82,4
15,62	0,4	133,7
33,83	0,9	378,7
6,56	0,3	94,3
7,23	0,4	94,8
7,93	0,2	98,8
37,25	1,1	490,9

Nota: Elaboración propia, 2022.**Tabla 72***Estimación de capacidad de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2029*

Estimación de demora y nivel de servicio de 11:00 a.m. a 1:00 p.m. para 2029					
dv	dk	Δdk	dk	d	Los
173,8	12	3,5	8,6	182,4	F
212,5	12	3,5	8,6	221,1	F
145,2	18	9,7	8,3	153,4	F
384,2	46	21,0	24,6	408,8	F
130,0	13	4,1	9,4	139,5	E
175,1	14	4,5	9,1	184,2	F
125,8	14	4,9	9,1	134,9	E
722,2	58	23,2	35,1	757,3	F

Nota: Elaboración propia, 2022.

Por su parte, se presenta el análisis para el tránsito vehicular de la rotonda en la noche. de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. La cual tiene una hora pico de 5:00 a.m. a 6:00 p.m.

Tabla 73

Volumen de livianos por accesos de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022

Volumen de livianos por acceso de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022							
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia
R1	0	96	127	39	262	262	0,00%
R2	0	0	76	369	445	445	0,00%
R3	0	68	0	194	262	262	0,00%
R4	0	278	0	0	278	278	0,00%
Suma	0	442	203	602			
Total	0	442	203	602			
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 74

Volumen de pesados por accesos de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022

Volumen de pesados por accesos de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022								
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia	Pes%
R1	0	14	15	10	39	39	0,00%	13
R2	0	0	25	37	62	62	0,00%	12
R3	0	12	0	30	42	42	0,00%	14
R4	0	36	0	0	36	36	0,00%	11
Suma	0	62	40	77				
Total	0	62	40	77				
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 75

Estimación de capacidad de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022

Estimación de capacidad de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022							
Ramales	Vop	Volumen del carril	tc	B2	Capacidad	Relación V/C	
Ramal 1 carril interno	346	144	4,4	2,4	261	1,00	
Ramal 1 carril externo	346	118	4,4	2,4	261	1,00	
Ramal 2 carril interno	531	245	4,4	2,4	344	1,29	
Ramal 2 carril externo	203	200	4,4	2,4	172	2,59	
Ramal 3 carril interno	576	144	4,4	2,4	360	0,73	
Ramal 3 carril externo	408	118	4,4	2,4	292	0,90	
Ramal 4 carril interno	610	153	4,3	2,4	371	0,75	
Ramal 4 carril externo	76	125	4,3	2,4	71	3,89	

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 76

Probabilidad de detenerse de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022

Probabilidad de detenerse de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022		
MF	PF	Ps
8,44	0,7	100,3
8,44	0,7	100,3
10,86	0,5	114,1
21,73	0,9	247,3
6,12	0,4	88,1
7,53	0,6	93,6
6,29	0,4	89,7
32,69	1,2	445,9

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 77*Estimación de demora y nivel de servicio de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022*

Estimación de demora y nivel de servicio de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022					
dv	dk	Δdk	dk	d	Los
210,7	14	5,2	9,0	219,7	F
257,6	14	5,2	9,0	266,6	F
159,7	16	6,7	9,0	168,7	F
390,6	31	13,5	17,3	407,9	F
152,9	13	3,8	9,0	161,9	F
229,9	13	4,7	8,8	238,7	F
148,2	13	3,9	9,1	157,3	F
940,7	53	20,3	32,9	973,5	F

Nota: Elaboración propia, 2022.**Tabla 78***Volumen de livianos por accesos de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022*

Volumen de livianos por accesos de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022							
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia
R1	0	106	109	47	262	262	0,00%
R2	0	0	80	365	445	445	0,00%
R3	0	72	0	190	262	262	0,00%
R4	0	264	14	0	278	278	0,00%
Suma	0	442	203	602			
Total	0	442	203	602			
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 79

Volumen de pesados por accesos de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022

Volumen de pesados por accesos de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022								
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia	Pes%
R1	0	18	10	11	39	39	0,00%	13
R2	0	0	20	42	62	62	0,00%	12
R3	0	18	0	24	42	42	0,00%	14
R4	0	26	10	0	36	36	0,00%	11
Suma	0	62	40	77				
Total	0	62	40	77				
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 80

Estimación de capacidad de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022

Estimación de capacidad de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022							
Ramales	Vop	Volumen del carril	tc	B2	Capacidad	Relación V/C	
Ramal 1 carril interno	336	144	4,4	2,4	255	1,03	
Ramal 1 carril externo	336	118	4,4	2,4	255	1,03	
Ramal 2 carril interno	533	245	4,4	2,4	345	1,29	
Ramal 2 carril externo	189	200	4,4	2,4	162	2,75	
Ramal 3 carril interno	573	144	4,4	2,4	359	0,73	
Ramal 3 carril externo	412	118	4,4	2,4	294	0,89	
Ramal 4 carril interno	610	153	4,3	2,4	371	0,75	
Ramal 4 carril externo	80	125	4,3	2,4	75	3,71	

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 81

Probabilidad de detenerse de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022

Probabilidad de detenerse de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022		
MF	PF	Ps
8,62	0,7	101,8
8,62	0,7	101,8
10,83	0,5	113,9
23,07	1,0	266,7
6,14	0,4	88,1
7,48	0,6	93,3
6,29	0,4	89,7
31,15	1,2	421,5

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 82

Estimación de demora y nivel de servicio de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022

Estimación de demora y nivel de servicio de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2022					
dv	dk	Δdk	dk	d	Los
215,2	14	5,3	9,0	224,3	F
263,1	14	5,3	9,0	272,1	F
159,3	16	6,7	9,0	168,3	F
414,8	33	14,3	18,6	433,4	F
153,3	13	3,8	9,0	162,3	F
228,4	13	4,6	8,8	237,2	F
148,1	13	3,9	9,1	157,2	F
896,5	50	19,4	31,1	927,6	F

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 83*Volumen de livianos por accesos de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2024*

Volumen de livianos por accesos de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2024							
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia
R1	0	113	116	50	279	279	0,00%
R2	0	0	85	389	474	474	0,00%
R3	0	77	0	202	279	279	0,00%
R4	0	281	15	0	296	296	0,00%
Suma	0	471	216	641			
Total	0	471	216	641			
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			

*Nota: Elaboración propia, 2022.***Tabla 84***Volumen de pesados por accesos de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2024*

Volumen de pesados por accesos de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2024								
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia	Pes%
R1	0	19	11	12	42	42	0,00%	13
R2	0	0	21	45	66	66	0,00%	12
R3	0	19	0	26	45	45	0,00%	14
R4	0	28	11	0	38	38	0,00%	11
Suma	0	66	43	82				
Total	0	66	43	82				
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 85*Estimación de capacidad de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2024*

Estimación de capacidad para livianos de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2024						
Ramales	Vop	Volumen del carril	tc	B2	Capacidad	Relacion V/C
Ramal 1 carril interno	357,9	153	4,4	2,4	267	1,04
Ramal 1 carril externo	357,8	126	4,4	2,4	267	1,04
Ramal 2 carril interno	567,6	261	4,4	2,4	357	1,33
Ramal 2 carril externo	201,3	213	4,4	2,4	171	2,77
Ramal 3 carril interno	609,9	153	4,4	2,4	370	0,75
Ramal 3 carril externo	438,8	126	4,4	2,4	306	0,91
Ramal 4 carril interno	649,7	163	4,3	2,4	383	0,77
Ramal 4 carril externo	85,2	133	4,3	2,4	79	3,72

*Nota: Elaboración propia, 2022.***Tabla 86***Estimación de capacidad de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2024*

Probabilidad de detenerse de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2024		
MF	PF	Ps
8,77	0,7	103,0
8,77	0,7	103,0
11,14	0,4	114,6
23,31	0,9	265,3
6,33	0,4	89,9
7,65	0,6	94,8
6,50	0,4	91,4
31,29	1,2	420,1

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 87*Estimación de capacidad de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2024*

Estimación de demora y nivel de servicio de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2024					
dv	dk	Δdk	dk	d	Los
205,7	14	5,4	9,1	214,8	F
251,5	14	5,4	9,1	260,6	F
153,9	16	6,9	8,9	162,8	F
393,4	33	14,5	18,3	411,7	F
148,4	13	3,9	9,1	157,5	F
219,2	14	4,7	8,8	228,1	F
143,7	13	4,0	9,2	152,8	F
845,4	50	19,5	30,8	876,2	F

Nota: Elaboración propia, 2022.**Tabla 88***Volumen de livianos por accesos de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2029*

Volumen de livianos por accesos de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2029							
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia
R1	0	132	136	59	327	327	0,00%
R2	0	0	100	455	555	555	0,00%
R3	0	90	0	237	327	327	0,00%
R4	0	329	17	0	347	347	0,00%
Suma	0	551	253	751			
Total	0	551	253	751			
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 89*Volumen de pesados por accesos de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2029*

Volumen de pesados por acceso de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2029								
O/D	R1	R2	R3	R4	Suma	Total	Diferencia	Pes%
R1	0	22	12	14	49	49	0,00%	13
R2	0	0	25	52	77	77	0,00%	12
R3	0	22	0	30	52	52	0,00%	14
R4	0	32	12	0	45	45	0,00%	11
Suma	0	77	50	96				
Total	0	77	50	96				
Diferencia	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%				

Nota: Elaboración propia, 2022.**Tabla 90***Estimación de capacidad de 5:00 p.m. a 7:00 p.m para 2029*

Estimación de capacidad de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2029							
Ramales	Vop	Volumen del carril	tc	B2	Capacidad	Relación V/C	
Ramal 1 carril interno	419,0	180	4,4	2,4	298	1,10	
Ramal 1 carril externo	418,9	147	4,4	2,4	298	1,10	
Ramal 2 carril interno	664,4	305	4,4	2,4	386	1,44	
Ramal 2 carril externo	235,6	250	4,4	2,4	194	2,85	
Ramal 3 carril interno	714,0	180	4,4	2,4	398	0,82	
Ramal 3 carril externo	513,6	147	4,4	2,4	337	0,97	
Ramal 4 carril interno	760,5	191	4,3	2,4	409	0,85	
Ramal 4 carril externo	99,7	156	4,3	2,4	92	3,77	

Nota: Elaboración propia, 2022.

Tabla 91*Estimación de capacidad de 5:00 p.m. a 7:00 p.m para 2029*

Probabilidad de detenerse de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2029		
MF	PF	Ps
9,22	0,6	105,9
9,22	0,6	105,9
12,06	0,4	116,1
23,97	0,9	261,1
6,89	0,3	94,0
8,13	0,5	98,4
7,11	0,3	95,3
31,66	1,1	415,9

Nota: Elaboración propia, 2022.**Tabla 92***Estimación de capacidad de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2029*

Estimación de demora y nivel de servicio de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. para 2029					
dv	dk	Δdk	dk	d	Los
184,8	15	5,7	9,1	193,8	F
225,8	15	5,7	9,1	234,9	F
142,3	16	7,5	8,5	150,8	F
345,6	32	14,9	17,4	363,1	F
138,1	13	4,3	9,2	147,3	F
199,1	14	5,0	8,9	208,0	F
134,3	14	4,4	9,2	143,5	F
730,8	50	19,7	30,1	760,9	F

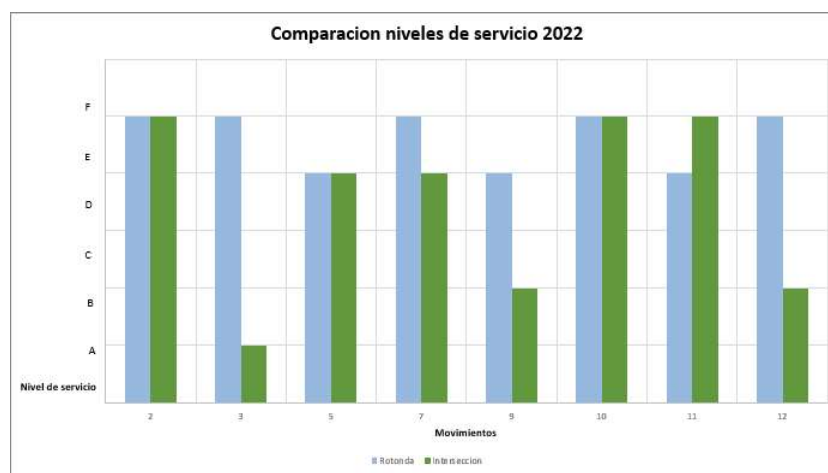
Nota: Elaboración propia, 2022

Comparación de resultados de niveles de servicio

Se realizó la comparación de los niveles de servicio para saber cuál de los análisis de capacidad puede disminuir el congestionamiento vehicular, de manera que, en primer lugar, en las figuras 10, 11 y 12, se presenta la comparación hecha en el horario de la mañana.

Figura 11

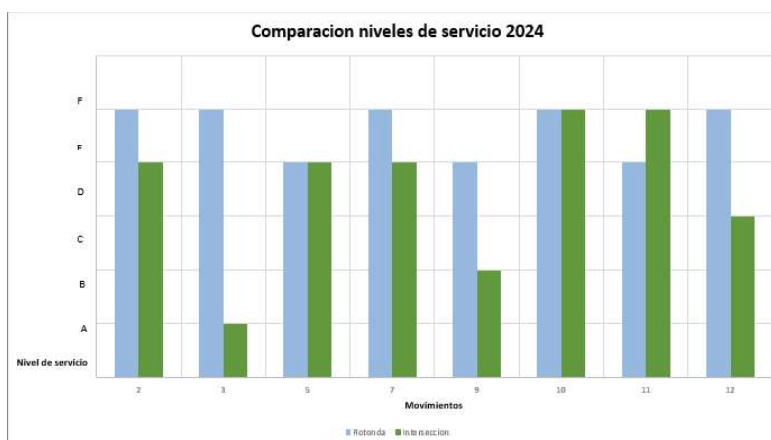
Comparación de niveles de servicio 2022



Nota: Elaboración propia, 2022.

Figura 12

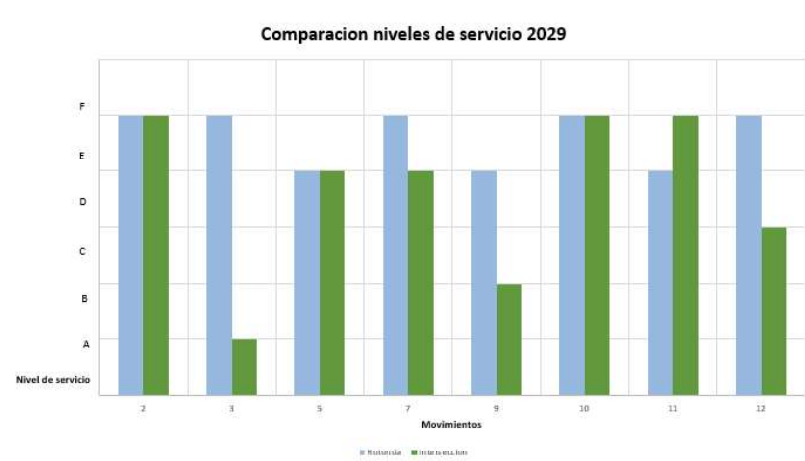
Comparación de niveles de servicio 2024



Nota: Elaboración propia, 2022.

Figura 13

Comparación de niveles de servicio 2029

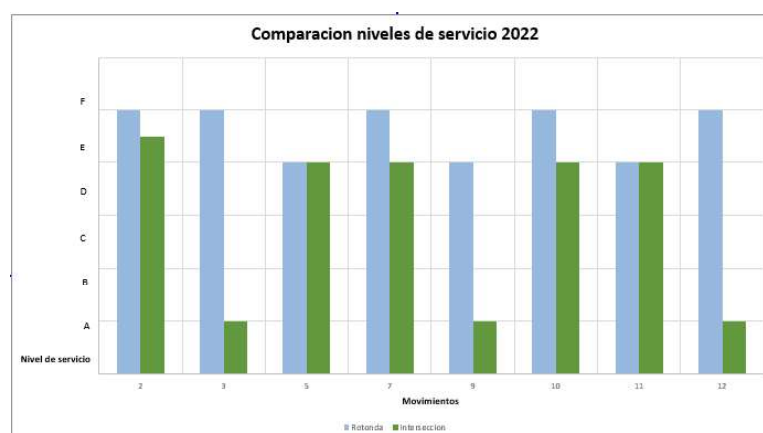


Nota: Elaboración propia, 2022.

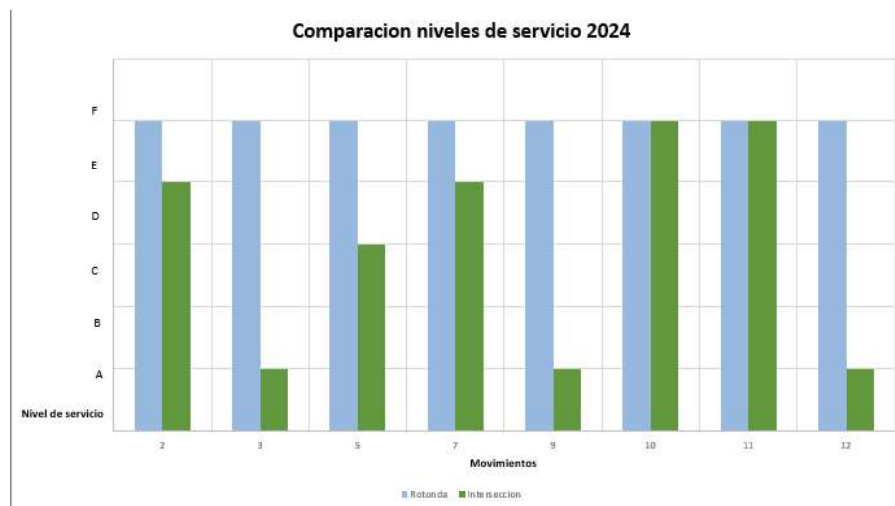
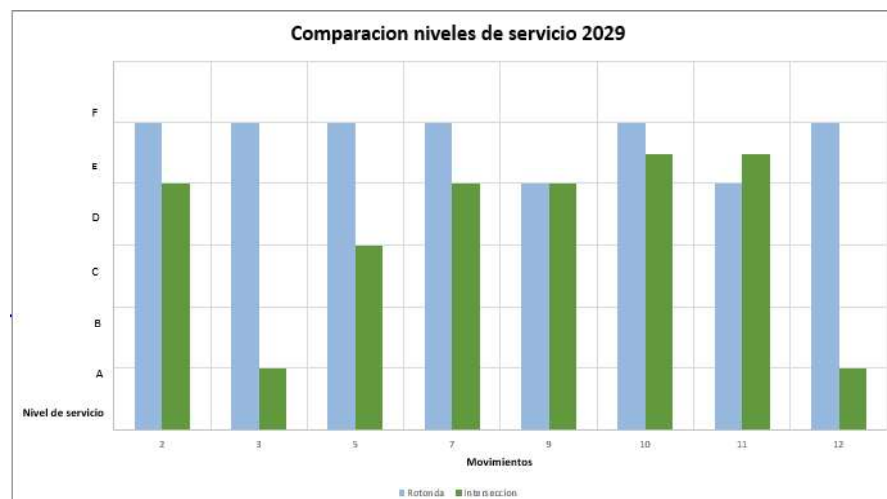
Ahora, se presenta la comparación hecha en el horario de medio día (ver figuras 13, 14 y 15).

Figura 14

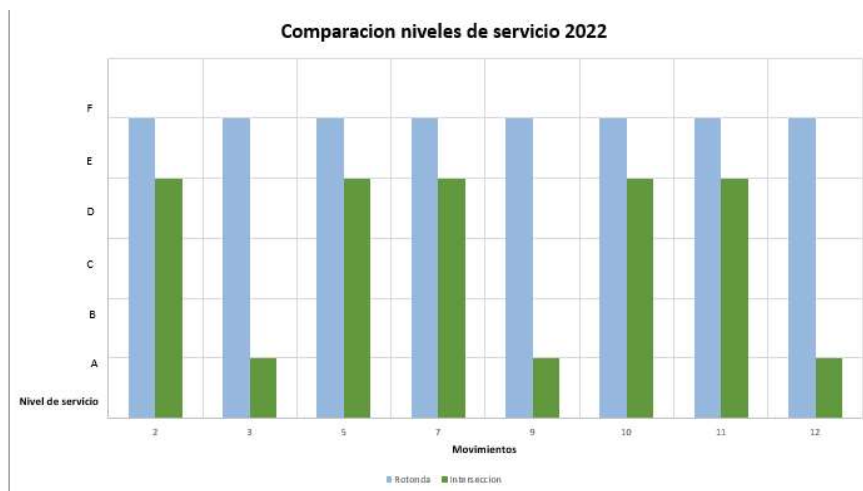
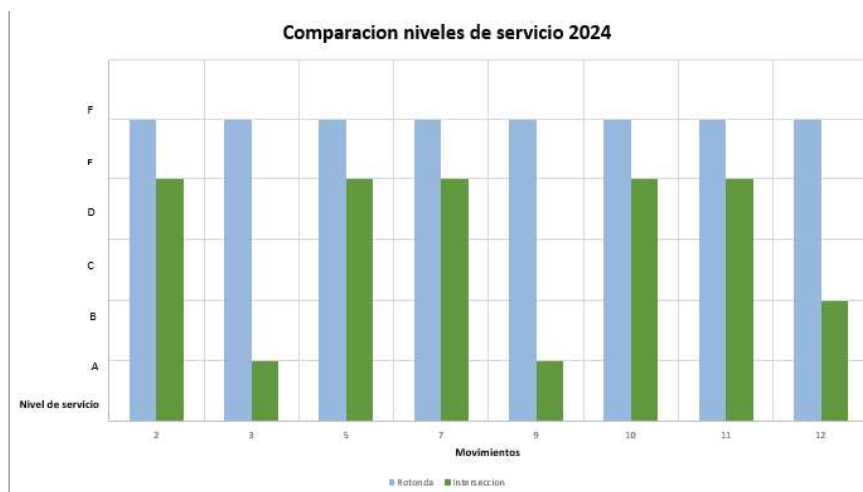
Comparación de niveles de servicio 2022

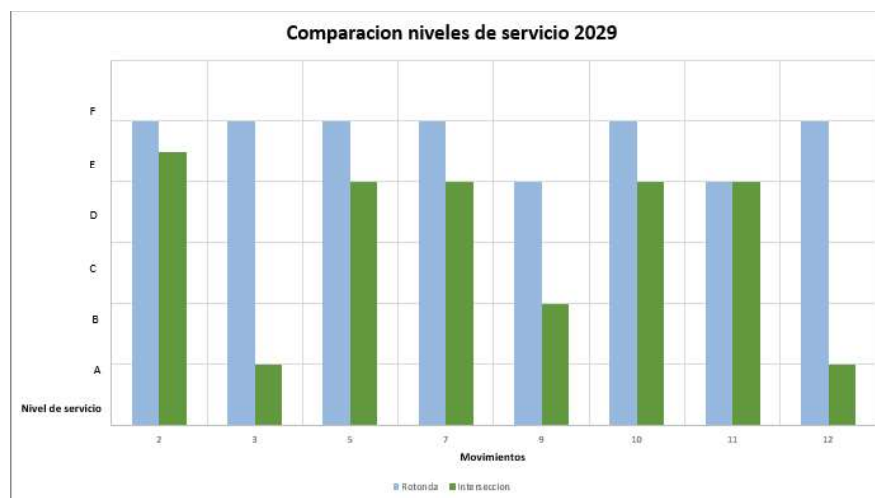


Nota: Elaboración propia, 2022.

Figura 15*Comparación de niveles de servicio 2024**Nota: Elaboración propia, 2022.***Figura 16***Comparación de niveles de servicio 2029**Nota: Elaboración propia, 2022.*

Por último, se presenta la comparación hecha en el horario de la noche (ver figuras 16, 17 y 18).

Figura 17*Comparación de niveles de servicio 2022**Nota: Elaboración propia, 2022.***Figura 18***Comparación de niveles de servicio 2024**Nota: Elaboración propia, 2022.***Figura 19***Comparación de niveles de servicio 2029*



Nota: Elaboración propia, 2022.

Análisis de los resultados de los niveles de servicio

En la comparación de los niveles de servicio para el año 2022, respecto a la mañana, se observa que, entre la intersección y la rotonda, en la intersección hay en el movimiento dos el nivel de servicio es de es E, mientras el nivel de servicio del movimiento tres es A. El nivel de servicio del movimiento cinco y siete es D, mientras el movimiento nueve es B. El nivel de servicio del 10 y 11 es E y el movimiento 12 es B. En algunos movimientos se consideran buenos, sin embargo, hay sectores de la intersección con niveles de servicio defectuosos; ahora bien, en la rotonda, hay tiempos de demora mucho más altos, con un nivel de servicio E, que se considera lo peor en cuanto a la clasificación del flujo vehicular.

Por su parte, en la comparación de niveles de servicio del año 2024, para la mañana, se observa que la rotonda tiene números más deficientes que la intersección, a pesar de que el flujo vehicular disminuyó. Con resultados como el movimiento dos el nivel de servicio es E, mientras el nivel de servicio del movimiento tres es A. El nivel de servicio del movimiento cinco y siete es D, el movimiento nueve es B mientras el resultado de 10 y 11 es F y el 12 es C Cabe resaltar que los niveles de servicio siguen demostrando la poca efectividad de la rotonda en este sector de la carretera.

Por último, en la comparación de niveles de servicios del año 2029, para la mañana, se observa que dichos niveles -en la intersección- dan resultados medianamente defectuosos, con resultados como el movimiento dos el nivel de servicio es F, mientras el nivel de servicio del movimiento tres es A. El nivel de servicio del movimiento cinco y siete es E, el movimiento nueve

es B mientras el resultado de 10 y 11 es F y el 12 es C mientras la rotonda tiene niveles de servicio muy malos y defectuosos, lo cual demuestra que el flujo vehicular vial va a ser muy deficiente.

En la comparación de los niveles de servicio para el año 2022, respecto al medio día, se observa que, en la intersección en el movimiento dos el nivel de servicio es de es E, mientras el nivel de servicio del movimiento tres es A. El nivel de servicio del movimiento cinco y siete es D, mientras el movimiento nueve es A. El nivel de servicio del 10 y 11 es D y el resultado que obtuvo el movimiento 12 es A. No obstante, hay sectores de la intersección con niveles de servicio defectuosos; ahora bien, en la rotonda, hay tiempos de demora mucho más altos, con un nivel de servicio E y F, que se considera lo peor en cuanto a la clasificación del flujo vehicular.

Por su parte, en la comparación de niveles de servicio del año 2024, para la mañana, se observa que la rotonda tiene números más deficientes que la intersección, a pesar de que el flujo vehicular disminuyó. Con resultados como el movimiento dos el nivel de servicio es D, mientras el nivel de servicio del movimiento tres es A. El nivel de servicio del movimiento cinco es C y siete es D, el movimiento nueve es A mientras el resultado de 10 y 11 es E y el 12 es A. Cabe resaltar que los niveles de servicio siguen siendo mejor que los de la rotonda en este sector de la carretera con nivel de servicio de E y F.

Por último, en la comparación de niveles de servicios del año 2029, para el medio día, se observa que dichos niveles -en la intersección- dan resultados medianamente defectuosos, con resultados como el movimiento dos el nivel de servicio es E, mientras el nivel de servicio del movimiento tres es A. El nivel de servicio del movimiento cinco es C y el siete es D, el movimiento nueve es D, el resultado de 10 y 11 es E y el 12 es A mientras la rotonda tiene niveles de servicio muy malos y defectuosos, lo cual demuestra que el flujo vehicular vial va a ser muy deficiente.

En la comparación de los niveles de servicio para el año 2022, respecto a la tarde noche, se observa que, en la intersección en el movimiento dos el nivel de servicio es de es D, mientras el nivel de servicio del movimiento tres es A. El nivel de servicio del movimiento cinco y siete es D, mientras el movimiento nueve es A. El nivel de servicio del 10 y 11 es D y el resultado que obtuvo el movimiento 12 es A; ahora bien, en la rotonda, hay tiempos de demora mucho más altos, con un nivel de servicio E y F, que se considera malo en cuanto a la clasificación del flujo vehicular.

Por su parte, en la comparación de niveles de servicio del año 2024, para la tarde noche, se observa que la rotonda tiene números más deficientes que la intersección, a pesar de que el flujo vehicular disminuyó. Con resultados como el movimiento dos el nivel de servicio es D, mientras el nivel de servicio del movimiento tres es A. El nivel de servicio del movimiento cinco es D y siete es D, el movimiento nueve es A mientras el resultado de 10 y 11 es D y el 12 es B. Cabe resaltar que los niveles de servicio siguen siendo mejor que los de la rotonda en este sector de la carretera con nivel de servicio de E y F.

Por último, en la comparación de niveles de servicios del año 2029, para la tarde noche, se observa que dichos niveles -en la intersección- dan resultados medianamente defectuosos, con resultados como el movimiento dos el nivel de servicio es E, mientras el nivel de servicio del movimiento tres es A. El nivel de servicio del movimiento cinco es D y el siete es E, el movimiento nueve es, el resultado de 10 y 11 es D y el 12 es A mientras la rotonda tiene niveles de servicio muy malos y defectuosos, lo cual demuestra que el flujo vehicular vial va a ser muy deficiente.

Conclusiones

En primer lugar, se analizó la capacidad de la intersección y la entrada de los diferentes vehículos por las calles que conectan la intersección.

A partir del conteo de vehículos, se logró determinar la cantidad de automotores que transitan por la intersección y, gracias al *software* Synchro 10, fue posible determinar el tiempo demora de los vehículos que circulan por dicha intersección.

Además, se determinó la distribución vehicular y -así continuamente- las maniobras que realizan los conductores al circular por la intersección, para así poder describir los movimientos que permitieron saber la trayectoria de los vehículos, además de las fases en las que está distribuido el volumen vehicular.

Por su parte, se analizó la propuesta existente del MOPT, sobre la construcción de una rotonda en esa zona de la carretera de la intersección de la ruta 32 y 36 con la calle 9, medida que se busca implementar para disminuir el congestionamiento vial.

Se compararon los niveles de servicios de la intersección y la rotonda, se concluye que la construcción de esta última no es viable en esa zona de la carretera.

Por último, se realizó el análisis de los resultados obtenidos en la comparación de los niveles de servicios entre la intersección y la rotonda, para saber si la rotonda puede ser una solución para mejorar el congestionamiento vial de esa zona del cantón central de Limón, llegando a la conclusión de que no se debería construir en ese sector, ya que más bien generaría mayor congestionamiento, de modo que se deben hacer más investigaciones y estudios al respecto.

Recomendaciones

Se recomienda seguir con los estudios de mejoramiento del flujo vehicular de esa intersección, para así proceder con el análisis de la construcción de un paso a desnivel en ese sector, como siguiente alternativa para disminuir el congestionamiento vial; no obstante, también se debería considerar un reordenamiento vial en la zona, ya que no es el único lugar en esa carretera en la que hay congestionamiento vehicular y en donde se puede encontrar un flujo discontinuo.

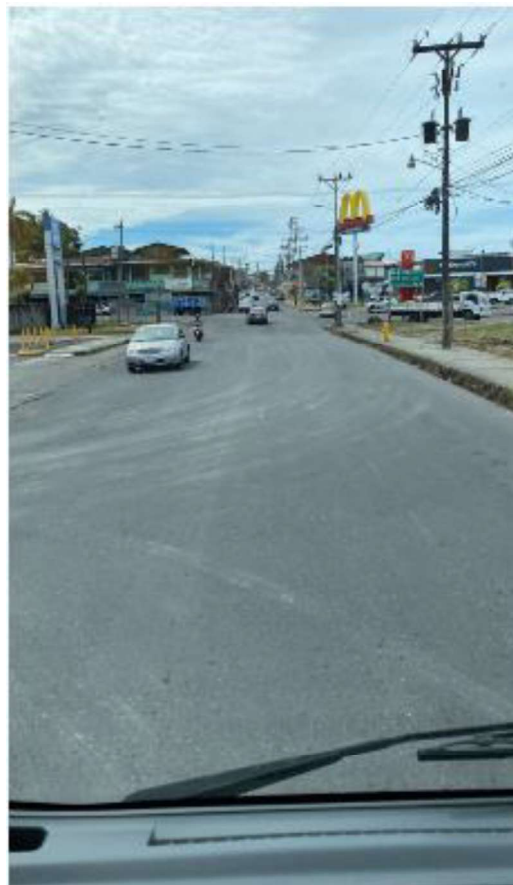
Referencias bibliográficas

- Baeza, A., & Martínez, E. (2012). *Metodología para el análisis de capacidad y nivel de servicio en intersecciones semaforizadas de acuerdo al Manual de capacidad HCM 2000: caso Cerro del Agua/Ingeniería* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio de Tesis DGBSDI. <https://bit.ly/3eO1ei2>
- Barrientos, S. (2019). *Evaluación de intersecciones del Gran Área Metropolitana para comprobar que los modelos de Synchro 8 se ajusten a la realidad* [Tesis de licenciatura, Universidad Latina]. Repositorio Institucional de la Universidad Latina de Costa Rica. <https://cutt.ly/L0e9nyO>
- Cal, R., Reyes, M., & Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de Tránsito. Fundamento y aplicaciones* (7.^a ed.). Alfaomega.
- Dávila, C. (2019). *Análisis de distribución de volumen vehicular por carril de entrada a la rotonda de paso ancho y el cálculo de los intervalos críticos* [Tesis de licenciatura, Universidad Latina de Costa Rica]. Repositorio Institucional de la Universidad Latina de Costa Rica. <https://bit.ly/3BiHwU4>
- Durán, M. (1990). *Método para Estimar La Capacidad y Demoras en Las Intersecciones Tipo Rotonda de CR*. <https://bit.ly/3hglytN>
- Gómez, M. J. (2019). *Validación de la metodología del manual HCM 2010 para el análisis de capacidad de dos intersecciones, controladas por señales de alto y ceda, en San Antonio del Tejar de Alajuela* [Tesis de licenciatura inédita]. Universidad Latina.
- Jerez, Á. G. y Morales, O. E. (2015). *Análisis del nivel de servicio y capacidad vehicular de las intersecciones con mayor demanda en la ciudad de Azogues* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7704>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill Education.
- Transportation Research Board. (2010). *High Capacity Manual 2010*. <https://bit.ly/3FyDqZl>
- Ticahuanca, A., & Farkin, R. (2020). *Análisis y evaluación de la capacidad y del nivel de servicio de la intersección semaforizada Fermín Arbulú y Tacna de la ciudad de Puno aplicando*

las metodologías HCM 2000 y Synchro 8 [Universidad Nacional del Altiplano].
Repositorio UNAP. <https://cutt.ly/D0e93ip>

Anexos

Anexo 1. Fotografías de intersección 1



Glosario

-Ceda: Se utiliza en intersecciones o zonas de conflicto en la infraestructura de transporte que indica al conductor, en caso de que no alcance a cruzar o incorporarse de forma segura sin interferir en la maniobra de los vehículos de la otra corriente, la obligación de ceder el paso.

-Cintas métricas: También conocidas como flexómetros o huincha de medir, son instrumentos de medición, que cuentan con unas líneas marcadas longitudinalmente donde se pueden observar las unidades de medidas y sus divisiones.

-Choques: Encuentro violento de dos o más cuerpos, de los cuales al menos uno está en movimiento.

-Conductor: Es la persona que maneja el mecanismo de dirección o va a los mandos.

-Congestionamiento: Acumulación de algún elemento, generando un proceso que provoca una obstrucción o un bloqueo que dificulta la circulación o el paso de algo.

-Demarcación vial: Enmarcación a las rayas, los símbolos y las letras que se pintan sobre el pavimento, brocales y estructuras de las vías de circulación, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de orientar y regular el tránsito.

-Infraestructura: Conjunto de medios técnicos, servicios e instalaciones necesarios para el desarrollo de una actividad o para que un lugar pueda ser utilizado.

-Ingeniería de tránsito: Tiene la finalidad de analizar la movilidad en una zona determinada, considerando de manera coordinada los diferentes elementos que participan en ella y simulando la interacción de los nuevos proyectos de infraestructura con la red.

-Intersección vial: Es la confluencia de varias vías, por las que el tráfico se mueve en diversas direcciones. Las intersecciones de mucho movimiento están reguladas por un “semáforo”, pero no controladas.

-Luz roja: Indica que los vehículos no se pueden mover.

-Peatón: Persona que va a pie por una vía pública.

-Semáforo: Regulan el paso de los vehículos como los coches, motocicletas y camiones.

-*Software*: Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.

-Tránsito: Sirve al servicio de la ciudadanía, mediante operativos de prevención en carretera, en procura de mejorar la seguridad vial.

-Volumen de tránsito: Es definido como el número de autos que transitan en un punto determinado.