

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL



**Impacto de las motocicletas en la capacidad vial de las intersecciones RN3 –
RN108 (Pozuelo) y Av8 – Tr25 (F. Peralta) del cantón central de San José**

Proyecto de graduación para optar por el grado académico de

Maestría en Ingeniería Vial

Realizado por:

Víctor Manuel Delgado Vílchez

Cartago, mayo del 2024

DEDICATORIA

María de los Ángeles Vílchez Araya
(Tato) 04 julio 1941 – 04 febrero 2021

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1. Generalidades de la investigación	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Antecedentes y justificación del estudio.....	1
1.3 Objetivos.....	1
1.3.1 Objetivo general.....	1
1.3.2 Objetivos específicos	1
1.4 Alcance y limitaciones.....	2
1.4.1 Alcances	2
1.4.2 Limitaciones.....	2
Capítulo 2. Marco teórico	3
2.1 Generalidades.....	3
2.2 Capacidad vial	7
2.2.1 Tránsito vehicular.....	8
2.2.1.1 Generalidades del cálculo de la capacidad vial.....	8
2.2.1.1.1 Capacidad (C):.....	8
2.2.1.1.2 Composición del tránsito.....	9
2.2.1.1.3 Demanda (D):	9
2.2.1.1.4 Factor de la hora de máxima demanda (FHMD):.....	9
2.2.1.1.5 Flujo (Q):.....	9
2.2.1.1.6 Intervalo simple (h_i).....	10
2.2.1.1.7 Tiempo perdido durante el arranque.....	10
2.2.1.1.8 Transito promedio diario (TPD):.....	11
2.2.1.1.8.1 Volumen (V):	11
2.2.2 Diseño geométrico	12
2.2.2.1 Características	12
2.2.2.2 Giro de los vehículos.....	14
2.2.3 Intersecciones, intercambios y cruces a desnivel	14
2.2.4 Gestión del riesgo y seguridad vial	14
2.2.4.1 Generalidades	14
2.2.4.2 Cajas en intersecciones	15
2.3 Estadística inferencial.....	16
2.3.1 Diagrama de caja.....	16
2.3.2 Prueba de hipótesis	17
2.3.2.1 Caso 1, elementos mayores o iguales a 30	17
2.3.2.2 Caso 2, elementos menores o iguales a 30	18

2.3.2.3	Caso 3, aplicación para intersecciones	19
Capítulo 3.	Marco metodológico.....	20
3.1	<i>Tipo de investigación</i>	20
3.2	<i>Fuentes de información</i>	20
3.2.1	Selección de las intersecciones a estudiar	20
3.2.2	Localización geográfica de las intersecciones	20
3.2.3	Características físicas de la(s) intersección(es).....	22
3.2.3.1	Intersección Pozuelo	22
3.2.3.1	Intersección F. Peralta	23
3.3	<i>Movimientos vehiculares de las intersecciones</i>	24
3.4	<i>Técnicas e instrumentos de investigación</i>	27
3.4.1	Utilización de cámaras de video	27
3.4.2	Recolección de datos en formatos preestablecidos.....	27
3.4.2.1	Toma de datos	27
3.4.2.2	Procesamiento de datos.....	27
3.4.2.2.1	Proceso de datos de la intersección RN3 – RN108 (Pozuelo).....	28
3.4.2.2.2	Proceso de datos de la intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)	29
3.5	<i>Intervalos de seguimiento y flujos de saturación</i>	31
Capítulo 4.	Resultados.....	32
4.1	<i>Generalidades</i>	32
4.2	<i>Intersección RN3 – RN108 (Pozuelo)</i>	32
4.2.1	Carril norte – este (NE)	32
4.2.1.1	Vehículos livianos.....	32
4.2.1.2	Efecto de la motocicleta	33
4.2.1.3	Análisis estadístico.....	35
4.2.2	Carril norte – sur (NS).....	35
4.2.2.1	Vehículos livianos.....	35
4.2.2.2	Efecto de la motocicleta	37
4.2.2.3	Análisis estadístico.....	38
4.2.3	Carril norte – sur – oeste (NSO)	39
4.2.3.1	Vehículos livianos.....	39
4.2.3.2	Efecto de la motocicleta	40
4.2.3.3	Análisis estadístico.....	42
4.2.4	Carril sur – este (SE)	43
4.2.4.1	Vehículos livianos.....	43
4.2.4.2	Efecto de la motocicleta	44

4.2.4.3	Análisis estadístico.....	45
4.2.5	Carril sur – norte N°1 (SN1).....	46
4.2.5.1	Vehículos livianos.....	46
4.2.5.2	Efecto de la motocicleta	47
4.2.5.3	Análisis estadístico.....	48
4.2.6	Carril sur – norte N°2 (SN2).....	48
4.2.6.1	Vehículos livianos.....	48
4.2.6.2	Efecto de la motocicleta	50
4.2.6.3	Análisis estadístico.....	51
4.2.7	Carril este – oeste (EO)	52
4.2.7.1	Vehículos livianos.....	52
4.2.7.2	Efecto de la motocicleta	53
4.2.7.3	Análisis estadístico.....	54
4.2.8	Carril este – sur – oeste (ESO).....	55
4.2.8.1	Vehículos livianos.....	55
4.2.8.2	Efecto de la motocicleta	56
4.2.8.3	Análisis estadístico.....	57
4.3	<i>Intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)</i>	58
4.3.1	Carril sur – norte (SN).....	58
4.3.1.1	Vehículos livianos.....	58
4.3.1.2	Efecto de la motocicleta	59
4.3.1.3	Análisis estadístico.....	60
4.3.2	Carril sur – norte – oeste (SNO)	60
4.3.2.1	Vehículos livianos.....	60
4.3.2.2	Efecto de la motocicleta	61
4.3.2.3	Análisis estadístico.....	63
4.3.3	Carril este – norte – oeste (ENO).....	63
4.3.3.1	Vehículos livianos.....	63
4.3.3.2	Efecto de la motocicleta	65
4.3.3.3	Análisis estadístico.....	66
4.3.4	Carril este – oeste (EO)	67
4.3.4.1	Vehículos livianos.....	67
4.3.4.2	Efecto de la motocicleta	68
4.3.4.3	Análisis estadístico.....	69
4.4	<i>Resumen</i>	71
4.4.1	Intersección RN3 – RN108 (Pozuelo).....	71
4.4.2	Intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)	72

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones	73
5.1 Conclusiones	73
5.2 Recomendaciones	73
Capítulo 6. Referencias bibliograficas	75
Capítulo 7. Apéndices	76
Capítulo 8. Anexos	77

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2-1: Accidentes en motocicletas por tipo de lesión para los años 2016 a 2022	5
Cuadro 2-2: Dimensiones de los vehículos de diseño.....	13
Cuadro 2-3: Radios mínimos de giro.....	14
Cuadro 2-4: Cálculo de valores del diagrama caja.....	17
Cuadro 3-1: Fases de semáforos, intersección RN3 – RN108 (La Pozuelo)	23
Cuadro 3-2: Fases de lo semáforo, intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)	24
Cuadro 3-3: Tipos y características de vehículos utilizados en los conteos	28
Cuadro 4-1: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores ..	32
Cuadro 4-2: Datos estadísticos, Cuadro 4-1	33
Cuadro 4-3: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-1	33
Cuadro 4-4: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores.....	33
Cuadro 4-5: Datos estadísticos, Cuadro 4-4	34
Cuadro 4-6: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-4	34
Cuadro 4-7: Prueba hipótesis carril NE	35
Cuadro 4-8: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores ..	35
Cuadro 4-9: Datos estadísticos, Cuadro 4-8	36
Cuadro 4-10: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-8	37
Cuadro 4-11: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores.....	37
Cuadro 4-12: Datos estadísticos, Cuadro 4-11	38
Cuadro 4-13: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-11	38
Cuadro 4-14: Prueba hipótesis carril NS	38
Cuadro 4-15: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores	39
Cuadro 4-16: Datos estadísticos, Cuadro 4-15	40
Cuadro 4-17: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-15	40
Cuadro 4-18: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores.....	40
Cuadro 4-19: Datos estadísticos, Cuadro 4-18	41
Cuadro 4-20: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-18	41
Cuadro 4-21: Prueba hipótesis carril NSO	42
Cuadro 4-22: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores	43
Cuadro 4-23: Datos estadísticos, Cuadro 4-22	43
Cuadro 4-24: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-22	44
Cuadro 4-25: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores.....	44
Cuadro 4-26: Datos estadísticos, Cuadro 4-25	44
Cuadro 4-27: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-25	45
Cuadro 4-28: Prueba hipótesis carril SE	45
Cuadro 4-29: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores.....	46
Cuadro 4-30: Datos estadísticos, Cuadro 4-29	46
Cuadro 4-31: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-29	46
Cuadro 4-32: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores.....	47
Cuadro 4-33: Datos estadísticos, Cuadro 4-32	47
Cuadro 4-34: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-32	47
Cuadro 4-35: Prueba hipótesis carril SN1	48
Cuadro 4-36: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores	48

Cuadro 4-37: Datos estadísticos, Cuadro 4-36	49
Cuadro 4-38: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-36	49
Cuadro 4-39: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores.....	50
Cuadro 4-40: Datos estadísticos, Cuadro 4-39	50
Cuadro 4-41: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-39	51
Cuadro 4-42: Prueba hipótesis carril SN2	51
Cuadro 4-43: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores.....	52
Cuadro 4-44: Datos estadísticos, Cuadro 4-43	52
Cuadro 4-45: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-43	53
Cuadro 4-46: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores.....	53
Cuadro 4-47: Datos estadísticos, Cuadro 4-46	53
Cuadro 4-48: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-46	54
Cuadro 4-49: Prueba hipótesis carril EO	54
Cuadro 4-50: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores	55
Cuadro 4-51: Datos estadísticos, Cuadro 4-50	55
Cuadro 4-52: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-50	55
Cuadro 4-53: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores.....	56
Cuadro 4-54: Datos estadísticos, Cuadro 4-53	56
Cuadro 4-55: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-53	56
Cuadro 4-56: Prueba hipótesis carril ESO	57
Cuadro 4-57: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores	58
Cuadro 4-58: Datos estadísticos, Cuadro 4-57	58
Cuadro 4-59: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-57	58
Cuadro 4-60: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores.....	59
Cuadro 4-61: Datos estadísticos, Cuadro 4-60	59
Cuadro 4-62: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-60	59
Cuadro 4-63: Prueba hipótesis carril SN	60
Cuadro 4-64: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores.....	60
Cuadro 4-65: Datos estadísticos, Cuadro 4-64	61
Cuadro 4-66: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-64	61
Cuadro 4-67: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores.....	61
Cuadro 4-68: Datos estadísticos, Cuadro 4-67	62
Cuadro 4-69: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-67	62
Cuadro 4-70: Prueba hipótesis carril SNO	63
Cuadro 4-71: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores	63
Cuadro 4-72: Datos estadísticos, Cuadro 4-71	64
Cuadro 4-73: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-71	64
Cuadro 4-74: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores.....	65
Cuadro 4-75: Datos estadísticos, Cuadro 4-74	65
Cuadro 4-76: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-74	66
Cuadro 4-77: Prueba hipótesis carril ENO	66
Cuadro 4-78: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores	67
Cuadro 4-79: Datos estadísticos, Cuadro 4-78	68

Cuadro 4-80: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-78	68
Cuadro 4-81: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores.....	68
Cuadro 4-82: Datos estadísticos, Cuadro 4-81	69
Cuadro 4-83: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-81	69
Cuadro 4-84: Prueba hipótesis carril EO.....	70
Cuadro 4-85: Compendio de datos de la intersección RN3 – RN108 (Pozuelo), sin considerar impacto de las motocicletas	71
Cuadro 4-86: Compendio de datos de la intersección RN3 – RN108 (Pozuelo), considerando impacto de las motocicletas.....	71
Cuadro 4-87: Diferencia en la capacidad vial de la intersección RN3 – RN108 (Pozuelo)	71
Cuadro 4-88: Composición vehicular para la intersección RN3 – RN 108 (Pozuelo).....	71
Cuadro 4-89: Compendio de datos de la intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta), sin considerar impacto de las motocicletas	72
Cuadro 4-90: Compendio de datos de la intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta), considerando impacto de las motocicletas	72
Cuadro 4-91: Diferencia en la capacidad vial de la intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)..	72
Cuadro 4-92: Composición vehicular para la intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta).....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Estimación de vehículos a nivel mundial.....	XII
Figure 1-1: World's vehicle estimation	XIII
Figura 2-1: Promedio de la percepción de seguridad (de 1 a 10) en caso de tener un accidente de tránsito según el tipo de vehículo en 2019 (Solano, 2019, p.38).	4
Figura 2-2: Valores porcentuales de colisión de motocicletas con respecto al valor anual del rubro.....	6
Figura 2-3: Valores porcentuales de colisión de motocicletas con respecto al valor accidentes anuales.....	6
Figura 2-4: Comparación de costos de protección para un motociclista al año 2023.	7
Figura 2-5: Medición del intervalo simple (h_i)	10
Figura 2-6: Relación: demanda – capacidad- volumen	12
Figura 2-7: Propuesta de caja para motocicletas	16
Figura 2-8: Diagrama de caja.....	17
Figura 3-1: Localización intersección RN3 – RN108 (La Pozuelo)	21
Figura 3-2: Localización intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)	22
Figura 3-3: Características geométricas de la intersección RN3 – RN108 (Pozuelo)	23
Figura 3-4: Características geométricas de la intersección Av8 – Tr25	24
Figura 3-5: Ubicación de cámara 1, intersección RN3 – RN108 (La Pozuelo)	25
Figura 3-6: Ubicación de cámara 2, intersección RN3 – RN108 (La Pozuelo)	25
Figura 3-7: Ubicación de cámara 1, intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta).....	26
Figura 3-8: Ubicación de cámara 2, intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta).....	26
Figura 3-9: Nomenclatura carriles intersección RN3 – RN108 (Pozuelo)	29
Figura 3-10: Nomenclatura carriles intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)	30
Figura 4-1: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-1	33
Figura 4-2: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-4	34
Figura 4-3: Prueba hipótesis carril NE	35
Figura 4-4: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-8	36
Figura 4-5: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-11	37
Figura 4-6: Prueba hipótesis carril NS	39
Figura 4-7: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-15	40
Figura 4-8: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-18	41
Figura 4-9: Prueba hipótesis carril NSO.....	42
Figura 4-10: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-22	43
Figura 4-11: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-25	44
Figura 4-12: Prueba hipótesis carril SE.....	45
Figura 4-13: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-29	46
Figura 4-14: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-32	47
Figura 4-15: Prueba hipótesis carril SN1	48
Figura 4-16: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-36	49
Figura 4-17: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-39	50
Figura 4-18: Prueba hipótesis carril SN2.....	51
Figura 4-19: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-43	52
Figura 4-20: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-46	53
Figura 4-21: Prueba hipótesis carril EO	54
Figura 4-22: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-50	55
Figura 4-23: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-53	56
Figura 4-24: Prueba hipótesis carril ESO	57
Figura 4-25: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-57	58
Figura 4-26: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-60	59

Figura 4-27: Prueba hipótesis carril SN.....	60
Figura 4-28: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-64	61
Figura 4-29: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-67	62
Figura 4-30: Prueba hipótesis carril SNO.....	63
Figura 4-31: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-71	64
Figura 4-32: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-74	65
Figura 4-33: Prueba hipótesis carril ENO.....	66
Figura 4-34: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-78	67
Figura 4-35: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-81	69
Figura 4-36: Prueba hipótesis carril EO	70

ABREVIATURAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> de los Estados Unidos de América.
COSEVI	Consejo de Seguridad Vial, dependiente del MOPT.
DGIT	Dirección de general de ingeniería de tránsito, adscrita al MOPT.
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica.
SIECA	Secretaría de Integración Económica Centroamericana. Órgano técnico y administrativo del proceso de integración económica centroamericana.

RESUMEN

Uno de los grandes problemas de las ciudades es la movilización que deben realizar las personas ya sea a sus lugares de trabajo o estudio, así como a lugares de recreación o donde puedan adquirir bienes y servicios. El deseo de minimizar los tiempos de viaje ha hecho que las personas migren de los sistemas colectivos a los individuales, con lo que ha incrementado la flota vehicular, tal y como se muestra en la Figura 1-1.

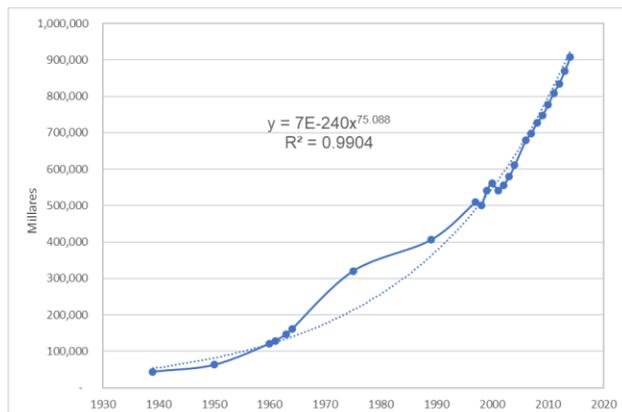


Figura 1-1: Estimación de vehículos a nivel mundial

Fuente: Tabla 5.1: Evolución de número de automóviles en el mundo (Cal y Mayor, 2018, p.88)
 Source: Table 5.1: Evolution of the number of cars in the world (Cal y Mayor, 2018, p.88)

El incremento vehicular ha provocado que los usuarios, en el caso de Costa Rica, migren de los vehículos de cuatro ruedas a las motocicletas, con lo cual se está dando un crecimiento acelerado en este tipo de automotores dentro de la flota vehicular, con el agravante de que la incidencia de accidentes hace que la percepción de seguridad para este tipo de vehículos sea de 4.13 con respecto a 10 (Solano, 2019, p.38).

En Costa Rica, no se han llevado a cabo estudios, ni se cuenta con bases de datos que nos indique de manera acertada como se ha comportado los incrementos de estos vehículos a través de los años, y por otra parte, no son tomados en cuenta desde el punto de vista de diseños geométrico ni de seguridad vial.

Es por ello que se ha tomado la iniciativa de llevar a cabo un análisis operacional para determinar el impacto que este tipo de vehículos tiene en nuestras carreteras, con la finalidad de determinar si ocasionan un impacto en las vías.

Se estudian dos intersecciones del cantón central de la provincia de San José, seleccionando una con una baja tasa de flujo de motocicletas y otra de forma inversa, con lo que se cuantifica el impacto que provocan las motocicletas en la capacidad vial de la intersección en estudio.

Palabras claves: motocicleta, flujo vehicular, intersecciones semaforizadas.

ABSTRACT

One of the big problems of cities is the mobilization that people must carry out, whether to their places of work or study, as well as to places of recreation or where they can purchase goods and services. The desire to minimize travel's time has caused people to migrate from collective to individual systems, which has increased the vehicle fleet, as shown in Figure 1-1.

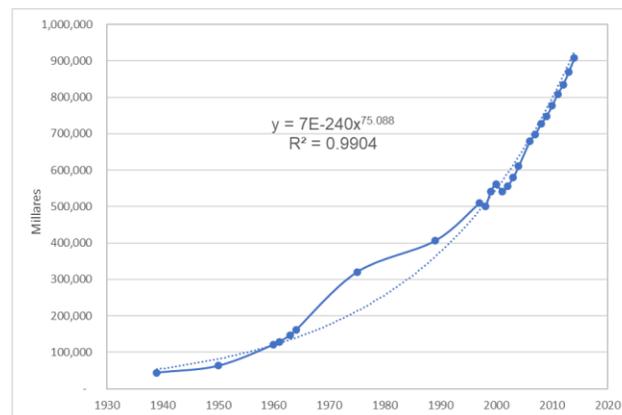


Figure 1-2: World's vehicle estimation

The increase in vehicles has caused users, in the case of Costa Rica, to migrate from four-wheeled vehicles to motorcycles, which is leading to accelerated growth in this type of vehicles within the fleet, with the aggravating factor is that the incidence of accidents makes the perception of safety for this type of vehicle 4.13 compared to 10 (Solano, 2019, p.38).

In Costa Rica, no studies have been carried out, nor are there databases that accurately indicate how the increases in these vehicles have behaved over the years, and on the other hand, they are not taken into account from the point of view of geometric designs or road safety.

That is why the initiative has been taken to carry out an operational analysis to determine the impact that this type of vehicles has on our roads, in order to determine if they cause any impact on the roads.

Two intersections in the San José's central canton are studied, selecting one with a low flow rate of motorcycles and another inversely, thereby quantifying the impact that motorcycles cause on the road capacity of the intersection under study.

Keywords: motorcycle, vehicular flow, traffic light intersections.

INTRODUCCIÓN

Las intersecciones y los puentes son los puntos de mayor concentración e importancia de una vía. Es sabido que si el puente de una vía falla, los usuarios se verán afectados porque no podrán utilizar la carretera afectada, por otra parte, si una intersección se satura rápidamente, provocará retardos en los viajes de los usuarios. Por ello, se hace necesario conocer el cómo son afectados los tiempos de viaje en las vías, debido a las congestiones, relacionadas con la capacidad vial, para luego, por medio de metodologías establecidas, determinar la capacidad vial y luego asignar un nivel de servicio, ya sea a las vías como a las intersecciones.

A través de los años, por el cambio que ha sufrido la conformación de la flota vehicular debido a los tiempos de viaje, los usuarios han migrado de los autobuses a los automóviles y de estos últimos a las motocicletas.

En Costa Rica no se han realizado estudios para determinar el impacto que el aumento en la flotilla de motocicletas tiene en el flujo vehicular. Se ha especulado en el sentido de que existe una afectación de estos automotores con los vehículos livianos de pasajeros y que producto de esta interacción sin control, se dan los accidentes, que en la mayor parte de las ocasiones, el conductor de las motocicletas, lleva la peor parte.

Dada la falta de estudios en nuestro país, es que se debe de echar mano a la literatura internacional y a los estudios realizados en otros países, como es el caso de Colombia y los países asiáticos.

De allí que lo que se pretende con la investigación es realizar un estudio exploratorio, que permita a otros investigadores encontrar causas y efectos para los comportamientos que se dan en las vías, producto de la interacción de la cada vez más creciente flota vehicular motorizada.

Capítulo 1. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Al diseñar las carreteras tanto desde el punto de vista geométrico, como de seguridad vial y se toma como referencia un vehículo tipo, que no coincide con las características que posee una motocicleta. Lego de que la vía es puesta en funcionamiento, se valoran las vías otorgándoles y las intersecciones, otorgándoles un nivel de servicio que es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los usuarios o pasajeros (Cal y Mayor, 2018, p.397).

En todos estos estudios no se toma en cuenta la motocicleta como un vehículo dentro de la flota, por lo que es necesario conocer si existe un impacto de tales automotores en el flujo vehicular.

1.2 Antecedentes y justificación del estudio

La red vial nacional se está viendo cada vez más saturada por la cantidad de vehículos que circulan por ella. En lo referente a nuestro país, el cálculo de la capacidad vial está determinado principalmente por dos anuales, el Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras 2011 (mismo que hace mención al *Highway Capacity Manual*, HCM 2010) y las directrices del Consejo de seguridad vial, documentos que no toman en cuenta a las motocicletas para realizar el cálculo de la capacidad vial, ya sea de una intersección o una vía. Sin embargo, el aumento de parque de vehículos de dos ruedas, debido a los cambios originados en la necesidad de búsqueda de nuevas fuentes de empleo, reducción de los tiempos de viaje y la facilidad financiera para adquirir este tipo de vehículos, ha hecho que la cantidad que vemos en carretera de estas unidades vaya en un aumento vertiginoso.

Es por ello que se hace necesario estudiar si dichos vehículos están generando un impacto en el flujo de vehículos, ya que a la fecha no se han realizado estudios al respecto, por lo cual se pretende llevar a cabo un estudio exploratorio en dos intersecciones elegidas por el autor, para evaluar si este tipo de transporte está ocasionando un impacto y sea hora de tomarlos en cuenta para los cálculos viales y de transporte.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Cuantificar el impacto que provocan las motocicletas en la capacidad vial de una intersección regulada por semáforos en el cantón central de San José, Costa Rica.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Medir el flujo de saturación de una intersección semaforizada con poco volumen de motocicleta.
2. Medir el flujo de saturación de una intersección semaforizada con alto volumen de motocicleta.

3. Evaluar si existe diferencia estadística entre los flujos de saturación, encontrados en los objetivos específicos 1 y 2.

1.4 Alcance y limitaciones

1.4.1 Alcances

Se pretende tener un panorama del impacto que las motocicletas puedan tener. Se ha especulado mucho en cuanto a la afectación que este tipo de vehículos ocasiona en la vía, sin embargo a la fecha no se tienen datos claros de dicho impacto, por lo que iniciar con este estudio, ayudará a otros investigadores a profundizar en posibles causas que provoquen otro tipo de circunstancias como los accidentes viales y su impacto económico, visto tanto en daños físicos o como pérdida de productividad debido a las lesiones de los involucrados, mejoras en la señalización vial o la utilización de carriles o vías exclusivas para estos vehículos, entre otros.

1.4.2 Limitaciones

Las intersecciones que se estudian en esta investigación, fueron seleccionadas considerando el alto volumen de tránsito que circulan por ellas, y en particular de motocicletas, procurando que algunos de sus accesos presenten formación de colas durante los períodos en los que se realizaron las mediciones de campo, para poder obtener varios intervalos de seguimiento en cada fase de semáforo.

Un aspecto importante deriva en que a la hora de escoger las intersecciones a estudiar, no se realizó un análisis estadístico para determinar la certeza de los datos obtenidos a nivel cantonal ni nacional. Al determinar el impacto de las motocicletas en una intersección vehicular, lo que pretende es dar un primer enfoque a los investigadores en si las motocicletas inciden en los tiempos de viaje de otros vehículos y si a su vez eso conlleva a mejores flujos en las intersecciones bajo estudio.

Dado que las motocicletas no viajan de forma regular de forma lineal dentro del flujo (un vehículo tras otro), sino que en ocasiones lo hacen de forma paralela, se asumirá a la hora de realizar el cálculo, el momento por el cual los vehículos que transitan por las intersecciones pasan por un punto de referencia tomando en cuenta el parachoques (*bumper*) delantero, el mismo criterio se aplicará a la llanta delantera, en el caso de las motocicletas.

Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades

Costa Rica es signataria del tratado protocolo de Tegucigalpa del 13 de diciembre de 1991, ratificado por Costa Rica mediante Ley N8318 publicada en La Gaceta N221 del 15 de noviembre del 2002, el cual creó el Sistema de la Integración Centroamericana, como marco jurídico e institucional de la integración global de Centroamérica, constituyendo un subsistema la integración económica (Poder Ejecutivo, 2018).

Mediante el Decreto Ejecutivo N°41271-MOPT, en su artículo 2 y para los efectos de interés, se oficializó la utilización de los siguientes manuales:

- Manual Centroamericano normas para diseño geométrico de carreteras regionales, resolución 04-2001, COMITRAN XXIII.
- Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial, resolución 01-2011, COMITRAN XXXI.

Manual Centroamericano normas para diseño geométrico de carreteras regionales, establece que el Manual de capacidad 2010, presenta la metodología para evaluar la capacidad y el nivel de servicio de carreteras, y es el documento que se recomienda como referencia para investigaciones relacionadas (Secretaría de Integración Económica de Centroamérica, 2011, pág. 57).

A la fecha, la metodología empleada en Costa Rica para el flujo vehicular está determinada por el Decreto Ejecutivo N°41271-MOPT, debidamente publicado en La Gaceta N°218, del 23 de noviembre de 2018, donde se establece la obligatoriedad de uso para las instituciones que conforman el sector transporte e infraestructura, por lo tanto para los diseñadores de este tipo de obras:

Artículo 1:

Formarán parte del ordenamiento jurídico costarricense, los manuales aprobados por el Consejo de ministros de Centroamérica (COMITRAN), que se enuncian en el artículo 2 del presente Decreto Ejecutivo [...].

Artículo 2:

A los efectos anteriores, se tienen por incorporados los siguientes manuales aprobados por el COMITRAN:

Manual Centroamericano normas para diseño geométrico de carreteras regionales.

[...].

Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial [...] (Poder Ejecutivo de Costa Rica, 2018).

Realizando una lectura de dichas normas, no se contempla a la motocicleta como un vehículo a tomar en cuenta a la hora de realizar los cálculos de los tránsitos vehiculares, mismos que son utilizados para determinar las condiciones estructurales y geométricas que tendrán las vías a rehabilitar o construir.

Más adelante se retomará el tema, de cómo está constituida la composición del tránsito de acuerdo con el manual Centroamericano, tomando en cuenta la obligatoriedad de su uso.

A través del tiempo, la red vial de Costa Rica ha estado modificando su constitución vehicular, apareciendo un actor que no se tiene en cuenta a la hora de determinar la capacidad vial, los diseños geométricos o los diseños de seguridad vial de las carreteras, dicho actor es la motocicleta.

Las motocicletas en la flota vehicular han ido en aumento, ya que en el año 2010 existían en nuestro país una cantidad de 102,991 y para el año 2019 esa cifra había aumentado a 424,369, lo que indica un aumento del 412%, o sea en el año 2019 se contaba con alrededor de 4.12 motocicletas más que en el año 2010 (Consejo Nacional de Rectores, 2019, p.158). Las razones del aumento en la cantidad de motocicletas dentro del parque automotor no es un tema que se vaya a examinar dentro de este trabajo, sin embargo se han planteado diversas razones como lo son i) la cantidad de tiempo que se pierde en los viajes debido al congestionamiento vial, ii) abatamiento y facilidades económicas para adquirir un vehículo de este tipo, iii) uso compartido trabajo – hogar, ya que muchas personas han migrado hacia empleos de servicio, donde es indispensable contar con un vehículo de este tipo, lo que también es beneficioso para el propietario, ya que lo puede utilizar para solventar situaciones familiares después de las horas laborales.

De acuerdo con Solano (2019), la percepción de seguridad de las motocicletas en la población costarricense como medio de transporte, se encuentra como el más inseguro, aun siendo superado por la bicicleta (p.38).

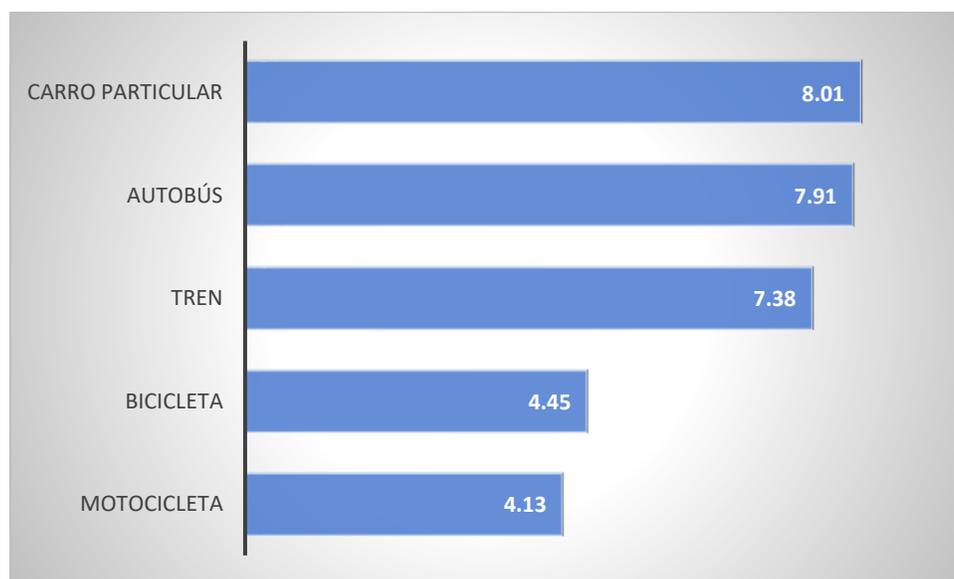


Figura 2-1: Promedio de la percepción de seguridad (de 1 a 10) en caso de tener un accidente de tránsito según el tipo de vehículo en 2019 (Solano, 2019, p.38).

De la percepción que tiene la población con respecto a los accidentes de tránsito, se han supuesto causas asociadas como el adelantamiento por la derecha, irrespeto

a las señales de alto, abuso de velocidad y no hacerse visibles en carretera como las causas productoras de las motocicletas con el parque vehicular, peatones y el mobiliario de las vías. De allí que sea necesario realizar una revisión de las causas que provocan los accidentes, para esto, se utilizó la base de datos abierta del COSEVI (publicada en su sitio web), tomando en cuenta el tema de estudio de este trabajo y centrándose únicamente en las motocicletas como vehículos de interés:

1. De los accidentes en carretera para los años 2016 a 2022, tomando en cuenta el tipo de lesión se tiene:

Cuadro 2-1: Accidentes en motocicletas por tipo de lesión para los años 2016 a 2022

<i>Año</i>	<i>Con muertos o graves</i>	<i>Solo heridos leves</i>	<i>Total anual*</i>
2016	1,020	5,435	16,037
2017	1,020	4,932	14,861
2018	1,006	5,203	14,742
2019	897	5,059	14,861
2020	619	3,940	11,791
2021	813	4,711	14,150
2022	1,016	5,059	15,629

*Nota: El valor mostrado representa la totalidad de accidentes reportados por COSEVI, para cada año mostrado.

Fuente: El autor, datos de la base Consolidado de accidentes de tránsito con víctimas de COSEVI¹.

2. Al realizar una comparación porcentual del tipo de lesión con respecto a los totales por rubro, de lo que se tiene que para los accidentes de colisión de motocicletas no hay un crecimiento porcentual apreciable, de hecho existe una baja de los accidentes reportados de aproximadamente 1% entre los años 2016 y 2022.

¹ Se puede acceder a la base del Observatorio de COSEVI por medio de la página <https://datosabiertos.csv.go.cr/datasets/193472/consolidado-de-accidentes-de-transito-con-victimas/>



Figura 2-2: Valores porcentuales de colisión de motocicletas con respecto al valor anual del rubro
Fuente: El autor, datos de la base Consolidado de accidentes de tránsito con víctimas de COSEVI¹.

Al analizar los valores porcentuales pero esta vez calculando con respecto a los accidentes anuales reportados, la tendencia es la misma que en caso anterior, de aquí que se pueda indicar que los accidentes no aumentan por el tipo de vehículo. El aumento se puede atribuir al crecimiento de la flota vehicular, ya que a través de los años, los valores porcentuales se mantienen casi constantes, con pequeñas variaciones que no son significativas.



Figura 2-3: Valores porcentuales de colisión de motocicletas con respecto al valor accidentes anuales
Fuente: El autor, datos de la base Consolidado de accidentes de tránsito con víctimas de COSEVI¹

- Uno de los aspectos negativos, como se manifiesta en la campaña publicitaria del COSEVI, es que la carrocería y el chasis que soportan todo el impacto

durante un accidente de tránsito, es el cuerpo del conductor. Sin embargo, no se desea ahondar en la causalidad, geometría, clima, efectos físicos o económicos de los involucrados en los accidentes donde interviene una motocicleta, ya que no es la finalidad del estudio que se pretende realizar, pero sí, enmarcar posibles temas de investigación que puedan ayudar en el futuro a mejorar las condiciones para que estos automotores se desplacen por nuestras carreteras de forma segura y confiable.



Figura 2-4: Comparación de costos de protección para un motociclista al año 2023.

Fuente: <https://www.csv.go.cr/el-chasis-sos-vos>

2.2 Capacidad vial

Como se indicó de manera previa, el Manual centroamericano normas para diseño geométrico de carreteras regionales, establece la metodología por medio de la cual se deben proyectar los diseños geométricos y estructurales de las carreteras de nuestro país. Para ello es necesario contar la distribución de tránsito bajo la cual va a operar la vía. Es por esta razón que se deben tener claros los conceptos bajo los cuales se rige la metodología señalada.

Sin embargo la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (2011), establece que la información de tránsito sirve para establecer las cargas para el diseño geométrico de la carretera (p.48), y en ningún momento dicha información se utiliza para diseñar la carretera de acuerdo a los vehículos que la utilizarán y que no son tomados en cuenta en los conteos vehicularas, tal es el caso de la motocicleta, que como se ha indicado, las vías no se diseñan tomando en cuenta este tipo de automotor en el flujo vehicular.

El usuario final de la vía lo que aprecia es cuan confortables es la vía para transitar por ella, de allí que el diseñador se debe enfocar en conocer, al menos, los siguientes criterios:

1. Tránsito vehicular.
2. Diseños geométricos.
3. Intersecciones, intercambios y cruces a desnivel.
4. Gestión del riesgo y seguridad vial.

Aunque todos los temas anteriores son importantes para el diseño del producto final (operación de la vía), en lo que respecta al estudio que nos ocupa, se va a tocar el tema de tránsito vehicular con mayor detalle, ya que al no utilizarse la motocicleta en la metodología de cálculo para determinar los valores de flujo en la vía, lo que se pretende es realizar un análisis preliminar que permita indicar si esa falta de inclusión ocasiona conflictos entre los flujos vehiculares, y por tanto, se aconseja la modificación de las fórmulas o metodología empleada para el entorno costarricense.

2.2.1 Tránsito vehicular

Aunque el Manual de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales forma parte del Decreto Ejecutivo N41271-MOPT, debe indicarse que dicho manual hace referencia al documento *Highway Capacity Manual, Special Report 209*, del año 1994 (Leclair, R., 2004, p.63), que se considera obsoleto, pues se han dado tres actualizaciones para el *Highway Capacity Manual* de la *Transportation Research Board* de los Estados Unidos de América, correspondientes a los años 2000, 2010 y 2022 (en adelante HCM-2010). Es por ello que, para el presente trabajo, se utilizará el Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial, 2011 (en adelante el Manual de diseño) igualmente inserto en el Decreto N41271-MOPT, pero que está actualizado con la versión del HCM-2010.

2.2.1.1 Generalidades del cálculo de la capacidad vial

2.2.1.1.1 Capacidad (C):

Es el máximo número de vehículos que pueden circular en un punto dado durante un período específico de tiempo, bajo condiciones prevalecientes de la carretera y el tránsito. Asumiendo que no hay influencia del tránsito más adelante, dentro del punto en análisis (Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2011, pág. 57).

Matemáticamente está determinada por la ecuación (Mojica y Peralta, 2013, p.28):

$$C = q_s \left(\frac{t_v}{c} \right)$$

Ecuación 2-1

donde:

C: capacidad del grupo de carriles i (vehículos/h).

q_s : tasa de flujo de saturación del grupo de carriles i (vehículos/h del tiempo en verde).

t_v : tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles i (segundos verdes).

c : ciclo del semáforo (segundos).

Desde otro enfoque, se puede decir que la capacidad de un sistema vial es al mismo tiempo un estudio cuantitativo como cualitativo, el cual permite evaluar la suficiencia (cuantitativo) y la calidad (cualitativo) del servicio ofrecido por el sistema (oferta) a los usuarios (demanda) (Cal y Mayor y Cárdenas, 2019, pág. 397).

2.2.1.1.2 Composición del tránsito

Siempre con la misma tónica de dejar fuera las motocicletas, el manual de diseño no toma en cuenta estos automotores, por el contrario manifiesta:

El efecto total sobre la operación de tránsito de un camión es equivalente a varios vehículos de pasajeros. El número de vehículos de pasajeros equivalentes depende de la pendiente y en carreteras de dos carriles, de la distancia de visibilidad de adelantamiento disponible. Así, cuanto mayor sea la proporción de camiones en una corriente de tránsito, mayores serán la carga de tránsito y la capacidad requerida (Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2011, pág. 51).

2.2.1.1.3 Demanda (D):

Según lo describen Cal y Mayor y Cárdenas (2019), la demanda se interpreta como el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto durante un tiempo específico, lo que es la medida de del número de vehículos (o personas) que esperan ser servidas (p.181).

2.2.1.1.4 Factor de la hora de máxima demanda (FHMD):

Es la relación entre el volumen horario de máxima demanda $VHMD$, y el volumen máximo $Q_{m\acute{a}x}$, que se presenta durante un periodo dado dentro de dicha hora (Cal y Mayor y Cárdenas, 2019, pág. 192), expresado por la siguiente ecuación:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{m\acute{a}x})}$$

Ecuación 2-2

donde:

$VHMD$: volumen horario de máxima demanda (vehículos/h).

$N(Q_{m\acute{a}x})$: número de periodos durante la hora de máxima demanda.

Indica cómo están distribuidos los flujos máximos dentro de la hora, valores muy bajos a la unidad, indican concentraciones de flujos máximos en periodos cortos durante la hora en estudio (Cal y Mayor y Cárdenas, 2019, pág. 192)

2.2.1.1.5 Flujo (Q):

Se define como la cantidad de vehículos que pasan por un punto en un tiempo determinado y está dado por la ecuación

$$Q = \frac{N}{t}$$

Ecuación 2-3

donde:

N : cantidad de vehículos.

t : tiempo (h).

2.2.1.1.6 Intervalo simple (h_i)

Se conoce como intervalo simple al tiempo que transcurre desde un punto determinado de un vehículo hasta el mismo punto de control del vehículo que lo precede, tomado con respecto a un sistema de referencia, el cual se mide en segundos (s), de acuerdo con la Figura 2-5.

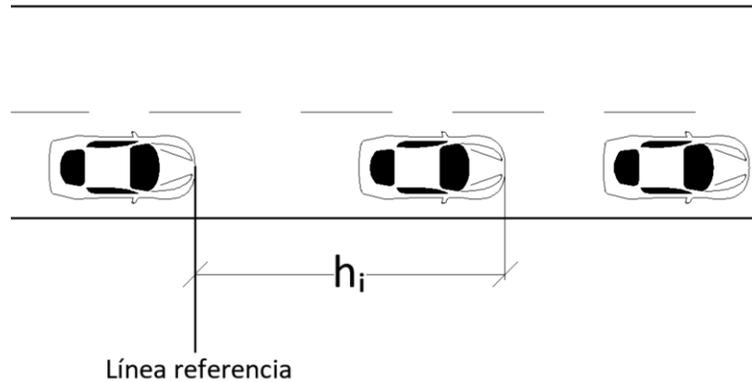


Figura 2-5: Medición del intervalo simple (h_i)

2.2.1.1.7 Tiempo perdido durante el arranque

Según el estudio realizado por Minh y Sano (2005), se puede definir el tiempo perdido debido a las reacciones del conductor y la aceleración del vehículo. El tiempo perdido en el arranque se estima mediante la suma de la diferencia entre el avance observado de cada vehículo y el avance saturado.

$$t_p = \sum_{i=1}^n ao_i - as$$

Ecuación 2-4

donde:

t_p : tiempo perdido en el arranque (s).

ao_i : avance observado de cada vehículo (m).

as : avance saturado (m).

n : cantidad de vehículos observados

1. Flujo saturado (F_s)

Se evalúa utilizando una función de regresión lineal, en la que el tiempo en verde saturado es función de los vehículos que pasan un punto dado durante el ciclo verde de una vía. Está dado por la fórmula (Minh y Sano, 2003, pág. 1214):

$$t_s = a_1n_1 + a_2n_2 + a_3n_3 + a_n n_n$$

Ecuación 2-5

donde:

t_s : flujo saturado (s).

a_1 ; a_2 ; a_3 , a_n : coeficientes para cada tipo de vehículo en la vía.

n_1 ; n_2 ; n_3 ; n_n : número de vehículos por tipo, que pasan por un punto determinado en un tiempo t dado.

2.2.1.1.8 Transito promedio diario (TPD):

Es el número total de vehículos que pasan, durante un periodo de tiempo dado (días completos), igual o menor a un año, y mayor que un día, dividido por el número de días del periodo, de acuerdo con la ecuación (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007, pág. 171):

$$TPD = \frac{N}{1 \text{ día} \leq t \leq 1 \text{ año}}$$

Ecuación 2-6

donde:

N: número total de vehículos

t: periodo (medido en días completos)

TPD: Transito promedio diario

De acuerdo con Cal y Mayor y Cárdenas (2019) dentro de los usos que más se dan a esta medición están:

1. Medir la demanda actual en calles y carreteras.
2. Evaluar los flujos de tránsito actuales con respecto al sistema vial.
3. Definir el sistema arterial de calles.
4. Localizar áreas donde se necesite construir nuevas vialidades o mejorar las existentes.
5. Programar mejor las ciudades. (p.190)

2.2.1.1.8.1 Volumen (V):

Es el número de vehículos o personas que pueden pasar por un punto durante un tiempo específico (Cal y Mayor y Cárdenas, 2007, pág. 169).

Está dado por la expresión:

$$Q = \frac{N}{t}$$

Ecuación 2-7

donde:

Q: vehículos que pasan por un punto (vehículos/h)

N: total de vehículos que pasan por el punto (vehículos)

t: periodo de tiempo de medición (h)

El volumen y el flujo, matemáticamente son sinónimos.

Existe una relación entre el volumen, la capacidad y la demanda, tal y como se ilustra en la Figura 2-6:

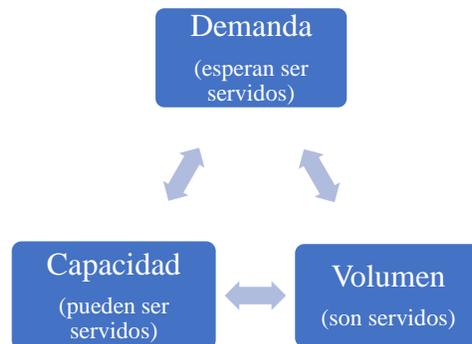


Figura 2-6: Relación: demanda – capacidad- volumen

2.2.2 Diseño geométrico

2.2.2.1 Características

De acuerdo con los criterios establecidos, para el diseño de las vías en Costa Rica, es de acatamiento obligatorio la utilización del Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras². Es por lo que si se revisa la justificación para el diseño de vías, se tiene que:

Se tratan las características de los vehículos, los conductores, y su relación entre sí, que determinan las características del tránsito entre las cuales se destacan, el volumen y la velocidad, la capacidad y el nivel de servicio de las carreteras y más adelante, se tratarán las características de los peatones y el uso de bicicletas” (Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2011, pág. 37).

El diseño de vías, de forma estandarizada toma a los vehículos de cuatro ruedas, como el modelo representativo para realizar el diseño geométrico. En otras palabras, la motocicleta no es considerada como un vehículo que influya ni en la geometría de la vía, ni en la capacidad de esta. De las clases de vehículos que se toman en cuenta, ya que se establece que:

De cada tipo de vehículo que se utiliza en el diseño geométrico, se seleccionan los de mayores dimensiones físicas y de radio de giro mayores, dentro de su clasificación, para adoptar las condiciones más desfavorables, al efecto de alcanzar el objetivo específico de diseñar con estándares altos que proporcionen mayor seguridad vial (Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2011, pág. 37).

² Decreto Ejecutivo N41271-MOPT, debidamente publicado en La Gaceta N218 del 23 de noviembre de 2018.

La clasificación que mayor mente se emplea para dividir el tránsito vehicular se realizar de acuerdo con:

1. Vehículo liviano.
2. Camiones.
3. Bus.
4. Bus Articulado.
5. Cabezal con Semirremolque.

De las cinco clasificaciones antes mencionadas, se podría esperar que la motocicleta estuviera circunscrita en los vehículos livianos, sin embargo si se considera la definición que se da para ellos, podremos observar que incluye los automóviles, automóviles compactos, jeeps, camionetas agrícolas, vehículos deportivos, vans, minivans y pick-ups (Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2011, pág. 37), dejando a la motocicleta en completa oscuridad, ya que no esa parte de las variables contempladas.

En lo que respecta a las bicicletas, por su valor ecológico y de salud para los usuarios, se le ha dado un papel preponderante, tanto así, que existe amplia literatura que habla de diseño de ciclovías, el entorno del ciclista con respecto a los vehículos de cuatro o más ruedas, pero no se ha aplicado la misma técnica y estudio a la motocicleta, sin embargo el estudio de la bicicleta y las ciclo vías, no forman parte del estudio realizado.

Tanto SIECA como *American Association of State Highway and Transportation Officials* (en adelante AASHTO)³, representan las medidas de los 6 vehículos de mayor uso en las carreteras adaptados para Centroamérica, mismos que se ilustran en el Cuadro 2-2, de donde se desprende que para ambas agencias, la motocicleta no califica como vehículo para tomarlo en cuenta en el diseño de vías.

Cuadro 2-2: Dimensiones de los vehículos de diseño

Vehículo de Diseño	Símbolo	Altura	Ancho	Longitud	Voladizo Delantero	Voladizo Trasero	WB1	WB2
Vehículo Liviano	P	1.30	2.10	5.80	0.90	1.50	3.40	
Camión	SU	4.10	2.40	9.20	1.20	1.80	6.10	
Bus	BUS-14	3.70	2.60	12.20	1.80	2.60	7.30	
Bus Articulado	A-BUS	3.40	2.60	18.30	3.10	6.70	5.90	
Cabezal con Semirremolque	WB-15	4.10	2.60	16.80	0.60	4.50	10.80	
Cabezal con Semirremolque	WB-19	4.10	2.60	20.90	0.90	0.60	4.50	10.80
Cabezal con Semirremolque	WB-20	4.10	2.60	22.40	1.20	1.40 - 0.80	6.60	13.20 - 13.80

³ A Policy on Geometric Design of Highways and Streets American Association of State Highways and Transportation Officials, 2004.

Fuente: A (*Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 16, como citado en Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2011, p.38*).

2.2.2.2 Giro de los vehículos

En cuanto a los radios de giro, se establece los siguientes parámetros de diseño:

Cuadro 2-3: Radios mínimos de giro

Vehículo de Diseño	Símbolo	Radio de giro mínimo de diseño (m)	Radio en la línea central RMG (m)	Radio interior mínimo (m)
Vehículo Liviano	P	7.30	6.40	4.40
Camión	SU	12.80	11.60	8.60
Bus	BUS-14	13.70	12.40	7.80
Bus Articulado	A-BUS	12.10	10.80	6.50
Cabezal con Semirremolque	WB-15	13.70	12.50	5.20
Cabezal con Semirremolque	WB-19	13.70	12.50	2.40
Cabezal con Semirremolque	WB-20	13.70	12.50	1.30

Fuente: (*A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 16, como citado en Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2011, p.39*).

Como se puede apreciar, en el Cuadro 2-2 y el Cuadro 2-3, no se encuentra mención de la motocicleta como parámetro de diseño.

2.2.3 Intersecciones, intercambios y cruces a desnivel

Si bien es cierto que la mayor parte de manuales toma en cuenta a las motocicletas para realizar los diseños de las vías, es necesario indicar que las especificaciones mencionan de forma muy somera que en el diseño deberá prestarse la debida atención a las necesidades de los peatones, de los ciclistas y de los motociclistas, que circulan por las carreteras y que por otra parte deberá realizarse todo esfuerzo para minimizar los puntos de conflicto en las carreteras, desde su diseño geométrico. Esto contempla el diseño de rutas separadas para peatones, ciclistas y motociclistas (Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2009, p.40). En cuanto a tener rutas separadas para los motociclistas, es criterio del autor que esto no sea factible en nuestro entorno con las condiciones geométricas de los cascos urbanos, donde tendrían las mayores ventajas, ya que se ha intentado hacer lo mismo para los autobuses y no se ha logrado un avance significativo al respecto.

2.2.4 Gestión del riesgo y seguridad vial

2.2.4.1 Generalidades

Una de las características más importantes en la seguridad vial, radican en el comportamiento de los conductores en la vía, ya que no importa el grado de detalle que se tenga ni las previsiones que se hayan tomado, si este comportamiento no es de acuerdo a los parámetros establecidos, de nada valdrán las suposiciones que se hayan tomado para diseñar la carretera, de allí depende en muchas ocasiones, la

cantidad de accidentes de tránsito que se tiene en las vías. En este sentido el Manual de diseño aborda temas como:

1. Conductores mayores y peatones.
2. La tarea de conducir.
3. La tarea de dirigir.
4. Sistemas de información.
5. Manejo de información.
6. Errores de conducción.
7. Velocidad de diseño

En todos estos temas se plantean asuntos de carácter general a la hora de referirse los conductores durante su viaje a través de la vía, sin embargo, sigue siendo deficiente el tema de las motocicletas, ya que de forma general estas no se apegan a teoría de seguimiento de los vehículos, donde se establece que estos transitan uno detrás del otro, con una distancia de seguridad que les permite reaccionar de acuerdo con las maniobras del vehículo que les antecede. Por el contrario, estos vehículos suelen viajar paralelos a otros vehículos, incluso en el mismo carril, y los adelantamientos se dan bajo otras reglas no establecidas en la literatura usual.

2.2.4.2 Cajas en intersecciones

De la literatura de ciclovías, se puede tomar un concepto que se puede aplicar a las intersecciones semaforizadas con la finalidad de mejorar la seguridad y el flujo vehicular, principalmente cuando se está en la fase del rojo, conocido como bici cajas, que consiste en dejar un área señalizada entre el paso peatonal y la línea de pare, exclusivo para que los vehículos (en nuestro caso las motocicletas) puedan esperar de forma segura y no invadan el área peatonal o se ubiquen fuera del carril correspondiente.

Dentro de los beneficios que tiene del uso de estas estructuras se tiene:

1. Aumento de la visibilidad de los usuarios y mayor sensación de seguridad.
2. Facilidad para maniobrar al inicio del ciclo verde.
3. Beneficio a peatones ya que se evita la invasión de las zonas peatonales.

En la Figura 2-7, expone una propuesta de una caja para motocicletas, sin ahondar en detalles ya que no es parte de este estudio. Cabe destacar que SIECA no tiene un símbolo estandarizado para las motocicletas, por lo que el autor se tomó la libertad de sugerir el utilizado en las normas europeas (con una pequeña modificación), por su simplicidad y falta de detalles innecesarios.

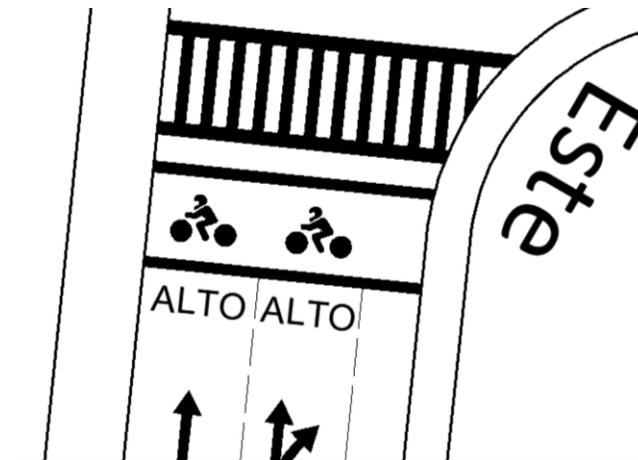


Figura 2-7: Propuesta de caja para motocicletas

Fuente: El autor

Para que este tipo de señalización opere de forma apropiada, se debe acompañar con una restricción de giro hacia la derecha en el ciclo rojo (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2018, p.29).

Por otra parte, se ha recomendado que se construyan las cajas retirando la línea de paro de vehículos motorizados al menos tres (3.00) metros hacia atrás y posicionando una nueva línea de paro para ciclistas y motociclistas en el lugar original, respetando la senda peatonal y abarcando todos los carriles en un mismo sentido (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2019, p.34).

2.3 Estadística inferencial

El diseño de las vías está ligado a conocer cuál es la demanda y la capacidad de la vía, con la finalidad de poder proyectar una estructura que sea funcional desde el punto de vista de servicio como económico. Para ello es necesario realizar conteras vehiculares y dada la cantidad de datos que se obtiene, analizarlos por medio de herramientas estadísticas. En el caso de que los tamaños muestrales sean superiores a 30 se utilizará el estadístico Z , y en caso de ser menores o iguales a 30, el estadístico T (Sanabria, 2021, p.230).

El análisis por medio de diagramas de cajas y la comparación el planteamiento de hipótesis estadísticas comparando los promedios de dos poblaciones, son procedimientos útiles para i) discriminar datos que no sean representativos ii) determinar si dos poblaciones diferentes tienen el mismo promedio.

2.3.1 Diagrama de caja

La metodología consiste en una representación gráfica de los valores estadísticos de una serie de datos estudiados. Se construye calculando los valores mostrados en la Figura 2-8, utilizando valores inter cuartiles y el promedio y para los valores máximos y mínimos, se establece un rango aceptable por parte del examinador que regularmente es $1.5 \cdot RIC$, pero que puede variar a criterio del investigador.

Suministra información sobre la ubicación de los valores máximos y mínimos, de los cuartiles y el espacio donde se concentra el 50% central de los datos y la simetría

de la distribución (Gómez, 2018, p.415), también pretende identificar valores que no necesariamente pertenezcan al conjunto de datos.

El gráfico de caja se construye de acuerdo con lo mostrado en el Cuadro 2-4.

Cuadro 2-4: Cálculo de valores del diagrama caja

Valor	Descripción
Q_m	Cuartil 25%
Q_{ue}	Cuartil 50% o mediana
Q_M	Cuartil 75%
RIC	$(Q_M - Q_m)$
\bar{X}	Promedio
V_m	$Q_m - (1.5 * RIC)$
V_M	$Q_M + (1.5 * RIC)$
*	Valores atípicos. Se puede considerar que no forma parte del conjunto de datos, a criterio del investigador

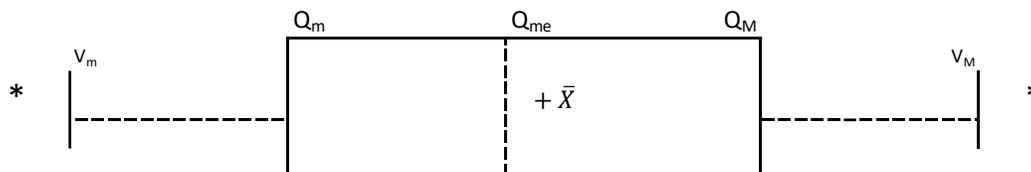


Figura 2-8: Diagrama de caja

Fuente: (Gómez, 2018, p.415), modificada por el autor.

2.3.2 Prueba de hipótesis

En el estudio en concreto, se tratará el caso de comparación de dos promedios poblacionales cuando las variancias se estiman desconocidas y a las muestras son pequeñas.

De acuerdo con Sanabria (2021), la prueba de hipótesis tendrá la forma (p.229):

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = d_0$$

Ecuación 2-8

Se deber tomar en cuenta el tamaño de la muestra, ya que se considera grande o aceptable si los elementos son superiores o iguales a 30, con lo cual se analizar la hipótesis utilizando una distribución normal y cuando es pequeñas, con un número de elementos menor a 30, por lo que la hipótesis se analiza aplicando una distribución *t de Student*.

2.3.2.1 Caso 1, elementos mayores o iguales a 30

En estos casos se aplica la distribución normal, de acuerdo con Sanabria (2021) el estadístico Z estará dado por (p.230):

$$Z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_1 - d_0}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Ecuación 2-9

donde:

Z: estadístico normal estándar.

\bar{X}_1 : media muestral, población 1.

\bar{X}_2 : media muestral, población 2.

d_0 : diferencia nula.

s_1 : varianza muestral, población 1.

s_2 : varianza muestral, población 2.

n_1 : tamaño muestra, población 1.

n_2 : tamaño muestra, población 2.

2.3.2.2 Caso 2, elementos menores o iguales a 30

Tomando como válida la Ecuación 2-8 y de acuerdo con Sanabria (2021), se tendrán las siguientes premisas como demostradas y válidas:

1. Si las variables X_1 y X_2 , siguen una distribución normal y se desconocen las desviaciones poblacionales σ_1 y σ_2 , pero no se suponen iguales, entonces:

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - d_0}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Ecuación 2-10

donde:

T: estadístico *t* de Student.

\bar{X}_1 : media muestral, población 1.

\bar{X}_2 : media muestral, población 2.

d_0 : diferencia nula.

s_1 : varianza muestral, población 1.

s_2 : varianza muestral, población 2.

n_1 : tamaño muestra, población 1.

n_2 : tamaño muestra, población 2.

2. Para una distribución *t* de Student con ν grados de libertad se tiene:

$$\nu = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}}$$

Ecuación 2-11

donde:

ν : grados de libertad.

s_1 : varianza muestral, población 1.

s_2 : varianza muestral, población 2.

n_1 : tamaño muestra, población 1.

n_2 : tamaño muestra, población 2 (p.231)

2.3.2.3 Caso 3, aplicación para intersecciones

En el caso de las intersecciones, cuando se asume que $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$, se tiene que:

$$v = n_1 + n_2 - 2$$

Ecuación 2-12

donde:

v : grados de libertad.

n_1 : tamaño muestra, población 1.

n_2 : tamaño muestra, población 2.

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_1 - d_0}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Ecuación 2-13

donde:

T: estadístico *t* de *Student*.

\bar{X}_1 : media muestral, población 1.

\bar{X}_2 : media muestral, población 2.

d_0 : diferencia nula.

s_1 : varianza muestral, población 1.

s_2 : varianza muestral, población 2.

n_1 : tamaño muestra, población 1.

n_2 : tamaño muestra, población 2.

Capítulo 3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

Dado que la motocicleta no forma parte de los insumos para realizar los diseños de las vías, ya sea desde los puntos de vista geométricos, estructurales o de seguridad, se pretende llevar a cabo un análisis operacional de dos intersecciones, con la finalidad de establecer si las motocicletas provocan algún tipo de modificación o trastorno en el flujo vehicular y de no ser así, eventualmente en otras investigaciones que se planteen, revisar si es necesario un cambio en la metodología. Se realizará la toma de datos por medio de videos, de los cuales tomará la información de tipo de vehículo por carril de origen y destino, para comparar, con lo cual se pretende calcular la capacidad de la intersección y verificar si tomando en cuenta las motocicletas o no, hay cambios significativos en los cálculos, con lo que se pretende verificar si dichos cambios sugieren un cambio en la metodología de diseño de las intersecciones. Ya que no existen investigaciones que se hayan realizado en Costa Rica tomando en cuenta las motocicletas dentro del flujo vehicular, se realizará un trabajo exploratorio para comenzar a determinar los pasos que se deben seguir a futuro para tomar en cuenta el creciente aumento de este tipo de transporte, principalmente en los cascos urbanos, ya que es en estos lugares, donde se concentra el mayor número de unidades, por su versatilidad de manejo en sitios de alta congestión vehicular.

3.2 Fuentes de información

3.2.1 Selección de las intersecciones a estudiar

Se escogieron dos intersecciones del cantón central de San José tomando en cuenta las siguientes premisas:

1. No se realizó un análisis estadístico del total de intersecciones del cantón central de San José, ya que lo que se pretende es tener datos certeros en cuanto si las motocicletas afectan o no el flujo vehicular. Una vez publicadas las conclusiones y recomendaciones, futuros investigadores podrán determinar la necesidad de llevar estos datos a números que sean aplicables para una muestra estadística de las intersecciones de un área determinada.
2. Se tomó a criterio del investigador, una intersección que presentara un bajo volumen de motocicletas (intersección RN3 – RN108) y otra con bajo tránsito (Av8 – Tr25)., con la finalidad de determinar si existe diferencia entre los datos de una y otra, o el comportamiento es similar.
3. Las intersecciones deberán contar un área de influencia diferente entre ellas, para asegurar que los datos sean consistentes.

3.2.2 Localización geográfica de las intersecciones

Para determinar las intersecciones, no se utilizó ningún sistema estadístico, por lo que es estudio no pretende inferir datos para las intersecciones que forman parte del cantón central de San José, por el contrario, lo que se pretende es tener una idea aproximada del comportamiento de las motocicletas en el flujo vehicular,

determinando si para dos intersecciones, hay variación en la capacidad vial de estas.

Se escogió la intersección de la ruta nacional N3 con la ruta nacional N108 (Figura 3-1), conocida popularmente como la intersección de la Pozuelo (en adelante RN3 – RN108 (Pozuelo)), perteneciente al distrito de Uruca.

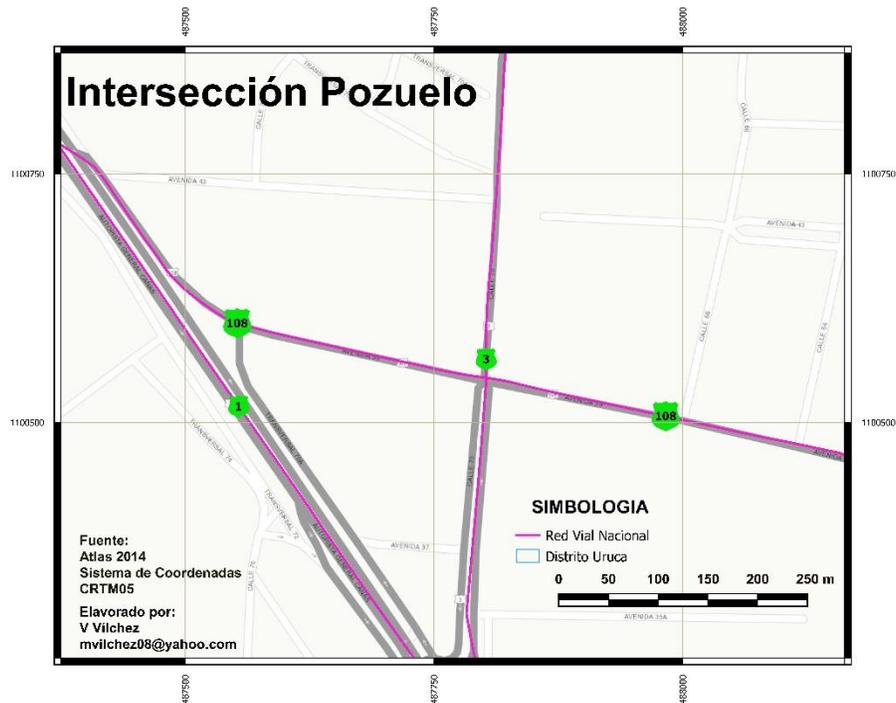


Figura 3-1: Localización intersección RN3 – RN108 (La Pozuelo)

Por otra parte, se utilizará la intersección de la avenida 8 con la transversal 25 (Figura 3-2), perteneciente al distrito de Catedral, que se ubica en el Barrio F. Peralta, específicamente diagonal a la iglesia católica de la localidad (en adelante Av8 – Tr25 (F. Peralta)).



Figura 3-2: Localización intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)

3.2.3 Características físicas de la(s) intersección(es).

3.2.3.1 Intersección Pozuelo

El primer estudio se llevará a cabo en la intersección de la ruta nacional N3 con la ruta nacional N108, ubicada en el distrito de Uruca, para la que se determinaron las principales características geométricas que se observan en la Figura 3-3.

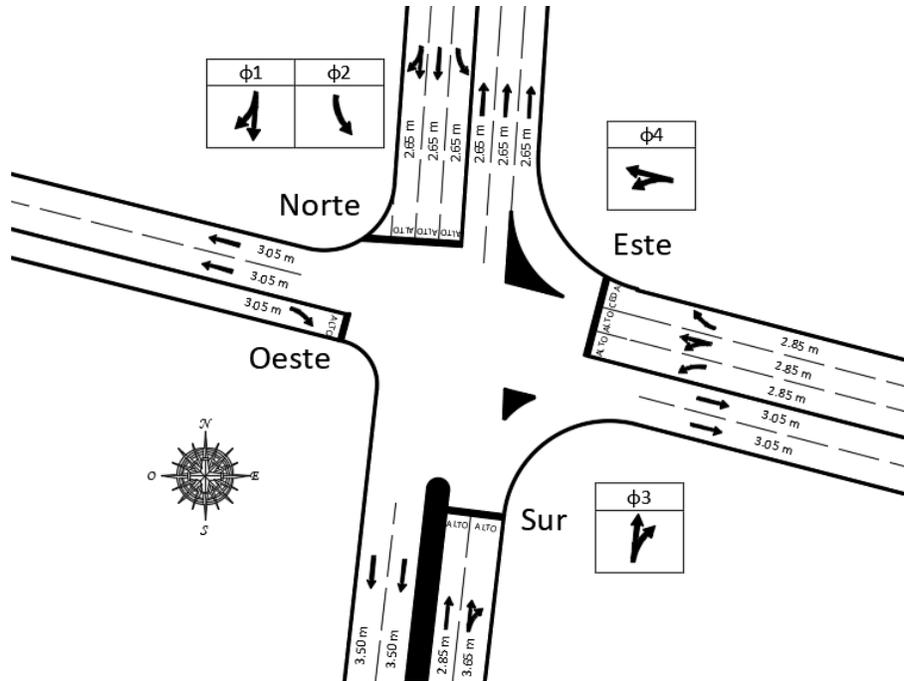


Figura 3-3: Características geométricas de la intersección RN3 – RN108 (Pozuelo)

Se comprobaron las fases para los semáforos, las cuales se resumen en el Cuadro 3-1, de las cuales se debe tener en cuenta circunstancias especiales que se enumeran:

1. Durante la fase roja ϕ_3 , se permite que los vehículos, principalmente automóviles livianos y motocicletas, realicen un giro a la derecha.
2. El acceso oeste no cuenta con semáforo, solamente una señal de alto, por lo que los vehículos deben determinar el momento oportuno para realizar el giro a la derecha, único que está permitido.

Cuadro 3-1: Fases de semáforos, intersección RN3 – RN108 (La Pozuelo)

Fase (ϕ_i)	Acceso	Ciclo (s)	Verde (s)	Amarillo (s)	Rojo (s)
1	Norte (NS)	120	90	3	27
2	Norte (NE)	120	30	3	87
3	Sur (SN; SE)	120	56	3	61
4	Este (EO; ES)	120	21	3	96
N/A	Oeste (O)	Señal de Alto (al existir un espacio, el conductor gira hacia la derecha)			

3.2.3.1 Intersección F. Peralta

De la segunda intersección correspondiente a la de la Av8 - Tr25, ubicada en el distrito de Catedral, se determinaron las características físicas que se muestran en la Figura 3-4.

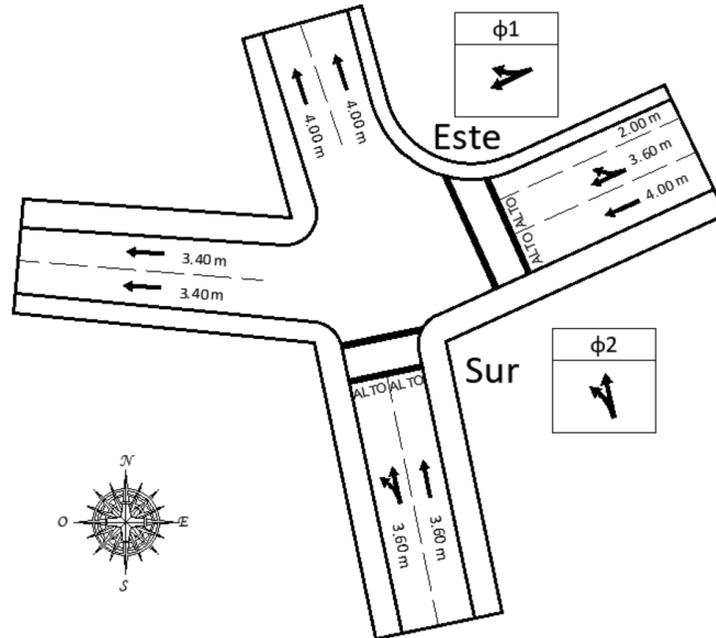


Figura 3-4: Características geométricas de la intersección Av8 – Tr25

Se comprobaron las fases para los semáforos, mismas que se resumen en el Cuadro 3-2, de las cuales, se debe tener en cuenta circunstancias especiales que se enumeran:

1. En el acceso este, existe un carril exclusivo para bicicletas y una caja para dar prioridad de estacionamiento a estos vehículos mientras se está en la fase roja.
2. Aunque la intersección está a nivel, el acceso oeste tiene una pendiente de (5.0%)

Cuadro 3-2: Fases de lo semáforo, intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)

Fase (ϕ_i)	Acceso	Ciclo (s)	Verde (s)	Amarillo (s)	Rojo (s)
1	Sur (SN; SO)	80	30	3	47
2	Este (EO; EN)	80	40	3	37

3.3 Movimientos vehiculares de las intersecciones

Para la determinación de los movimientos vehiculares en la intersección RN3 – RN108 (La Pozuelo), se utilizará la ubicación de dos cámaras de video en puntos estratégicos, de acuerdo a lo mostrado en la Figura 3-5 y la Figura 3-6, realizando conteos manuales al observar los videos del flujo vehicular en cámara lenta.

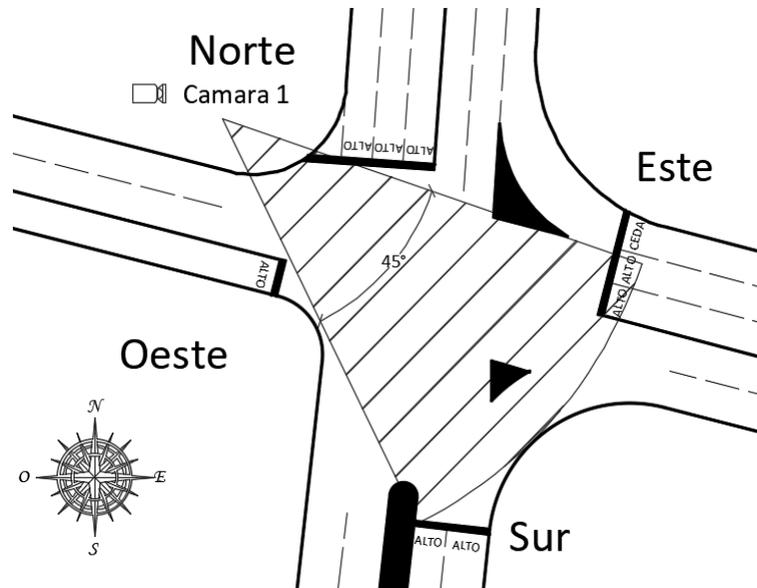


Figura 3-5: Ubicación de cámara 1, intersección RN3 – RN108 (La Pozuelo)

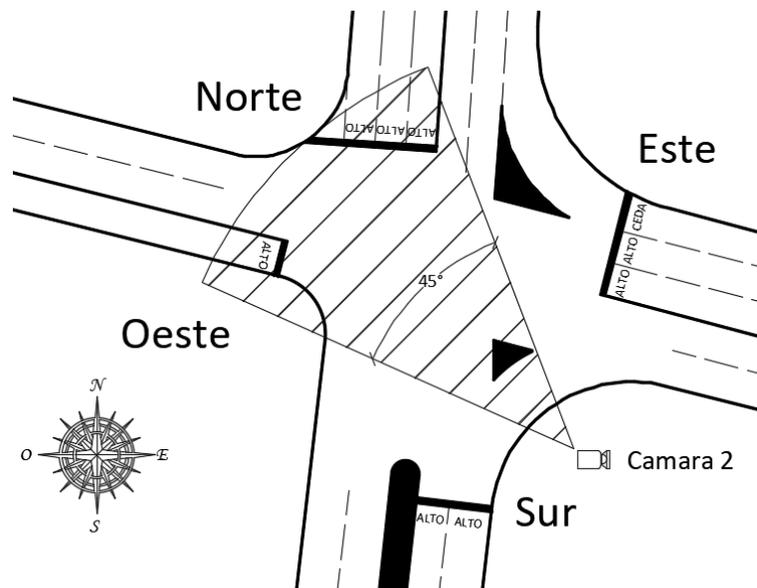


Figura 3-6: Ubicación de cámara 2, intersección RN3 – RN108 (La Pozuelo)

En lo que respecta a la intersección Av8-Tr25 (F. Peralta), se propone la ubicación de las cámaras según se muestra en la Figura 3-7 y en la Figura 3-8, realizando conteos manuales al observar los videos del flujo vehicular en cámara lenta.

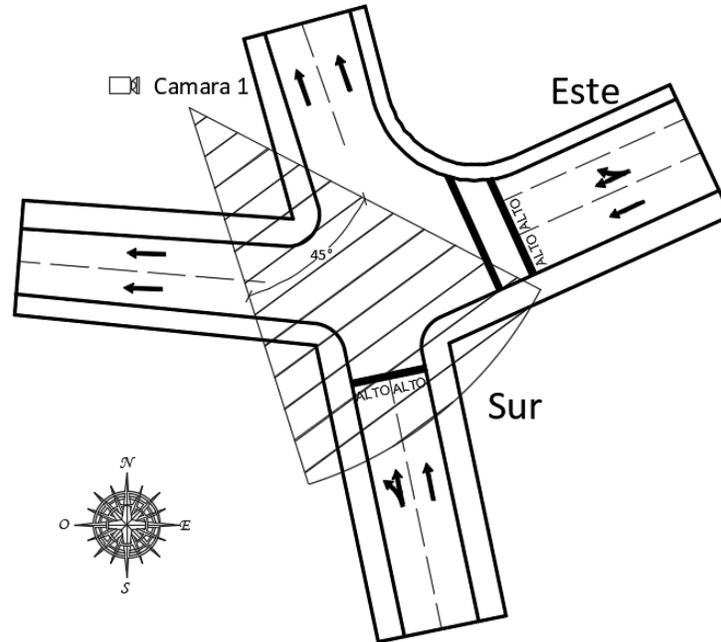


Figura 3-7: Ubicación de cámara 1, intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)

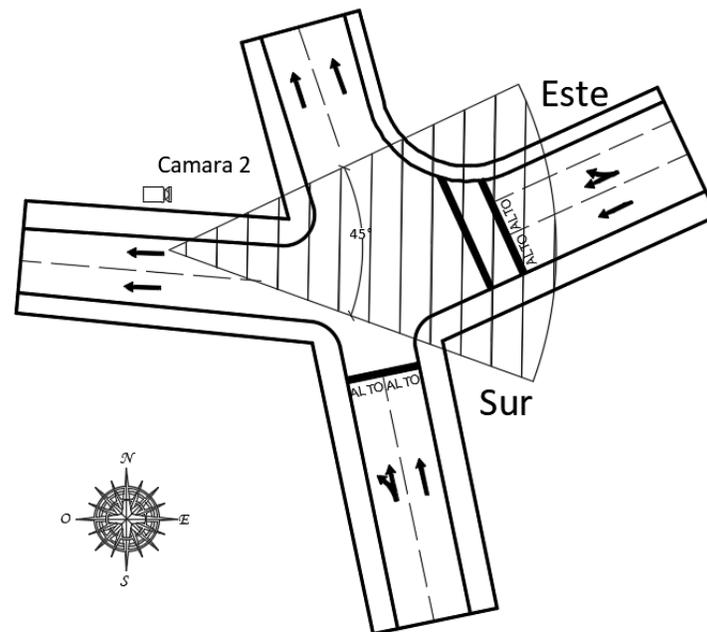


Figura 3-8: Ubicación de cámara 2, intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)

Dada las limitantes de equipo, al solo contar con dos cámaras de vídeo ubicadas a una altura aproximada de 3.00 sobre el terreno, se puede tener el inconveniente de no poder determinar movimientos de vehículos que se encuentren fuera de punto de visión de las cámaras, mismo que se determinó en 107°.

3.4 Técnicas e instrumentos de investigación

3.4.1 Utilización de cámaras de video

Para la determinación de flujos se utilizaron cámaras de video ubicadas en puntos estratégicos, como se indicó en la subsección 3.3, para posterior análisis de los flujos de vehículos en la intersección, identificando las direcciones de entrada y salida, y calculando el número de vehículos que atraviesan en cada dirección. Es importante tener en cuenta los movimientos específicos de las motocicletas, como giros a la derecha o adelantamientos sobre la línea de alto, ya que pueden afectar la capacidad vial de forma significativa.

Para determinar los flujos de los vehículos, se implementó el formulario de toma de datos utilizado por el Departamento ingeniería de tránsito del Consejo de Seguridad Vial modificado, para establecer de igual forma, el número de motocicletas que utilizan la intersección.

3.4.2 Recolección de datos en formatos preestablecidos

3.4.2.1 Toma de datos

Para la toma de datos, se procedió de la siguiente manera:

1. Se escogieron horas en las que las intersecciones se encontraran con la mayor cantidad de vehículos de travesía, pero sin llegar a la saturación o embotellamiento.
2. Se ubicaron cámaras de video para gravar los movimientos vehiculares de acuerdo a los mostrados en la subsección 3.3. Una limitante que se encontró, fue que las cámaras se ubicaron a una altura aproximada de 3.00 y en algunos momentos, los vehículos grandes o autobuses impedían visualizar los movimientos de otros vehículos. Este efecto se minimizó observando la cámara que se situó en el ángulo opuesto.

3.4.2.2 Procesamiento de datos

El procesamiento de los datos se realizó tomando en cuenta los siguientes criterios:

1. Se dividió el tiempo total del video en ciclos del semáforo, numerándoles de forma continua.
2. Cada ciclo de semáforo se subdividió en fases de ciclo para determinar los movimientos vehiculares.
3. Para el primer caso de estudio, solo se tomaron en cuenta los vehículos livianos, eliminando el resto de automotores y hasta un máximo de seis (6) vehículos consecutivos, de acuerdo a la numeración de la columna *id* del formato de medición.
4. Para el segundo caso de estudio, solo se tomaron en cuenta los vehículos livianos y las motocicletas, eliminando el resto de automotores y hasta un máximo de seis (6) vehículos consecutivos, de acuerdo a la numeración de la columna *id* del formato de medición.
5. Se utilizó la técnica de determinación de defensa delantera por un punto determinado, para establecer el intervalo simple, en el cual el vehículo pasaba

por el punto de control, diferenciando el carril y tipo de vehículo de acuerdo con el Cuadro 3-3.

Cuadro 3-3: Tipos y características de vehículos utilizados en los conteos

<i>Tipo de vehículo</i>	<i>Características</i>
Motocicleta	Se incluyen las motocicletas y las bicicletas en el contero
Vehículo liviano	Corresponde a todos los vehículos particulares incluyendo los de carga con un solo eje trasero
Vehículo pesado	Caracterizados por todos los vehículos mayores a 5.0 t o con más de un eje trasero.
Autobuses	Vehículos de pasajeros con capacidad mayor a 7 personas.

6. En el Anexo 8-A muestra un ejemplo del procesamiento de los datos, por medio de los conteos realizados durante la observación de los videos en cámara lenta.

Para el análisis de la capacidad vial, se aplicarán los métodos establecidos en el HCM-2000⁴ para la intersección RN3 – RN108 (La Pozuelo), cuyos procedimientos y fórmulas determinadas, permiten el cálculo de la capacidad de una intersección tomando en cuenta factores como la geometría, pendiente, tiempos de espera y la velocidad de operación entre otros. Primeramente, se hará el análisis sin tomar en cuenta las motocicletas, tal y como se ha venido haciendo en el país hasta la fecha y luego se aplicará la misma metodología, pero esta vez, sumando el impacto que provocan los vehículos de dos ruedas, para hacer una comparación que permita determinar, si la utilización de este medio de transporte afecta de forma positiva o negativa el flujo vehicular y la capacidad de la intersección estudiada.

Los procedimientos anteriores se replicarán para la intersección RN3 – RN108 (Pozuelo) y Av8 – Tr25 (F. Peralta), que luego se compararán entre ellos, para cuantificar el impacto en dos intersecciones con diferentes características y usos dentro del cantón central de San José.

3.4.2.2.1 Proceso de datos de la intersección RN3 – RN108 (Pozuelo)

La nomenclatura para los carriles estudiados de acuerdo con los movimientos de las fases de los semáforos para la intersección RN3 – RN108 (Pozuelo), se muestran en la Figura 3-9.

⁴ Transportation Research Board. (2000). Highway capacity manual 2000. TRB, de los Estados Unidos de América.

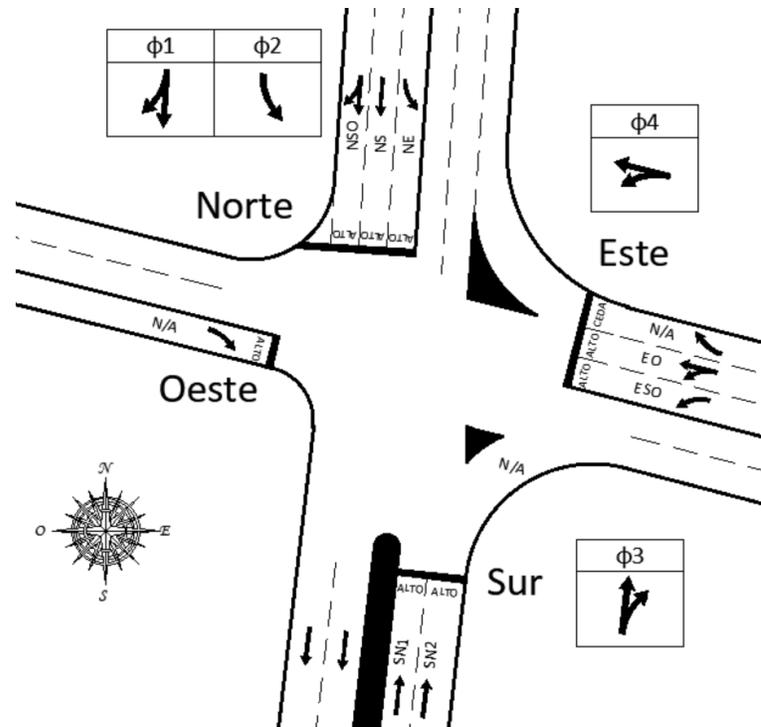


Figura 3-9: Nomenclatura carriles intersección RN3 – RN108 (Pozuelo)

Los carriles descritos con *N/A* que i) no cuentan con un ciclo del semáforo que regule sus movimientos o ii) aunque tengan un ciclo de semáforo que los regula, se permite un giro a la derecha durante la fase roja; por lo que las condiciones con el resto de carriles estudiados tienen comportamientos diferentes y formas de estudio de igual manera diferente. Los movimientos de tales carriles no fueron incluidos en el estudio de los datos, aunque si se tomaron los tiempos de los movimientos, que están incluidos en los apéndices.

Para cada matriz de los carriles descritos, se procesan dos matrices, a) una tomando en cuenta solamente los vehículos livianos y b) la otra que toma en cuenta los vehículos con la influencia de las motocicletas en el flujo, el resto de vehículos se dejó fuera de las matrices correspondientes.

Utilizando la técnica de los diagramas de cajas, se logró determinar qué datos no pertenecían a la matriz de datos, para luego calcular los valores estadísticos y aplicar la hipótesis estadística de comparación de promedios con la finalidad de estudiar si hay una influencia de las motocicletas en los flujos vehiculares de la intersección.

3.4.2.2.2 Proceso de datos de la intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)

De manera completamente análoga descrita en la subsección anterior, se procedió con la intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta), utilizando la nomenclatura para los carriles estudiados de acuerdo con los movimientos de las fases de los semáforos según se muestra en la Figura 3-10.

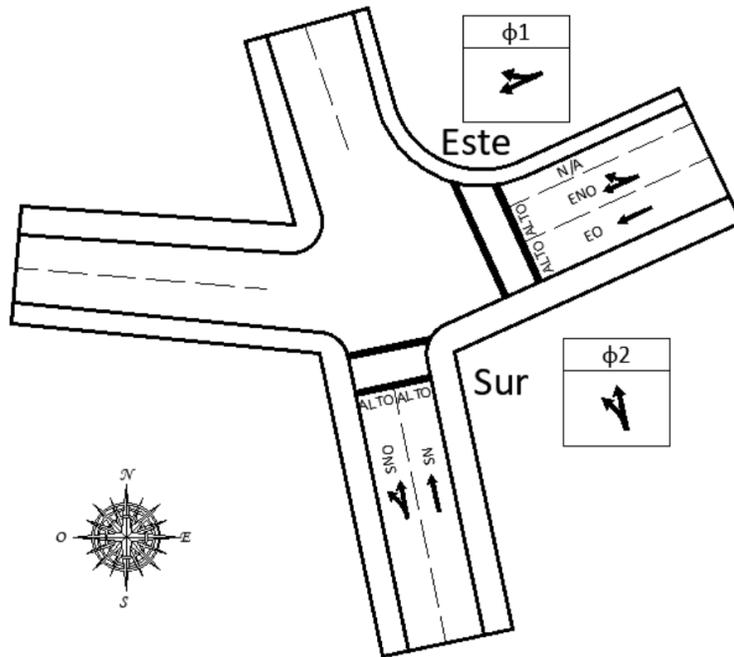


Figura 3-10: Nomenclatura carriles intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)

3.5 Intervalos de seguimiento y flujos de saturación

La finalidad de la investigación es calcular los intervalos de seguimiento tal y como se establece en el aparte 2.2.1.1.6 Intervalo simple (h_i) y con ello determinar el flujo de saturación, para intervalos con presencia de motocicletas y sin presencia de estas para luego compararlos estadísticamente por medio de la distribución t de *student*. Con esto se pretende determinar si existe y de que magnitud es la diferencia entre los flujos de saturación de una intersección debido a la presencia de las motocicletas tomando en cuenta lo indicado en el la subsección 2.3.

Capítulo 4. RESULTADOS

4.1 Generalidades

El estudio se llevó a cabo en dos intersecciones del cantón central de la provincia de San José, Costa Rica, por medio de un estudio exploratorio, por lo cual los datos no son concluyentes para una muestra estadísticamente determinada, por el contrario, se escogieron las intersecciones de acuerdo a criterios subjetivos del autor, con el objetivo de cuantificar el impacto que provocan las motocicletas en la capacidad vial de una intersección regulada por semáforos en el cantón central de San José.

Los datos obtenidos se presentarán de acuerdo a su origen – destino, o sea se toma el sentido de flujo del origen y se observa el de destino, además subdividiéndolos en dos subgrupos, a) flujo de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros tipos de automotores y b) flujo de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros tipos de automotores.

Para cada serie de datos, los espacios vacíos corresponden a datos que se eliminaron, ya sea porque se toman como datos que no forman parte de la serie, discriminados por medio del diagrama de cajo o bien, porque exceden la cantidad de seis movimientos consecutivos entre vehículos.

4.2 Intersección RN3 – RN108 (Pozuelo)

4.2.1 Carril norte – este (NE)

4.2.1.1 Vehículos livianos

Cuadro 4-1: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12
1	2.276	2.149	1.953	1.783	2.705		2.631	2.020	1.712	1.875		2.056
2	2.400	1.669	1.483	2.017			2.900	2.249	1.955		1.539	1.964
3	1.484		2.427	1.878	1.735		1.458		1.861	2.260	1.728	2.061
4		1.982	2.871		1.928	2.193	1.840		1.488	2.381		1.786
5	2.558	1.776	2.341	2.412	2.177	1.383	2.021	1.473	1.859			
6		2.406	1.818	1.577	2.926	2.501	1.935	1.369	1.686	1.510		1.445
7	1.555	1.496	2.143	1.658	1.617	1.699	1.291	1.750	2.358	1.891	1.934	2.307
8	1.938	1.391		1.229	2.746	2.331	2.111		1.939		2.022	
9	2.303		1.711		2.017	2.933		2.459	2.342	1.799	2.017	
10	1.969		1.656	1.737	2.457	2.830	2.162	2.034	1.450	2.267	1.972	1.669
11	2.019		2.046	1.428	1.749			1.495	2.167	2.404	1.977	2.354
12	2.097		2.320	1.866	1.583			1.737		2.035	2.210	
13	1.798		2.231	1.799				2.326	2.973	1.500	1.812	
14			1.823	1.187	1.671	1.855	2.254		1.950	2.045	1.445	
15			1.750	1.402	1.496	1.427	2.152		2.265	1.749	2.686	
16	2.641		2.067	1.264	1.998	1.180	1.189		2.144	1.951		
17	2.007				1.711	1.828			2.019	1.897		
18	2.176		1.694						2.415	1.285		
19			2.124						1.102			
20			2.017									
21			1.336						1.960			

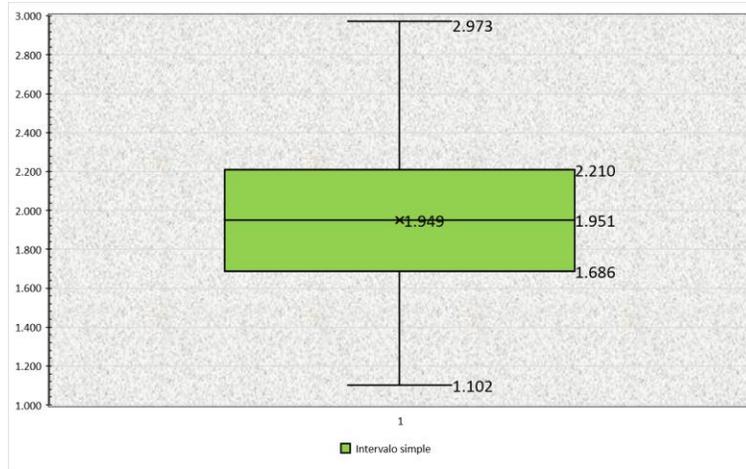


Figura 4-1: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-1

Cuadro 4-2: Datos estadísticos, Cuadro 4-1

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	2.973
Bigote máximo	2.973
Percentil ₇₅	2.210
Promedio	1.949
Percentil ₅₀	1.951
Percentil ₂₅	1.690
Bigote mínimo	1.102
Mínimo	1.102
n ₁	155
Varianza (s ₁ ²)	0.162
Desviación estándar (s ₁)	0.403

Cuadro 4-3: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-1

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _x	1,847

4.2.1.2 Efecto de la motocicleta

Cuadro 4-4: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12
1	2.276		1.953		1.671	2.193	2.631	2.020	1.712	1.875	1.934	2.056
2	2.400		1.483	1.783	1.496	1.383	2.900	2.249	1.955		2.022	1.964
3	1.484		2.427	2.017	1.998		1.458		1.861		2.017	2.061
4			2.871	1.878	1.711		1.840		1.488		1.972	1.786
5			2.341				2.021	1.473	1.859	2.260	1.977	
6	2.558		1.818				1.935	1.369	1.686	2.381	2.210	
7				2.412								1.445
8	1.555			1.577						1.510		2.307
9	1.938			1.658						1.891		
10	2.303			1.229						2.672		
11	1.969						2.162					1.669

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12
12	2.019			1.737		1.855						2.354
13						1.427						
14						1.180						
15						1.828						
16												
17												
18												
19							2.254					
20	2.641						2.152					
21	2.007						1.189					
22	2.176											

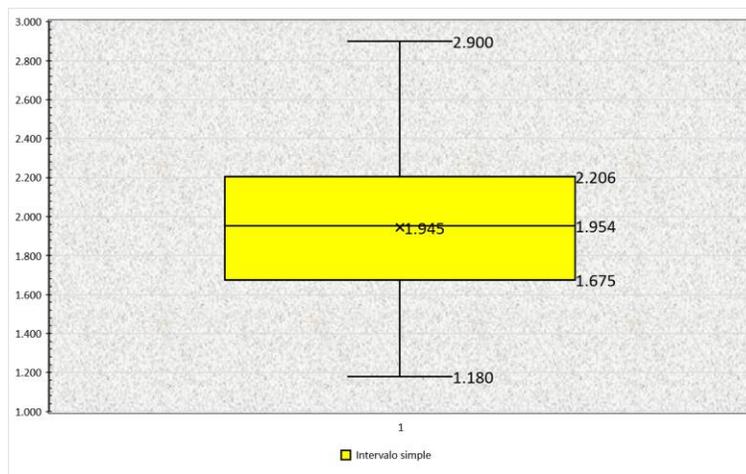


Figura 4-2: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-4

Cuadro 4-5: Datos estadísticos, Cuadro 4-4

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	2.900
Bigote máximo	2.900
Percentil ₇₅	2.206
Promedio	1.945
Percentil ₅₀	1.954
Percentil ₂₅	1.682
Bigote mínimo	1.180
Mínimo	1.180
n_2	76
Varianza (s_2^2)	0.147
Desviación estándar (s_2)	0.383

Cuadro 4-6: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-4

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad \bar{x}	1,851

4.2.1.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron las fórmulas del caso 3, de acuerdo con la subsección 2.3.2.3.

Cuadro 4-7: Prueba hipótesis carril NE

Prueba de hipótesis	
$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$	
$H_1: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$	
n_1	155
\bar{X}_1	1.949
Varianza (s_1^2)	0.162
n_2	76
\bar{X}_2	1.945
Varianza (s_2^2)	0.147
α	0.05
v	229.000
$-t_{\alpha/2}$	(1.970)
$t_{\alpha/2}$	1.970
t_0	0.076
p	0.939

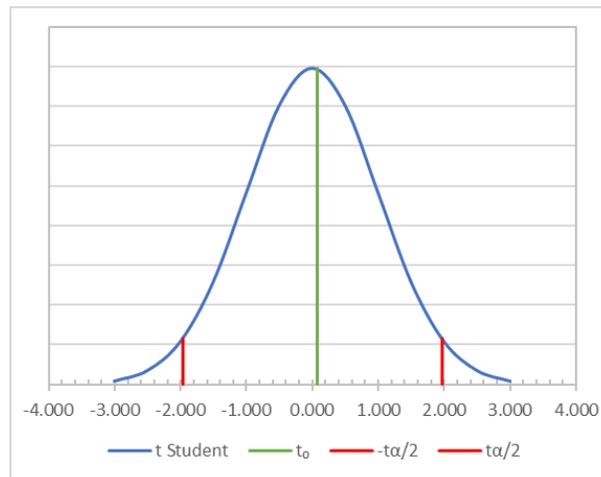


Figura 4-3: Prueba hipótesis carril NE

La diferencia entre \bar{X}_1 y \bar{X}_2 no es significativa al nivel de confianza de 95% para el carril NE.

4.2.2 Carril norte – sur (NS)

4.2.2.1 Vehículos livianos

Cuadro 4-8: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11
1	5.435	2.436	7.451	5.182	3.895	4.031	3.830	5.812	4.709		4.315
2	3.228		3.724	6.297		3.050	4.318	8.126	2.699	6.103	
3		4.903	3.042	4.448	3.985	4.279			5.178	8.303	
4		1.536	2.078	3.650		5.783		6.915	2.942		3.751
5	1.903		3.302		6.110	8.123			2.568		3.728
6	3.412	2.062	4.264			4.073			4.412		3.585

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11
7		6.426	2.737		4.142				1.716	2.504	2.996
8	4.784		3.190	3.331	3.921						2.338
9			2.398	3.490					3.897		4.195
10		2.804	3.186	4.474					2.358		3.485
11	5.356	5.730	5.519						5.672		
12		4.378							1.520		
13	7.627	2.581							2.355		
14	8.815	5.457							2.012		
15	2.535	5.610							5.181		
16	1.936	2.362									
17											
18											
19		2.456							3.269		
20		2.041							5.037		
21		1.665									
22		2.637									
23		3.842									
24		6.914									

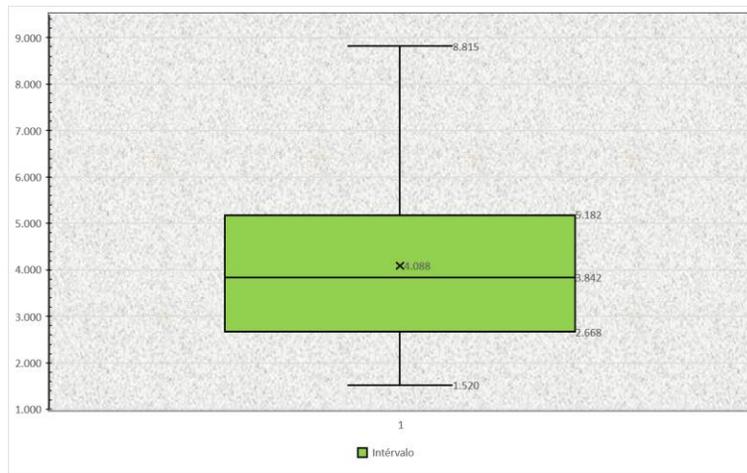


Figura 4-4: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-8

Cuadro 4-9: Datos estadísticos, Cuadro 4-8

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	8.815
Bigote máximo	8.815
Percentil ₇₅	5.182
Promedio	4.088
Percentil ₅₀	3.842
Percentil ₂₅	2.699
Bigote mínimo	1.520
Mínimo	1.520
n_1	89
Varianza (s_1^2)	2.926
Desviación estándar (s_1)	1.711

Cuadro 4-10: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-8

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _x	881

4.2.2.2 Efecto de la motocicleta

Cuadro 4-11: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11
1	1.903	2.436		3.331	3.985	4.031	3.830	6.915	3.897		
2	3.412			3.490		3.050	4.318		2.358	6.103	3.751
3				4.474	6.110	4.279			5.672	8.303	3.728
4		4.903				5.783			1.520		3.585
5	4.784	1.536				8.123			2.355		2.996
6					4.142	4.073			2.012		2.338
7					3.921						
8		2.062									
9		6.426									
10											
11											
12									3.269		
13		5.730							5.037		

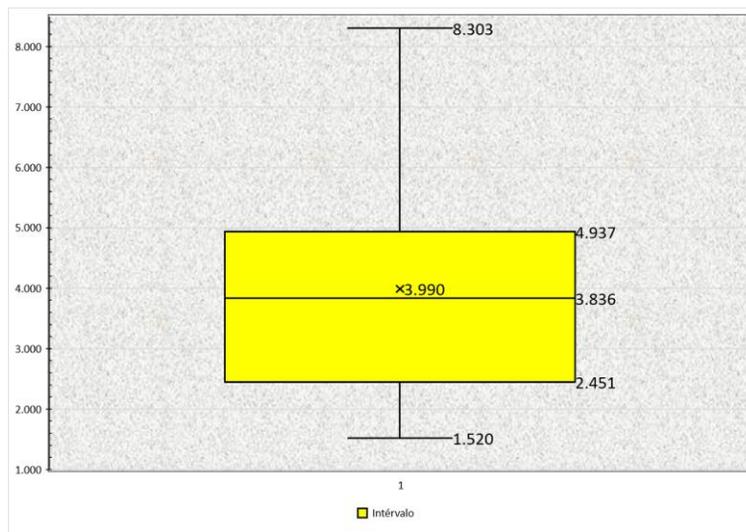


Figura 4-5: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-11

Cuadro 4-12: Datos estadísticos, Cuadro 4-11

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	8.303
Bigote máximo	8.303
Percentil ₇₅	4.937
Promedio	3.990
Percentil ₅₀	3.836
Percentil ₂₅	2.501
Bigote mínimo	1.520
Mínimo	1.520
n_2	46
Varianza (s_2^2)	2.922
Desviación estándar (s_2)	1.710

Cuadro 4-13: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-11

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _x	902

4.2.2.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron las fórmulas del caso 3, de acuerdo con la subsección 2.3.2.3.

Cuadro 4-14: Prueba hipótesis carril NS

Prueba de hipótesis	
$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$	
$H_1: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$	
n_1	89
\bar{X}_1	4.088
Varianza (s_1^2)	2.926
n_2	46
\bar{X}_2	3.990
Varianza (s_2^2)	2.922
α	0.05
v	133.000
$-t_{\alpha/2}$	(1.978)
$t_{\alpha/2}$	1.978
t_0	0.317
p	0.751

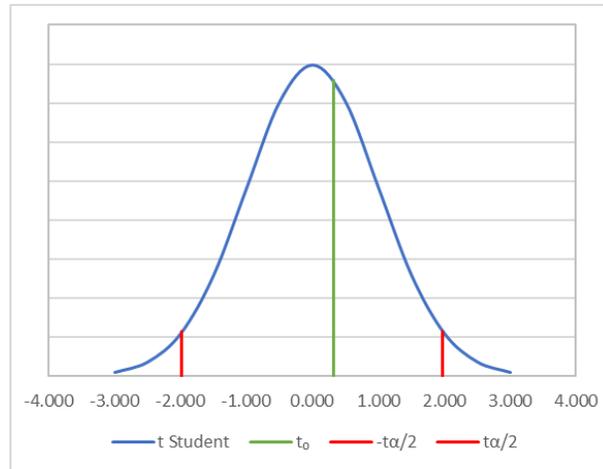


Figura 4-6: Prueba hipótesis carril NS

La diferencia entre \bar{x}_1 y \bar{x}_2 no es significativa al nivel de confianza de 95% para el carril NS.

4.2.3 Carril norte – sur – oeste (NSO)

4.2.3.1 Vehículos livianos

Cuadro 4-15: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12
1	3.528	1.336	4.740	2.547	5.882	3.546	7.255	3.799	5.308	4.735	2.88	2.461
2	4.394	7.689		2.480		3.440	2.997	5.793		1.656	2.368	5.981
3	2.211	4.980		4.900	3.080	5.315	5.446	1.369		2.223		
4	1.768		1.866	1.964		4.265		3.250			4.062	3.374
5	4.128		2.305		7.635	2.569				1.928	2.846	
6	2.027		4.178					5.732		2.198	3.19	2.497
7	3.453		2.629	4.732		6.923		3.379	2.907	2.248		
8			1.723			5.204		6.805	3.636	2.186	4.574	2.117
9			5.907		2.030			7.621		1.934	3.59	2.507
10	3.932		1.515	3.206	3.236	3.601		7.056		2.074	3.871	1.691
11	5.218				3.844					1.839		3.074
12			2.500							5.723	6.056	5.065
13										4.184	3.773	
14												
15										7.330		
16										2.105	4.425	
17										4.145		

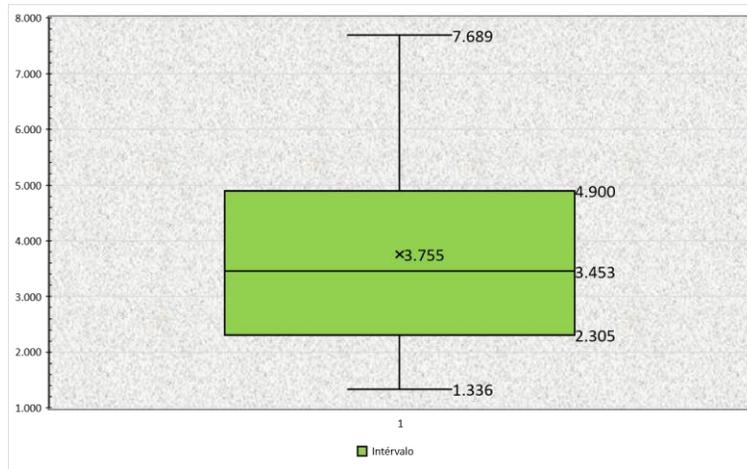


Figura 4-7: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-15

Cuadro 4-16: Datos estadísticos, Cuadro 4-15

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	7.689
Bigote máximo	7.689
Percentil ₇₅	4.900
Promedio	3.755
Percentil ₅₀	3.453
Percentil ₂₅	2.337
Bigote mínimo	1.336
Mínimo	1.336
n_1	91
Varianza (s_1^2)	2.803
Desviación estándar (s_1)	1.674

Cuadro 4-17: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-15

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _x	959

4.2.3.2 Efecto de la motocicleta

Cuadro 4-18: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12
1	3.528	3.095	4.740		5.882	3.546		3.799	5.308	4.735	2.88	2.461
2	4.394					3.440		5.793		1.656	2.368	5.981
3	2.211					5.315		1.369		2.223		
4	1.768					4.265		3.250				
5	4.128					2.569					4.062	3.374
6	2.027		1.866								2.846	
7			2.305					5.732			3.19	
8			4.178					3.379				
9			2.629					6.805				2.497
10		1.336	1.723			6.923		7.621			4.574	

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12
11		7.689	5.907			5.204		7.056			3.59	
12		4.980			2.030						3.871	2.117
13					3.236						6.95	2.507
14	3.932				3.844	3.601					6.056	1.691
15	5.218										3.773	3.074
16										7.330		5.065
17										2.105		
18										4.145		

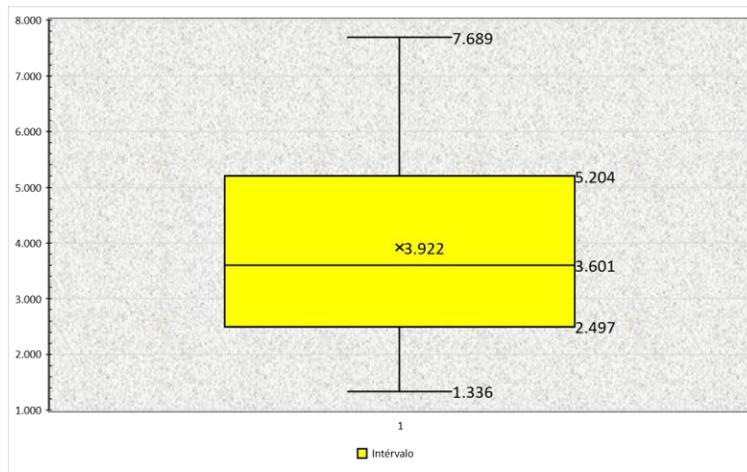


Figura 4-8: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-18

Cuadro 4-19: Datos estadísticos, Cuadro 4-18

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	7.689
Bigote máximo	7.689
Percentil ₇₅	5.204
Promedio	3.922
Percentil ₅₀	3.601
Percentil ₂₅	2.502
Bigote mínimo	1.336
Mínimo	1.336
n_2	67
Varianza (s_2^2)	2.860
Desviación estándar (s_2)	1.691

Cuadro 4-20: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-18

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _x	918

4.2.3.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron las fórmulas del caso 3, de acuerdo con la subsección 2.3.2.3.

Cuadro 4-21: Prueba hipótesis carril NSO

Prueba de hipótesis	
$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$	
$H_1: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$	
n_1	91
\bar{X}_1	3.755
Varianza (s_1^2)	2.803
n_2	67
\bar{X}_2	3.922
Varianza (s_2^2)	2.860
α	0.05
v	156.000
$-t_{\alpha/2}$	(1.975)
$t_{\alpha/2}$	1.975
t_0	(0.616)
p	0.539

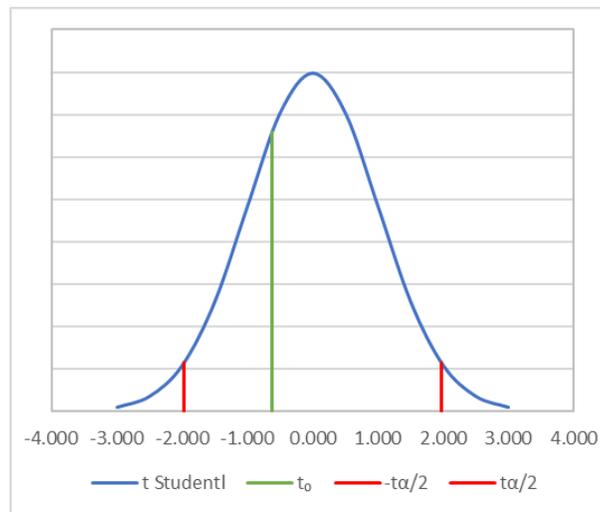


Figura 4-9: Prueba hipótesis carril NSO

La diferencia entre \bar{X}_1 y \bar{X}_2 no es significativa al nivel de confianza de 95% para el carril NSO.

4.2.4 Carril sur – este (SE)

4.2.4.1 Vehículos livianos

Cuadro 4-22: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12	Ciclo 13
1	2.799	1.394	3.399	1.978	2.164	2.989		3.202		1.932	3.581	2.464	
2		2.594	2.565	3.040				2.251	4.456	2.591		3.452	2.809
3	2.680		1.887		2.851			5.076	1.606		4.928		
4	3.766	1.299	2.930	1.969		2.595	2.252		1.838	2.730	1.591		
5	1.836	2.774	3.848	1.528	2.066	1.337			1.686	2.454	2.184		
6	4.151	1.677	2.969			3.122			3.239		2.043		
7	2.012	2.688	1.881		1.693	3.837				2.310	2.973		
8		2.338	4.725	2.142	3.316	1.289				3.018	4.353		
9			2.257		1.557	1.615				3.196	3.563		
10		3.667		2.070							2.553		
11			1.748										
12			3.360	1.736									

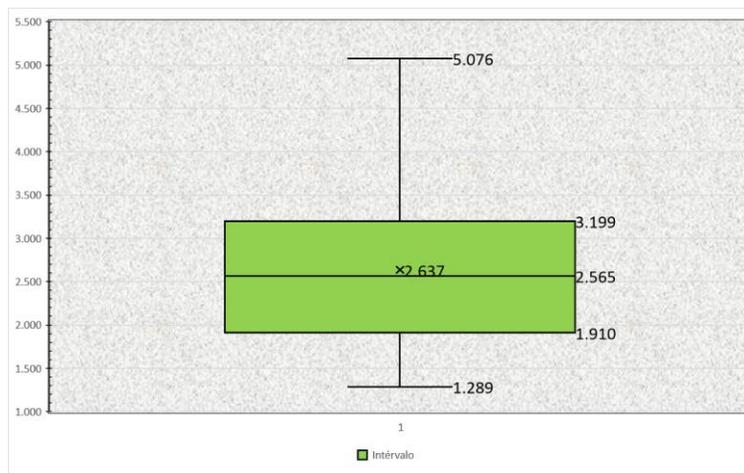


Figura 4-10: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-22

Cuadro 4-23: Datos estadísticos, Cuadro 4-22

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	5.076
Bigote máximo	5.076
Percentil ₇₅	3.199
Promedio	2.637
Percentil ₅₀	2.565
Percentil ₂₅	1.932
Bigote mínimo	1.289
Mínimo	1.289
n_1	73
Varianza (s_1^2)	0.816
Desviación estándar (s_1)	0.903

Cuadro 4-24: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-22

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _x	1,365

4.2.4.2 Efecto de la motocicleta

Cuadro 4-25: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11
1	2.680	2.594		1.528	2.164	2.595		3.202		2.310	4.928
2	3.766					1.337		2.251		3.018	1.591
3	1.836	1.299				3.122		5.076		3.196	2.184
4	4.151	2.774			2.851	3.837					2.043
5	2.012	1.677		2.142		1.289					2.973
6		2.688			2.066	1.615					4.353
7				2.070							
8					1.693						
9					3.316						
10				1.736							

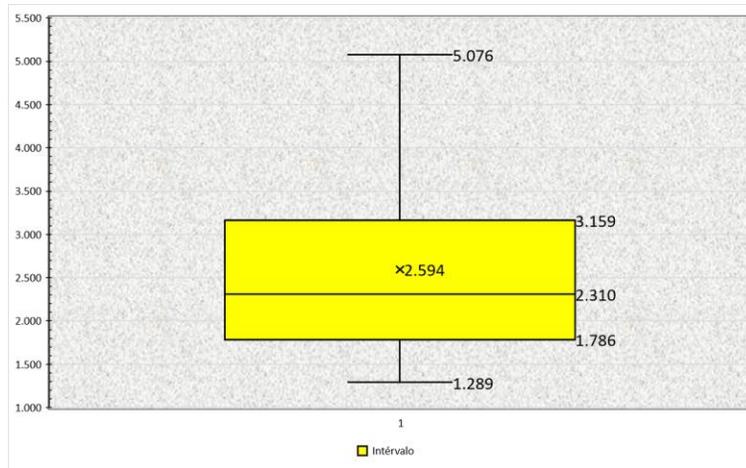


Figura 4-11: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-25

Cuadro 4-26: Datos estadísticos, Cuadro 4-25

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	5.076
Bigote máximo	5.076
Percentil ₇₅	3.159
Promedio	2.594
Percentil ₅₀	2.310
Percentil ₂₅	1.836
Bigote mínimo	1.289
Mínimo	1.289
n ₂	37
Varianza (s ₂ ²)	0.972
Desviación estándar (s ₂)	0.986

Cuadro 4-27: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-25

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad \bar{x}	1,388

4.2.4.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron las fórmulas del caso 3, de acuerdo con la subsección 2.3.2.3.

Cuadro 4-28: Prueba hipótesis carril SE

Prueba de hipótesis	
H ₀ : $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$	
H ₁ : $\bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$	
n ₁	73
\bar{X}_1	2.637
Varianza (s ₁ ²)	0.816
n ₂	37
\bar{X}_2	2.594
Varianza (s ₂ ²)	0.972
α	0.05
v	108.000
-t _{$\alpha/2$}	(1.982)
t _{$\alpha/2$}	1.982
t ₀	0.229
p	0.820

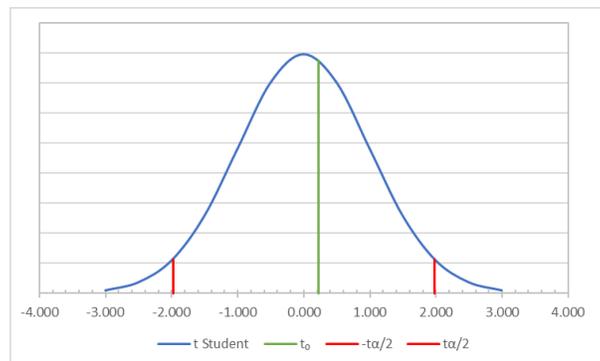


Figura 4-12: Prueba hipótesis carril SE

La diferencia entre \bar{X}_1 y \bar{X}_2 no es significativa al nivel de confianza de 95% para el carril SE.

4.2.5 Carril sur – norte N°1 (SN1)

4.2.5.1 Vehículos livianos

Cuadro 4-29: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12	Ciclo 13
1		2.517	6.941	8.211		4.082	2.012	5.703		1.752	1.929	1.37	2.077
2		4.278	2.183	2.207			1.783	1.391		10.239	7.790	1.87	
3			6.897	4.218			1.948			10.136	6.330	3.301	
4				3.594		3.915						5.303	2.557
5		11.86		4.782		2.996							1.474
6		3.737		1.876		10.424							1.789

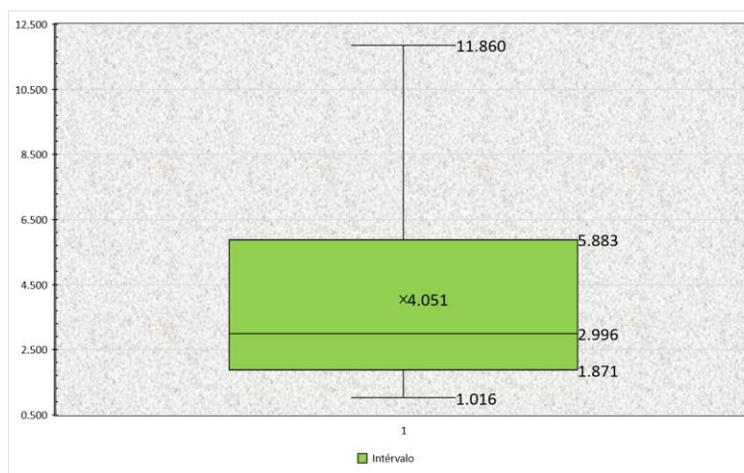


Figura 4-13: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-29

Cuadro 4-30: Datos estadísticos, Cuadro 4-29

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	11.860
Bigote máximo	11.860
Percentil ₇₅	5.883
Promedio	4.051
Percentil ₅₀	2.996
Percentil ₂₅	1.871
Bigote mínimo	1.016
Mínimo	1.016
n_1	49
Varianza (s_1^2)	8.068
Desviación estándar (s_1)	2.840

Cuadro 4-31: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-29

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _x	889

4.2.5.2 Efecto de la motocicleta

Cuadro 4-32: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12	Ciclo 13
1		2.517	6.941	8.211		4.082	2.012	5.703		1.752	1.929	1.37	2.077
2		4.278	2.183	2.207			1.783	1.391		10.239	7.790	1.87	
3			6.897	4.218			1.948			10.136	6.330	3.301	
4				3.594		3.915						5.303	2.557
5		11.86		4.782		2.996							1.474
6		3.737		1.876		10.424							1.789

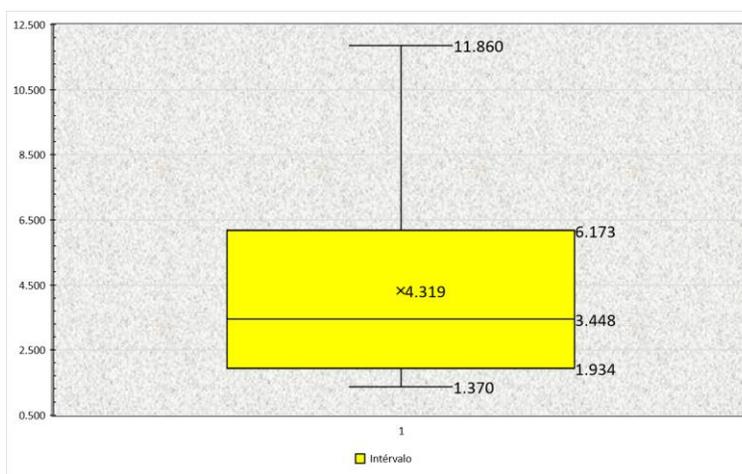


Figura 4-14: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-32

Cuadro 4-33: Datos estadísticos, Cuadro 4-32

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	11.860
Bigote máximo	11.860
Percentil ₇₅	6.173
Promedio	4.319
Percentil ₅₀	3.448
Percentil ₂₅	1.943
Bigote mínimo	1.370
Mínimo	1.370
n_2	36
Varianza (s_2^2)	8.816
Desviación estándar (s_2)	2.969

Cuadro 4-34: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-32

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _x	834

4.2.5.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron las fórmulas del caso 3, de acuerdo con la subsección 2.3.2.3.

Cuadro 4-35: Prueba hipótesis carril SN1

Prueba de hipótesis	
$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$	
$H_1: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$	
n_1	49
\bar{X}_1	4.051
Varianza (s_1^2)	8.068
n_2	36
\bar{X}_2	4.319
Varianza (s_2^2)	8.816
α	0.05
v	83.000
$-t_{\alpha/2}$	(1.989)
$t_{\alpha/2}$	1.989
t_0	(0.421)
p	0.675

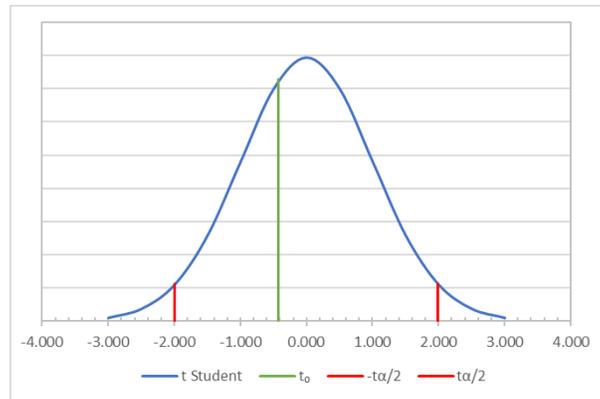


Figura 4-15: Prueba hipótesis carril SN1

La diferencia entre \bar{X}_1 y \bar{X}_2 no es significativa al nivel de confianza de 95% para el carril SN1.

4.2.6 Carril sur – norte N°2 (SN2)

4.2.6.1 Vehículos livianos

Cuadro 4-36: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12	Ciclo 13
1	1.872	2.757	1.964	2.744	1.813		1.912	3.951	1.084	1.612	2.495	3.449	1.445
2	1.659	1.600	2.140	1.886		3.186		1.970		1.661		2.349	2.396
3	1.935	1.451	2.206	2.547	1.630	1.664		2.625	3.489	3.438	1.633	1.794	
4	2.067	1.642	1.519		3.193	2.317	2.248	2.182	3.883	2.053	2.097	2.567	1.231
5	1.321	1.065	1.602	1.740		1.198	1.477	3.070	1.705	1.557			
6	1.880	3.650	2.607	2.567	2.011	2.792		1.777	2.350		1.617	1.26	1.276
7	3.029	1.822			2.654	3.371	1.504	1.864		2.155	1.752	2.942	2.471

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12	Ciclo 13
8		1.814	3.573		1.892	3.837		1.420	3.207		2.427	1.538	3.187
9	1.067		2.375		2.314	2.028		1.807	1.424	1.536	3.137	3.809	3.037
10	3.261	2.599	1.935			2.225	1.327	2.149	2.301	2.395		1.935	3.950
11	0.984	2.800	1.282					1.738	2.828	2.486	2.264		1.137
12	2.335	1.691	1.399					2.602		1.638	2.353		1.827
13		3.128	2.421					2.616					
14		2.022											1.586
15		1.556											

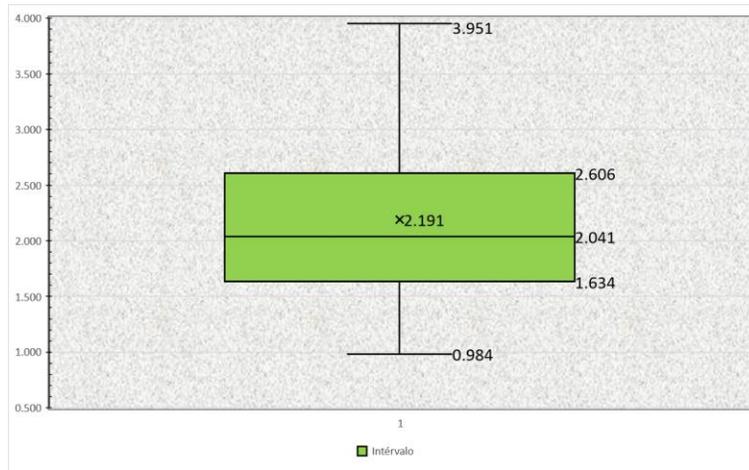


Figura 4-16: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-36

Cuadro 4-37: Datos estadísticos, Cuadro 4-36

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	3.951
Bigote máximo	3.951
Percentil ₇₅	2.606
Promedio	2.191
Percentil ₅₀	2.041
Percentil ₂₅	1.637
Bigote mínimo	0.984
Mínimo	0.984
n_1	124
Varianza (s_1^2)	0.516
Desviación estándar (s_1)	0.718

Cuadro 4-38: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-36

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad \bar{x}	1,643

4.2.6.2 Efecto de la motocicleta

Cuadro 4-39: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12	Ciclo 13
1	1.872	2.757	1.964	2.744	1.813		1.912		1.084	1.612	2.495	3.449	1.445
2	1.659	1.600	2.140	1.886		3.186				1.661		2.349	2.396
3	1.935	1.451	2.206	2.547		1.664				3.438		1.794	
4	2.067	1.642	1.519			2.317			3.489	2.053	1.633	2.567	
5	1.321	1.065	1.602			1.198			3.883	1.557	2.097		1.231
6	1.880	3.650	2.607			2.792	2.248		1.705				
7					2.011		1.477		2.350				
8				1.740	2.654						1.617		1.276
9			3.573	2.567	1.892		1.504				1.752		2.471
10			2.375		2.314						2.427		3.187
11		2.599	1.935								3.137		3.037
12		2.800	1.282										3.950
13		1.691	1.399				1.327						1.137
14		3.128	2.421								2.264		
15		2.022									2.353		
16		1.556											

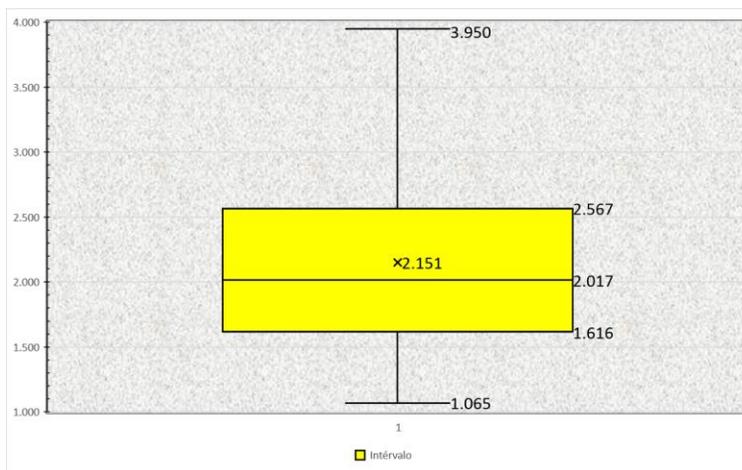


Figura 4-17: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-39

Cuadro 4-40: Datos estadísticos, Cuadro 4-39

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	3.950
Bigote máximo	3.950
Percentil ₇₅	2.567
Promedio	2.151
Percentil ₅₀	2.017
Percentil ₂₅	1.621
Bigote mínimo	1.065
Mínimo	1.065
n_2	82
Varianza (s_2^2)	0.486
Desviación estándar (s_2)	0.697

Cuadro 4-41: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-39

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _x	1,673

4.2.6.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron las fórmulas del caso 3, de acuerdo con la subsección 2.3.2.3.

Cuadro 4-42: Prueba hipótesis carril SN2

Prueba de hipótesis	
$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$	
$H_1: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$	
n_1	124
\bar{X}_1	2.191
Varianza (s_1^2)	0.516
n_2	82
\bar{X}_2	2.151
Varianza (s_2^2)	0.486
α	0.05
v	204.000
$-t_{\alpha/2}$	(1.972)
$t_{\alpha/2}$	1.972
t_0	0.389
p	0.697

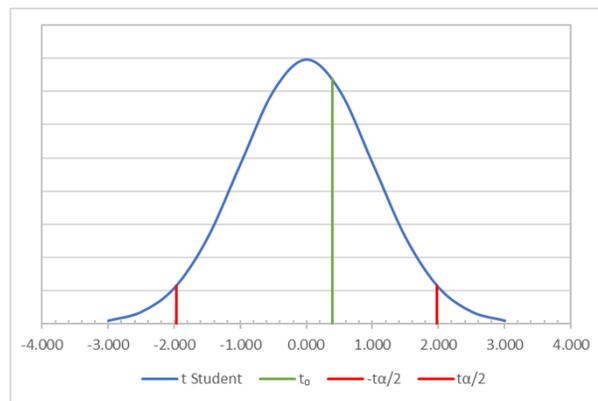


Figura 4-18: Prueba hipótesis carril SN2

La diferencia entre \bar{X}_1 y \bar{X}_2 no es significativa al nivel de confianza de 95% para el carril SN2.

4.2.7 Carril este – oeste (EO)

4.2.7.1 Vehículos livianos

Cuadro 4-43: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12
1	1.757	1.531	2.052	2.455		1.475	2.397	2.844	3.499	1.795	2.676	1.613
2				1.395				1.537	2.025	2.038	1.604	2.124
3			1.567	1.995		1.158	1.473	1.626		3.670	1.685	
4			2.481	3.347		2.049	1.835	2.004		2.438		1.865
5			1.191			2.532	1.847	1.802		1.927		2.922
6			3.674	1.654			1.502	2.615		1.903		
7			1.885	2.083				2.019		0.726		
8			1.432	1.581				2.054		3.391		
9								1.289				
10								0.997				

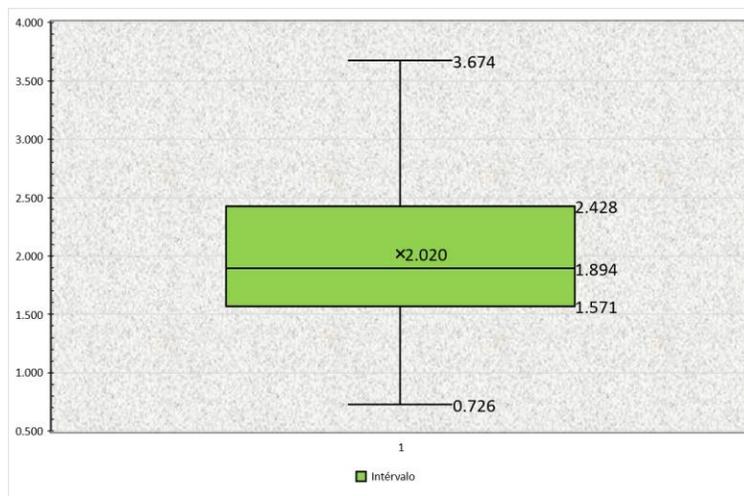


Figura 4-19: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-43

Cuadro 4-44: Datos estadísticos, Cuadro 4-43

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	3.674
Bigote máximo	3.674
Percentil ₇₅	2.428
Promedio	2.020
Percentil ₅₀	1.894
Percentil ₂₅	1.578
Bigote mínimo	0.726
Mínimo	0.726
n_1	52
Varianza (s_1^2)	0.446
Desviación estándar (s_1)	0.668

Cuadro 4-45: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-43

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _x	1,782

4.2.7.2 Efecto de la motocicleta

Cuadro 4-46: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12
1	1.757	1.531	2.052	2.455		1.475	2.397	2.844	2.081	1.795	2.676	1.613
2				1.395				1.537		2.038	1.604	2.124
3				1.995				1.626			1.685	
4				3.347				2.004		2.438		
5								1.802		1.927		1.865
6								2.615		1.903		2.922
7				1.654								
8				2.083								
9				1.581								

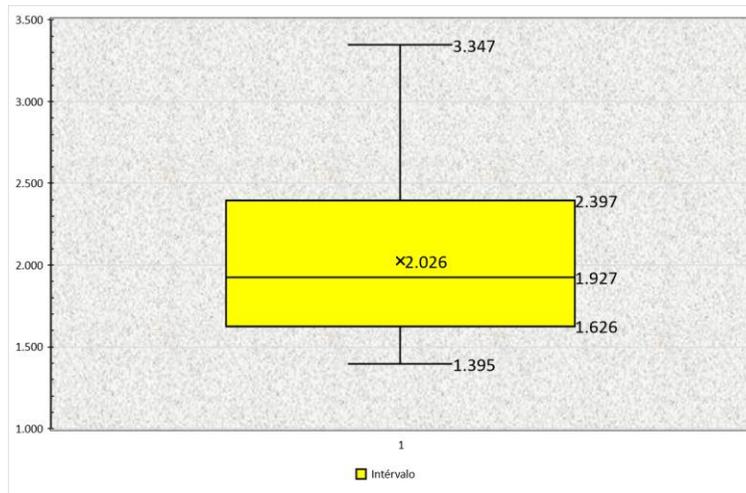


Figura 4-20: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-46

Cuadro 4-47: Datos estadísticos, Cuadro 4-46

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	3.347
Bigote máximo	3.347
Percentil ₇₅	2.397
Promedio	2.026
Percentil ₅₀	1.927
Percentil ₂₅	1.640
Bigote mínimo	1.395
Mínimo	1.395
n ₂	31
Varianza (s ₂ ²)	0.229
Desviación estándar (s ₂)	0.479

Cuadro 4-48: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-46

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad \bar{x}	1,776

4.2.7.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron las fórmulas del caso 3, de acuerdo con la subsección 2.3.2.3.

Cuadro 4-49: Prueba hipótesis carril EO

Prueba de hipótesis	
$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$	
$H_1: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$	
n_1	52
\bar{X}_1	2.020
Varianza (s_1^2)	0.446
n_2	31
\bar{X}_2	2.026
Varianza (s_2^2)	0.229
α	0.05
v	81.000
$-t_{\alpha/2}$	(1.990)
$t_{\alpha/2}$	1.990
t_0	(0.048)
p	0.962

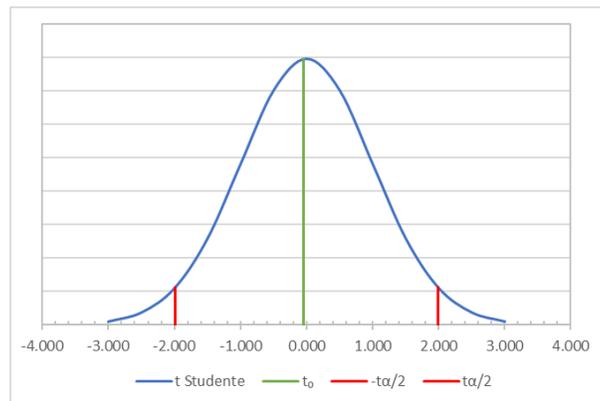


Figura 4-21: Prueba hipótesis carril EO

La diferencia entre \bar{X}_1 y \bar{X}_2 no es significativa al nivel de confianza de 95% para el carril EO.

4.2.8 Carril este – sur – oeste (ESO)

4.2.8.1 Vehículos livianos

Cuadro 4-50: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12
1	4.510	2.286	2.103	1.904		2.952	2.512	3.849	2.987	1.814	1.501	2.186
2	3.227	2.309	2.976	2.178		3.215		0.937	0.983	2.228	2.107	2.96
3		1.565	1.890	1.686		2.945		2.921	1.957	2.825	1.232	2.198
4			1.442	1.156				2.973		4.120	2.154	1.707
5		2.244	1.776	1.903				1.213		2.271	1.966	
6			1.617	3.186				1.596		1.262	3.027	1.438
7								2.016		1.459	2.239	2.602
8			1.478					1.332		1.979		

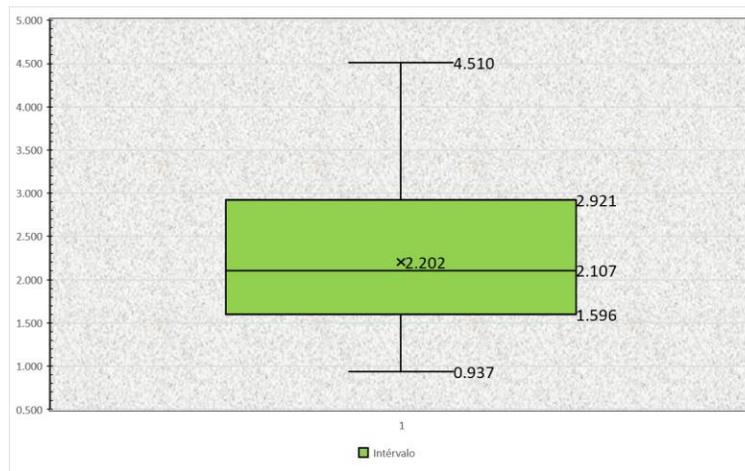


Figura 4-22: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-50

Cuadro 4-51: Datos estadísticos, Cuadro 4-50

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	4.510
Bigote máximo	4.510
Percentil ₇₅	2.921
Promedio	2.202
Percentil ₅₀	2.107
Percentil ₂₅	1.607
Bigote mínimo	0.937
Mínimo	0.937
n_1	55
Varianza (s_1^2)	0.612
Desviación estándar (s_1)	0.782

Cuadro 4-52: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-50

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _x	1,635

4.2.8.2 Efecto de la motocicleta

Cuadro 4-53: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12
1		2.286	2.103			2.952	2.512	3.849	2.987	1.814	1.501	1.438
2		2.309	2.976			3.215		0.937	0.983	2.228	2.107	2.602
3		1.565	1.890			2.945		2.921	1.957	2.825	1.232	
4			1.442					2.973		4.120	2.154	
5			1.776					1.213		2.271	1.966	
6		2.244	1.617					1.596		1.262	3.027	

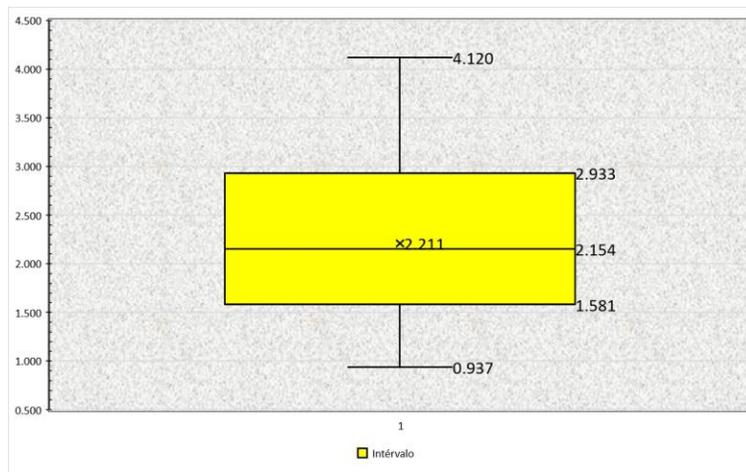


Figura 4-23: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-53

Cuadro 4-54: Datos estadísticos, Cuadro 4-53

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	4.120
Bigote máximo	4.120
Percentil ₇₅	2.933
Promedio	2.211
Percentil ₅₀	2.154
Percentil ₂₅	1.596
Bigote mínimo	0.937
Mínimo	0.937
n_2	37
Varianza (s_2^2)	0.595
Desviación estándar (s_2)	0.772

Cuadro 4-55: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-53

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad \bar{x}	1,628

4.2.8.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron las fórmulas del caso 3, de acuerdo con la subsección 2.3.2.3.

Cuadro 4-56: Prueba hipótesis carril ESO

Prueba de hipótesis	
$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$	
$H_1: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$	
n_1	55
\bar{X}_1	2.202
Varianza (s_1^2)	0.612
n_2	37
\bar{X}_2	2.211
Varianza (s_2^2)	0.595
α	0.05
v	90.000
$-t_{\alpha/2}$	(1.987)
$t_{\alpha/2}$	1.987
t_0	(0.054)
p	0.957

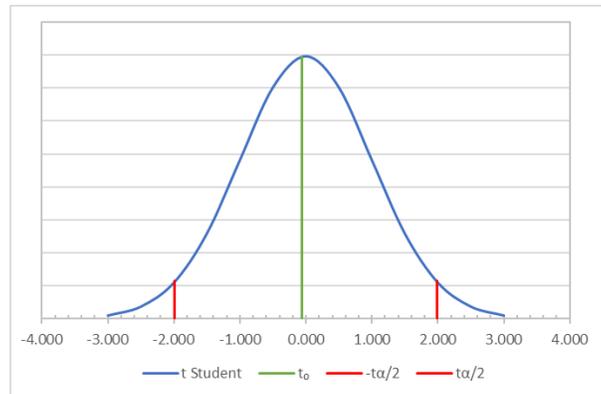


Figura 4-24: Prueba hipótesis carril ESO

La diferencia entre \bar{X}_1 y \bar{X}_2 no es significativa al nivel de confianza de 95% para el carril ESO.

4.3 Intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)

4.3.1 Carril sur – norte (SN)

4.3.1.1 Vehículos livianos

Cuadro 4-57: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12
1	3.268	2.019	3.195	2.369	2.584	3.104	3.378	3.616		5.207		2.855
2	2.401			2.598	4.576	4.369	1.908		1.549		2.627	
3		2.111	1.828	2.044		3.487	3.868		1.960	3.706		3.876
4	2.399			1.993			2.515		3.675	4.477		5.072
5			1.407				2.782					
6							3.559					

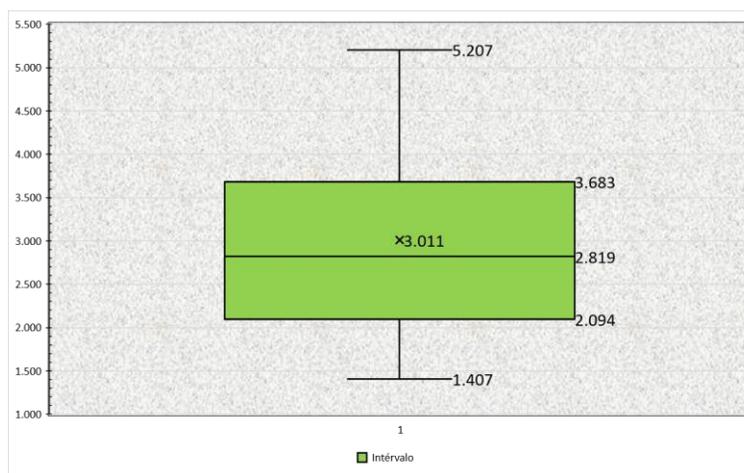


Figura 4-25: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-57

Cuadro 4-58: Datos estadísticos, Cuadro 4-57

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	5.207
Bigote máximo	5.207
Percentil ₇₅	3.683
Promedio	3.011
Percentil ₅₀	2.819
Percentil ₂₅	2.176
Bigote mínimo	1.407
Mínimo	1.407
n_1	34
Varianza (s_1^2)	1.007
Desviación estándar (s_1)	1.004

Cuadro 4-59: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-57

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _x	1,196

4.3.1.2 Efecto de la motocicleta

Cuadro 4-60: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8
1	3.268	2.019	1.828				3.378	3.616
2	2.401						1.908	
3			1.407				3.868	
4	2.399	2.111					2.515	
5							2.782	
6							3.559	

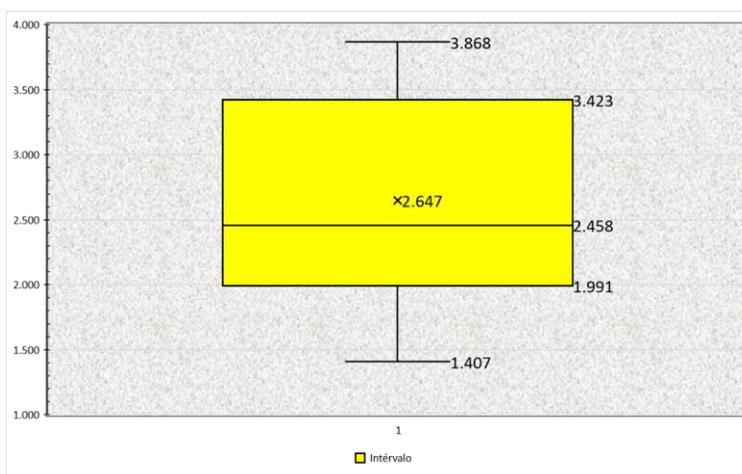


Figura 4-26: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-60

Cuadro 4-61: Datos estadísticos, Cuadro 4-60

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	3.868
Bigote máximo	3.868
Percentil ₇₅	3.423
Promedio	2.647
Percentil ₅₀	2.458
Percentil ₂₅	2.042
Bigote mínimo	1.407
Mínimo	1.407
n_2	14
Varianza (s_2^2)	0.598
Desviación estándar (s_2)	0.773

Cuadro 4-62: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-60

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _x	1,360

4.3.1.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron las fórmulas del caso 3, de acuerdo con la subsección 2.3.2.3.

Cuadro 4-63: Prueba hipótesis carril SN

Prueba de hipótesis	
$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$	
$H_1: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$	
n_1	34
\bar{X}_1	3.011
Varianza (s_1^2)	1.007
n_2	14
\bar{X}_2	2.647
Varianza (s_2^2)	0.598
α	0.05
v	46.000
$-t_{\alpha/2}$	(2.013)
$t_{\alpha/2}$	2.013
t_0	1.215
p	0.231

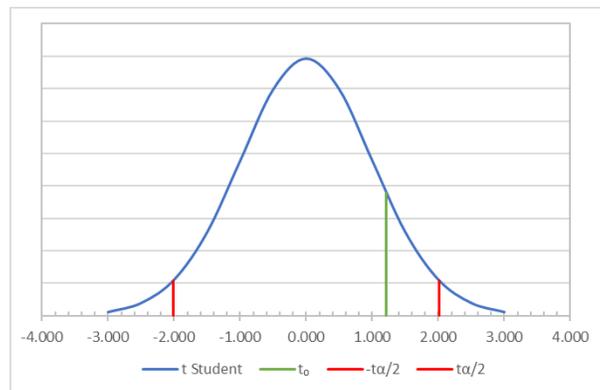


Figura 4-27: Prueba hipótesis carril SN

La diferencia entre \bar{X}_1 y \bar{X}_2 no es significativa al nivel de confianza de 95% para el carril SN.

4.3.2 Carril sur – norte – oeste (SNO)

4.3.2.1 Vehículos livianos

Cuadro 4-64: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11
1	2.739	2.550	5.110	4.904	2.527	2.002	2.128	3.041	4.447		2.493
2		2.384	3.086		2.053	2.127	3.795	3.546	3.265	2.921	3.402
3		4.402	4.155		3.896			2.423	1.929		
4			3.435				3.512	1.969	3.801		
5			2.756					2.068	2.213		
6								2.777			

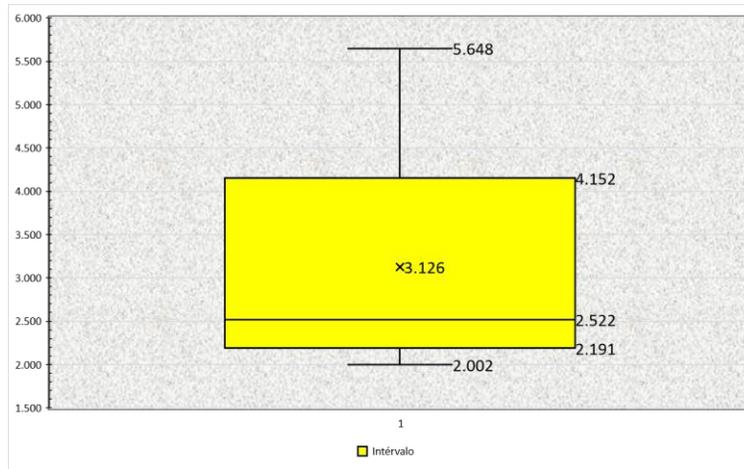


Figura 4-29: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-67

Cuadro 4-68: Datos estadísticos, Cuadro 4-67

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	5.648
Bigote máximo	5.648
Percentil ₇₅	4.152
Promedio	3.126
Percentil ₅₀	2.522
Percentil ₂₅	2.320
Bigote mínimo	2.002
Mínimo	2.002
n_2	8
Varianza (s_2^2)	1.658
Desviación estándar (s_2)	1.288

Cuadro 4-69: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-67

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _{\bar{x}}	1,288

4.3.2.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron las fórmulas del caso 3, de acuerdo con la subsección 2.3.2.3.

Cuadro 4-70: Prueba hipótesis carril SNO

Prueba de hipótesis	
$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$	
$H_1: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$	
n_1	33
\bar{X}_1	3.136
Varianza (s_1^2)	0.988
n_2	8
\bar{X}_2	3.126
Varianza (s_2^2)	1.658
α	0.05
v	39.000
$-t_{\alpha/2}$	(2.023)
$t_{\alpha/2}$	2.023
t_0	0.025
p	0.980

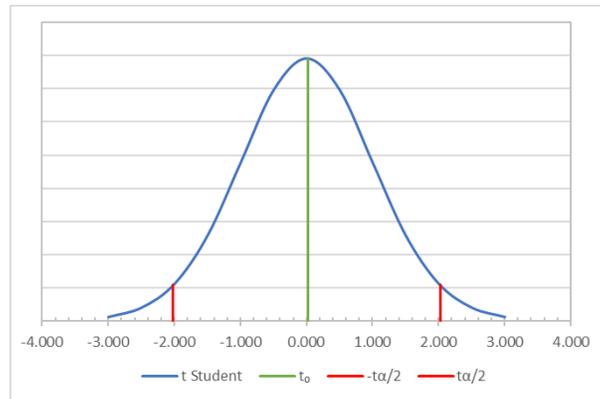


Figura 4-30: Prueba hipótesis carril SNO

La diferencia entre \bar{X}_1 y \bar{X}_2 no es significativa al nivel de confianza de 95% para el carril SNO.

4.3.3 Carril este – norte – oeste (ENO)

4.3.3.1 Vehículos livianos

Cuadro 4-71: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12	Ciclo 13	Ciclo 14	Ciclo 15
1	3.288		2.112	3.161	1.873		2.671	2.695	2.589	3.276	2.233	2.319	2.069		3.044
2	2.444	1.933		2.365	2.507	1.901	2.529	1.997	2.484	1.687	3.036	2.609		3.649	1.896
3	1.871	3.030	1.755		2.607		1.583	2.112	2.744	3.422	2.542	3.304	2.783	2.204	2.315
4			2.466	2.691	2.454		1.769	2.231	2.349	3.164	2.811	1.898	1.910		
5	2.028	1.946	1.858		2.743	2.254	2.127			2.419	1.616	2.579	1.395	3.279	

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12	Ciclo 13	Ciclo 14	Ciclo 15
6	2.449	1.782	2.316	1.705		2.431	3.258	2.012	2.028	3.163	2.203	2.245	3.173	2.154	1.956
7	1.201	2.364	2.286	1.966	1.615	1.777	1.989	1.580	1.509	1.498	3.043	2.680	2.461		3.211
8		2.270	3.604	2.234		2.499	2.270	2.475	1.342	2.482	3.112	2.296	1.815	2.590	2.530
9		2.669		2.024	1.350	2.391	1.581	1.698	2.179		3.113	1.956	2.100		3.157
10			1.907	1.315			1.746	2.825	2.444		2.695				2.056
11	2.776	1.379	2.027	1.804	2.744	1.737		1.457			2.203	1.669			1.463
12		1.985	1.884	2.002	1.964	2.225	2.678		3.501		1.686	1.972			2.160
13	3.328	1.972	2.669	2.386		2.013	3.134	1.925	1.794		2.332	1.691			
14		1.984			2.818			2.096			1.672				
15		2.534		2.398		3.250	1.647	1.964			2.520	2.305			
16				1.742			1.315					1.928			
17		1.857													
18		1.483													

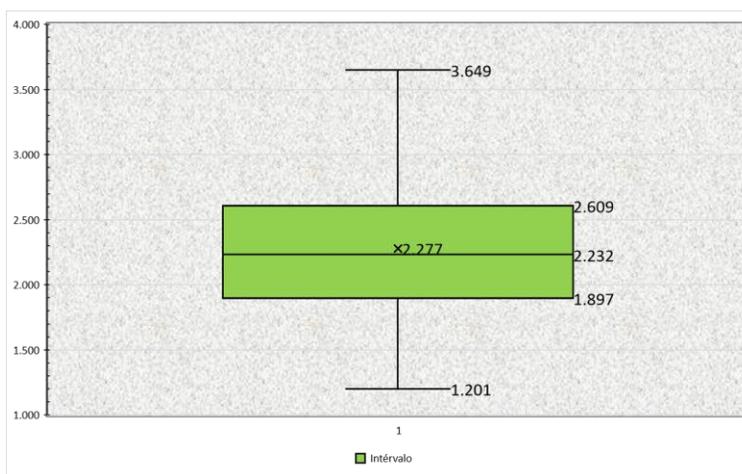


Figura 4-31: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-71

Cuadro 4-72: Datos estadísticos, Cuadro 4-71

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	3.649
Bigote máximo	3.649
Percentil ₇₅	2.609
Promedio	2.277
Percentil ₅₀	2.232
Percentil ₂₅	1.898
Bigote mínimo	1.201
Mínimo	1.201
n_1	164
Varianza (s_1^2)	0.297
Desviación estándar (s_1)	0.545

Cuadro 4-73: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-71

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _x	1,581

4.3.3.2 Efecto de la motocicleta

Cuadro 4-74: Movimientos de vehículos livianos y motocicletas sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12	Ciclo 13	Ciclo 14	Ciclo 15
1	2.028	1.379	1.907	2.691	1.873	2.254	1.647	2.695	2.028			1.669			1.956
2	2.449	1.985	2.027		2.507	2.431	1.315	1.997	1.509			1.972			3.211
3	1.201	1.972	1.884	1.705	2.607	1.777		2.112	1.342			1.691		2.204	2.530
4		1.984	2.669	1.966	2.454	2.499		2.231	2.179						3.157
5		2.534		2.234	2.743	2.391			2.444			2.305			2.056
6				2.024								1.928			1.463
7								2.012							
8						1.737		1.580							
9	2.776					2.225		2.475							
10					1.350	2.013		1.698							
11	3.328							2.825							
12						3.250		1.457							
13				2.398											
14				1.742											
15															
16					2.818										

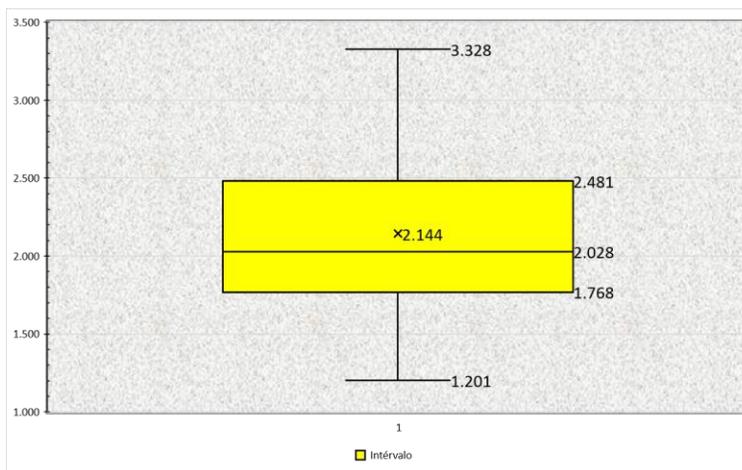


Figura 4-32: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-74

Cuadro 4-75: Datos estadísticos, Cuadro 4-74

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	3.328
Bigote máximo	3.328
Percentil ₇₅	2.481
Promedio	2.144
Percentil ₅₀	2.028
Percentil ₂₅	1.801
Bigote mínimo	1.201
Mínimo	1.201
n_2	66
Varianza (s_2^2)	0.245
Desviación estándar (s_2)	0.495

Cuadro 4-76: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-74

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _x	1,679

4.3.3.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron las fórmulas del caso 3, de acuerdo con la subsección 2.3.2.3.

Cuadro 4-77: Prueba hipótesis carril ENO

Prueba de hipótesis	
$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$	
$H_1: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$	
n_1	164
\bar{X}_1	2.277
Varianza (s_1^2)	0.297
n_2	66
\bar{X}_2	2.144
Varianza (s_2^2)	0.245
α	0.05
v	228.000
$-t_{\alpha/2}$	(1.970)
$t_{\alpha/2}$	1.970
t_0	1.721
p	0.087

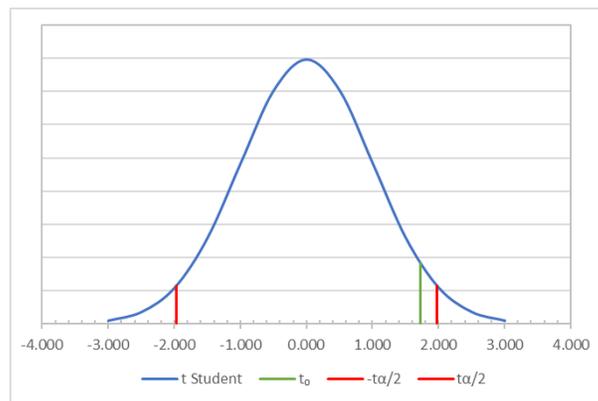


Figura 4-33: Prueba hipótesis carril ENO

La diferencia entre \bar{X}_1 y \bar{X}_2 no es significativa al nivel de confianza de 95% para el carril ENO

4.3.4 Carril este – oeste (EO)

4.3.4.1 Vehículos livianos

Cuadro 4-78: Movimientos de vehículos livianos sin tomar en cuenta otros automotores

ID	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12	Ciclo 13	Ciclo 14
1		2.377	1.598	2.869	2.455	3.316	1.902		1.846	2.191	2.137	3.104	2.000	
2		2.322	3.104	2.270	1.887	2.344	1.248	2.180	1.848	1.756	2.167	3.035		3.140
3	2.701	1.935	1.710	2.534	1.914	1.441	2.042	2.937	2.586	1.681	1.518	1.769	2.016	2.402
4	1.320	2.474	2.031	2.140	1.917	1.728	2.061		2.020	2.702	1.780	2.267	2.105	1.812
5		3.365	2.053	1.955		1.318			2.232	2.403	1.774	2.236	2.439	2.546
6	3.355		2.095	1.703	2.700		1.632			1.662	3.177	2.133		1.466
7		2.197	2.016	1.439	1.798	3.321	2.204	2.366		1.868	2.284	1.700	1.899	
8		1.335	1.821	1.549	1.862	1.668	2.469	3.482		1.374	3.214	2.174	2.972	2.472
9		1.689			1.597	1.669				2.268	2.643			2.734
10		2.167	1.931		3.299		2.582	1.970		1.663		1.914		
11		1.644	1.711		1.441					1.975	2.862	3.091		
12			1.847	3.228	1.347	3.299				2.068		1.446		3.556
13						2.660				1.568				
14						1.537								1.963
15					1.704									
16					1.192									1.794
17														2.949
18														1.566
19														1.866
20														
21														1.962
22														2.533
23														1.866
24														
25														1.962
26														2.533

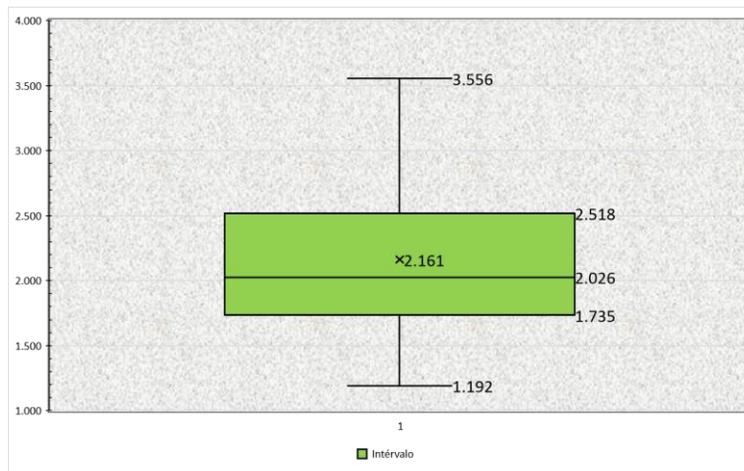


Figura 4-34: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-78

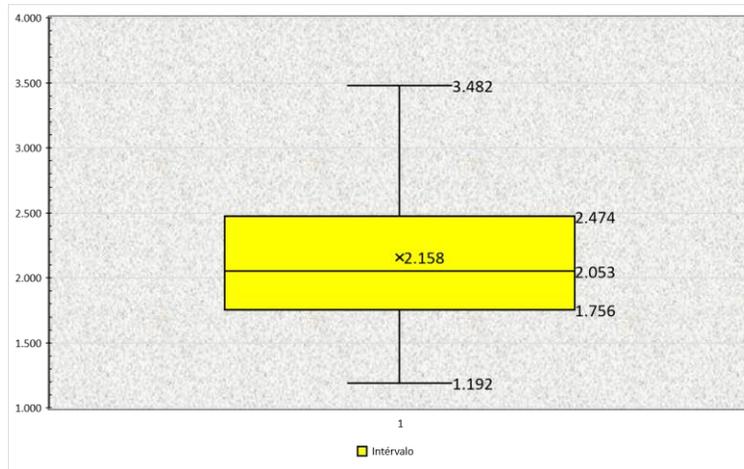


Figura 4-35: Diagrama de caja, datos Cuadro 4-81

Cuadro 4-82: Datos estadísticos, Cuadro 4-81

Descripción	Valor
Distancia bigotes	1.500
Máximo	3.482
Bigote máximo	3.482
Percentil ₇₅	2.473
Promedio	2.162
Percentil ₅₀	2.074
Percentil ₂₅	1.770
Bigote mínimo	1.192
Mínimo	1.192
n_2	64
Varianza (s_2^2)	0.287
Desviación estándar (s_2)	0.535

Cuadro 4-83: Determinación de la capacidad promedio, Cuadro 4-81

Descripción	Valor (Veh/h/carril)
Capacidad _{\bar{x}}	1,665

4.3.4.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron las fórmulas del caso 3, de acuerdo con la subsección 2.3.2.3.

Cuadro 4-84: Prueba hipótesis carril EO

Prueba de hipótesis	
$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$	
$H_1: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$	
n_1	133
\bar{X}_1	2.163
Varianza (s_1^2)	0.317
n_2	64
\bar{X}_2	2.162
Varianza (s_2^2)	0.287
α	0.05
v	195.000
$-t_{\alpha/2}$	(1.972)
$t_{\alpha/2}$	1.972
t_0	0.012
p	0.991

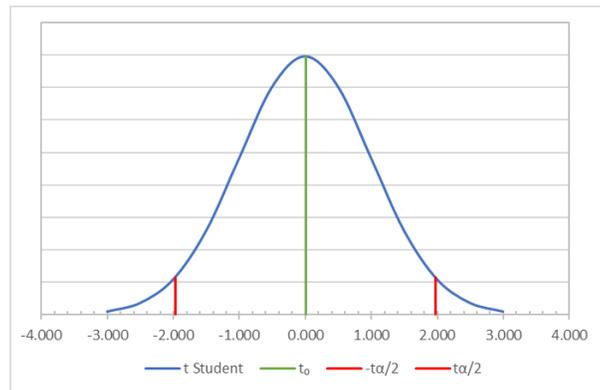


Figura 4-36: Prueba hipótesis carril EO

La diferencia entre \bar{X}_1 y \bar{X}_2 no es significativa al nivel de confianza de 95% para el carril EO.

4.4 Resumen

Con la finalidad de ver los datos agrupados por intersección, se presentan a continuación los cuadros donde se hace un compendio de las intersecciones analizadas, mostrando los valores más representativos por carril estudiado.

4.4.1 Intersección RN3 – RN108 (Pozuelo)

Cuadro 4-85: Compendio de datos de la intersección RN3 – RN108 (Pozuelo), sin considerar impacto de las motocicletas

Descripción	NE	NS	NSO	SE	SN1	SN2	EO	ESO
Promedio ₁	1.949	4.088	3.755	2.637	4.051	2.191	2.020	2.202
n ₁	155	89	91	73	49	124	52	55
Varianza (s ₁ ²)	0.162	2.926	2.803	0.816	8.068	0.516	0.446	0.612
Desviación estándar (s ₁)	0.403	1.711	1.674	0.903	2.840	0.718	0.668	0.782
Capacidad _{x̄}	1,847	881	959	1,365	889	1,643	1,782	1,635

Cuadro 4-86: Compendio de datos de la intersección RN3 – RN108 (Pozuelo), considerando impacto de las motocicletas

Descripción	NE	NS	NSO	SE	SN1	SN2	EO	ESO
Promedio ₂	1.945	3.990	3.922	2.594	4.319	2.151	2.026	2.211
n ₂	76	46	67	37	36	82	31	37
Varianza (s ₂ ²)	0.147	2.922	2.860	0.972	8.816	0.486	0.229	0.595
Desviación estándar (s ₂)	0.383	1.710	1.691	0.986	2.969	0.697	0.479	0.772
Capacidad _{x̄}	1,851	902	918	1,388	834	1,673	1,776	1,628

Cuadro 4-87: Diferencia en la capacidad vial de la intersección RN3 – RN108 (Pozuelo)

Descripción	NE	NS	NSO	SE	SN1	SN2	EO	ESO
Δ capacidad	4	22	41	23	55	30	6	7

De los movimientos vehiculares, se pudo observar la composición del flujo vehicular para la intersección, tal y como se expresa en el Cuadro 4-88.

Cuadro 4-88: Composición vehicular para la intersección RN3 – RN 108 (Pozuelo)

Carril	Motos	vehículo	Pesado	autobús
NE	20.82%	72.70%	2.73%	3.75%
NS	20.21%	74.61%	4.15%	1.04%
NSO	26.72%	66.38%	5.17%	1.72%
SE	18.64%	77.73%	3.18%	0.45%
SN1	30.83%	58.33%	6.67%	4.17%
SN2	21.30%	73.48%	4.35%	0.87%
EO	25.90%	64.03%	9.35%	0.72%
ESO	17.43%	71.56%	8.26%	2.75%
Promedio	22.73%	69.85%	5.48%	1.93%

Carril	Motos	vehículo	Pesado	autobús
Desviación estándar (s)	4.60%	6.40%	2.40%	1.40%

4.4.2 Intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)

Cuadro 4-89: Compendio de datos de la intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta), sin considerar impacto de las motocicletas

Descripción	NE	NS	NSO	SE
Promedio ₁	1.949	4.088	3.755	2.637
n ₁	155	89	91	73
Varianza (s ₁ ²)	0.162	2.926	2.803	0.816
Desviación estándar (s ₁)	0.403	1.711	1.674	0.903
Capacidad _{x̄}	1,847	881	959	1,365

Cuadro 4-90: Compendio de datos de la intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta), considerando impacto de las motocicletas

Descripción	NE	NS	NSO	SE
Promedio ₂	1.949	4.088	3.755	2.637
n ₂	155	89	91	73
Varianza (s ₂ ²)	0.162	2.926	2.803	0.816
Desviación estándar (s ₂)	0.403	1.711	1.674	0.903
Capacidad _□	1,847	881	959	1,365

Cuadro 4-91: Diferencia en la capacidad vial de la intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)

Descripción	SN	SNO	ENO	EO
Δ capacidad	164	4	98	1

De los movimientos vehiculares, se pudo observar la composición del flujo vehicular para la intersección, tal y como se expresa en el Cuadro 4-92.

Cuadro 4-92: Composición vehicular para la intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta)

Carril	Motos	vehículo	Pesado	autobús
SN	19.44%	79.17%	1.39%	0.00%
SNO	8.47%	91.53%	0.00%	0.00%
ENO	9.31%	89.88%	0.00%	0.81%
EO	15.21%	84.33%	0.46%	0.00%
Promedio	13.11%	86.23%	0.46%	0.20%
Desviación estándar (s)	5.20%	5.60%	0.70%	0.40%

Capítulo 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Al realizar el estudio se partió de la hipótesis de que las motocicletas causan un impacto en el flujo vehicular, considerando la tasa de accidentes que se presentan en la vía, y suponiendo que los conductores bajan la velocidad al estar presentes en la calzada, este tipo de vehículos. Sin embargo, y de acuerdo con los datos que se muestran en el Cuadro 4-87 y el Cuadro 4-91, las diferencias entre las capacidades viales tomando en cuentas las motocicletas en el flujo vehicular muestran no ser significativas para niveles de tránsito donde la composición vehicular muestra valores para las motocicletas por debajo del 23%. Solamente los carriles SN y ENO de la intersección Av8 – Tr25 (F. Peralta), muestra valores representativos, en cuanto a diferencia, sin embargo los análisis estadísticos indican que tales datos no puedan ser aceptados.

Al no haber un impacto de las motocicletas en el flujo vehicular, bajo las condiciones encontradas, no implica que si estos vehículos siguen aumentando su presencia en el flujo vehicular, no puedan a futuro, ocasionar un impacto y sea necesaria la inclusión de estos vehículos en la metodología de cálculo cuando se realicen estudios vehiculares.

Para realizar el estudio, se presumieron los movimientos como parte de un flujo continuo de los vehículos, sin embargo, las motocicletas no se comportan de esta manera, no necesariamente avanzan detrás de otro vehículo u otra motocicleta, en muchas ocasiones avanzan de forma paralela al flujo, por lo que la teoría de cálculo no necesariamente puede ser la correcta. Este tipo de movimientos también pueden afectar la percepción de seguridad de los conductores que si avanzan de forma lineal en el flujo, con lo que pueden verse afectados al sentir que se esta invadiendo de alguna forma, su espacio de maniobra.

5.2 Recomendaciones

Ya que el impacto de las motocicletas no desmejora la capacidad de las intersecciones estudiadas, lo anterior no implica que las autoridades de COSEVI o la DGIT, no puedan incluir un apartado dentro de sus estudios de tránsito con la finalidad de ver si los datos mejoran o por el contrario desmejoran y sean necesaria la toma de acciones al respecto.

En los últimos años, hemos sido testigos de la utilización de semáforos mostrando la cantidad de segundos rojos que han sido establecidos para un carril dentro del ciclo. Este tipo de implementaciones tiene un impacto psicológico en los conductores, bajando los niveles de ansiedad. Bajo la misma tesitura, se podrían implementar las cajas para motocicletas en intersecciones importantes, con la finalidad de inculcar una mayor inclusión de los motociclistas dentro de la totalidad de conductores que transitan por las carreteras. Claro está, que este tipo de impactos pueden ser temas de estudio para futuros investigadores.

Ya que las motocicletas no necesariamente avanzan en el flujo de forma lineal, realizando avances paralelos, es conveniente realizar una revisión a la metodología de cálculo y determinar si esto afecta los valores obtenidos, ya que se asume que

los tiempos que se obtienen corresponden a vehículos que se mueven uno detrás del otro, y para este tipo de automotores, esta premisa no necesariamente es cierta. Es conveniente la utilización de la caja para motocicletas sugerida en la subsección 2.2.4.2 con una longitud de 3.00 m a todo lo ancho del carril, con la finalidad de mejorar la seguridad y el flujo vehicular, principalmente cuando se está en la fase del rojo. Ya que no se ha realizado un análisis para determinar el impacto de su utilización ni el análisis de su longitud, se sugiere llevar a cabo un estudio posterior para determinar si es factible o no la implementación de tales alternativas para mejorar el flujo por las intersecciones y aumentar la seguridad para este tipo de vehículos, ya que su utilización puede disminuir el impacto del flujo y mejorar o disminuir de los vehículos al circular por las intersecciones. Por otra parte, el espacio se puede diseñar por medio de estudios de densidad de motocicletas en una fase roja.

Ya que la circulación de motocicletas no modifican el flujo de saturación de una intersección, se puede extrapolar que los accidentes de tránsito no se dan necesariamente por solo la presencia de dichos vehículos en las carreteras, por lo que pueden existir otros factores que es necesarios estudiar -estrés del conductor, anchos de carril, cambios en los hábitos de conducción-, que puedan estar afectando a los conductores contribuyendo con la generación de accidentes de tránsito.

Capítulo 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cal y Mayor, R., y Cárdenas, J. (2018). Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones (9 ed.). Alfaomega.
- Consejo Nacional de Rectores. (2022). *Informe estado de la Nación*. [Archivo pdf]. https://estadonacion.or.cr/wp-content/uploads/2022/11/PEN_informe_estado_nacion_completo_2022.pdf.
- Gómez, M. (2018). *Elementos de estadística descriptiva*. UNED.
- González Medina, E. (2014). Evaluación del impacto de la motocicleta en flujos de tránsito heterogéneo. Barranquilla, Colombia.
- Leclair, R. (2004). Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales. SIECA.
- Minh, C. C., y Sano, K. (2003). *The speed, flow and headway analyses of motorcycle traffic*. [Archivo pdf]. https://www.researchgate.net/profile/Chu-Minh-3/publication/229049460_Analysis_of_motorcycle_effects_to_saturation_flow_rate_at_signalized_intersection_in_developing_countries/links/544892db0cf22b3c14e312b9/Analysis-of-motorcycle-effects-to-saturation-flo
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2018). *Guía de buenas prácticas para el diseño y señalización de facilidades ciclo – inclusivas*. MOPT.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2019). *Guía técnica de diseño para infraestructura ciclística – inclusivas*. MOPT.
- Mojica, V., y Peralta, M. C. (2013). *Influencia por la presencia de motocicletas en la capacidad vial de accesos semaforizados*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Sanabria, G. (2021). *Estadística inferencial*. Editorial Tecnológica CR.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2009). *Manual Centroamericano de seguridad vial*. SIECA.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2011). *Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras*. SIECA.
- Solano, M (2019). Investigación de la percepción de las personas en temas relacionados con seguridad vial y movilidad en Costa Rica 2019. COSEVI.
- Transportation Research Board. (2000). *Highway capacity manual 2000*. TRB.

Capítulo 7. APÉNDICES

Capítulo 8. ANEXOS

Anexo 8-A

Formulario para conteo vehicular

Fuente: Consejo Seguridad Vial, modificado por el autor

Instituto tecnológico de Costa Rica										
Escuela de ingeniería en construcción, Maestría en ingeniería vial										
Tesis de graduación										
Hoja de conteo vehicular										
Punto de Estudio: <u>Intersección RN3 y RN108 (La Pozuelo)</u>					Carril: <u>Norte - Este</u>					
Técnico Responsable: <u>V. Vilchez/B. Brenes</u>										
Tipo de Conteo:		Clasificado: <u>L, P y M</u>			Clasificado Especial					
Fecha(s):		23 junio 2023		HORARIO:		07:30 - 08:30				
		32.65%		57.14%		6.12%		4.08%		
Id	minutos	segundos	milésimas	Sentido	Motas	vehículo	Pesado	autobus	Intervalo	Observaciones
Ciclo 1										
1	00	39	976	N-E	6					Inicio de ciclo
2	00	42	426	N-E				1	2.450	
3	00	47	004	N-E		1				
4	00	49	280	N-E		1			2.276	
5	00	51	680	N-E		1			2.400	
6	00	53	164	N-E		1			1.484	
7	00	54	560	N-E	1					
8	00	56	023	N-E		1				
9	00	58	581	N-E		1			2.558	
10	01	02	472	N-E			1		3.891	
11	01	05	685	N-E		1				
12	01	07	240	N-E		1			1.555	
13	01	09	178	N-E		1			1.938	
14	01	11	481	N-E		1			2.303	
15	01	13	450	N-E		1			1.969	
16	01	15	469	N-E		1			2.019	
17	01	17	566	N-E		1			2.097	
18	01	19	364	N-E		1			1.798	
19	01	24	003	N-E	1					
20	02	39	302	N-E	7					
21	02	40	408	N-E			1			
22	02	47	016	N-E	1					
23	02	48	825	N-E		1				
24	02	51	261	N-E			1		2.436	
25	02	54	542	N-E		1				
26	02	57	183	N-E		1			2.641	
27	02	59	190	N-E		1			2.007	
28	03	01	366	N-E		1			2.176	
Ciclo 2										
29	03	03	797	N-E		1				Cambio de ciclo
30	03	05	946	N-E		1			2.149	
31	03	07	615	N-E		1			1.669	
32	03	13	380	N-E				1	5.765	
33	03	18	065	N-E		1				
34	03	20	047	N-E		1			1.982	
35	03	21	823	N-E		1			1.776	
36	03	24	229	N-E		1			2.406	
37	03	25	725	N-E		1			1.496	
38	03	27	116	N-E		1			1.391	
Totales:					16	28	3	2	49	
Porcentaje por tipo					32.65%	57.14%	6.12%	4.08%	100%	