



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Informe No. LM-PI-USVT-016-19

Informe Final

Proyecto:

Análisis de variaciones de la velocidad a partir de datos de estaciones permanentes de monitoreo del tránsito

Preparado por:

Unidad de Seguridad Vial y Transporte

San José, Costa Rica
Diciembre, 2019



1. Informe LM-PI-USVT-016-19		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Análisis de variaciones de la velocidad a partir de datos de estaciones permanentes de monitoreo del tránsito.		4. Fecha del Informe 16 de diciembre, 2019
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias En la elaboración del informe colaboró Giancarlo Umaña Marín, asistente de la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-Lanamme.		
9. Resumen Se presenta un análisis estadístico de velocidades vehiculares registradas en cuatro estaciones permanentes de conteo de la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). Los datos se analizaron de acuerdo a la clasificación por cantidad de ejes, tipo de vehículo, día de la semana y hora del día, a los que se les aplicó diferentes pruebas de hipótesis para comprobar la similitud entre categorías mencionadas y se presentan valores de variabilidad de la velocidad expresada en términos de su desviación estándar.		
10. Palabras clave PITRA, USVT, estaciones permanentes, monitoreo de tránsito, velocidad	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 34
13. Preparado por: Ing. Henry Hernández Vega, MSc Unidad de Seguridad Vial y Transporte, PITRA-LanammeUCR	14. Revisado por: Ing. Diana Jiménez Romero, MSc, MBA Coordinadora Unidad de Seguridad Vial y Transporte, PITRA-LanammeUCR	Lic. Miguel Chacón, MSc, MBA Asesor Legal Externo LanammeUCR
Fecha: 16/12/ 2019	Fecha: 16/12/2019	Fecha: 16/12/2019
15. Aprobado por: Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, MSc Coordinadora Programa Infraestructura del Transporte, LanammeUCR	Ing. Alejandro Navas Carro, MSc. Director LanammeUCR	
Fecha: 16/12/2019	Fecha: 16/12/2019	



Tabla de Contenidos

1. Resumen	4
2. Introducción	4
3. Metodología	6
3.1. Recopilación de datos.	6
3.2. Caracterización de los datos.....	7
3.3. Inferencia estadística.....	8
4. Resultados	9
4.1. Estación de Búfalo.....	10
4.1.1. Descripción de datos.....	10
4.1.2. Análisis de velocidades en la estación.	10
4.1.3. Análisis por clasificación de vehículos.....	10
4.1.4. Análisis por factor temporal.....	12
4.2. Estación de Cambronero.	16
4.2.1. Descripción de datos.....	16
4.2.2. Análisis de velocidades en la estación.	16
4.2.3. Análisis por clasificación de vehículos.....	16
4.2.4. Análisis por factor temporal.....	18
4.3. Estación de Cañas.....	21
4.3.1. Descripción de datos.....	21
4.3.2. Análisis de velocidades en la estación.	21
4.3.3. Análisis por clasificación de vehículos.....	21
4.3.4. Análisis por factor temporal.	23
4.4. Estación de Guápil.....	26
4.4.1. Descripción de datos.....	26
4.4.2. Análisis de velocidades en la estación.	26
4.4.3. Análisis por clasificación de vehículos.....	26
4.4.4. Análisis por factor temporal.....	28
5. Conclusiones y Recomendaciones	31
6. Referencias	33



1. Resumen

Se presenta un análisis estadístico de velocidades vehiculares registradas en cuatro estaciones permanentes de conteo de la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). Los datos se analizaron de acuerdo a la clasificación por cantidad de ejes, tipo de vehículo, día de la semana y hora del día, a los que se les aplicó diferentes pruebas de hipótesis para comprobar la similitud entre categorías mencionadas y se presentan valores de variabilidad de la velocidad expresada en términos de su desviación estándar.

Se agradece la participación del estudiante Giancarlos Umaña Marín, en su calidad de asistente, en el desarrollo de este informe.

2. Introducción

La velocidad es una medida básica del desempeño de una facilidad de transporte. La velocidad está relacionada con la seguridad, economía, tiempo, confort y conveniencia experimentada por los usuarios de la vía (ITE, 2010, p.77). La velocidad también puede tener efecto en las estimaciones de deterioros de estructuras de pavimento (Shafiee, Nassiri, & Bayat, 2014).

La velocidad puede afectar de muchas maneras la posibilidad de sufrir un choque, ya sea por un cambio en la velocidad que puede afectar la longitud de frenado o por la incidencia en la cantidad de energía cinética generada en una colisión. El exceso de velocidad, en particular, aumenta el riesgo de chocar debido a la distancia recorrida durante el proceso de identificar y reaccionar ante una eventualidad en carretera (Edquist, Rudin Brown, & Lenné, 2009).

En Costa Rica, la velocidad corresponde a “la posible causa de muertes en sitio más frecuente en el 2018”, según datos del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) integró el 26,7% del total de 445 muertes en sitio en dicho año (Consejo de Seguridad Vial, 2019).

El conocimiento de las distribuciones de velocidad tiene diferentes aplicaciones tales como planeamiento del control del tráfico, establecimiento de límites de velocidad o de señales de prevención en curvas, definición de zonas de adelantamiento, análisis de zonas escolares, estudios antes-después, análisis de accidentabilidad, investigación relacionada con relaciones de flujo y velocidad, análisis de diferenciales de velocidad, estudio de la capacidad de la vías, y en diseño geométrico para el análisis de radios y sobreelevaciones



en curvas, longitudes de carriles de aceleración y desaceleración, entre otros (Homburger y Kell, 1984).

Existe una serie de factores que pueden incidir en la velocidad de los vehículos (Hernández Vega, Morales Aguilar, Jiménez Romero, Leiva Villacorta, & Loría Salazar, 2016), según se indica a continuación:

(a) Tipo de vehículo

El estado mecánico y la potencia particular de cada tipo de vehículo influyen en la velocidad de operación de las vías, es de esperar que los vehículos pesados se movilicen a velocidades inferiores a los livianos. Debido a esto, es necesario analizar las velocidades de acuerdo a la cantidad de ejes o por tipo de vehículo.

(b) Factor temporal

El factor temporal puede condicionar el comportamiento de los conductores dependiendo del propósito del viaje y la percepción de seguridad. Este factor se puede ver influenciado en las velocidades registradas, por ejemplo, en periodos de vacaciones y en la noche, modifica la conducta del usuario.

(c) Factor ambiental

Las condiciones climáticas (lluvia, neblina, viento) y de la superficie de rodamiento, influyen en la percepción de seguridad del conductor, lo que se reflejado en las velocidades de operación. En el caso de la lluvia, puede incidir tanto en la visibilidad del conductor como en las condiciones de la superficie.

(d) Actitud y comportamiento del conductor

La velocidad de conducción depende de la percepción de riesgo que cada usuario esté dispuesto a aceptar, además, del valor que cada usuario le dé a su tiempo.

(e) Leyes y regulación en el ambiente

Generalmente los conductores evitan ser multados, por lo que evitan exceder la velocidad máxima delimitada en la zona transitada. Además, la existencia de dispositivos como radares y cámaras incide en la percepción de vigilancia.

(f) Características de la vía

El alineamiento vertical y horizontal de la vía influye en la percepción de seguridad de los conductores, por ende, también incide en la velocidad de conducción. En ancho de la



calzada, la presencia de cunetas y curvas horizontales pronunciadas son algunas de las características que pueden influir.

Conocer las velocidades de los vehículos, comprobar o descartar su excedencia puede ayudar a identificar deficiencias de algunos de los factores influyentes, de esta manera, se puede propiciar la implementación de medidas que mejoren el entorno y la seguridad vial de todos los usuarios.

3. Metodología

3.1. Recopilación de datos.

Los registros fueron suministrados por la Unidad de Gestión de Carreteras de la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), quien recolecta la información por medio de contadores electrónicos.

El equipo de medición utilizado por el MOPT consta de mangueras de hule sintético y un contador marca *Diamond Traffic*, modelo *Apollo*. Las mangueras se colocan sobre la calzada perpendicularmente a la dirección de tráfico, como se muestra en la Figura 1, cuando un vehículo pasa sobre ellas envían impulsos de aire y accionan el contador (Figura 2), el cual es capaz de registrar velocidad y longitud del vehículo.



Figura 1. Colocación de mangueras para el conteo vehicular

Fuente: MOPT, 2017



Figura 2. Contador electrónico
Fuente: MOPT, 2018

3.2. Caracterización de los datos.

Los datos de velocidad suministrados por la Unidad de Gestión de Carreteras de la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT fueron clasificados por día de la semana, hora del día y tipo de vehículo según la cantidad de ejes en 2, 3, 4, y 5 o más ejes.

Además, los vehículos de 2 ejes fueron clasificados en diferentes clases, siguiendo lo establecido por la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA, por sus siglas en inglés), como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de vehículos de dos ejes

Ejes	Clase	Descripción	Separación (pies)	Separación (cm)
2	F1	Motocicleta	<6,0	<183,0
	F2	Automóvil o vehículo tipo Pick-up ligero	6,0 – 10,0	183,0 – 305,0
	F3	Vehículo tipo Pick-up	10,0 – 15,0	305,0 – 457,0
	F4	Camión de dos ejes	15,0 – 20,0	457,0 – 610,0
	F5	Bus	>20,0	>610,0

Fuente: AASHTO, 2009

Gráficamente, la clasificación anterior se observa en la siguiente figura. Se debe aclarar que en el país no existe una caracterización de los vehículos basado en la distancia entre ejes, por lo que es posible, por ejemplo, que la categoría F3 incluya vehículos tales como



microbuses, vehículos de carga liviana, entre otros, debido a diferencias entre la flota vehicular de Costa Rica y la de los Estados Unidos de América. Por lo que los resultados relacionados con los vehículos de dos ejes pueden corresponder a clases más amplias o diferentes de vehículos.



Figura 3. Clasificación de vehículos de dos ejes
Fuente: los autores

3.3. Inferencia estadística.

Inicialmente con los datos de velocidad clasificados se aplicaron una serie de métodos de inferencia estadística para verificar el cumplimiento o no de las velocidades de referencia en cada una de las estaciones.

Se realizó inferencia entre categorías, con el propósito de evidenciar diferencias entre tipos de vehículos, días de la semana y horas del día en cada uno de los segmentos de rutas analizados. Para esto se planteó la hipótesis:

Informe LM-PI-USVT-016-19	16 de diciembre , 2019	Página 8 de 34
---------------------------	------------------------	----------------



$$H_0: \mu = \mu_0$$

Ecuación (1)

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

Ecuación (2)

Debido a la cantidad de registros de velocidad utilizados para obtener los diferentes promedios de velocidades, se utilizó el estadístico Z con un nivel de confianza del 95%.

4. Resultados

A continuación, se detallan los resultados obtenidos para las 4 estaciones de conteo del MOPT analizadas en este estudio: Búfalo, Cambronerero, Cañas y Guápil. La ubicación de estas se muestra en la Figura 4.

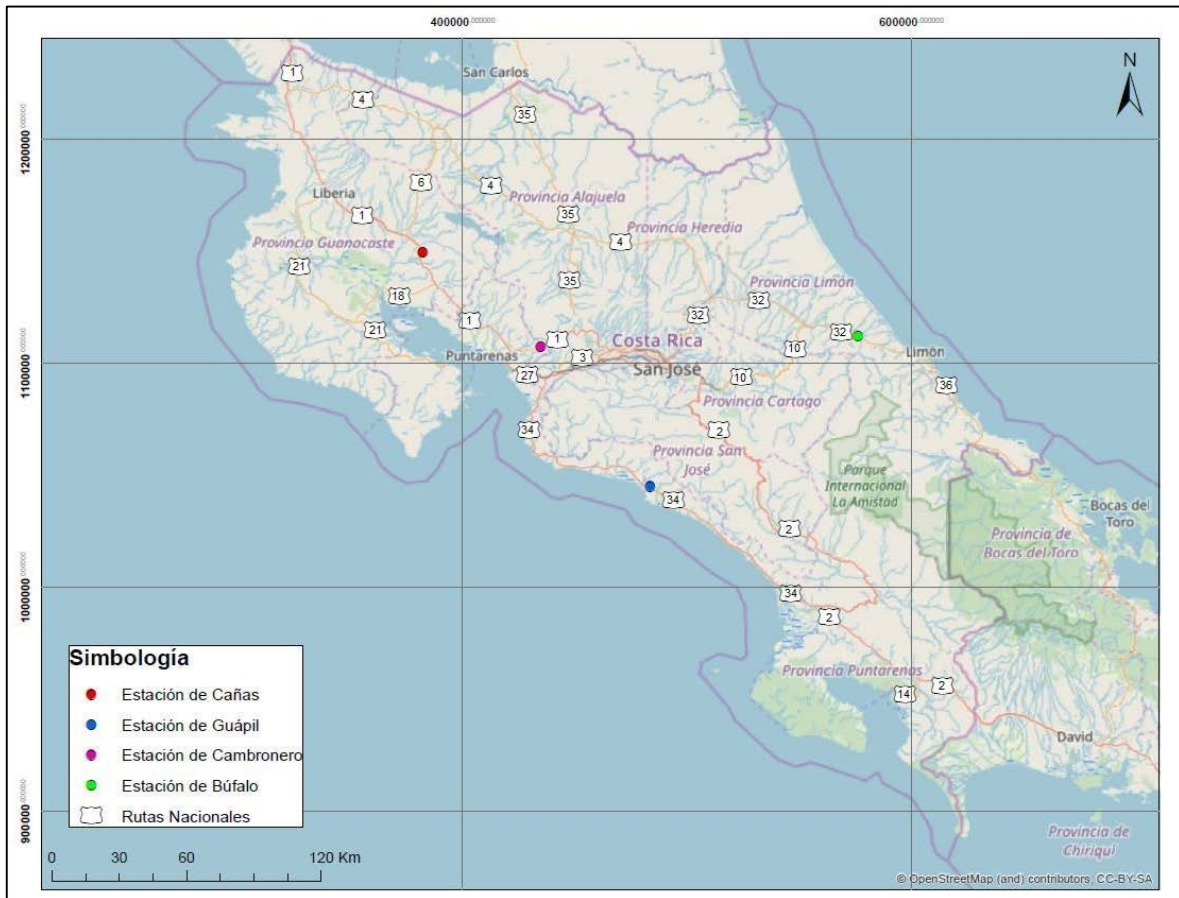


Figura 4. Ubicación de estaciones analizadas

Fuente: los autores



4.1. Estación de Búfalo.

4.1.1. Descripción de datos.

La estación de Búfalo se encuentra sobre la Ruta Nacional 32; específicamente 500 m antes de la estación de pesaje Búfalo (sentido Guápiles-Limón) en la sección de control 70800. Según datos obtenidos del “Anuario de información de Tránsito 2018” (MOPT, 2018) la estación de Búfalo tuvo un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 7 297 vehículos en el año 2013.

4.1.2. Análisis de velocidades en la estación.

Para este estudio se utilizaron datos de velocidades de 46 594 vehículos, registrados entre el 25 de octubre y el 1 de noviembre de 2011.

La distribución de las velocidades registradas se muestra en la Figura 5, es posible observar que la media se acerca a los 70 km/h.

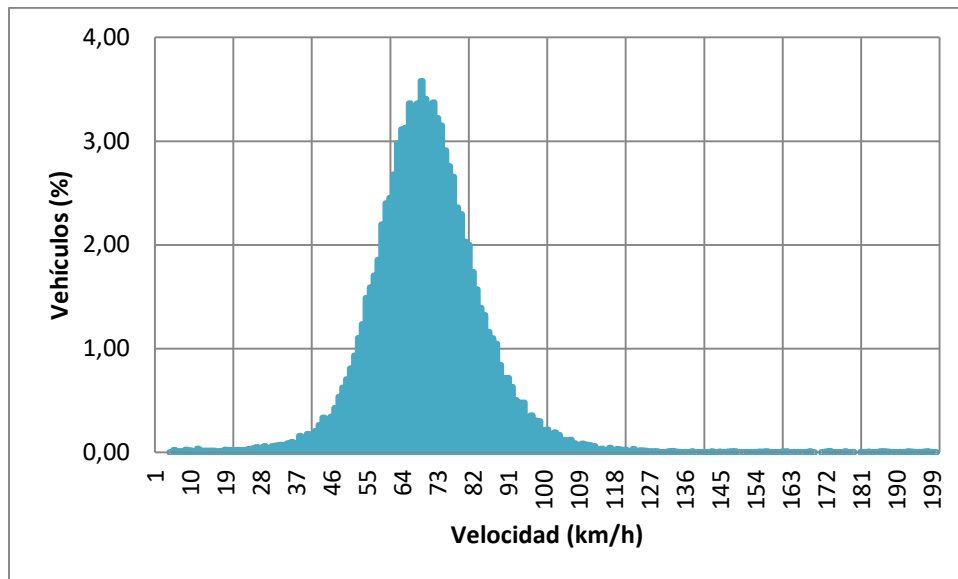


Figura 5. Distribución de velocidades en la estación permanente de Búfalo

Fuente: los autores

4.1.3. Análisis por clasificación de vehículos.

Al comparar las velocidades promedio considerando la cantidad de ejes de los vehículos se obtuvo lo mostrado en el Cuadro 2. En cuanto a la velocidad promedio, se observa que los vehículos de dos ejes los que viajan a velocidades superiores a los demás, seguido por los



de 3 ejes; mientras que los vehículos de cuatro o más ejes se movilizan a velocidades similares.

Cuadro 2. *Distribución de velocidades por cantidad de ejes en la estación de Búfalo*

Cantidad de ejes	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
2	28 191	72,2	15,8
3	1 963	69,1	14,5
4	833	66,8	19,2
5 o más	15 607	66,7	12,6

Al contemplar las velocidades promedio en el análisis estadístico para determinar si existen diferencias significativas entre los vehículos según su cantidad de ejes, se encontró que los vehículos de dos y tres ejes viajan a velocidades significativamente diferentes a los demás, mientras que no existen diferencias entre las velocidades de los vehículos de cuatro o más ejes.

Cuadro 3. *Valores P obtenidos de la prueba de hipótesis por cantidad de ejes en la estación de Búfalo*

Ejes	3	4	5 o más
2	0,000	0,000	0,000
3	-	0,002	0,000
4	-	-	0,785

Al considerar las diferentes clases de los vehículos de dos ejes se tiene que todas las clases de vehículos exceden significativamente la velocidad máxima establecida, siendo los vehículos pick-up (F3) los que presentan el mayor valor, seguidos por los camiones (F4), los vehículos livianos (F3), las motocicletas (F1), y, por último, los autobuses (F5).

Cuadro 4. *Distribución de velocidad por clase de vehículos de dos ejes en la estación de Búfalo*

Clase	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
F1	389	71,5	20,9
F2	20 704	71,6	14,0
F3	5 054	75,5	21,7
F4	1 147	72,1	13,8
F5	896	67,8	12,3



Al analizar la relación entre las velocidades promedio según las clases de vehículos de dos ejes, no es posible determinar diferencias entre las velocidades de las motocicletas, vehículos livianos y a los camiones. Por otro lado, mientras que los pick-up y los autobuses presentan velocidades significativamente distintas a los demás.

Cuadro 5. Valores *P* obtenidos de la prueba de hipótesis por tipo de vehículo de dos ejes en la estación de Búfalo

Clase	F2	F3	F4	F5
F1	0,868	0,000	0,578	0,001
F2		0,000	0,279	0,000
F3			0,000	0,000
F4				0,000

4.1.4. Análisis por factor temporal.

Al estudiar el registro de velocidades clasificado por días de la semana se obtuvo lo mostrado en el siguiente cuadro. Al analizar las velocidades promedio, se observa que el día domingo presenta una velocidad superior a las de los demás días; seguido por jueves, lunes y viernes; mientras que el martes presenta las velocidades promedio más bajas.

Cuadro 6. Distribución de velocidad por día de la semana en la estación de Búfalo

Día	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
Domingo	4 350	73,9	16,2
Lunes	6 336	70,0	14,8
Martes	7 909	68,3	15,0
Miércoles	7 233	69,1	15,0
Jueves	7 102	70,7	14,7
Viernes	7 616	69,8	15,3
Sábado	6 048	70,9	14,2

Resulta interesante la relación entre la cantidad de vehículos que transita y la velocidad con la que lo hacen, el día de la semana con mayor flujo vehicular es el martes, el cual resulta ser el día con la menor velocidad promedio, por otro lado, el día en el que más vehículos exceden la velocidad máxima es el domingo, con el 85%, siendo el día con el menor tránsito.

Realizando un análisis estadístico para determinar si las velocidades entre días presentan diferencias significativas se tiene los únicos días donde no se observaron diferencias significativas en las velocidades promedio son los días lunes y viernes, y entre jueves y sábado.



Cuadro 7. Valores *P* obtenidos de la prueba de hipótesis día de la semana en la estación de Búfalo

Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Domingo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Lunes	-	0,000	0,001	0,007	0,438	0,000
Martes	-	-	0,001	0,000	0,000	0,000
Miércoles	-	-	-	0,000	0,008	0,000
Jueves	-	-	-	-	0,000	0,307
Viernes						0,000

Además, como factor temporal se puede analizar la velocidad a la que transitan los vehículos por la estación Búfalo a diferentes horas del día, tal como se muestra en el siguiente cuadro. En promedio, la velocidad máxima se presenta entre la 1:00 y las 2:00 de la madrugada seguida por las demás horas de la madrugada; por otro lado, la hora de menor velocidad se da entre las 19:00 y las 20:00 horas. La hora a la que se registró mayor cantidad de vehículos fue entre 16:00 y 17:00, y la de menor flujo entre las 2:00 y 3:00.

Cuadro 8. Distribución de velocidad por hora del día en la estación de Búfalo

Hora	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
0 a 1	524	74,7	17,0
1 a 2	364	79,2	18,3
2 a 3	315	76,6	16,6
3 a 4	358	78,6	14,8
4 a 5	547	75,9	14,2
5 a 6	1 331	76,9	16,5
6 a 7	2 094	76,5	15,4
7 a 8	2 484	73,4	15,5
8 a 9	2 441	72,7	15,0
9 a 10	2 596	72,9	13,1
10 a 11	2 489	71,8	13,6
11 a 12	2 968	70,6	12,9
12 a 13	3 080	71,3	14,0
13 a 14	3 004	71,2	14,1
14 a 15	3 033	69,4	13,6
15 a 16	3 034	69,2	13,6
16 a 17	3 159	68,5	15,5
17 a 18	3 004	65,4	14,5
18 a 19	2 518	63,3	13,0
19 a 20	2 076	62,7	15,8
20 a 21	1 697	65,1	14,5
21 a 22	1 348	68,5	15,8
22 a 23	1 217	67,2	17,7
23 a 24	913	71,7	15,2



Para analizar si las velocidades a diferentes horas del día presentaban diferencias significativas se aplicó un análisis estadístico, a partir de lo cual se obtuvo lo mostrado a continuación. Previamente se mencionó que la velocidad promedio máxima se presenta entre la 1:00 y las 2:00, sin embargo, no es significativamente diferente a las registradas desde las 2:00 hasta las 4:00. Por otro lado, la hora de menor velocidad (65,4 km/h entre 19:00 y 20:00) es significativamente diferente a las demás, con excepción de las 18:00.



Cuadro 9. Valores P obtenidos de la prueba de hipótesis por hora del día en la estación de Búfalo

Hora	1	2	3	4	5	6	7 a	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
0	0,000	0,115	0,000	0,226	0,012	0,030	0,100	0,011	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	
1	-	0,053	0,631	0,004	0,031	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	-	-	0,101	0,519	0,769	0,917	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	-	-	-	0,006	0,061	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	-	-	-	-	0,176	0,376	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	-	-	-	-	-	0,468	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	-	-	-	-	-	-	-	0,097	0,247	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
8	-	-	-	-	-	-	-	-	0,525	0,043	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,093
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,028
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,122	0,089	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,776
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,039	0,063	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,043
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,861	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,463
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,399
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,671	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,069	0,000	0,000
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,071	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,129	0,000	0,000
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,867	0,022	0,000	0,000
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,543	0,000	0,001	0,000	0,000
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,158	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,001	0,000	0,000
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,063	0,000	0,000
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000



4.2. Estación de Cambronero.

4.2.1. Descripción de datos.

La estación de Cambronero se ubica en la Ruta Nacional 1, en la sección de control 20060, 150 m después de la iglesia de Angostura, Puntarenas. Según datos obtenidos del “Anuario de información de Tránsito 2017” (MOPT, 2017) de mediciones realizadas entre el 1 de enero al 31 de diciembre de 2017 la estación de Cambronero tuvo un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 5 922 vehículos.

4.2.2. Análisis de velocidades en la estación.

Para este estudio se utilizaron datos de velocidades de 116 448 vehículos, registrados entre el 24 de septiembre y el 22 de octubre de 2012. La distribución correspondiente a las velocidades registradas se muestra en la Figura 6, donde se observa que la media se acerca a los 62 km/h.

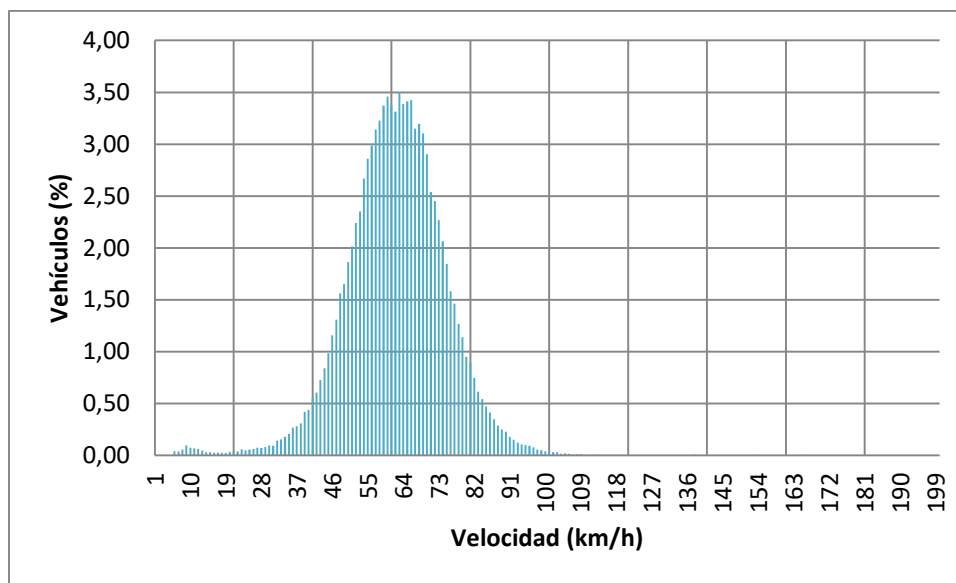


Figura 6. Distribución de velocidades en la estación permanente de Cambronero

Fuente: los autores

4.2.3. Análisis por clasificación de vehículos.

Al comparar las velocidades promedio considerando la cantidad de ejes de los vehículos se observa que los vehículos de dos ejes presentan la mayor velocidad promedio.



Cuadro 10. *Distribución de velocidades por cantidad de ejes en la estación de Cambronero*

Cantidad de ejes	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
2	88 485	61,4	12,1
3	3 516	55,2	18,2
4	3 187	54,2	15,6
5 o más	21 260	56,3	12,0

Al considerar las velocidades promedio en el análisis estadístico para determinar si existen diferencias significativas entre los vehículos según su cantidad de ejes se obtuvieron los resultados mostrados en el siguiente cuadro. No se encontraron diferencias entre las velocidades promedio de los vehículos de acuerdo al número de ejes.

Cuadro 11. *Valores P obtenidos de la prueba de hipótesis por cantidad de ejes en la estación de Cambronero*

Ejes	3	4	5 o más
2	0,000	0,000	0,000
3	-	0,017	0,001
4	-	-	0,000

En cuanto a la desviación estándar, se observan valores relativamente altos para las clases F3.

Cuadro 12. *Distribución de velocidad por clase de vehículos de dos ejes en la estación de Cambronero*

Clase	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
F1	1 374	56,6	14,2
F2	66 826	63,3	10,8
F3	11 521	66,2	19,2
F4	5 951	62,7	10,7
F5	2 813	60,3	10,2

Al comparar los promedios de velocidades entre las clases de vehículos de dos ejes se obtuvo a través de la prueba de hipótesis, que todas son significativamente diferentes entre sí, como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 13. *Valores P obtenidos de la prueba de hipótesis por tipo de vehículo de 2 ejes en la estación de Cambronero*

Clase	F2	F3	F4	F5
F1	0,000	0,000	0,000	0,000
F2	-	0,000	0,000	0,000
F3	-	-	0,000	0,000
F4	-	-	-	0,000



4.2.4. Análisis por factor temporal.

Considerando las velocidades registradas por día de la semana se tiene:

Cuadro 14. Distribución de velocidad por día de la semana en la estación de Cambronero

Día	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
Domingo	16 128	62,5	12,6
Lunes	16 216	62,3	12,7
Martes	16 190	62,1	12,6
Miércoles	17 486	61,4	14,0
Jueves	17 311	61,9	13,7
Viernes	12 043	61,3	13,9
Sábado	16 869	61,5	13,6

Se observa que la velocidad promedio de todos los días de la semana supera los 60 km/h, sin embargo, el día domingo registra tanto la mayor velocidad promedio, como el mayor porcentaje de vehículos que superan la velocidad máxima establecida. Además, se visualiza que el miércoles es el día en el que se da más tránsito, mientras que el domingo presenta el menor flujo vehicular.

Al comparar las velocidades promedio entre días de la semana se obtuvieron los valores P mostrados a continuación. Del análisis estadístico se determinó que los miércoles, viernes y sábado no presentan diferencias en sus velocidades promedio significativamente iguales. Similarmente, no se encontraron diferencias entre los días domingo y lunes y entre los días lunes y martes.

Cuadro 15. Valores P obtenidos de la prueba de hipótesis día de la semana en la estación de Cambronero

Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Domingo	0,193	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000
Lunes	-	0,336	0,000	0,011	0,000	0,000
Martes	-	-	0,000	0,109	0,000	0,000
Miércoles	-	-	-	0,001	0,481	0,332
Jueves	-	-	-	-	0,000	0,013
Viernes	-	-	-	-	-	0,112

En cuanto a la variación horaria de la velocidad promedio, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.



Cuadro 16. *Distribución de velocidad por hora del día en la estación de Cambronero*

Hora	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
0 a 1	660	62,4	14,0
1 a 2	604	62,8	12,9
2 a 3	894	62,8	14,2
3 a 4	1 910	64,3	13,5
4 a 5	3 591	65,4	14,6
5 a 6	5 230	66,6	13,5
6 a 7	6 314	65,3	13,8
7 a 8	6 478	64,3	14,1
8 a 9	6 188	63,9	13,6
9 a 10	6 506	63,2	13,6
10 a 11	6 597	62,9	13,0
11 a 12	6 913	63,2	12,7
12 a 13	7 354	62,4	12,8
13 a 14	7 539	62,0	12,7
14 a 15	8 227	61,1	12,7
15 a 16	8 293	60,8	12,4
16 a 17	8 110	58,1	12,2
17 a 18	6 959	57,8	12,3
18 a 19	5 510	58,1	13,5
19 a 20	4 461	59,7	13,0
20 a 21	3 399	59,4	13,3
21 a 22	2 344	60,3	13,7
22 a 23	1 456	61,7	13,7
23 a 24	911	62,2	13,6

Entre las 15:00 y las 16:00 se registró la mayor cantidad de vehículos, entre 1:00 y 2:00 la menor. Entre las 5:00 y las 6:00 se registró la mayor velocidad promedio (66,6 km/h).

Para analizar si las velocidades a diferentes horas del día presentaban diferencias significativas se aplicó un análisis estadístico, a partir de lo cual se obtuvo lo mostrado en el Cuadro 17. Se encontró que las velocidades promedio comprendidas entre las 22:00 a las 3:00 y las 9:00 a las 13:00 no presentan diferencias significativas. Ya que las velocidades en esas horas son aproximadamente 62 km/h.



Cuadro 17. Valores *P* obtenidos de la prueba de hipótesis por hora del día en la estación de Cambronero

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0	0,580	0,582	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,008	0,178	0,341	0,163	0,943	0,475	0,017	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,273	0,770
1	-	0,976	0,013	0,000	0,000	0,000	0,009	0,046	0,527	0,824	0,498	0,398	0,131	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,074	0,366
2	-	-	0,006	0,000	0,000	0,000	0,004	0,026	0,462	0,775	0,432	0,377	0,106	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,061	0,356
3	-	-	-	0,006	0,000	0,005	0,837	0,229	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	-	-	-	-	0,000	0,772	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	-	-	-	-	-	-	-	0,153	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,320	0,917	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,042
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,258	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,118
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,037
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,078	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,081	0,725
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,421	0,678
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,160	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,106	0,017
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,121	0,020	0,003
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,078	0,740	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,222	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,286	0,073	0,000	0,000
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,010	0,000	0,000
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,003	0,000
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,378



4.3. Estación de Cañas.

4.3.1. Descripción de datos.

Esta estación permanente se ubica sobre la Ruta Nacional 1, en San Miguel de Cañas, en el puente sobre el Río Higuerón; forma parte de la sección de control 50110. Según datos obtenidos del “Anuario de información de Tránsito 2018” (MOPT, 2018) la estación de Cañas tuvo un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 7 394 vehículos en el año 2015.

4.3.2. Análisis de velocidades en la estación.

Para este estudio se utilizaron datos de velocidades de 154 407 vehículos, registrados entre el 26 de julio y el 23 de agosto de 2011. Seguidamente, en la Figura 7 se muestra la distribución de las velocidades registradas en la estación, teniendo una velocidad promedio aproximada de 75 km/h.

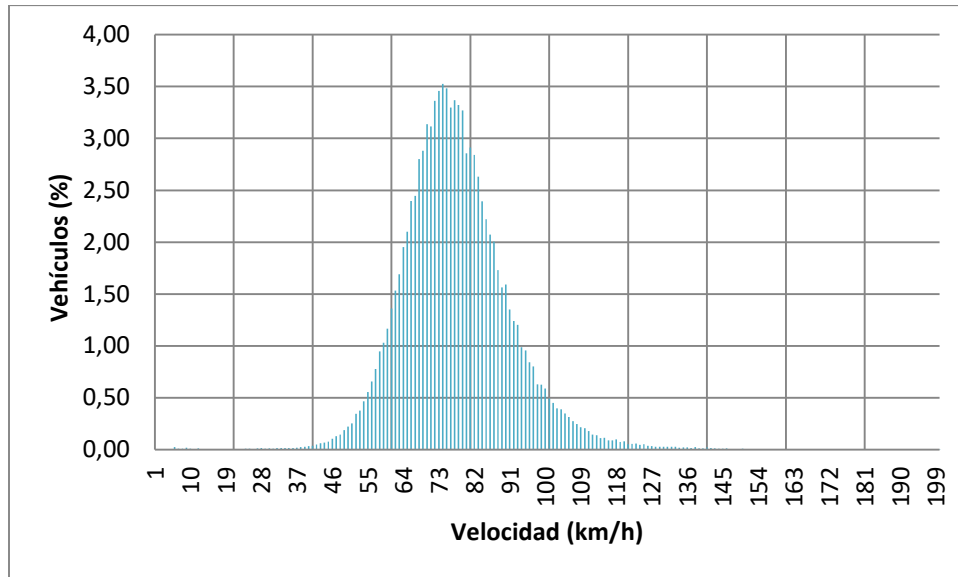


Figura 7. Distribución de velocidades en la estación permanente de Cañas
Fuente: los autores

4.3.3. Análisis por clasificación de vehículos.

Considerando la clasificación de vehículos por números de ejes se obtuvo lo mostrado en el siguiente cuadro. Como es posible observar, los vehículos de tres ejes los que registran el mayor valor de velocidad promedio y los de cuatro y cinco ejes el menor.



Cuadro 18. *Distribución de velocidades por cantidad de ejes en la estación de Cañas*

Cantidad de ejes	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
2	99 415	76,9	14,1
3	25 802	81,4	14,2
4	4 454	73,1	16,6
5 o más	24 736	73,4	12,4

Del análisis estadístico se obtuvo que solamente los vehículos de cuatro o más ejes no presentan velocidades promedio significativamente diferentes, como se evidencia en el siguiente cuadro.

Cuadro 19. *Valores P obtenidos de la prueba de hipótesis por cantidad de ejes en la estación de Cañas*

Ejes	3	4	5 o más
2	0,000	0,000	0,000
3	-	0,000	0,000
4	-	-	0,289

Tomando en cuenta la clasificación de los vehículos de dos ejes se tiene, que los vehículos tipo motocicleta (F1) presentaron las menores velocidades promedio y los que también presentaron una mayor desviación estándar.

Cuadro 20. *Distribución de velocidad por clase de vehículos de dos ejes en la estación de Cañas*

Clase	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
F1	230	67,7	19,4
F2	15 586	76,1	13,4
F3	2 555	79,3	16,3
F4	731	78,8	13,3
F5	663	73,4	12,1

Del análisis estadístico se obtuvo que los únicos que no presentaron diferencias significativas en las velocidades promedio fueron los vehículos tipo pick-up (F3) y los camiones (F4).



Cuadro 21. Valores *P* obtenidos de la prueba de hipótesis por tipo de vehículo de 2 ejes en la estación de Cañas

Clase	F2	F3	F4	F5
F1	0,000	0,000	0,000	0,000
F2	-	0,000	0,000	0,000
F3	-	-	0,407	0,000
F4	-	-	-	0,000

4.3.4. Análisis por factor temporal.

Al estudiar el registro de velocidades clasificado por días de la semana se observa que el día domingo presenta una velocidad superior a las de los demás días; seguido por lunes, martes y jueves; mientras que el viernes se presentan las velocidades más bajas.

Cuadro 22. Distribución de velocidad por día de la semana en la estación de Cañas

Día	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
Domingo	18 060	78,8	14,1
Lunes	21 308	78,1	14,2
Martes	20 897	77,0	13,9
Miércoles	21 941	76,4	14,4
Jueves	22 637	76,8	13,7
Viernes	26 433	76,1	14,0
Sábado	23 131	76,4	14,4

Estadísticamente se evidenció que el domingo presenta la velocidad promedio más alta. Por otro lado, los días martes y jueves no presentan velocidades promedio significativamente diferentes, lo mismo ocurre con los días miércoles y sábados.

Cuadro 23. Valores *P* obtenidos de la prueba de hipótesis día de la semana en la estación de Cañas

Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Domingo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Lunes	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Martes	-	-	0,000	0,153	0,000	0,000
Miércoles	-	-	-	0,010	0,009	0,623
Jueves	-	-	-	-	0,000	0,002
Viernes	-	-	-	-	-	0,034

Al analizar la velocidad a la que transitan los vehículos por la estación Cañas a diferentes horas del día, se obtienen los que se muestra en el siguiente cuadro; cabe destacar que



entre las 4:00 y 5:00 horas se presenta el mayor valor (84, km/h); mientras que entre las 18:00 y 19:00 se registró la menor velocidad promedio (72,7 km/h).

Cuadro 24. *Distribución de velocidad por hora del día en la estación de Cañas*

Hora	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
0 a 1	1 266	83,2	19,4
1 a 2	847	82,7	19,1
2 a 3	841	83,6	17,6
3 a 4	1 043	83,4	15,8
4 a 5	2 290	84,3	15,0
5 a 6	5 349	82,3	15,5
6 a 7	7 364	80,3	13,9
7 a 8	8 193	78,3	14,2
8 a 9	8 368	77,2	13,5
9 a 10	8 849	76,1	13,1
10 a 11	9 260	76,4	12,9
11 a 12	9 416	76,4	12,8
12 a 13	9 230	76,8	13,1
13 a 14	9 175	77,1	12,6
14 a 15	10 301	75,7	12,4
15 a 16	10 740	75,3	13,1
16 a 17	10 928	74,4	12,6
17 a 18	10 565	74,5	13,1
18 a 19	8 774	72,7	14,0
19 a 20	6 822	75,8	15,4
20 a 21	5 368	78,4	15,8
21 a 22	4 203	80,1	16,5
22 a 23	3 128	81,6	16,8
23 a 24	2 087	82,3	18,7

Estadísticamente se encontró que pese a que entre las 4:00 y 5:00 se presenta la mayor velocidad promedio, no se encontraron diferencias significativas en la velocidad promedio registrada durante otras horas de la madrugada.



Cuadro 25. Valores *P* obtenidos de la prueba de hipótesis por hora del día en la estación de Cañas

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0	0,559	0,576	0,790	0,060	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	0,217
1	-	0,285	0,397	0,021	0,620	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,152	0,657
2	-	-	0,738	0,288	0,044	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,076
3	-	-	-	0,090	0,053	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,105
4	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,060	0,997
6	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,413	0,000	0,000
7	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,597	0,000	0,000	0,000
8	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,049	0,618	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,139	0,080	0,000	0,000	0,045	0,000	0,000	0,000	0,000	0,265	0,000	0,000	0,000	0,000
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,789	0,037	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,067	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,117	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,013	0,000	0,000	0,000	0,612	0,000	0,000	0,000	0,000
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,437	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,174



4.4. Estación de Guápil.

4.4.1. Descripción de datos.

La estación permanente Guápil se localiza en la Ruta Nacional 34, frente a la entrada a playa Guápil, en la sección de control 60101. Según datos obtenidos del “Anuario de información de Tránsito 2018” (MOPT, 2018) la estación de Guápil tuvo un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 6 176 vehículos en el año 2015.

4.4.2. Análisis de velocidades en la estación.

Para este estudio de utilizaron datos de velocidades de 51 516 vehículos, registrados entre el 3 de agosto y el 22 de agosto de 2012. En la siguiente figura se presenta la distribución de las velocidades medidas, donde es posible notar que, en promedio, los vehículos se movilizan a 82 km/h.

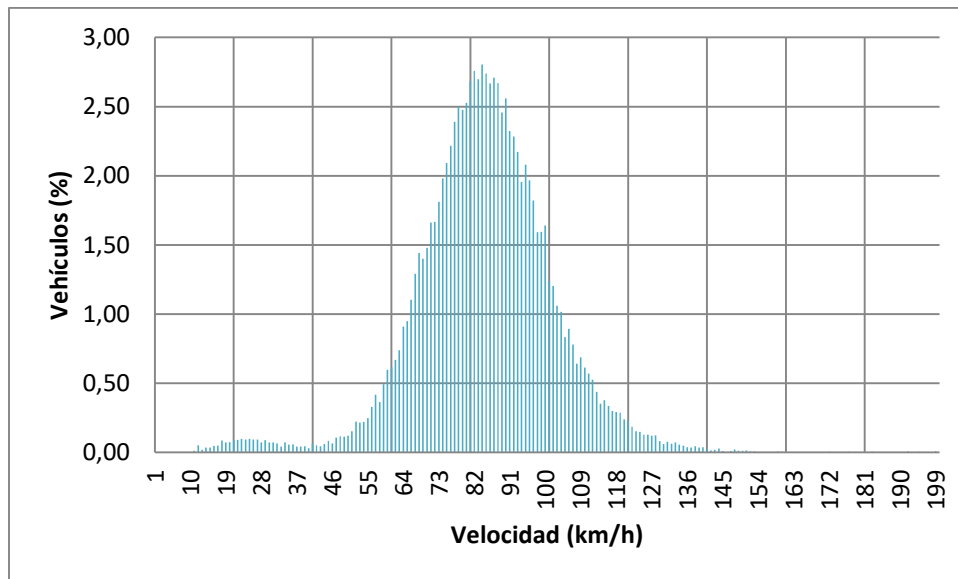


Figura 8. Distribución de velocidades en la estación permanente de Guápil

Fuente: los autores

4.4.3. Análisis por clasificación de vehículos.

Al considerar las velocidades promedio de acuerdo al número de ejes de los vehículos, se tiene que los vehículos de dos ejes presentan la mayor velocidad promedio (85,4 km/h).



Cuadro 26. *Distribución de velocidades por cantidad de ejes en la estación de Guápil*

Cantidad de ejes	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
2	43 617	85,4	18,0
3	1 125	78,1	18,4
4	632	76,2	18,0
5 o más	6 142	79,7	14,1

Adicionalmente, se encontró que todos los tipos de vehículos se movilizan a velocidades promedio significativamente distintas entre sí, como se evidencia en el siguiente cuadro. Existiendo dudas en el caso de la diferencia de la velocidad promedio entre los vehículos de tres y cuatro ejes.

Cuadro 27. *Valores P obtenidos de la prueba de hipótesis por cantidad de ejes en la estación de Guápil*

Ejes	3	4	5 o más
2	0,000	0,000	0,000
3	-	0,037	0,006
4	-	-	0,000

Al considerar los vehículos de dos ejes únicamente, se tiene que los vehículos clasificados F2, F3 y F4 presentan una velocidad promedio mayor respecto a los vehículos clasificados como F1 (motocicletas) y los vehículos F5 (autobuses).

Cuadro 28. *Distribución de velocidad por clase de vehículos de dos ejes en la estación de Guápil*

Clase	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
F1	934	75,5	16,9
F2	28 187	85,4	18,1
F3	28 186	85,5	18,3
F4	847	84,4	13,8
F5	654	76,8	16,0

Lo anterior es coincidente con el análisis estadístico respectivo donde es posible observar que las velocidades promedio de las motocicletas (F1) y los autobuses (F5) no presentan diferencias significativas y que son diferentes a los otros tres tipos de vehículos de dos ejes (F2, F3 y F4).



Cuadro 29. Valores *P* obtenidos de la prueba de hipótesis por tipo de vehículo de 2 ejes en la estación de Guápil

Clase	F2	F3	F4	F5
F1	0,000	0,000	0,000	0,106
F2		0,711	0,034	0,000
F3			0,026	0,000
F4				0,000

4.4.4. Análisis por factor temporal.

En cuanto al análisis por día de la semana se tiene que todos los días presentan velocidades promedio similares, con excepción del día lunes que presenta un ligero aumento de la velocidad promedio. La desviación estándar es muy similar para todos los días de la semana.

Cuadro 30. Distribución de velocidad por día de la semana en la estación de Guápil

Día	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
Domingo	7 604	82,2	19,2
Lunes	8 807	85,0	19,5
Martes	8 389	83,6	19,7
Miércoles	7 427	83,6	19,6
Jueves	7 417	83,5	19,6
Viernes	6 714	83,3	20,4
Sábado	5 752	83,1	20,6

Aplicando la prueba de hipótesis para evaluar si las velocidades son iguales entre días de la semana se obtuvieron los siguientes valores *P*, se comprobó que la velocidad promedio registrada los lunes es significativamente diferente a la contabilizada el resto de días de la semana.

Cuadro 31. Valores *P* obtenidos de la prueba de hipótesis día de la semana en la estación de Guápil

Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Domingo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,015
Lunes	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Martes	-	-	0,930	0,811	0,463	0,125
Miércoles	-	-	-	0,751	0,425	0,115
Jueves	-	-	-	-	0,621	0,198
Viernes	-	-	-	-	-	0,432

Al considerar cada hora el día se tiene lo mostrado en el siguiente cuadro, y se observa que entre las 7:00 y las 8:00 horas se registró la mayor velocidad promedio.

Informe LM-PI-USVT-016-19	16 de diciembre , 2019	Página 28 de 34
---------------------------	------------------------	-----------------



Cuadro 32. *Distribución de velocidad por hora del día en la estación de Guápil*

Hora	Número de vehículos	Velocidad promedio (km/h)	Desviación estándar (km/h)
0 a 1	415	83,1	19,8
1 a 2	314	80,9	17,1
2 a 3	293	85,1	17,7
3 a 4	395	85,0	18,7
4 a 5	610	86,1	16,3
5 a 6	1 551	86,4	24,0
6 a 7	2 495	86,6	24,0
7 a 8	2 762	88,0	19,8
8 a 9	2 870	85,7	19,4
9 a 10	3 054	84,8	19,0
10 a 11	3 177	84,1	19,5
11 a 12	3 207	84,4	18,4
12 a 13	3 153	84,2	19,8
13 a 14	3 528	84,2	20,4
14 a 15	3 784	83,6	19,2
15 a 16	3 944	83,9	19,2
16 a 17	3 890	82,7	19,4
17 a 18	3 551	82,1	19,4
18 a 19	2 586	77,5	17,6
19 a 20	2 104	79,3	16,7
20 a 21	1 603	79,7	18,1
21 a 22	1 182	80,9	19,2
22 a 23	1 013	82,9	18,1
23 a 24	6 26	82,7	17,7

Al realizar la prueba de hipótesis entre las horas del día se obtuvieron los valores P que se muestran en el Cuadro 33. Dentro de los hallazgos importantes, se encontró que la velocidad promedio es significativamente igual entre las 22:00 y las 4:00 horas; además, entre las 2:00 y las 4:00 la velocidad promedio no presenta diferencias significativas respecto a las presentadas entre las 9:00 y 15:00.



Cuadro 33. Valores *P* obtenidos de la prueba de hipótesis por hora del día en la estación de Guápil

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0	0,110	0,171	0,173	0,012	0,004	0,002	0,000	0,014	0,103	0,320	0,199	0,281	0,275	0,657	0,436	0,658	0,300	0,000	0,000	0,001	0,044	0,874	0,728
1	-	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001	0,009	0,003	0,086	0,267	0,001	0,115	0,231	0,957	0,072	0,139
2	-	-	0,944	0,411	0,269	0,192	0,008	0,582	0,812	0,401	0,563	0,449	0,454	0,169	0,288	0,027	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,072	0,060
3	-	-	-	0,335	0,204	0,134	0,003	0,487	0,872	0,414	0,595	0,467	0,473	0,161	0,289	0,021	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,066	0,055
4	-	-	-	-	0,724	0,558	0,012	0,590	0,088	0,010	0,026	0,014	0,014	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
5	-	-	-	-	-	0,837	0,025	0,308	0,023	0,001	0,005	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	-	-	-	-	-	-	0,018	0,142	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	-	-	-	-	-	-	-	-	0,084	0,002	0,011	0,005	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,178	0,437	0,248	0,251	0,008	0,054	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,008
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,541	0,857	0,838	0,220	0,617	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,070	0,067
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,675	0,687	0,056	0,243	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,026
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,982	0,161	0,494	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,053	0,053
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,149	0,473	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,050
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,437	0,040	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,329	0,261
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,132	0,117
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,175	0,000	0,000	0,000	0,005	0,673	0,966
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,065	0,177	0,409
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,546	0,019	0,000
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,090	0,000
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,009
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,792



5. Conclusiones y Recomendaciones

En todas las estaciones, a excepción de la de Cañas, los vehículos de dos ejes presentaron la máxima velocidad promedio. Al considerar dicha cantidad de ejes, se encontró que los vehículos clasificados tipo F3 son los que presentaron la velocidad promedio mayor.

Por lo general, como era de esperar, las velocidades promedio máximas se presentan en las horas de la madrugada, periodos que coinciden con la menor presencia de vehículos, esto podría indicar que los conductores aumentan sus velocidades ante los bajos volúmenes vehiculares presentes a esas horas.

Las desviaciones estándar obtenidas variaron en todas las estaciones, sus valores se encuentran entre los 10,2 y los 24 km/h. Los valores son superiores a los valores promedio recomendados por ITE (2010), que corresponden a 8,5 km/h para carreteras rurales. En otro estudio realizado en Nariño, Colombia (Cortés y Estrella, 2013) se observaron desviaciones promedio de velocidad entre los 11,9 km/h para autobuses y 13,8 km/h para la vía entre las ciudades de Tumaco y Pasto. Por otro lado, Zamora-Rojas, Oconitrillo-Varela, Zamora-Herrera, Jiménez-Romero y Loría-Salazar (2017) obtuvieron valores de desviación estándar entre los 4,13 y 9,02 km/h, para una vía urbana en San Pedro de Montes de Oca.

Cuadro 34. *Valores mínimos de desviación estándar observados*

Estación	Variable	Valor Máximo	Desviación Estándar (km/h)
Búfalo	Ejes	5 o más ejes	12,6
Cambronero		5 o más ejes	12,0
Cañas		5 o más ejes	12,4
Guápil		5 o más ejes	14,1
Búfalo	Vehículos de dos ejes	F5	12,3
Cambronero		F5	10,2
Cañas		F5	12,1
Guápil		F4	13,8
Búfalo	Día de la semana	Sábado	14,2
Cambronero		Domingo y Martes	12,6
Cañas		Jueves	13,7
Guápil		Domingo	19,2
Búfalo	Hora del día	11:00	12,9
Cambronero		16:00	12,2
Cañas		14:00	12,4
Guápil		4:00	16,5



Cuadro 35. Valores máximos de desviación estándar observados

Estación	Variable	Valor Máximo	Desviación Estándar (km/h)
Búfalo	Ejes	4 ejes	19,2
Cambronero		3 Ejes	18,2
Cañas		4 Ejes	16,6
Guápil		1 y 4 Ejes	18,0
Búfalo	Vehículos de dos ejes	F3	21,7
Cambronero		F3	19,2
Cañas		F1	19,4
Guápil		F3	18,3
Búfalo	Día de la semana	Domingo	16,2
Cambronero		Miércoles	14,0
Cañas		Miércoles y Sábado	14,4
Guápil		Sábado	20,6
Búfalo	Hora del día	1:00	18,3
Cambronero		2:00	14,2
Cañas		0:00	19,4
Guápil		5:00 y 6:00	24,0

A pesar de que el conocimiento de la desviación estándar de la velocidad es un parámetro de entrada para estimar el tamaño de muestra en un estudio de velocidades, no existe documentación abundante respecto a este parámetro.

El gran número de observaciones hace que diferencias muy pequeñas en los promedios sean detectadas por las pruebas estadísticas realizadas.

Al realizar correcciones por Bonferroni, especialmente para las comparaciones por hora del día, se podrían generar cambios en los resultados debido a la gran cantidad de comparaciones que se están realizando simultáneamente (276 comparaciones). En estos casos, es necesario realizar análisis posteriores.

En cuanto al análisis por día de la semana no se encontró ningún patrón entre las estaciones.

Es recomendable que en el país se genere un estudio relacionado con la clasificación vehicular para vehículos de dos ejes, con el fin de contar con información más detallada y una clasificación adecuada respecto a los diferentes vehículos de dos ejes que existen en el país.



6. Referencias

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2009). *AASHTO Guidelines for traffic programs [Directrices de AASHTO para programas de datos de tráfico]* (2ª ed.). Washington D.C.: AASHTO.
- Consejo de 30/11/ 2019 Seguridad Vial. (2019). Estadísticas de muertos en sitio provisionales en accidentes de tránsito 2018- Octubre 2019. San José, Costa Rica. Obtenido de <https://www.csv.go.cr/documents/20126/50694/Estadisticas+muertos+en+sitio+provisionales+2018-+Octubre2019+%281%29.pdf/026c91b5-3025-e393-42c6-3a94fbad25d4?t=1574094757781>
- Cortés, R., & Estrella, C. (2013). Estudio de velocidad de operación y análisis del perfil de velocidades del trayecto Tumaco–Pasto K6+ 850–K 25+ 000 mediante la utilización de radar. Universidad de Nariño
- Edquist, J., Rudin Brown, C., & Lenné, M. (2009). Road design factors and their interactions with speed and speed limits. Victoria, Australia: MONASH University Accident Research Centre.
- Hernández Vega, H., Morales Aguilar, M., Jiménez Romero, D., Leiva Villacorta, F., & Loría Salazar, G. (2016). Análisis descriptivo de patrones de velocidad a partir de datos de estaciones permanentes de monitoreo del tránsito de Costa Rica. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
- Homburger, W. S., & Kell, J. H. (1984). *Fundamentals of traffic engineering*
- ITE (2010). *Manual of transportation engineering studies*. Institute of Transportation Engineers
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (2017). *Anuario de Información de Tránsito 2017*.
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (2018). *Anuario de Información de Tránsito 2018*.
- Shafiee, M. H., Nassiri, S., Eng, P., & Bayat, A. (2014). *Field investigation of the effect of operational speed and lateral wheel wander on flexible pavement mechanistic responses*. Transportation 2014: Past, Present Future. Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Zamora-Rojas, J., Oconitrillo-Varela, E., Zamora-Herrera, M., Jiménez-Romero, D., & Loría-Salazar, L. G. (2017). Estudio del impacto del radar pedagógico como medida de seguridad vial de tráfico calmado para disminución de la velocidad en vías urbanas. Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.