

**ESTUDIO DE LAS VELOCIDADES EN VÍAS ARTERIAS CONECTANTES DEL  
ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

**DIEGO ANDRÉS SANABRIA VARGAS  
CRISTIAN ALFONSO VALBUENA GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2018**

**ESTUDIO DE LAS VELOCIDADES EN VÍAS ARTERIAS CONECTANTES DEL  
ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

**DIEGO ANDRÉS SANABRIA VARGAS  
CRISTIAN ALFONSO VALBUENA GONZÁLEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de: Ingeniero Civil**

**Director**

**LUIS DAVID AREVALO DURAN  
Esp. en ingeniería de tránsito y transporte**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos la colaboración recibida por quienes hicieron posible la realización de este proyecto en especial:

Al profesor Luis David Arévalo Duran por la dirección dada y los conocimientos compartidos gracias a la experiencia tanto académica, profesional y personal.

A nuestra escuela de ingeniería civil de la universidad industrial de Santander al instruirnos académica, profesional y personalmente.

A los demás profesores de la universidad industrial de Santander que hicieron parte de nuestra formación como profesionales íntegros dignos de esta universidad.

A nuestros padres por apoyarnos en el crecimiento académico que nos brindaron para nuestra realización íntegra que hace parte de una sociedad.

Y en especial Dios la sabiduría, paciencia, oportunidades de poder realizar con éxito este proyecto.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	13
1. MARCO TEÓRICO .....	14
1.1 DEFINICIONES .....	14
1.1.1 Velocidad: .....	14
1.1.2 Velocidad Mínima: .....	15
1.1.3 Velocidad Media: .....	15
1.1.4 Velocidad de marcha .....	15
1.1.5 Velocidad de proyecto .....	15
1.2 ESTUDIOS DE VELOCIDAD: .....	16
1.2.1 Estudios de velocidad de punto .....	16
1.2.2 Estudios de velocidad de recorrido: .....	17
2 INFORMACIÓN DE LOS TRAMOS DE PRUEBA .....	18
2.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO .....	18
2.1.1 Bucaramanga – Girón .....	19
2.1.2 Girón – Lebrija: .....	19
2.1.3 Bucaramanga – Floridablanca: .....	20
2.1.4 Floridablanca – Piedecuesta: .....	20
2.1.5 Bucaramanga – vía la costa: .....	21
2.1.6 Bucaramanga – Cúcuta: .....	21
3. METODOLOGÍA .....	22
3.1 GENERALIDADES .....	22
3.1.1 Distancia del recorrido analizado. ....	23
3.2 FORMATO DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	23
3.3 TOMA DE MUESTRAS.....	25

4. CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE METODOLOGÍA CON LOS RESULTADOS OBSERVADOS.....	26
4.1 AGRUPACIÓN DE DATOS MEDIANTE DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA:.....	26
4.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA:.....	29
4.3 PERCENTILES .....	31
5. CONCLUSIONES .....	35
BIBLIOGRAFÍA.....	38

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Bucaramanga – Girón.....	19
Figura 2. Girón – Lebrija .....	19
Figura 3. Bucaramanga – Floridablanca .....	20
Figura 4. Floridablanca – Piedecuesta.....	20
Figura 5. Bucaramanga – vía la costa .....	21
Figura 6. Bucaramanga – Cúcuta .....	21
Figura 7. Formato de recolección de datos en campo .....	24
Figura 8. Histograma de frecuencias de velocidades de punto .....	29
Figura 9. Curva de frecuencias observadas de velocidades de punto.....	30
Figura 10. Curva de frecuencias acumulada de velocidades de punto.....	30
Figura 11. Percentiles y velocidades. ....	32
Figura 12. Percentiles y velocidades .....	32
Figura 13. Percentiles y velocidades .....	33
Figura 14. Percentiles y velocidades .....	33
Figura 15. Percentiles y velocidades .....	34
Figura 16. Percentiles y velocidades .....	34

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Número de intervalos de clase por tamaño de muestra.....	26
Tabla 2. Distribuciones de frecuencia de velocidad de punto. ....	27
Tabla 3. Velocidades y percentiles de los tramos analizados .....	36
Tabla 4. Comparación entre las velocidades establecidas, calculas y recomendadas .....	36

## RESUMEN

**Titulo:** Estudio de las velocidades en vías arterias conectantes del Área Metropolitana de Bucaramanga.\*

**Autores:** Diego Andrés Sanabria Vargas  
Cristian Alfonso Valbuena González \*\*

**Palabras Clave:** : área metropolitana, flujo vehicular, transitabilidad.

En el área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga, se ve constantemente alterada la movilidad entre sus municipios que la conforman, tales como Girón, Floridablanca, Piedecuesta, Lebrija y las salidas a la costa y a Cúcuta, debido a que se presentan accidentes, construcciones, reparaciones, mal estado de las vías, incorrecta marcación de señalización o inexistente en algunos casos. Como parte del desarrollo productivo del sector, se encuentra la optimización del flujo vehicular entre los municipios. Con el presente estudio se pretende establecer un análisis actual del flujo vehicular que componen el área metropolitana, en donde se permita observar que vías conservan las condiciones en las cuales la transitabilidad del transporte público y privado sea el adecuado. En el área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga, se ve constantemente alterada la movilidad entre sus municipios que la conforman, tales como Girón, Floridablanca, Piedecuesta, Lebrija y las salidas a la costa y a Cúcuta, debido a que se presentan accidentes, construcciones, reparaciones, mal estado de las vías, incorrecta marcación de señalización o inexistente en algunos casos. Como parte del desarrollo productivo del sector, se encuentra la optimización del flujo vehicular entre los municipios. Con el presente estudio se pretende establecer un análisis actual del flujo vehicular que componen el área metropolitana, en donde se permita observar que vías conservan las condiciones en las cuales la transitabilidad del transporte público y privado sea el adecuado.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil Director: Luis David Arevalo Duran

## ABSTRACT

**Title:** Study of speeds in connecting arterial roads of the Metropolitan Area of Bucaramanga.\*

**Authors:** Diego Andrés Sanabria Vargas  
Cristian Alfonso Valbuena González \*\*

**Keywords:** metropolitan area, vehicular traffic flow, transitability

On Bucaramanga city's metropolitan area, it seems constantly altered the mobility between its closer towns, like Girón, Piedecuesta, Floridablanca, Lebrija, and the known as costa's and Cucuta's exits, by the presence of accidents, constructions, repairs, bad state of the routs, the incorrect signages or the nonexistence of them in some cases. As part of the sector's productive development, it finds the optimization of vehicular traffic flow between the municipalities. with this study its pretend to establish a current analysis of the vehicular traffic flow that make the metropolitan area. where it can observe in which routes maintain the conditions where the private and public transport's transitability had been the appropriate. On Bucaramanga city's metropolitan area, it seems constantly altered the mobility between its closer towns, like Girón, Piedecuesta, Floridablanca, Lebrija, and the known as costa's and Cucuta's exits, by the presence of accidents, constructions, repairs, bad state of the routs, the incorrect signages or the nonexistence of them in some cases. As part of the sector's productive development, it finds the optimization of vehicular traffic flow between the municipalities. with this study its pretend to establish a current analysis of the vehicular traffic flow that make the metropolitan area. where it can observe in which routes maintain the conditions where the private and public transport's transitability had been the appropriate.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías físicas y mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil Director: Luis David Arevalo Duran

## INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Bucaramanga se realiza la mayor parte del desarrollo comercial de la región, y con el aumento de la economía colombiana del 1.8%, según el DANE<sup>1</sup> durante el año del 2017<sup>1</sup>, se aprecia el crecimiento tanto urbano como poblacional en el área metropolitana; los cuales demandan más infraestructura y movilidad. Una alternativa para mejorar la eficacia y desarrollo de las vías existentes es la optimización del flujo vehicular que comunican a Bucaramanga con los municipios vecinos es asegurando que las velocidades con las que se movilizan los automotores sean las más apropiadas, y que a su vez puedan ser reguladas por los organismos de tránsito y las autoridades de transporte de los municipios.

---

<sup>1</sup> DANE Proyección Municipios 2005 – 2020 [en línea] disponible en: [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06\\_20/ProyeccionMunicipios2005\\_2020.xls](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xls)

## 1. MARCO TEÓRICO

La velocidad se ha establecido como uno de los indicadores principales para calificar la calidad de un sistema de transporte, en la que la experiencia del usuario se define por la reducción de demoras. Las velocidades alcanzadas por los vehículos actuales son en su mayoría superiores a las que fueron inicialmente diseñadas las vías, en lo que resulta un posible ajuste a estos parámetros para satisfacer el equilibrio entre el usuario, el vehículo y la vía, sin que se altere la seguridad del sistema.

### 1.1 DEFINICIONES

**1.1.1 Velocidad:** Como termino general, relaciona el espacio recorrido y el tiempo empleado en recorrerlo. Refiriéndose a esta usualmente en kilómetros por hora [km/h]. y se define por la función lineal, en el caso de la velocidad constante como:<sup>2</sup>.

$$v = \frac{d}{t} \quad (1)$$

Donde:

*v = velocidad constante [Km/h]*

*d = distancia recorrida [Km]*

*t = tiempo de recorrido [h]*

---

<sup>2</sup> MAYOR R., Rafael Cal Y CÁRDENAS G, James Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones 8° Edición, México Enero 2007. p 205

Para vehículos en movimiento, este concepto puede tener unas variaciones dependiendo al estudio al que vaya a ser sometido. Tales como:

**1.1.2 Velocidad Mínima:** Velocidad en la cual los vehículos tienen permitido transitar en un tramo de vía determinado, el conducir por debajo de este límite altera la fluidez del tránsito de la vía.

**1.1.3 Velocidad Media:** Es la media aritmética de la velocidad de todos los vehículos que pasan por un punto durante un intervalo de tiempo seleccionado, Para datos de velocidades de punto no agrupados, la velocidad media temporal se define como: <sup>3]</sup>

$$v_t = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad (2)$$

Donde:

$v_t$  = *velocidad media temporal*

$v_i$  = *velocidad de punto del vehículo i*

$n$  = *número total de vehículos observados en el punto o tamaño de la muestra*

**1.1.4 Velocidad de marcha** Para un vehículo, la velocidad de marcha o velocidad de cruce es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento. Para obtener la velocidad de marcha en un viaje normal, se descontará del tiempo total de recorrido, todo aquel tiempo que el vehículo se hubiese detenido, por cualquier causa. Por lo tanto, esta velocidad por lo general será de valor superior a la de recorrido. <sup>4</sup>

**1.1.5 Velocidad de proyecto** Llamada también velocidad de diseño es la velocidad máxima a la cual pueden circular los vehículos con seguridad sobre una sección

---

<sup>3</sup> Ibíd. p. 208

<sup>4</sup> Ibíd. p. 218

específica de una vía, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito con tan favorables que las características geométricas del proyecto gobiernan la circulación. Todos aquellos elementos geométricos del alineamiento horizontal, vertical y transversal, tales como radios mínimos, pendientes máximas, distancias de visibilidad, sobreelevaciones, anchos de carriles y acotamientos, anchuras y alturas libres, etc., dependen de la velocidad de proyecto y varían con un cambio de esta. La selección de la velocidad de proyecto depende de la importancia o categoría de la futura vía, de los volúmenes de tránsito que va a mover, de la configuración topográfica de la región, del uso del suelo y de la disponibilidad de recursos económicos. Al proyectar un tramo de una vía, es conveniente, aunque no siempre factible, los cambios drásticos en condiciones topográficas y sus limitaciones mismas, puede obligar a usar diferentes velocidades de proyecto para distintos tramos. <sup>5</sup>

## **1.2 ESTUDIOS DE VELOCIDAD:**

Uno de los indicadores que más se utiliza para medir la eficiencia de un sistema vial es la velocidad de los vehículos. Desde este punto de vista, para medir la calidad del movimiento del tránsito se utilizan la velocidad de punto, en dos componentes de media temporal y media espacial; la velocidad de recorrido y la velocidad de marcha. <sup>6</sup>

**1.2.1 Estudios de velocidad de punto** La mayor parte de los estudios de velocidad se refieren a la velocidad de los vehículos en determinado punto de una carretera o de una calle. los estudios de velocidad de punto están diseñados para medir las características de la velocidad en un lugar específico, bajo condiciones prevaletientes del tránsito y del estado del tiempo en el momento de llevar a cabo

---

<sup>5</sup> Ibíd.. p 221-237

<sup>6</sup> Ibíd.

el estudio, que permiten obtener la distribución de velocidades por grupos de usuarios. La finalidad de este estudio es definir el comportamiento del flujo vehicular del tramo analizado, para esto, se calculan las velocidades: mínima, media, de marcha y de proyecto, el cual es el método utilizado en este proyecto para analizar las velocidades que se extraen del estudio y compararlas con las establecidas en los tramos. <sup>7</sup>

**1.2.2 Estudios de velocidad de recorrido:** Naturalmente para determinar la velocidad de recorrido es necesario tener los tiempos de recorrido, los que a su vez están asociados con las demoras. Los propósitos del estudio de tiempos de recorrido y demoras son: evaluar la calidad del movimiento vehicular a lo largo de una ruta y determinar la ubicación, tipo y magnitud de las demoras del tránsito. La calidad del flujo se mide por las velocidades de recorrido y de marcha. En el momento del estudio, los tiempos de recorrido y de marcha son observados y convertidos posteriormente a medidas de velocidad. <sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> Ibíd.

<sup>8</sup> Ibíd.

## 2 INFORMACIÓN DE LOS TRAMOS DE PRUEBA

En los seis tramos analizados, el muestreo se realizó en dirección saliendo de la ciudad de Bucaramanga. Se escogieron los tramos que no se vieran afectados por el acceso de vías alternas que interfirieran significativamente las velocidades con que se movilizaban los vehículos.

### 2.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO

Para aplicar el *ESTUDIO DE VELOCIDAD DE PUNTO* que propone la teoría del libro “Ingeniería del tránsito, fundamentos y aplicaciones” <sup>94</sup>] pide establecer el tramo en el cual se llevara a cabo el estudio. Los puntos en rojo que próximamente se señalan representan la finalización del tramo de cincuenta metros y con el de color azul donde inicio. Adicionalmente se especifica la velocidad demarcada por la señalización presente en los tramos. En este estudio se eligieron vías que conectan a la ciudad de Bucaramanga con los seis municipios más cercanos.

---

<sup>9</sup> Ibíd. p 218

### 2.1.1 Bucaramanga – Girón

Figura 1. Bucaramanga – Girón



Coordenadas: 7.084284, -73.153789

Velocidad: 40 Km/h

### 2.1.2 Girón – Lebrija:

Figura 2. Girón – Lebrija



Coordenadas: 7.111357, -73.215717

Velocidad: 40 Km/h

### 2.1.3 Bucaramanga – Floridablanca:

Figura 3. Bucaramanga – Floridablanca



**Coordenadas: 7.0717017,-73.1063528**

**Velocidad: 80 Km/h**

### 2.1.4 Floridablanca – Piedecuesta:

Figura 4. Floridablanca – Piedecuesta



**Coordenadas: 7.057399, -73.085851**

**Velocidad: 50 Km/h**

### 2.1.5 Bucaramanga – vía la costa:

Figura 5. Bucaramanga – vía la costa



Coordenadas: 7.2101536,-73.1323301

Velocidad: 30 Km/h

### 2.1.6 Bucaramanga – Cúcuta:

Figura 6. Bucaramanga – Cúcuta



Coordenadas: 7.1247429,-73.0955948

Velocidad: 30 Km/h

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 GENERALIDADES

Los estudios de velocidad de punto, el cual es el que se va a llevar acabo en este proyecto, se caracteriza ya que sus resultados pueden aplicarse tanto para encontrar tendencias de velocidades cuando se toman de manera periódica los datos, también se pueden identificar los lugares con problemas de velocidad, análisis de accidentes, y para estudios de investigación, el cual sus resultados son los ideales para el análisis que se requiere realizar en el proyecto. <sup>10</sup>

##### 1.1.1. TAMAÑO DE MUESTRA:

El tamaño apropiado de la muestra se determina con una operación entre la desviación estándar S, y el error estándar E, junto con un nivel de confiabilidad K, mediante la fórmula:

$$n = \left( \frac{SK}{E} \right)^2 \quad (3)$$

Debido a que para los tramos analizados en el proyecto no cuentan con estudios previos, la teoría del método que se está aplicando permite utilizar como parámetros iniciales una desviación estándar promedio de 8.0 Km/h, como valor empírico para velocidades de punto en cualquier tipo de vía y de tránsito. Y sugiere un error estándar que puede rondar entre  $\pm 8.0$  km/h a  $\pm 1.5$  km/h o menos aún. <sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Ibíd.

<sup>11</sup> Ibíd. p. 218

$$n = \left( \frac{8.0 * 2}{1.5} \right)^2$$

Donde:

S = 8.0 km/h

E = 1.5 km/h

K = 2

En la que se obtiene un tamaño de muestra n de 114 vehículos, y para el proyecto se empleará un tamaño de muestra de 150 vehículos.

**3.1.1 Distancia del recorrido analizado.** En los tramos se identifica una distancia de 50m, en los cuales será medido el tiempo que se demora cada vehículo en atravesar ese umbral.

### **3.2 FORMATO DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

El formato usado en campo es compuesto por dos partes, la primera en donde se registra la información general de la muestra, tales como la *fecha* del en la cual se lleva a cabo el conteo, la *hora* donde se registra el intervalo de tiempo en el que se estuvo en el punto recopilando la información, la *distancia* que ya está definida por 50m en los cuales se toma el tiempo de los vehículos en recorrerla y la *ubicación* para identificar en que tramo se encontraban.

La segunda parte es una tabla con tres columnas donde se registran los 150 tiempos de los vehículos en segundos en que demoran en recorrer los 50m, y la columna para registrar las respectivas velocidades calculadas al dividir los 50m en cada tiempo. Definiendo la respectiva conversión a kilómetros por hora [km/h]

Figura 7. Formato de recolección de datos en campo

<b>FECHA</b>	22/05/2018
<b>HORA</b>	11:30 AM - 12:30 PM
<b>DISTANCIA</b>	50 m
<b>UBICACIÓN</b>	VIA LEBRIJA

<b>MUESTRA</b>	<b>TIEMPO (s)</b>	<b>VEL (Km/h)</b>
1	2.24	80.36
2	2.30	78.26
3	2.32	77.59
4	2.35	76.6
5	2.37	75.95

<b>FECHA</b>	22/05/2018
<b>HORA</b>	11:30 AM - 12:30 PM
<b>DISTANCIA</b>	50 m
<b>UBICACIÓN</b>	VIA LEBRIJA

<b>MUESTRA</b>	<b>TIEMPO (s)</b>	<b>VEL (Km/h)</b>
1	2.24	80.36
2	2.30	78.26
3	2.32	77.59
4	2.35	76.6
5	2.37	75.95

<b>MUESTRA</b>	<b>TIEMPO (s)</b>	<b>VEL (Km/h)</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>TIEMPO (s)</b>	<b>VEL (Km/h)</b>
48	3.21	56.07	100	3.70	48.65
49	3.22	55.9	101	3.73	48.26
50	3.23	55.73	102	3.76	47.87
51	3.23	55.73	103	3.77	47.75
52	3.25	55.38	104	3.78	47.62
53	3.25	55.38	105	3.80	47.37
54	3.26	55.21	106	3.81	47.24
55	3.29	54.71	107	3.81	47.24
56	3.29	54.71	108	3.81	47.24
57	3.30	54.55	109	3.82	47.12
58	3.30	54.55	110	3.82	47.12
59	3.30	54.55	111	3.86	46.63
60	3.30	54.55	112	3.89	46.27
61	3.31	54.38	113	3.90	46.15
62	3.32	54.22	114	3.96	45.45
63	3.32	54.22	115	3.96	45.45
64	3.33	54.05	116	3.97	45.34
65	3.33	54.05	117	4.01	44.89
66	3.34	53.89	118	4.02	44.78
67	3.35	53.73	119	4.02	44.78
68	3.35	53.73	120	4.06	44.33
69	3.35	53.73	121	4.12	43.69
70	3.37	53.41	122	4.15	43.37
71	3.38	53.25	123	4.15	43.37
72	3.39	53.1	124	4.15	43.37
73	3.40	52.94	125	4.16	43.27
74	3.40	52.94	126	4.17	43.17
75	3.40	52.94	127	4.17	43.17
76	3.41	52.79	128	4.20	42.86
77	3.43	52.48	129	4.23	42.55
78	3.44	52.33	130	4.24	42.45
79	3.44	52.33	131	4.25	42.35
80	3.46	52.02	132	4.29	41.96
81	3.46	52.02	133	4.31	41.76
82	3.48	51.72	134	4.38	41.1
83	3.48	51.72	135	4.38	41.1
84	3.50	51.43	136	4.40	40.91
85	3.50	51.43	137	4.51	39.91
86	3.50	51.43	138	4.52	39.82
87	3.50	51.43	139	4.64	38.79
88	3.51	51.28	140	4.67	38.54
89	3.51	51.28	141	4.72	38.14
90	3.53	50.99	142	4.74	37.97
91	3.53	50.99	143	4.77	37.74
92	3.56	50.56	144	4.77	37.74
93	3.58	50.28	145	4.81	37.42
94	3.59	50.14	146	4.87	36.96
95	3.66	49.18	147	5.12	35.16
96	3.67	49.05	148	5.28	34.09
97	3.68	48.91	149	5.49	32.79
98	3.69	48.78	150	5.62	32.03
99	3.69	48.78			

Fuente: Extraída del anexo 2, vía Bucaramanga – Lebrija

### **3.3 TOMA DE MUESTRAS**

Dos observadores se ubican al inicio y fin del tramo a analizar. El tiempo se empieza a contar cuando el frente del vehículo atraviese el umbral marcado sobre la vía y se termina cincuenta metros más adelante, donde esta uno de los observadores con el cronometro, este debe tener visibilidad de su compañero que señala el inicio del conteo. Se repite este procedimiento para cada vehículo a analizar en los seis tramos.

## 4. CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE METODOLOGÍA CON LOS RESULTADOS OBSERVADOS

Los anexos numerados del 1 al 6, corresponden a los cálculos realizados en las seis rutas establecidas de vías hacia Girón, Lebrija, Floridablanca, Piedecuesta, Cúcuta y la costa, en las cuales se realizó el mismo procedimiento para los seis tramos, que se explicará a continuación.

### 4.1 AGRUPACIÓN DE DATOS MEDIANTE DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA:

Esta es definida por intervalos de clase donde se agruparán valores de magnitud similar. Siguiendo la siguiente recomendación estadística:

**Tabla 1. Número de intervalos de clase por tamaño de muestra**

Tamaño de muestra (n)	Número de intervalos (m)
50-100	7-8
100-1000	10-11
1000-10000	14-15
10000-100000	17-18
mayores a 100000	$1 + 3.3 \text{Log}_{10} (n)$

Fuente: MAYOR R., Rafael Cal Y CÁRDENAS G, James Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones 8° Edición, México Enero 2007. p 221-237

Donde:

$n$ = número total de observaciones en la muestra

$m$ = número de intervalos de la clase

En este estudio se cuenta con una muestra de 150 vehículos, por lo que se toma como número de intervalos  $m=10$ . Para las seis muestras de los diferentes tramos se aplica el siguiente cálculo para obtener el ancho del intervalo de clase.

**Tabla 2. Distribuciones de frecuencia de velocidad de punto.**

INTERVALO	INF	SUP	V MEDIA	Fe	Fe %	Fe Acum	Fe Acum %	V2	Fe*V	Fe*V2
1	32.03	37.03	34.53	5	3.33	5	3.33	1192	173	5962
2	37.03	42.03	39.53	14	9.33	19	12.67	1563	553	21877
3	42.03	47.03	44.53	21	14	40	26.67	1983	935	41641
4	47.03	52.03	49.53	31	20.67	71	47.33	2453	1535	76050
5	52.03	57.03	54.53	34	22.67	105	70	2974	1854	101100
6	57.03	62.03	59.53	19	12.67	124	82.67	3544	1131	67333
7	62.03	67.03	64.53	11	7.33	135	90	4164	710	45805
8	67.03	72.03	69.53	7	4.67	142	94.67	4834	487	33841
9	72.03	77.03	74.53	5	3.33	147	98	5555	373	27774
10	77.03	82.03	79.53	3	2	150	100	6325	239	18975
TOTALES				150	100				7990	440357

Fuente: Extraída del anexo 2, vía Bucaramanga – Lebrija

$$\text{Ancho del intervalo de clase} = \frac{\text{Amplitud total}}{m}$$

Donde la amplitud total está definida por la diferencia entre la máxima velocidad obtenida en la muestra y la mínima.

Se prosigue con completar la *tabla 2*, la cual se está utilizando la obtenida con los datos del muestreo del tramo de Bucaramanga – Lebrija específicamente.

Donde:

**INTERVALO:** número de intervalo

**INF:** límite inferior del ancho de cada intervalo en kilómetros por hora [Km/h]

**SUP:** límite superior del ancho de cada intervalo en kilómetros por hora [Km/h]

**V MEDIA:** velocidad media de cada intervalo en kilómetros por hora [Km/h]

**Fe:** frecuencia observada absoluta, dada por el conteo de veces que la velocidad de un vehículo se encuentra en el intervalo de cada clase

**Fe %:** frecuencia observada relativa, dada por la división entre la frecuencia absoluta y el tamaño total de la muestra.

**Fe Acum:** frecuencia acumulada absoluta, el total de todos los valores menores que el límite real superior del intervalo de clase dado. Dada por el siguiente calculo.

$$Fe\ Acum_i = \sum_{i=1}^n Fe_i \quad (4)$$

Un ejemplo al aplicarla seria: donde n=5

$$Fe\ Acum_5 = 5 + 14 + 21 + 31 + 34$$

$$Fe\ Acum_5 = 105$$

**Fe Acum %:** frecuencia acumulada relativa, operación dada por la división de la Fe Acum y el tamaño total de la muestra, en porcentaje.

$$Fe\ Acum\ \%_i = \frac{Fe\ Acum_i}{n} * 100 \quad (5)$$

**V2:** resultado dado por la elevación al cuadrado de la velocidad media de cada intervalo

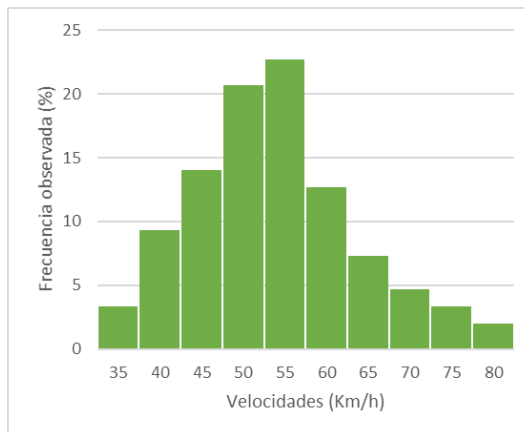
**$Fe * V$** : resultado dado por la multiplicación entre las columnas de velocidad media y la de frecuencia observada absoluta

**$Fe * V^2$** : resultado dado por la multiplicación entre las columnas de  $V^2$  y la de frecuencia observada absoluta

#### 4.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA:

Se utiliza un histograma, primeramente, relacionando los datos de la frecuencia observada relativa ( $Fe\ Acum\ \%$ ), y las velocidades medias. ( $V\ MEDIA$ ). como se muestra en la siguiente gráfica:

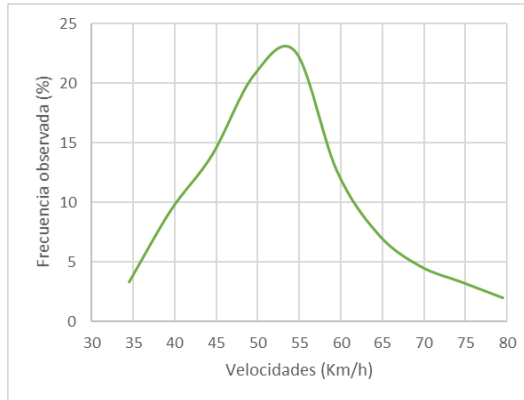
**Figura 8. Histograma de frecuencias de velocidades de punto**



Fuente: Extraída del anexo 2, vía Bucaramanga – Lebrija

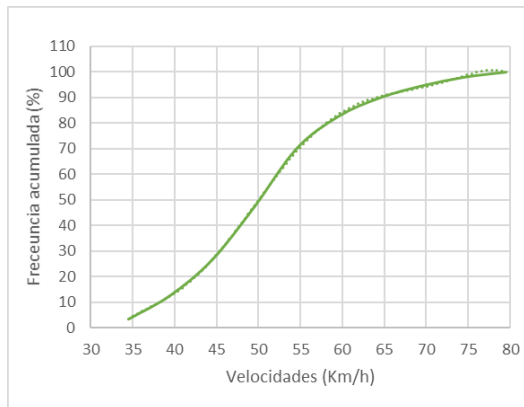
A continuación, se analiza también con un gráfico de dispersión, donde se incluye la línea de tendencia que unifique los puntos. En ambas relacionando la frecuencia observada relativa ( $Fe\ \%$ ) y la frecuencia observada relativa acumulada ( $Fe\ Acum\ \%$ ) con las velocidades medias ( $V\ MEDIA$ ).

**Figura 9. Curva de frecuencias observadas de velocidades de punto**



Fuente: Extraída del anexo 2, vía Bucaramanga – Lebrija

**Figura 10. Curva de frecuencias acumulada de velocidades de punto**



Fuente: Extraída del anexo 2, vía Bucaramanga – Lebrija

De la última gráfica, donde se relaciona la frecuencia relativa acumulada y las velocidades medias, de la línea de tendencia extraemos la ecuación que representa la función con más proximidad a la dada por los datos recolectados en campo. Para mayor exactitud se lleva esta función hasta el grado 6. Como la siguiente:

$$y = -0,00000040604x^6 + 0,00013889065x^5 - 0,01936316750x^4 + 1,40461970204x^3 - 55,81190370117x^2 + 1.153,58464084130x^2 - 9.716,05872764100$$

*Ecuación 1, Valor de frecuencia acumulada (y) en función de la velocidad de punto (x)<sup>12</sup>.*

### **4.3 PERCENTILES**

El percentil como medida de posición usada en estadística, indica que, con los valores ordenados descendentemente, el valor en función de la variable da como resultado un porcentaje que agrupa los valores por debajo de esta variable. Por ejemplo, la velocidad correspondiente al percentil 15, indica que el 15% de los vehículos circulan a velocidades inferiores.<sup>13</sup>

Con las ecuaciones obtenidas y aplicando la teoría de los percentiles P15, P50, P85, P98 que nos representan una aproximación a las velocidades mínima, media, de marcha y de proyecto, respectivamente.

De los tramos analizados se obtuvieron las siguientes velocidades:

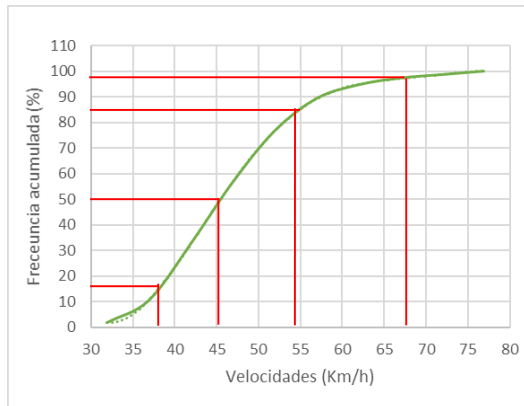
---

<sup>12</sup> Se observo al realizar los cálculos con una cantidad menor de decimales en la ecuación, la aproximación que generaba el sistema no representaba un valor cercano al que se podía evidenciar gráficamente. Así que se tomaron más de diez decimales en la ecuación en el análisis de los seis tramos.

Extraída del anexo 2, vía Bucaramanga – Lebrija

<sup>13</sup> GALTON, F. Some results of the anthropometric laboratory. J. Anthrop. Inst., 16, 275-287 1885A

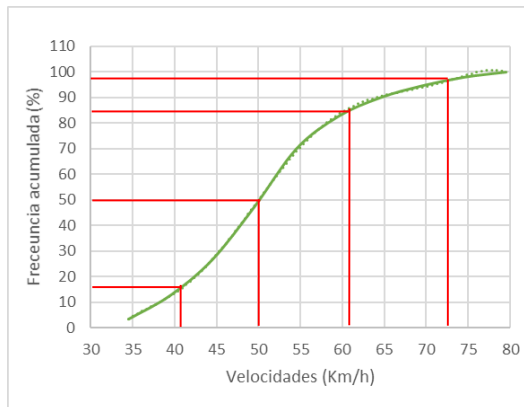
**Figura 11. Percentiles y velocidades.**



PERCENTIL	VEL (Km/h)
P 15	38.05
P 50	45.45
P 85	54.87
P 98	68.99

Fuente: Extraída del anexo 1, vía Bucaramanga – Girón

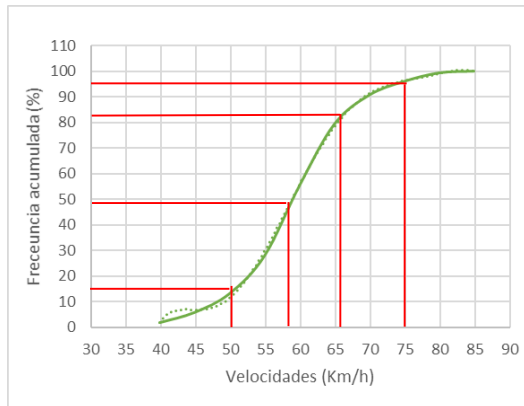
**Figura 12. Percentiles y velocidades**



PERCENTIL	VEL (Km/h)
P 15	40.66
P 50	49.99
P 85	60.24
P 98	73.43

Fuente: Extraída del anexo 2, vía Bucaramanga – Lebrija

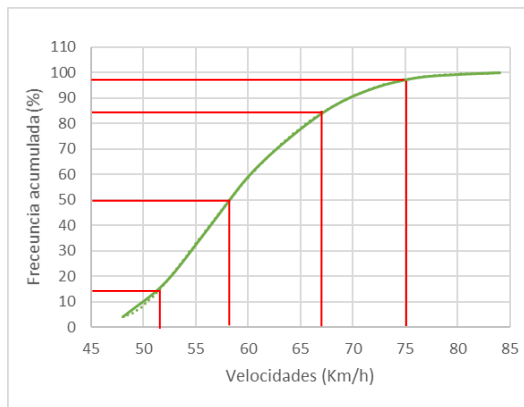
**Figura 13. Percentiles y velocidades**



PERCENTIL	VEL (Km/h)
P 15	51.56
P 50	58.20
P 85	67.24
P 98	75.02

Fuente: Extraída del anexo 3, vía Bucaramanga – Floridablanca

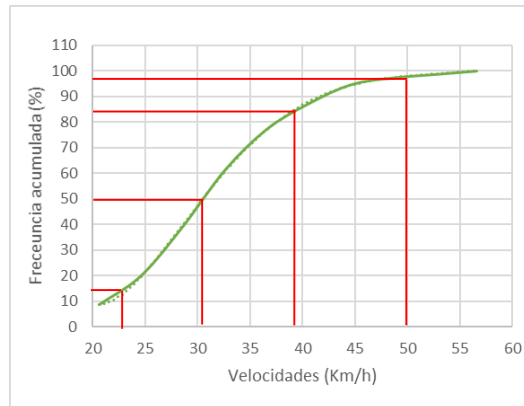
**Figura 14. Percentiles y velocidades**



PERCENTIL	VEL (Km/h)
P 15	51.18
P 50	58.78
P 85	66.97
P 98	76.99

Fuente: Extraída del anexo 4, vía Bucaramanga – Piedecuesta

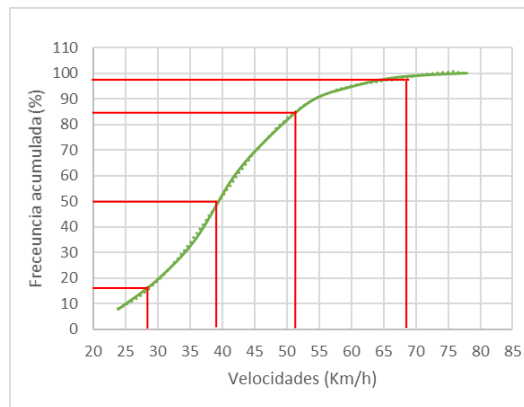
**Figura 15. Percentiles y velocidades**



PERCENTIL	VEL (Km/h)
P 15	23.49
P 50	30.48
P 85	39.30
P 98	50.14

Fuente: Extraída del anexo 5, vía Bucaramanga – Cúcuta

**Figura 16. Percentiles y velocidades**



PERCENTIL	VEL (Km/h)
P 15	28.24
P 50	39.52
P 85	51.29
P 98	68.93

Fuente. Extraída del anexo 6, vía Bucaramanga – La Costa

## 5. CONCLUSIONES

En la *tabla 3* se resumen las velocidades obtenidas en el estudio, la velocidad correspondiente al percentil 50, P50, es utilizada como una medida de calidad del flujo vehicular, y es aproximadamente igual a la velocidad media. El percentil 85, P85, se refiere a la velocidad crítica a la cual se debe establecerse el límite máximo de velocidad en conexión con los dispositivos de control del tránsito que la deben restringir. El percentil 15, P15, se refiere al límite inferior de la velocidad. El percentil 98, P98, se utiliza para establecer la velocidad de proyecto. Adicionalmente se especifica velocidad que se encuentra señalizada en cada vía.

Al comparar los datos obtenidos, vemos que el correspondiente al P85, que representa a la velocidad de operación o marcha, idealmente, deberían ser similares con respecto a la señalizada en las vías.

Para el caso de la vía Girón - Bucaramanga, se tiene una diferencia aproximadamente de 15 km/h por encima de la señalizada, y donde la velocidad mínima que marca el estudio es más cercana a esta con 38 km/h. En el tramo correspondiente de Lebrija, se observa un comportamiento similar, donde el estudio calcula una velocidad de 20 km/h sobre la señalizada, es decir, una velocidad de marcha de 60 km/h, y de igual manera la velocidad mínima calculada es más cercana a la señalizada con 40 km/h. En la vía hacia Piedecuesta, la velocidad establecida señala 50 km/h, y la calculada en el estudio muestra aproximadamente 67 km/h, una diferencia de 17 km/h sobre la señalizada, y la velocidad mínima que se calcula es de 51 km/h. Debido a la pendiente que tiene el tramo que se analizó en la vía hacia Cúcuta - Bucaramanga, los datos dieron las velocidades más bajas, donde la velocidad de marcha es de alrededor de 39 km/h y la que se encuentra señalizada es de 30 km/h, y con una velocidad mínima de 23 km/h. Para la vía de

la Costa, la señalización muestra una velocidad de 30 km/h, mientras que en el estudio la velocidad de marcha ronda los 51 km/h, 21 km/h sobre la que está establecida, y de igual manera la velocidad mínima esta próxima a la señalizada con 28 km/h.

En el caso de la vía de Bucaramanga hacia Floridablanca, se evidencio lo opuesto a los otros tramos, el estudio muestra que la velocidad señalizada está muy por encima de velocidad de operación calculada con el análisis aplicado, incluso es mayor que la velocidad de proyecto que es de 75 km/h, es decir, es posible circular a 80Km/h sobre esta vía, pero no en las condiciones de tráfico es que se encuentra constantemente. Esta sobredimensión que esta señalizada hace que sea probable que vehículos que intenten llegar a estas velocidades sean causantes de accidentes cuando tráfico vehicular no lo permite y seguirían estando en los límites permitidos, la propuesta seria disminuir esta velocidad señalada al menos a 70Km/h para acércanos aun por encima a la velocidad de operación calculada.

**Tabla 3. Velocidades y percentiles de los tramos analizados**

Percentil	Giron	Lebrija	Florida	Piedecuesta	Cucuta	Costa	VEL (Km/h)
<b>P15</b>	38.05	40.66	51.56	51.18	23.49	28.24	minima
<b>P50</b>	45.45	49.99	58.20	58.78	30.48	39.52	media
<b>P85</b>	54.87	60.24	67.24	66.97	39.30	51.29	marcha
<b>P98</b>	68.99	73.43	75.02	76.99	50.14	68.93	proyecto
<b>Señalizada</b>	40.00	40.00	80.00	50.00	30.00	30.00	

**Tabla 4. Comparación entre las velocidades establecidas, calculas y recomendadas**

Vel (km/h)	Giron	Lebrija	Florida	Piedecuesta	Cucuta	Costa
<b>P85</b>	54.87	60.24	67.24	66.97	39.30	51.29
<b>Señalizada</b>	40.00	40.00	80.00	50.00	30.00	30.00
<b>Recomendada</b>	50.00	60.00	60.00	60.00	40.00	50.00

Las recomendaciones que se dan es ajuste en la señalización de estos tramos, ya que en cinco de los seis puntos que se analizaron los vehículos están transitando con velocidades superiores a las que están reglamentadas, y esta velocidad es más cercana a la velocidad mínima que la vía permite según los resultados que se dieron. La cantidad de vehículos que circulan bajo la velocidad que se encuentra recomendada en la vía con respecto a la cantidad de vehículos que se movilizan con velocidades entre la señalizada y la de operación, sobrepasa el 20% y 30% adicional en el caso de la vía a Cúcuta y a Girón, respectivamente, en los otros aumenta más del doble.

Esa brecha de en la cantidad de vehículos que circulan sobre una vía con velocidades muy cercanas la mínima, y en algunos casos aún más inferiores, aumenta las posibilidades que interfieran con vehículos que transitan con velocidades superiores. Provocando posiblemente trancones y/o accidentes. En la *tabla 4* están agrupadas las velocidades calculadas en el estudio, las señalizadas en las vías y las que se recomiendan como parte del análisis realizado.

Adicionalmente se observa que las distribuciones no cumplen a totalidad las condiciones de una distribución normal, debido a la presencia de apuntamiento negativo, asemejando a las gráficas a una distribución platicúrtica, esta situación se puede analizar a mayor detalle ampliando el numero de intervalos en los cuales se agruparon las velocidades tomadas en campo.

## BIBLIOGRAFÍA

ALCALDIA DE BUCARAMANGA Plan Maestro de Movilidad (BUCARAMANGA 2010 – 2030)

ALCALDIA DE FLORIDABLANCA Plan Maestro de Movilidad (FLORIDABLANCA 2011 – 2030)

ALCALDIA DE GIRÓN Plan Maestro de Movilidad (GIRÓN 2011 – 2030)

ALCALDIA DE PIEDECUESTA Plan Maestro de Movilidad (PIEDRECUESTA 2011 – 2030)

ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA Plan Maestro de Movilidad (2011 – 2030)

DANE Proyección Municipios 2005 – 2020 [en línea] disponible en: [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06\\_20/ProyeccionMunicipios2005\\_2020.xls](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xls)

DIRECCIÓN DE TRÁNSITO DE BUCARAMANGA. Manual de especificaciones técnicas para la elaboración, implementación y seguimiento del plan de manejo de tránsito “PMT”,

GALTON, F. Some results of the anthropometric laboratory. J. Anthrop. Inst., 16, 275-287 1885<sup>a</sup>

MAYOR R., Rafael Cal Y CÁRDENAS G, James Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones 8° Edición, México Enero 2007.

MINISTERIO DE TRASNPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Subdirección de apoyo técnico, volúmenes de transito (2010 –2011)