

# Análisis de las velocidades de operación en los carriles mixtos de las troncales del transporte masivo en bogotá – hacia una propuesta de aumento de la velocidad máxima permitida

Analysis of rates of mixed operation in the rails of mass transport in troncales Bogotá a proposal to increase the maximum speed permitted

MARIO ARTURO RINCÓN V.<sup>1\*</sup>, WILSON ERNESTO VARGAS V.<sup>1\*\*</sup>,  
CARLOS JAVIER GONZÁLEZ V.<sup>1\*\*\*</sup>, JULIÁN DAVID CHALA G.<sup>2\*\*\*\*</sup>  
& MARIAM RIVAS D.<sup>2\*\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Docentes investigadores, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. <sup>2</sup>Ingenieros Topográficos.

Correspondencia: \*mrinconv@udistrital.edu.co

\*\*wvargas@udistrital.edu.co \*\*\*cjgonzalez@udistrital.edu.co

\*\*\*\*jdchala@hotmail.com \*\*\*\*\*mariam\_rivas@hotmail.com

RECIBIDO: marzo 13/2011 MODIFICADO: julio 10/2011 ACEPTADO: Agosto 10/2011

## RESUMEN

En este artículo se presentan las velocidades de operación de los vehículos que circulan por los carriles mixtos del sistema de transporte masivo de Bogotá, para lo cual se analizaron seis corredores: autopista Norte, calle 80, carrera 30, avenida de las Américas, avenida Suba y la calle 26; se hicieron mediciones de velocidades puntuales por medio de medidas directas con radar; se realizaron cálculos de las velocidades máximas seguras y cómodas a las que se podría circular sin que se afecte la seguridad de los usuarios de cada corredor analizado, con lo

cual se pretende emitir una propuesta de velocidades máximas de operación para cada uno de estos corredores.

**Palabras clave:** carriles mixtos, sistema Transmilenio, velocidad máxima de operación, velocidad puntual.

## ABSTRACT

This study presents the speeds of operation of the vehicles that circulate for mixed rails of the system of massive transport of Bogotá; for which six corridors were analyzed: Autopista Norte, Calle

80, Carrera 30, Avenida de las Americas, Avenida Suba and Calle 26; there were done measurements of Punctual speeds by means of direct measures by radar. There were realized calculations of the maximum sure and comfortable speeds to which it might circulate without one affects the safety of

the different users of every corridor analyzed with which it tries to issue an offer of maximum speeds of operation for each of these corridors.

**Keywords:** mixed Rails, Transmilenio system, maximum speed of operation, punctual speed.

## INTRODUCCIÓN

En Bogotá existen vías que tienen características de diseño geométrico y condiciones de operación y de tránsito similares a las autopistas en las cuales se hace necesario aplicar otros parámetros de velocidades máximas permitidas. Para estas vías, debido a características geométricas, de infraestructura y por el tipo de intersecciones con las otras vías, las velocidades bajas resultan contraproducentes y generan problemáticas que aumentan el riesgo de ocurrencia de accidentes.

Con la realización de este estudio se establecieron velocidades de operación que actualmente se desarrollan en la infraestructura para poder determinar la posibilidad de aumentar la velocidad máxima permisible de acuerdo con el tipo y las características de cada corredor en estudio. De lograr lo anterior, se mejorará la movilidad de los diferentes usuarios de esas vías; los costos de operación de los vehículos se reducen, la productividad de la zona aumenta, los tiempos de desplazamiento disminuyen, por lo cual los individuos podrán utilizar el tiempo ahorrado en otras actividades. Se logrará un mejor aprovechamiento de las infraestructuras de cada corredor sin poner en riesgo la integridad de cada usuario, ya que las características de estos corredores permiten que se pueda transitar a más de sesenta kilómetros por hora, valor que dicta la norma actual.

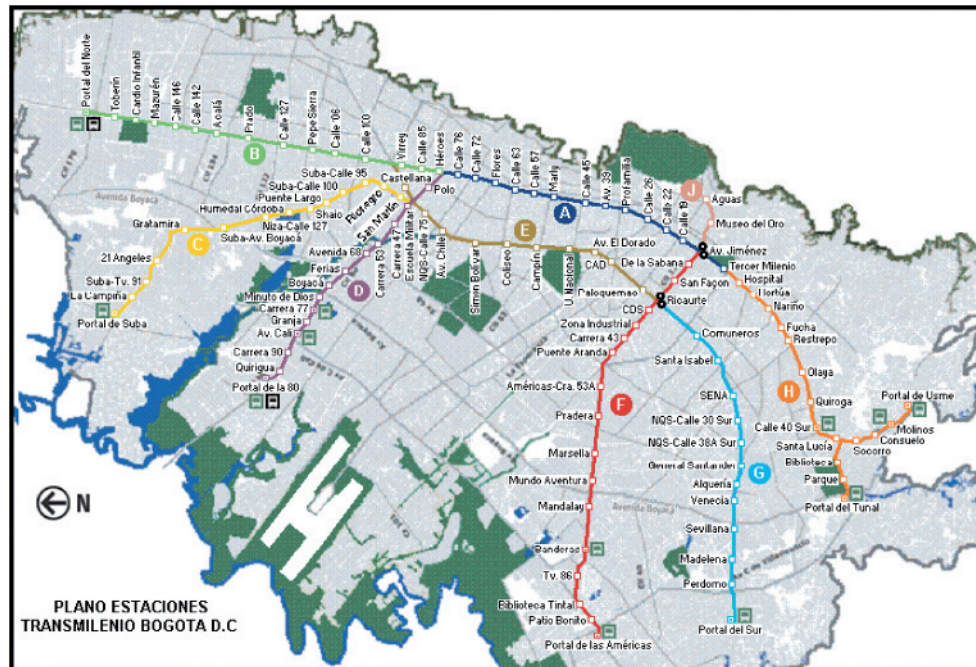
En este estudio se realizaron mediciones de velocidades puntuales a vehículos que circulaban por

los carriles mixtos de sistema masivo de transporte de la ciudad de Bogotá en las horas pico y valle, pues son las franjas horarias cuando el flujo vehicular tiene concentraciones diferentes.

Se analizaron seis troncales: la autopista Norte, la calle 80, la Carrera 30 (avenida NQS central), la avenida de las Américas, la avenida Suba y la calle 26 (Figura 1) utilizando como equipo de medición un Radar Falcon Hr. A partir de las velocidades obtenidas se han calculado datos estadísticos, entre los cuales están los percentiles 50, que es utilizado como una medida de calidad del flujo vehicular y es aproximadamente igual a la velocidad media; el percentil 85, que se refiere a la velocidad crítica a la cual debe establecerse el límite máximo de velocidad en conexión con los dispositivos de control del tránsito que la deben restringir; el percentil 15, que se refiere al límite inferior de la velocidad, y el percentil 98, que se utiliza para establecer la velocidad del proyecto.

## MARCO REFERENCIAL

En abril de 2006 el Concejo de Bogotá, mediante el proyecto de Acuerdo núm. 206, pretendía establecer como límite de velocidad en la zona urbana de la ciudad para las autopistas, arterias y calles principales, ochenta kilómetros por hora; la Secretaria de Movilidad no adoptó dicho acuerdo, debido a que en las vías urbanas las velocidades máximas y mínimas son previamente determinadas por la autoridad de tránsito competente en el distrito o municipio respectivo, en la actualidad el límite de



A CARACAS	D CALLE 80	G NQS SUR
B AUTONORTE	E NQS CENTRAL	H CARACAS SUR
C SUBA	F AMERICAS	J EJE AMIENTAL

Figura 1. Mapa sistema Troncales de Transmilenio de Bogotá.

Fuente: Ciudad móvil

velocidad máximo permitido es de sesenta kilómetros por hora; en zonas residenciales y escolares no se podrá sobrepasar los treinta kilómetros por hora (Alcaldía de Bogotá, 2006).

En las carreteras nacionales y departamentales, estas velocidades son establecidas por el Ministerio de Transporte o la Gobernación, según sea el caso; se determinan para vehículos públicos o privados teniendo en cuenta las especificaciones de la vía, determinando que no se podrá sobrepasar por ningún caso los ciento veinte kilómetros por hora. Para el transporte de servicio público, carga y de servicio escolar se estableció que el límite de velocidad no podrá sobrepasar de los ochenta kilómetros por hora (Presidencia de la República de Colombia, 2002).

La entidad encargada de establecer las velocidades debe tener criterios y parámetros para poder clasificarlos, determinando los límites de velocidad de forma sectorizada, razonable, apropiada y coherente con el tráfico vehicular, las condiciones del medio ambiente, la infraestructura vial, el estado de las vías, la visibilidad, las especificaciones de la vía, su velocidad de diseño y las características de operación.

Las velocidades en un sistema vial pueden determinarse de manera puntual o generalizada dentro de tramos o sectores específicos de un corredor en estudio. La selección del método para establecer las velocidades depende de si los resultados que se persiguen están orientados a un análisis puntual o no (Presidencia de la República de Colombia, 2002).

Los estudios de velocidad se realizan principalmente en vías de circulación continua, tales como las carreteras de dos carriles y las vías de carriles múltiples, donde la regulación del tránsito no suele hacer detener los vehículos. En vías de circulación discontinua, como las arterias urbanas, donde la influencia de los semáforos es predominante, se usan más los estudios sobre tiempo de recorrido. Sin embargo, los estudios de velocidad puntual resultan útiles para ciertos fines, tales como el conocimiento de la velocidad a flujo libre y la velocidad de acercamiento a intersecciones.

Entre las aplicaciones de los estudios sobre velocidad puntual se encuentran:

- Cálculos para el diseño vial.
- Determinación del valor de variables para la regulación del tránsito.
- Análisis de capacidad vial y nivel de servicio.
- Evaluaciones sobre seguridad vial.
- Estimación de tendencias de velocidades.
- Determinación de la efectividad de medidas para mejorar la circulación del tránsito.

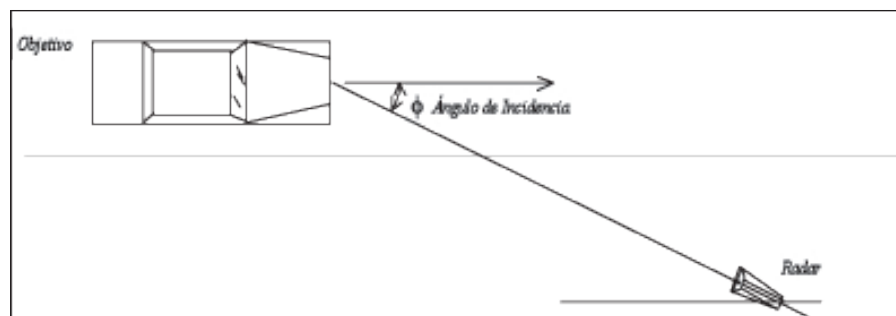
## METODOLOGÍA

### Medida directa de la velocidad con radar

Los medidores de velocidad a base de radar son los instrumentos más empleados actualmente para

medir velocidades puntuales. Se basan en el principio fundamental de que una onda de radio reflejada por un objeto en movimiento experimenta una variación en su frecuencia que es función de la velocidad del objeto, lo que se conoce como principio Doppler. Midiendo el cambio de frecuencia es posible determinar la velocidad del objeto que la refleja. En la actualidad, procedimientos que aplican técnicas infrarrojas y de láser para la medida directa de la velocidad comienzan a tener mucha aceptación. Como la velocidad que miden esos instrumentos es la del vehículo con respecto al medidor, esta resulta menor que la que lleva el vehículo con respecto a la vía. Esto sucede porque la distancia recorrida por el vehículo a lo largo de la vía es mayor que el cambio correspondiente en la distancia de este al medidor. Para corregir ese error habría que dividir la velocidad medida entre el coseno del ángulo de incidencia, es decir, el que forma la visual del medidor al vehículo con la trayectoria del vehículo. Esto no es fácil porque para que este ángulo no cambie hay que mantener fijo el instrumento. De cualquier modo, si el ángulo es menor de  $15^\circ$  los errores introducidos son despreciables (figura 2).

De todos los instrumentos que se usan y que ven los conductores, al que más le temen es al medidor de radar. A fin de que su presencia no afecte la velocidad natural de los vehículos, debe ponerse gran cuidado en ocultarlo y, si es posible, apuntar a los vehículos en la parte trasera.



Ángulo de incidencia entre la trayectoria del vehículo y la vista del radar.  
Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte.

## Toma de información

El estudio se realizó en los puentes peatonales de las estaciones de Transmilenio apuntando por la parte trasera del vehículo para evitar que el con-

ductor del automóvil detectara el radar y redujera la velocidad o pudiera distraerse. Los puntos seleccionados para la toma de información se nombran en la tabla 1.

TRONCAL	PUENTE (punto de toma)
AUTOPISTA NORTE	Cardio Infantil • Alcalá Calle 127 • Calle 100
CALLE 80	Av. 68 • Av. Boyacá Cr 77 • Av. Ciudad De Cali
AVENIDA NQS	Calle 75 • Campin U Nacional • Paloquemao
AMERICAS	Outlets • Mandalay Mundo Aventura • Marsella
CALLE 26	Dijin • Don Bosco U Nacional • Gobernación de Cundinamarca
AV SUBA	Gratamira • Espíritu Santo

El estudio se realizó entre septiembre de 2008 y marzo de 2009, los días seleccionados para la toma de información fueron martes a jueves, en hora pico de 6:00 am – 8:00 am y de 4:00 pm – 6:00 pm, y en hora valle de 8:00 am – 10:00 am, siendo la hora pico la que presenta mayor concentración vehicular en las vías. Se debe tener en cuenta que las troncales de la autopista Norte, calle 26 y calle 80 fueron aforadas cuando funcionaba la norma de pico y placa de tres horas en la mañana y tres horas en la tarde (antes del 6 de febrero de 2009), mientras que la carrera 30, avenida Las Américas y la avenida Suba se aforaron con la actual norma de pico y placa todo el día (6:00 am a 8:00 pm.)

## PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

La descarga de datos se realizó por medio del software Radar Data Logger, para lo cual es necesario contar con la herramienta de hardware necesaria, el formato de descarga que ofrece el software es una

extensión txt. La eliminación de los datos atípicos que se presentan en el momento de la toma de información se debe realizar de la siguiente manera:

$$I = (Q3 - Q1) * 1.5 \quad (1)$$

$$ATIPICOS < Q1 - I; ATIPICOS > Q3 + I;$$

Donde

Q3 es el Cuartil 3.

Q1 es el Cuartil 1.

I es Intercuartil.

Los datos se deben organizar indicando carril, hora y velocidad del vehículo. Se deben calcular los datos estadísticos correspondientes la media, moda, mediana, desviación estándar, varianza, máximos y mínimos, amplitud, número de datos y error de inferencia. Estos valores son importantes porque dan una idea general sobre la velocidad típica de los vehículos en el momento de la toma de información. El conocimiento de la dispersión también es im-



portante porque influye en el valor de la velocidad típica e incide en la seguridad vial. Para el análisis de los datos se realizan tablas de frecuencias lo cual se lleva a cabo mediante la agrupación de valores de magnitud similar en intervalos de clase. El intervalo de clase se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Intervalo} = 1 + 3.3 \log n \quad (2)$$

Donde

$n$  es el número de datos.

Intervalo es el número de intervalos de acuerdo a los datos.

## RESULTADOS

Para cada uno de los puntos de aforo se presenta, según ejemplo de la tabla 2 y la figura 3, los datos estadísticos y percentiles de cada uno de los puntos aforados, en los carriles mixtos, de las troncales escogidas de transporte masivo en Bogotá. También se consolidó la información por tiempo y por calzada, como se presenta en la tabla 3 y en la figura 4. En los que se presenta el caso de la autopista Norte. El consolidado general de los datos de cada uno de los corredores de estudio se presenta en la tabla 4 y en la figura 5.

**Tabla 2.** Datos estadísticos, estación Alcalá, Autopista, calzada A

DATO	MAÑANA				VALLE				TARDE			
	CAR 1	CAR 2	CAR 3	CALZ	CAR 1	CAR 2	CAR 3	CALZ	CAR 1	CAR 2	CAR 3	CALZ
MEDIA	71,2	70,65	59,94	65,86	70,17	74,5	72,39	72,67	58,01	56,48	62,21	59,61
DESVIACION	10,36	9,05	7,05	9,97	9,44	10,31	10,29	10,22	9,51	7,84	8,03	8,67
MINIMO	55	44	42	42	51	50	44	44	41	39	42	39
MAXIMO	91	95	77	95	95	102	100	102	80	77	83	83
AMPLITUD	36	51	35	53	44	52	56	58	39	38	41	44
N	60	199	215	474	127	206	218	551	74	118	187	379
ERR DE INFER	2,62	1,26	0,94	0,90	1,64	1,41	1,37	0,85	2,17	1,41	1,15	0,87
CONVENCIÓN	C1M	C2M	C3M	CM	C1V	C2V	C3V	CV	C1T	C2T	C3T	CT
PERC 98	90	88	75	88	93	97	96	95	77	74	82	78
PERC 85	83	81	67	77	80	85	83	83	69	64	71	69
PERC 50	70	70	60	64	69	75	71	72	58	56	62	59
PERC 15	59	62	53	56	61	64	62	62	49	49	54	51

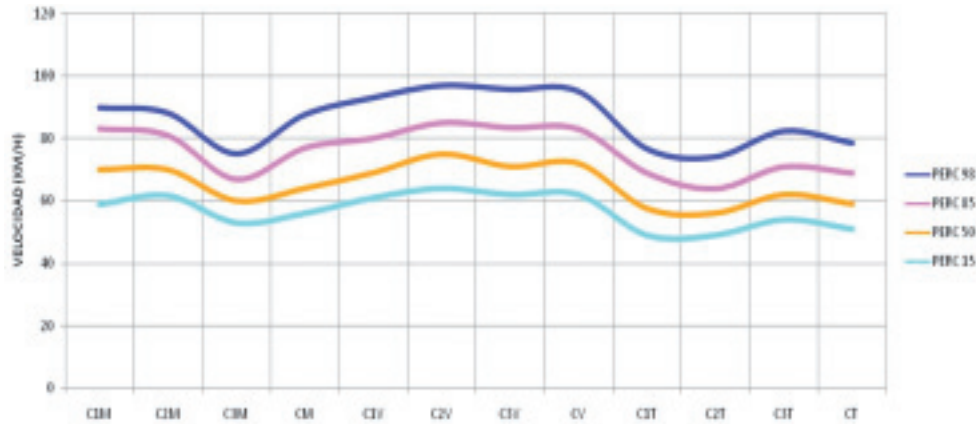


Figura 3. Velocidades de operación. Estación Alcalá calzada A

Tabla 3. Datos estadísticos, estación Alcalá, Autopista, calzada A

DAT O	CARDIO INFANTIL								ALCALA							
	1	2	3	C. A	4	5	6	C. B	1	2	3	C. A	4	5	6	C. B
CON VEN	CI 1	CI 2	CI 3	CIC A	CI 4	CI 5	CI 6	CIC B	A1	A2	A3	AC A	A4	A5	A6	AC B
PER C 95	88	91	70,76	89	81,66	82,24	83	82,94	89,82	88,08	75	87,54	90	95,82	89,56	92,2
PER C 85	80	84	60,55	80	74	70	69	71,05	83,15	81	67	77	78	85	81,35	82
PER C 50	69	76	52,5	67	63	59	58	60	70	70	60	64	67	75	68	70
PER C 15	60	65	44	53	55	50	50,9	51	58,85	61,7	53	56	49,95	62	58	55
DAT O	CALLE 127								CALLE 100							
	1	2	3	C. A	4	5	6	C. B	1	2	3	C. A	4	5	6	C. B
CON VEN	1271	1272	1273	127CA	1274	1275	1276	127CB	1001	1002	1003	100CA	1004	1005	1006	100CB
PER C 95	97	89	78	92,08	95,68	95,02	89,88	94	109,08	97	94,12	99	90,2	95,82	91	93,42
PER C 85	88,55	79	69	78	85	81	79,7	83	99	87	84	88	85	87	82,6	85
PER C 50	76	68,5	61	65	74	69	65	71	88	77	72	75	77	76	71	75
PER C 15	62	61	54	57	64	58	55,3	59	61,2	67	62,1	64	66	63	60	62,35
DATO		PROMEDIO														
CONVEN	PR1	PR2	PR3	PR CA	PR4	PR5	PR6	PR CB	1	2	3	C. A	4	5	6	C. B
PERC 95	95,975	91,27	79,47	91,905	89,385	92,225	88,364	90,6								
PERC 85	87,675	82,75	70,1375	80,75	80,5	80,75	78,162	80,2								
PERC 50	75,75	72,875	61,375	67,75	70,25	69,75	65,5	69								
PERC 15	60,5125	63,675	53,275	57,5	58,7375	58,25	56,05	56,8								

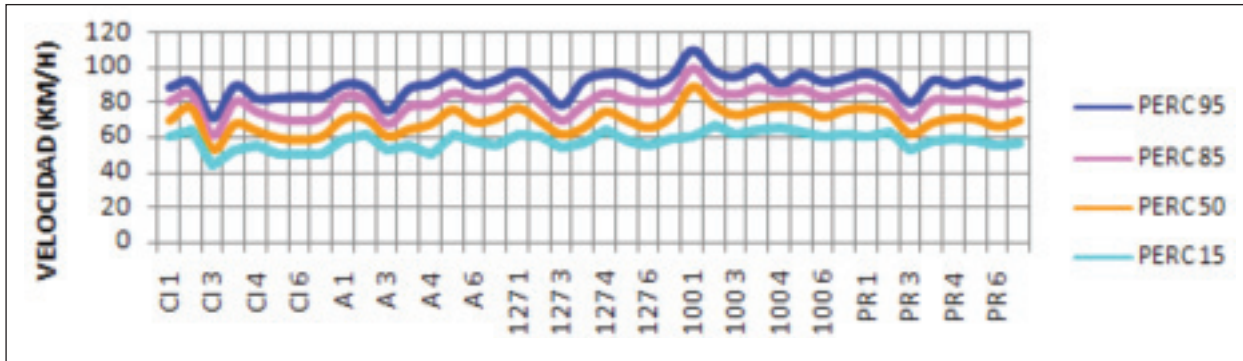


Figura 4. Velocidad de operación. Estación Alcalá. Calzada A. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4. Resumen general de cada una de las troncales “percentil 85 y 15”v

DATO		AUTONORTE	AV SUBA	CALLE 80	AMERICAS	CALLE 26	CRA 30
MAÑANA	PERC 85	80,1	60,3	60,4	58,6	77,1	55,2
	PERC 15	58,1	36	40,65	38,5	57,4	35,7
VALLE	PERC 85	80,8	64,5	56	65,5	73	57,4
	PERC 15	59	41,8	39,4	44,3	54,8	39,2
TARDE	PERC 85	74,5	62,6	58,4	61,6	69,9	55,8
	PERC 15	55	47,3	39,4	41,2	52,5	37,1
PROMEDIO	PERC 85	81,7	62,5	58,3	62	73,4	56,2
	PERC 15	57,3	41,7	39,8	41,3	54,9	37,4

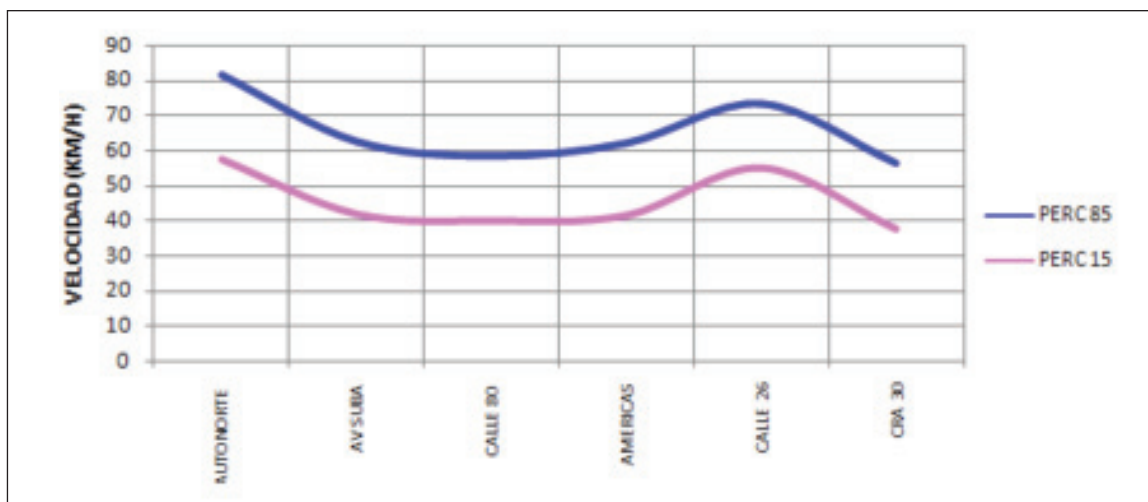


Figura 5. Resumen general percentil 85 y 15.



## CONCLUSIONES

Al calcular las velocidades máximas seguras y cómodas (percentil 85), se encuentra que los vehículos en las troncales circulan por encima de los sesenta kilómetros por hora, a excepción de la calle 80 y la carrera 30.

La troncal que presentó la velocidad máxima segura más alta (percentil 85) fue la Autopista norte con 81,7 kilómetros por hora y la que presentó la más baja (percentil 15) fue la carrera 30 con 37,4 kilómetros por hora.

Basándose en este estudio, se puede afirmar que en la avenida Suba, la calle 80, la carrera 30 y la avenida de las Américas, sesenta kilómetros por hora sería una velocidad aceptable como límite de velocidad máxima segura, pues es la adoptada por cerca del 90% de los conductores, a excepción de la autopista Norte y la calle 26 que sería de ochenta kilómetros por hora, aproximadamente.

En los primeros carriles aforados (de 6:00 am – 6:45 am, aproximadamente) se presentan velocidades altas, debido al poco flujo vehicular circulando a esta hora de la mañana.

En la avenida de las Américas y en la carrera 30 se registraron velocidades bajas en sus carriles externos debido a la presencia de transporte público y motocicletas.

En la autopista Norte y la calle 26 se registraron en horas pico velocidades superiores a los cien kiló-

metros por hora, lo cual evidencia que estas dos son las troncales que presentan las velocidades más altas.

La velocidad de operación en la avenida Suba y la carrera 30 es afectada debido a la variación de las secciones transversales a lo largo de cada una de las troncales, sobre todo en los puntos donde se reduce el número de carriles, teniendo en cuenta que el volumen del tránsito aparentemente es el mismo.

En la carrera 30, en la avenida de las Américas y en la avenida Suba se notó un aumento de las velocidades de operación en la hora valle con relación a las registradas en la hora pico de la mañana, mientras que en la calle 26, en la autopista Norte y en la calle 80 las velocidades registradas fueron muy similares e incluso inferiores en la hora valle.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALCALDÍA DE BOGOTÁ. (2006). Versión en línea: [<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1>]. Fecha de consulta: 05-01-2011.
- CAL, MAYOR Y ASOCIADOS (2005). Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte. Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaria de Tránsito y Transporte Segunda Edición. Tomo III. Bogotá D.C.
- LEY 769 DE 2002. Código Nacional de Tránsito. Presidencia de la República de Colombia. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- TRANSMILENIO S.A. 2007. Versión en línea: [<http://www.ciudadmovil.com.co/q/mod/mapa/bogota.php>]. Fecha de consulta: 05-01-2011.