

Análisis del congestionamiento por el uso exclusivo del carril de Metro línea en el tramo  
comprendido entre Cañaveral y la Puerta del Sol

Valentina Monsalve Mejía, Eykis Fernanda Suárez Jaimes

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Luis David Arévalo Durán

Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2020

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción.....	11
1. Marco teórico.....	12
1.1 Velocidad.....	13
1.1.1 Velocidad de punto.....	13
1.1.2 Velocidad media temporal.....	13
1.1.3 Velocidad media espacial.....	14
1.1.4 Velocidad de recorrido.....	14
1.1.5 Velocidad de marcha.....	14
1.1.6 Velocidad de proyecto.....	15
1.2 Percentiles.....	15
1.3 Niveles de Servicio.....	15
2. Metodología.....	18
2.1 Lugar de Estudio.....	18
2.2 Realización de Formato de Toma de Datos.....	20
2.3 Toma de Datos.....	20
2.4 Determinación de la Velocidad Media.....	21
2.5 Determinación de los Volúmenes de Tránsito.....	21

ANÁLISIS DEL CONGESTIONAMIENTO CARRIL EXCLUSIVO METROLINEA	3
2.6 Determinación de los Niveles de Servicio .....	22
2.7 Análisis de los Datos Obtenidos .....	22
2.8 Planteamiento de Solución .....	22
3. Estudio de las velocidades .....	23
4. Análisis de NDS con datos actuales .....	26
4.1 Volúmenes de Tránsito .....	26
4.2 Cálculo de Niveles de Servicio HCM 1994 .....	28
4.2.1 Niveles de Servicio como autopista .....	28
4.2.2 Niveles de Servicio como vía multicarril .....	32
4.3 Cálculo de Niveles de Servicio HCM 2000 .....	33
4.3.1 Niveles de Servicio como autopista .....	33
4.3.2 Niveles de Servicio como vía multicarril .....	36
5. Análisis de NDS con datos nuevos de vehículos trasladados al carril exclusivo .....	39
5.1 Volúmenes de Tránsito .....	39
5.2 Cálculo de Niveles de Servicio HCM 1994 .....	40
5.2.1 Niveles de Servicio como autopista .....	41
5.2.2 Niveles de Servicio como vía multicarril .....	41
5.3 Cálculo de Niveles de Servicio HCM 2000 .....	43
5.3.1 Niveles de Servicio como autopista .....	43
5.3.2 Niveles de Servicio como vía multicarril .....	45
6. Conclusiones .....	46
7. Recomendaciones .....	50
Referencias .....	51

Apéndices .....53

**Lista de figuras**

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1.</i> Tipos de niveles de servicio. ....	17
<i>Figura 2.</i> Tramo de estudio. ....	19
<i>Figura 3.</i> Histograma del comportamiento de las velocidades en el tramo. ....	23
<i>Figura 4.</i> Curva de frecuencia observada relativa. ....	24
<i>Figura 5.</i> Curva de frecuencia acumulada relativa. ....	24
<i>Figura 6.</i> Volúmenes de tránsito actuales. ....	27
<i>Figura 7.</i> Nivel de servicio HCM 2000 autopista ....	35
<i>Figura 8.</i> Niveles de servicio HCM 2000 multicarriles. ....	38
<i>Figura 9.</i> Volúmenes de tránsito nuevos. ....	40
<i>Figura 10.</i> Niveles de servicio HCM 2000 autopista escenario nuevo. ....	44
<i>Figura 11.</i> Niveles de servicio HCM 2000 vía multicarril escenario nuevo. ....	45

### Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. <i>Características geométricas tramos de estudio.</i> .....	19
Tabla 2. <i>Percentiles.</i> .....	25
Tabla 3. <i>Factor de ajuste fA por reducción de anchura de carriles y obstáculos laterales.</i> .....	29
Tabla 4. <i>Equivalencia en vehículos ligeros para segmentos básicos de autopistas.</i> .....	30
Tabla 5. <i>Resultados HCM 1994 autopistas.</i> .....	31
Tabla 6. <i>Resultados HCM 1994 vías multicarril.</i> .....	33
Tabla 7. <i>Equivalencia de vehículos livianos para camiones y buses en pendientes ascendentes.</i>	34
Tabla 8. <i>Resultados NDS HCM 2000 autopistas.</i> .....	36
Tabla 9. <i>Equivalencia de vehículos livianos para camiones y buses en pendientes ascendentes uniformes.</i> .....	37
Tabla 10. <i>Resultados NDS HCM 2000 vías multicarril.</i> .....	39
Tabla 11. <i>Resultados HCM 1994 autopistas escenario nuevo.</i> .....	41
Tabla 12. <i>Resultados HCM 1994 vías multicarril escenario nuevo</i> .....	43
Tabla 13. <i>Resultados NDS HCM 2000 autopista escenario nuevo.</i> .....	44
Tabla 14. <i>Resultados NDS HCM 2000 vías multicarril escenario nuevo.</i> .....	46
Tabla 15. <i>Paralelo escenarios HCM 1994 autopistas.</i> .....	48
Tabla 16. <i>Paralelo escenarios HCM 1994 vías multicarril.</i> .....	48

Tabla 17. *Paralelo escenarios HCM 2000 autopistas.* .....49

Tabla 18. *Paralelo escenarios HCM 2000 carreteras multicarril.* .....49

**Lista de apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Volúmenes de tránsito tomados en campo.....	53
Apéndice B. Datos de velocidad registrados en campo. ....	54

### Resumen

**Título:** Análisis del congestionamiento por el uso exclusivo del carril de Metrolinea en el tramo comprendido entre Cañaveral y la Puerta del Sol\*

**Autores:** Valentina Monsalve Mejía, Eykis Fernanda Suárez Jaimes\*\*

**Palabras clave:** Movilidad, niveles de servicio, volúmenes de tránsito, capacidad, velocidades.

#### Descripción

El presente artículo plantea el impacto del tráfico producido por el uso exclusivo del carril de Metrolínea en la mal llamada autopista Bucaramanga – Floridablanca, en el tramo comprendido entre Cañaveral y la Puerta del Sol. El cálculo de los niveles de servicio se realizó aplicando los métodos determinados por el Highway Capacity Manual 1994 y 2000, y aplicando los métodos para niveles de servicio en autopistas y en vías multicarriles. Por otra parte, se comparó los niveles de servicio actuales con un posible escenario futuro donde los vehículos particulares y taxis, que cumplan con ciertos parámetros de ocupación, sean trasladados haciendo uso del carril exclusivo de Metrolínea.

Para hacer posible la investigación fue necesaria la realización de un aforo vehicular, en el cual se tomaron datos de velocidades y volúmenes vehiculares, en un día considerado el de mayor afluencia vehicular, teniendo en cuenta la información encontrada de la dirección de tránsito de Bucaramanga. Se debe resaltar que el proyecto maneja cierto nivel de incertidumbre debido a que los datos fueron obtenidos en el contexto de pandemia mundial por COVID-19 y todas las medidas adoptadas por el gobierno se reflejan en una disminución importante del flujo vehicular lo cual altera los resultados en comparación con un contexto sin pandemia.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis David Arévalo Durán.

**Abstract**

**Title:** Analysis of congestion due to the exclusive use of the Metrolínea lane in the section between Cañaveral and Puerta del Sol\*

Authors: Valentina Monsalve Mejía, Eykis Fernanda Suárez Jaimes\*\*

**Keywords:** Mobility, service levels, traffic volumes, capacity, speeds.

**Descripción**

This article exposes the impact of the traffic produced by the exclusive use of the Metrolínea lane on the misnamed Bucaramanga - Floridablanca highway, in the section between Cañaveral and Puerta del Sol. The calculation of service levels was carried out by applying the methods determined by the Highway Capacity Manual 1994 and 2000, and applying the methods for service levels on highways and multi-lane roads. On the other hand, current service levels were compared with a possible future scenario where private vehicles and taxis, which meet certain occupancy parameters, are transferred using the exclusive Metrolínea lane.

To make this research possible, it was necessary to carry out a vehicle capacity, in which data on speeds and vehicle volumes were taken, on a day considered with the highest traffic flow, taking into account the information from the Bucaramanga traffic direction. It should be noted that the project handles a certain level of uncertainty because the data was obtained in the context of the global pandemic by COVID-19 and all the measures adopted by the government are reflected in a significant decrease in vehicle flow, which alters the results compared to a non-pandemic setting.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Luis David Arévalo Durán

## Introducción

De acuerdo a los datos obtenidos por la Dirección de Tránsito de Bucaramanga, entre el año 2015 y 2018 se observó un aumento en un 15% de vehículos registrados en el Área Metropolitana de Bucaramanga, pasando así de 595.373 vehículos a 703.075 vehículos matriculados en el área en tan solo 3 años (Dirección de Tránsito de Bucaramanga, 2020). Todo ello se da por la necesidad del uso del transporte urbano de los ciudadanos y el aumento de la población. La gran oferta de viajes dentro de una infraestructura vial deficiente refleja la congestión vial, que se observa especialmente en el tramo en estudio, de usuarios que provienen de los municipios de Floridablanca y Piedecuesta.

El fenómeno de la congestión es producto de múltiples factores, tales como, la alta demanda vehicular, ineficiencia de la infraestructura vial, poco mantenimiento a la malla vial, mal servicio del Tránsito Público Colectivo (TPC) y distintas opciones de transporte, entre otras.

Considerando la importancia que representa la mal llamada autopista Bucaramanga – Floridablanca, es fundamental la búsqueda de soluciones al problema de congestión. Por ello mediante la investigación realizada y expuesta en el presente documento, se pretende mostrar la conveniencia de hacer uso del carril exclusivo de Metrolínea, trasladando la circulación de algunos vehículos teniendo en cuenta la ocupación observada en los mismos.

## 1. Marco teórico

En la investigación se tuvieron en cuenta distintos conceptos fundamentales para la comprensión básica del documento. A continuación se explicarán algunos de ellos:

- **Volumen:** Número total de vehículos que pasan por encima de un perfil determinado o sección de un carril o carretera, durante un intervalo de tiempo dado, los volúmenes se pueden expresar en relación a periodos anuales, diarios, horarios o subhorarios. (Gardeta-Oliveros & Gardeta-Oliveros, 1995)

- **Tasa de flujo:** es la frecuencia a la cual pasan los vehículos (o personas) durante un tiempo específico menor a una hora, expresada como una tasa horaria equivalente. (Cal, Reyes, & Cárdenas, 2007)

- **Demanda:** Es el número de vehículos (o personas) que desean viajar y pasan por un punto durante un tiempo específico. Donde existe congestión, la demanda es mayor que el volumen actual, ya que algunos viajes se desvían hacia rutas alternas y otros simplemente no se realizan debido a las restricciones del sistema vial. (Cal, Reyes, & Cárdenas, 2007)

- **Capacidad:** Es el número máximo de vehículos que tienen una probabilidad razonable de pasar en un determinado tiempo, en una sola dirección y en un punto de una vía o de una calzada. Es una característica del sistema vial, y representa su oferta. En un punto, el volumen actual nunca puede ser mayor que su capacidad real, sin embargo, hay situaciones en las que parece que esto ocurre precisamente debido a que la capacidad es estimada o calculada mediante algún procedimiento y no observada directamente en campo. (Cal, Reyes, & Cárdenas, 2007)

## 1.1 Velocidad

La velocidad se ha convertido en un parámetro fundamental para la medición de la calidad de operación de los sistemas de transporte público y privado. En general, se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. En el caso de una función lineal, se expresa con la fórmula:

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

Así las cosas, la velocidad representa una característica importante que debe ser estudiada, regulada y controlado con el fin de que origine un perfecto equilibrio entre el usuario, el vehículo y la vía. (Cal, Reyes, & Cárdenas, 2007)

De acuerdo a las condiciones y momentos en los que se miden y analizan las velocidades, ellas se clasifican de la siguiente manera:

### *1.1.1 Velocidad de punto*

Se denomina velocidad de punto a aquella que un vehículo reporta al pasar por un punto determinado de una calle o vía. Al ser tomada en el instante preciso de paso por el punto también es llamada velocidad instantánea. (Cal, Reyes, & Cárdenas, 2007)

### *1.1.2 Velocidad media temporal*

Es la media aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos, o parte de ellos, que pasan por un punto específico de una carretera o calle durante un intervalo de tiempo

selecciona. Se dice entonces, que se tiene una distribución temporal de velocidades de punto. (Cal, Reyes, & Cárdenas, 2007)

### ***1.1.3 Velocidad media espacial***

Es la media aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos que en un instante dado se encuentran en un tramo de carretera o calle. Se dice entonces, que se tiene una distribución espacial de velocidades de punto.

Para un espacio o distancia dados, la velocidad media espacial se calcula dividiendo la distancia por el promedio de los tiempos empleados por vehículos en recorrerla. (Cal, Reyes, & Cárdenas, 2007)

### ***1.1.4 Velocidad de recorrido***

También es conocida como velocidad global o de viaje, es el resultado de dividir la distancia recorrida, desde principio a fin del viaje, entre el tiempo total que empleó en recorrerla. En el tiempo total de recorrido están incluidas todas aquellas demoras operacionales por reducciones de velocidad y paradas provocadas por la vía, el tránsito y los dispositivos de control, ajenos a la voluntad del conductor. No incluye aquellas demoras fuera de la vía, como pueden ser las correspondientes gasolineras, restaurantes, lugares de recreación, etc. (Cal, Reyes, & Cárdenas, 2007)

### ***1.1.5 Velocidad de marcha***

Para un vehículo la velocidad de marcha o velocidad de crucero, 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. (Cal, Reyes, & Cárdenas, 2007)

### ***1.1.6 Velocidad de proyecto***

Llamada también velocidad de diseño, es la velocidad máxima a la cual pueden circular los vehículos con seguridad sobre una sección específica de una vía, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son tan favorables que las características geométricas del proyecto gobiernan la circulación. (Cal, Reyes, & Cárdenas, 2007)

## **1.2 Percentiles**

- P15: Límite inferior de la velocidad a flujo libre. (Cal, Reyes, & Cárdenas, 2007)
- P50: Medida de calidad de flujo vehicular y es aproximadamente igual a la velocidad media. (Cal, Reyes, & Cárdenas, 2007)
- P85: Velocidad crítica a la cual debe establecerse el límite de la velocidad. (Cal, Reyes, & Cárdenas, 2007)
- P98: Se utiliza para establecer la velocidad de proyecto. (Cal, Reyes, & Cárdenas, 2007)

## **1.3 Niveles de Servicio**

Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y/o pasajero. (Cal, Reyes, & Cárdenas, 2007)

Encontramos 6 tipos de niveles de servicio que nos permiten caracterizar la vía, a continuación, describimos cada uno de ellos:

- Nivel de servicio A: Describe en primer lugar operaciones en régimen libre. En aquellos elementos con velocidad de proyecto de 112 km/h se produce en general una velocidad media de recorrido prevaleciente cercana a los 96 km/h. Los vehículos circulan sin prácticamente restricción alguna en su capacidad de maniobra dentro de la corriente circulatoria.

- Nivel de servicio B: Representa condiciones razonablemente dentro del régimen libre y en elementos de autopista con velocidad de proyecto de 112 km/h se alcanzan velocidades sostenidas de 90 km/h. La capacidad de maniobra dentro de la corriente circulatoria se ve solo ligeramente restringida, y el nivel de comodidad general física y psicológica proporcionado a los conductores es todavía alto.

- Nivel de servicio C: Proporciona operaciones en régimen estable, pero los flujos se aproximan al dominio en el cual pequeños incrementos en la intensidad ocasionan grandes deterioros en el servicio. La velocidad media es superior a los 87 km/h. La libertad de maniobra en la corriente circulatoria está notablemente restringida en este nivel de servicio C, y se requiere un mayor cuidado y vigilancia por parte del conductor en los cambios de carril.

- Nivel de servicio D: Bordea el flujo inestable. En este campo, pequeños incrementos de la intensidad provocaran sustanciales deterioros en el servicio. En tramos de autopista con velocidad de proyecto de 112 km/h todavía se pueden mantener velocidades medias de recorrido de 74 km/h. La libertad de maniobra dentro de la corriente circulatoria está seriamente limitada y el conductor experimenta niveles de comodidad física y psicológica enormemente reducidas.

- Nivel de servicio E: El límite entre el nivel de servicio D y E describe las operaciones en régimen de capacidad, la circulación en este nivel es extremadamente inestable, porque no existen virtualmente intervalos utilizables dentro del flujo vehicular. Las velocidades medias de recorrido en régimen de capacidad son aproximadamente de 48 km/h.

- Nivel de servicio F: Describe un flujo forzado o en colapso. Esta situación generalmente se produce dentro de las colas que se forman detrás de los puntos de rotura del flujo. (Gardeta-Oliveros & Gardeta-Oliveros, 1995)

*Figura 1.* Tipos de niveles de servicio.



*Nota:* Manual 2005 VCHI de diseño geométrico de vías urbanas.

## **2. Metodología**

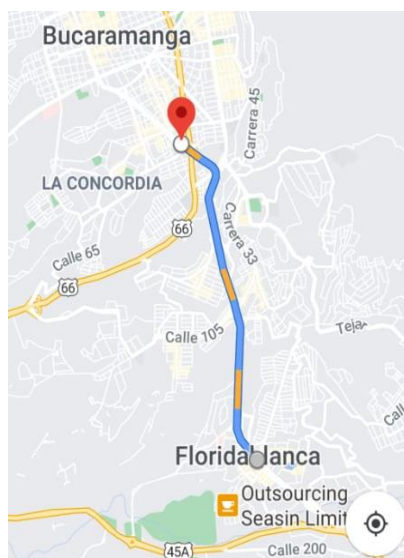
### **2.1 Lugar de Estudio**

La presente investigación se basa en el análisis del tramo comprendido entre Cañaveral y la Puerta del Sol de la mal llamada autopista Floridablanca - Bucaramanga, la cual es una vía de gran importancia para el área metropolitana por la conexión que establece entre los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Piedecuesta y otros cercanos, teniendo en cuenta que el mayor flujo de pasajeros se evidencia en las horas pico, siendo en la mañana el recorrido sur – norte el más transitado, y en las horas de la tarde el trayecto de retorno.

El procedimiento consiste en analizar los NDS en dos escenarios, el primero con la situación de tráfico actual en donde el sistema Metrolínea circula por su carril exclusivo mientras que el resto del tráfico lo hace por los carriles adyacentes. El segundo escenario es mediante un simulacro de traslado de vehículos con ocupación de más de dos personas al carril exclusivo, para que se comparta el flujo vehicular con el sistema de transporte colectivo en general. Nuestro análisis se realizó para dos condiciones, dado que las características de la vía no cumplen en su totalidad con los requerimientos para ser una autopista y a su vez tampoco puede ser clasificada del todo como una vía multicarril.

En la figura 2 se puede observar el tramo que será estudiado

Figura 2. Tramo de estudio.



Nota: Google Maps

El tramo estudiado presenta variabilidad en sus características geométricas, por lo tanto para la realización del análisis se decidió segmentarlo en 3 tramos, buscando uniformidad en sus características, tal cual como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.

*Características geométricas tramos de estudio.*

Tramo Estudiado	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
Sector	Cañaveral – Sanautos	Sanautos - Diamante	Diamante – Puerta del sol
Longitud	1410 m	1233 m	1516 m
Tipo De Terreno	Ondulado	Plano	Plano
Nº De Calzadas	Una calzada por sentido	Una calzada por sentido	Una calzada por sentido
Nº De Carriles	Dos carriles por calzada	Dos carriles por calzada	Tres carriles por calzada

Tabla 1. (Continuación)

<b>Tramo Estudiado</b>	<b>Tramo 1</b>	<b>Tramo 2</b>	<b>Tramo 3</b>
Pendiente Longitudinal	4.89%	0.20%	2.30%
Ancho De Calzada	6.6 m	6.6 m	7.2 m
Ancho De Carril	3.3 m	3.3 m	3.6 m
Berma	Ausente en la mayoría del tramo		

## 2.2 Realización de Formato de Toma de Datos

Se proyectó el formato a utilizar para la toma de datos; para ello se indagaron formatos del ministerio de transporte, sobre toma de datos referentes a la ocupación vehicular.

De acuerdo con el análisis de formatos del ministerio de transporte, se diseñó uno específico para el estudio, para registrar el conteo de paso de vehículos taxis, particulares, motos y busetas clasificados según su ocupación, en periodos de 15 minutos.

## 2.3 Toma de Datos

La toma de datos se llevó a cabo el día miércoles 19 de agosto del 2020 entre las 6:30 y 8:30 de la mañana, hora de la posible congestión.

Para los efectos de la toma de información sobre la velocidad y tratándose de una vía nacional, se escogió el método de las velocidades de punto mediante la muestra de 150 vehículos mixtos, registrando el tiempo que se demoraban pasando por dos puntos determinados, ubicados a una distancia de 50 metros entre ellos. Hay varios métodos para la toma de velocidades, en este caso la escogencia del método, se hizo por tratarse de un fenómeno de transitabilidad en una vía semejante a una autopista y no en una calle de la ciudad.

Seguido de ello, se procedió al registro de los vehículos circulando en el tramo en periodos de tiempo de 15 minutos, siendo clasificados según la cantidad de pasajeros que transportaban. Esto con el fin de contabilizar el tránsito de vehículos particulares y tipo taxis con ocupación mayor a dos personas, que eventualmente pudiesen ser trasladados al carril exclusivo de Metrolínea, y así optimizar el uso de este carril.

La toma de datos se realizó en el escenario de pandemia por COVID19, lo cual limitó un muestreo más extenso, por razones obvias, que hubiese sido lo ideal. No obstante, hay que tener en cuenta que el comportamiento del transporte público y particular es muy similar durante los días entre semana.

#### **2.4 Determinación de la Velocidad Media**

Para el cálculo de la velocidad se usó los datos registrados en campo de una muestra de 150 carros, en este aforo se midió el tiempo que demoraban en recorrer una distancia de 50 metros. Se realizó un análisis estadístico para calcular la velocidad media de punto la cual es necesaria para hallar la velocidad a flujo libre de la autopista.

#### **2.5 Determinación de los Volúmenes de Tránsito**

Los volúmenes se determinan en dos momentos, en primera instancia se realizó un análisis usando la totalidad de los datos registrados en el aforo elaborado, siendo así el volumen de vehículos actual. Posteriormente, se analizó los datos de cantidad de vehículos taxis y particulares con una ocupación mayor a dos personas para proceder a retirarlos del volumen actual, y pasarlos al carril de uso exclusivo, obteniendo así lo que podría ser el volumen de tránsito en condiciones futuras.

## **2.6 Determinación de los Niveles de Servicio**

Como un estudio inicial se calculan los niveles de servicio en base al método expuesto por la norma Highway Capacity Manual 1994 para el caso de autopistas y vías multicarriles, analizando los datos obtenidos para los dos escenarios propuestos en el presente proyecto de investigación, teniendo en cuenta, que inicialmente se estudiará la totalidad del volumen aforado y se realizará nuevamente el cálculo con los datos obtenidos luego de retirar los vehículos trasladados al carril exclusivo de Metrolínea.

Posterior a ello se evaluarán los niveles de servicio en base al método contemplado en el capítulo 21 y 23 del Highway Capacity Manual 2000.

## **2.7 Análisis de los Datos Obtenidos**

Se analizaron los datos recopilados de los comportamientos de los niveles de servicio del tramo vial para los dos escenarios y con las dos normativas, es decir mediante el escenario actual en donde solo son los buses de Metrolínea los que pueden circular por el carril exclusivo y mediante un escenario hipotético, que deberá simularse trasladando el volumen vehicular detectado al carril exclusivo de Metrolínea.

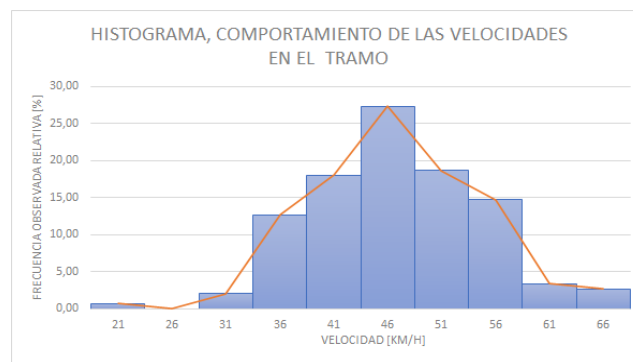
## **2.8 Planteamiento de Solución**

Se plantean soluciones al problema de movilidad en el tramo vial estudiado de acuerdo con los dos escenarios analizados, teniendo en cuenta los resultados obtenidos y las normas existentes en otros países para casos de estudios similares.

### 3. Estudio de las velocidades

Teniendo los datos de tiempo de paso por dos puntos distanciados entre ellos 50 metros, se procedió al cálculo de la velocidad de cada uno de los 150 vehículos mixtos, haciendo uso de la fórmula 1. Contando con las velocidades de cada uno de los vehículos, se hizo un estudio de la velocidad de punto. Primero se organizan los datos obtenidos de forma ascendente y luego se hace un análisis estadístico utilizando la distribución normal. En la ilustración 3 se muestra el comportamiento de las velocidades del tramo. De esta forma se adquiere la información real del comportamiento de los conductores en la vía en cuanto a sus decisiones sobre la velocidad asumida bajo su responsabilidad que aporta finalmente datos para la estimación de los niveles de servicio.

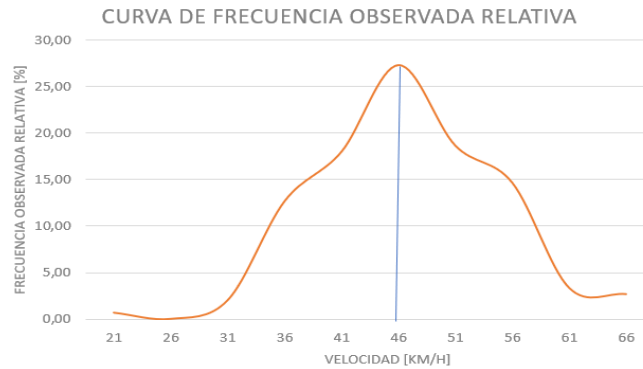
*Figura 3.* Histograma del comportamiento de las velocidades en el tramo.



*Nota:* Elaboración propia.

La ilustración 4 muestra la velocidad media de punto, la cual da como resultado 46.8 km/h, siendo este valor un valor aproximado de la velocidad que se espera para cualquier vehículo que circule por el punto donde el estudio fue realizado.

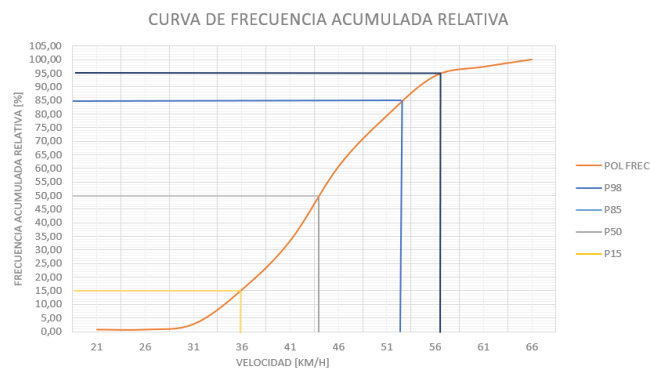
Figura 4. Curva de frecuencia observada relativa.



Nota: Elaboración propia.

Otro indicador importante en el estudio de las velocidades son los percentiles. La curva de frecuencia acumulada relativa (ilustración 5) y la tabla 2 detallan los percentiles que se calcularon. Evidenciando que el P50 es bastante cercano a la velocidad de punto obtenida.

Figura 5. Curva de frecuencia acumulada relativa.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 2.

*Percentiles.*

<i>Percentiles</i>	
<i>P98</i>	56.50 Km/h
<i>P85</i>	52.50 Km/h
<i>P50</i>	43.80 Km/h
<i>P15</i>	36.00 Km/h

*Nota:* Elaboración propia

De acuerdo con la teoría de las velocidades de punto y el análisis estadístico del comportamiento de las velocidades en el tramo en estudio, se analiza lo siguiente:

**a)** La velocidad mínima correspondiente al percentil 15 dio 36.00 kilómetros/hora, lo que significa que cualquier vehículo que transite por el tramo a esa velocidad o menos, está causando congestión vehicular

**b)** La velocidad media corresponde según el comportamiento de todo el tránsito al percentil 50 y es el proceder de la mayoría de los conductores, establecida en 44 Kilómetros/hora, dato que corresponde a una lógica dados la relativa disminución del tránsito por las circunstancias de COVID y a que el tramo se encuentra cercano a la ciudad, es decir no es un tramo vial abierto. Este tramo es afectado por movimientos de convergencia y divergencia en rampas de enlace cercanas como el intercambiador de Provenza.

**c)** El percentil 85 corresponde según la teoría a la velocidad de operación de los vehículos en conexión con los dispositivos de control del tránsito, dando un valor de 53 km/hora

**d)** El percentil 98 corresponde según la teoría a la velocidad de proyecto

e) Los 4 percentiles anteriores que corresponden a distintas velocidades están en el contexto de la realidad según datos establecidos en campo para un nivel de servicio que ocurre durante un día y en unas horas determinadas. Esta situación es distinta a una situación ideal en donde pudiese existir velocidades a flujo libre que corresponden a buenos niveles de congestión establecidos para A, B, C tal y como aparece su definición de flujo.

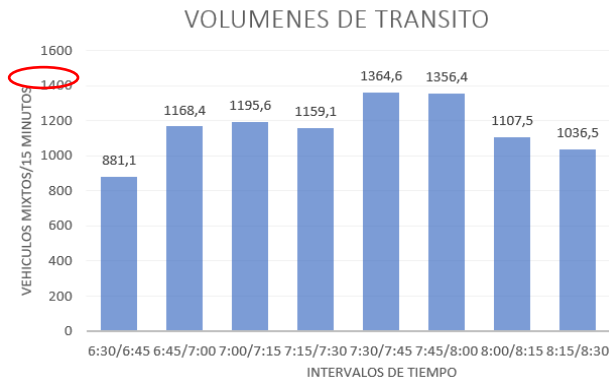
#### **4. Análisis de NDS con datos actuales**

##### **4.1 Volúmenes de Tránsito**

Con los datos del estudio de ocupación, se halló el volumen horario de máxima demanda (VHMD), la ilustración 6 muestra el histograma con los volúmenes de vehículos mixtos que circularon por el tramo estudiado en intervalos de 15 min. Se puede observar que el flujo máximo en ese intervalo de tiempo ( $q$  máx) es de 1365 vehículos mixtos/15 min, y está comprendido entre las 7:30 am–7:45 am.

Cabe resaltar que las motocicletas fueron llevadas a su equivalencia de vehículo mixto siendo multiplicadas por un factor de 0.7 basados en el proyecto denominado “Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas aplicación en la ciudad de Medellín” (República de Colombia - Departamento Nacional de Planeación, 2002), dicho factor se vuelve incierto dado que no hay estudios actuales para Bucaramanga, pero por su similitud a Medellín se hizo uso del factor mencionado previamente.

Figura 6. Volúmenes de tránsito actuales.



*Nota:* Elaboración propia.

El VHMD está dado en términos de vehículos livianos por lo tanto se hizo la respectiva equivalencia de vehículos mixtos a vehículos livianos, el factor de equivalencia para buses y camiones es de 1.5 y para los taxis y vehículos particulares de 1.0, dándonos como resultado 4991 vehículos livianos/hora.

El factor horario de máxima demanda (FHMD) fue calculado usando la ecuación 2, el FHMD tiende a oscilar entre 0.75-0.95, los valores más altos demuestran que la demanda se acerca un poco a la capacidad de la instalación. En este caso nos dio de 0.914, lo cual demuestra que no existen altas concentraciones de flujo vehicular. Valores bastante menores que la unidad indican concentraciones de flujos máximos en periodos cortos dentro de la hora de máxima demanda. Cal y Mayor

$$FHMD = \frac{VHMD}{4 * q_{m\acute{a}x}} \quad (2)$$

## 4.2 Cálculo de Niveles de Servicio HCM 1994

### 4.2.1 Niveles de Servicio como autopista

En un primer escenario se realizará el cálculo de niveles de servicio actuales mediante el Highway Capacity Manual 1994 para autopistas, haciendo uso de la fórmula 3.

$$Fsi = (C_j) \left(\frac{V}{C}\right)_i (N)(f_A)(f_{VP})(f_c) \quad (3)$$

La capacidad por carril ( $C_j$ ) en el caso velocidades de proyecto de 80 km/hora es de 1900 autos/hora/carril, lo cual aplica de igual forma en los tres tramos estudiados. Para el análisis se tendrá en cuenta los carriles referidos anteriormente para cada tramo. El factor de ajuste por tipo de conductores,  $F_c$ , será tomado como 1 ya que el estudio fue tomado en un día laboral.

En el caso del factor de ajuste por efecto de restricciones ( $f_A$ ) se calcula de acuerdo a la tabla 3. Se ingresa a la tabla conociendo que la zona en estudio no cuenta con bermas y por lo tanto la distancia calzada-obstáculo es equivalente a cero (0), analizando los anchos de carriles referidos y tendremos en cuenta obstáculos en ambos lados de la vía.

Tabla 3.

*Factor de ajuste fA por reducción de anchura de carriles y obstáculos laterales.*

<i>Distancia Calzada - Obstáculo</i>	<b>Factor De Ajuste Fa Autopistas</b>					
	<b>Obstáculos En Un Lado</b>			<b>Obstáculos En Ambos Lados</b>		
	<b>Anchura De Carril</b>					
	<b>&gt;= 3.60</b>	<b>3.3</b>	<b>3</b>	<b>&gt;= 3.60</b>	<b>3.3</b>	<b>3</b>
<i>Mayor o igual a 1,80</i>	1	0.95	0.9	1	0.95	0.9
<i>1,2</i>	0.99	0.94	0.89	0.98	0.93	0.88
<i>0,6</i>	0.97	0.92	0.88	0.95	0.9	0.86
<i>0</i>	0.92	0.88	0.84	0.86	0.82	0.78

*Nota:* Highway Capacity Manual 1994

El flujo de servicio por sentido en el nivel *i* (Fsi) se calcula según la fórmula 4. Teniendo en cuenta que el VHMD actual dio un resultado de 4991 y el FHMD 0.914, el factor Fsi da como resultado 5461.

$$Fsi = \frac{VHMF}{FHMD} \quad (4)$$

Así las cosas, la última variable necesaria para realizar el cálculo de los niveles de servicio por el método HCM 94, será el factor de ajuste por presencia de vehículos pesados, el cual está dado por la fórmula 5.

$$f_{vp} = \frac{100}{100 + P_c(E_c - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (5)$$

Para el escenario estudiado, se debe tener en cuenta que no se cuenta con conteo de vehículos recreativos ni camiones, por lo tanto, dichas variables serán tomados con un valor de cero no influyendo en el cálculo.

Tabla 4.

*Equivalencia en vehículos ligeros para segmentos básicos de autopistas.*

<i>Categoría</i>	<b>Tipo De Terreno</b>		
	<b>Llano</b>	<b>Ondulado</b>	<b>Montañoso</b>
<i>Ec</i>	1,5	4	6
<i>Eb</i>	1,5	3	6
<i>Er</i>	1,2	2	4

*Nota:* Highway Capacity Manual 1994.

Como se puede analizar en la tabla 4, se debe tener en cuenta la pendiente de cada uno de los tramos para obtener el factor *Eb* y finalmente encontrar el respectivo *fvp*.

Finalmente se despeja el valor de la máxima relación volumen/capacidad que se encuentra asociada a los NDS.

Los resultados para cada uno de los tramos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.

*Resultados HCM 1994 autopistas.*

<b>HCM 1994 Autopistas</b>			
	<b>Tramo 1</b>	<b>Tramo 2</b>	<b>Tramo 3</b>
Fc	1	1	1
Cj	1900	1900	1900
fA	0,82	0,82	0,86
N	2	2	3
Fsi	5461	5461	5461
Fvp	0,9978	1	1
(V/C)i	1,75	1,2	1,11
NDS	F	F	F

*Nota:* Realización propia.

Según el método HCM 94, el nivel de servicio dado es de tipo F para todos los tramos estudiados y aunque el factor horario de máxima demanda no indica propiamente congestión, el nivel de servicio por este método si estima algún nivel de congestión. Esto ocurre por la aplicación del método para HCM para Colombia por las siguientes circunstancias:

- a) El número de carriles y su ancho no permanece a lo largo del tramo
- b) La tabla del manual tiene velocidades libres de 88.5 kms/hora y no de 80 Kilómetros/hora. Esto significa también que la autopista en estudio no lo es propiamente.

#### 4.2.2 Niveles de Servicio como vía multicarril

Posteriormente se calcula los niveles de servicio actuales mediante el Highway Capacity Manual 1994 para vías multicarriles, haciendo uso de la fórmula 6.

$$Fsi = (C_j) \left(\frac{V}{C}\right)_i (N)(f_A)(f_{VP})(f_c)(ft) \quad (6)$$

La capacidad por carril (Cj) en el caso velocidades de proyecto de 80 km/hora es de 1900 autos/hora/carril, lo cual aplica de igual forma en los tres tramos estudiados. Para el análisis se tendrá en cuenta los carriles referidos anteriormente para cada tramo. El factor de ajuste por tipo de conductores, Fc, será tomado como 1 ya que el estudio fue tomado en un día laboral. Así mismo ft será tomado de 1 teniendo en cuenta que la vía se encuentra dividida por un separador y los flujos son independientes.

En el caso del factor de ajuste por efecto de restricciones (fA) se calcula de acuerdo a la tabla 6. Se ingresa a la tabla conociendo que la zona en estudio no cuenta con bermas y por lo tanto la distancia calzada-obstáculo es equivalente a cero (0), analizando los anchos de carriles referidos y tendremos en cuenta obstáculos en ambos lados de la vía.

Los resultados obtenidos en este caso son los siguientes:

Tabla 6.

*Resultados HCM 1994 vías multicarril.*

<b>HCM 1994 Vías Multicarril</b>			
	<b>Tramo 1</b>	<b>Tramo 2</b>	<b>Tramo 3</b>
	1	1	1
j	1900	1900	1900
A	0,82	0,82	0,86
N	2	2	3
si	5461	5461	5461
Fvp	0,9978	1	1
Ft	1	1	1
(V/C)i	1,75	1,2	1,11
NDS	F	F	F

*Nota:* Realización propia.

### 4.3 Cálculo de Niveles de Servicio HCM 2000

#### 4.3.1 Niveles de Servicio como autopista

Para calcular los niveles de servicio se hizo uso del capítulo 23 del Highway Capacity Manual 2000, y los datos de volumen medidos y analizados anteriormente. Se procede a realizar el cálculo de la tasa de flujo ( $V_p$ ) haciendo uso de la fórmula 7, teniendo en cuenta las distintas variables que intervienen, siendo así el número de carriles ( $N$ ) del punto donde se tomaron los datos y el  $F_p$  (Factor por el tipo de conductor) que en cualquiera de los tramos será igual a 1 ya que se asume una población común.

$$V_p = \frac{V}{(FHMD)(N)(F_{hv})(F_p)} \quad (7)$$

Se procede a hallar el valor de ajuste por vehículos pesados (fhv) haciendo uso de la fórmula 8, en este caso como no hay camiones y no hay vehículos recreativos el porcentaje (P<sub>T</sub> y P<sub>R</sub>) es tomado como 0, el porcentaje de buses que calculamos dio de 0.1096.

Usando estos datos descritos previamente y así mismo los valores dados por la tabla 7, teniendo en cuenta la pendiente del tramo estudiado se halla el valor de fhv.

Tabla 7.

*Equivalencia de vehículos livianos para camiones y buses en pendientes ascendentes*

EXHIBIT 23-9. PASSENGER-CAR EQUIVALENTS FOR TRUCKS AND BUSES ON UPGRADES

Upgrade (%)	Length (km)	E <sub>T</sub>									
		Percentage of Trucks and Buses									
		2	4	5	6	8	10	15	20	25	
< 2	All	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
	0.0-0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
≥ 2-3	> 0.4-0.8	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
	> 0.8-1.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
	> 1.2-1.6	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
	> 1.6-2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
	> 2.4	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
> 3-4	0.0-0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
	> 0.4-0.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	
	> 0.8-1.2	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
	> 1.2-1.6	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	
	> 1.6-2.4	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	
> 4-5	> 2.4	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	
	0.0-0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
	> 0.4-0.8	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
	> 0.8-1.2	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
	> 1.2-1.6	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
> 5-6	> 1.6	5.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	
	0.0-0.4	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
	> 0.4-0.5	4.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
	> 0.5-0.8	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
	> 0.8-1.2	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
> 6	> 1.2-1.6	5.5	5.0	4.5	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
	> 1.6	6.0	5.0	5.0	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	
	0.0-0.4	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	
	> 0.4-0.5	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	
	> 0.5-0.8	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	
> 6	> 0.8-1.2	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	
	> 1.2-1.6	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	
	> 1.6	7.0	6.0	5.5	5.5	5.0	4.5	4.0	4.0	4.0	
	> 1.6	7.0	6.0	5.5	5.5	5.0	4.5	4.0	4.0	4.0	

Nota: Highway Capacity Manual 2000

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (8)$$

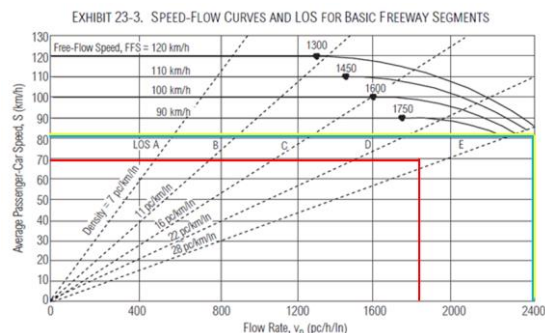
Haciendo uso de las variables halladas en el procedimiento se calcula la tasa de flujo  $V_p$ .

Finalmente, se debe hallar la velocidad a flujo libre dada por la fórmula 9, y haciendo uso de la velocidad media obtenida previamente.

$$FFS = VMED + 0.0125 \left( \frac{V_p}{f_{HV}} \right) \quad (9)$$

A continuación, en la gráfica 7 se observa el análisis realizado para finalmente encontrar los NDS en cada uno de los tramos estudiados respectivamente. Teniendo en cuenta que los valores señalados de color amarillo, azul y rojo hacen referencia respectivamente al tramo 1, 2 y 3. Se debe destacar que en los primeros dos tramos, la tasa de flujo obtenida era superior a la registrada en la gráfica y por ello se hizo uso del valor máximo encontrado.

Figura 7. Nivel de servicio HCM 2000 autopista



Nota: Highway Capacity Manual 2000

A continuación en la tabla 8 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los tramos estudiados:

Tabla 8.

*Resultados NDS HCM 2000 autopistas.*

<b>Resultados HCM 2000 Autopistas</b>			
	<b>Tramo 1</b>	<b>Tramo 2</b>	<b>Tramo 3</b>
<b>Fhv</b>	0,997	0,999	0,999
<b>Vp</b>	2738 Veh	2731 Veh	1821 Veh
	liv/h/carril	liv/h/carril	liv/h/carril
<b>FFS</b>	81,14 km/h	80,95 km/h	69,59 km/h
<b>NDS</b>	F	F	E

*Nota:* Elaboración propia

#### **4.3.2 Niveles de Servicio como vía multicarril**

Se procede a realizar el cálculo de la tasa de flujo ( $V_p$ ) haciendo uso de la fórmula 10, teniendo en cuenta las distintas variables que intervienen, siendo así el número de carriles ( $N$ ) del punto donde se tomaron los datos y el  $F_p$  (Factor por el tipo de conductor) que en cualquiera de los tramos será igual a 1 ya que se asume una población común.

$$V_p = \frac{V}{(FHMD)(N)(F_{hv})(F_p)} \quad (10)$$

Se procede a hallar el valor de ajuste por vehículos pesados (fhv) haciendo uso de la fórmula 11, en este caso como no hay camiones y no hay vehículos recreativos el porcentaje ( $P_T$  y  $P_R$ ) es tomado como 0, el porcentaje de buses que calculamos dio de 0.1096.

Usando estos datos descritos previamente y así mismo los valores dados por la tabla 9, se hace uso de la misma ya que cada tramo estudiado consta de una pendiente ascendente diferente, con este dato se halla el valor de fhv.

Tabla 9.

*Equivalencia de vehículos livianos para camiones y buses en pendientes ascendentes uniformes.*

EXHIBIT 21-9. PASSENGER-CAR EQUIVALENTS FOR TRUCKS AND BUSES ON UNIFORM UPGRADES

Upgrade (%)	Length (km)	$E_T$								
		Percentage of Trucks and Buses								
		2	4	5	6	8	10	15	20	25
<2	All	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
≥ 2-3	0.0-0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.8	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.8-1.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 1.2-1.6	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 1.6-2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 2.4	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
> 3-4	0.0-0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
	> 0.8-1.2	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 1.2-1.6	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 1.6-2.4	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 2.4	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
> 4-5	0.0-0.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.8	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.8-1.2	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	> 1.2-1.6	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.6	5.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0
> 5-6	0.0-0.4	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	> 0.4-0.5	4.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	> 0.5-0.8	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	> 0.8-1.2	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.2-1.6	5.5	5.0	4.5	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	> 1.6	6.0	5.0	5.0	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
> 6	0.0-0.4	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
	> 0.4-0.5	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.5-0.8	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	> 0.8-1.2	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0
	> 1.2-1.6	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5
	> 1.6	7.0	6.0	5.5	5.5	5.0	4.5	4.0	4.0	4.0

Nota: Highway Capacity Manual 2000

$$f_{HV} = \frac{100}{1 + P_T(E_T - 1) + (E_R - 1)} \quad (11)$$

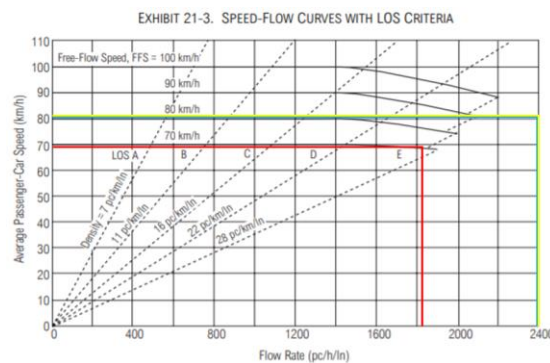
Haciendo uso de las variables halladas en el procedimiento se calcula la tasa de flujo  $V_p$ .

Finalmente, se debe hallar la velocidad a flujo libre dada por la fórmula 12, y haciendo uso de la velocidad media obtenida previamente.

$$FFS = VMED + 0.0125 \left( \frac{V_p}{f_{HV}} \right) \quad (12)$$

Con los datos de velocidad a flujo libre y la tasa de flujo de cada tramo se procede a ingresar a la gráfica que propone el manual para así encontrar el nivel de servicio correspondiente. A continuación, en la gráfica 8 se observa el análisis realizado para finalmente encontrar los NDS en cada uno de los tramos estudiados respectivamente. Teniendo en cuenta que los valores señalados de color amarillo, azul y rojo hacen referencia respectivamente al tramo 1, 2 y 3. Se debe destacar que en los primeros dos tramos, la tasa de flujo obtenida era superior a la registrada en la gráfica y por ello se hizo uso del valor máximo encontrado.

Figura 8. Niveles de servicio HCM 2000 multicarriles.



*Nota:* Highway Capacity Manual 2000

A continuación en la tabla 10 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los tramos estudiados:

Tabla 10.

*Resultados NDS HCM 2000 vías multicarril.*

<b>Resultados HCM 2000 Multicarril</b>			
	<b>Tramo 1</b>	<b>Tramo 2</b>	<b>Tramo 3</b>
<b>Fhv</b>	0,997	0,999	0,999
<b>Vp</b>	2738 Veh liv/h/carril	2731 Veh liv/h/carril	1821 Veh liv/h/carril
<b>FFS</b>	81,14 km/h	80,95 km/h	69,59 km/h
<b>NDS</b>	F	F	E

*Nota:* Elaboración propia

## **5. Análisis de NDS con datos nuevos de vehículos trasladados al carril exclusivo**

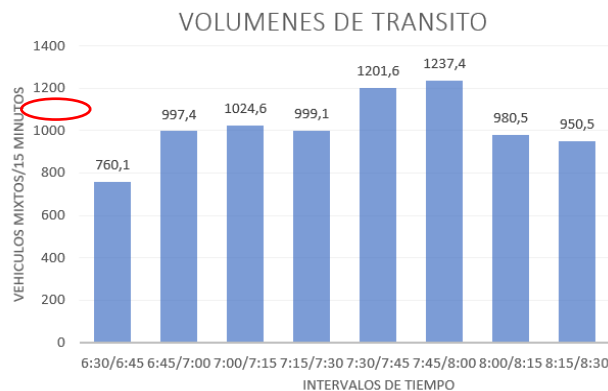
### **5.1 Volúmenes de Tránsito**

En este nuevo caso de estudio se expresa un volumen de tránsito nuevo, ya que, no se tendrán en cuenta aquellos vehículos con una ocupación mayor a dos personas, planteando como solución al actual problema de congestión, el traslado de dichos vehículos al carril exclusivo de

Metrolínea. Cabe mencionar, que la metodología empleada, es exactamente la misma a la usada en el análisis del escenario número 1, es decir antes de realizar el traslado.

Se halló el volumen horario de máxima demanda (VHMD), tal cual como se muestra en la gráfica 9 el flujo máximo en ese intervalo de tiempo ( $q$  máx) es de 1237 vehículos mixtos/15 min, y está comprendido entre las 7:30 am–7:45 am.

Figura 9. Volúmenes de tránsito nuevos.



Nota: Elaboración propia.

El VHMD hallado fue de 4467 vehículos livianos/hora y el factor horario de máxima demanda (FHMD) en este caso nos dio de 0.902, lo cual es un valor alto, que no indica altas concentraciones de flujo vehicular.

## 5.2 Cálculo de Niveles de Servicio HCM 1994

### 5.2.1 Niveles de Servicio como autopista

Al igual que en el numeral 5.2.1 se procede a realizar el cálculo de los niveles de servicio mediante el HCM 94 en primera instancia para autopistas, con la única diferencia de que se usaran los nuevos volúmenes calculados al trasladar los vehículos particulares y taxis con ocupación mayor a 2 personas. Tras analizar todas las variables que intervienen, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 11.

*Resultados HCM 1994 autopistas escenario nuevo.*

<b>HCM 1994 Autopistas</b>			
	<b>Tramo 1</b>	<b>Tramo 2</b>	<b>Tramo 3</b>
Fc	1	1	1
Cj	1900	1900	1900
fA	0,82	0,82	0,82
N	2	2	3
Fsi	4952	4952	4952
Fvp	0,9978	0,9994	0,9994
(V/C)i	1,59	1	1
NDS	F	E	E

*Nota:* Elaboración propia.

### 5.2.2 Niveles de Servicio como vía multicarril

Al igual que en el numeral 5.2.2 se procede a realizar el cálculo de los niveles de servicio mediante el HCM 94 para vías multicarril, con la única diferencia de que se usaran los nuevos

volúmenes calculados al trasladar los vehículos particulares y taxis con ocupación mayor a 2 personas. Tras analizar todas las variables que intervienen, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 12.

*Resultados HCM 1994 vías multicarril escenario nuevo*

<b>HCM 1994 Vías Multicarril</b>			
	<b>Tramo 1</b>	<b>Tramo 2</b>	<b>Tramo 3</b>
Fc	1	1	1
Cj	1900	1900	1900
fA	0,82	0,82	0,86
N	2	2	3
Fsi	4952	4952	4952
Fvp	0,9978	0,9994	0,9994
Ft	1	1	1
(V/C)i	1,59	1	1
NDS	F	E	E

*Nota:* Elaboración propia.

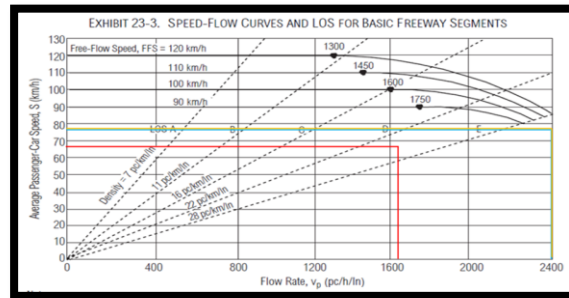
### 5.3 Cálculo de Niveles de Servicio HCM 2000

#### 5.3.1 Niveles de Servicio como autopista

Al igual que en el numeral 5.3.1 se procede a realizar el cálculo de los niveles de servicio mediante el HCM 2000 en primera instancia para autopista, con la única diferencia de que se usaran los nuevos volúmenes calculados al trasladar los vehículos particulares y taxis con ocupación mayor a 2 personas. Tras analizar todas las variables que intervienen, en la gráfica 10 se observa el análisis realizado para finalmente encontrar los NDS en cada uno de los tramos estudiados respectivamente. Teniendo en cuenta que los valores señalados de color amarillo, azul y rojo hacen referencia respectivamente al tramo 1, 2 y 3. Se debe destacar que en los primeros

dos tramos, la tasa de flujo obtenida era superior a la registrada en la gráfica y por ello se hizo uso del valor máximo encontrado

Figura 10. Niveles de servicio HCM 2000 autopista escenario nuevo.



Nota: Highway Capacity Manual 2000

A continuación en la tabla 13 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los tramos estudiados:

Tabla 13.

Resultados NDS HCM 2000 autopista escenario nuevo.

	Tramo1	Tramo 2	Tramo 3
<b>hv</b>	0.996	0.999	0,999
<b>Vp</b>	2484 Veh liv/h/carril	2476 Veh liv/h/carril	1652 Veh liv/h/carril
<b>FFS</b>	77.96 km/h	77.77 km/h	67,47 km/h
<b>NDS</b>	F	F	E

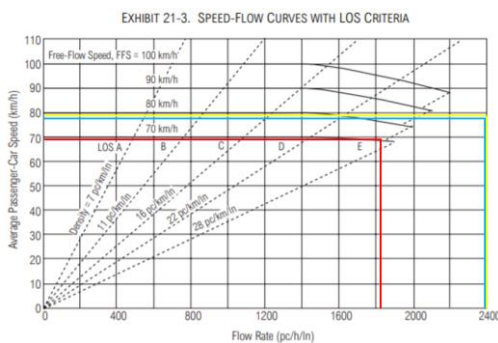
Nota: Elaboración propia

### 5.3.2 Niveles de Servicio como vía multicarril

Al igual que en el numeral 5.3.2 se procede a realizar el cálculo de los niveles de servicio mediante el HCM 2000 para vías multicarril, con la única diferencia de que se usaran los nuevos volúmenes calculados al trasladar los vehículos particulares y taxis con ocupación mayor a 2 personas.

Tras analizar todas las variables que intervienen, en la gráfica 11 se observa el análisis realizado para finalmente encontrar los NDS en cada uno de los tramos estudiados respectivamente. Teniendo en cuenta que los valores señalados de color amarillo, azul y rojo hacen referencia respectivamente al tramo 1, 2 y 3. Se debe destacar que en los primeros dos tramos, la tasa de flujo obtenida era superior a la registrada en la gráfica y por ello se hizo uso del valor máximo encontrado

Figura 11. Niveles de servicio HCM 2000 vía multicarril escenario nuevo.



Nota: Highway Capacity Manual 2000.

A continuación en la tabla 14 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los tramos estudiados:

Tabla 14.

*Resultados NDS HCM 2000 vías multicarril escenario nuevo.*

	<b>Tramo 1</b>	<b>Tramo 2</b>	<b>Tramo 3</b>
<b>hv</b>	0.996	0,999	0,999
<b>p</b>	2484 Veh liv/h/carril	2476 Veh liv/h/carril	1652 Veh liv/h/carril
<b>FS</b>	77.96 km/h	77.77 km/h	67,47 km/h
<b>DS</b>	F	F	E

*Nota:* Elaboración propia

## 6. Conclusiones

- Se estudió la autopista Floridablanca – Bucaramanga en el tramo comprendido entre Cañaveral y la Puerta del Sol, este fue dividido en tres segmentos para permitir el análisis correcto de los niveles de servicio, el tramo 1 se tomó desde Cañaveral hasta el concesionario Sanautos de Floridablanca, el tramo 2 del concesionario Sanautos de Floridablanca hasta la estación Diamante de Metrolínea y finalmente el tramo 3 desde la estación Diamante hasta la puerta del sol.
- Se realizó un aforo el día miércoles 19 de agosto del 2020 desde las 6:30 de la mañana durante dos horas, registrando una muestra total de 10939 vehículos mixtos y motos, de los cuales el 50.88% son motos, 34.79% vehículos particulares, 14.22% taxis y 0.11% buses.
- Según el estudio de velocidades realizado, el percentil 15 correspondiente a la velocidad mínima dio como resultado 36.00 kilómetros/hora, la velocidad media corresponde según el

comportamiento de todo el tránsito al percentil 50 establecida en 44 Kilómetros/hora. El percentil 85 corresponde según la teoría a la velocidad de operación de los vehículos en conexión con los dispositivos de control del tránsito, dando un valor de 53 km/hora.

- El resultado obtenido para el flujo máximo en el escenario actual durante un intervalo de 15 minutos es de 1365 vehículos mixtos y se da en el horario entre las 7:30 de la mañana y las 7:45 de la mañana.

- El resultado del volumen horario de máxima demanda fue calculado en 4991 vehículos livianos/hora teniendo en cuenta que las motocicletas se llevaron a su equivalencia de vehículo mixto, siendo esta de 0.7 vehículos por cada moto. Así mismo, se tuvo en cuenta el factor de equivalencia para buses y camiones de 1.5 vehículos livianos.

- El resultado obtenido para el flujo máximo durante un intervalo de 15 minutos en el nuevo escenario es de 1237 vehículos mixtos y se da en el horario entre las 7:45 de la mañana y las 8:00 de la mañana, reflejando un cambio en el horario y una disminución de 109 vehículos con respecto al primer caso de estudio.

- El resultado del volumen horario de máxima demanda en el hipotético caso de estudio dado luego del traslado de los vehículos fue calculado en 4.467 vehículos livianos/hora. Por lo tanto, se refleja una disminución en 523 vehículos/hora entre los dos escenarios estudiados.

- El factor horario de máxima demanda (FHMD) antes del traslado vehicular, da un valor de 0.914 y posterior al traslado toma un valor de 0.902, en dicho factor su mayor valor es la unidad, lo que significa que existe una distribución uniforme de flujos máximos durante toda la hora.

- Debido a la situación actual provocada por la pandemia y teniendo en cuenta que los datos fueron tomados en ese contexto y cada una de las restricciones dadas por el gobierno actualmente que limitan la salida de las personas, se puede establecer que hay un nivel de

incertidumbre apreciable en el estudio realizado ya que los valores obtenidos no son de un día totalmente típico.

- Se presentan en las tablas 15 y 16 los resultados obtenidos por el análisis realizado con el HCM 94 en los dos tipos de vía, observando que se establece un cambio de nivel de servicio en el tramo 2 y 3 luego del traslado vehicular.

Tabla 15.

*Paralelo escenarios HCM 1994 autopistas.*

HCM 1994 AUTOPISTAS						
VARIABLE S	TRAMO 1		TRAMO 2		TRAMO 3	
	Actual	Nuevo	Actual	Nuevo	Actual	Nuevo
Fc	1	1	1	1	1	1
Cj	1900	1900	1900	1900	1900	1900
fA	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
N	2	2	2	2	3	3
Fsi	5461	4952	5461	4952	5461	4952
Fvp	0,998	0,998	1	1	1	1
(V/C)i	1,75	1,59	1,2	1	1,11	1
NDS	F	F	F	E	F	E

*Nota:* Elaboración propia.

Tabla 16.

*Paralelo escenarios HCM 1994 vías multicarril.*

HCM 1994 MULTICARRIL						
VARIABLE S	TRAMO 1		TRAMO 2		TRAMO 3	
	Actual	Nuevo	Actual	Nuevo	Actual	Nuevo
Fc	1	1	1	1	1	1
Cj	1900	1900	1900	1900	1900	1900
fA	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
N	2	2	2	2	3	3
Fsi	5461	4952	5461	4952	5461	4952
Fvp	0,998	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999
Ft	1	1	1	1	1	1
(V/C)i	1,75	1,59	1,2	1	1,11	1
NDS	F	F	F	E	F	E

*Nota:* Elaboración propia.

- Los NDS hallados por medio del HCM 2000 no muestran un cambio entre los dos escenarios, pero si se puede observar una disminución en las tasas de flujo. En las tablas 17 y 18 se muestra más a detalle los resultados obtenidos.

Tabla 17.

*Paralelo escenarios HCM 2000 autopistas.*

HCM 2000 AUTOPISTAS						
VARIABLE S	TRAMO 1		TRAMO 2		TRAMO 3	
	Actual	Nuevo	Actual	Nuevo	Actual	Nuevo
Fhv	0,997	0,996	0,999	0,999	0,999	0,999
Vp [veh liv/h/carril]	2738	2484	2731	2476	1821	1652
FFS[km/h]	81,14	77,96	80,95	77,77	69,59	67,47
NDS	F	F	F	F	E	E

*Nota:* Elaboración propia.

Tabla 18.

*Paralelo escenarios HCM 2000 carreteras multicarril.*

HCM 2000 CARRETERAS MULTICARRIL						
VARIABLE S	TRAMO 1		TRAMO 2		TRAMO 3	
	Actual	Nuevo	Actual	Nuevo	Actual	Nuevo
Fhv	0,997	0,996	0,999	0,999	0,999	0,999
Vp [veh liv/h/carril]	2738	2484	2731	2476	1821	1652
FFS[km/h]	81,14	77,96	80,95	77,77	69,59	67,47
NDS	F	F	F	F	E	E

*Nota:* Elaboración propia.

- Los resultados demuestran que el tramo 1 y 2 tienen un nivel de congestión más alto que el tramo 3, esto puede deberse principalmente a que el análisis depende de las características geométricas de la vía, más específicamente del número de carriles.

## **7. Recomendaciones**

- Realizar el traslado propuesto de los vehículos con ocupación superior a dos personas no requiere una alta inversión en infraestructura, dado a que las vías se mantienen, requiere inversión en términos logísticos y en la norma que se deberá establecer para el carril exclusivo de Metrolínea, Esta puede llegar a ser una solución relativamente económica.

- Considerando la anterior observación y el proyecto realizado, se recomienda implementar la medida dado que contribuye a la mejora de la congestión en el tramo estudiado.

- La recomendación para trasladar tráfico al carril exclusivo debe ir acompañado de la realización de un nuevo proyecto en condiciones normales, esto es sin pandemia.

- Se recomienda realizar previamente un estudio mediante el cual se establezca el impacto que tendría la medida sobre el servicio de Metrolínea.

- Esta medida, ha sido implementada en países como Estados Unidos donde mediante la H.R.2950 – Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991 (Congress.gov., 2020) se establece que cada estado deberá analizar distintas normativas para establecer los términos por los cuales se caracterizan los HOV (High Occupancy Vehicle) y los HOT (High- Occupancy Toll lanes), los cuales son carriles exclusivos reservados para el uso de vehículos mixtos ocupados por el conductor y una persona adicional, se recomienda analizar de igual forma para el país y la ciudad en estudio una norma similar a la implementada en Estados Unidos o en su defecto la expedición

de una norma nueva, ya que al revisar los documentos Conpes 3167 de 2002, 3370 de 2005 y 3552 de 2008, los cuales son los involucrados en el tema, no presentan indicaciones precisas sobre el uso del carril exclusivo para Metrolínea en el área metropolitana.

### Referencias

- Cal, R., Reyes, M., & Cárdenas, G. (2007). *Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones*. 8th. ed. [ebook] México, p.1. . Obtenido de <https://www.udocz.com/remad/ingenier-a-de-tr-nsitofundamentos-y-aplicaciones-rafael-cal-y-mayor>
- Congress.gov. (2020). *h.r.2950 - 102nd congress (1991-1992): intermodal surface transportation efficiency act of 1991*. Obtenido de <https://www.congress.gov/bill/102nd-congress/house-bill/2950?q=%7b%22search%3a%5b%22hov+lane%22%5d%7d&s=6&r=15>
- Dirección de Tránsito de Bucaramanga. (2020). *Parque-automotor*. Obtenido de <https://www.transitobucaramanga.gov.co/parque-automotor.php>
- Gardeta-Oliveros, J., & Gardeta-Oliveros, G. (1995). *Manual de capacidad de carreteras*. Madrid: Asociación Técnica de Carreteras.
- República de Colombia - Departamento Nacional de Planeación. (2008). *Conpes 3552 – sistema integrado de transporte masivo para Bucaramanga y su área metropolitana seguimiento y modificación*, Bogotá dc.
- República de Colombia - Departamento Nacional de Planeación. (2002). *Conpes 3167 - política para mejorar el servicio de transporte público urbano de pasajeros*. . Bogotá DC
- Yarce Marín, Y.G.; (2015). *Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas, aplicación en la ciudad de Medellín*, Tesis (Magíster); Universidad Nacional de Colombia, Medellín.



## Apéndices

## Apéndice A. Volúmenes de tránsito tomados en campo.

<b>OCUPACIÓN VEHICULAR</b>																		
Fecha: (D.M.A.)	19/08/2020	Hora Inicial:	6:30am	Localización:								TRAMO				Hoja:	1	
Día:	Miércoles	Hora Final:	8:30am									CAÑA VERAL-				PUERTA DEL SOL		
Período	AUTOS						TAXIS					MOTOS			BUSES			
	1	2	3	4	5	>5	1	2	3	4	>4	1	2	>2	4	12	25	>30
6:30/6:45	230	73	38	10	0	0	30	47	34	25	14	345	198	0				
6:45/7:00	306	86	40	12	0	0	40	87	60	43	16	425	257	0	1			
7:00/7:15	277	82	35	11	0	0	21	97	80	39	6	526	252	0	1		2	
7:15/7:30	329	103	45	12	0	0	24	83	66	27	10	458	195	0		2	1	
7:30/7:45	347	125	39	10	0	0	23	91	77	28	9	582	296	0	1			
7:45/8:00	409	140	35	11	0	0	14	84	36	27	10	608	234	0			1	
8:00/8:15	370	85	39	10	0	0	30	78	50	23	5	451	144	0			1	
8:15/8:30	351	104	32	10	0	0	32	45	27	10	7	450	145	0	2			

## Apéndice B. Datos de velocidad registrados en campo.

<b>ESTUDIO DE LAS VELOCIDADES</b>																			
Fecha: (D.M.A.)		19/08/2020		Hora Inicial:		6:30am		Localización:		TRAMO		Hoja:		1					
Día:		Miércoles		Hora Final:		8:09am		Longitud:		50m		De:		1					
N	t[s]	N	t[s]	N	t[s]	N	t[s]	N	t[s]	N	t[s]	N	t[s]	N	t[s]				
1	4,23	16	3,83	31	3,91	46	4,9	61	3,6	76	3,3	91	4,23	106	3,8	121	3,58	136	3,91
2	8,41	17	3,7	32	3,98	47	4,98	62	3,68	77	3,76	92	3,85	107	3,8	122	4,03	137	3,31
3	4,68	18	2,83	33	3,03	48	4,1	63	3,68	78	5,28	93	3,8	108	3,86	123	2,68	138	3,43
4	4,53	19	3,46	34	3,88	49	3,16	64	4,93	79	3,36	94	3,2	109	3,2	124	3,06	139	3,23
5	4,91	20	4,28	35	2,8	50	3,61	65	3,71	80	3,15	95	3,86	110	4,3	125	3,9	140	3,71
6	4,05	21	3,18	36	4,53	51	4,45	66	4,55	81	3,9	96	5,2	111	4,28	126	3,81	141	4,38
7	5,01	22	3,1	37	4,7	52	4,06	67	3,3	82	4,75	97	3,15	112	3,68	127	5,18	142	4,35
8	3,66	23	3,71	38	3,93	53	3,46	68	3,45	83	4,18	98	5,2	113	4,13	128	4,23	143	3,95
9	2,85	24	4,36	39	3,21	54	3,98	69	3,2	84	4,78	99	3,68	114	3,63	129	5,11	144	4,51
10	4,08	25	3,56	40	4,31	55	3,71	70	4,95	85	2,66	100	3,28	115	4,63	130	4,58	145	4,66
11	5,3	26	3,98	41	3,43	56	5,51	71	3,96	86	3	101	4,13	116	3,13	131	4,78	146	3,11
12	4,6	27	3,2	42	4,05	57	4,23	72	3,6	87	3,6	102	3,11	117	3,01	132	3,75	147	3,78
13	4	28	4,08	43	4,1	58	4,21	73	3,63	88	4,11	103	3,95	118	3,71	133	3,7	148	3,8
14	4,58	29	4,31	44	5,95	59	4,8	74	3,36	89	4,28	104	3,53	119	3,55	134	3,13	149	4,8
15	4,05	30	3,91	45	3,78	60	4,36	75	3,35	90	4,06	105	3,73	120	3,68	135	5,6	150	4,2