

**Modelación de la Aglomeración de Pasajeros en Estaciones BRT del Sistema Metroliena.**

**Caso de Estudio Bucaramanga – Colombia.**

**ING. Msc. Jhair Andrés Manrique Bautista**

**ID: 000157640**



**Universidad Pontificia Bolivariana**

**Seccional Bucaramanga**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Bucaramanga (S) (C)**

**2018**

**Modelación de la Aglomeración de Pasajeros en Estaciones BRT del Sistema Metrolinea.**

**Caso de Estudio Bucaramanga – Colombia.**

**ING. Msc. Jhair Andrés Manrique Bautista**

**ID: 000157640**

**Trabajo de grado para optar al título de: Especialista en Vías**

**Director:**

**PH.D Emilio Germán Moreno González**

**Universidad Pontificia Bolivariana**

**Seccional Bucaramanga**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Bucaramanga (S) (C)**

**2018**

### **Dedicatoria**

*A Nuestro Señor Dios Todopoderoso, por brindarme sabiduría y acompañamiento en este proceso de estudio culminado. A mis padres Juan Carlos Manrique y Liliana Bautista Ríos por su apoyo en esta nueva etapa de mi vida educativa y profesional, así como aquellas personas que directa e indirectamente me acompañaron en cada uno de los procesos realizados para lograr este objetivo personal.*

*Jhair Andrés Manrique Bautista*

## **Agradecimientos**

El autor expresa su agradecimiento muy particular a todas las personas, Instituciones y Organizaciones que contribuyeron en la elaboración del presente documento, quienes con sus aportes hicieron posible obtener los resultados y conceptos aquí consignados.

A la UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – SECCIONAL BUCARAMANGA, Institución de formación superior sede de la Especialización en Vías.

Al Ph.D EMILIO GERMÁN MORENO GONZÁLEZ – Director de la presente tesis de Especialización.

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	13
1. Planteamiento del Problema. ....	17
1.1 Pregunta de Investigación .....	20
1.2 Justificación.....	20
1.3 Objetivos .....	23
1.3.1 Objetivos Generales.....	23
1.3.2 Objetivos Específicos .....	24
2. Marcos de Referencia .....	25
2.1 Marco Teórico. ....	25
2.1.1 Concepto de Bus Rapid Transit (BRT).....	25
2.1.2 Caracterización de flujos peatonales .....	27
2.1.2.1 Estudios de Inventario .....	27
2.1.2.2 Volumen de tránsito peatonal.....	28
2.1.2.3 Velocidad de Caminata .....	28
2.1.2.4 Densidad Peatonal. ....	29
2.1.3 Ecuaciones Representativas del Flujo Peatonal.....	29
2.1.3.1 Intensidad Peatonal .....	31
2.1.3.2 Intensidad Unitaria .....	32
2.1.3.3 Intensidad de Pelotón .....	32
2.1.4 Secciones Típicas de Corredores de BRT .....	33
2.1.5 Tamaño de la Plataforma de la Estación.....	34
2.1.6 Concepto del Nivel de Servicio .....	37
2.1.6.1 Flujo Continuo.....	38
2.1.7 Concepto de Capacidad .....	41
2.1.8 Definiciones Básicas.....	42
3. Desarrollo Metodológico .....	45
3.1 Identificación de la Zona de estudio .....	45
3.1.1 Infraestructura de la Estación de Servicio Cañaverl .....	49

3.2 Recolección de la Información Primaria .....	56
3.3 Simulación de la situación actual en el Software Vissim.....	61
3.3.1 Modelos Generales de la Estación de Servicio de Cañaverál.....	71
3.4 Análisis de la Infraestructura.....	74
3.4.1 Intensidad Peatonal.....	74
3.4.2 Intensidad Unitaria.....	75
3.4.3 Intensidad de Pelotón.....	76
3.4.4 Nivel de Servicio Rampas .....	76
3.4.5 Tamaño de la Plataforma de la Estación.....	77
3.5 Análisis de la Infraestructura Actual.....	80
3.6 Simulación de la Situación Futura en el Software Vissim. ....	82
3.6.1 Primer Escenario Futuro .....	82
3.6.2 Segundo Escenario Futuro.....	90
4. Resultados.....	96
5. Conclusiones.....	104
Referencias.....	106

## Lista de Ilustraciones

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1. Distribución porcentual de los pasajeros transportados en el Área Metropolitana de Bucaramanga (Tercer Semestre 2016). .....	19
Ilustración 2. Conglomeración de personas dentro de la Infraestructura del SITM Metrolinea. ....	21
Ilustración 3. Conglomeración de personas dentro del SITM MIO S.A. ....	22
Ilustración 4. Conglomeración de personas dentro del SITM TRANSMILENIO S.A. ....	22
Ilustración 5. Sección típica del corredor BRT Dar es Salaam .....	34
Ilustración 6. Área Requerida por Peatón .....	42
Ilustración 7. Metrolinea Ciudad de Bucaramanga .....	46
Ilustración 8. Metrolinea Municipio de Floridablanca .....	47
Ilustración 9. Metrolinea Municipio de Piedecuesta .....	47
Ilustración 10. Localización Estación Cañaveral .....	48
Ilustración 11. Estación de Cañaveral .....	49
Ilustración 12. Barrera de la Entrada Sur Estación de Cañaveral .....	50
Ilustración 13. Ruta RE1 .....	51
Ilustración 14. Ruta P3 .....	51
Ilustración 15. Ruta P6 .....	52
Ilustración 16. Ruta T1 .....	53
Ilustración 17. Ruta T3 .....	53
Ilustración 18. Ruta P8 .....	54

Ilustración 19. Ruta P13 .....	55
Ilustración 20. Entrada Vagón Norte - Estación de Cañaverál.....	55
Ilustración 21. Rampa Norte .....	56
Ilustración 22. Formato de Campo (Conteo Peatonal).....	57
Ilustración 23. Pasos Iniciales para el Uso del Software Vissim – Viswalk.....	61
Ilustración 24. Grafico Pasos Iniciales para el Uso del Software Vissim – Viswalk.....	62
Ilustración 25. Creación de Áreas para Peatones. ....	63
Ilustración 26. Grafico Creación de Áreas para Peatones .....	64
Ilustración 27. Áreas a Nivel.....	64
Ilustración 28. Grafica Áreas a Nivel.....	65
Ilustración 29. Incorporación de Rutas de Peatones.....	66
Ilustración 30. Grafico Incorporación de Rutas de Peatones .....	66
Ilustración 31. Volumen y Porcentaje de Ruta.....	67
Ilustración 32. Simulación Actual Entrada Norte (Torniquetes).....	68
Ilustración 33. Simulación Actual Entrada Norte .....	68
Ilustración 34. Densidad VS Tiempo .....	71
Ilustración 35. Velocidad VS Tiempo.....	72
Ilustración 36. Velocidad VS Densidad .....	72
Ilustración 37. Flujo Vs Densidad.....	73
Ilustración 38. Densidad VS Tiempo .....	83
Ilustración 39. Modelo de Densidad, Primer Escenario Futuro. ....	87
Ilustración 40. Modelo de Velocidad. Primer Escenario Futuro.....	88
Ilustración 41. Modelo Velocidad VS Densidad. Primer Escenario Futuro .....	88

Ilustración 42. Modelo de Flujo VS Densidad. Primer Escenario Futuro.....	89
Ilustración 43. Modelo Densidad. Segundo Escenario Futuro. ....	93
Ilustración 44. Modelo Velocidad. Segundo Escenario Futuro. ....	94
Ilustración 45. Modelo Velocidad VS Densidad. Segundo Escenario Futuro. ....	95
Ilustración 46. Modelo Flujo VS Densidad. Segundo Escenario Futuro. ....	95
Ilustración 47. Gráfico de Densidades Actual, Primer Escenario Futuro y Segundo Escenario Futuro .....	98
Ilustración 48. Línea de Tendencia, Escenario Actual, Primer Escenario Futuro y Segundo Escenario Futuro .....	99
Ilustración 49. Gráfico de Velocidades, Escenario Actual, Primer Escenario Futuro y Segundo Escenario Futuro. ....	101
Ilustración 50. Línea de Tendencia, Escenario Actual, Primer Escenario Futuro, Segundo Escenario Futuro .....	102

## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Anchos Mínimos Recomendados.....	33
Tabla 2. Nivel de Servicio para Andenes y Senderos Peatonales .....	39
Tabla 3. Volúmenes Peatonales Rampa Norte .....	58
Tabla 4 Volúmenes Peatonales Rampa Sur.....	59
Tabla 5. Resultados Simulación Actual .....	69
Tabla 6. Aforo Peatonal 15 Minutos (Qp.15).....	74
Tabla 7. Número de Personas en Área de Espera .....	77
Tabla 8. Frecuencia de Rutas Metrolinea S.A.....	80
Tabla 9. Frecuencia Real de las Rutas de Metrolinea S.A .....	81
Tabla 10. Frecuencias Escenario Futuro 1. ....	84
Tabla 11. Resultados Generales Primer Escenario Futuro. ....	85
Tabla 12. Resultados Generales del Segundo Escenario Futuro .....	91

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

<b>TITULO:</b>	Modelación de la Aglomeración de Pasajeros en Estaciones BRT del Sistema Metrolínea. Caso de Estudio Bucaramanga – Colombia
<b>AUTOR(ES):</b>	Jhair Andrés Manrique Bautista
<b>FACULTAD:</b>	Especialización en Vías Terrestres
<b>DIRECTOR(A):</b>	Emilio Germán Moreno González

## RESUMEN

En el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), el Sistema de Transporte Público de Autobuses conocido como Metrolínea, experimenta una elevada aglomeración de viajeros en horas punta dentro de sus estaciones BRT, lo que constituye un fenómeno que afecta las condiciones de libre tránsito, la accesibilidad y el proceso de embarque-desembarque de pasajeros. El trabajo propone mejorar las condiciones actuales mediante el estudio de parámetros como: densidad, velocidad y flujo de peatones dentro de la estación. Se elige la estación Cañaveral por su alta afluencia de viajeros y debido a que es una de las más concurridas dentro del AMB. La metodología plantea el análisis de la situación actual en contraste con escenarios futuros de cara a definir si los cambios importantes se deban a la infraestructura o, por el contrario, se deban realizar mejoras operativas que minimicen el problema. Dentro de los escenarios futuros se contempla el mejorar la frecuencia de las rutas y, en segundo lugar, el realizar modificaciones de dimensionamiento de la estación BRT. La simulación es realizada con el software Vissim-Viswalk, herramienta clave que permitió la evaluación masiva de datos y, mediante comparación de los parámetros citados, un ensayo final soporta la mejor decisión.

## PALABRAS CLAVE:

Aglomeración, Estación BRT, Densidad, Flujo de peatones, Vissim-Viswalk.

## V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

### GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** Modeling of Passenger Agglomeration in BRT Stations of the Metroliena System. Case Study Bucaramanga - Colombia.

**AUTHOR(S):** Jhair Andres Manrique Bautista

**FACULTY:** Especialización en vías Terrestres

**DIRECTOR:** Emilio Germán Moreno González

### ABSTRACT

In the Metropolitan Area of Bucaramanga (AMB), the Public Transport System of Buses known as Metroline, with a high speed of flight within hours within the BRT stations, which is a phenomenon that affects the conditions of free transit, accessibility and the passenger boarding-disembarking process. The work proposes to improve current conditions by studying parameters such as: density, speed and pedestrian flow within the station. The Cañaveral station is chosen for its high number of travelers and for being one of the busiest in the AMB. The methodology proposes an analysis of the current situation in contrast to future scenarios in order to define whether important changes are made through the infrastructure or, on the contrary, an improvement is made in the operations that minimize the problem. Within the future scenarios, the change of frequency of the routes is contemplated and, in the second place, the process of modification of the BRT station. The simulation is carried out with the Vissim-Viswalk software, a key tool that allows the massive evaluation of data and , the decision of the mentioned parameters, the final decision

### KEYWORDS:

Agglomeration, BRT Station, Density, Pedestrian flow, Vissim-Viswalk

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK<

## Introducción

El crecimiento poblacional ha generado grandes inconvenientes de tipo económico, social, político, tecnológico, logístico, de planeación, de integración urbanística y de movilidad, entre los principales. Siendo uno de los aspectos más afectados aquel concerniente a la movilidad que implica tanto el tránsito de vehículos como de personas, este último como modo más vulnerable. Es decir, se presentan problemas por una elevada congestión en horas pico, fenómeno que afecta en gran medida la eficiencia del transporte, en especial el público, que puede mitigar el gran impacto generado por un uso excesivo de vehículos particulares y de motocicletas, ambos modos en franco crecimiento. En suma, la congestión en cualquier sistema o medio de transporte es un aspecto común presente en múltiples ciudades a nivel mundial y que requieren mayor esfuerzo de investigación.

En este sentido, las nuevas alternativas de solución que mejoran aparentemente las condiciones de transportación, garantizando un mayor nivel de calidad, fiabilidad y seguridad, comparativamente con los sistemas convencionales, se justifican mediante la premisa de infraestructuras que un costo razonable alcanzan buenas prestaciones de servicio. Es por ello, que en las dos últimas décadas, se han ido instrumentado sistemas de transporte superficiales denominados “masivos” y que son distinguidos mundialmente como sistemas de capacidad intermedia soportados por Autobuses de Transito Rápido (BRT, de sus siglas en inglés), los cuales en su infraestructura implican el uso de diversos elementos clave, tales como; carriles independientes o segregados, autobuses con mayor capacidad de pasajeros, uso de sistemas de

transportación inteligente (ITS, de sus siglas en inglés) y, diseño de una adecuada integración con otros modos de transporte, en suma, elementos que potencian mayor fiabilidad, calidad, eficiencia y seguridad del sistema de transportación. Los resultados encontrados en cuanto a su desempeño y capacidad, ha hecho que estos sistemas sean considerados como solución en más de 70 ciudades alrededor del mundo, y actualmente en planificación, una docena más.

En Colombia, en la ciudad de Bogotá en específico, se evidencia el funcionamiento del primer sistema integrado de transporte masivo (SITM) tipo BRT denominado Transmilenio, que fue propuesto en principio como plan “B” de transporte ya que no se contaba con recursos financieros suficientes para su ejecución. Este sistema en la actualidad es referencia mundial por la gran capacidad en personas transportadas por hora y sentido, gracias a estos resultados, se ha tratado de replicar en todo el país al punto que hoy día existen nueve proyectos nuevos de SITM bajo este mismo concepto, iniciados en distintas ciudades, tales como: Cali (Mío); Medellín (Metroplus); Pereira (Megabus); Bucaramanga (Metrolinea); Barranquilla (Transmetro); Cartagena (Transcaribe) y Cúcuta (Metrobus).

Ante la problemática de financiación de nuevas infraestructuras, los sistemas BRT se presentaron como una solución más viable comparativamente (ej. soluciones ferroviarias), ya que demostraban cierta efectividad con buenos resultados económicos y financieros. Sin embargo, según evaluaciones recientes, algunos resultados no han sido del todo satisfactorios, su incorporación en otras ciudades ha representado procesos de ejecución de mayor envergadura con resultados diferentes a los esperados, dentro de los cuales podemos mencionar: el aumento de congestión alrededor a su área de inserción, aumento del transporte público informal, mayor uso

del vehículo privado, y particularmente, de la motocicleta como modo que representa menores tiempos de viaje. Por otra parte, se experimenta una acentuada disminución de las personas transportadas por modos públicos, sobresaturación de estaciones o paradas, accidentes de tránsito, entre otras. Estos inconvenientes se pueden deber sustancialmente a una mala planificación del servicio de transporte público al momento de insertarlo en redes viarias de alta jerarquía, y luego quizá, a una mala toma de decisiones que imposibilita las mejoras necesarias para alcanzar alta eficiencia, en muchos de los casos, no se destinó tiempo suficiente para desarrollar los estudios previos inherentes que admitan mejoras a las condiciones particulares de funcionamiento en cada ciudad.

En el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), el sistema Metrolinea no ha sido la excepción, se presentan múltiples inconvenientes que hacen que los usuarios califiquen el desempeño como ineficiente y se encuentren insatisfechos. Uno de los aspectos más notorios observado en estos sistemas es precisamente la aglomeración de pasajeros en horas pico, lo que genera una sobresaturación en estaciones principales y mal servicio, que son debido a deficiencias que no han sido suficientemente estudiadas y que implican quizá mayores cambios en la infraestructura en general que fue preconcebida. Otro aspecto negativo, es la falta de educación ciudadana para el adecuado uso del sistema, la cantidad de autobuses necesaria para gestionar mejores frecuencias de servicio y mejora significativa de las condiciones de hacinamiento tanto dentro como fuera del autobús.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se presume que existen aspectos negativos en la infraestructura, tanto en estaciones como en rampas de acceso y el viario, que están afectando el

confort, la fiabilidad y la seguridad necesaria. En contraste, existen países que han implementado sistemas similares de transporte donde se logra satisfacer la demanda y alcanzar las condiciones idóneas de transportación señaladas. Por medio de esta investigación, se pretende entonces, encontrar el efecto que dicha aglomeración de pasajeros pueda tener en parámetros clave que afectan su capacidad de transportación. Se usara para tal fin, metodologías conocidas y ampliamente aceptadas, sobre modelos empíricos encontrados en campo, y que con apoyo en la simulación, pueda alcanzarse mayor representatividad a través de software conocidos (vissim, viswalk). Los resultados deben ser soportados por parámetros de calibración que permitan extrapolar los efectos en situaciones críticas que permitan la evaluación de la infraestructura, mejora en el servicio prestado, confort y seguridad de los usuarios. Se intentará en lo posible, validar los resultados de simulación y modelación obtenidos en el caso de Bucaramanga (Metrolínea) usando datos de Transmilenio en la ciudad de Bogotá.

## **1. Planteamiento del Problema.**

Gracias al crecimiento poblacional que se ha presenciado en las ciudades más grandes del mundo durante el último siglo, se ha generado una expansión del territorio que es liderada por la construcción urbanística, obligando a las personas a recorrer distancias mucho más largas para poder acceder a los servicios básicos como salud, educación, alimentación, empleo y servicios públicos, lo que trasciende a, la necesidad de buscar sistemas de transporte público que satisfagan dicha necesidad.

Desafortunadamente, el transporte público de las ciudades en desarrollo no se encuentra en estado de cumplir con las necesidades de movilización que la ciudad amerita, ya que muchas veces el sistema de autobuses público resulta peligroso, no son confiables, aumentan el nivel de congestión de la malla vial por mala operatividad y generan un alto índice de accidentalidad. Por consiguiente, los planificadores de transporte en conjunto con la clase política han buscado soluciones y/o alternativas de transporte público masivo para mejorar las condiciones de movilidad, y en respuesta a esa necesidad, han sobresalido los sistemas ferroviarios, aunque estos sean muy costosos y la mayoría de las ciudades no cuentan con el presupuesto necesario para la ejecución de los mismos. Por ende, existe una alternativa de transporte público de calidad que representa una menor inversión, y son los denominados autobuses rápido conocidos mundialmente como BRT (Bus Rapid Transit) que pueden brindar un servicio con las mismas características de metro pero a un costo muchísimo menor. Estos sistemas contienen corredores independientes,

autobuses con alta capacidad de pasajeros y pueden estar integrados con otros modos de transporte público, garantizan rapidez, calidad, eficiencia y seguridad al momento de transportarse.

En Colombia, este sistema de transporte masivo se denominó SITM (Sistema Integrado de Transporte Masivo), y se ha implementado en 9 ciudades a nivel nacional, estas son: Bogotá, Transmilenio; Cali, Mío; Medellín, Metroplus; Pereira, Megabus; Bucaramanga, Metrolinea; Barranquilla, Transmetro; Cartagena, Transcribe y Cucuta, Metrobus. Una gama de sistemas donde sobresale Bogotá como primer sistema incorporado y que luego, ha sido replicado en distintas ciudades. Inicialmente era una solución efectiva, pero al paso del tiempo ha venido mostrando falencias producto de una mala planificación de rutas, poca evaluación de la infraestructura y muy deficiente gestión.

Uno de los aspectos más sobresaliente se refiere a la sobre-saturación de las estaciones de transferencia de viajeros, ya sea por deficiencia de la propia infraestructura, por falta de autobuses dentro del sistema, o bien, por falta de mayor tecnología. Este inconveniente se está presentando en la mayoría de las ciudades colombianas en donde se incorporaron los SITM.

Y como es bien sabido por los habitantes del Área Metropolitana de Bucaramanga, esta problemática se está viviendo en casi todas las estaciones BRT del transporte público Metrolinea S.A, donde en las horas pico se evidencia una conglomeración de personas que no permiten el flujo continuo y normal del peatón, haciendo del servicio de transporte público algo ineficiente y provocando una sensación de inconformidad en los usuarios del sistema.

Actualmente el sistema de transporte público Metrolinea S.A transporta el 40% de las personas que se movilizan dentro del AMB, la cantidad de personas que se movilizan son aproximadamente 24 millones de viajeros. En la Ilustración 1 se puede observar la distribución porcentual de pasajeros por modo de transporte utilizado.

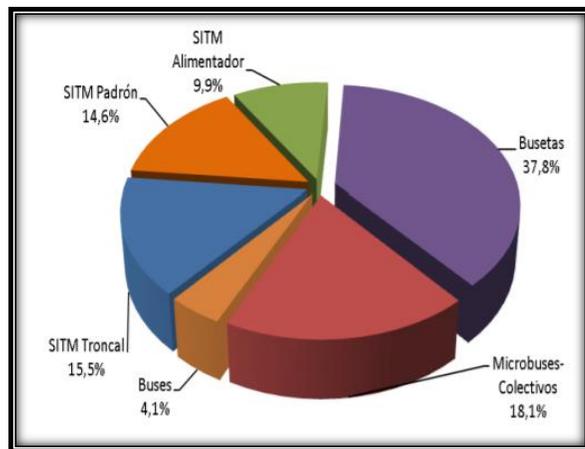


Ilustración 1. Distribución de pasajeros transportados por modo en el ÁMB (Tercer Semestre 2016).

**Fuente:** (DANE, 2016)

Estadísticas obtenidas del boletín técnico del DANE realizado en diciembre de 2016, exponen que el 40 % de los habitantes utilizan el sistema de Metrolinea S.A, lo que equivale a 9.6 millones de pasajeros durante el tercer trimestre del 2016, de igual forma es importante resaltar que el sistema recibe diariamente a través de sus estaciones en el AMB un aproximado de 100 mil viajeros.

Sin embargo, se comprende que el nivel de saturación que se viene presentando dentro de las estaciones obedece a la gran cantidad de usuarios y mal manejo de las conglomeraciones de personas, dificulta que no radica únicamente en la logística que se aplica, sino también en la

planeación y mejora de la infraestructura que se ejecutó dentro de las estaciones, las cuales pueden comprender, plataformas de estaciones pequeñas que no absorben la demanda, tecnología anticuada que genera demoras en recargas de saldo, torniquetes envejecidos que retrasan el paso del usuario, etc.

### **1.1 Pregunta de Investigación**

¿Es posible mejorar las condiciones de aglomeración de los usuarios mediante aplicación de mejoras en las estaciones BRT? O en su defecto ¿se requerirá un cambio más significativo de infraestructura?

### **1.2 Justificación**

El problema de aglomeración de personas y/o sobresaturación de las estaciones BRT en el Sistema Integrado de Transporte Masivo Metrolinea S.A, está generando problemas en la movilidad peatonal dentro de la infraestructura, los ejemplos más claros de la problemática mencionada son: el aumento del tiempo de desplazamiento peatonal que ocurre desde el andén público de la ciudad hacia las estaciones de servicio, la interacción causada entre el usuario que acceda al autobús y el usuario que sale del mismo se está volviendo cada día un proceso más conflictivo y demorado. Estos clásicos ejemplos están generando un retraso de los usuarios dentro

de su rutina diaria ya que muchas veces provocan la pérdida del autobús deseado. En la Ilustración 2 se puede evidenciar lo descrito anteriormente.



Ilustración 2. Conglomeración de personas dentro de la estación de Metrolinea.

**Fuente:** (Velosa, 2014)

De igual forma esta situación no solo se presenta dentro del AMB sino también en todos los sistemas SITM que se han venido incorporando en Colombia, en sistemas de autobús que se ofrecen como solución para absorber la demanda masiva de personas en las ciudades.

A continuación se pueden observar algunas situaciones de hacinamiento o alta densidad de personas dentro del vehículo, análogamente, condiciones críticas presentes en otros sistemas de autobús rápido.

Véase en la Ilustración 3, la baja calidad de servicio y des-confort que vive el usuario del transporte público, una situación que potencia el uso de vehículo privado e incentiva cada vez más el uso de modos de transporte de permanencia ilegal alternativo. Son los denominados en algún momento como “*los condenados al uso de transporte público*”



Imagen 3. Conglomeración de personas dentro del SITM MIO S.A

**Fuente:** (El Pais, 2011)

En Bogotá, el SITM Transmilenio, constituye el mayor ejemplo en cuanto a sobresaturación presente en las estaciones y/o puentes, que no tienen capacidad para permitir la movilización de personas, una situación bastante crítica en la capital del país colombiano.



Ilustración 4. Conglomeración de personas dentro del SITM TRANSMILENIO S.A

**Fuente:** (PRIMICIA, 2016)

Esta situación es provocada por múltiples factores, entre los cuales pueden estar: las demoras en los autobuses, falta de vehículos en una ruta determinada, mala calidad del asfalto del carril-bus, falta de más estaciones BRT, inadecuada gestión por parte de las administraciones, deficiencias en la infraestructura que fue implementada, tecnología anticuada, entre otros.

Desde un punto de vista global se necesitaría mejorar cada uno de los aspectos que generan dicha problemática y, desde el punto de vista de esta investigación, se revisarán las deficiencias que presenta el Sistema Integrado de Transporte Masivo Metrolinea S.A en su infraestructura, ya sean las presentes en estaciones de servicio y/o puentes de conexión, evaluación de la tecnología utilizada en el tipo de control de acceso (los torniquetes) y políticas de orientación e información al peatón para garantizar su buen desplazamiento.

Con el estudio de estas características puntuales se pretende precisar una serie de falencias con sus respectivas correcciones que ayuden a incorporar las mejoras necesarias del sistema de transporte público en el AMB y que brinden en sucesivo una sensación de mayor comodidad y confort a los usuarios que a diario transitan por las instalaciones de dicha infraestructura.

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivos Generales***

- Determinar y definir los cambios de infraestructura que sean pertinentes y que realmente mejoren la interacción entre el usuario, la infraestructura de estaciones BRT y el autobús,

en función del estudio de parámetros clave como los tiempos de desplazamiento, velocidad y densidad (aglomeración), para el caso de estaciones con alta demanda de viajeros en el sistema de transporte Metrolínea, en Bucaramanga.

### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Modelar los escenarios actual y futuro del desempeño de los peatones al momento de acceder a las estaciones principales del sistema Metrolinea S.A del Área Metropolitana de Bucaramanga, mediante la aplicación de simulación con Vissim (viswalk);
- Recolectar información primaria procedente de las propias estaciones de servicios del sistema Metrolinea S.A en plena operatividad, para la captación de los tiempos de desplazamiento empleados por el peatón en cada proceso;
- Proponer con base a los resultados encontrados las mejoras a la infraestructura en términos de construcción, tecnología y logística, de estaciones estudiadas mediante su incorporación a la modelación de los escenarios;
- Realizar la adecuada comparación y caracterización entre los escenarios posibles para demostrar de manera cuantificada cuales son las mejoras propuestas más significativas

## 2. Marcos de Referencia

### 2.1 Marco Teórico.

#### *2.1.1 Concepto de Bus Rapid Transit (BRT)*

El concepto de BRT más antiguo a nivel mundial se expone como una forma de transporte público con neumáticos que permite viajar de modo eficiente (Wright & Hook , 2007), también se encuentran definiciones aún más específicas como lo expone cierta revista (Unidad de Servicios de Infraestructura , 2012), que lo menciona como un modo operativo que puede tomar formas distintas, esto tiene que ver con el hecho de que ofrece la posibilidad de construir cada sistema a medida, a veces con el aprovechamiento de la infraestructura y los vehículos existentes, con lo cual la solución que una ciudad encuentra puede tener pocos puntos de contacto con la que se implementa en otro lugar, por esto sistemas muy diversos pueden recibir la denominación de BRT.

Es importante mencionar que las definiciones dadas para el BRT tienen un origen manipulado por los dos casos más importantes de la implementación de dicho sistema, Bogotá (Trasmilenio) y Curitiba (Brasil), por lo que se considera que las características implementadas dentro de dichas ciudades son las ideales. No obstante, existen muchos sistemas BRT en otras ciudades que no presentan dichas características ideales pero que de igual manera son llamados BRT con propiedad, por ende, la revista (Unidad de Servicios de Infraestructura , 2012), presenta 5 definiciones del sistema que abarca todo su significado.

- BRT es un modo de transporte automotor que utiliza autobuses operando en carriles con derecho de paso exclusivo, con el objetivo de aumentar la velocidad comercial, mejorar la confiabilidad de los tiempos de operación y el confort del pasajero. (Unidad de Servicios de Infraestructura , 2012)
- Este sistema puede incorporar medidas tecnológicas y de infraestructura tendientes a maximizar la eficiencia de la operación y reducir la resistencia del pasajero a su utilización, como estaciones con plataformas a nivel, aire acondicionado, pago antes del abordaje, utilización de los Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS, por sus siglas en inglés) y el desarrollo comunicacional del sistema. (Unidad de Servicios de Infraestructura , 2012)
- El uso de los carriles exclusivos no necesariamente debe hacerse en la totalidad del recorrido de los autobuses, pudiendo admitirse que éstos circulen en tránsito mixto antes o después de su trayecto en el corredor BRT. (Unidad de Servicios de Infraestructura , 2012)
- La definición de carriles exclusivos admite la circulación de vehículos de emergencia (cuando se encuentran cumpliendo tal función), pero no de taxis u otros vehículos con alta ocupación que no sean los buses asignados al corredor BRT. (Unidad de Servicios de Infraestructura , 2012)
- Por último, un sistema BRT requiere la publicidad suficiente como para distinguirlo de los sistemas de buses tradicionales de manera de imponer la idea de que la política pública se

está realizando de manera activa y lograr, en la medida de lo posible la aceptación general sobre el mismo

### ***2.1.2 Caracterización de flujos peatonales***

Hay varias formas de poder caracterizar los flujos peatonales, la metodología aplicada dependerá del ingeniero a cargo del estudio, por ende se expone que hay varios estudios planteados de acuerdo al objetivo que se busca lograr, cuando se requiere identificar el grado de ocupación y/o utilización de una acera se realiza un estudio de volumen peatonal, en dicho estudio no es necesario la identificación del tipo del peatón, pero cuando se necesita diseñar un cruce de alto flujo peatonal se realiza un estudio de volumen que contenga la participación y tipo del peatón dentro del flujo.

Para realizar la toma de información primaria se aplican dos técnicas, las cuales son: manualmente y mediante sensores, se recomienda el uso de sensores para la ejecución de dichos estudios ya que la técnica manual altera el comportamiento del peatón con la presencia del personal en campo.

Hay diferentes estudios para la caracterización de los flujos peatonales, a continuación se mencionan algunos:

#### ***2.1.2.1 Estudios de Inventario***

De acuerdo al artículo (Guios Burgos, 2010), donde expone que los estudios de inventario determinan las características geométricas de la infraestructura peatonas y condiciones físicas como su estado, la localización de obstáculos, riesgos y condiciones que puedan afectar el movimiento de las personas, involucrando las señalizaciones viales para peatones como son: señales verticales, demarcaciones horizontal, dispositivos de control de tránsito, elementos de apoyo como barandas, rampas, zonas sensoriales, entre otras:

#### *2.1.2.2 Volumen de tránsito peatonal*

De acuerdo a los mencionado en el artículo (Guios Burgos, 2010), expone que el volumen de transito se realiza por medio de un aforo o conteo, donde su objetivo es cuantificar la demanda de infraestructura peatonal, especialmente sus variaciones espacial y temporal, distribuciones ya sea por sentidos o cruces y su composición mediante género, edad y ocupación.

Dicho volumen lo describe (Guios Burgos, 2010), como el número de personas que pasan por un punto o sección transversal de una infraestructura durante un periodo de tiempo determinado, el volumen peatonal debe considerar el ancho de la sección y se expresa en metros:

#### *2.1.2.3 Velocidad de Caminata*

En el artículo (Guios Burgos, 2010), menciona que la velocidad de caminata se mide principalmente por técnicas de observación aplicadas directamente en campo, y es importante que el observador tenga el tiempo suficiente para realizar las operaciones respectivas en el cronometro,

de manera que se tengan errores de registros muy bajos, así, si se tiene una velocidad media de 1.2 m/s, se debe contar con una base de al menos 3 metros para que el observador pueda registrar la medición con algunos segundos extras.

De igual forma (Guios Burgos, 2010), expone que la pendiente de la infraestructura influye directamente en la velocidad peatonal, ya que si se tiene una pendiente mayor al 20% la velocidad media de 1.2 m/s se reduce a 1 m/s, si se tiene una pendiente mayor al 10% la velocidad se reduce un 0.1 m/s.

#### *2.1.2.4 Densidad Pevalonal.*

Cuando se realiza un estudio de densidad peatonal, se desea encontrar condiciones operativas, principalmente atributos como la comodidad, para este atributo según (Guios Burgos, 2010), existen dos condiciones que deben considerarse en los estudios de densidad, peatones en movimiento y peatones en áreas de espera.

A su vez, menciona que la densidad es una medida de ocupación del espacio, y se expresa como una relación entre el número de peatones que ocupa una determinada área en un instante determinado, numero personas / metros cuadrados.

#### *2.1.3 Ecuaciones Representativas del Flujo Pevalonal*

La primera ecuación que expone (Guios Burgos, 2010), relaciona la velocidad media espacial y la densidad peatonal, esto con el fin de determinar la capacidad teórica de la infraestructura, y se formula de la siguiente manera. Ver Ecuación [1]

$$q = v_e * k \quad [1]$$

**Donde:**

**$q$ :** Tasa de flujo peatonal, persona/tiempo

**$v_e$ :** Velocidad media espacial de caminata, metros/segundos

**$k$ :** Densidad peatonal, personas/ área

La velocidad media espacial la determino (Greenshields, 1934), y es el modelo lineal más utilizado a nivel mundial, esto generado por la simplicidad y facilidad de calibrar los parámetros del modelo, se puede observar en la ecuación número 2:

$$v_e = v_l - \frac{v_l}{k_c} k \quad [2]$$

Donde:

**$v_e$ :** Velocidad media de caminata [m/s]

**$v_l$ :** Velocidad de caminata a flujo libre [m/s]

$k_c$ : Densidad de congestionamiento [pe/m<sup>2</sup>]

$k$ : Densidad peatonal [pe/m<sup>2</sup>]

La velocidad a flujo libre se determina por medio del modelo implementado por (Fruin, 1971), que se muestra en la ecuación 3.

$$\begin{aligned} v_l &= 1.43 - 0.35 * k \text{ (Flujo Unidireccional)} \\ v_l &= 1.36 - 0.34 * k \text{ (Flujo Bidireccional)} \end{aligned} \tag{3}$$

Es importante mencionar que estos modelos expuestos anteriormente se desarrollan en situaciones donde el peatón transita con fluidez, sin embargo no se ha encontrado un modelo que trabaje con flujo concentrado y de variaciones, como lo sería una acera en un centro histórico.

#### *2.1.3.1 Intensidad Peonatal*

En el manual de carreteras (Bañon Blazquez & Bevia Garcia, 2000), exponen que la intensidad peatonal es el número de personas que transitan por una determinada sección de la vía en la unidad de tiempo, expresándose frecuentemente en peatones por minuto o peatones por cada 15 minutos. Ver ecuación [4].

$$I = \frac{\text{Numero de Peatones}}{\text{Tiempo}} \quad [4]$$

### 2.1.3.2 Intensidad Unitaria

Según el manual de carreteras (Bañon Blazquez & Bevia Garcia, 2000), menciona que el resultado de dividir la intensidad peatonal por la anchura neta de la vía, es uno de los valores que se emplean para la determinación del nivel de servicio de la infraestructura peatonales, normalmente se expresa en peatones por minuto y metro de ancho (Per/min/m). Ver ecuación [5].

$$i = \frac{I}{A_E} \quad [5]$$

### 2.1.3.3 Intensidad de Pelotón

Las intensidades de peatones pueden sufrir fluctuaciones en periodos de tiempo, dados por la llegada de oleadas de personas conformando pelotones, un ejemplo claro de dichos pelotones se producen en las zonas destinadas para el transporte público, que dan salida a gran cantidad de personas en corto periodos de tiempo permaneciendo semi-vacías el resto del tiempo. Según el manual de carreteras (Bañon Blazquez & Bevia Garcia, 2000) ha comprobado que la relación que existe entre la intensidad y la intensidad de peatones es una recta con la siguiente ecuación.

$$i_p = i + 13.12 \quad [6]$$

#### 2.1.4 Secciones Típicas de Corredores de BRT

Gracias a la guía de planificación de sistemas BRT (Fundacion William y Flora Hewlett, 2010), se encontraron las dimensiones mínimas que se requieren para la elaboración de la estructura de un corredor incluido su estación.

Tabla 1. Anchos Mínimos Recomendados

Tipo de carril	Ancho mínimo recomendado por sentido
Andén	3,0
Ciclovía	2,5
Carril de buses en la estación	3,0
Carril de buses en el corredor	3,5
Divisor del separador en el corredor	0,5
Carril para tráfico mixto	3,5
Otros carriles para tráfico mixto	3,0
Ancho de la estación <sup>a)</sup>	3,0

Fuente: (Fundacion William y Flora Hewlett, 2010)

En relación a la tabla anterior es importante mencionar que el ancho mínimo de una estación es de 3 metros por sentido, ya que los pasos peatonales de menor distancia son muy incómodos para los usuarios del servicio. Un ejemplo muy claro de una sección se muestra a continuación.

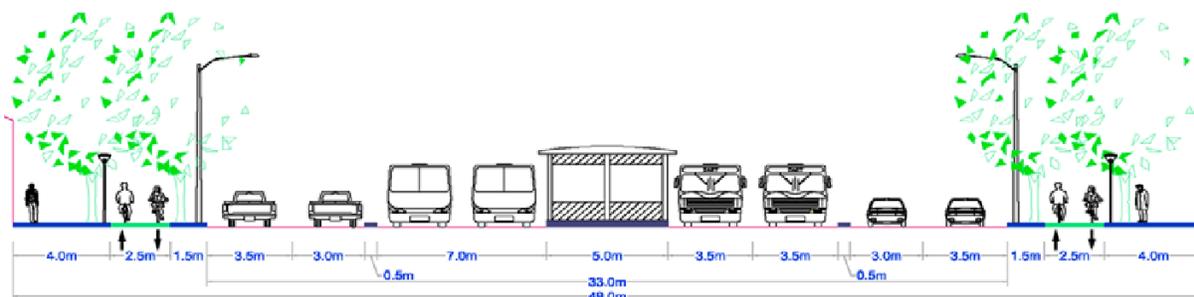


Ilustración 5. Sección típica del corredor BRT Dar es Salaam

Fuente: (Fundacion William y Flora Hewlett, 2010)

### 2.1.5 Tamaño de la Plataforma de la Estación

Las dimensiones de la plataforma son directamente proporcional al nivel de satisfacción de los usuarios, ya que mejoran las condiciones de las sub-paradas que operan dentro de la estación ofreciendo un mejor servicio, para determinar el ancho efectivo se necesita aplicar la ecuación número 7 (Fundacion William y Flora Hewlett, 2010).

$$Wp = 1 + Wu + Wc + Wopp \quad [7]$$

Donde:

Wp: Ancho total de la plataforma

1 metro: Ancho requerido para la infraestructura

Wu: Ancho requerido para los pasajeros que esperan en un sentido

Wc: Ancho requerido para los pasajeros que circulan

Wopp: Ancho requerido para los pasajeros que esperan vehículos que van en el otro sentido.

Es importante mencionar que si las sub-paradas se encuentran escalonadas el valor de Wopp será cero. En la guía de planificación también mencionan que para un número de 2000 peatones se necesita una acera de un metro para permitir el paso con un nivel de servicio razonable, con base en este dato se expone la ecuación para el ancho requerido WC, ver ecuación número 8 (Fundación William y Flora Hewlett, 2010).

$$Wc = \frac{Pph}{2000} \text{ Pasajeros por hora} \quad [8]$$

Donde:

Pph: Número de pasajeros circundantes esperados en una hora

Para las sub-paradas se requiere de un espacio específico mínimo que permita la espera en condiciones adecuadas para los usuarios, por ende el área mínima se expone en función del número máximo de pasajeros proyectados en cola y dividido por la capacidad de un metro cuadrado para alojar personas, esta ecuación la expone (Fundación William y Flora Hewlett, 2010), ver ecuación número 9.

$$Aw = \frac{Qp}{Dwmax} \quad [9]$$

Donde:

Aw: Área mínima requerida para los pasajeros que esperan.

$Q_p$ : Número máximo de pasajeros que se espera que hagan cola

$D_{wmax}$ : Capacidad de un metro cuadrado para alojar a los pasajeros que esperan.

De igual forma, la guía de planificación BRT (Fundacion William y Flora Hewlett, 2010), menciona que los pasajeros que están esperando no están cómodos si tienen que restringirse a menos de un tercio de metro cuadrado, por ende la capacidad máxima es de tres pasajeros,  $D_{wmax}=3$  pasajeros por  $m^2$ .

La estimación de los pasajeros totales que abordan en la sub-parada está dada por la ecuación número 10 (Fundacion William y Flora Hewlett, 2010).

$$Q_p = \sum \left( \frac{P_{Bi}}{F_i} \right) \quad [10]$$

Donde:

$Q_p$ : Cola máxima de pasajeros esperando.

$P_{bi}$ : Pasajeros que abordan por la hora en la ruta  $i$  del BRT.

$F_i$ : Frecuencia (vehículos BRT/ hora) de la línea  $i$ .

Para poder determinar la longitud total de la estación es necesario comprender que para sistemas de más de una sub-parada debe incluirse espacio extra entre las sub-paradas para poder acomodar un vehículo BRT que se detenga alrededor de los otros. Esto permitirá que los vehículos entren y salgan con libertad evitando sobre tiempos en las rutas por congestión entre los mismos vehículos del sistema.

Para determinar la longitud ideal se debe aplicar la ecuación número 11 (Fundacion William y Flora Hewlett, 2010).

$$\text{Longitud Total} = (19 + \text{Numero de Bahias de paradas}) + 33 \quad [11]$$

Donde:

19 m: Espacio para un vehículo extra en la cola

33 m: 19 m + 14 m (Espacio para la bahía de parada + Distancia de sobrepaso)

### ***2.1.6 Concepto del Nivel de Servicio***

Para los ingeniero, arquitectos y planeadores es de suma importancia poder cuantificar el rendimiento que presentan las obras elaboradas en función de vehículos o peatón, con el fin concluir si son o no funcionales, debido a esto se incorporó el concepto de nivel de servicio que de acuerdo al Highway Capacity Manual (Transportation Research Board, 2000), lo menciona como el número máximo de vehículos que pasarían un punto dado sin la necesidad de congestionar y generar una densidad de tráfico alta que pueda causar un retraso irrazonable o una posible situación de peligro a la libertad del conductor de maniobrar bajo las condiciones de la carretera, de igual forma es importante mencionar que dicho concepto es utilizado para determinar problemas de tráfico, condiciones de operación y para mejorar las condiciones de infraestructura.

Para mejorar el entendimiento del concepto de nivel de servicio, el académico (Marquez Saldivar, 2013), lo define como:

“Un método mediante el cual se evalúa el rendimiento de una instalación de transporte, es una medida cuantitativa que describe las condiciones de flujo de tráfico de la instalación, y la percepción del usuario de estas condiciones en el área de espera. En pasillos peatonales, depende de un número de factores que no pueden ser estimados directamente, algunos de estos factores son confort, tiempo de viaje, conveniencia y libertad de maniobra.

En general, se utilizan letras para representar los niveles de servicio, empezando por la A, que indica condiciones de operación excelente, y finalizando con la letra F, que indica una condiciones deficiente de operación.”

Y por último la Guía de Movilidad Peatonal Urbana (Desarrollo Urbano, 2015), lo defino como:

“El parámetro para estimar la calidad de circulación en una infraestructura peatonal, se basa en criterios como volúmenes, velocidades y densidad. Dependiendo del tipo de flujo podemos clasificar los niveles de servicio de la siguiente manera.”

#### *2.1.6.1 Flujo Continuo*

Se presenta solo en zonas exclusivas para peatones como andenes, puentes, pasillos, entre otros, dicha infraestructura genera una continuidad al peatón por donde sea necesario, proporcionando un nivel de servicio el cual se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 2. Nivel de Servicio para Andenes y Senderos Peatonales

NIVEL SERVICIO	Espacio (m <sup>2</sup> /peatón)	Volumen (peatón/min./m)	Velocidad (m/s)	v/c
A	>5.6	<16	>1.30	<0.21
B	>3.7 - 5.6	>16 - 23	>1.27 - 1.30	>0.21 - 0.31
C	>2.2 - 3.7	>23 - 33	>1.22 - 1.27	>0.31 - 0.44
D	>1.4 - 2.2	>33 - 49	>1.14 - 1.22	>0.44 - 0.65
E	>0.75 - 1.4	>49 - 75	>0.75 - 1.14	>0.65 - 1.00
F	<0.75	Variable	<0.75	Variable

Fuente: (Desarrollo Urbano, 2015)

A continuación se realiza una breve descripción de los niveles de servicio.

- *Nivel de servicio A:* “Los peatones prácticamente caminan en la trayectoria que desean, sin verse obligados a modificarla por la presencia de otros. se elige libremente la velocidad de marcha y los conflictos entre viandantes son pocos frecuentes” (Bañon Blazquez & Bevia Garcia, 2000).
- *Nivel de servicio B:* “Proporciona la superficie suficiente para permitir que los peatones elijan libremente su velocidad de marcha, se adelanten unos a otros y eviten los conflictos al entrecruzarse entre sí. En este nivel, los peatones comienzan a acusar la presencia del resto, hecho que manifiestan en la elección de sus trayectorias.” (Bañon Blazquez & Bevia Garcia, 2000)

- *Nivel de servicio C:* “Existe la superficie suficiente para seleccionar una velocidad normal de marcha y permitir el adelantamiento, principalmente en corrientes de sentido único de circulación. En el caso de que también haya movimiento en sentido contrario –o incluso entrecruzado- se producirán ligeros conflictos esporádicos y las velocidades y el volumen serán menores.” (Bañon Blazquez & Bevia Garcia, 2000)
- *Nivel de servicio D:* “Se restringe la libertad individual de elegir la velocidad normal de marcha y el adelantamiento. En el caso de que haya movimientos de entrecruzado o en sentido contrario existe una alta probabilidad de que se presenten conflictos, siendo precisos frecuentes cambios de velocidad y de posición para eludirlos. Este nivel de servicio proporciona un flujo razonablemente fluido; no obstante, es probable que se produzca entre los peatones unas fricciones e interacciones notables.” (Bañon Blazquez & Bevia Garcia, 2000).
- *Nivel de servicio E:* “Prácticamente todos los peatones verán restringida su velocidad normal de marcha, lo que les exigirá con frecuencia modificar y ajustar su paso. En la zona inferior de este nivel, el movimiento hacia delante sólo es posible mediante una forma de avance denominada arrastre de pies. No se dispone de la superficie suficiente para el adelantamiento de los peatones más lentos. Los movimientos en sentido contrario o entrecruzado sólo son posibles con extrema dificultad. La intensidad de este nivel se identifica con la capacidad de la vía peatonal, lo que origina detenciones e interrupciones en el flujo.” (Bañon Blazquez & Bevia Garcia, 2000)

- *Nivel de servicio F*: “Todas las velocidades de marcha se ven frecuentemente restringidas y el avance sólo se puede realizar mediante el paso de arrastre de pies. Entre los peatones se producen frecuentes e inevitables contactos, y los movimientos en sentido contrario y entrecruzado son virtualmente imposibles de efectuar. El flujo es esporádico e inestable, y se producen frecuentes colas y aglomeraciones.” (Bañón Blazquez & Bevia Garcia, 2000)

### ***2.1.7 Concepto de Capacidad***

El académico (Guios Burgos, 2010), expone que la capacidad peatonal es el máximo volumen de personas que soporta una área en específico, cuando se supera la capacidad se puede decir que el número de personas que desean utilizar la infraestructura es mayor del número de personas que pueden pasar por un punto o sección transversal por unidad de tiempo.

Según la Guía de la Movilidad Peatonal Urbana (Desarrollo Urbano, 2015), menciona que para encontrar un valor del nivel de servicio es importante determinar la capacidad peatonal, esto según los flujos existentes, la capacidad puede determinarse en términos de personas a la hora, dependiente del tipo de instalación estudiada.

La definir el espacio requerido por un peatón es importante tener en cuenta las siguientes condiciones.

- Peatón estático: se requiere un espacio de una elipse de 0.5 m \* 0.6 m en un área de 0.3 m<sup>2</sup>, para relación del peatón en movimiento se utiliza un área de 0.7 m<sup>2</sup>.

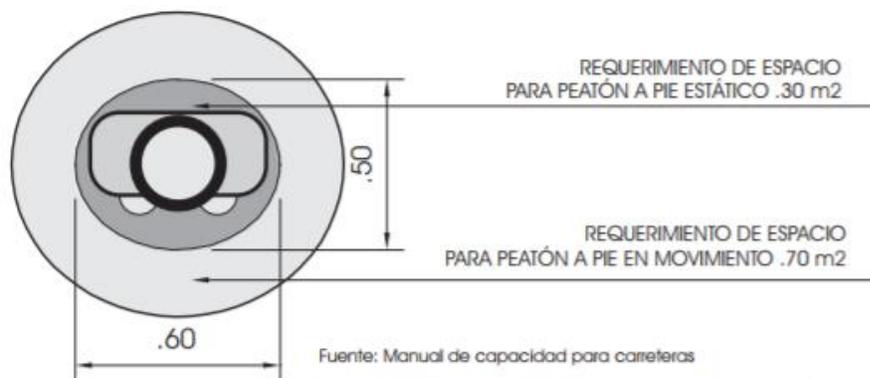


Ilustración 6. Área Requerida por Peatón

Fuente: (Desarrollo Urbano, 2015)

### 2.1.8 Definiciones Básicas

En la presente investigación se mencionaran una serie de conceptos relacionados con el tema, por ende, a continuación se presentara las diferentes definiciones a fin de poder satisfacer las inquietudes y mejorar la comprensión de la investigación.

- **Acera:** Es un área de espacio público destinada para el tránsito de peatonales exclusivamente.
- **Análisis De Tránsito:** Es un análisis que se realiza con el fin de cuantificar el tránsito dentro de un sistema de calles y carreteras.

- **Autobuses:** Son vehículos destinados exclusivamente para el traslado de personas, el cual puede ser urbano o interurbano y su capacidad máxima es de 60 personas por unidad.
- **Densidad:** La densidad para esta investigación se puede definir como la cantidad de personas que cubre una determinada área peatonal.
- **Demanda:** La demanda para esta investigación se puede definir como la cantidad de personas que desean transitar de un lugar a otro bajo las condiciones de infraestructura del sistema de transporte público.
- **Hora Pico:** Para esta investigación es el momento de máxima demanda que presenta la infraestructura del sistema de transporte público en término de peatones.
- **Nivel De Servicio:** Es una medida que nos permite cuantificar la calidad del servicio de transporte público requerido, en términos de tiempo de desplazamiento, comodidad, accesibilidad, etc.
- **Oferta:** Es el número de personas que pueden transitar por medio de una determinada infraestructura peatonal.

- **Sección Transversal:** Para esta investigación se determina como el perfil transversal que presenta una carretera, desde el eje de la vía hasta uno de sus extremos incluido el andén.
- **Señal De Tránsito:** Son todos los dispositivos o elementos que se colocan a los largo de una vía y/o andén para establecer un orden en la misma, utilizando palabras o números.
- **Sistema De Transporte:** Es el conjunto de medios de transporte que cumplen la función de trasladar la mayor cantidad de personas posibles en un tiempo mínimo.
- **Tiempo De Viaje:** Es el tiempo empleado por un peatón en recorrer cierta distancia.
- **Tránsito:** Son todos los Elementos que se movilizan por una vía, ya sean vehículos o peatones.
- **Tránsito De Contraflujo:** Son aquellos conjuntos de vehículos o peatones que transitan en dirección contraria a la permitida en la infraestructura utilizada.

### **3. Desarrollo Metodológico**

Gracias a la investigación realizada y descrita en el marco teórico del presente proyecto, donde se indagó sobre los posibles estudios de caracterización de peatones, se pudo obtener una base de datos en el cual se exponen fórmulas de caracterización de peatones, fórmulas para el diseño de una estación de servicio público de SITM e información detallada sobre los sistemas BRT, por ende, el primer paso que se dio para iniciar a desarrollar la investigación o proyecto de Especialización, fue el de seleccionar la metodología adecuada para el desarrollo del proyecto en aras de cumplir con los objetivos propuestos.

La metodología de investigación seleccionada fue asumida por el investigador y director de este proyecto.

#### **3.1 Identificación de la Zona de estudio**

La presente investigación presenta como área de estudio la estación de servicio público del Barrio Cañaveral del Municipio de Floridablanca, estación perteneciente al transporte público Metrolinea S.A del Área Metropolitana de Bucaramanga, departamento de Santander.

El transporte público Metrolinea S.A es el nuevo Sistema Integrado de Transporte Masivo para Bucaramanga y su área metropolitana, que revolucionara el transporte colectivo actual, al disminuir los tiempos en los desplazamientos, al brindar más orden, control y seguridad,





Ilustración 8. Metrolinea Municipio de Floridablanca

Fuente: (Metrolinea S.A, 2017)

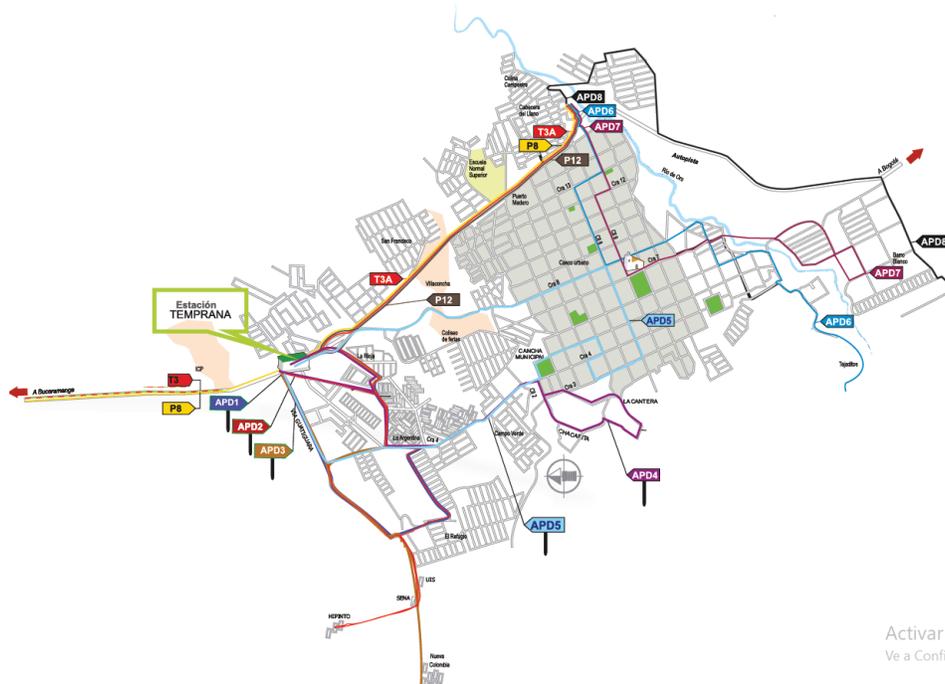


Ilustración 9. Metrolinea Municipio de Piedecuesta

Fuente: (Metrolinea S.A, 2017)

Activar V  
Ve a Config





Ilustración 11. Estación de Cañaveral

Fuente: Del Autor

### ***3.1.1 Infraestructura de la Estación de Servicio Cañaveral***

La estación de cañaveral es la más grande dentro del Área Metropolitana de Bucaramanga, ya que está diseñada para recibir dos articulados, dicha estación consta de dos vagones, conexión entre los vagones y dos accesos peatonales por rampa.

En la ilustración 11 mostrada anteriormente se puede observar la entrada sur a la estación, la cual conecta con las zonas residenciales de cañaveral y Santa María del Lago (Colegio Panamericano), y presenta un ancho de 2.8 metros con una longitud de 135.22 metros, además presenta barandas a su alrededor y una buena iluminación a lo largo de la misma, dicha rampa conecta con el vagón sur donde el peatón que requiere entrar a la estación debe pasar una barrera de 3 torniquetes y un espacio para el paso de personas con discapacidad.



Ilustración 12. Barrera de la Entrada Sur Estación de Cañaveral

**Fuente:** Del Autor

El torniquete presenta una dimensión de 30 centímetros de ancho y 50 centímetros para el paso del peatón, la entrada para los discapacitados tiene una dimensión de 100 cm, de esta manera se calcula que la estación presenta un ancho total de 4.7 metros, el ancho implica de baranda a baranda, ancho efectivo para paso del peatón dentro del vagón es de 4 metros que va desde las línea amarilla de lado al otro. La línea amarilla delimita la zona de libre de peatones la cual se presenta en cada una de las puertas presentes dentro del vagón.

El vagón sur contiene tres puertas en cada sentido donde se puede identificar que es para uso respectivo de un bus articulado, dicho vagón es parada de las siguientes rutas, ruta RE1, ruta P3 y ruta P6. A su vez, se puede identificar una buena información visual sobre el sistema, las demarcaciones horizontales que presenta el vagón son amarillas y delimitan el área donde es prohibido realizar la respectiva espera de la ruta.

En la ilustración 13 se puede observar las características de la ruta RE1, donde es importante mencionar que es ejecutada por medio de un bus alimentador.



Ilustración 13. Ruta RE1

Fuente: (Chio, 2016)

En la ilustración 14 se presenta las características de la ruta P3, la cual es ejecutada por medio de un bus alimentador.



Ilustración 14. Ruta P3

Fuente: (Metrolinea S.A, 2017)

En la ilustración 15 se presenta las características de la ruta P6, la cual es ejecutada por medio de un bus padrón.

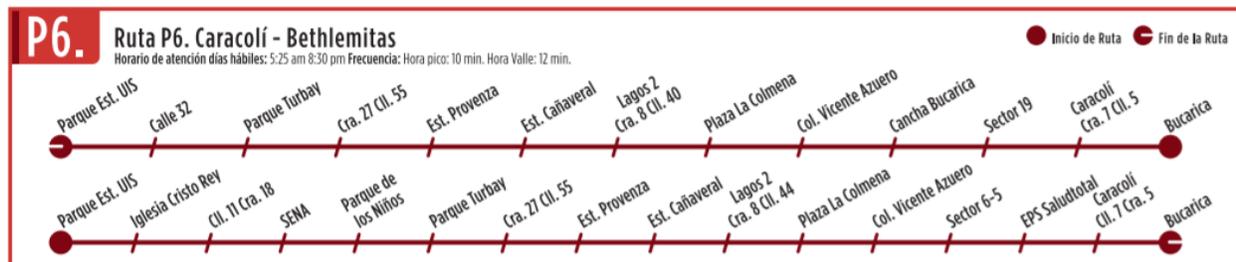


Ilustración 15. Ruta P6

**Fuente:** (Metrolinea S.A, 2017)

El vagón sur presenta una longitud total de 18.5 metros, después existe un sendero conector entre los dos vagones sur y norte con una longitud de 34.65 metros y un ancho de 4.2 metros, este conector presenta barandas en sus costados para evitar el ingreso de personas ilegalmente, a continuación se encuentra el vagón norte donde el ancho vuelve a aumentar a 4.7 metros de baranda a baranda, 4 metros de ancho efectivo y 48.2 metros de largo.

El vagón norte puede soportar la parada de dos buses articulados, ya que presenta 6 puertas en cada uno de sus lados, además es parada de las siguientes rutas T1, T3, P8 y P13. Este vagón es único dentro de Área Metropolitana de Bucaramanga por su capacidad de recibir dos buses articulados, es esta característica lo que determina a la estación de cañaveral como la más grande de todo el sistema y por ende se realizó el estudio sobre esta situación.

En la ilustración 16 se puede observar la Ruta T1 del sistema de Metrolinea S.A, y es ejecutada por medio de un bus articulado.



Ilustración 16. Ruta T1

**Fuente:** (Vanguardia Liberal, 2016)

En la ilustración 17 se puede observar la Ruta T3, donde es ejecutada por medio de un bus articulado.



Ilustración 17. Ruta T3

**Fuente:** (Vanguardia Liberal, 2016)

Las características de ruta de la Ruta P8 se pueden observar en la ilustración 18, y es ejecutada por medio de un bus padrón.



Ilustración 18. Ruta P8

**Fuente:** (Revista Gente de Cañaveral , 2011)

La Ruta P13 presenta las siguientes características de parada mostradas en la ilustración 19, y es ejecutada por medio de un bus padrón.



Ilustración 19. Ruta P13

Fuente: (Metrolinea S.A, 2017)

Después de describir el vagón norte referente a su parte interna de recorridos y dimensiones, pasamos a la entrada del mismo, donde se presenta 4 torniquetes con las siguientes dimensiones: 30 cm de ancho de torniquete y 50 cm de ancho de paso del peatón y complementando un la entrada para personal discapacitado con una dimensión de 100 cm.



Ilustración 20. Entrada Vagón Norte - Estación de Cañaveral

Fuente: Del Autor

Después de la entrada del vagón norte se encuentra la rampa de conexión con los centros comerciales la cual presenta una distancia de 65 metros y un ancho de 2.8 metros, En la ilustración 21 mostrada a continuación se puede observar la rampa mencionada y además es importante resaltar que dicha rampa es la que mayor porcentaje de peatones recibe de la estación.



Ilustración 21. Rampa Norte

**Fuente:** Del Autor

### **3.2 Recolección de la Información Primaria**

En este segundo paso de la metodología de investigación procedemos a recolectar la información primaria necesaria para el desarrollo de este proyecto, por lo cual fue necesario realizar un estudio de volúmenes de peatones que transitan dentro del área de estudio (Rampa Sur y Rampa Norte – Estación del Metrolinea S.A Cañaveral).

Para dar inicio al aforo peatonal fue necesario definir un modelo de formato de campo adaptado a la infraestructura y condiciones de la estación de servicio cañaveral, este formato fue definido por el investigador de este proyecto y se puede observar a continuación.

	MODELACIÓN DE LA AGLOMERACIÓN DE PASAJEROS EN ESTACIONES BRT DEL SISTEMA METROLINEA – CASO DE ESTUDIO BUCARAMANGA - COLOMBIA	ESPECIALIZACIÓN EN VÍAS ESTUDIO DE VOLÚMENES PEATONALES FORMATO DE CAMPO
---	--	--

1. IDENTIFICACIÓN DE LA ENCUESTA									
Fecha: _____ Hora Inicio: _____ Hora Final: _____ Clima: _____ Aforador: _____					Intersección: _____ Ramal: N-(1) 5-(2) _____ Hoja No.: _____				

2. VOLUMEN DE PEATONES									
Tiempo (Minutos)	Movimiento Aforado				Tiempo (Minutos)	Movimiento Aforado			
	1(Salen)	Total	2(Entran)	Total		1(Salen)	Total	2(Entran)	Total
1					31				
2					32				
3					33				
4					34				
5					35				
6					36				
7					37				
8					38				
9					39				
10					40				
11					41				
12					42				
13					43				
14					44				
15					45				
16					46				
17					47				
18					48				
19					49				
20					50				
21					51				
22					52				
23					53				
24					54				
25					55				
26					56				
27					57				
28					58				
29					59				
30					60				

Observaciones:

Ilustración 22. Formato de Campo (Conteo Peatonal)

**Fuente:** Del Autor

El formato consta de dos partes, en la primera se puede observar las características de identificación del conteo peatonal que son: fecha, hora inicio, hora final, clima, aforador, intercepción, ramal y el número de hora.

En la segunda parte se especifica la metodología de conteo seleccionada, donde se detalla el tiempo en minutos, movimiento aforado (si salen o entra el peatón) y el total.

Después se procedió a seleccionar la hora de día en la cual se iba a realizar el aforo peatonal, posteriormente se realizó un seguimiento a las condiciones de la estación de servicio en cuestión, y se determinó que la mejor hora para realizar el conteo es de 6 am a 7 am en las horas de la mañana y en la tarde de 6 pm a 7 pm, horas determinadas como horas pico.

Definidos los tiempos se procedió a realizar el debido conteo obteniendo los datos arrojados a continuación en la rampa norte de la estación de cañaveral.

Tabla 3. Volúmenes Peatonales Rampa Norte

RAMPA NORTE - ESTACION DE CAÑAVERAL					
DIA	TIEMPO	HORA	ENTRAN	SALEN	TOTAL
Lunes	Día	7:00 am - 7:15 am	104	95	199
		7:15 am - 7:30 am	140	110	250
		7:30 am - 7:45 am	131	117	248
		7:45 am - 8:00 am	135	153	288
	Noche	6:00 pm - 6:15 pm	302	196	498
		6:15 pm - 6:30 pm	301	214	515
		6:30 pm - 6:45 pm	140	166	306
		6:45 pm - 7:00 pm	124	89	213
Martes	Día	7:00 am - 7:15 am	106	100	206
		7:15 am - 7:30 am	145	108	253
		7:30 am - 7:45 am	129	115	244
		7:45 am - 8:00 am	138	160	298
	Noche	6:00 pm - 6:15 pm	305	195	500
		6:15 pm - 6:30 pm	303	216	519
		6:30 pm - 6:45 pm	150	170	320
		6:45 pm - 7:00 pm	120	95	215

<b>Miércoles</b>	Día	7:00 am - 7:15 am	104	95	199
		7:15 am - 7:30 am	135	112	247
		7:30 am - 7:45 am	138	118	256
		7:45 am - 8:00 am	140	150	290
	Noche	6:00 pm - 6:15 pm	304	192	496
		6:15 pm - 6:30 pm	308	215	523
		6:30 pm - 6:45 pm	148	178	326
		6:45 pm - 7:00 pm	118	100	218
<b>Jueves</b>	Día	7:00 am - 7:15 am	106	98	204
		7:15 am - 7:30 am	140	118	258
		7:30 am - 7:45 am	135	115	250
		7:45 am - 8:00 am	145	142	287
	Noche	6:00 pm - 6:15 pm	315	100	415
		6:15 pm - 6:30 pm	310	225	535
		6:30 pm - 6:45 pm	155	120	275
		6:45 pm - 7:00 pm	125	150	275
<b>Viernes</b>	Día	7:00 am - 7:15 am	104	95	199
		7:15 am - 7:30 am	138	115	253
		7:30 am - 7:45 am	132	113	245
		7:45 am - 8:00 am	148	135	283
	Noche	6:00 pm - 6:15 pm	318	110	428
		6:15 pm - 6:30 pm	315	220	535
		6:30 pm - 6:45 pm	160	125	285
		6:45 pm - 7:00 pm	129	162	291

Fuente: Del Autor

En la siguiente tabla se puede observar los datos de volúmenes peatonales obtenidos en la rampa sur de la estación de servicio cañaveral.

Tabla 4 Volúmenes Peonales Rampa Sur

<b>RAMPA SUR - ESTACION DE CAÑAVERAL</b>					
<b>DIA</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>HORA</b>	<b>ENTRAN</b>	<b>SALEN</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Lunes</b>	Día	7:00 am - 7:15 am	52	27	79
		7:15 am - 7:30 am	45	27	72
		7:30 am - 7:45 am	40	27	67

		7:45 am - 8:00 am	36	22	58
	Noche	6:00 pm - 6:15 pm	42	41	83
		6:15 pm - 6:30 pm	36	44	80
		6:30 pm - 6:45 pm	28	40	68
		6:45 pm - 7:00 pm	28	32	60
<b>Martes</b>	Día	7:00 am - 7:15 am	55	25	80
		7:15 am - 7:30 am	48	26	74
		7:30 am - 7:45 am	42	28	70
		7:45 am - 8:00 am	32	20	52
	Noche	6:00 pm - 6:15 pm	45	45	90
		6:15 pm - 6:30 pm	28	48	76
		6:30 pm - 6:45 pm	25	42	67
		6:45 pm - 7:00 pm	25	35	60
<b>Miércoles</b>	Día	7:00 am - 7:15 am	50	28	78
		7:15 am - 7:30 am	45	27	72
		7:30 am - 7:45 am	48	27	75
		7:45 am - 8:00 am	35	23	58
	Noche	6:00 pm - 6:15 pm	44	46	90
		6:15 pm - 6:30 pm	30	50	80
		6:30 pm - 6:45 pm	26	44	70
		6:45 pm - 7:00 pm	27	38	65
<b>Jueves</b>	Día	7:00 am - 7:15 am	52	27	79
		7:15 am - 7:30 am	49	28	77
		7:30 am - 7:45 am	42	27	69
		7:45 am - 8:00 am	39	20	59
	Noche	6:00 pm - 6:15 pm	43	48	91
		6:15 pm - 6:30 pm	30	51	81
		6:30 pm - 6:45 pm	26	42	68
		6:45 pm - 7:00 pm	28	35	63
<b>Viernes</b>	Día	7:00 am - 7:15 am	55	28	83
		7:15 am - 7:30 am	51	28	79
		7:30 am - 7:45 am	41	25	66
		7:45 am - 8:00 am	35	24	59
	Noche	6:00 pm - 6:15 pm	45	47	92
		6:15 pm - 6:30 pm	32	53	85
		6:30 pm - 6:45 pm	27	46	73
		6:45 pm - 7:00 pm	27	32	59

Fuente: Del Autor

### 3.3 Simulación de la situación actual en el Software Vissim.

Habiendo identificado en el punto 3.1 de esta metodología la zona de estudio y procediendo a dar cumplimiento a uno de los principales objetivos específicos, el cual es realizar la debida simulación del desempeño de los peatones al momento de acceder a la estación de Cañaveral del sistema Metrolinea S.A del Área Metropolitana de Bucaramanga con la ayuda del software Vissim-viswalk., esto con el fin de poder generar más adelante una situación futura donde se puedan contemplar posibles mejorar y de esta manera cuantificarlas. En este paso de la metodología se va a crear la situación actual y se dará un paso a paso de utilización del software.

- **Paso 1:**

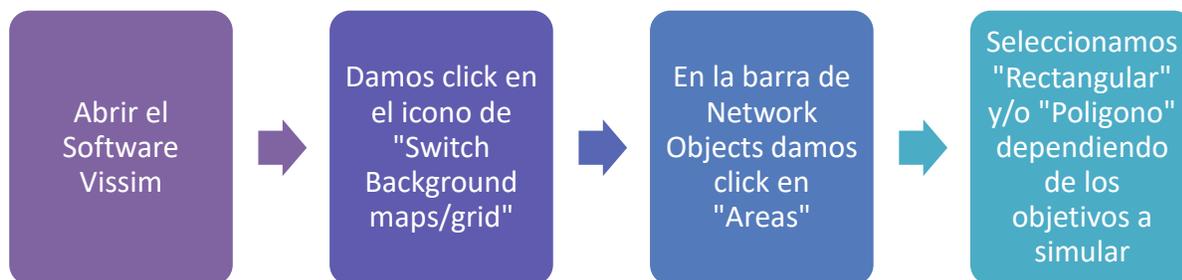


Ilustración 23. Pasos Iniciales para el Uso del Software Vissim – Viswalk

**Fuente:** Del Autor

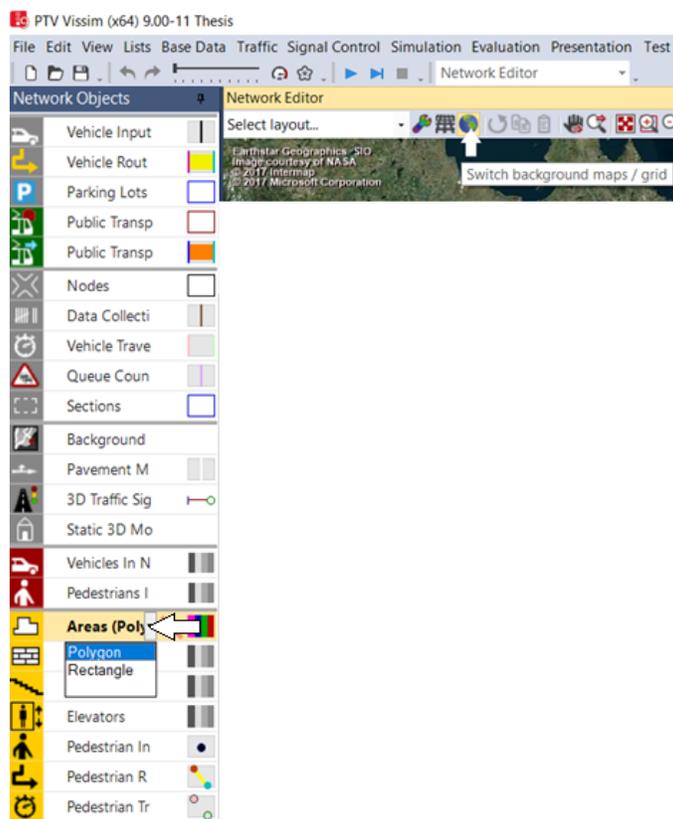


Ilustración 24. Grafico Pasos Iniciales para el Uso del Software Vissim – Viswalk

**Fuente:** Del Autor

Del paso número 1 descrito anteriormente es importante mencionar que al darle click en “Switch Background maps/grid”, se realiza con el fin de cambiar nuestro espacio de trabajo, el software inicialmente abre el archivo de información geográfica, donde se observan las múltiples vías a nivel mundial con el fin de poder capturar imágenes en escala real para estudios donde se requiera dicha información, después del click abre el espacio de trabajo “grid” donde se pueden proyectar infinitos trazos con medidas exactas, que en esta investigación es el espacio de trabajo deseado.

En la barra de herramientas “Network Objects” se puede encontrar todos los temas generales que el software puede manejar como lo son: creación de arcos vehiculares, distribución de

vehículos privados, distribución del sistema de transporte público, características generales del sistema de tráfico (tiempos, rutas, intercepciones semaforizadas etc.) y características generales de un sistema de tráfico peatonal (Viswalk) identificadas con iconos de color amarillo. Para esta investigación vamos a utilizar las opciones de Viswalk, y para crear los objetos y/o senderos peatonales comenzamos dándole click en la opción de “Areas” y seleccionamos “Rectangular”, ya que nuestro espacio de estudio es la estación de cañaveral y nuestras dimensiones en general son rectangulares.

- **Paso 2:**

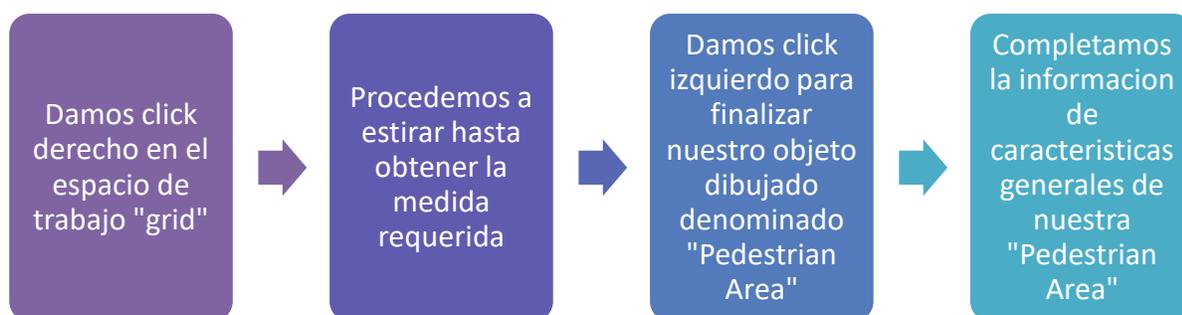


Ilustración 25. Creación de Áreas para Peatones.

**Fuente:** Del Autor

En la ilustración 26 se puede observar lo descrito en la ilustración 25, donde comenzamos a crear las áreas por donde transitarán los peatones en nuestra simulación, de cada área creada es importante definir algunos atributos como lo son: nombre, altura, grosor, tipo de área, y de información más detallada se puede definir el comportamiento del área, si se encuentra en un ascensor, si presentan tiempos de espera, si presentan filas o en dado caso si es una área de uso de transporte público.

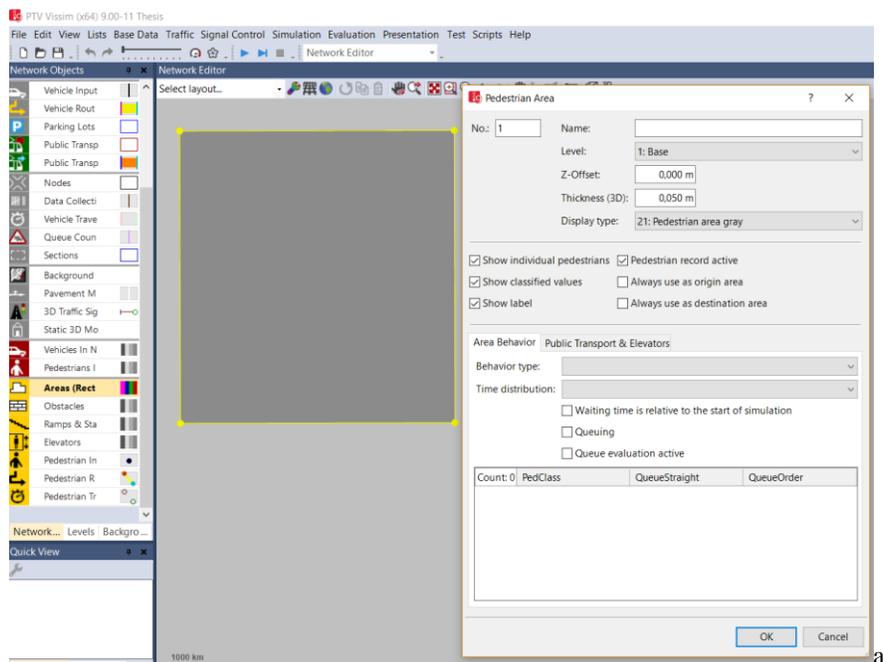


Ilustración 26. Grafico Creación de Áreas para Peatones

Fuente: Del Autor

- **Paso 3:**



Ilustración 27. Áreas a Nivel

Fuente: Del Autor

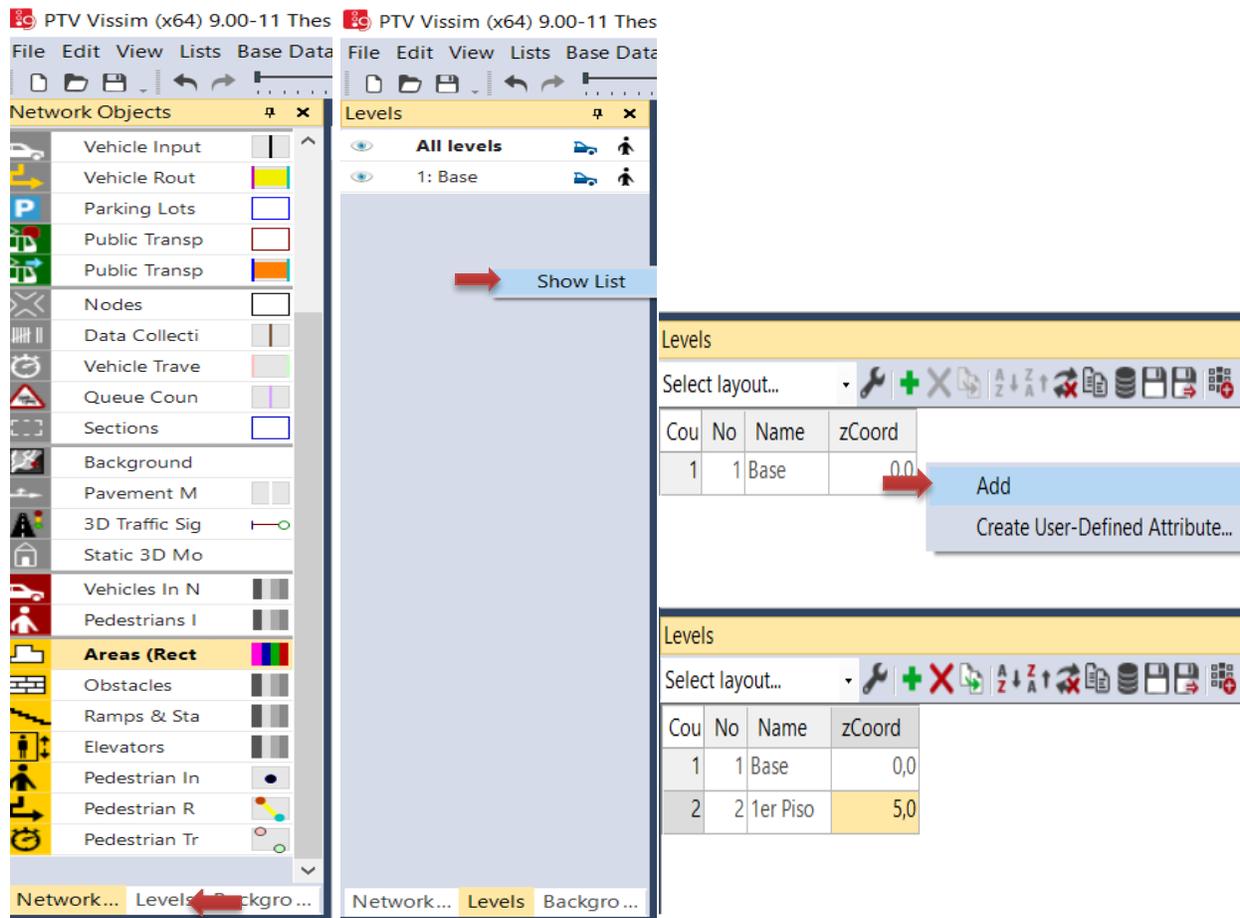


Ilustración 28. Grafica Áreas a Nivel

Fuente: Del Autor

En la gráfica 28 se puede observar el paso a paso de como situar un área a nivel, esto en caso de que debamos simular un puente o elevadores, se pueden crear múltiples niveles y situar la cantidad de áreas que se desee en cada uno de ellos, solo se debe tener en cuenta que al momento de crear el área en las características se debe seleccionar en la opción “level” el nivel que se desea colocar, revisar la ilustración 26 para identificar lo descrito anteriormente.

- **Paso 4:**

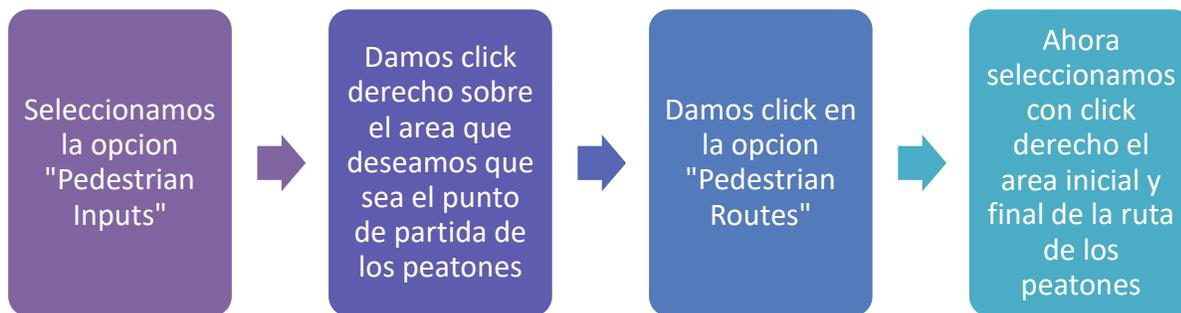


Ilustración 29. Incorporación de Rutas de Peatones

Fuente: Del Autor

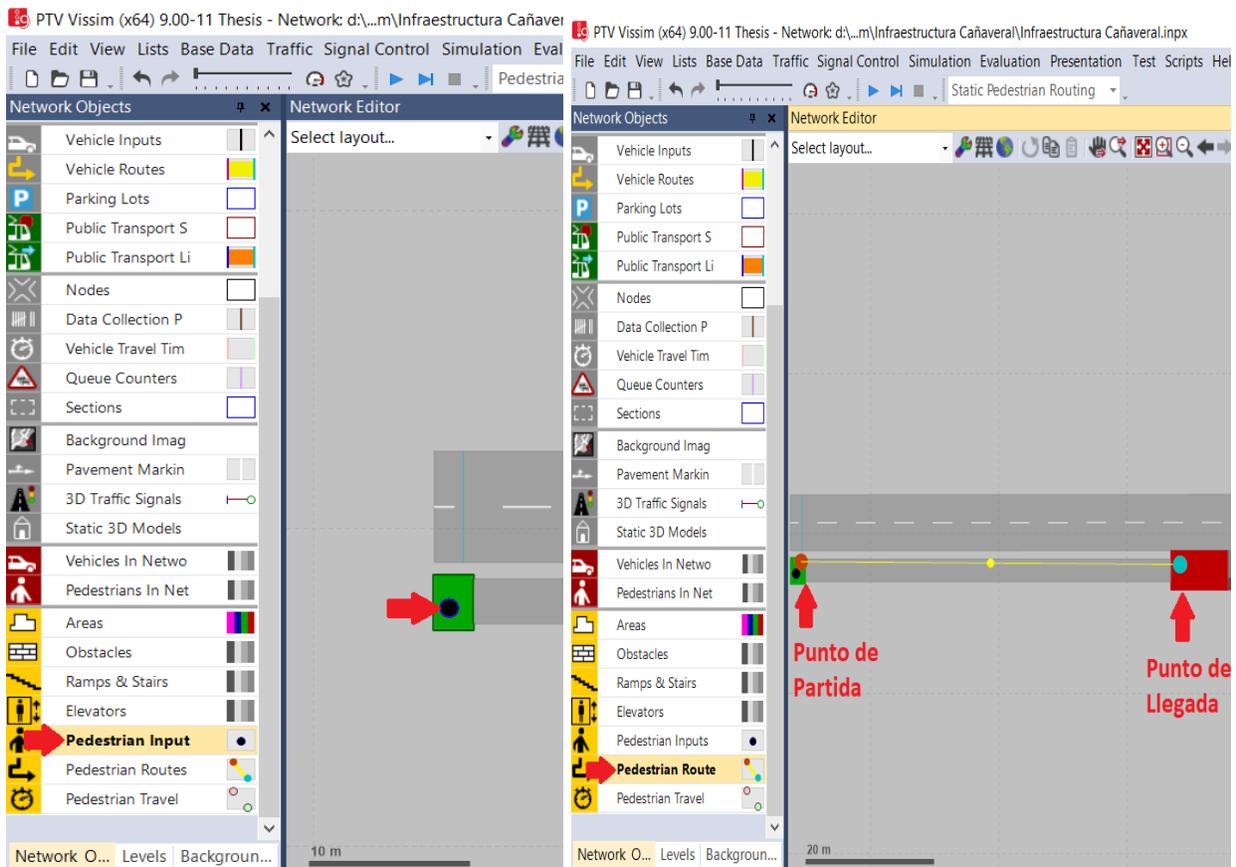


Ilustración 30. Grafico Incorporación de Rutas de Peatones

Fuente: Del Autor

En el paso número 4 se menciona como se proyecta las rutas de peatones de un área en específico a otra, es importante mencionar que las áreas donde están definidas como “Pedestrian Input” son los puntos donde van a comenzar a salir los peatones en la simulación de la misma, de igual forma puede haber más de un área, en este paso se debe seleccionar la cantidad de peatones totales que van a salir por el punto de inicio, al momento de incorporar las rutas de los peatones puede haber más de una ruta, en dado caso se debe seleccionar el porcentaje que tomara cada una de las rutas seleccionadas como se observa a continuación.

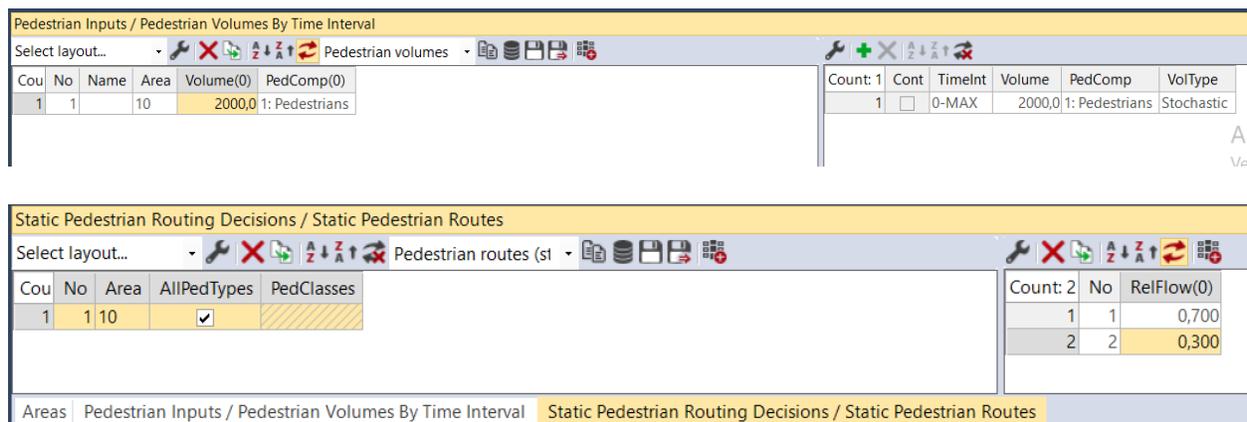


Ilustración 31. Volumen y Porcentaje de Ruta

Fuente: Del Autor

En la ilustración 31 se pueden observar dos cuadros, donde se exponen las características de “Pedestrian Inputs” y “Static Pedestrian Routes”, en el primer recuadro es donde seleccionamos la cantidad de peatones que requerimos en nuestra simulación, y en el segundo recuadro estamos seleccionando la cantidad de rutas que requerimos, cada ruta puede tener un origen pero múltiples destinos por eso en el recuadro derecho debemos colocar el porcentaje de distribución de peatones en caso de que el punto de destino sea más de uno.

Ya habiendo descrito un paso a paso resumido de la utilización del software se procede a simular la Estación de Cañaveral, con las características actuales, en la imagen 32 se puede observar la infraestructura presente.

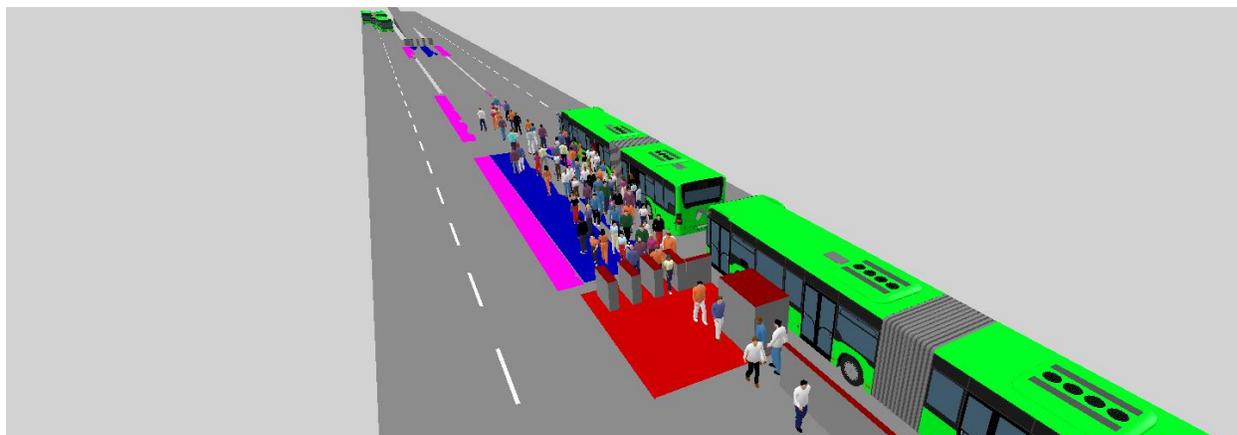


Ilustración 32. Simulación Actual Entrada Norte (Torniquetes)

**Fuente:** Del Autor



Ilustración 33. Simulación Actual Entrada Norte

**Fuente:** Del Autor

En la tabla 5 se relacionan los resultados generales de toda la infraestructura simulada, es importante mencionar que la infraestructura contemplada fue: rampa norte, área torniquete norte, vagón norte, área de conexión entre vagones, vagón sur, área torniquete sur y rampa sur.

Tabla 5. Resultados Simulación Actual

INTERVALOS DE TIEMPO	PEATONES INGRESADOS	PEATONES ELIMINADOS	PEATONES ACTIVOS EN LA RED	DENSIDAD	VELOCIDAD	FLUJO	TIEMPO DE VIAJE	FLUJO HACIA EL DESTINO	VELOCIDAD HACIA EL DESTINO	PARADAS	TIEMPO PARADAS	VELOCIDAD NORMALIZADA
				Ped/m2	Km/h	Ped/m*s	s	Ped/m*s	Km/h		s	
0-60	15	0	15	0,01	4,68	0,02	0,00	0,01	4,61	0,01	0,00	1,30
60-120	16	0	79	0,09	4,10	0,10	0,00	0,09	3,85	0,01	0,01	1,14
120-180	15	34	105	0,14	4,22	0,16	79,56	0,15	3,86	0,00	0,00	1,17
180-240	19	27	144	0,19	4,05	0,22	105,64	0,19	3,56	0,00	0,00	1,12
240-300	13	52	122	0,20	3,99	0,22	114,76	0,19	3,44	0,00	0,00	1,11
300-360	19	47	93	0,15	3,48	0,14	132,79	0,11	2,52	0,06	0,01	0,97
360-420	17	10	100	0,13	2,95	0,11	169,84	0,06	1,71	0,08	0,02	0,82
420-480	13	1	112	0,15	2,39	0,10	220,70	0,05	1,16	0,09	0,03	0,66
480-540	22	0	134	0,17	2,12	0,10	0,00	0,05	1,01	0,09	0,04	0,59
540-600	13	0	157	0,21	2,80	0,16	0,00	0,12	2,00	0,07	0,03	0,78
600-660	24	7	174	0,23	2,73	0,18	106,30	0,12	1,92	0,07	0,03	0,76
660-720	16	31	185	0,27	3,02	0,23	140,00	0,16	2,18	0,04	0,02	0,84
720-780	17	61	169	0,24	3,25	0,22	86,06	0,17	2,53	0,03	0,01	0,90
780-840	14	18	149	0,21	3,20	0,19	108,62	0,15	2,57	0,03	0,02	0,89
840-900	25	47	127	0,18	2,72	0,14	133,50	0,09	1,87	0,04	0,02	0,76
900-960	17	6	172	0,19	2,40	0,12	182,82	0,07	1,30	0,05	0,03	0,67
960-1020	22	8	152	0,22	3,46	0,21	82,66	0,17	2,82	0,03	0,01	0,96
1020-1080	14	21	145	0,20	3,20	0,18	88,32	0,14	2,55	0,03	0,02	0,89
1080-1140	22	42	125	0,19	2,63	0,14	143,87	0,10	1,86	0,05	0,03	0,73
1140-1200	21	4	142	0,18	2,16	0,11	206,60	0,07	1,31	0,06	0,04	0,60
1200-1260	19	1	160	0,21	1,97	0,11	248,40	0,06	1,12	0,07	0,04	0,55
1260-1320	13	0	213	0,27	2,21	0,17	0,00	0,11	1,40	0,06	0,04	0,61
1320-1380	19	37	198	0,30	2,75	0,23	77,74	0,18	2,17	0,03	0,03	0,77
1380-1440	19	30	197	0,28	2,97	0,23	111,45	0,18	2,33	0,02	0,02	0,82
1440-1500	21	34	184	0,27	3,18	0,24	115,08	0,20	2,68	0,03	0,02	0,88
1500-1560	16	55	145	0,22	2,60	0,16	145,06	0,12	1,89	0,05	0,03	0,72
1560-1620	22	12	155	0,20	2,02	0,11	172,03	0,07	1,15	0,07	0,04	0,56
1620-1680	22	3	174	0,22	1,78	0,11	224,50	0,05	0,88	0,06	0,05	0,49
1680-1740	8	0	182	0,25	1,66	0,11	0,00	0,05	0,79	0,06	0,05	0,46
1740-1800	17	0	227	0,28	1,85	0,14	0,00	0,07	0,93	0,07	0,04	0,51
1800-1860	23	18	210	0,29	2,47	0,20	76,80	0,17	2,09	0,07	0,04	0,69
1860-1920	16	12	240	0,33	2,38	0,22	115,16	0,18	1,97	0,06	0,04	0,66
1920-1980	18	64	225	0,32	2,48	0,22	115,52	0,18	2,07	0,05	0,03	0,69
1980-2040	25	27	205	0,29	2,47	0,20	128,36	0,17	2,10	0,05	0,04	0,69
2040-2100	23	35	192	0,28	2,27	0,18	130,41	0,12	1,56	0,05	0,04	0,63

2100-2160	13	25	180	0,26	2,46	0,18	142,93	0,13	1,71	0,07	0,03	0,68
2160-2220	19	20	194	0,24	1,84	0,12	184,74	0,06	0,86	0,08	0,05	0,51
2220-2280	18	3	187	0,26	2,33	0,17	176,37	0,12	1,68	0,07	0,04	0,65
2280-2340	21	7	201	0,27	1,97	0,15	148,33	0,10	1,31	0,07	0,04	0,55
2340-2400	12	28	185	0,27	1,79	0,13	152,16	0,08	1,09	0,07	0,05	0,50
2400-2460	26	4	208	0,27	1,44	0,11	195,15	0,05	0,67	0,08	0,06	0,40
2460-2520	15	0	279	0,35	2,00	0,20	0,00	0,12	1,24	0,05	0,04	0,56
2520-2580	13	38	228	0,35	2,36	0,23	83,63	0,18	1,86	0,03	0,04	0,65
2580-2640	17	49	195	0,29	2,48	0,20	126,34	0,15	1,90	0,03	0,04	0,69
2640-2700	20	32	199	0,28	2,46	0,19	164,52	0,16	1,96	0,03	0,04	0,68
2700-2760	11	14	196	0,28	2,11	0,16	140,34	0,12	1,59	0,04	0,05	0,59
2760-2820	21	31	186	0,26	1,63	0,12	145,63	0,08	1,04	0,04	0,06	0,45
2820-2880	23	3	206	0,28	1,72	0,13	269,20	0,22	2,88	0,05	0,05	0,48
2880-2940	15	16	204	0,29	1,77	0,14	79,62	0,75	9,39	0,05	0,05	0,49
2940-3000	16	8	212	0,29	1,44	0,11	108,75	0,72	9,03	0,05	0,06	0,40
3000-3060	16	4	218	0,30	1,42	0,12	187,18	0,72	8,60	0,06	0,06	0,39
3060-3120	20	1	271	0,36	1,99	0,20	262,00	0,81	8,10	0,05	0,05	0,55
3120-3180	17	36	264	0,38	2,40	0,25	87,71	0,86	8,15	0,03	0,04	0,67
3180-3240	20	37	245	0,35	2,15	0,21	127,81	0,82	8,56	0,02	0,05	0,60
3240-3300	15	43	217	0,32	1,70	0,15	142,79	0,76	8,66	0,02	0,06	0,47
3300-3360	21	10	245	0,33	1,57	0,14	181,62	0,45	5,00	0,03	0,06	0,44
3360-3420	28	10	263	0,35	1,65	0,16	90,23	1,07	11,05	0,04	0,06	0,46
3420-3480	16	16	256	0,36	1,61	0,16	170,68	1,07	10,67	0,04	0,06	0,45
3480-3540	14	9	264	0,36	1,76	0,18	485,57	1,09	10,86	0,03	0,06	0,49
3540-3600	21	7	278	0,38	1,51	0,16	174,37	1,07	10,21	0,03	0,06	0,42
Total	1083	1195	11089	15,28	146,16	9,77	7790,20	15,96	201,84	2,78	2,13	40,60
Average	18	20	185	0,25	2,44	0,16	129,84	0,27	3,36	0,05	0,04	0,68
Standard deviation	4	18	53	0,07	0,76	0,05	81,22	0,31	3,04	0,02	0,02	0,21
Minimum	8	0	15	0,01	1,42	0,02	0,00	0,01	0,67	0,00	0,00	0,39
Maximum	28	64	279	0,38	4,68	0,25	485,57	1,09	11,05	0,09	0,06	1,30

Fuente: Del Autor

### 3.3.1 Modelos Generales de la Estación de Servicio de Cañaverál

El área total de toda la infraestructura simulada es de 972.95 metros cuadrados, lo cual es importante resaltar, ya que los resultados obtenidos anteriormente es de todo el sistema en conjunto, a continuación se presentan los modelos de densidad, velocidad y flujo obtenidos.

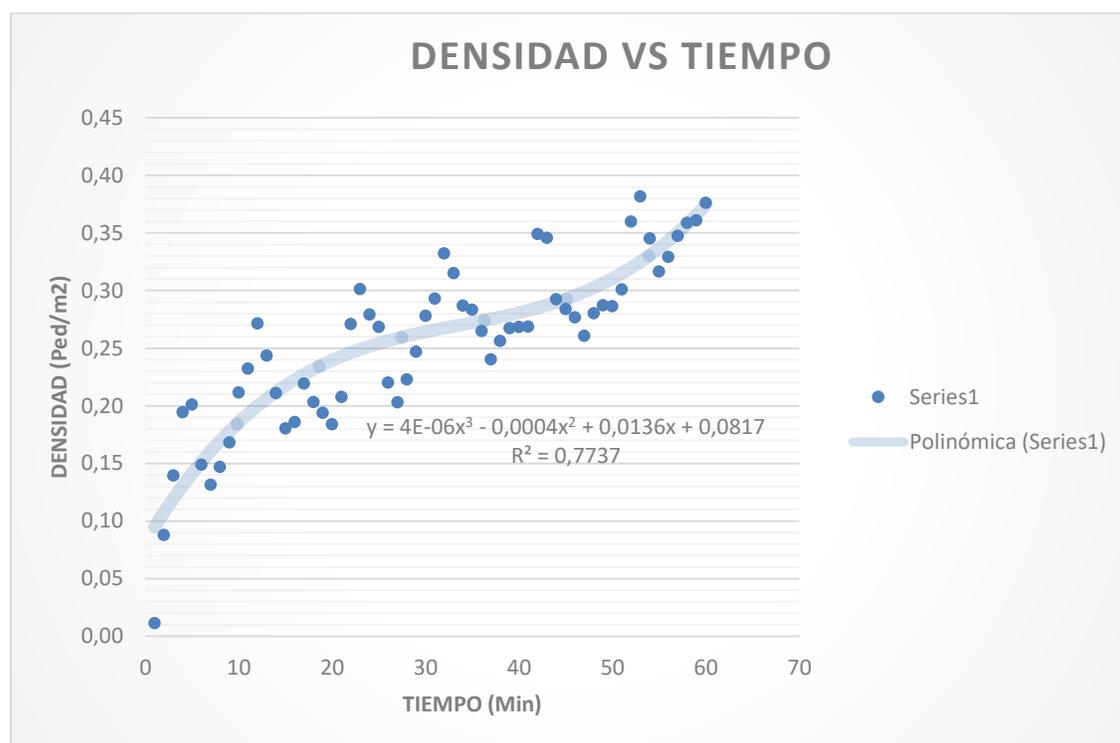


Ilustración 34. Densidad VS Tiempo

Fuente: Del Autor

En la ilustración 34 se puede observar el modelo de densidad en relación al tiempo, los datos arrojados fácilmente se puede concluir que son muy bajos a los parámetros normales de tránsito peatonal, pero es porque el software lo está asumiendo con toda la infraestructura simulada (Estación de Cañaverál) y un tiempo total de 60 minutos, el modelo obtenido tiene una correlación de  $R^2 = 0.77$  lo cual indica que es aceptable, refleja en un 77% de la situación real.

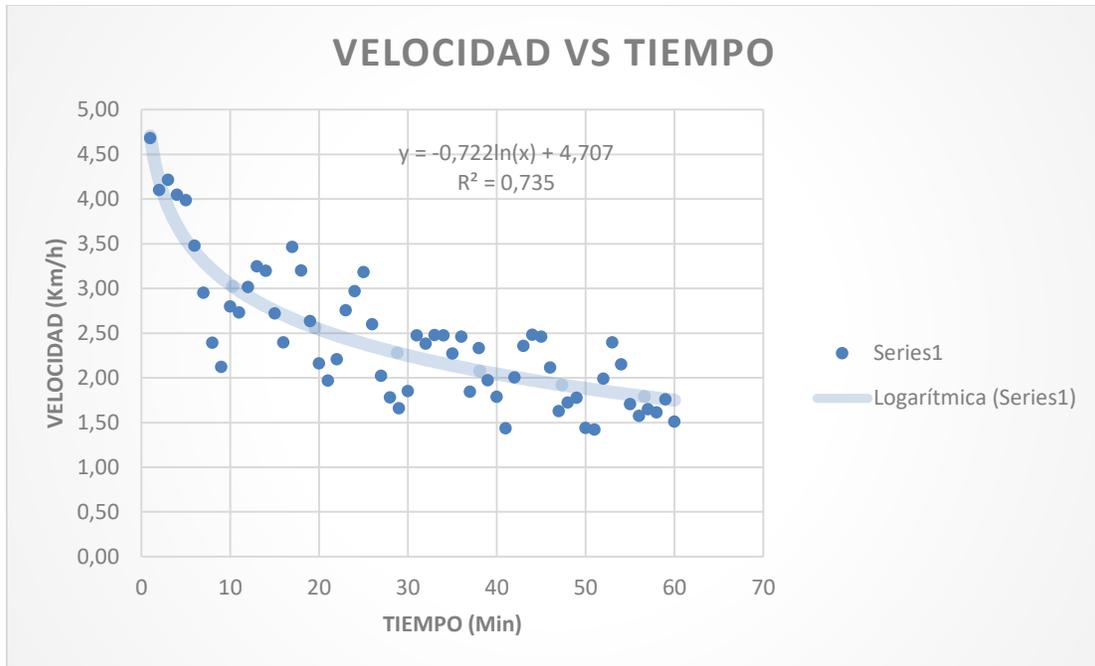


Ilustración 35. Velocidad VS Tiempo

Fuente: Del Autor

Del modelo obtenido de velocidad en relación al tiempo, se obtuvo una correlación del  $R^2 = 0.735$ , lo cual es aceptable y refleja la realidad en un 74%.

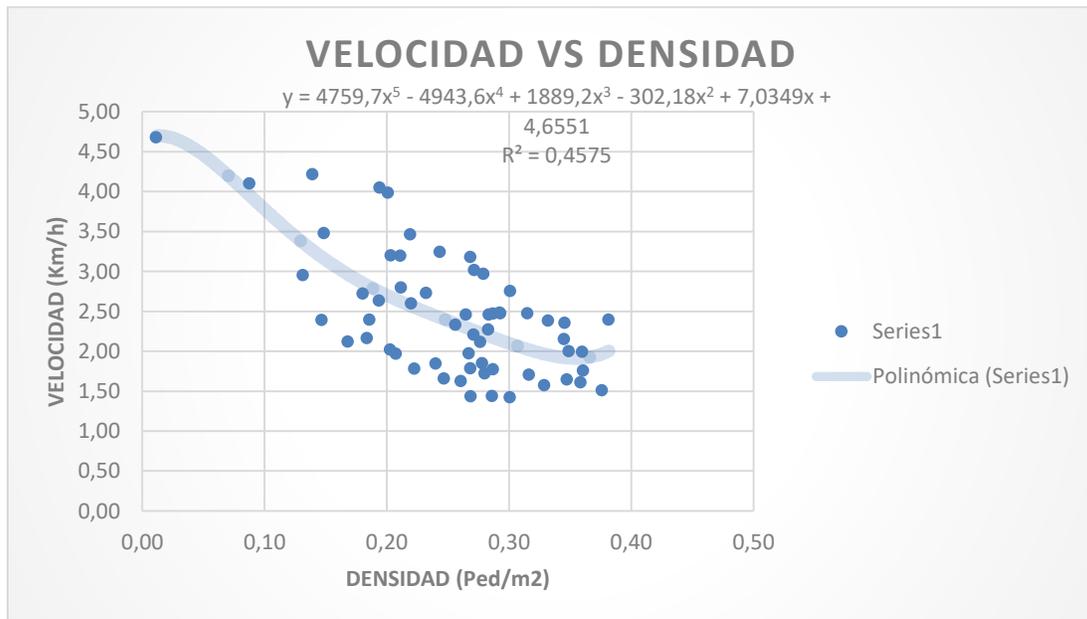


Ilustración 36. Velocidad VS Densidad

Fuente: Del Autor

Del modelo de Velocidad en relación a la Densidad se obtuvo una correlación del  $R^2 = 0.46$ , lo cual no es aceptable ya que refleja la situación real en un 46%, esto es debido al área tan grande de infraestructura evaluada.

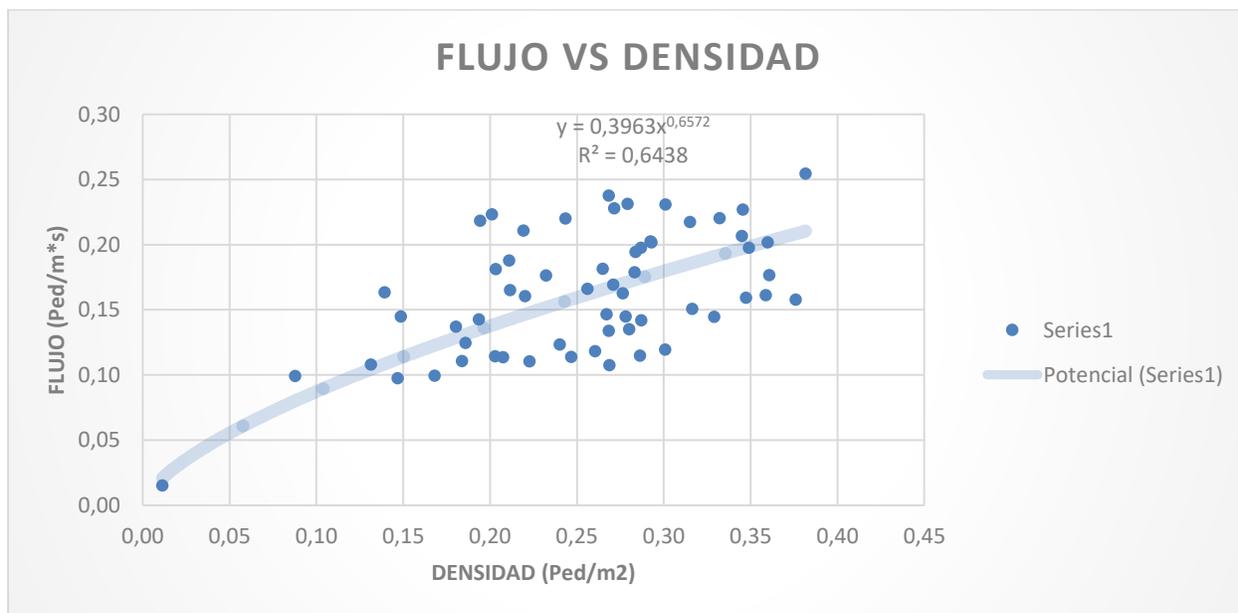


Ilustración 37. Flujo Vs Densidad

**Fuente:** Del Autor

El modelo de Flujo en relación a la Densidad arrojó una correlación de  $R^2 = 0.64$ , lo cual es aceptable ya que explica en un 64% la variable real, sin embargo, es importante resaltar la variabilidad presentada dentro de los datos obtenidos, ya que se están evaluando peatones y estos nunca van a tener el mismo comportamiento entre sí.

### 3.4 Análisis de la Infraestructura Actual.

#### 3.4.1 Intensidad Peatonal

Como ya se definió anteriormente, al número de personas que transitan por una determinada sección de la vía en la unidad de tiempo se le llama intensidad peatonal, en relación al proyecto que se está ejecutando se requiere el aforo correspondiente a los 15 minutos punta ( $Q_{p.15.}$ ), medido en peatones cada 15 minutos (pt/15 min), y se reemplaza en la ecuación [4].

$$I = \frac{\text{Numero de Peatones}}{\text{Tiempo}} = \frac{Q_{p.15.}}{15 \text{ min}} \quad [4]$$

De acuerdo al punto 3.2 situado en la metodología de este proyecto se expone el aforo peatonal realizado en las horas pico ya antes especificadas, y de allí se extrae la información del número de personas que transitan en 15 minutos, tomando el valor más elevado con el fin de poder trabajar con datos óptimos.

Tabla 6. Aforo Peatonal 15 Minutos ( $Q_{p.15.}$ )

RAMPA NORTE - ESTACION DE CAÑAVERAL	RAMPA SUR - ESTACION DE CAÑAVERAL
<b>Qp.15. (Per)</b>	<b>Qp.15. (Per)</b>
535	92

Fuente: Del Autor

Es importante mencionar que el  $Q_{p.15.}$  de la Rampa Norte – Estación Cañaverál se presentó el día viernes de 6:15 pm a 6:30 pm, con un número de personas que entran a la estación de 315 y

un número de personas que salen de 220. A su vez, el Qp.15. de la Rampa Sur – Estación Cañaverl se presentó el día viernes de 6:00 pm a 6:15 pm, con un número de personas que entran a la estación de 45 y un número de personas que salen de 47.

Remplazando los valores correspondientes en la ecuación se obtiene.

- Rampa Norte – Estación Cañaverl

$$I = \frac{535 \text{ (Personas)}}{15 \text{ (Minutos)}} = 35.66 \approx 36 \text{ Personas/minuto}$$

- Rampa Sur – Estación Cañaverl

$$I = \frac{92 \text{ (Personas)}}{15 \text{ (Minutos)}} = 6.13 \approx 7 \text{ Personas/minuto}$$

### 3.4.2 Intensidad Unitaria

Como ya se explicó en el marco teórico la intensidad unitaria se obtiene del resultado de dividir la intensidad peatonal por la anchura neta de la vía, el ancho efectivo que presentan las rampas Norte y Sur de la estación de Cañaverl es de 2.8 metros.

- Rampa Norte – Estación Cañaverl

$$i = \frac{I}{A_E} = \frac{36}{2.8} = 12.85 \approx 13 \text{ pt/min/m}$$

- Rampa Sur – Estación Cañaveral

$$i = \frac{I}{A_E} = \frac{7}{2.8} = 2.5 \approx 3 \text{ pt/min/m}$$

### 3.4.3 Intensidad de Pelotón

En la ecuación [6] expuesta en el marco teórico de este proyecto de investigación, se expone la ecuación de la recta que representa la intensidad del pelotón, dicha ecuación se utiliza para zonas de transporte público donde en determinados lazos de tiempos cortos salen o entran un grupo de personas, por ende se determinó la intensidad de pelotón de las dos rampas presentes.

- Rampa Norte – Estación Cañaveral

$$i_p = i + 13.12 = 13 + 13.12 = 26.12 \text{ pt/min/m}$$

- Rampa Sur – Estación Cañaveral

$$i_p = i + 13.12 = 3 + 13.12 = 16.12 \text{ pt/min/m}$$

### 3.4.4 Nivel de Servicio Rampas

De acuerdo a la guía de movilidad peatonal (Desarrollo Urbano, 2015), realizada en Colombia para la infraestructura que se presenta, podemos deducir gracias a la tabla número 2, expuesta en

nuestro marco teórico, los niveles de servicio que se presentan en la Rampa Norte y Rampa Sur son:

- Rampa Norte – Estación Cañaveral: con una intensidad de pelotón de 26.12 personas/minuto/metro, presenta un nivel de servicio C.
- Rampa Sur – Estación Cañaveral: con una intensidad de pelotón de 16.12 personas/minuto/metro, presenta un nivel de servicio B.

### 3.4.5 Tamaño de la Plataforma de la Estación

Para poder determinar el tamaño ideal de la plataforma de la Estación de Cañaveral, fue necesario realizar un conteo de las personas que esperan abordar las líneas del Metrolinea presente en dicha estación.

El conteo se realizó en la hora pico de las 6 pm a 7 pm de la noche, y se tomó el mayor valor presente en cada una de las líneas, ya que una puerta puede ser parada de dos líneas de Metrolinea, dicho esto los datos obtenidos de cada una de las puertas son los siguientes:

Tabla 7. Número de Personas en Área de Espera

	SENTIDO SUR - NORTE			SENTIDO NORTE - SUR		
	PUERTA			PUERTA		
	T3-T1	P3-P8	RE1-P3-P6	T3-T1	P3-P8	RE1-P3-P6
PERSONAS EN ESPERA	72	30	28	35	20	22

Fuente: Del Autor

Es importante mencionar que en la tabla 6 se puede observar el número de personas que esperan las líneas de transporte público, hay casos en los que este valor se incrementa al doble ya que una puerta es parada de dos líneas de transporte público, y como no se cuenta con una tabla de tiempos de llegada de los buses se acumulan dos grupos de peatones de espera, dicho esto al trabajar con valores óptimos elevados se obtiene que en el sentido Sur – Norte la mayor aglomeración de personas es de 144 personas, de igual forma en el sentido Norte - Sur la mayor aglomeración es de 70 personas.

La ecuación general del ancho requerido fue expresada en el marco teórico y se identificó con el número 7.

$$Wp = 1 + Wu + Wc + Wopp \quad [7]$$

Donde:

$Wp$ : Ancho total de la plataforma

1 metro: Ancho requerido para la infraestructura

$Wu$ : Ancho requerido para los pasajeros que esperan en un sentido

$Wc$ : Ancho requerido para los pasajeros que circulan

$Wopp$ : Ancho requerido para los pasajeros que esperan vehículos que van en el otro sentido.

Para realizar el cálculo del área de espera se debe aplicar la ecuación número 9, donde se recuerda que los pasajeros que están esperando, no están cómodos si tienen que restringirse a menos de un tercio de metro cuadrado, por ende la capacidad máxima es de tres pasajeros,  $Dw_{max}=3$  pasajeros por  $m^2$ .

- Área de espera sentido Sur - Norte

$$Aw = \frac{Qp}{Dwmax} = \frac{144}{3} = 48 \text{ Metros Cuadrados}$$

- Área de espera sentido Norte - Sur

$$Aw = \frac{Qp}{Dwmax} = \frac{70}{3} = 23.33 \approx 24 \text{ Metros Cuadrados}$$

Entonces, se necesitan 48 metros cuadrados para recibir a los pasajeros en sentido Sur – Norte y 24 metros cuadrados para recibir a los pasajeros en sentido Norte – Sur, teniendo en cuenta que el vehículo BRT - Articulado tiene aproximadamente 18 metros de largo, se obtiene lo siguiente:

- Área de espera sentido Sur - Norte

$$Wu = \frac{48}{18} = 2.7 \text{ Metros}$$

- Área de espera sentido Norte - Sur

$$Woop = \frac{24}{18} = 1.4 \text{ Metros}$$

En base al paso 3.2 de la metodología se obtiene que 922 personas caminan hacia la estación de Cañaveral en la hora pico, por ende se procede a determinar el Wc (Ancho requerido para los pasajeros que circulan) por medio de la ecuación 8.

$$Wc = \frac{Pph}{2000} = \frac{922}{2000} = 0.46 \approx 0.5 \text{ Metros}$$

Por lo tanto el ancho ideal de la estación de Cañaveral es:

$$Wp = 1 + Wu + Wc + Wopp = 1 + 2.7 + 0.5 + 1.4 = 5.6 \text{ metros}$$

### 3.5 Análisis de la Rutas

Habiendo identificado la estación de servicio de Metrolinea Cañaveral en todas sus características, de infraestructura, movilidad peatonal, tránsito de buses, etc. Procedemos analizar los resultados obtenidos para así poder seleccionar las nuevas condiciones a simular en la infraestructura futura.

De la simulación de la infraestructura actual es importante mencionar que el periodo con el cual las rutas de metrolinea realizan su respectivo viaje en dicha estación, no se cumple a cabalidad, dentro de la información que brinda el metrolinea menciona la frecuencia que a continuación se describe. Esto se debe principalmente, a que el carril-bus no es exclusivo a lo largo de toda la ruta, quedando atrapado muchas veces el autobús en medio del resto de tránsito.

Tabla 8. Frecuencia de Rutas Metrolinea S.A

RUTA	FRECUENCIA
T1	8 min
T3	8 min
P13	10 min
P8	10 min
RE1	7 min
P3	10 min

P6	10 min
----	--------

**Fuente:** (Metrolinea S.A, 2017)

Al realizar la recolección de la información primaria en campo se identificó la frecuencia real de cada uno de las líneas del metrolinea presentes en la estación de cañaveral, con esta información se realizó la debida simulación de la situación actual, esta frecuencia es:

Tabla 9. Frecuencia Real de las Rutas de Metrolinea S.A

RUTA	FRECUENCIA
T1	13 min
T3	13 min
P13	10 min
P8	10 min
RE1	15 min
P3	15 min
P6	15 min

**Fuente:** Del Autor

Como primer escenario futuro se va a realizar una mejora en las rutas, ya que la frecuencia con la cual están trabajando no está satisfaciendo la demanda de usuarios presente.

En relación a la infraestructura se obtuvo que la anchura ideal de la plataforma de la estación es de 5.6 metros, esto para poder permitir el paso del peatón con las condiciones que actualmente

se presentan, la anchura real es de 4.7 metros, es decir, existe una diferencia de 0,9 metros (un 20% de ampliación del ancho) para que sea ideal. En la segunda propuesta de escenario futuro se va a contemplar este cambio de la infraestructura con el fin de analizar el comportamiento peatonal y cuantificar las mejoras que esta presenta.

### **3.6 Simulación de la Situación Futura en el Software Vissim.**

Después de haber identificado las características de la situación actual, se procede por medio del software Vissim a realizar la simulación de la situación futura (el paso a paso del uso del software para realizar la simulación se describe en el ítem de la metodología denominado *Simulación de la Situación Actual*), de acuerdo al análisis que se realizó de la simulación actual, se concluye que se va a proceder a realizar dos simulaciones futuras, como *primera situación* se va a mejorar la frecuencia de las rutas de metrolinea, con el fin de disminuir el agrupamiento de personas dentro de la estación y evitar altas densidades dentro de la misma, la *segunda situación* se va a realizar las mejoras del dimensionamiento de la estación del metrolinea Cañaveral buscando el mismo fin mencionado anteriormente.

#### ***3.6.1 Primer Escenario Futuro***

Ya que se encontraron falencias dentro del cumplimiento del tiempo de llegada de las líneas del metrolinea, se va a redefinir la frecuencia de estas con el fin de mejorar el agrupamiento,

gracias al modelo de densidad de la estación, se proyectó una frecuencia ideal para este comportamiento. Se recuerda nuevamente el modelo de densidad.

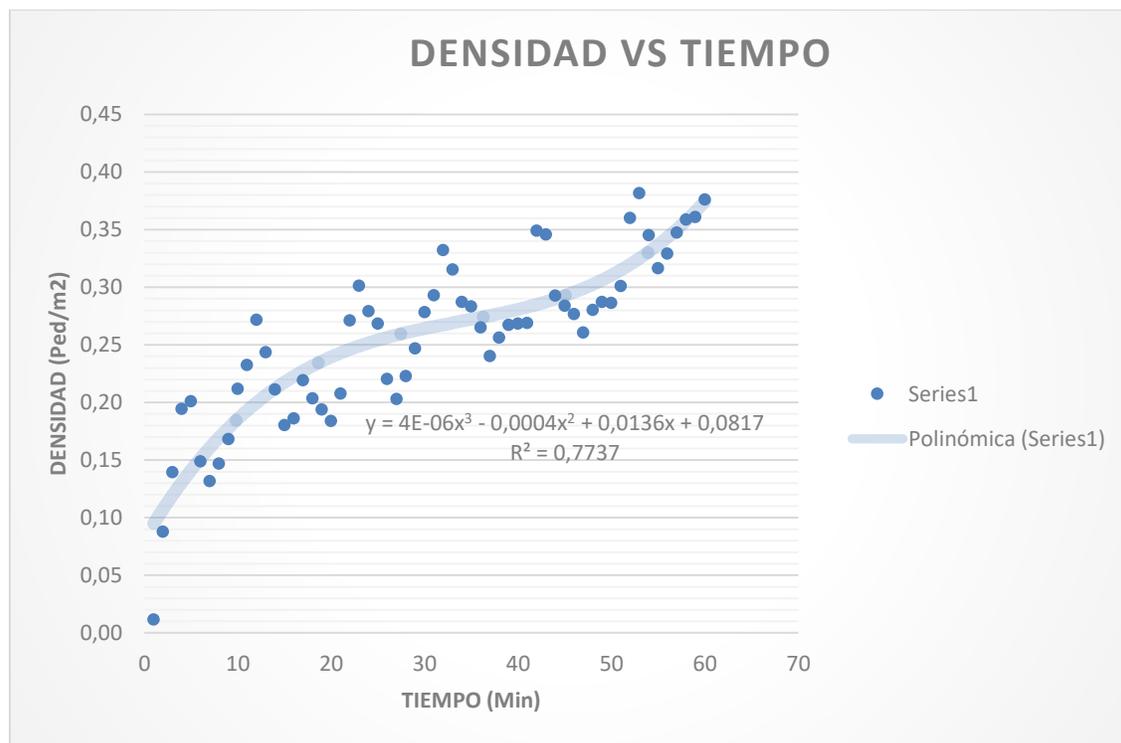


Ilustración 38. Densidad VS Tiempo

Fuente: Del Autor

En el modelo se puede evidenciar los picos de densidades presentes en la hora de mayor demanda de la estación, los picos se presentan en promedio cada 10 minutos por ende la línea de mayor demanda es la T1 y T3, la cual está generando el impedimento del paso del peatón dentro de la estación y la mayor aglomeración por ende se va a realizar unas mejoras en dichas líneas, mejorando la frecuencia estas son:

Tabla 10. Frecuencias Escenario Futuro 1.

RUTA	FRECUENCIA
T1	8 min
T3	8 min
P13	10 min
P8	10 min
RE1	13 min
P3	13 min
P6	13 min

**Fuente:** Del Autor

En la tabla 10 se puede observar los valores de frecuencia que se utilizaron en el primer escenario futuro, bajando en 5 minutos las rutas T1 y T3, P13 y P8 se mantuvieron con la misma frecuencia de 10 min y la RE1, P3 y P6 se bajaron en 2 minutos cada una. Bajando solo unos minutos la frecuencia se obtuvieron los resultados mostrados a continuación.

Tabla 11. Resultados Generales Primer Escenario Futuro.

INTERVALOS DE TIEMPO	PEATONES INGRESADOS	PEATONES ELIMINADOS	PEATONES ACTIVOS EN LA RED	DENSIDAD	VELOCIDAD	FLUJO	TIEMPO DE VIAJE	FLUJO HACIA EL DESTINO	VELOCIDAD HACIA EL DESTINO	PARADAS	TIEMPO PARADAS	VELOCIDAD NORMALIZADA
				Ped/m2	Km/h	Ped/m*s	s	Ped/m*s	Km/h		s	
0-60	15	0	15	0,011382	4,680642	0,015039	0	0,014876	4,68073	0,005369	0,00093	1,300178
60-120	16	0	57	0,030945	4,534078	0,038452	0	0,035401	4,245085	0,011274	0,00335	1,259466
120-180	15	0	75	0,093869	4,038752	0,105358	0	0,094404	3,620766	0,018036	0,005118	1,121876
180-240	19	22	95	0,130385	3,925259	0,142017	97,731818	0,119523	3,29951	0,010125	0,004085	1,09035
240-300	13	39	86	0,140986	3,746601	0,147575	96,769231	0,1193	3,012555	0,016777	0,006839	1,040722
300-360	19	15	89	0,122354	3,312672	0,112739	102,333333	0,073085	2,148654	0,02865	0,013657	0,920187
360-420	17	7	99	0,127985	2,935939	0,104445	168,228571	0,060807	1,71152	0,038215	0,019403	0,815539
420-480	13	0	90	0,122289	2,567479	0,087354	0	0,051146	1,511069	0,036633	0,028044	0,713189
480-540	22	0	112	0,13772	2,297528	0,088307	0	0,050289	1,301753	0,048109	0,035332	0,638202
540-600	13	0	106	0,143805	2,47312	0,098879	0	0,061099	1,533862	0,035737	0,032991	0,686978
600-660	24	0	129	0,171827	2,900425	0,139362	0	0,091821	1,901796	0,032071	0,020896	0,805674
660-720	16	31	148	0,212489	3,421403	0,20235	78,206452	0,153805	2,594008	0,034462	0,012611	0,95039
720-780	17	33	129	0,185072	3,402991	0,174939	76,527273	0,129516	2,512733	0,03499	0,012991	0,945275
780-840	14	29	86	0,133621	3,730717	0,139001	121,631034	0,108589	2,908203	0,019503	0,00641	1,03631
840-900	25	20	91	0,117213	3,278133	0,106959	133,56	0,072816	2,230288	0,028585	0,013772	0,910592
900-960	17	3	105	0,133139	2,994377	0,110714	165,233333	0,06657	1,804379	0,036604	0,019297	0,831771
960-1020	22	2	108	0,152806	2,704148	0,114975	193,6	0,065785	1,548769	0,052361	0,026496	0,751152
1020-1080	14	0	104	0,147997	2,275322	0,093884	0	0,053629	1,304468	0,061546	0,037405	0,632034
1080-1140	22	0	126	0,161652	2,023778	0,09099	0	0,054132	1,204305	0,064562	0,043483	0,56216
1140-1200	21	0	146	0,197765	2,533049	0,140366	0	0,087316	1,571746	0,054206	0,027828	0,703625
1200-1260	19	27	138	0,201966	2,661945	0,149893	75,6	0,106036	1,88079	0,056496	0,027282	0,739429
1260-1320	13	3	153	0,209905	2,322744	0,136291	100,033333	0,089536	1,51431	0,060512	0,034479	0,645207
1320-1380	19	13	148	0,216132	2,485689	0,149429	118,353846	0,112661	1,873628	0,04338	0,033853	0,690469
1380-1440	19	20	147	0,205386	2,444774	0,139698	125,755	0,110438	1,932894	0,054182	0,034861	0,679104
1440-1500	21	16	150	0,211952	2,757618	0,161664	130,2375	0,111048	1,904165	0,030744	0,023121	0,766005
1500-1560	16	31	113	0,169591	2,760218	0,131279	92,63871	0,09584	2,016591	0,042691	0,025261	0,766727
1560-1620	22	2	150	0,175754	2,371678	0,117295	132,25	0,072211	1,464124	0,048711	0,031634	0,658799
1620-1680	22	15	117	0,162083	3,307335	0,14917	98,773333	0,12164	2,700799	0,040542	0,013721	0,918704
1680-1740	8	20	105	0,147366	2,756246	0,113317	102,72	0,076801	1,860929	0,063187	0,022567	0,765624
1740-1800	17	4	118	0,155505	2,372694	0,102599	179,875	0,058167	1,345925	0,069445	0,03125	0,659082
1800-1860	23	2	139	0,176765	2,244973	0,110312	225,4	0,060231	1,225587	0,082007	0,034138	0,623603

1860-1920	16	0	173	0,210868	2,092319	0,123783	0	0,06768	1,127051	0,079051	0,038004	0,5812
1920-1980	18	1	177	0,223173	2,500886	0,155406	70,1	0,11157	1,797092	0,046071	0,034458	0,694691
1980-2040	25	27	132	0,194285	2,816502	0,152566	101,981481	0,115872	2,139879	0,028416	0,029651	0,782362
2040-2100	23	12	143	0,192486	2,457673	0,131485	122,441667	0,089252	1,669925	0,028759	0,037052	0,682687
2100-2160	13	6	149	0,215647	2,618277	0,157062	155,216667	0,097776	1,62977	0,033623	0,029126	0,727299
2160-2220	19	19	137	0,219654	3,174059	0,192815	96,457895	0,138392	2,287859	0,029519	0,01876	0,881683
2220-2280	18	34	102	0,159135	3,415522	0,151425	86,794118	0,109701	2,47008	0,039269	0,015437	0,948756
2280-2340	21	14	109	0,144747	2,978814	0,119837	192,971429	0,070598	1,758477	0,075177	0,023	0,827448
2340-2400	12	5	116	0,155367	2,602909	0,112458	217,62	0,053751	1,244747	0,088423	0,029972	0,72303
2400-2460	26	0	143	0,177624	2,415151	0,119379	0	0,055688	1,123693	0,092157	0,034443	0,670875
2460-2520	15	0	153	0,209635	2,640739	0,154155	0	0,092268	1,581734	0,058367	0,032155	0,733539
2520-2580	13	24	130	0,216812	2,805326	0,169003	91,108333	0,111898	1,85786	0,040763	0,027721	0,779257
2580-2640	17	27	101	0,163898	3,134262	0,14285	78,611111	0,104385	2,292412	0,053575	0,019784	0,870628
2640-2700	20	13	108	0,140963	3,082126	0,120819	125,769231	0,090659	2,31415	0,080864	0,020158	0,856146
2700-2760	11	13	106	0,147046	2,505915	0,102523	102,392308	0,064795	1,583548	0,105473	0,031422	0,696087
2760-2820	21	2	121	0,158421	2,248259	0,099161	246,8	0,05874	1,331087	0,104377	0,036693	0,624516
2820-2880	23	4	127	0,17065	2,547736	0,121837	206,375	0,080437	1,680936	0,079786	0,029442	0,707704
2880-2940	15	25	116	0,176876	2,862449	0,140997	77,704	0,102606	2,080232	0,067795	0,023644	0,795125
2940-3000	16	8	106	0,146988	2,494422	0,102122	94,6875	0,061048	1,494623	0,082681	0,031963	0,692895
3000-3060	16	2	120	0,15506	2,314887	0,099784	194,4	0,056999	1,323067	0,080829	0,036985	0,643024
3060-3120	20	0	159	0,204575	2,49295	0,145106	0	0,093875	1,581713	0,062013	0,033404	0,692486
3120-3180	17	20	144	0,214693	3,516605	0,210034	74,925	0,167389	2,799938	0,016223	0,012795	0,976835
3180-3240	20	45	107	0,163393	3,435405	0,156532	102,004444	0,122653	2,685808	0,014904	0,01419	0,954279
3240-3300	15	9	113	0,152248	2,886046	0,122156	163,333333	0,076858	1,81715	0,038582	0,023145	0,801679
3300-3360	21	8	126	0,162527	2,529961	0,114354	207,95	0,063306	1,400999	0,047155	0,031509	0,702767
3360-3420	28	1	147	0,188737	2,361934	0,123966	234,1	0,067987	1,294411	0,046396	0,036082	0,656093
3420-3480	16	0	122	0,163336	2,340751	0,106576	0	0,071491	1,571942	0,044309	0,038347	0,650208
3480-3540	14	0	136	0,178336	1,967297	0,097536	0	0,057783	1,166422	0,049677	0,046504	0,546471
3540-3600	21	0	156	0,21402	2,475328	0,147991	0	0,090617	1,51336	0,047282	0,030375	0,687591
<b>Total</b>	<b>1083</b>	<b>673</b>	<b>7253</b>	<b>9,928903</b>	<b>169,976836</b>	<b>7,608364</b>	<b>5659,20129</b>	<b>5,124594</b>	<b>116,913253</b>	<b>2,921224</b>	<b>1,529326</b>	<b>47,215788</b>
<b>Average</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>121</b>	<b>0,165482</b>	<b>2,832947</b>	<b>0,126806</b>	<b>94,320021</b>	<b>0,08541</b>	<b>1,948554</b>	<b>0,048687</b>	<b>0,025489</b>	<b>0,78693</b>
<b>Standard deviation</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>28</b>	<b>0,041282</b>	<b>0,580843</b>	<b>0,033259</b>	<b>73,530738</b>	<b>0,029358</b>	<b>0,726099</b>	<b>0,02353</b>	<b>0,010736</b>	<b>0,161345</b>
<b>Minimum</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>0,011382</b>	<b>1,967297</b>	<b>0,015039</b>	<b>0</b>	<b>0,014876</b>	<b>1,123693</b>	<b>0,005369</b>	<b>0,000093</b>	<b>0,546471</b>
<b>Maximum</b>	<b>28</b>	<b>45</b>	<b>177</b>	<b>0,223173</b>	<b>4,680642</b>	<b>0,210034</b>	<b>246,8</b>	<b>0,167389</b>	<b>4,608073</b>	<b>0,105473</b>	<b>0,046504</b>	<b>1,300178</b>

Fuente: Del Autor

El nuevo modelo de densidad de la primera simulación se puede observar a continuación.

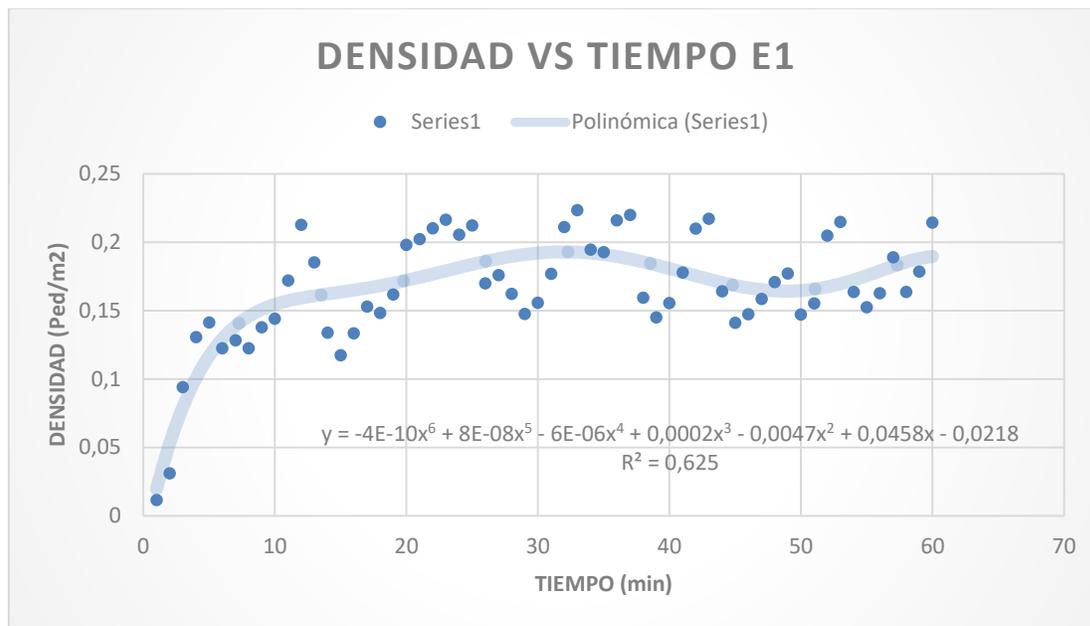


Ilustración 39. Modelo de Densidad, Primer Escenario Futuro.

**Fuente:** Del Autor

Es importante mencionar que la densidad bajo considerablemente, como se puede observar en el gráfico anterior, la mayor densidad se presenta en 0.22 ped/m<sup>2</sup>, a comparación de la situación actual la cual presentaba una mayor densidad de 0.38 ped/m<sup>2</sup>, se pudo disminuir en un 0.16 ped/m<sup>2</sup> de toda la infraestructura simulada.

La distribución de la densidad es más constante, no hay tanta diferencia entre los valores máximos y mínimos, de igual forma el modelo tiene una correlación del R<sup>2</sup>: 0.625, el cual es aceptable, ya que proyecta en un 63% el posible comportamiento de los peatones de la estación de servicio Metrolinea de cañaveral.

Ahora se puede observar el modelo de velocidad generado por el software donde establecen el posible comportamiento de la velocidad en los peatones dentro del escenario futuro primero.

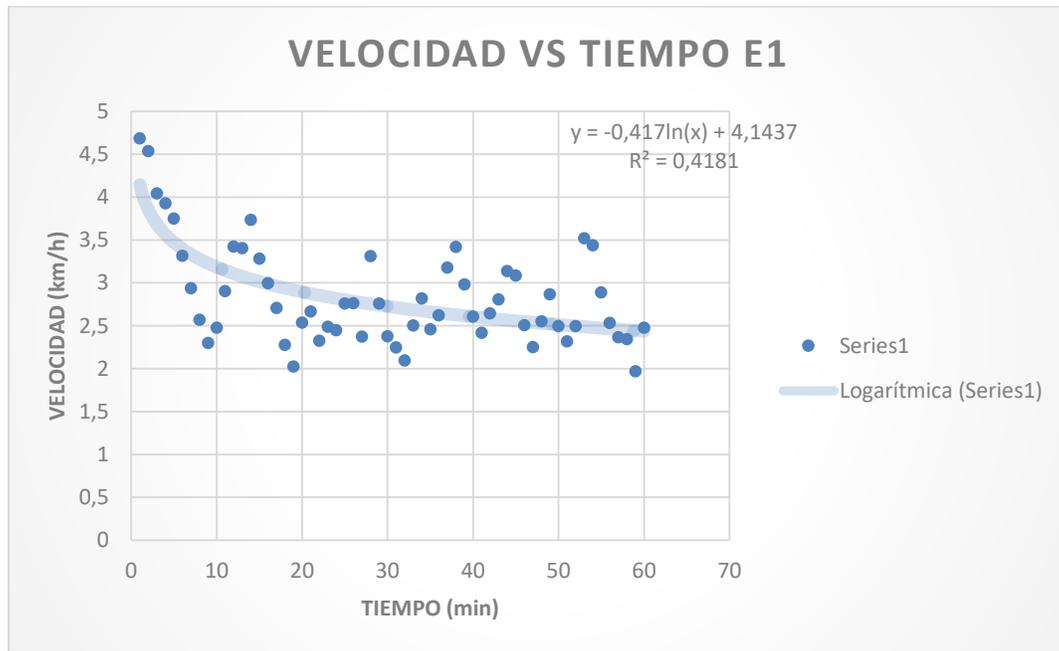


Ilustración 40. Modelo de Velocidad. Primer Escenario Futuro.

Fuente: Del Autor

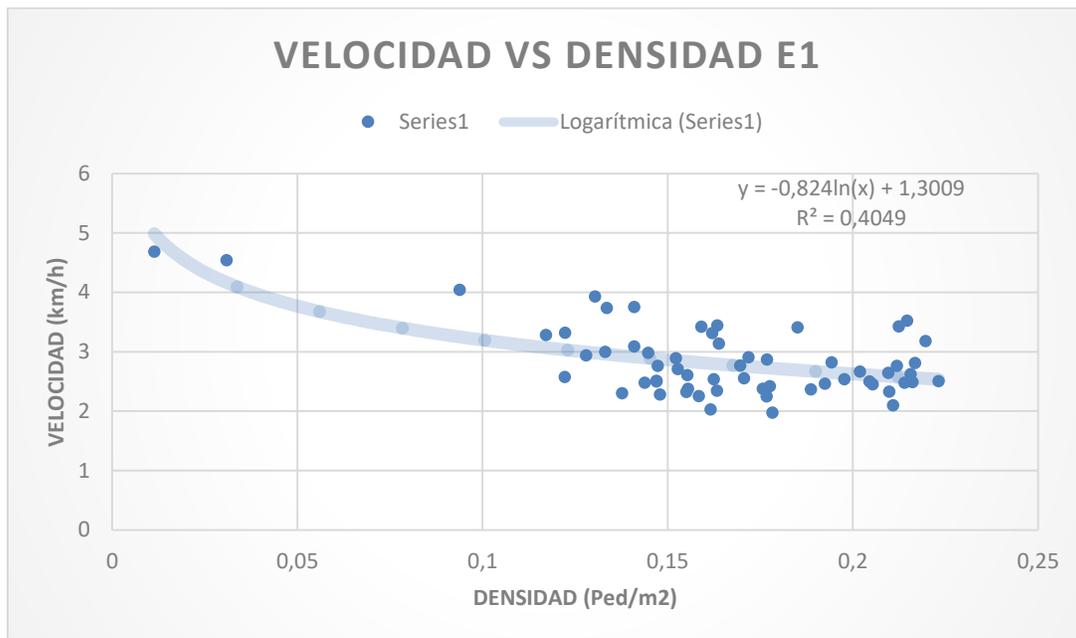


Ilustración 41. Modelo Velocidad VS Densidad. Primer Escenario Futuro

Fuente: Del Autor

En la ilustración 40, se presenta el modelo de velocidad con una correlación del  $R^2$ : 0.4181, lo cual es malo ya que representa en un 42% la posibilidad de comportamiento de los peatones, de igual forma el escenario simulado muestra mejoras en la velocidad, ya que la velocidad mínima del escenario futuro es de 1.9 km/h, de la situación actual tenemos un mínimo de 1.42 km/h, obteniendo un aumento del 0.48 km/h de toda la infraestructura simulada, lo cual es términos de caminado es bueno.

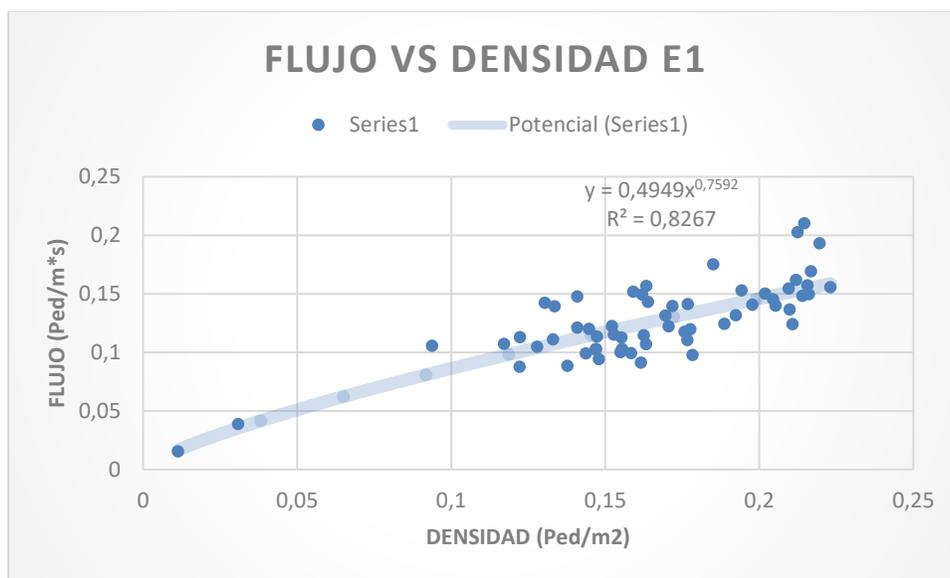


Ilustración 42. Modelo de Flujo VS Densidad. Primer Escenario Futuro.

**Fuente:** Del Autor

De la ilustración 42, es importante resaltar la correlación del  $R^2$ : 0.82, es muy bueno ya que representa en un 82% el comportamiento real del primer escenario futuro en relación al flujo vs la densidad de la infraestructura.

### ***3.6.2 Segundo Escenario Futuro***

En el segundo escenario futuro, se realizó el aumento de las dimensiones de la infraestructura de la estación de cañaverál, la cual consta de aumentar el ancho de la estación a lo mínimo permitido de acuerdo a los datos obtenidos en el ítem *3.4 Análisis de la Infraestructura*, el cual paso de ser 4.7 metros a 5.6 metros, con esto mejoraría la densidad y la velocidad de los usuarios dentro de la estación.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se procedió a realizar la debida simulación del escenario futuro dos, y obtener los siguientes resultados.

Tabla 12. Resultados Generales del Segundo Escenario Futuro

INTERVALOS DE TIEMPO	PEATONES INGRESADOS	PEATONES ELIMINADOS	PEATONES ACTIVOS EN LA RED	DENSIDAD	VELOCIDAD	FLUJO	TIEMPO DE VIAJE	FLUJO HACIA EL DESTINO	VELOCIDAD HACIA EL DESTINO	PARADAS	TIEMPO PARADAS	VELOCIDAD NORMALIZADA
				Ped/m2	Km/h	Ped/m*s	s	Ped/m*s	Km/h		s	
0-60	15	0	15	0,010678	4,680642	0,014108	0	0,013955	4,608073	0,005369	0,00093	1,300178
60-120	16	0	79	0,08227	4,028791	0,091104	0	0,085172	3,755236	0,006197	0,005774	1,119109
120-180	15	34	106	0,132828	4,159573	0,153514	81,820588	0,139129	3,772542	0,002461	0,002366	1,155437
180-240	19	27	145	0,183353	4,042185	0,20582	106,374074	0,180696	3,535453	0,003542	0,003213	1,122829
240-300	13	50	125	0,1891	3,849619	0,203241	115,102	0,177394	3,352891	0,011594	0,005641	1,069339
300-360	19	41	102	0,146707	3,250937	0,132879	131,25122	0,101125	2,468591	0,0228	0,016069	0,903038
360-420	17	17	102	0,127664	2,823971	0,100277	168,394118	0,064845	1,82678	0,05548	0,024602	0,784436
420-480	13	2	113	0,139424	2,259681	0,087435	229,75	0,04916	1,272563	0,081588	0,035603	0,627689
480-540	22	0	135	0,158962	1,977444	0,087674	0	0,048711	1,093587	0,093582	0,043044	0,54929
540-600	13	0	158	0,199646	2,727928	0,151651	0	0,1143	2,056589	0,055332	0,031274	0,757758
600-660	24	7	189	0,219432	2,609668	0,159278	106,442857	0,112144	1,841214	0,048767	0,03334	0,724908
660-720	16	29	188	0,257834	2,947836	0,21154	135,027586	0,155559	2,168503	0,031122	0,022058	0,818843
720-780	17	56	176	0,233124	3,06111	0,198148	90,335714	0,151179	2,335983	0,032779	0,022221	0,850308
780-840	14	25	153	0,210094	3,108661	0,181887	128,624	0,147726	2,52371	0,030347	0,023406	0,863517
840-900	25	45	133	0,177716	2,583787	0,128055	136,771111	0,092455	1,861485	0,035569	0,03307	0,717719
900-960	17	9	175	0,180458	2,276388	0,11468	185,677778	0,064582	1,289842	0,043358	0,038256	0,63233
960-1020	22	5	160	0,211522	3,31805	0,194615	60,7	0,15463	2,642689	0,021641	0,01645	0,92168
1020-1080	14	20	154	0,202977	3,064585	0,17329	92,04	0,13245	2,340666	0,028499	0,020725	0,851274
1080-1140	22	38	138	0,191632	2,418818	0,129493	139,434211	0,085796	1,597467	0,035003	0,033273	0,671894
1140-1200	21	5	154	0,189232	2,074455	0,109161	214,38	0,062859	1,194949	0,041835	0,039313	0,576237
1200-1260	19	4	169	0,210092	2,125812	0,124164	271,625	0,077555	1,328471	0,044225	0,040564	0,590503
1260-1320	13	2	215	0,261792	2,190716	0,161636	304,8	0,107005	1,425969	0,043374	0,03825	0,608532
1320-1380	19	28	206	0,286663	2,753051	0,219691	89,453571	0,174516	2,187643	0,030152	0,029439	0,764736
1380-1440	19	39	196	0,265696	3,049206	0,225757	110,615385	0,175885	2,382481	0,02491	0,02181	0,847002
1440-1500	21	35	182	0,247437	2,979112	0,205409	120,002857	0,168903	2,448335	0,034251	0,025468	0,827531
1500-1560	16	41	157	0,213413	2,463943	0,146277	145,009756	0,105943	1,783799	0,04648	0,034495	0,684429
1560-1620	22	22	157	0,200864	2,194917	0,122676	184,668182	0,07786	1,393146	0,061009	0,040602	0,609699
1620-1680	22	5	174	0,208927	1,816276	0,105657	220,02	0,053937	0,925999	0,064429	0,047115	0,504521
1680-1740	8	0	182	0,231501	1,685268	0,108449	0	0,052913	0,823404	0,063847	0,050423	0,46813
1740-1800	17	0	225	0,26389	1,816117	0,134723	0	0,061775	0,820762	0,062334	0,044905	0,504477
1800-1860	23	13	214	0,274944	2,514547	0,192312	100,861538	0,15282	1,998933	0,053819	0,036503	0,698485

Modelación de la Aglomeración de Pasajeros en Estaciones BRT del Sistema Metrolinea. | 92

1860-1920	16	23	232	0,307372	2,398662	0,205172	112,243478	0,157926	1,849748	0,047938	0,037638	0,666295
1920-1980	18	61	222	0,28884	2,490768	0,199943	123,134426	0,154323	1,921276	0,057491	0,037949	0,69188
1980-2040	25	34	195	0,264662	2,344949	0,172975	156,529412	0,130722	1,770579	0,059252	0,042413	0,651375
2040-2100	23	23	194	0,263207	2,305982	0,169062	137,343478	0,140102	1,93176	0,062659	0,039101	0,640551
2100-2160	13	24	183	0,247342	2,498018	0,171954	120,779167	0,398347	5,78862	0,086157	0,037873	0,693894
2160-2220	19	22	195	0,230823	1,962028	0,12619	154,609091	0,344567	5,364669	0,096185	0,049703	0,545008
2220-2280	18	2	191	0,244525	2,325389	0,158134	166,9	0,395644	5,835892	0,056202	0,041583	0,645941
2280-2340	21	6	206	0,256503	2,020404	0,143983	133,35	0,379513	5,323135	0,063364	0,048296	0,561223
2340-2400	12	26	192	0,255531	1,760898	0,125267	145,203846	0,35724	5,025193	0,066497	0,05365	0,489138
2400-2460	26	6	213	0,259448	1,624321	0,117349	197,033333	0,348526	4,829677	0,070413	0,05707	0,4512
2460-2520	15	1	282	0,334305	2,012413	0,189525	243	0,341741	3,747748	0,050475	0,045713	0,559004
2520-2580	13	41	232	0,336328	2,524851	0,236065	94,160976	0,443624	4,861174	0,030446	0,035088	0,701348
2580-2640	17	54	193	0,268311	2,274896	0,170248	110,301852	0,556377	7,469499	0,033915	0,041129	0,631915
2640-2700	20	20	198	0,264124	2,342266	0,17213	180,025	0,573002	7,813106	0,033565	0,041805	0,650629
2700-2760	11	15	194	0,255844	2,045209	0,145527	175,74	0,547997	7,699792	0,040815	0,048462	0,568114
2760-2820	21	33	182	0,242103	1,640907	0,11073	168,363636	0,510444	7,579183	0,058082	0,057123	0,455807
2820-2880	23	2	204	0,258327	1,699232	0,122629	192,85	0,320494	4,636972	0,056811	0,050836	0,472009
2880-2940	15	11	207	0,267181	1,912592	0,142184	74,336364	0,597595	8,038913	0,057868	0,048458	0,531275
2940-3000	16	17	206	0,264601	1,580936	0,116401	163,5	0,569182	7,731405	0,0588	0,055611	0,439149
3000-3060	16	3	217	0,276309	1,545707	0,119021	197,766667	0,568218	7,394666	0,054454	0,056463	0,429363
3060-3120	20	3	273	0,33806	2,007101	0,190832	561,166667	0,643837	6,867602	0,039051	0,047499	0,557528
3120-3180	17	37	264	0,365253	2,410779	0,244945	90,572973	0,702001	6,913367	0,024038	0,040501	0,669661
3180-3240	20	38	245	0,328712	2,24784	0,205801	151,771053	0,672379	7,351472	0,027193	0,046064	0,6244
3240-3300	15	42	218	0,291371	1,739639	0,141419	149,32381	0,603246	7,444354	0,054285	0,057793	0,483233
3300-3360	21	16	230	0,304881	1,612187	0,136868	221,13125	0,187459	2,305977	0,047632	0,057123	0,44783
3360-3420	28	15	243	0,30495	1,804506	0,153058	119,293333	1,101653	12,967282	0,053903	0,053253	0,501252
3420-3480	16	13	238	0,316686	1,670739	0,147303	335,669231	1,167536	13,254983	0,062302	0,055542	0,464094
3480-3540	14	6	249	0,31873	1,856369	0,164703	236,65	1,192953	13,45746	0,05499	0,053736	0,515658
3540-3600	21	10	260	0,331335	1,677177	0,154614	135,03	1,179594	12,796655	0,052255	0,057246	0,465882
Total	1083	1203	11135	14,395533	145,189856	9,228633	8716,96059	18,629218	255,029912	2,772735	2,254926	40,330516
Average	18	20	186	0,239926	2,419831	0,153811	145,282676	0,310487	4,250499	0,046212	0,037582	0,672175
Standard deviation	4	17	49	0,065937	0,704061	0,043176	89,931317	0,300422	3,284169	0,020582	0,015113	0,195572
Minimum	8	0	15	0,010678	1,545707	0,014108	0	0,013955	0,820762	0,002461	0,00093	0,429363
Maximum	28	61	282	0,365253	4,680642	0,244945	561,166667	1,192953	13,45746	0,096185	0,057793	1,300178

Fuente: Del Autor

De los resultados obtenidos de la segunda simulación se generaron los modelos de densidad, velocidad, y flujo generales de la infraestructura, a continuación se puede observar el modelo de densidad.

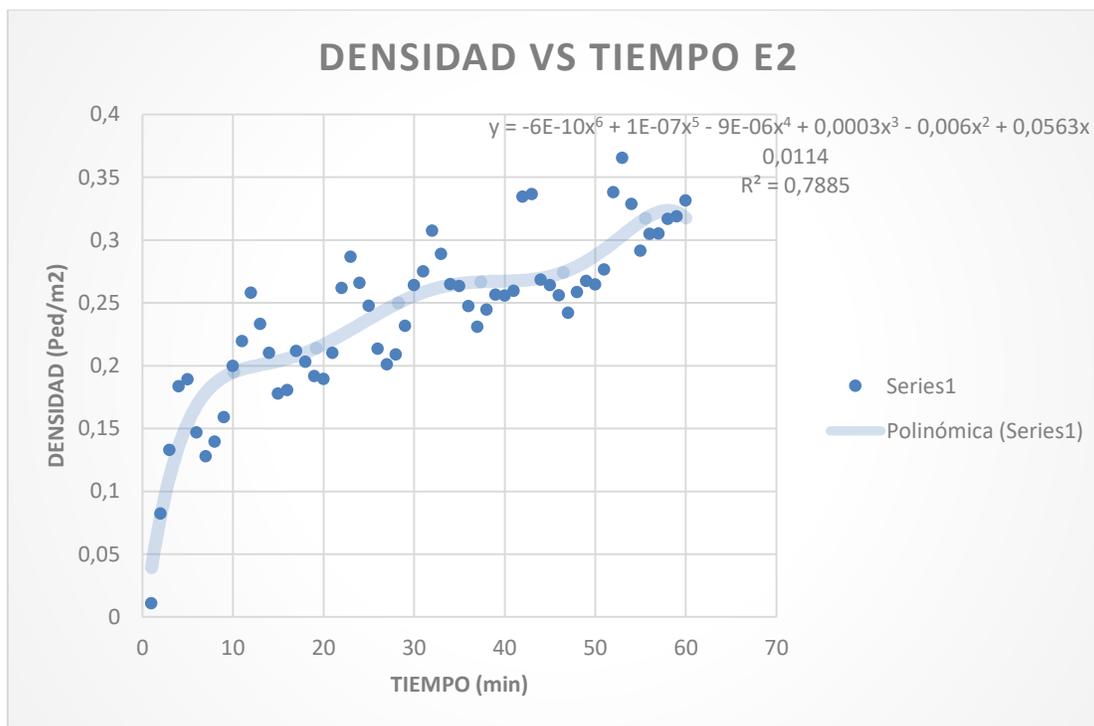


Ilustración 43. Modelo Densidad. Segundo Escenario Futuro.

**Fuente:** Del Autor

Del modelo de densidad se menciona que presenta una correlación del  $R^2$ : 0.78 lo cual refleja el comportamiento de este escenario futuro en un 78% lo cual es bueno, el modelo no presenta mejoría en términos de densidad con las modificaciones de la infraestructura, bajo el promedio de densidad en 0.2 ped/m<sup>2</sup>, en la simulación futura segunda presenta un promedio de 0.22 ped/m<sup>2</sup> y en la situación actual lo contempla en 0.25 ped/m<sup>2</sup>, lo cual no es significativa la mejora obtenida, a continuación se presenta el modelo de velocidad.

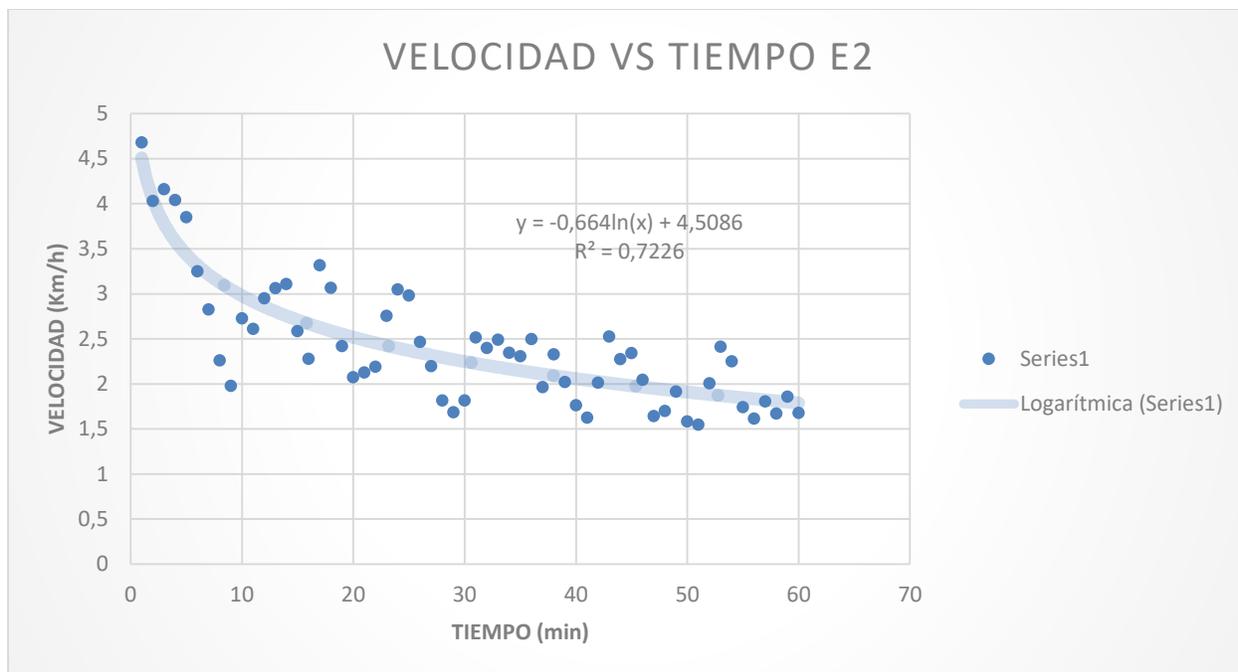


Ilustración 44. Modelo Velocidad. Segundo Escenario Futuro.

**Fuente:** Del Autor

Se obtiene del modelo de velocidad con una correlación del  $R^2: 0.74$ , representando en un 74% el comportamiento proyectado de la velocidad de los peatones. Se puede observar que el comportamiento de velocidad no varía mucho en relación a la situación actual, dentro de la hora pico proyectada la velocidad se va reduciendo.

En las siguientes ilustraciones 45 y 46 se observan los modelos de Velocidad Vs Densidad y Flujo Vs Densidad, los cuales contienen una correlación de  $R^2: 0.46$  y  $R^2: 0.69$ , lo que significa que no representan muy bien la proyección que se realiza solo en un 46% y en un 69%, de igual forma dichos modelos se asemejan a los obtenidos en la situación actual, obteniendo no una mejora significativa.

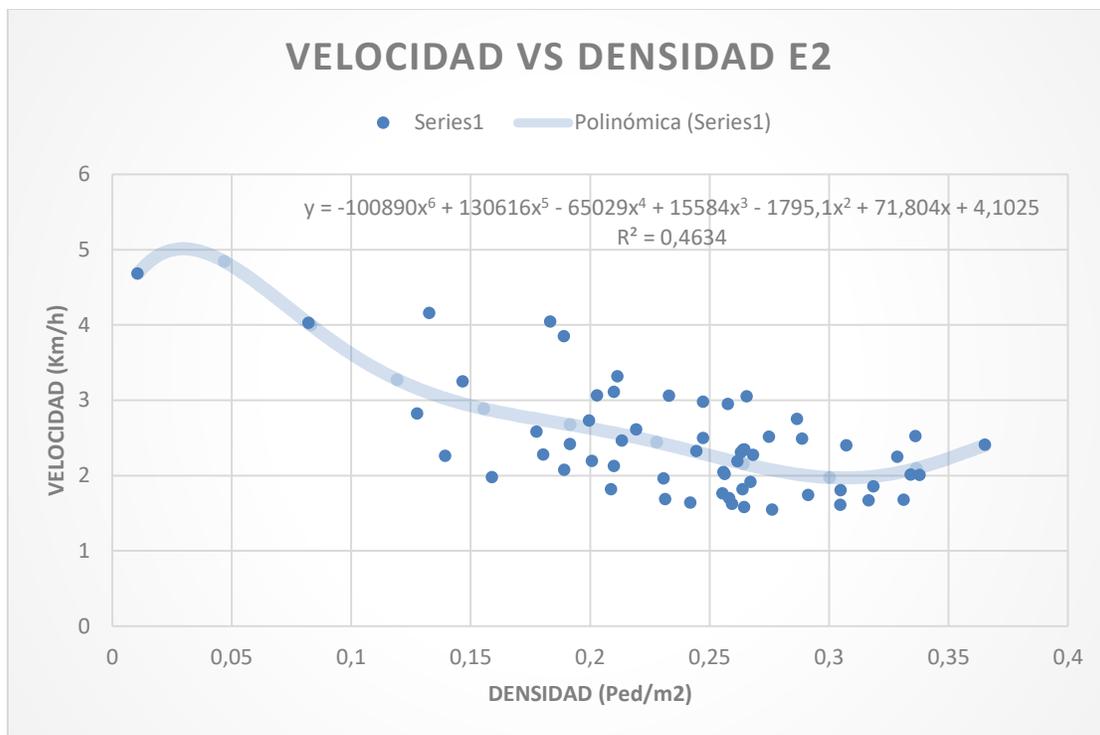


Ilustración 45. Modelo Velocidad VS Densidad. Segundo Escenario Futuro.

Fuente: Del Autor

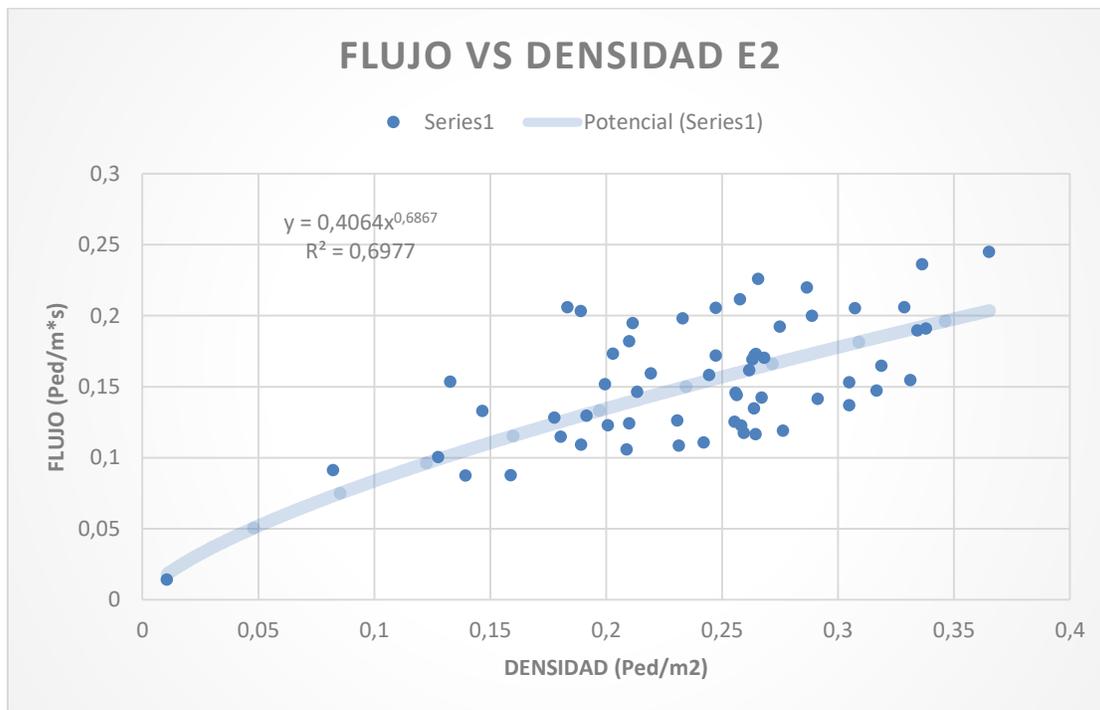


Ilustración 46. Modelo Flujo VS Densidad. Segundo Escenario Futuro.

Fuente: Del Autor

#### 4. Resultados

En relación al análisis de infraestructura que se realizó de la estación, se puede mencionar que la intensidad peatonal que se presenta en las rampas son: de 36 personas/minuto en la rampa norte y de 7 personas/minuto en la rampa sur, datos obtenidos del periodo de 15 minutos en el cual transita la mayor cantidad de personas que se dirigen y salen de la estación. De igual forma al estar trabajando sobre rampas que prestan el servicio de transitar usuarios del servicio de transporte público de la ciudad de Floridablanca, se determinó la intensidad de pelotón la cual es de 26.12 personas/minuto/metro en la rampa norte y 16.12 personas/minutos/metro en la rampa sur, esta condición se da ya que al momento de realizar la parada la respectiva línea de transporte se genera un desplazamiento en grupo de las personas, dicho esto, se determinó el nivel de servicio de la rampas: presenta un nivel de servicio C – Rampa Norte y un nivel de servicio B – Rampa Sur.

Y para finalizar los resultados obtenidos del análisis de infraestructura se determinó el ancho mínimo que debería tener la estación de servicio de Cañaveral – Metrolinea, con las condiciones actuales de aglomeración de personas, este valor mínimo es de 5.6 metros y actualmente presenta un ancho de 4.7 metros, por ende se están presentando aglomeraciones altas de personas que ocupan todo el ancho de la estación imposibilitando el paso de las personas en sentido norte – sur.

Gracias a los datos mencionados anteriormente, se procedió a plantear dos situaciones futuras que mejorarían las condiciones de densidad, velocidad y flujo de la estación, la primera situación consta de mejorar los tiempos de las líneas de transporte público para evitar la aglomeración de personas con el pasar del tiempo y la segunda situación fue mejorar el ancho de la infraestructura

de la estación para permitir el paso de las personas y evitar las altas aglomeraciones a lo ancho de la estación.

Como ya se obtuvieron los datos de la simulación de la situación actual de la estación se va a proceder a compararlos con los dos escenarios futuros detallados en el párrafo anterior, de esta manera se obtendrá resultados finales que me permitan cuantificar las mejoras y definir cuál situación futura es la idónea para implementar y mejorar las condiciones actuales.

A continuación se va a realizar la comparación de los datos obtenidos de densidad, entre la situación actual y los dos escenarios futuros, cada escenario presenta un modelo con su respectiva correlación.

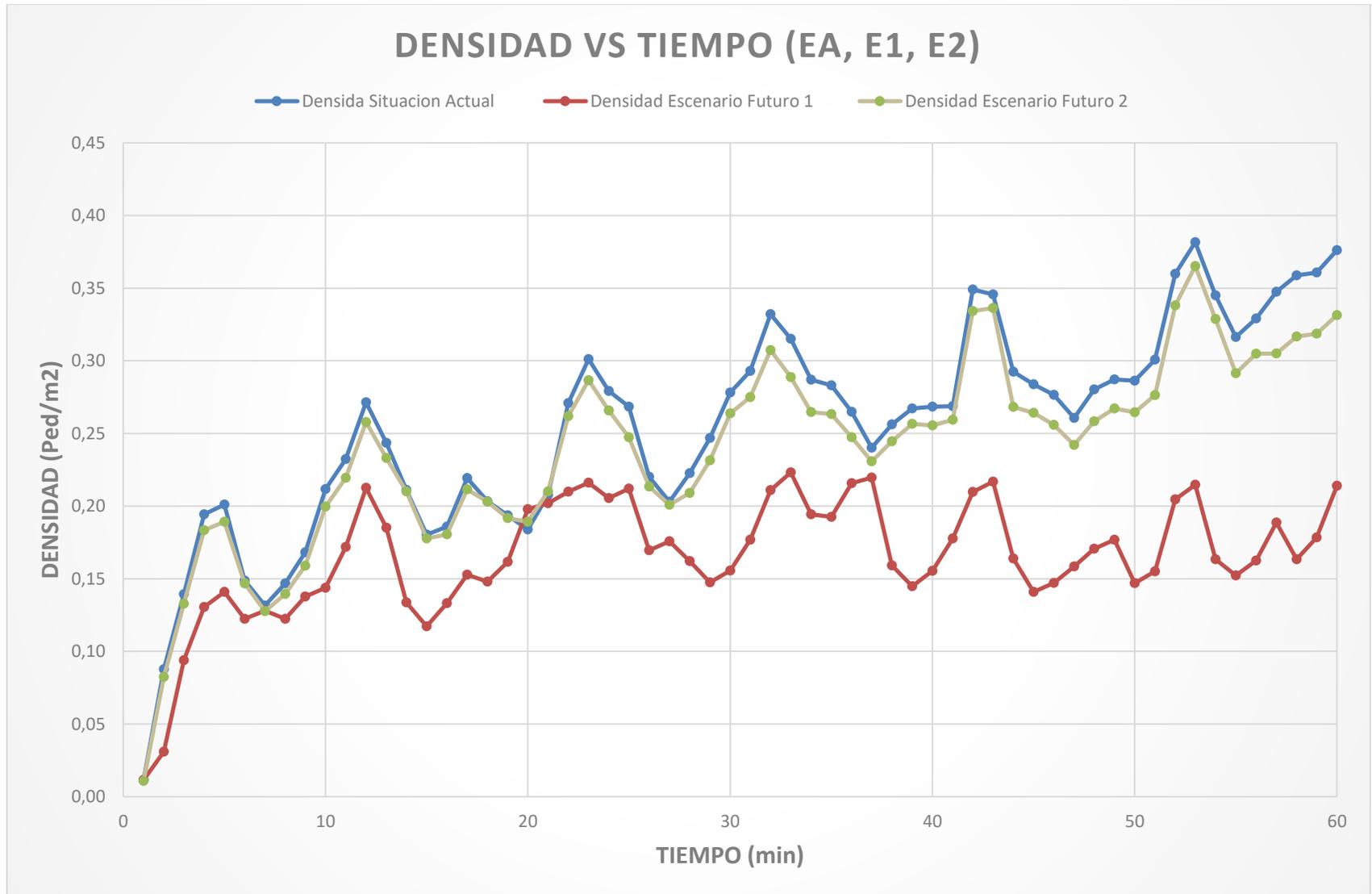


Ilustración 47. Gráfico de Densidades Actual, Primer Escenario Futuro y Segundo Escenario Futuro

Fuente: Del Autor

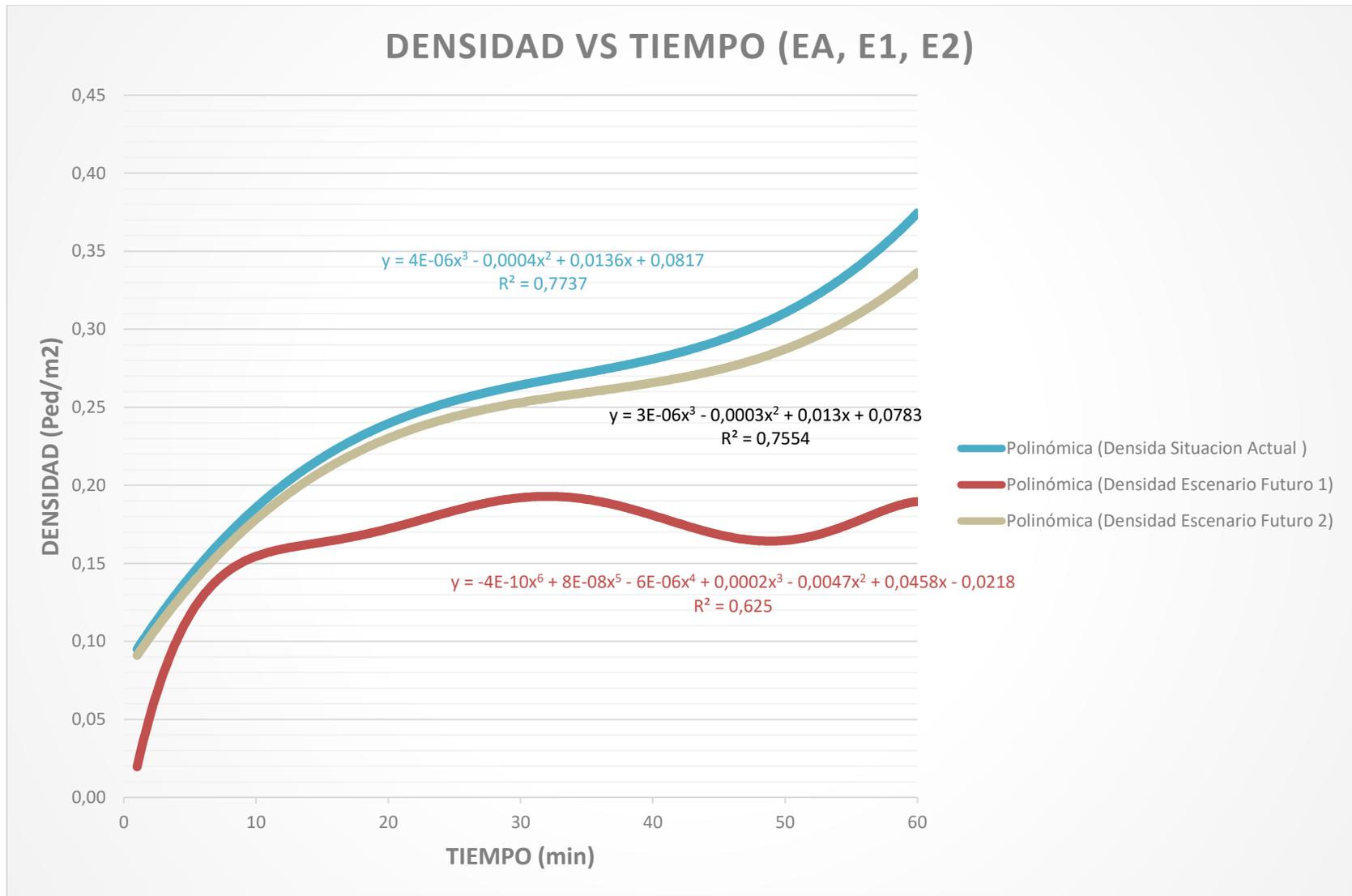


Ilustración 48. Línea de Tendencia, Escenario Actual, Primer Escenario Futuro y Segundo Escenario Futuro

Fuente: Del Autor.

En la ilustración 47 se puede observar las tres graficas de densidad, obteniendo el mejor resultado la obtenida por el escenario futuro primero, la cual permite mantener un rango de peatones sin que este vaya en aumento, en este escenario la mayor densidad se presenta en 0.22 ped/m<sup>2</sup>, a comparación de la situación actual la cual presenta una mayor densidad de 0.38 ped/m<sup>2</sup>, se pudo disminuir en un 0.16 ped/m<sup>2</sup> de toda la infraestructura simulada, en cambio con el segundo escenario futuro se pudo solo disminuir en un 0.2 ped/m<sup>2</sup>, lo cual no es significativa la mejora obtenida.

En la ilustración 48, podemos observar las tres líneas de tendencias obtenidas, escenario actual, primer escenario futuro y segundo escenario futuro, donde en los tres fue polinómica presentando cada una correlación diferente, del escenario actual presenta una correlación del  $R^2$ : 0.7737 lo cual refleja el comportamiento real en un 77%, es aceptable, del segundo escenario futuro se puede decir que presenta una correlación aceptable del  $R^2$ : 0.7554, reflejando el comportamiento futuro en un 75% pero sus resultados no fueron tan buenos ya que no tuvo una reducción significativa dentro de la densidad en relación a la densidad del escenario actual, como se pudo observar en las gráficas tiende a tener la misma tendencia del escenario actual y a medida que va pasando el tiempo va en aumento, y finalmente del primer escenario futuro el cual presento los mejores resultados disminuyendo la densidad en una buena proporción sobre la infraestructura total planteada con un aumento mínimo a medida que pasa el tiempo, pero con una correlación no tan buena del  $R^2$ : 0.6, reflejando la proyección futura en un 60%.

A continuación se compararan las velocidades obtenidas dentro de los tres escenarios con sus modelos y correlación.

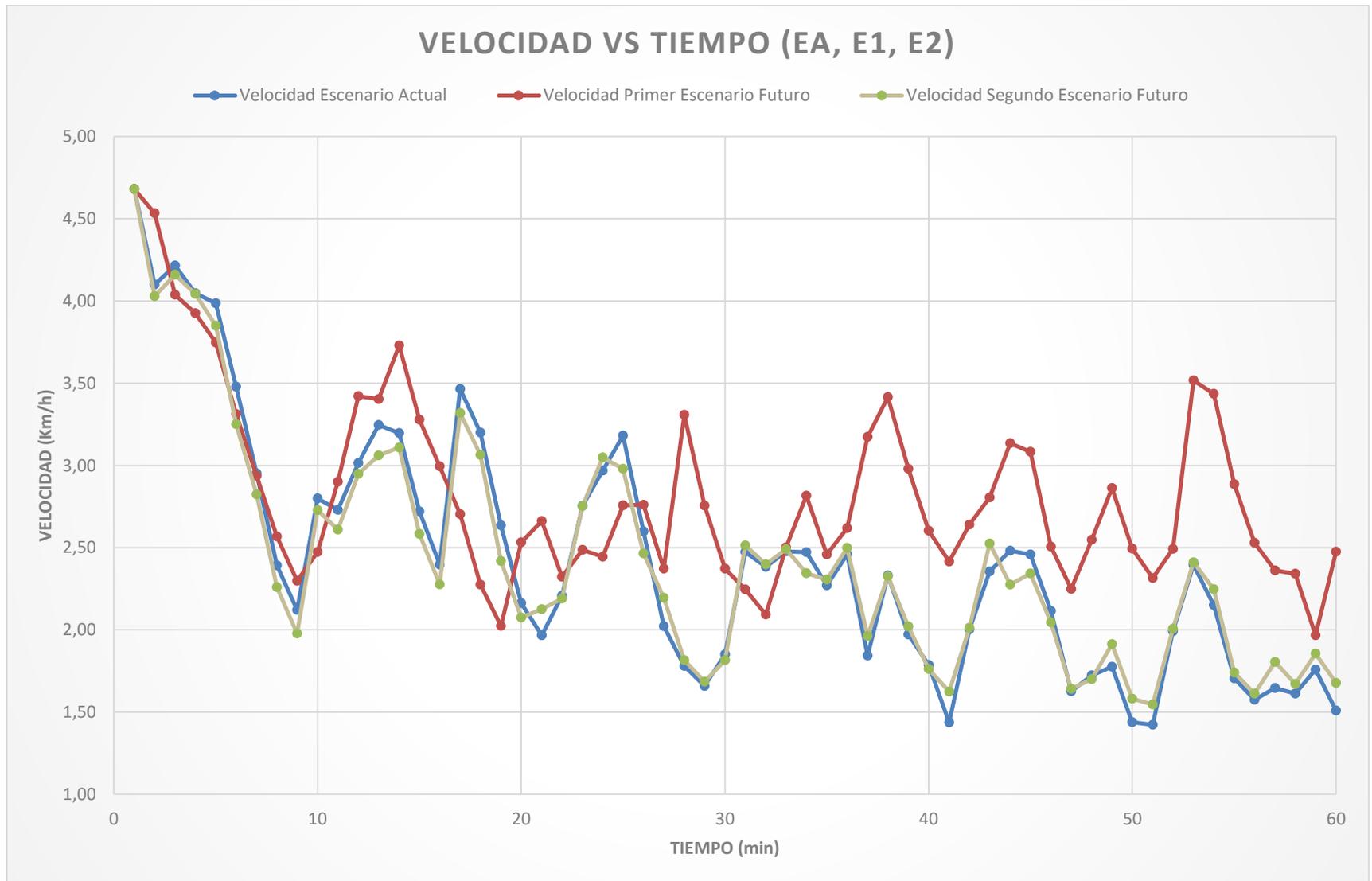


Ilustración 49. Gráfico de Velocidades, Escenario Actual, Primer Escenario Futuro y Segundo Escenario Futuro.

Fuente: Del Autor

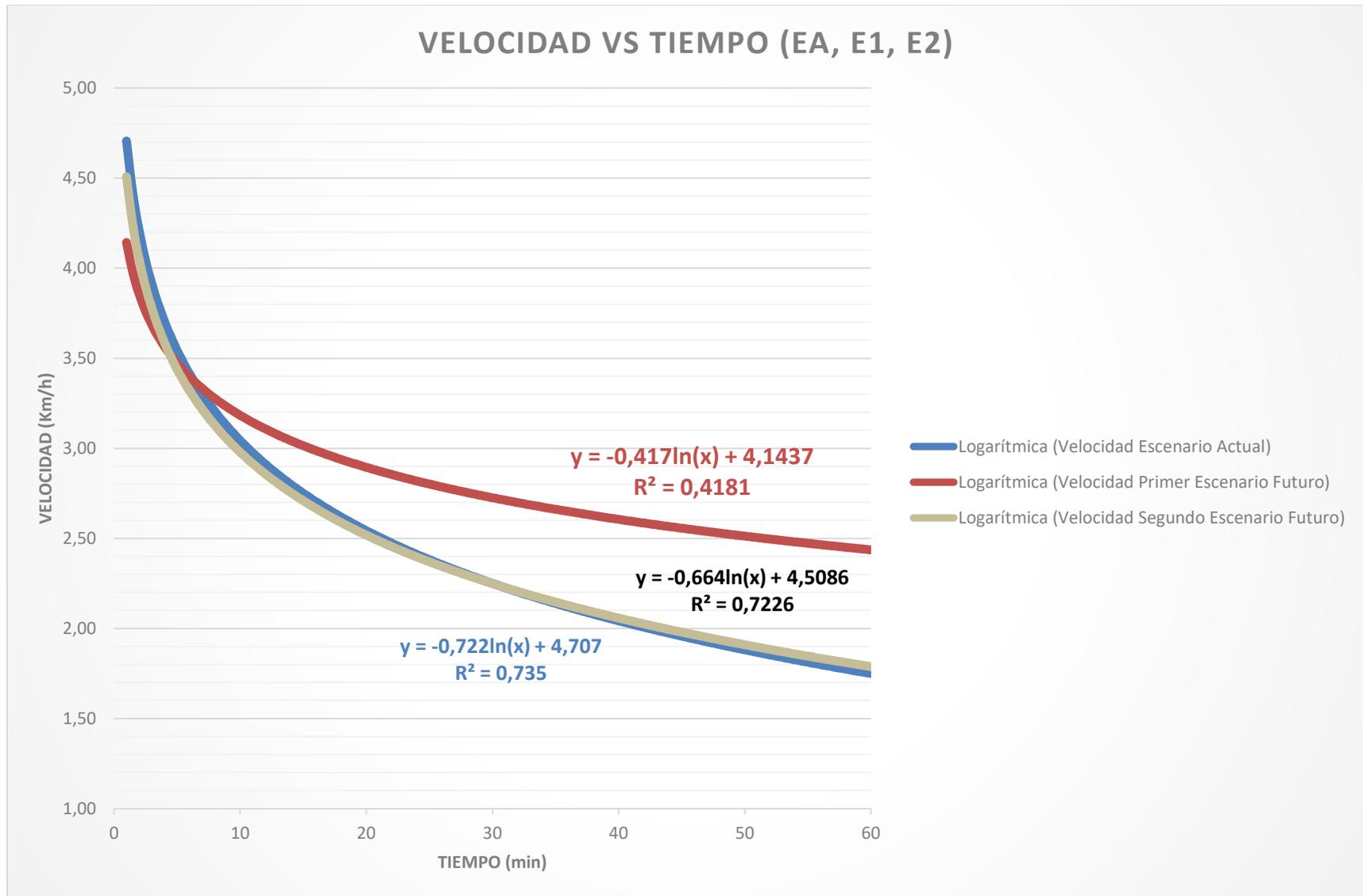


Ilustración 50. Línea de Tendencia, Escenario Actual, Primer Escenario Futuro, Segundo Escenario Futuro

Fuente: Del Autor

En la ilustración 49 se pueden observar los tres gráficos de velocidades obtenidos de los escenarios, en los cuales se pueden evidenciar que mientras el tiempo pasa la velocidad disminuye en los tres casos, al comparar los dos escenarios futuros obtenemos que el segundo presenta la misma tendencia que la situación actual, y el primero si aumenta su velocidad de caminado después del minuto 20 mejorando las condiciones actuales y permitiendo un mejor tránsito de peatones dentro de toda la infraestructura de la estación de servicio Cañaveral – Metrolinea, la velocidad mínima del primer escenario futuro es de 1.9 km/h, de la situación actual tenemos un mínimo de 1.42 km/h, obteniendo un aumento del 0.48 km/h de toda la infraestructura simulada, lo cual es términos de caminado es bueno.

De la ilustración 50, podemos identificar las líneas de tendencia de los tres escenarios, donde en los tres se presentó un modelo logarítmico con correlaciones diferentes, el escenario actual presenta una correlación del  $R^2$ : 0.735 lo cual refleja el comportamiento real en un 74%, es aceptable, del segundo escenario futuro se puede decir que presenta una correlación aceptable del  $R^2$ : 0.7226, reflejando el comportamiento futuro en un 73% pero sus resultados no fueron tan buenos ya que no tuvo un aumento significativa dentro de la velocidad en relación a la velocidad del escenario actual, como se pudo observar en las gráficas tiende a tener la misma tendencia del escenario actual, y finalmente del primer escenario futuro el cual presento los mejores resultados aumentando la velocidad en los últimos minutos críticos, esto refleja una mejora importante en el tránsito de los peatones y en la aglomeración de los usuarios dentro de la estación, pero dicho resultado presenta una correlación mala del  $R^2$ : 0.41, reflejando la proyección futura en apenas un 40%.

## 5. Conclusiones

Se logró establecer dos escenarios futuros que ayudaron a mejorar la interacción entre los usuarios del Sistema de Transporte Público Metrolinea y la infraestructura de las estaciones BRT, en función de la densidad, velocidad, tiempo y flujo, específicamente para la estación de Cañaveral. De los escenarios propuestos el número uno fue el que arrojó los mejores resultados, los cuales contemplan una disminución en la densidad máxima de 0.16 ped/m<sup>2</sup>, un aumento de la velocidad mínima del 0.48 km/h, datos obtenidos de la evaluación de toda la infraestructura la cual es contemplada por rampa norte, vagón norte, vagón conector, vagón sur y rampa sur, y presenta un área total de 972.95 metros cuadrados.

Del primer escenario futuro se obtuvieron resultados muy buenos, pero dentro de los modelos que se generaron de densidad y velocidad presentaron una correlación menor a la del escenario actual y del segundo escenario futuro, lo cual nos dice que están reflejando el comportamiento real futuro de la densidad en un 60% lo cual no es tan bueno, su correlación fue de  $R^2$ : 0.6. Además de la velocidad presentó una correlación  $R^2$ : 0.41 reflejando en apenas un 41% la situación real futura, en conclusión se obtuvieron mejoras significativas muy buenas de esta simulación pero su proyección de comportamiento no es tan confiable.

Se creó una tabla de tiempos de ruta de la estación de servicio Cañaveral – Metrolinea, donde establece que la ruta T1 debe tener una frecuencia de 8 minutos, la ruta T3 de 8 min, la ruta P13 de 10 min, la ruta P8 de 10 min, la ruta RE1 de 13 min, la ruta P3 de 13 min y la ruta P6 de 13

min, para poder obtener y generar el comportamiento del peatón reflejado dentro del primer escenario futuro.

Del segundo escenario futuro no se generaron resultados sobresalientes, ya que siempre se mantuvo muy cerca de los resultados del escenario actual lo cual su mejora no fue significativa, en este escenario solo se modificó el área de la infraestructura aumentando el ancho de la estación el mínimo obtenido dentro de este proyecto el cual fue de 5.6 metros, deduciendo que al aumentar el área no mejora las condiciones de los peatones, solo aumenta más el cuello botella que se genera dentro de la estación y demás sitios donde se presenta aglomeración de personas, la correlación obtenida de los modelos de densidad y velocidad son aceptables con valores de  $R^2$ : 0.7554 y  $R^2$ : 0.7226, reflejando el comportamiento futuro en un 75% y 72%.

Se plantearon dos escenarios con la finalidad de establecer soluciones viables y reales de implementar que no fueran muy costosas, por ende no se estableció un solo escenarios en el cual fueran combinadas las dos propuestas ya antes mencionadas, porque el costo de la implementación era supremamente elevado, lo cual no era viable para su rápida utilización.

Se obtuvieron tres archivos donde se contemplan los tres escenarios, escenario actual, primer escenario futuro, segundo escenario futuro en el software Vissim 9 – Viswalk, donde se especifica la infraestructura contemplada dentro de la estación de Cañaveral – Metrolinea, con sus respectivas medidas y característica propias de tiempos de línea de transporte público. Archivo destinado para futuras investigaciones.

## Referencias

- Bañon Blazquez, L., & Bevia Garcia, J. (2000). *Manual de Carreteras* (Vol. 2). (C. d. Ortiz e Hijos, Ed.)
- Chio, J. C. (02 de Marzo de 2016). Asi Opera la Ruta de la Excelencia del Metrolinea. *Vanguardia*.  
Obtenido de <http://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/349422-asi-operara-la-ruta-de-la-excelencia-de-metrolinea>
- DANE. (2016). *Transporte Urbano de Pasajeros -ETUP*. Bucaramanga. Obtenido de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/transporte/bol\\_transp\\_IIItrim16.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/transporte/bol_transp_IIItrim16.pdf)
- Desarrollo Urbano. (2015). *Guia Practica de la Movilidad Peatonal Urbana*. Bogota: IDU.
- El Pais. (26 de Noviembre de 2011). Usuarios se Quejan por demora en rutas y congestion en estaciones del MIO. Obtenido de <http://www.elpais.com.co/california/usuarios-se-quejan-por-demora-en-rutas-y-congestion-en-estaciones-del-mio.html>
- Fruin, J. J. (1971). Designing for pedestrians: a level of service concept. *Highway Research Record*, 355, 1-15.
- Fundacion William y Flora Hewlett. (Enero de 2010). Guia de Planificacion de Sistemas BRT. (L. Wright, & W. Hook, Edits.)
- Greenshields, B. (1934). A Study of Highway capacity, Proceedings of the highway Research Board. *Transportation Research Board. National Research Council*, 14.

Guios Burgos, F. A. (Mayo de 2010). Flujos Peatonales en Infraestructura continuas: marco conceptual y modelos representativos. *Revistar Virtual Catolica del Norte*(29), 179-203.

Marquez Saldivar, L. F. (2013). Determinacion del Nivel de Servicio en Pasillos de Acceso a las Estaciones Perisur y Villa Olimpica del BRT-Metrobus. Ciudad Universitaria, Mexico: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.

Metrolinea S.A. (2014). *Informe de Gestion de Gerencia*. Area Metropolitana de Bucaramanga: Metrolinea nos Mueve.

Metrolinea S.A. (2017). *Manual de Usuario* . Area Metropolitana de Bucaramanga: Metrolinea Nos Mueve.

Metrolinea S.A. (10 de Septiembre de 2017). *Metrolinea Nos Mueve*. Obtenido de <http://www.metrolinea.gov.co/v2.0/index.php?cdrt=cGFnaW5hPVJ1dGFzIFRyb25jYWxlcyB5IFByZS10cm9uY2FsJmlkcGFnaW5hPTg0JnByZWNIWGU9R3XDrWEgZGUgUnV0YXM=>

Metrolinea S.A. (10 de Septiembre de 2017). *Metrolinea Nos Mueve*. Obtenido de <http://www.metrolinea.gov.co/v2.0/index.php?cdrt=cGFnaW5hPVJ1dGEgUDMmaWRwYWdpbmE9MTA2JnByZWNIWGU9R3XDrWEgZGUgUnV0YXNfUnV0YXMgVHJvbmNhbGVzX1J1dGEgUDM=>

PRIMICIA. (12 de Febrero de 2016). Bogota en Emergencia: Colapson Transmilenio. Obtenido de <http://primiciadiario.com/archivo/2016/bogota-en-emergencia-colapso-transmilenio/>

Revista Gente de Cañaverál . (23 de Septiembre de 2011). *Revista Gente de Cañaverál*. Obtenido de <http://www.gentedecanaverál.com/2011/09/metrolinea-estrena-nuevas-rutas-a-partir-de-noviembre/>

Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual*. Washington: National Research Council.

Unidad de Servicios de Infraestructura . (2012). Que es un BRT, o la implementación del Metrobus en la ciudad de Buenos Aires, Argentina. *Boletín FAL*, 312(8), 1-10.

Vanguardia Liberal. (15 de Junio de 2016). *Vanguardia.com*. Obtenido de <http://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/362115-desde-hoy-se-modifican-las-rutas-t1-y-t3-de-metrolinea>

Velosa, M. (03 de Junio de 2014). Denuncian Largas Demoras y Cancelaciones de Rutas de Buses de Metrolinea. Obtenido de <http://www.vanguardia.com/santander/bucaramanga/263084-denuncian-largas-demoras-y-cancelaciones-de-rutas-de-buses-de-metrolinea>

Wright, L., & Hook , W. (2007). *Bus Rapid Transit Planning Guide*. New York: Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo New York.