

**ELABORACION DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DE LA RUTA T3 DEL  
SISTEMA DE TRANSPORTE INTEGRADO MASIVO DE METROLINEA EN LA  
CIUDAD DE BUCARAMANGA UTILIZANDO EL PAQUETE COMPUTARIZADO  
ARENA**

**DIEGO FERNANDO JÁCOME CHICA**

**ID: 126138**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA**

**2013**

**ELABORACION DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DE LA RUTA T3 DEL  
SISTEMA DE TRANSPORTE INTEGRADO MASIVO DE METROLINEA EN LA  
CIUDAD DE BUCARAMANGA UTILIZANDO EL PAQUETE COMPUTARIZADO  
ARENA**

**PROYECTO DE GRADO**

**DIEGO FERNANDO JÁCOME CHICA**

**Director**

**RUBÉN DARÍO JÁCOME CABRALES**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA**

**2013**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios porque fue Él quien me permitió realizarlo, a mi familia, a mi padre y madre por su esfuerzo y dedicación para apoyarme semestre a semestre, a mi hija Celeste Jácome Quintero quien es ese angelito que me alegra todos los días, a mi hermano menor Juan Sebastián Jácome Chica para que vea mi ejemplo y se haga una persona de bien, a todas las personas que estuvieron con migo en esta gran etapa de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, quien es mi fuerza y apoyo en todo momento, Él me dio la oportunidad de estudiar en la universidad, a la empresa de transporte urbano- METROLÍNEA- y en ella al ingeniero Jaime Rodríguez Ballesteros y al ingeniero Oscar Caselles (Gerente y Director de operaciones) quienes me prestaron su colaboración para la realización de este proyecto, al ingeniero Rubén Darío Jácome Cabrales director del proyecto, por sus orientaciones; a toda mi familia, a mi novia, a mis amigos y todas esas personas que me apoyaron y animaron a pesar de los inconvenientes.

**Diego Fernando Jácome Chica**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>15</b>
<b>3. ANTECEDENTES .....</b>	<b>16</b>
3.1    SIMULACIÓN DEL SERVICIO DEL TROLEBÚS .....	16
3.2    SIMULACIÓN MICROSCÓPICA DEL TRÁFICO URBANO Y SU APLICACIÓN EN UN ÁREA DE LA CIUDAD DE ZARAGOZA .....	16
3.3    HERRAMIENTA PARA EL DISEÑO ÓPTIMO DE LA RED DE RUTAS EN SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO CON APLICACIÓN A TRANSMILENIO S.A. ....	17
3.4    IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE UN MODELO ESTOCÁSTICO DE DESPACHO DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE MASIVO.....	18
<b>4. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>20</b>
<b>5. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>21</b>
5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
<b>6. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
6.1    CONCEPTOS BASICOS PARA ENTENDER MEJOR LA DEFINICION Y PROCESO DE SIMULACION.....	22
6.1.1 Sistema .....	22
6.1.1 Modelo: .....	22
6.1.3 Evento:.....	22
6.2 SIMULACION .....	22
<i>La simulación es una palabra que se utiliza sin conocer su significado, por lo que sería conveniente describir y citar algunas de las más aceptadas y difundidas definiciones de simulación: .....</i>	22
6.3 VENTAJAS E INCOVENIENTES DE LA SIMULACION .....	23
6.4    ETAPAS PARA REALIZAR UNA SIMULACIÓN:.....	24
6.5 FACTORES A CONSIDERAR EN EL DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACION .....	24
6.5.1 Generación de variables aleatorias no uniformes .....	25
6.5.2 Lenguajes de programación.....	25
6.5.3 Condiciones iniciales.....	25

6.5.5	Diseño de experimentos.....	25
6.6	<i>EJEMPLOS DE USOS DE SIMULACIÓN</i> .....	26
6.7	<i>SIMULACIÓN DE SISTEMAS CONTINUOS</i> .....	26
6.8	<i>SIMULACIÓN DE MODELOS DISCRETOS</i> .....	27
6.8.1.	Modelo determinístico .....	27
6.8.2.	Modelos estocásticos .....	27
6.9	<i>SOFTWARE DE SIMULACION ARENA</i> .....	28
6.9	<i>SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE METROLINEA</i> .....	30
6.9.1	Historia .....	30
6.9.2	Estructura .....	30
<b>7</b>	<b>ACTIVIDADES DESARROLLADAS.....</b>	<b>32</b>
7.1	<i>RECOLECCION DE DATOS</i> .....	32
7.1.1	Determinación del tamaño de muestra .....	32
7.2	<i>TOMA DE TIEMPOS</i> .....	49
7.2.1	Tiempo de trayecto entre las estaciones.....	49
7.2.2	Tiempos de espera entre estaciones .....	49
7.3	<i>RESULTADOS DEL CUESTIONARIO</i> .....	51
7.4	<i>TASA DE ENTRADA DE BUSES</i> .....	66
7.5	<i>DISEÑO DEL MODELO DEL SISTEMA DE LA RUTA T3</i> .....	67
7.5.1	Descripción del sistema real de la ruta T3 .....	67
7.6	<i>MODELO DEL SISTEMA DE LA RUTA T3</i> .....	68
7.7	<i>SIMULACION DEL MODELO EN EL SOFTWARE ARENA</i> .....	68
7.7.1	Creación de pasajeros .....	68
7.7.2	Estación .....	69
7.7.3	Salida de pasajeros .....	70
7.8	<i>PROGRAMACIÓN DEL MODELO</i> .....	71
<b>8</b>	<b>ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>79</b>
8.1	<i>TIEMPO PROMEDIO EN COLA</i> .....	79
8.2	<i>NUMERO PROMEDIO DE PASAJEROS EN COLA EN COLA</i> .....	80
<b>9</b>	<b>ALTERNATIVA DE MEJORA.....</b>	<b>82</b>
9.1	<i>TIEMPO PROMEDIO EN COLA</i> .....	83
9.2	<i>NÚMERO PROMEDIO DE PASAJEROS EN COLA</i> .....	84
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>86</b>

11	RECOMENDACIONES.....	87
12	BIBLIOGRAFÍA.....	88
13	WEBGRAFIA.....	89
14	ANEXOS.....	90

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Rutas del sistema fase 2-----	30
FIGURA 2. Ecuación tamaño de muestra población finita -----	32
FIGURA 3. Proceso de toma de datos en las estaciones-----	33
FIGURA 4. Ecuación tamaño de muestra población infinita-----	49
FIGURA 5. Tiempos de espera en las estaciones -----	50
FIGURA 6. Modelo del sistema de la ruta T3. -----	67
FIGURA 7. Creación de pasajeros -----	69
FIGURA 8. Estación inicial y final -----	69
FIGURA 9. Estación intermedia -----	70
FIGURA 10. Salida de pasajeros-----	70
FIGURA 11. Módulo Create-----	71
FIGURA 12. Módulo Assign -----	72
FIGURA 13. Módulo Decide-----	72
FIGURA 14. Módulo Hold-----	73
FIGURA 15. Módulo Station -----	73
FIGURA 16. Módulo Search-----	74
FIGURA 17. Módulo Dropoff -----	74
FIGURA 18. Módulo Pickup-----	75
FIGURA 19. Módulo Dealay-----	75
FIGURA 20. Módulo Route-----	76
FIGURA 21. Módulo Dispose -----	77
FIGURA 22. Ecuacion para calcular el error de las replicas -----	77



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.Estación La españolita -----	34
Tabla 2.Tamaño de muestra estación La españolita-----	34
Tabla 3.Estación Campo alegre -----	35
.Tabla 4.Tamaño de muestra estación Campo alegre-----	35
Tabla 5.Estación Palmichal-----	36
Tabla 6.Tamaño de muestra estación Palmichal -----	36
Tabla 7.Estación Menzulí-----	37
Tabla 8.Tamaño de muestra estación Menzulí -----	37
Tabla 9.Estación La estancia-----	38
Tabla 10.Tamaño de muestra estación La estancia.-----	38
Tabla 11.Estación Lagos -----	39
Tabla 12.Tamaño de muestra estación Lagos-----	39
Tabla 13.Estación Cañaveral-----	40
Tabla 14.Tamaño de muestra estación Cañaveral -----	40
Tabla 15.Estación payador-----	41
Tabla 16.Tamaño de muestra estación Payador -----	41
Tabla 17.Estación Provenza-----	42
Tabla 18.Tamaño de muestra estación Provenza -----	42
Tabla 19.Estación Diamante-----	43
Tabla 20.Tamaño de muestra estación Diamante -----	43
Tabla 21.Estación La isla-----	44
Tabla 22.Tamaño de muestra estación La isla -----	44
Tabla 23.Estación La rosita-----	45
Tabla 24.Tamaño de muestra estación La rosita -----	45
Tabla 25.Estación Chorreras-----	46
Tabla 26.Tamaño de muestra estación Chorreras -----	46
Tabla 27.Estación San Mateo -----	47
Tabla 28.Tamaño de muestra estación San Mateo -----	47
Tabla 29.Estación Quebrada seca -----	48
Tabla 30.Tamaño de muestra estación Quebrada seca -----	48
Tabla 31. Tiempos de trayecto entre las estaciones-----	49
Tabla 32. Destino de pasajeros: norte-sur -----	51
Tabla 33.Destino pasajeros estación La españolita-----	52
Tabla 34.Destino pasajeros estación Campo alegre -----	52
Tabla 35.Destino pasajeros estación palmichal norte -----	53
Tabla 36.Destino pasajeros Palmichal sur-----	53
Tabla 37.Destino pasajeros Menzulí norte-----	54
Tabla 38.Destino pasajeros Menzuli sur-----	54

Tabla 39. Destino pasajeros La Estancia norte-----	55
Tabla 40. Destino pasajeros La Estancia sur-----	55
Tabla 41. Destino pasajeros Lagos norte-----	56
Tabla 42. Destino pasajeros Lagos sur-----	56
Tabla 43. Destino pasajeros Cañaveral norte-----	57
Tabla 44. Destino pasajeros Cañaveral sur-----	57
Tabla 45. Destino pasajeros Payador norte-----	58
Tabla 46. Destino pasajeros Payador sur-----	58
Tabla 47. Destino pasajeros Provenza norte-----	59
Tabla 48. Destino pasajeros Provenza sur-----	59
Tabla 49. Destino pasajeros Diamante norte-----	60
Tabla 50. Destino pasajeros Diamante sur-----	60
Tabla 51. Destino pasajeros La Isla norte-----	61
Tabla 52. Destino pasajeros La Isla sur-----	61
Tabla 53. Destino pasajeros La Rosita norte-----	62
Tabla 54. Destino pasajeros La Rosita sur-----	62
Tabla 55. Destino pasajeros Chorreras norte-----	63
Tabla 56. Destino pasajeros Chorreras sur-----	63
Tabla 57. Destino pasajeros San Mateo norte-----	64
Tabla 58. Destino pasajeros San Mateo sur-----	64
Tabla 59. Destino pasajeros Quebrada Seca sur-----	65
Tabla 60. Tasa de entrada de buses-----	66
Tabla 61. Variables de entrada y salida-----	68
.Tabla 62. Numero de replicas.-----	77
Tabla 63. Tiempos en colas-----	79
Tabla 64. Numero de pasajeros en cola-----	80
tabla 65. Tiempos en cola alternativa de mejora-----	83
Tabla 66. Numero de pasajeros en cola alternativa de mejora-----	84

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo A. Formato de cuestionario	pág. 91
Anexo B. Imagen de Modelo completo	pág. 92
Anexo C. CD modelo de simulación en el software Arena.	pág. 93

## RESUMEN

**TITULO:** ELABORACION DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DE LA RUTA T3 DEL SISTEMA DE TRANSPORTE INTEGRADO MASIVO DE METROLINEA EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA UTILIZANDO EL PAQUETE COMPUTARIZADO ARENA

**AUTOR:** DIEGO FERNANDO JÁCOME CHICA

**FACULTAD:** FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

## RESUMEN

El sistema integrado de transporte masivo de Bucaramanga y su área metropolitana llamado Metrolínea, llego a la ciudad prometiendo a los usuarios un mejor servicio, sin embargo los ciudadanos han mostrado su disgusto pues no se les está cumpliendo con los que se les prometió.

El presente proyecto muestra las actividades realizadas con el fin de estudiar el sistema de transporte masivo Metrolínea, específicamente en la ruta T3, para observar y analizar por medio de un modelo de simulación en el software Arena las fallas que tiene y proponer alternativas de mejora.

Se recolectó la información necesaria en cada una de las estaciones de la ruta T3; tiempos de trayecto entre las estaciones, tasa de entrada de buses al sistema y destino de los pasajeros que usan la ruta mencionada. Se diseñó el modelo del sistema de la ruta T3 y usando el software arena se simuló el proceso presentado, se analizaron los resultados y se hicieron propuestas para mejorar el sistema.

El estudio se realizo los viernes en la franja de 6 am a 9 pm en cada una de las estaciones.

**PALABRAS CLAVE:** *Metrolínea, ruta T3, software Arena, simulación, sistema, modelo.*

## **ABSTRACT**

**TITLE:** DEVELOPMENT OF A MODEL OF SIMULATION OF ROUTE T3 OF INTEGRATED TRANSPORT SYSTEM MASSIVE METROLÍNEA IN BUCARAMANGA CITY USING ARENA COMPUTER PACKAGE

**AUTHOR:** DIEGO FERNANDO JÁCOME CHICA

**FACULTY:** INDUSTRIAL ENGINEERING

## **ABSTRACT**

The integrated mass transit system of Bucaramanga and its metropolitan area called Metrolínea, came to town promising to users a better service, however the citizens have shown their disgust as they were not being met they were promised.

This project shows the activities undertaken in order to study the mass transport system Metrolínea, specifically on Route T3, to observe and analyze by means of a simulation model in Arena software failures you have and propose alternatives for improvement.

Necessary information was collected at each of the stations on the route T3; journey times between stations, bus input rate to the system and destination of passengers traveling on the mentioned route. We designed the system model of the route T3 and sand using the simulated software process presented, analyzed the results and proposals were made to improve the system.

The study was conducted in the Gaza Friday from 6 am to 9 pm at each of the stations.

**KEYWORDS:** *Metrolínea, route T3, software Arena, simulation, system, model.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los modelos de simulación, se muestran hoy en día como una alternativa con la cual se puede predecir cómo se afectara cualquier sistema, casos en los que se quieren aplicar cambios, sin conocer las consecuencias de estos. Es ahí donde entra a jugar el papel de la simulación, pues se puede analizar el cambio que se quiere hacer a un bajo costo

En este proyecto se realizó un modelo de simulación para la ruta T3 de Metrolínea, con el fin de estudiar el comportamiento de este sistema y analizar sus falencias, para analizar en qué forma se puede mejorar el sistema y establecer así una metodología para investigaciones futuras.

El software utilizado fue Arena 14, el cual cuenta con todas las herramientas necesarias para este modelo, es una aplicación de simple manejo y muestra resultados eficientes y rápidos.

Para recolectar la información que se necesitaba en el modelo se realizó un cuestionario en las 15 estaciones de la ruta T3 y también se realizó toma de tiempos de entrada y salida de buses y tasa de llegada de pasajeros, esto se llevó a cabo los días viernes en la franja horaria de 6 AM a 9 AM.

Se analizaron los resultados y se propuso un cambio para mejorar el sistema, buscando disminuir tiempos promedios en cola y numero de personas promedio en cola.

## 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El Sistema Integral de transporte masivo Metrolínea inició en Bucaramanga en el año 2006 y abarca gran parte de la oferta de pasajeros de Bucaramanga y su zona metropolitana, en el 2012 alcanzo la cifra record de 135.000 usuarios diarios.<sup>1</sup>

Desde que empezó a operar el sistema, ha sufrido constantes críticas por los usuarios, quienes se quejan de fallas en la infraestructura, largas tiempos de espera y congestión en cada una de las estaciones. Esto descontento de la gente se vio evidenciado en las manifestaciones que se presentaron principalmente en Piedecuesta en el año 2012, la cuales dejaron muertos y heridos.<sup>2</sup>

A pesar de que este sistema de transporte se implementó prometiendo un mejor servicio, menos tiempo de espera, rapidez en el trayecto, entre otras cosas, es entendible el descontento de los usuarios, pues hoy en día se mantienen los problemas, y al parecer no se está haciendo nada para remediarlo, aunque no toda la culpa es de Metrolínea, factores como trancones, fenómenos naturales entre otros, no ha permitido el buen funcionamiento del sistema.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> REDACCIÓN VANGUARDIA ONLINE. Arrancó inauguración de Metrolínea [en línea]. < <http://www.vanguardia.com/historico/48967> > [citado 9 abril del 2013].

<sup>2</sup> AGENCIA PRENSA RURAL. Protestas contra Metrolínea en el Área Metropolitana de Bucaramanga dejan 23 detenidos[en línea]. < <http://prensarural.org/spip/spip.php?article9271> > [citado 9 abril del 2013]

<sup>3</sup> CHÍO, Juan Carlos. “Metrolínea es el culpable de todos los males, incluso de lo que no tenemos la culpa”. Vanguardia liberal, Bucaramanga: (30 de septiembre de 2012); P.19A

### **3. ANTECEDENTES**

#### **3.1 SIMULACIÓN DEL SERVICIO DEL TROLEBÚS**

Este proyecto fue desarrollado por Diego Escobar estudiante de ingeniería informática de la Universidad Tecnológica Equinoccial de Quito.

Se realizó en el sistema de transporte Trolebús que funciona en Quito capital de Ecuador desde 1996, el cual es uno de los primeros sistemas modernos de transporte en Latinoamérica, es un sistema que ha funcionado con tanto éxito, que otras ciudades se basaron en éste para iniciar sus nuevos modelos de transporte como el Transmilenio de Bogotá, el Transantiago de Santiago de Chile, el Metrobús de Ciudad de México.

Con este trabajo se quiso estudiar el comportamiento del sistema de trolebús por medio de la simulación utilizando el software arena que permitiera ser una guía para la toma de decisiones para mejorar el sistema.

Dicho trabajo fue la base para la construcción en su totalidad de todo el sistema trolebús, para todos los circuitos con todas sus estaciones y paradas.<sup>4</sup>

Simulación del servicio Trolebús se relaciona con el presente proyecto en que aplican la misma herramienta de simulación y además en un sistema de transporte que funciona igual que el Metrolínea.

#### **3.2 SIMULACIÓN MICROSCÓPICA DEL TRÁFICO URBANO Y SU APLICACIÓN EN UN ÁREA DE LA CIUDAD DE ZARAGOZA**

Este proyecto fue realizado por José Chanca del servicio de movilidad urbana de Zaragoza y José A. Castellanos docente de la universidad de Zaragoza.

El objetivo principal de este trabajo fue el de obtener una herramienta para simular tráfico urbano con Arena, con el fin de observar el comportamiento de la red viaria

---

<sup>4</sup> ESCOBAR, Diego. Simulación del Servicio del Trolebús. Quito, 2009, 131 h. Trabajo de grado ( Ingeniero en informática). Universidad Tecnológica Equinoccial. Facultad de ingenierías. Escuela de informática y ciencias de La computación.



ante variaciones de los parámetros que configuran su funcionamiento, de tal manera que se pudiera:

- Experimentar con las distintas políticas de control antes de ponerlas en funcionamiento en la red semafórica.
- Observar el comportamiento del tráfico ante posibles incidencias en la vía, como puedan ser cortes de calles, obras, acontecimientos festivos etc.

En el análisis de los resultados permitió evidenciar que una señalización horizontal en un carril puede generar congestión en el tráfico, donde propone hacer una revisión y modificarlas para evitar las largas colas.

También enfatiza mucho en la importancia de las simulaciones del tráfico en una ciudad para prever situaciones y analizar políticas de control antes de implementarlas<sup>5</sup>.

Simulación microscópica del tráfico urbano y su aplicación en un área de la ciudad de Zaragoza es semejante al presente proyecto en el objetivo de simular transporte, pero desarrollan su propia herramienta de simulación.

### **3.3. HERRAMIENTA PARA EL DISEÑO ÓPTIMO DE LA RED DE RUTAS EN SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO CON APLICACIÓN A TRANSMILENIO S.A.**

Este proyecto lo realizó Diana Arana para su tesis Maestría de Ingeniería Industrial, bajo la supervisión de Andrés Medaglia González Ph.D. Profesor Asistente y Fernando Palacios Ph.D. Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes. 2001

TRANSMILENIO S.A. es una empresa de transporte público masivo urbano de pasajeros que opera en Bogotá D.C. Esta empresa no cuenta con una herramienta computacional para evaluar y ajustar el diseño de los servicios. Para este fin, se propone en este estudio una herramienta compuesta por dos módulos, uno de optimización y otro de simulación. Se desarrolló una primera aproximación del módulo de optimización con una heurística de descomposición en subproblemas, basada en programación matemática. Se caracterizó el sistema TransMilenio y se

---

<sup>5</sup> CHANCA CACERES, José Antonio. CASTELLANOS, José. Simulación microscópica del tráfico urbano y su aplicación en un área de la ciudad de Zaragoza. 10 h. XXV jornadas de automática ciudad real, del 8 al 10 de septiembre de 2004.

realizó un modelo matemático del mismo, encontrando que éste es un problema NP hard. Se resolvió una instancia del sistema TransMilenio utilizando la heurística propuesta para el módulo de optimización, utilizando el software de optimización Xpress-MP, con lo cual se validó la formulación. Finalmente se propone una serie de técnicas con las que se puede solucionar el problema, las cuales son tema de futuras investigaciones<sup>6</sup>.

Herramienta para el diseño óptimo de la red de rutas en sistemas de transporte masivo con aplicación a TransMilenio S.A. se relaciona con el presente proyecto en que el objetivo es simular el SIT, para estudiar el comportamiento del sistema.

### **3.4. IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE UN MODELO ESTOCÁSTICO DE DESPACHO DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE MASIVO**

Este proyecto consiste en la implementación del modelo de optimización propuesto para generar un plan de despacho de buses urbanos en una sola ruta de buses. Dicho modelo considera factores estocásticos como los tiempos de viaje y la demanda. Se construyó también un modelo de simulación para comparar el plan de despachos de este modelo con otros modelos de la literatura.

Fue inspirado en el sistema integral de transporte de Bogotá Transmilenio, pero puede ser aplicado para cualquier otro tipo de transporte masivo como metros, tranvías, etc.

La dificultad del problema de despacho de buses radica en que la demanda para una ruta dada es fluctuante y aleatoria a lo largo del día. Además el terminal desde el cual se despachan los buses se encuentra en las afueras de la ciudad y por lo tanto hay un desfase entre el punto de envío y los puntos de mayor congestión en la ruta. El programador debe anticipar los picos de demanda teniendo en cuenta que el tiempo de desplazamiento es aleatorio y puede cambiar a lo largo del día por fenómenos de congestión de tráfico.

Se utilizaron técnicas de simulación de eventos discretos, pero optamos por no utilizar software especializado de simulación, pues el modelo no representa a cada usuario como una entidad sino que contabiliza el número de arribos en diferentes intervalos. El programa fue diseñado en el lenguaje de VBA de Excel. Recibe como entrada un plan de despacho de buses y simula el movimiento en el sistema

---

<sup>6</sup> ARANA, Diana Margarita. Herramienta para el diseño óptimo de la red de rutas en sistemas de transporte masivo con aplicación a TransMilenio S.A". Tesis de Maestría, Universidad de los Andes, Julio 2004

calculando para cada estación el número de personas que no logran subir al primer bus.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> RIAÑO, Germán. ACERO, Juan Camilo. Implementación y análisis de un modelo estocástico de despacho de vehículos de transporte masivo. En: Revista de ingenierías. no. 21 (mayo, 2005); pp. 6-18. ISSN 0121-4993

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Para solucionar el problema de largos tiempos de espera, congestión en las estaciones y demás, este proyecto se propuso hacer un modelo de simulación, para estudiar las falencias del sistema de transporte masivo Metrolínea, en esta oportunidad se abarcará la ruta T3 que es la más importante y circula a lo largo de Bucaramanga y toda el área Metropolitana, usando el software Arena.

La ventaja de hacer un modelo de simulación de la ruta T3 de Metrolínea radica en que este puede representar el comportamiento de los elementos principales del sistema real, como son la entrada y salida de los pasajeros y la frecuencia de salida de los buses durante el recorrido de estos en la ruta T3.

Este modelo tuvo en cuenta el origen y el destino de los pasajeros y los tiempos de espera en las estaciones. Para esto se hizo el respectivo muestreo de la población estudio, toma de datos en cada estación, análisis estadístico de la información obtenida, desarrollo y diseño del modelo de simulación y posteriormente análisis de los resultados.

Los datos necesarios para que el modelo sea eficiente son: Tiempo total del ciclo o ruta, tiempo de recorrido entre una y otra estación, destino de los pasajeros, tasa de llegada de usuarios de la ruta T3 y tasa de entrada de buses al sistema.

El muestreo se realizó en las quince estaciones mediante una encuesta a los pasajeros para indagar las estaciones de ingreso y salida, la frecuencia de utilización y el horario requerido. La empresa aportó los horarios y frecuencias de salida y los tiempos entre estaciones.

Dada la magnitud del sistema, el modelo se limitará al día viernes en el horario de 6am a 8am en la ruta T3. Posteriormente, el modelo podrá ser aplicado a otros horarios modificando los datos de entrada. La selección de dos días se determinó en conversación con la empresa Metrolínea.

## **5. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un modelo de simulación aplicable a la ruta T3 de Metrolínea de la ciudad de Bucaramanga utilizando el software arena

### **5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obtener información mediante un cuestionario a los usuarios de la ruta T3 en las diferentes estaciones acerca de la estación de origen y la estación de destino.
- Obtener información estadística referente a los tiempos de llegadas de pasajeros en cada estación, tiempos de trayecto, tasa de entrada de buses al sistema y tiempos de espera en cada estación.
- Diseñar el modelo del sistema de la ruta T3 de Metrolínea.
- Simular la situación presentada mediante la aplicación del software arena.
- Analizar e interpretar los resultados dados por el modelo de simulación.
- Realizar propuestas para mejorar el servicio a los usuarios en la ruta T3 de Metrolínea.

## 6. MARCO TEÓRICO

### 6.1 CONCEPTOS BASICOS PARA ENTENDER MEJOR LA DEFINICION Y PROCESO DE SIMULACION.

**6.1.1 Sistema:** Un sistema es un conjunto de partes o elementos organizados y relacionados que interactúan entre sí para lograr un objetivo. Los sistemas reciben (entrada) datos, energía o materia del ambiente y proveen (salida) información, energía o materia.<sup>8</sup>

Un sistema puede ser físico o concreto (una computadora, un televisor, un humano) o puede ser abstracto o conceptual (un software)

**6.1.1 Modelo:** Un modelo es una representación grafica, matemática o a escala de un de un sistema real que funciona en el mundo. Utilizado para hacer observaciones experimentales de el sistema real en el.

**6.1.3 Evento:** Se considera un evento como la ocurrencia de cambios de estado de un sistema. Por ejemplo, los eventos incluyen las entradas de clientes a los servicios de un banco y ala compleción del servicio.<sup>9</sup>

### 6.2 SIMULACION

La simulación es una palabra que se utiliza sin conocer su significado, por lo que sería conveniente describir y citar algunas de las más aceptadas y difundidas definiciones de simulación:

- Simulación es una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora digital, estos experimentos describen ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, físicos y biológicos a través de largos periodos de tiempo, esto con el fin de entender el sistema en estudio y analizar diferentes estrategias con las que se puede operar y mejorar el sistema. Establecida por H. Maisel y G. Gnugnolí.

---

<sup>8</sup> ALEGSA. Diccionario de informática [en línea]. < <http://www.alegsa.com.ar/Dic/sistema.php> > [citado 15 de mayo del 2013].

<sup>9</sup> CASELLI GISMONDI, Hugo. Manual de simulación en Arena. 2da edición. Hugo Caselli. 2009. p.9

- Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema. Establecida por Robert E. Shannon.
- Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo. Establecida por Thomas H. Naylor.
- La simulación es una técnica que consiste en realizar experimentos de muestreo sobre el modelo de un sistema<sup>10</sup>.

La experimentación directa sobre la realidad puede tener muchos inconvenientes como un costo muy alto, gran lentitud, en ocasiones las pruebas son destructivas, a veces no es ética (experimentación con humanos, daños al medio ambiente, etc.) y puede resultar imposible (una predicción del futuro), razones como esas pueden indicar las ventajas de trabajar con un modelo del sistema real, la estadística es precisamente la ciencia que se preocupa de cómo estimar los parámetros y contrastar la validez de un modelo a través de los datos observados del sistema real que se pretende simular.

### **6.3 VENTAJAS E INCOVENIENTES DE LA SIMULACION**

Ventajas:

1. En casos cuando la resolución analítica no puede llevarse a cabo.
2. Cuando existen medios de poder resolver analíticamente el problema pero dicha resolución es complicada y costosa.
3. Si se desea experimentar antes de que exista el sistema.
4. Cuando es imposible experimentar sobre el sistema real pues dicha experimentación es destructiva.
5. Es de utilidad en sistemas que evolucionan lentamente en el tiempo.
6. En casos en que la experimentación es posible pero no ética.

---

<sup>10</sup> COSS BU, Raúl. Definición de simulación. En: COSS BU, Raúl. Simulación: un enfoque practico. México DF: Editorial Limusa, 2003, p. 11-14

Inconvenientes:

1. Frecuentemente el modelo omite variables o relaciones importantes entre ellas.
2. Resulta difícil conocer la precisión de la simulación, especialmente en lo relativo a la precisión del modelo formulado<sup>11</sup>.

#### **6.4 ETAPAS PARA REALIZAR UNA SIMULACIÓN:**

- **Definición del sistema:** es necesario determinar la interacción del sistema con otros sistemas, las restricciones del sistema, las variables que interactúan en el sistema y sus interrelaciones, las medidas que se van a utilizar y los resultados que se esperan del estudio.
- **Formulación del modelo:** se definen las variables que hacen parte del sistema, sus relaciones lógicas y los diagramas que describan de forma completa el modelo
- **Recolección de datos:** es necesario definir los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados, esta información se puede obtener mediante experimentación o se pueden usar datos históricos que sirvan de ayuda para el estudio.
- **Implementación del modelo en la computadora:** se define el programa de computadora a usar para obtener los resultados esperados.
- **Validación:** esta etapa es muy importante porque en ella es posible detallar las deficiencias en la formulación del video o en los datos que se están usando.
- **Experimentación:** se generan los datos deseados y se hace el análisis de sensibilidad de los índices requeridos.
- **Interpretación:** se analiza los resultados y con base a esto se toman decisiones sobre el modelo y se pueden proponer alternativas de mejora al sistema real<sup>12</sup>.

#### **6.5 FACTORES A CONSIDERAR EN EL DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACION.**

Puesto que la simulación está basada fuertemente en la teoría de probabilidad y estadística, en matemáticas, en ciencias computacionales, etc., es conveniente decir algunas ideas de cómo intervienen estas áreas en desarrollo y formulación del modelo de simulación.

---

<sup>11</sup> COSS BU, Raúl. Ventajas e inconvenientes de la simulación. En: COSS BU, Raúl. Simulación: un enfoque practico. México DF: Editorial Limusa, 2003, p. 15-16

<sup>12</sup> COSS BU, Raúl. Etapas para realizar una simulación. En: COSS BU, Raúl. Simulación: un enfoque practico. México DF: Editorial Limusa, 2003, p. 17



### **6.5.1 Generación de variables aleatorias no uniformes**

Si el modelo de simulación es estocástico, la simulación debe ser capaz de generar variables aleatorias no uniformes de distribuciones de probabilidad teórica o empírica. A este respecto, se han desarrollado una gran cantidad de generadores para las distribuciones de probabilidad más comunes: la distribución Normal, la distribución Exponencial, la distribución Poisson, la distribución Erlang, la distribución Binomial, la distribución Gamma, la distribución Beta, la distribución F, la distribución t, etc.

### **6.5.2 Lenguajes de programación**

Las primeras etapas de un estudio de simulación se refieren a la de definición del sistema a ser modelado y a la descripción del sistema en términos de relaciones lógicas de sus variables y diagramas de flujo. Sin embargo, llega el momento de describir el modelo en un lenguaje que sea aceptado por la computadora que se va a usar. En esta etapa se tienen dos cursos de acción a seguir si no se tiene nada de software de simulación:

1. Desarrollar el software requerido para estudios de simulación
2. Comprar el software requerido para dicha simulación.

### **6.5.3 Condiciones iniciales**

La mayoría de los modelos de simulación estocástica se corren con la idea de estudiar al sistema en una situación del estado estable. Sin embargo los modelos presentan en su etapa inicial estados transientes los cuales no son típicos del estado estable. Por consiguiente es necesario establecer claramente las alternativas o cursos de acción que existen para resolver este problema. Algunos autores piensan que la forma de atacar este problema sería a través de:

- Usar un tiempo de corrida lo suficientemente grande de modo que los periodos transientes sean relativamente insignificantes con respecto a la condición de estado estable.
- Excluir una parte apropiada de la parte inicial de la corrida.
- Utilizar simulación regenerativa.

Obviamente, las tres alternativas presentadas, la que presenta menos desventajas es el uso de simulación regenerativa. Las otras alternativas presentan desventajas de ser prohibitivamente excesivas en costo.

### **6.5.5 Diseño de experimentos**

El diseño de experimentos es un tópico cuya relevancia en experimentos de simulación ha sido reconocido pero raramente aplicado. El diseño de experimentos en estudios de simulación puede ser de varios tipos, dependiendo de los propósitos específicos que se hayan planteado. Existen varios tipos de análisis que pueden ser requeridos. Entre los más comunes e importantes se pueden mencionar los siguientes:

- Comparación de las medias y las varianzas de las alternativas analizadas.
- Determinación de la importancia y el efecto de diferentes variables en los resultados de la simulación.
- Búsqueda de los valores óptimos de un conjunto de variables.

Para realizar el primer tipo de análisis, el cual se le denomina comúnmente diseño de experimentos de un factor simple, es necesario tomar muy en cuenta el tamaño de la muestra, las condiciones iniciales y la presencia o ausencia de autocorrelación. Para el segundo tipo de análisis, existe una gran cantidad de literatura, puesto que la gran mayoría de los libros de texto de diseño de experimentos, explican o tratan el tema de análisis de varianzas y técnicas de regresión como medios para evaluar la importancia y el efecto de varias variables en los resultados de operación de un sistema. Para el tercer tipo de análisis, generalmente se requiere utilizar algoritmos heurísticos de búsqueda como por ejemplo el algoritmo de Hooke y Jeeves.<sup>13</sup>

## 6.6 EJEMPLOS DE USOS DE SIMULACIÓN

**Simulación de un sistema de colas:** Con la técnica de simulación es posible estudiar y analizar sistemas de colas cuya representación matemática sería demasiado complicada de analizar. Ejemplos de estos sistemas serían aquellos donde es posible la llegada al sistema en grupo, la salida de la cola del sistema, el rehusar entrar al sistema cuando la cola es excesivamente grande, etc.

**Simulación de un sistema de inventarios:** A través de simulación se pueden analizar más fácilmente sistemas de inventarios donde todos sus parámetros (tiempo de entrega, demanda, costo de llevar inventario, etc.), son estocásticos.<sup>14</sup>

## 6.7 SIMULACIÓN DE SISTEMAS CONTINUOS

Los sistemas continuos son sistemas cuyo estado cambia continuamente y a cada instante en el transcurso del tiempo. En la simulación de estos sistemas el interés del análisis está en el proceso de cambio que tiene lugar en estos, para cuya descripción se usan ecuaciones diferenciales o algebraicas. Cuando se modela un sistema de cambio continuo, las variables de interés son el valor que está cambiando y la tasa con la que cambia en el tiempo.<sup>15</sup>

---

<sup>13</sup> COSS BU, Raúl. Factores a considerar en el desarrollo del modelo de simulación. En: COSS BU, Raúl. Simulación: un enfoque práctico. México DF: Editorial Limusa, 2003, p. 18-22

<sup>14</sup> COSS BU, Raúl. Ejemplos de simulación. En: COSS BU, Raúl. Simulación: un enfoque práctico. México DF: Editorial Limusa, 2003, p. 18-22

<sup>15</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO. Simulación de Sistemas Continuos. Notas de Clase [en línea]. <[http://www.fceia.unr.edu.ar/control/ssc/notas\\_ssc.pdf](http://www.fceia.unr.edu.ar/control/ssc/notas_ssc.pdf)> [citado en 30 de enero de 2013]

## 6.8 SIMULACIÓN DE MODELOS DISCRETOS

Se tiene un sistema discreto cuando las relaciones funcionales del sistema sólo permiten que el estado varíe en un conjunto finito (contable) de puntos temporales. Las causas instantáneas de los cambios de estados se denominan eventos. La simulación de eventos discretos se refiere a la modelación computacional de sistemas que evolucionan en el tiempo mediante cambios instantáneos en las variables de estado. Los cambios ocurren en puntos separados del tiempo. Las variables importantes en este tipo de modelo son el valor que cambia y el punto exacto del tiempo en que cambiara.<sup>16</sup>

Hay dos clases de modelos discretos, los modelos determinísticos y los modelos estocásticos.

### 6.8.1. Modelo determinístico

Un Modelo determinístico es un modelo matemático donde las mismas entradas producirán invariablemente las mismas salidas, no contemplándose la existencia del azar ni el principio de incertidumbre. Está estrechamente relacionado con la creación de entornos simulados a través de simuladores para el estudio de situaciones hipotéticas, o para crear sistemas de gestión que permitan disminuir la incertidumbre.

La inclusión de mayor complejidad en las relaciones con una cantidad mayor de variables y elementos ajenos al modelo determinístico hará posible que éste se aproxime a un modelo probabilístico o de enfoque estocástico.

Por ejemplo, la planificación de una línea de producción, en cualquier proceso industrial, es posible realizarla con la implementación de un sistema de gestión de procesos que incluya un modelo determinístico en el cual estén cuantificadas las materias primas, la mano de obra, los tiempos de producción y los productos finales asociados a cada proceso.<sup>17</sup>

### 6.8.2. Modelos estocásticos

Un modelo es estocástico cuando al menos una variable del mismo es tomada como un dato al azar y las relaciones entre variables se toman por medio de funciones probabilísticas. Sirven por lo general para realizar grandes series de muestreos, quitan mucho tiempo en el computador son muy utilizados en investigaciones científicas.

---

<sup>16</sup> ISDEFE. Simulación de sistemas discretos. [en línea] <<http://jmonzo.net/blogeps/simulacionsistemasbn.pdf>> [citado en 30 de enero de 2013]

<sup>17</sup> UNIVERSIDAD CAECE. Modelos y simulación 1. [en línea]. <<http://caece-mys1.wikispaces.com/Modelos+determin%C3%ADsticos+y+estoc%C3%A1sticos>> [citado en 30 de enero de 2013]

Para lograr modelar correctamente un proceso estocástico es necesario comprender numerosos conceptos de probabilidad y estadística.

Dentro del conjunto de procesos estocásticos se encuentran, por ejemplo, el tiempo de funcionamiento de una máquina entre avería y avería, su tiempo de reparación y el tiempo que necesita un operador humano para realizar una determinada operación.<sup>18</sup>

## **6.9 SOFTWARE DE SIMULACION ARENA**

Es un software que provee un entorno de trabajo integrado para construir modelos de simulación en una amplia variedad de campos; integra, en un ambiente fácilmente comprensible todas las funciones necesarias para el desarrollo de una simulación exitosa (animaciones, análisis de entrada salida de datos y verificación del modelo). En arena las herramientas que ofrece son de fácil uso, cuenta con una enorme capacidad gráfica, ofrece gran versatilidad y es compatible con software de Microsoft.

Arena combina la facilidad de uso de los simuladores de alto nivel con la flexibilidad de los lenguajes de simulación. Arena se nos presenta como una herramienta orientada al proceso, por cuanto permite la descripción completa de la experiencia que una entidad desarrolla al interior del sistema conforme fluye a través de él. La orientación al proceso, se puede hacer de una forma más natural de descripción de un sistema en contraposición con orientación al evento donde se establece una descripción detallada de cada uno de ellos y se debe mantener un control omnipresente de las entidades, variables, eventos, etc.<sup>19</sup>

Sin embargo la ejecución de un modelo de simulación construido a través de la orientación del proceso es llevada a cabo siguiendo el paradigma de la orientación a eventos.

En efecto aun cuando en el moldeamiento no se pueda observar, la definición de eventos, cálculos de variables, actualización de la lista de eventos, avance del reloj de simulación, etc., estos están presentes desarrollados por el software de manera encapsulada.

Debido a su poder y simplicidad la lógica de la orientación al proceso se ha hecho muy popular y será la que se utilice de ahora en adelante (dado que arena la utiliza)

---

<sup>18</sup> UNIVERSIDAD CAECE. Modelos y simulación 1. [en línea]. <<http://caece-mys1.wikispaces.com/Modelos+determin%C3%ADsticos+y+estoc%C3%A1sticos>> [citado en 30 de enero de 2013]

<sup>19</sup> KELTON, W. David. SADOWSKI, Randall P. STURROCK, David T. Simulación con Software Arena. 4a. edición. México: McGraw-Hill, 2008, p.53-72 ISBN 978-970-10-6515-0.

Sin embargo es conveniente reconocer que es lo que está operando tras esta orientación al proceso. Tal es así que, arena permite descender hasta la lógica misma de los eventos que tienen lugar en el modelo de simulación creado, lo que en términos prácticos significa acceder al código en que el modelo de simulación, está construido.

Este código es el utilizado por el lenguaje de simulación SIMAN, el que constituye la plataforma sobre el que está desarrollado arena y todos los módulos que lo componen. Esto habla de una estructura jerárquica en arena, en cuanto se presenta como una herramienta de simulación de alto nivel (asistida gráficamente) pero con la capacidad de alcanzar un alto grado de flexibilidad al permitir modificar directamente el código computacional subyacente a ella.

Para construir modelos con arena, se utiliza el modelamiento, por medio de módulos para definir los tipos de procesos, los módulos se colocan en la ventana de modelado y son conectadas para formar un diagrama de flujo, describiendo la lógica de su proceso, además contendrá la animación y elementos gráficos de simulación.

**Entidades:** las entidades pueden ser personas u objetos, reales o imaginarios, sus movimientos a través del sistema causan un cambio en el estado del sistema. Las entidades (clientes, documentos, piezas, personas, etc.) son aquellas que están siendo producidas o atendidas o que de cualquier otra manera influyen en nuestro proceso. Por ejemplo: productos fabricados en masa que van a través de todo el proceso de fabricación, ese sería nuestro sistema.

Las entidades son objetos dinámicos en la simulación, usualmente son creadas circulan por un tiempo en el sistema y después salen del sistema, aunque puede haber entidades que circulen siempre en el sistema sin salir de él.

Las entidades poseen atributos que hacen que se diferencien entre ellas, los atributos pueden ser tiempo de llegada, color, etc.

**Módulos:** Los módulos son elementos básicos con los que se construyen los modelos.

El diagrama que se construirá con estos módulos describe la dinámica asociada a los procesos que tienen lugar en el sistema, por lo que es conveniente conceptualizar los módulos como nodos de una red, por donde circulan las entidades que fluyen por esta red desde un punto de entrada hasta un punto de salida.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup>CASELLI GISMONDI, Hugo. Manual de simulación en Arena. 2da edición. Hugo Caselli. 2009. P 3-40.

## 6.9 SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE METROLÍNEA

### 6.9.1 Historia

El Metrolínea es el sistema integrado de transporte masivo del Área Metropolitana de Bucaramanga. Su construcción inicio en el año 2006, su primera etapa fase fue inaugurada el 22 de diciembre de 2009 con esta fase del servicio se inauguraron las 6 primeras líneas las cuales son: Avenida del libertador (Diagonal 15), autocentral, Avenida Prospero Pinzón (Avenida 27), La Cumbre, Autopista Floridablanca, Bucarica y Villabel las cuales contaron con 91 zonas de parada. Hoy en día funciona por toda el área metropolitana de Bucaramanga.<sup>21</sup>

### 6.9.2 Estructura

FIGURA 1. Rutas del sistema fase 2



Fuente: <http://www.metrolínea.gov.co/galeriaimagenes.php?id=9>

El sistema de transporte Metrolínea está conformado por corredores viales troncales, pretroncales y vías alimentadores; Estaciones de transferencia; portales.

Cuenta con 15 estaciones que cubren la zona metropolitana de Bucaramanga norte-sur desde Piedecuesta hasta quebrada seca. Estas 15 estaciones son recorridas por los buses articulados, Vehículo con capacidad para 160 pasajeros compuesto por 2 vagones, se desplaza por la vía troncal únicamente tiene puertas

<sup>21</sup> CHÍO, Juan Carlos. “Metrolínea es el culpable de todos los males, incluso de lo que no tenemos la culpa”. Vanguardia liberal, Bucaramanga: (30 de septiembre de 2012); P.19A

de acceso en la parte izquierda para acceso en las Estaciones, tiene dos puertas a la derecha que se usan en caso de emergencia.

También cuenta con buses alimentadores Se encargara de movilizar a los usuarios hacía y desde los barrios hasta las Estaciones.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> REDACCIÓN VANGUARDIA ONLINE. Arrancó inauguración de Metrolínea [en línea]. < <http://www.vanguardia.com/historico/48967>> [citado 9 abril del 2013].

## 7 ACTIVIDADES DESARROLLADAS

### 7.1 RECOLECCION DE DATOS

Para recolectar la información necesaria para el modelo de simulación, se realizó un muestreo, una toma de tiempos y un cuestionario en cada estación.

#### 7.1.1 Determinación del tamaño de muestra

Debido a que el sistema de transporte integrado Metrolínea en la ruta T3 consta de 15 estaciones y para cada estación la población de estudio difiere en la demanda, surgió la necesidad de establecer un tamaño de muestra diferente para cada estación con la ecuación que se observa en la figura 2, así:

FIGURA 2. Ecuación tamaño de muestra población finita

$$n = \frac{NZ^2PQe^2}{(N - 1) + Z^2\alpha PQ}$$

Fuente propia

Para hacer un estimado de la población que usa la ruta T3 de 6 am a 9 am el día viernes se siguieron estos pasos:

- En cada estación en un tiempo de 30 minutos se observó y anotó la hora de llegada de cada bus, a su vez se observó y anotó cuantos pasajeros abordaban cada uno, por medio de videos o a simple vista.
- Se totalizaron los minutos según el último bus que llegó a cada estación en los 30 minutos.
- Se totalizaron los pasajeros que usaron la ruta T3 en el tiempo total.
- Con estos datos se calculó la tasa de llegada de pasajeros en 3 horas, la cual es la población y también la tasa de llegada de pasajeros por segundo.
- Se aplicó la fórmula basado en esa población y se calculó el tamaño de muestra

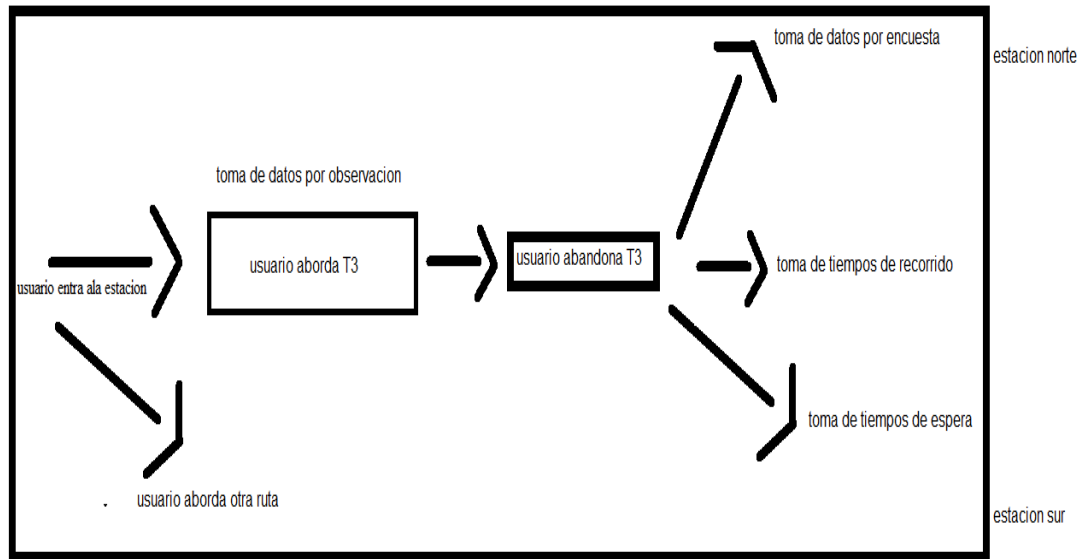
El tamaño de muestra se determinó así:

De la tabla 1 a la 30 se observan los resultados de la toma de datos por observación en cada estación, donde se muestra el número de buses que llegaron, la hora en que llegaron y el número de pasajeros que abordaron la ruta T3 en esas horas; se estableció el número de pasajeros en que llegan en una hora, luego el número de pasajeros en tres horas, para establecer la población y



luego calcular el tamaño de muestra(n). También se define la tasa de llegada de pasajeros, dato a utilizar en el modelo de simulación. Esta explicación aplica para todas las estaciones.

**FIGURA 3. Proceso de toma de datos en las estaciones**



Fuente propia

En la figura 2 se observa el proceso realizado para recolectar la información en cada una de las estaciones.

## ESTACION LA ESPAÑOLITA

Tabla 1. Estación La española

buses articulados	HORA	# DE PASAJEROS
1	6.00	0
2	6.05	19
3	6.09	30
4	6.14	19
5	6.18	29
6	6.22	2
7	6.28	31
<b>TOTAL</b>	28	130
<b>TOTAL PASAJEROS/HORA</b>		278,57
<b>TOTAL PASAJEROS EN 3 HORAS</b>		835,71
<b>TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS</b>		12,9 seg/pasajero

Fuente propia

La tasa de llegada por pasajero es de 12,9 segundos en la estación La española.

## Tamaño de muestra

Tabla 2. Tamaño de muestra estación La española

<b>N</b>	<b>835,71</b>
<b>ALFA(<math>\alpha</math>)</b>	97,5%
<b>Z</b>	1,95996398
<b>E</b>	5%
<b>n</b>	263

Fuente propia

El tamaño de muestra(n) es de 263 para la estación La española.

## ESTACIÓN CAMPO ALEGRE

Tabla 3. Estación Campo alegre

BUSES ARTICULADOS	HORA(min)	# PASAJEROS
1	8.00	0
2	8.04	4
3	8.10	0
4	8.17	1
5	8.22	1
<b>TOTAL</b>	22	6
<b>TOTAL PASAJEROS HORA</b>		16,36
<b>TOTAL PASAJEROS EN 3 HORAS</b>		49,09
<b>TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS</b>		220 seg/pasajero

Fuente propia

La tasa de llegada por pasajero es de 220 segundos en la estación Campo alegre.

## Tamaño de muestra

.Tabla 4. Tamaño de muestra estación Campo alegre

<b>N</b>	<b>49,09</b>
<b>ALFA(<math>\alpha</math>)</b>	97,5%
<b>Z</b>	1,95996398
<b>E</b>	5%
<b>n</b>	44

Fuente propia

El tamaño de muestra(n) es de 44 para la estación Campo alegre.

## ESTACIÓN PALMICHAL

Tabla 5. Estación Palmichal

BUSES ARTICULADOS	HORA(min)	# DE PASAJEROS
1	9.00	0
2	9.02	9
3	9.10	25
4	9.15	15
5	9.23	6
6	9.25	21
<b>TOTAL</b>	<b>25</b>	<b>76</b>
<b>TOTAL PASAJEROS/HORA</b>		<b>182,4</b>
<b>TOTAL PASAJEROS EN 3 HORAS</b>		<b>547,2</b>
<b>TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS</b>		19,74   seg/pasajero

Fuente propia

La tasa de llegada por pasajero es de 19,74 segundos en la estación Palmichal.

## Tamaño de la muestra

Tabla 6. Tamaño de muestra estación Palmichal

<b>N</b>	<b>547,2</b>
<b>ALFA(<math>\alpha</math>)</b>	<b>97,5%</b>
<b>Z</b>	<b>1,95996398</b>
<b>E</b>	<b>5%</b>
<b>n</b>	<b>226</b>

Fuente propia

El tamaño de muestra(n) es de 226 para la estación Palmichal.

## ESTACIÓN MENZULÍ

Tabla 7. Estación Menzulí

BUSES ARTICULADOS	HORA(min)	# DE PASAJEROS
1	6.00	0
2	6.06	4
3	6.10	1
4	6.17	0
5	6.25	2
<b>TOTAL</b>	25	7
<b>TOTAL PASAJEROS/HORA</b>		16,8
<b>TOTAL PASAJEROS 3 HORAS</b>		50,4
<b>TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS</b>		214,29 seg/pasajero

Fuente propia

La tasa de llegada por pasajero es de 214,29 segundos en la estación Menzulí.

### Tamaño de la muestra

Tabla 8. Tamaño de muestra estación Menzulí

<b>N</b>	<b>50,4</b>
<b>ALFA(<math>\alpha</math>)</b>	97,5%
<b>Z</b>	1,95996398
<b>E</b>	5%
<b>n</b>	45

Fuente propia

El tamaño de la muestra(n) es 45 para la estación Menzulí.

## ESTACIÓN LA ESTANCIA

Tabla 9. Estación La estancia

BUSES ARTICULADOS	HORA(min)	# DE PASAJEROS
	6.00	0
	6.05	3
	6.10	0
	6.12	2
	6.18	0
	6.25	0
<b>TOTAL</b>	<b>25</b>	<b>5</b>
<b>TOTAL PASAJEROS/HORA</b>		<b>12</b>
<b>TOTAL PASAJEROS EN 3 HORAS</b>		<b>36</b>
<b>TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS</b>	300	seg/pasajero

Fuente propia

La tasa de llegada por pasajero es de 300 segundos en la estación La estancia.

## Tamaño de la muestra

Tabla 10. Tamaño de muestra estación La estancia.

<b>N</b>	<b>36</b>
<b>ALFA(<math>\alpha</math>)</b>	97,5%
<b>Z</b>	1,95996398
<b>E</b>	5%
<b>n</b>	33

Fuente propia

El tamaño de muestra(n) es de 33 datos para la estación La estancia.

## ESTACIÓN LAGOS

Tabla 11. Estación Lagos

BUSES ARTICULADOS	HORA(min)	# DE PASAJEROS
	8.00	0
	8.02	10
	8.04	2
	8.05	0
	8.08	20
	8.14	11
	8.16	3
	8.20	18
	8.27	29
<b>TOTAL</b>	27	93
<b>TOTAL PASAJEROS/HORA</b>		206,67
<b>TOTAL PASAJEROS EN 3 HORAS</b>		620,00
<b>TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS</b>		17,42 seg/pasajero

Fuente propia

La tasa de llegada por pasajero es de 17,42 segundos en la estación Lagos.

## Tamaño de la muestra

Tabla 12. Tamaño de muestra estación Lagos

<b>N</b>	<b>620</b>
<b>ALFA(<math>\alpha</math>)</b>	97,5%
<b>Z</b>	1,95996398
<b>E</b>	5%
<b>n</b>	237

Fuente propia

El tamaño de muestra(n) es de 237 datos para la estación Lagos.

## ESTACIÓN CAÑAVERAL

Tabla 13. Estación Cañaveral

BUSES ARTICULADOS	HORA(min)	# DE PASAJEROS
	7.00	0
	7.03	16
	7.09	24
	7.13	19
	7.21	17
	7.24	24
<b>TOTAL</b>	24	100
<b>TOTAL PASAJEROS/HORA</b>		250
<b>TOTAL PASAJEROS EN 3 HORAS</b>		750
<b>TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS</b>		14,4 seg/pasajero

Fuente propia

La tasa de llegada por pasajero es de 14,4 segundos en la estación Cañaveral.

## Tamaño de la muestra

Tabla 14. Tamaño de muestra estación Cañaveral

<b>N</b>	<b>750</b>
<b>ALFA(<math>\alpha</math>)</b>	97,5%
<b>Z</b>	1,95996398
<b>E</b>	5%
<b>n</b>	254

Fuente propia

El tamaño de la muestra(n) es de 254 para la estación cañaveral.



## ESTACIÓN PAYADOR

Tabla 15.Estación payador

BUSES ARTICULADOS	HORA(min)	# PASAJEROS
1	7.00	0
2	7.03	13
3	7.09	11
4	7.16	9
5	7.24	10
6	7.27	5
<b>TOTAL</b>	27	48
<b>TOTAL PASAJEROS/HORA</b>		106,67
<b>TOTAL PASAJEROS EN 3 HORAS</b>		320,00
<b>TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS</b>		33,75 seg/pasajero

Fuente propia

La tasa de llegada por pasajero es de 33,75 segundos en la estación Payador.

## Tamaño de la muestra

Tabla 16.Tamaño de muestra estación Payador

<b>N</b>	<b>320</b>
<b>ALFA(<math>\alpha</math>)</b>	97,5%
<b>Z</b>	1,95996398
<b>E</b>	5%
<b>n</b>	175

Fuente propia

El tamaño de la muestra(n) es de 175 para la estación Payador.

## ESTACIÓN PROVENZA

Tabla 17. Estación Provenza

BUSES ARTICULADOS	HORA(min)	#PASAJEROS
1	6.00	0
2	6.08	26
3	6.11	18
4	6.14	22
5	6.18	33
6	6.24	17
7	6.29	28
<b>TOTAL</b>	29	144
<b>TOTAL PASAJEROS/HORA</b>		297,93
<b>TOTAL PASAJEROS EN 3 HORAS</b>		893,79
<b>TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS</b>		12,08 seg/pasajero

Fuente propia

La tasa de llegada por pasajero es de 12,08 segundos en la estación Provenza.

## Tamaño de la muestra

Tabla 18. Tamaño de muestra estación Provenza

<b>N</b>	<b>893,79</b>
<b>ALFA(<math>\alpha</math>)</b>	97,5%
<b>Z</b>	1,95996398
<b>E</b>	5%
<b>n</b>	269

Fuente propia

El tamaño de muestra(n) es de 269 datos para la estación Provenza.

## ESTACIÓN DIAMANTE

Tabla 19. Estación Diamante

BUSES ARTICULADOS	HORA	# PASAJEROS
1	8.00	0
2	8.02	10
3	8.10	8
4	8.15	15
5	8.18	20
6	8.24	9
<b>TOTAL</b>	24	62
<b>TOTAL PASAJEROS/HORA</b>		155
<b>TOTAL PASAJEROS EN 3 HORAS</b>		465
<b>TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS</b>		23,23 seg/pasajero

Fuente propia

La tasa de llegada por pasajero es de 23,23 segundos en la estación Diamante.

## Tamaño de la muestra

Tabla 20. Tamaño de muestra estación Diamante

<b>N</b>	<b>465</b>
<b>ALFA(<math>\alpha</math>)</b>	97,5%
<b>Z</b>	1,95996398
<b>E</b>	5%
<b>n</b>	211

Fuente propia

El tamaño de la muestra(n) es de 211 para la estación Diamante.

## ESTACIÓN LA ISLA

Tabla 21. Estación La isla

BUSES ARTICULADOS	HORA(min)	# PASAJEROS
1	6.00	0
2	6.08	12
3	6.14	1
4	6.19	13
5	6.27	2
<b>TOTAL</b>	27	28
<b>TOTAL PASAJEROS/HORA</b>		62,22
<b>TOTAL PASAJEROS EN 3 HORAS</b>		186,67
<b>TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS</b>		57,86 seg/pasajero

Fuente propia

La tasa de llegada por pasajero es de 57,86 segundos en la estación La isla.

## Tamaño de la muestra

Tabla 22. Tamaño de muestra estación La isla

<b>N</b>	<b>186,67</b>
<b>ALFA(<math>\alpha</math>)</b>	97,5%
<b>Z</b>	1,95996398
<b>E</b>	5%
<b>n</b>	126

Fuente propia

El tamaño de la muestra(n) es de 126 para la estación La isla.

## ESTACIÓN LA ROSITA

Tabla 23.Estación La rosita

BUSES ARTICULADOS	HORA	# PASAJEROS
1	7.00	0
2	7.09	0
3	7.16	5
4	7.23	0
5	7.29	5
<b>TOTAL</b>	29	10
<b>TOTAL PASAJEROS/HORA</b>		20,69
<b>TOTAL PASAJEROS EN 3 HORAS</b>		62,07
<b>TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS</b>		174 seg/pasajero

Fuente propia

La tasa de llegada por pasajero es de 174 segundos en la estación La rosita.

## Tamaño de la muestra

Tabla 24.Tamaño de muestra estación La rosita

<b>N</b>	<b>62,07</b>
<b>ALFA(<math>\alpha</math>)</b>	97,5%
<b>Z</b>	1,95996398
<b>E</b>	5%
<b>n</b>	54

Fuente propia

El tamaño de muestra(n) es de 54 para la estación La rosita.

## ESTACIÓN CHORRERAS

Tabla 25. Estación Chorreras

BUSES ARTICULADOS	HORA(MIN)	# PASAJEROS
1	6.00	0
2	6.04	7
3	6.08	7
4	6.17	17
5	6.23	23
<b>TOTAL</b>	23	54
<b>TOTAL PASAJEROS/HORA</b>		140,87
<b>TOTAL PASAJEROS EN 3 HORAS</b>		422,61
<b>TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS</b>		25,56 seg/pasajero

Fuente propia

La tasa de llegada por pasajero es de 25,56 segundos en la estación Chorreras.

### Tamaño de la muestra

Tabla 26. Tamaño de muestra estación Chorreras

<b>N</b>	<b>422,61</b>
<b>ALFA(<math>\alpha</math>)</b>	97,5%
<b>Z</b>	1,95996398
<b>E</b>	5%
<b>n</b>	201

Fuente propia

El tamaño de la muestra(n) es de 201 datos para la estación Chorreras.

## ESTACIÓN SAN MATEO

Tabla 27. Estación San Mateo

BUSES ARTICULADOS	HORA(min)	# PASAJEROS
1	8.00	0
2	8.07	21
3	8.18	7
4	8.22	3
5	8.28	14
<b>TOTAL</b>	28	45
<b>TOTAL PASAJEROS/HORA</b>		96,43
<b>TOTAL PASAJEROS EN 3 HORAS</b>		289,29
<b>TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS</b>		37 seg/pasajero

Fuente propia

La tasa de llegada por pasajero es de 37 segundos en la estación San Mateo.

### Tamaño de la muestra

Tabla 28. Tamaño de muestra estación San Mateo

<b>N</b>	<b>289,29</b>
<b>ALFA(<math>\alpha</math>)</b>	97,5%
<b>Z</b>	1,95996398
<b>E</b>	5%
<b>n</b>	165

Fuente propia

El tamaño de muestra(n) es de 165 para la estación San Mateo.

## ESTACIÓN QUEBRADA SECA

Tabla 29. Estación Quebrada seca

BUSES ARTICULADOS	HORA(min)	# PASAJERO
1	7.00	0
2	7.05	6
3	7.11	0
4	7.20	16
5	7.26	4
<b>TOTAL</b>	26	26
<b>TOTAL PASAJEROS/HORA</b>		60
<b>TOTAL PASAJEROS EN 3 HORAS</b>		180
<b>TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS</b>		60 seg/pasajero

Fuente propia

La tasa de llegada por pasajero es de 60 segundos en la estación Quebrada seca

### Tamaño de la muestra

Tabla 30. Tamaño de muestra estación Quebrada seca

<b>N</b>	<b>180</b>
<b>ALFA(<math>\alpha</math>)</b>	97,5%
<b>Z</b>	1,95996398
<b>E</b>	5%
<b>n</b>	123

Fuente propia

El tamaño de muestra(n) es de 123 para la estación Quebrada seca.



## 7.2 TOMA DE TIEMPOS

### 7.2.1 Tiempo de trayecto entre las estaciones

Tabla 31. Tiempos de trayecto entre las estaciones

Estación	tiempo en minutos	Estación
La españolita	2	Campo alegre
Campo alegre	1	Palmichal
Palmichal	0,7	Menzulí
Menzulí	0,8	La estancia
La estancia	3	Lagos
Lagos	0,8	Cañaverál
Cañaverál	3	Payador
Payador	0,7	Provenza
Provenza	1,2	Diamante
Diamante	4,0	La isla
La isla	4,0	La rosita
La rosita	5,0	Chorreras
Chorreras	0,8	San mateo
San mateo	0,7	Quebrada seca

Fuente propia

En la tabla 31 se observan los tiempos de trayecto entre estaciones en minutos.

### 7.2.2 Tiempos de espera entre estaciones

Como los datos de los tiempos de espera entre estaciones son infinitos se utilizó la siguiente fórmula para determinar la muestra:

FIGURA 4. Ecuación tamaño de muestra población infinita

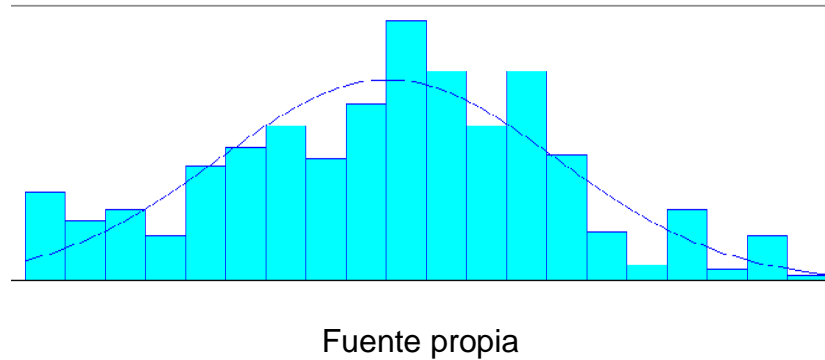
$$n = \frac{Z^2 P Q}{e^2}$$

Fuente propia

Donde: Z=1.96; P=0.5; Q= (1-P); E= 0.05; n= 385

La lista de datos se analizó en el software Arena y se obtuvo que los datos tengan una distribución normal con expresión NORM (17.5, 4.21).

**FIGURA 5. Tiempos de espera en las estaciones**



Distribution: Normal

Expression: NORM (17.5, 4.21)

Error: 0.005635

Numero de Datos = 385

Min = 9 Max = 28

Chi Square Test

Number of intervals = 16; Degrees of freedom = 13 Test Statistic= 49.2;  
Corresponding p-value < 0.005

En la figura 3 se observa la distribución de los tiempos de espera en las estaciones, se utilizó la prueba de bondad Chi-cuadrado debido a que esta es la recomendada a usar en conjuntos de datos, de más de 20 números; la prueba de bondad Kolmogorov-Smirnov se utiliza en conjuntos de datos con números menores o iguales a 20.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> CHERNOFF, H. LEHMANN E.L. The use of maximum likelihood estimates in tests for goodness-of-fit. The Annals of Mathematical statistics 25: McGraw-Hill. pp. 585

### 7.3 RESULTADOS DEL CUESTIONARIO

(Ver anexo A) FORMATO DE CUESTIONARIO

Tabla 32. Destino de pasajeros: norte-sur

ESTACIONES	NUMERO DE DATOS	DESTINO NORTE	DESTINO SUR
Quebrada seca	123	0%	100%
San Mateo	165	5%	95%
Chorreras	201	12%	88%
La rosita	62	19%	81%
La isla	127	29%	71%
Diamante	210	42%	58%
Provenza	269	39%	61%
Payador	175	47%	53%
Cañaveral	254	59%	41%
Lagos	237	68%	32%
La estancia	36	75%	25%
Menzulí	50	80%	20%
Palmichal	226	92%	8%
Campo alegre	49	100%	0%
La española	263	100%	0%

Fuente propia

Con los resultados obtenidos en el cuestionario se definió el destino de los pasajeros.

#### 7.3.1 Destino de pasajeros por estación

Después de definir el porcentaje de pasajeros que van para el norte y para el sur, se determina qué porcentaje de esos pasajeros va para cada estación.

En las tablas 33 a la 59 se observan el porcentaje de pasajeros que va a cada estación respecto al sentido sur o norte.

Tabla 33. Destino pasajeros estación La española

ESTACIONES	NORTE	263	ACUMULADO	SUR
	%	100%	0%	
Campo alegre	2	1%	1%	0
Palmichal	37	14%	15%	
Menzuli	5	2%	17%	
La estancia	8	3%	20%	
Lagos	25	10%	29%	
Cañaverál	28	11%	40%	
Payador	19	7%	47%	
Provensa	29	11%	58%	
Diamante	18	7%	65%	
La isla	19	7%	72%	
La rosita	19	7%	79%	
Chorreras	12	5%	84%	
San Mateo	17	6%	90%	
Quebrada seca	25	10%	100%	

Fuente propia

Tabla 34. Destino pasajeros estación Campo alegre

ESTACIONES	NORTE	49	ACUMULADO	SUR
	%	100%	0%	
Palmichal	8	16%	16%	0
Menzuli	0	0%	16%	
La estancia	2	4%	20%	
Lagos	5	10%	31%	
Cañaverál	6	12%	43%	
Payador	3	6%	49%	
Provensa	6	12%	61%	
Diamante	3	6%	67%	
La isla	4	8%	76%	
La rosita	4	8%	84%	
Chorreras	3	6%	90%	
San Mateo	2	4%	94%	
Quebrada seca	3	6%	100%	

Fuente propia

**Tabla 35. Destino pasajeros estación palmichal norte**

ESTACIONES	NORTE	209	ACUMULADO
	%	92%	0%
Menzuli	5	2%	2%
La estancia	3	1%	4%
Lagos	23	11%	15%
Cañaveral	24	11%	26%
Payador	14	7%	33%
Provensa	34	16%	49%
Diamante	18	9%	58%
La isla	19	9%	67%
La rosita	23	11%	78%
Chorreras	12	6%	84%
San Mateo	14	7%	90%
Quebrada seca	20	10%	100%

Fuente propia

**Tabla 36. Destino pasajeros Palmichal sur**

SUR		17	ACUMULADO
%		8%	0%
la españolita	12	71%	71%
Campo alegre	5	29%	100%

Fuente propia

**Tabla 37. Destino pasajeros Menzulí norte**

ESTACIONES	NORTE	40	ACUMULADO
	%	80%	0%
La estancia	0	0%	0%
Lagos	4	10%	10%
Cañaveral	6	15%	25%
Payador	2	5%	30%
Provensa	8	20%	50%
Diamante	3	8%	58%
La isla	4	10%	68%
La rosita	3	8%	75%
Chorreras	3	8%	83%
San Mateo	4	10%	93%
Quebrada seca	3	8%	100%

Fuente propia

**Tabla 38. Destino pasajeros Menzuli sur**

SUR		10	ACUMULADO
%		20%	0%
la españolita	5	50%	50%
Campo alegre	3	30%	80%
Palmichal	2	20%	100%

Fuente propia

**Tabla 39. Destino pasajeros La Estancia norte**

ESTACIONES	NORTE	27	ACUMULADO
	%	75%	0%
Lagos	3	11%	11%
Cañaveral	4	15%	26%
Payador	1	4%	30%
Provensa	6	22%	52%
Diamante	2	7%	59%
La isla	3	11%	70%
La rosita	2	7%	78%
Chorreras	2	7%	85%
San Mateo	2	7%	93%
Quebrada seca	2	7%	100%

Fuente propia

**Tabla 40. Destino pasajeros La Estancia sur**

SUR		9	ACUMULADO
%		25%	0%
la española	4	44%	44%
Campo alegre	3	33%	78%
Palmichal	2	22%	100%
Menzuli	0	0%	100%

Fuente propia

**Tabla 41. Destino pasajeros Lagos norte**

ESTACIONES	<b>NORTE</b>	<b>160</b>	<b>ACUMULADO</b>
	%	68%	0%
Cañaveral	8	5%	5%
Payador	21	13%	18%
Provensa	34	21%	39%
Diamante	17	11%	50%
La isla	19	12%	62%
La rosita	14	9%	71%
Chorreras	13	8%	79%
San Mateo	13	8%	87%
Quebrada seca	21	13%	100%

Fuente propia

**Tabla 42. Destino pasajeros Lagos sur**

<b>SUR</b>		<b>77</b>	<b>ACUMULADO</b>
%		32%	0%
la española	19	25%	25%
Campo alegre	10	13%	38%
Palmichal	34	44%	82%
Menzuli	8	10%	92%
La estancia	6	8%	100%

Fuente propia



**Tabla 43. Destino pasajeros Cañaveral norte**

ESTACIONES	<b>NORTE</b>	<b>149</b>	<b>ACUMULADO</b>
	<b>%</b>	<b>59%</b>	<b>0%</b>
Payador	11	7%	7%
Provensa	31	21%	28%
Diamante	20	13%	42%
La isla	20	13%	55%
La rosita	18	12%	67%
Chorreras	17	11%	79%
San Mateo	12	8%	87%
Quebrada seca	20	13%	100%

Fuente propia

**Tabla 44. Destino pasajeros Cañaveral sur**

<b>SUR</b>		<b>105</b>	<b>ACUMULADO</b>
<b>%</b>		<b>41%</b>	<b>0%</b>
la española	30	29%	29%
Campo alegre	10	10%	38%
Palmichal	41	39%	77%
Menzuli	7	7%	84%
La estancia	10	10%	93%
Lagos	7	7%	100%

Fuente propia

**Tabla 45. Destino pasajeros Payador norte**

ESTACIONES	<b>NORTE</b>	<b>83</b>	<b>ACUMULADO</b>
	%	47%	0%
Provensa	9	11%	11%
Diamante	10	12%	23%
La isla	12	14%	37%
La rosita	14	17%	54%
Chorreras	12	14%	69%
San Mateo	14	17%	86%
Quebrada seca	12	14%	100%

Fuente propia

**Tabla 46. Destino pasajeros Payador sur**

<b>SUR</b>		<b>92</b>	<b>ACUMULADO</b>
%		53%	0%
la española	16	17%	17%
Campo alegre	9	10%	27%
Palmichal	18	20%	47%
Menzuli	5	5%	52%
La estancia	8	9%	61%
Lagos	18	20%	80%
Cañaverál	18	20%	100%

Fuente propia

**Tabla 47. Destino pasajeros Provenza norte**

ESTACIONES	<b>NORTE</b>	<b>105</b>	<b>ACUMULADO</b>
	%	39%	0%
Diamante	6	6%	6%
La isla	23	22%	28%
La rosita	20	19%	47%
Chorreras	17	16%	63%
San Mateo	19	18%	81%
Quebrada seca	20	19%	100%

Fuente propia

**Tabla 48. Destino pasajeros Provenza sur**

<b>SUR</b>		<b>164</b>	<b>ACUMULADO</b>
%		61%	0%
la españolita	26	16%	16%
Campo alegre	16	10%	26%
Palmichal	41	25%	51%
Menzuli	8	5%	55%
La estancia	10	6%	62%
Lagos	28	17%	79%
Cañaverl	34	21%	99%
Payador	1	1%	100%

Fuente propia

**Tabla 49. Destino pasajeros Diamante norte**

ESTACIONES	<b>NORTE</b>	<b>89</b>	<b>ACUMULADO</b>
	%	42%	0%
La isla	21	24%	24%
La rosita	14	16%	39%
Chorreras	18	20%	60%
San Mateo	16	18%	78%
Quebrada seca	20	22%	100%

Fuente propia

**Tabla 50. Destino pasajeros Diamante sur**

<b>SUR</b>		<b>121</b>	<b>ACUMULADO</b>
%		58%	0%
la española	17	14%	14%
Campo alegre	8	7%	21%
Palmichal	25	21%	41%
Menzuli	8	7%	48%
La estancia	6	5%	53%
Lagos	18	15%	68%
Cañaverál	24	20%	88%
Payador	11	9%	97%
Provensa	4	3%	100%

Fuente propia

**Tabla 51. Destino pasajeros La Isla norte**

ESTACIONES	<b>NORTE</b>	<b>37</b>	<b>ACUMULADO</b>
	%	29%	0%
La rosita	6	16%	16%
Chorreras	8	22%	38%
San Mateo	11	30%	68%
Quebrada seca	12	32%	100%

Fuente propia

**Tabla 52. Destino pasajeros La Isla sur**

<b>SUR</b>		<b>90</b>	<b>ACUMULADO</b>
%		71%	0%
la españolita	13	14%	14%
Campo alegre	8	9%	23%
Palmichal	11	12%	36%
Menzuli	5	6%	41%
La estancia	3	3%	44%
Lagos	11	12%	57%
Cañaverál	11	12%	69%
Payador	6	7%	76%
Provensa	15	17%	92%
Diamante	7	8%	100%

Fuente propia

**Tabla 53. Destino pasajeros La Rosita norte**

ESTACIONES	NORTE	12	ACUMULADO
	%	19%	0%
Chorreras	3	25%	25%
San Mateo	4	33%	58%
Quebrada seca	5	42%	100%

Fuente propia

**Tabla 54. Destino pasajeros La Rosita sur**

SUR		50	ACUMULADO
%		81%	0%
la españolita	5	10%	10%
Campo alegre	2	4%	14%
Palmichal	5	10%	24%
Menzuli	4	8%	32%
La estancia	2	4%	36%
Lagos	4	8%	44%
Cañaveral	6	12%	56%
Payador	5	10%	66%
Provensa	10	20%	86%
Diamante	6	12%	98%
La isla	1	2%	100%

Fuente propia

**Tabla 55. Destino pasajeros Chorreras norte**

ESTACIONES	NORTE	25	ACUMULADO
	%	12%	0%
San Mateo	8	32%	32%
Quebrada seca	17	68%	100%

Fuente propia

**Tabla 56. Destino pasajeros Chorreras sur**

SUR		176	ACUMULADO
%		88%	0%
la española	14	8%	8%
Campo alegre	12	7%	15%
Palmichal	19	11%	26%
Menzuli	7	4%	30%
La estancia	5	3%	32%
Lagos	16	9%	41%
Cañaveral	21	12%	53%
Payador	14	8%	61%
Provensa	26	15%	76%
Diamante	16	9%	85%
La isla	19	11%	96%
La rosita	7	4%	100%

Fuente propia

**Tabla 57. Destino pasajeros San Mateo norte**

ESTACIONES	<b>NORTE</b>	<b>8</b>	<b>ACUMULADO</b>
	%	5%	0%
Quebrada seca	8	100%	100%

Fuente propia

**Tabla 58. Destino pasajeros San Mateo sur**

<b>SUR</b>		<b>157</b>	<b>ACUMULADO</b>
%		95%	0%
la española	15	10%	10%
Campo alegre	6	4%	13%
Palmichal	16	10%	24%
Menzuli	5	3%	27%
La estancia	6	4%	31%
Lagos	12	8%	38%
Cañaverál	16	10%	48%
Payador	13	8%	57%
Provensa	20	13%	69%
Diamante	14	9%	78%
La isla	15	10%	88%
La rosita	15	10%	97%
Chorreras	4	3%	100%

Fuente propia



**Tabla 59. Destino pasajeros Quebrada Seca sur**

<b>SUR</b>		<b>123</b>	<b>ACUMULADO</b>
<b>%</b>		<b>100%</b>	<b>0%</b>
la española	11	9%	9%
Campo alegre	4	3%	12%
Palmichal	14	11%	24%
Menzuli	4	3%	27%
La estancia	5	4%	31%
Lagos	10	8%	39%
Cañaveral	13	11%	50%
Payador	9	7%	57%
Provensa	18	15%	72%
Diamante	11	9%	80%
La isla	9	7%	88%
La rosita	9	7%	95%
Chorreras	5	4%	99%
San Mateo	1	1%	100%

Fuente propia

#### 7.4 TASA DE ENTRADA DE BUSES

Para establecer la tasa de entrada de buses se siguieron estos pasos:

- Durante 30 minutos, se observó y anotó la hora de salida de cada bus.
- Se totalizaron los minutos según el último bus que ingreso al sistema en los 30 minutos.
- Con el número de buses que ingresaron en los 30 minutos y el total de minutos se estableció la tasa de entrada de buses en una hora y posteriormente la tasa de entrada de buses por segundo.

Tabla 60. Tasa de entrada de buses

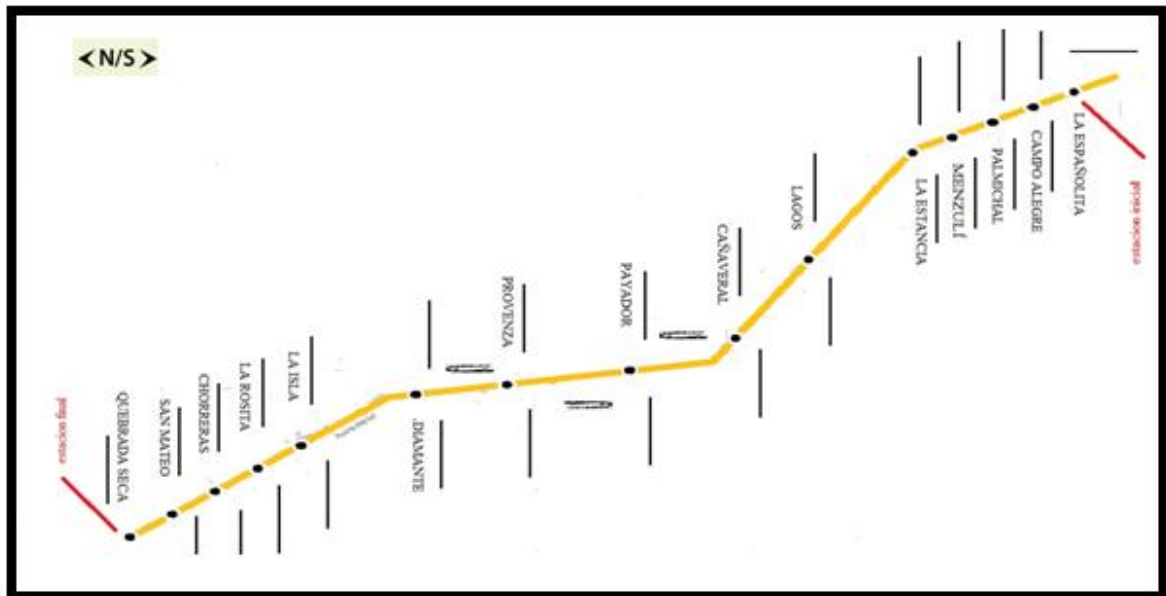
HORA(min)	LISTA DE BUSES
7.00	0
7.05	1
7.09	2
7.14	3
7.18	4
7.22	5
7.28	6
<b>Total minutos</b>	<b>28</b>
<b>tasa de entrada de bus/hora</b>	<b>13</b>
<b>tasa de entrada de bus/3 hora</b>	<b>39</b>
<b>tasa de entra de buses por segundo</b>	<b>280</b>

La tasa de entrada de buses es de 280 segundos por bus.

## 7.5 DISEÑO DEL MODELO DEL SISTEMA DE LA RUTA T3

### 7.5.1 Descripción del sistema real de la ruta T3

FIGURA 6. Modelo del sistema de la ruta T3.



Fuente propia.

La ruta T3 del sistema de transporte integrado Metrolínea de la ciudad de Bucaramanga consta de 15 estaciones en su estructura, las cuales son La española, Campo alegre, Palmichal, Menzulí, La estancia, Lagos, Cañaverál, Payador, Provenza, Diamante, La isla, La rosita, Chorreras, San Mateo, Quebrada seca. En el orden que se mencionaron las estaciones, es el flujo del recorrido de los buses articulados.

El proceso inicia en la estación La española, estación de entrada de los buses articulados al sistema y termina la estación de Quebrada seca, en la cual el bus articulado hace el proceso de retorno por todas las estaciones hasta regresar de nuevo a la española.

En cada estación se da el flujo de usuarios de la ruta T3, el usuario llega a la estación espera en cola y cuando llega el bus articulado inicia su recorrido hasta llegar a una determinada estación destino. En cada estación hay la opción de ir al norte o al sur ya que las vías trocales abarcan las dos vías.

## 7.6 MODELO DEL SISTEMA DE LA RUTA T3

Tabla 61. Variables de entrada y salida

VARIABLES DE ENTRADA	VARIABLES DE SALIDA
<ul style="list-style-type: none"><li>• Tasa de entrada de pasajeros</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Número de pasajeros en el sistema</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Tiempo que espera de el bus en cada estación</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tiempo medio en cola.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Estación destino de los pasajeros</li><li>• Tiempo de trayecto entre las estaciones</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Numero medio de personas en cola</li><li>• Número total de buses en el sistema</li></ul>

Fuente propia

## 7.7 SIMULACION DEL MODELO EN EL SOFTWARE ARENA

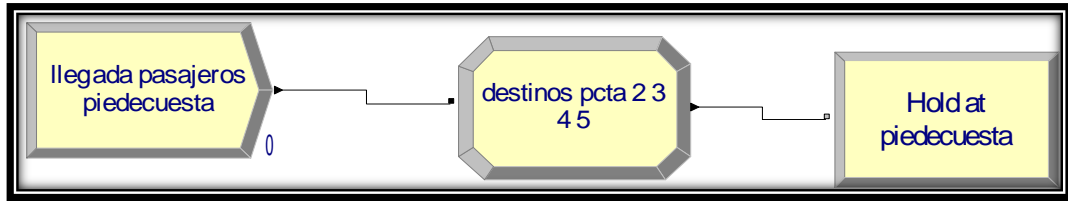
Para la programación del modelo de simulación en el software arena se dividió en tres partes:

- Creación o entrada de pasajeros en cada estación, al cual se le llamo “Creación de pasajeros”
- Programación del sistema de cada estación, donde se da el proceso de espera en cola de usuarios, la llegada de los buses articulados y el proceso de recoger los usuarios en cada una de las estaciones, al cual se le llamo “Estación”.
- La salida de los pasajeros del sistema, los cuales llegan a su estación de destino y salen del proceso, se le llamo “Salida de pasajeros”.

### 7.7.1 Creación de pasajeros

En esta parte del modelo de simulación se programa la entrada de los pasajeros al sistema y el proceso de espera en cola, haciendo un sistema diferente para la entrada de los pasajeros que se dirigen a una estación en el sur y una diferente para los que se dirigen a una estación en el norte ya que el destino es diferente. Cuenta con un módulo Create, Assing y Hold.

FIGURA 7. Creación de pasajeros



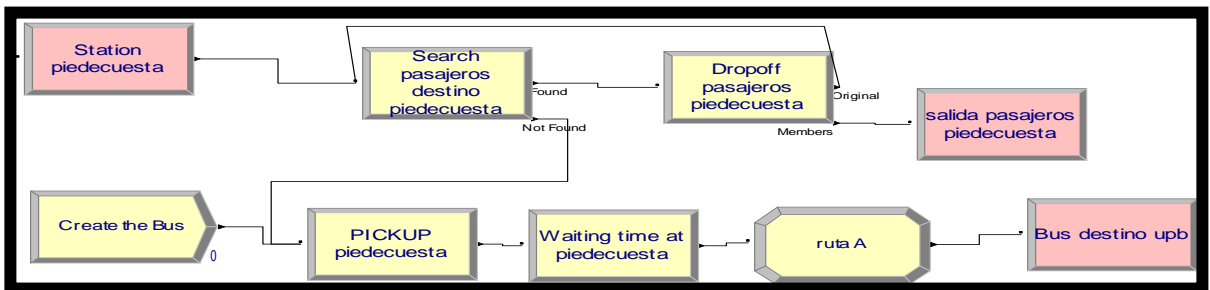
Fuente propia

### 7.7.2 Estación

En esta parte del modelo de simulación se programa el proceso de entrada y salida de los buses articulados, tiempo que demora el bus articulado en cada estación, y el proceso de recoger los pasajero por parte del bus y la llegada del pasajero a estación destino para luego salir del sistema. La programación será igual para todas las estaciones a excepción de la estación La española y la estación Quebrada seca ´por ser punto inicial y punto final en el proceso del sistema.

Para las estaciones La española y Quebrada seca se utilizaron nueve módulos: Station, Create, Search, Pickup, Dropoff, Delay, Assign y dos Route. El modulo Create solo es para la estación La española.

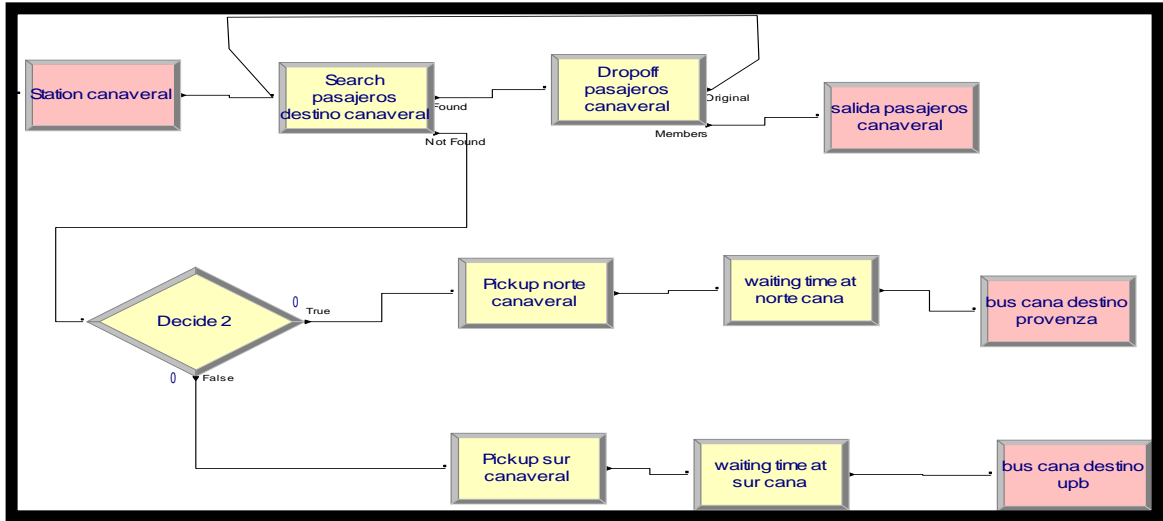
FIGURA 8. Estación inicial y final



Fuente propia

Para las trece estaciones restantes se utilizaron once módulos: Station, Decide, Search, dos Pickup, Dropoff, dos Delay, Assign y tres Route.

FIGURA 9. Estación intermedia



Fuente propia

### 7.7.3 Salida de pasajeros

En esta parte del modelo de simulación es donde simplemente se programa la salida de los usuarios del sistema, cuando llega a su estación destino.

Para este proceso se utilizaron dos módulos: Station y Dispose.

FIGURA 10. Salida de pasajeros

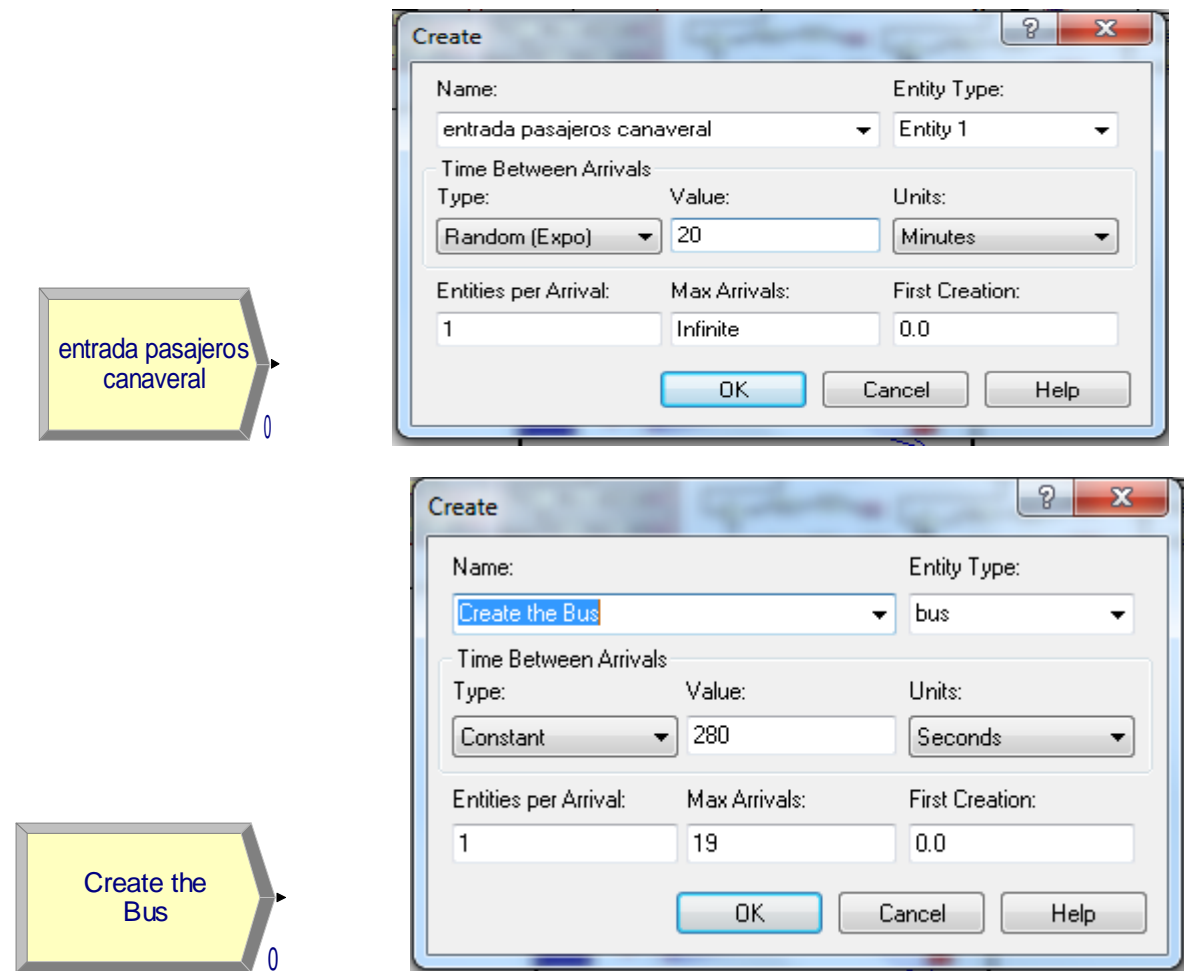


Fuente propia

## 7.8 PROGRAMACIÓN DEL MODELO

**Módulo Create:** En este módulo se establece la tasa de entrada de pasajeros y la tasa de entrada de buses al proceso del sistema. Se define una entidad para los pasajeros, con una tasa de entrada definida en segundos por pasajero, y se define una entidad nombrada “bus” para los buses con una tasa de entrada de segundos por bus.

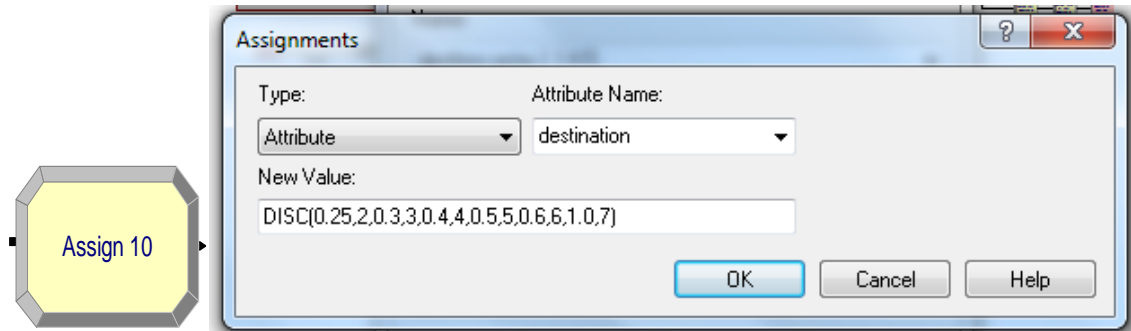
FIGURA 11. Módulo Create



Fuente propia

**Módulo Assign:** En este módulo se asigna el destino de los pasajeros. Mediante un atributo con una distribución discreta de porcentajes acumulados a cada estación, ya que el sistema al evaluar cambios en el número de personas en cola es un sistema de eventos discretos.

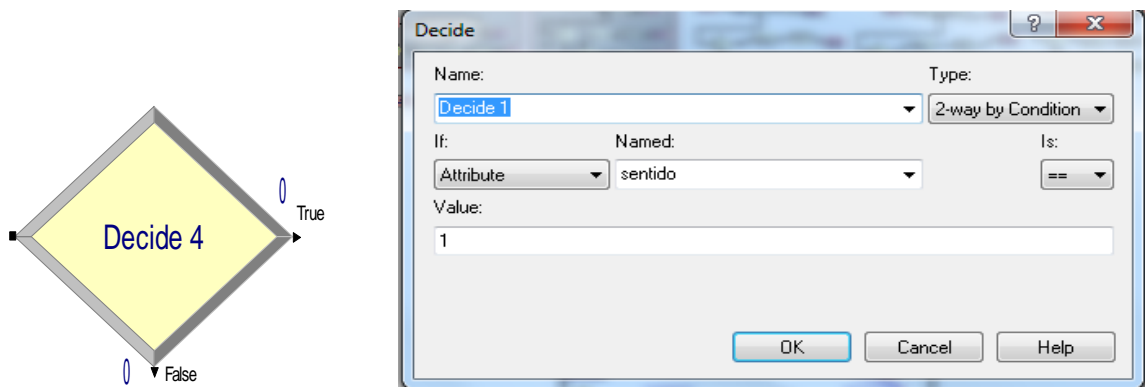
FIGURA 12. Módulo Assign



Fuente propia

**Módulo Decide:** En este modulo se define si el pasajero se dirige a una estación en el sur o en el norte por medio de un atributo al que se nombró "sentido", con valor 1.

FIGURA 13. Módulo Decide

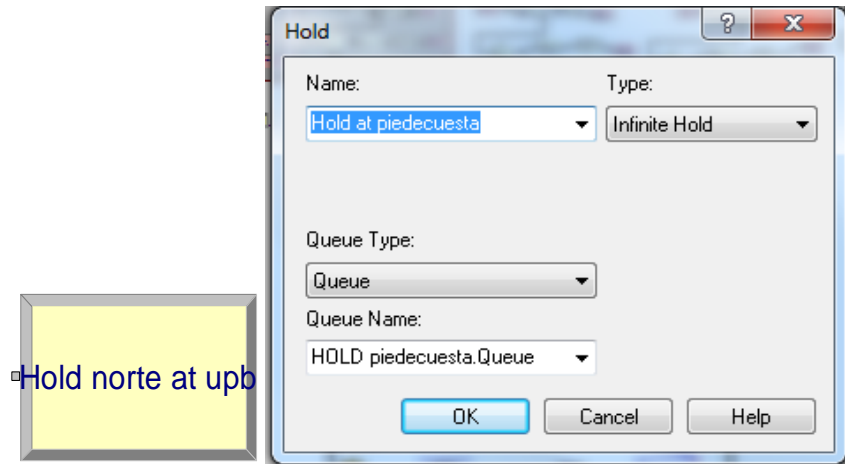


Fuente propia



**Módulo Hold:** En este módulo se crea la cola de los pasajeros que entran a cada estación.

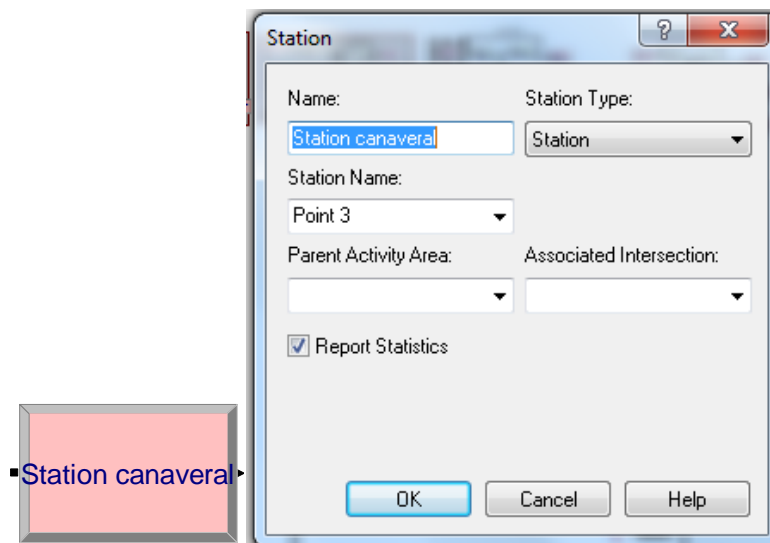
FIGURA 14. Módulo Hold



Fuente propia

**Módulo Station:** En este módulo se crean cada una de las estaciones, definiendo su posición en el modelo. La primera estación ósea La española se denomina “point 1”, la estación Campo alegre seria “point 2” y así sucesivamente.

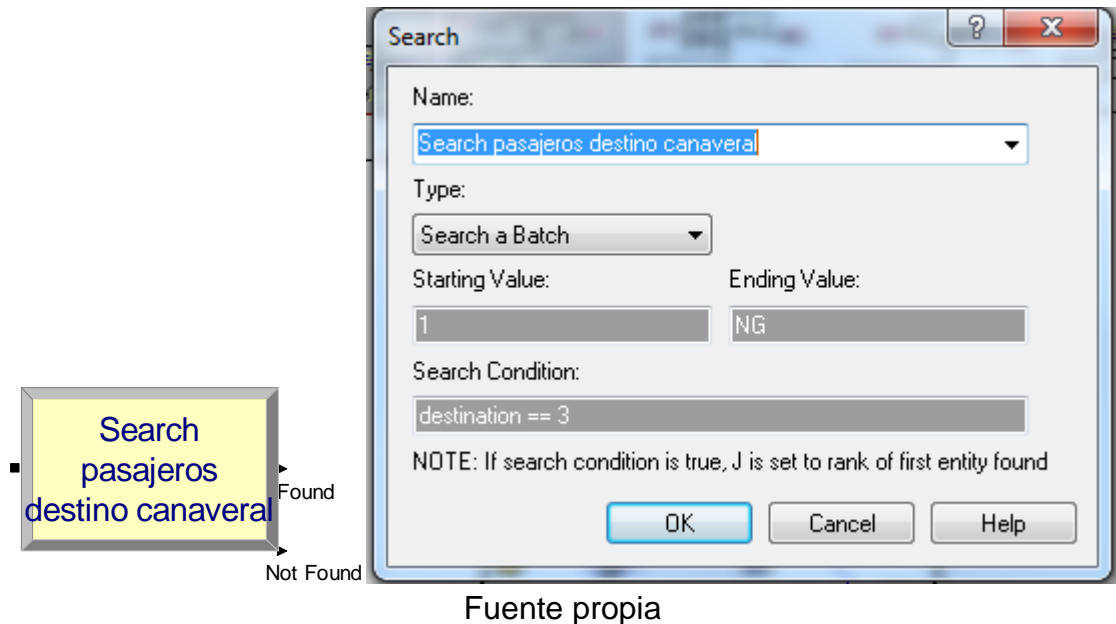
FIGURA 15. Módulo Station



Fuente propia

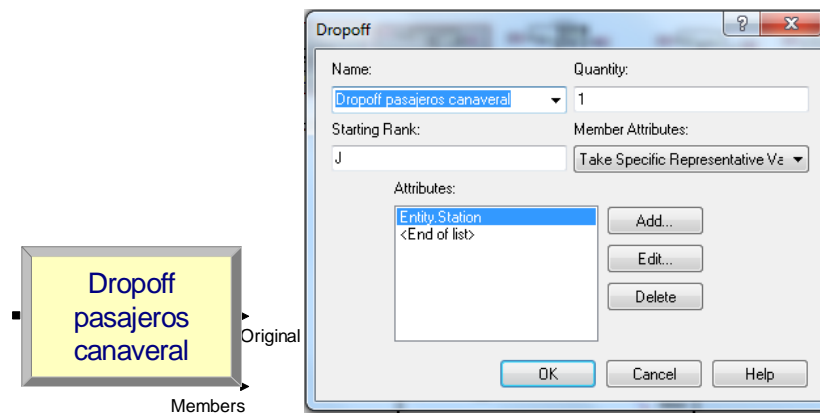
**Módulo Search:** Este módulo se encarga de buscar los pasajeros que tienen como destino su respectiva estación (los que vienen de otras estaciones). Mediante una condición donde se especifica el punto de la estación ala que llegan.

FIGURA 16. Módulo Search



**Módulo Dropoff:** Este módulo hace el proceso para que los pasajeros que vienen de otras estaciones y tienen como destino su respectiva estación salgan del bus.

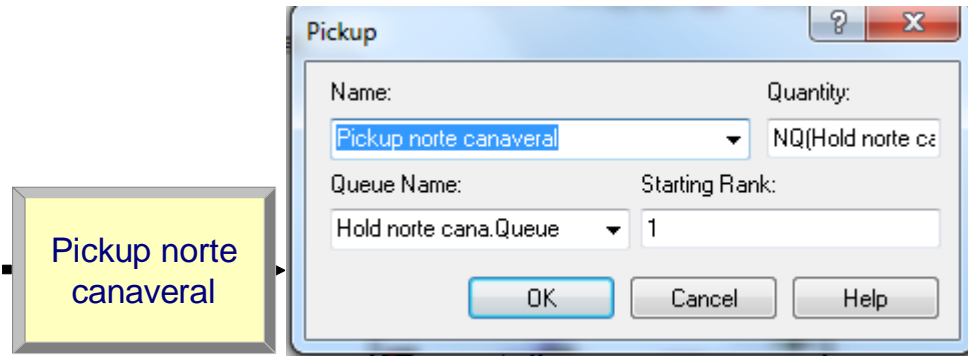
FIGURA 17. Módulo Dropoff



## Fuente propia

**Módulo Pickup:** Este módulo se encarga de recoger los pasajeros que están en cola en la estación respectiva para iniciar su recorrido por la ruta hasta su estación destino.

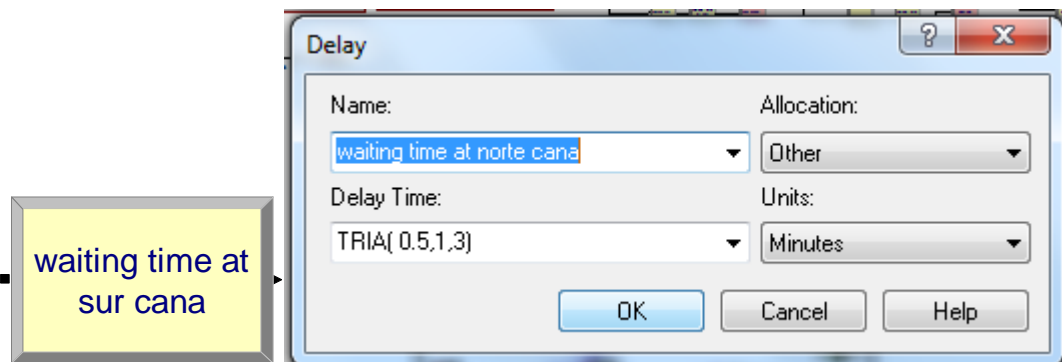
FIGURA 18. Módulo Pickup



## Fuente propia

**Módulo Delay:** En este módulo se establece el tiempo que espera el bus en cada estación.

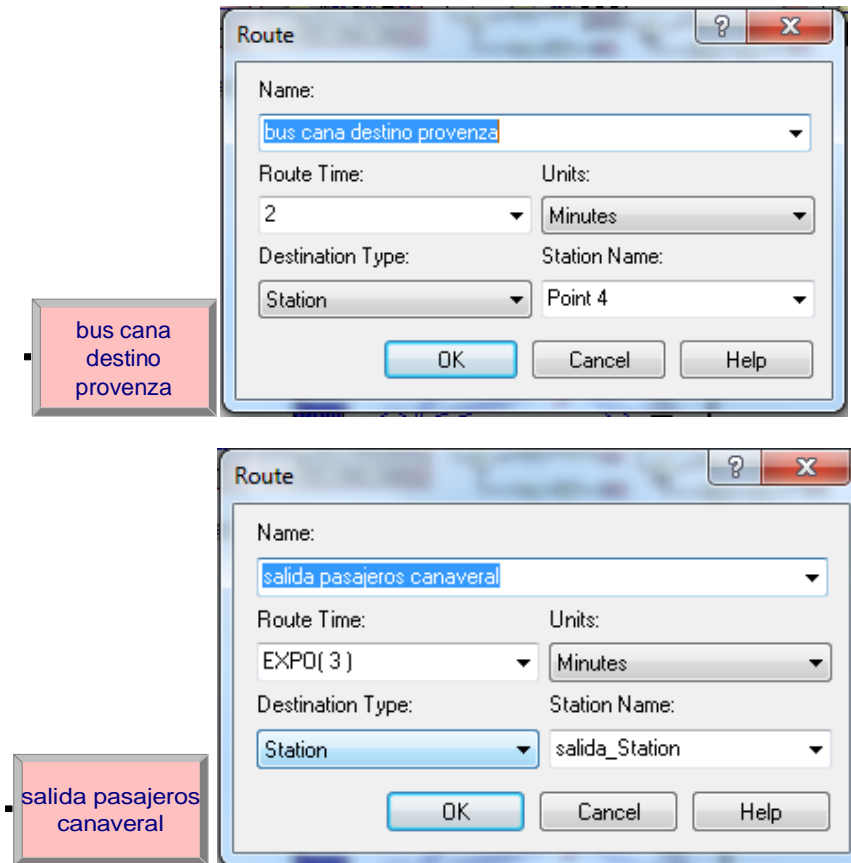
FIGURA 19. Módulo Delay



## Fuente propia

**Módulo Route:** Este módulo se encarga de dirigir el bus hacia la siguiente estación de destino o también para dirigir los pasajeros que van a salir del sistema.

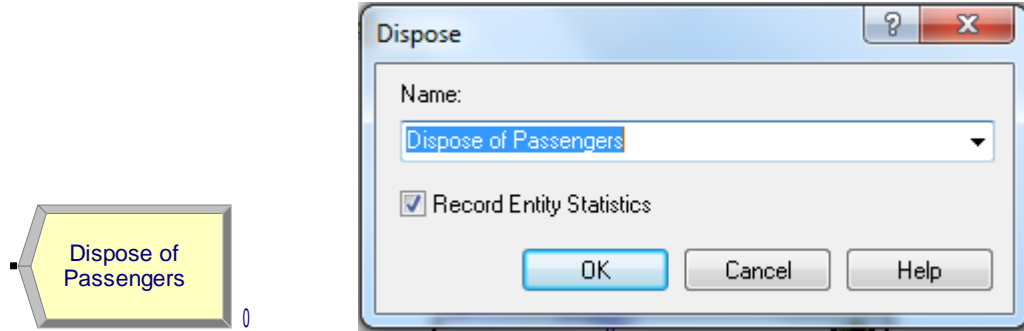
**FIGURA 20. Módulo Route**



Fuente propia

**Módulo Dispose:** Este módulo es donde llegan los pasajeros que salen del sistema representando el punto final del recorrido de cada pasajero.

FIGURA 21. Módulo Dispose



Fuente propia

(Ver anexo B) MODELO COMPLETO

### Numero de replicas

Para establecer el número de replicas, se hicieron pruebas con diferentes números de replicas. Entre más numero de replicas, la desviación estándar de los datos será menor. Al hacer 10 replicas el modelo, se calculo un error del 3% y probando con mas replicas, el error no disminuía, por eso se determino que el numero de replicas era 10.

FIGURA 22.Ecuacion para calcular el error de las replicas

$$e = Z \alpha \sqrt{p \cdot q / N}$$

Fuente propia

Donde N es el número de replicas entonces y “e” es el error

.Tabla 62. Numero de replicas.

<b>N</b>	<b>10</b>
<b>ALFA(α)</b>	97,5%
<b>Z</b>	1,95996398
<b>e</b>	3%

Fuente propia

El error con 10 replicas es menor al 5%, lo que significa que es significativamente viable para esta investigación y es suficiente para establecer que la variabilidad de los datos sea mínima.

### **Limitaciones del modelo**

- El modelo no tiene en cuenta la capacidad máxima de los buses, esta variable se tomo como infinita es decir en el momento que el bus llega a la estación todos los pasajeros que están haciendo cola lo abordan sin tener en cuenta la capacidad.
- No cuenta con una estación de salida de buses, fue complicado añadir esto al modelo ya que no se contaba con el suficiente tiempo para rediseñarlo de nuevo con este criterio.
- Los tiempos de salida de pasajeros se establecieron aleatoriamente, ya que es muy difícil establecer una tasa de salida de pasajeros contundente.

### **Ventajas del modelo**

- Este modelo puede ser utilizado en cualquier otro tipo de sistema integrado de transporte, incluso se puede reprogramar para utilizarlo en cualquier tipo de transporte urbano.
- Muestra de manera rápida y eficaz los resultados de tal forma que son comprensibles para el investigador.
- Su programación no es complicada y es de fácil entendimiento para cualquier persona.

## 8 ANALISIS DE RESULTADOS

### 8.1 TIEMPO PROMEDIO EN COLA

Tabla 63. Tiempos en colas

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Hold norte campo alegre.Queue	3.6645	0,66	2.6319	5.5779	0.00006994	20.5643
Hold norte cana.Queue	3.7251	0,62	2.7900	5.8814	0.00021264	21.8186
Hold norte chorreras.Queue	3.6129	0,62	1.9353	5.0844	0.01503542	19.6317
Hold norte diamante.Queue	3.5542	0,41	2.6418	4.6338	0.00137785	21.9482
Hold norte la estancia.Queue	3.6269	1,07	2.2819	7.5811	0.03186419	21.7296
Hold norte la isla.Queue	3.6079	0,61	2.4269	5.0639	0.00376589	21.3169
Hold norte la rosita.Queue	3.6550	0,67	2.4303	5.3780	0.05749761	13.4515
Hold norte lagos.Queue	3.6875	0,54	2.8578	5.3684	0.00002723	21.8690
Hold norte menzuli.Queue	3.3468	0,36	2.6731	4.0492	0.01254743	20.3599
HOLD norte palmichal.Queue	3.6460	0,56	2.8124	5.4908	0.00010038	21.8947
Hold norte payador.Queue	3.5565	0,43	2.7103	4.4688	0.00374766	21.6824
Hold norte prove.Queue	3.5763	0,46	2.6193	4.4699	0.00005473	21.9659
Hold norte san mateo.Queue	3.2959	0,38	2.7165	4.4318	0.02505124	20.6888
HOLD quebrada seca.Queue	3.8683	0,57	2.8124	5.3727	0.00343437	21.5450
Hold sur campo alegre.Queue	15.0017	0,67	12.5965	15.9310	9.8270	15.9310
Hold sur cana.Queue	4.2584	0,60	3.2768	5.8200	0.00066630	21.4453
Hold sur chorreras.Queue	3.7632	0,58	2.9233	5.2642	0.00132746	22.0264
Hold sur diamante.Queue	4.2944	0,44	3.4913	5.3719	0.00056650	21.7376
Hold sur la estancia.Queue	6.4697	1,98	3.2059	12.3299	0.00990	20.5272
Hold sur la isla.Queue	4.1932	0,66	3.1806	5.9567	0.00542814	21.7449
Hold sur la rosita.Queue	4.2013	0,63	3.4229	6.2957	0.01727114	18.7647
Hold sur lagos.Queue	4.4970	0,69	3.2929	6.3703	0.00133115	22.5329
Hold sur menzuli.Queue	5.5338	1,55	3.7048	10.3234	0.08037306	16.6474
HOLD sur norte la espanolita.Queue	3.5622	0,50	2.6527	5.0363	0.00004890	21.7232
HOLD sur palmichal.Queue	4.6220	0,78	3.4060	6.9169	0.01516574	18.5577
Hold sur payador.Queue	4.3561	0,62	3.4062	6.1649	0.00125218	21.2268
Hold sur prove.Queue	4.3376	0,60	3.3653	5.8082	0.00021428	22.0709
Hold sur san mateo.Queue	3.7346	0,57	2.8893	5.3096	0.00144749	22.0154
<b>Other</b>						

Fuente propia

En la tabla 63 se puede observar, que los tiempos en cola promedio oscilan de 3 a 6 minutos, pero en la cola que va al sur en la estacion Campo alegre se reporta un tiempo promedio en cola de 15 minutos, el cual es alto ya que los tiempos de

trayecto entre estaciones no superan los 5 minutos. Estos tiempos en cola se vieron afectados porque en el modelo no se tuvo en cuenta los tiempos de los semaforos, trancones, accidentes, etc. Aunque se evidencia datos maximos de mas de 20 minutos en cola, los cuales hay que tener en cuenta porque esto pueden representar los momentos con mas demanda por parte de los usuarios. Ya que son variables muy dificiles de medir y estudiar al intentar establecer una tasa de incidencia de estos. Por lo tanto es nescesario establecer una mejora que disminuya esos tiempos en cola.

## 8.2 NUMERO PROMEDIO DE PASAJEROS EN COLA EN COLA

Tabla 64. Numero de pasajeros en cola

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
HOLD Initial Point.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hold norte campo alegre.Queue	0.9929	0,26	0.6580	1.7663	0.00	8.0000
Hold norte cana.Queue	8.8809	1,38	7.2936	13.6253	0.00	64.0000
Hold norte chorreras.Queue	0.9354	0,18	0.4731	1.3276	0.00	7.0000
Hold norte diamante.Queue	3.7475	0,54	2.4147	5.2552	0.00	29.0000
Hold norte la estancia.Queue	0.3870	0,16	0.1902	0.9611	0.00	8.0000
Hold norte la isla.Queue	0.9868	0,21	0.4440	1.3679	0.00	9.0000
Hold norte la rosita.Queue	0.2399	0,05	0.1275	0.3760	0.00	4.0000
Hold norte lagos.Queue	8.1797	1,36	5.9068	12.2876	0.00	64.0000
Hold norte menzuli.Queue	0.7213	0,08	0.5001	0.8516	0.00	6.0000
HOLD norte palmichal.Queue	10.2060	1,48	7.6143	13.6861	0.00	69.0000
Hold norte payador.Queue	2.7079	0,44	1.9510	3.8063	0.00	22.0000
Hold norte prove.Queue	6.2946	0,93	4.4636	8.3338	0.00	43.0000
Hold norte san mateo.Queue	0.2380	0,05	0.1237	0.3704	0.00	4.0000
HOLD quebrada seca.Queue	3.4080	0,58	2.3147	5.0145	0.00	33.0000
Hold sur campo alegre.Queue	0.0903	0,01	0.08189053	0.1400	0.00	2.0000
Hold sur cana.Queue	5.9449	0,94	4.4326	8.4781	0.00	55.0000
Hold sur chorreras.Queue	6.6905	1,15	4.7995	10.0799	0.00	52.0000
Hold sur diamante.Queue	5.1819	0,47	4.3317	6.4462	0.00	35.0000
Hold sur la estancia.Queue	0.2528	0,10	0.0983	0.4407	0.00	3.0000
Hold sur la isla.Queue	2.6476	0,39	1.9840	3.5872	0.00	22.0000
Hold sur la rosita.Queue	0.9711	0,26	0.6008	1.8890	0.00	10.0000
Hold sur lagos.Queue	4.0398	0,71	2.6526	5.9810	0.00	30.0000
Hold sur menzuli.Queue	0.2259	0,02	0.1846	0.2753	0.00	3.0000
HOLD sur norte la espanolita.Queue	16.7452	2,38	13.0604	23.6977	0.00	107.00
HOLD sur palmichal.Queue	0.9724	0,15	0.7735	1.3834	0.00	9.0000
Hold sur payador.Queue	3.2913	0,47	2.5363	4.3733	0.00	22.0000
Hold sur prove.Queue	10.3643	1,44	8.2342	13.6896	0.00	71.0000
Hold sur san mateo.Queue	4.8703	0,70	3.5153	6.2475	0.00	38.0000

Fuente propia



En promedio el número de pasajeros en cola oscila entre 0 y 17 pasajeros en todas las estaciones. Esto se debe a que no se tuvo en cuenta la capacidad máxima de cada bus articulado, lo que significa que cada pasajero que esté haciendo cola en el momento que llega el bus articulado lo aborda.

No se puede olvidar que en los datos máximos que arroja el modelo, se observa datos de hasta 107 personas haciendo cola en la estación La española, dato bastante significativo pues esta es la estación donde inicia el recorrido. Otra estación con un alto número de pasajeros en cola es Provenza, que muestra 43 pasajeros en la cola con dirección norte y 71 pasajeros en la cola con dirección sur, ya que la estación Provenza es una estación de transferencia por lo que conecta la ruta T3 con más rutas.

## 9 ALTERNATIVA DE MEJORA

Como alternativa de mejora se propone aumentar la frecuencia de salida de buses en una tasa que no genere costos, pudiendo utilizar los recursos con los que se cuentan sin recurrir a aumentarlos.

Actualmente para la ruta T3 de Metrolínea se cuenta con 29 buses articulados, entre estos se reparte el total de la demanda diaria de la ruta T3, también se cuenta con 29 operadores de los buses que deben cumplir un horario de 8 horas cada uno, la hora de ingreso de cada operador es diferente dependiendo de la hora de su primer turno. El turno inicia en la estación la española y termina cuando el recorrido regresa de nuevo a esta estación, esta operación dura en promedio 63 minutos, según la investigación realizada en este proyecto. El operador y el bus tienen un nuevo turno cuando ya los otros buses que iban después de han terminado sus turnos.<sup>24</sup>

Durante esta investigación se pudo estimar la tasa de entrada de buses al sistema con la toma de tiempos realizada, la cual es de 4.40 minutos por bus, ósea 280 segundos y con la simulación en el software arena se determinó que en el tiempo de 63 minutos que es cuando el primer bus termina el turno se encuentran, 19 buses circulando, ósea que en ese momento hay 10 buses esperando turno.

Para proponer un aumento de frecuencia de buses se tuvieron en cuenta estos datos buscando que no se afectara la cantidad de buses con la que se cuentan, ni tener que recurrir a contratar más operadores.

Por eso se propone aumentar la frecuencia de buses en 1 minuto para que así la tasa de entrada de buses sea de 3.40 minutos, ósea 220 segundos, así en el tiempo de 63 minutos se utilizarían 23 buses articulados quedando 6 buses en espera y así darle un buen descanso al operador y al bus.

A continuación los resultados de la alternativa propuesta:

---

<sup>24</sup> Información suministrada por el director de operaciones de Metrolínea, Ingeniero Oscar Caselles

## 9.1 TIEMPO PROMEDIO EN COLA

tabla 65.Tiempos en cola alternativa de mejora

Replications: 10		Time Units: Minutes					
Queue							
Time							
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
Hold norte campo alegre.Queue	2.9136	0,30	2.2500	3.6303	0.00019155	14.7460	
Hold norte cana.Queue	3.0259	0,36	2.4183	3.8988	0.00035038	18.9031	
Hold norte chorreras.Queue	3.4215	0,29	2.7313	3.9720	0.00738787	18.8696	
Hold norte diamante.Queue	2.9645	0,36	2.3126	3.9818	0.00001897	18.9046	
Hold norte la estancia.Queue	2.7566	0,44	1.4284	3.3997	0.02710216	15.0613	
Hold norte la isla.Queue	3.0760	0,45	2.1016	4.0241	0.00279604	16.7402	
Hold norte la rosita.Queue	2.9741	0,49	2.0133	4.2596	0.01160955	13.3650	
Hold norte lagos.Queue	2.9262	0,36	2.2339	3.8254	0.00005760	18.7598	
Hold norte menzuli.Queue	3.0357	0,42	2.1228	4.1132	0.00206436	17.3625	
HOLD norte palmichal.Queue	2.9768	0,32	2.3945	3.8296	0.00106026	18.8282	
Hold norte payador.Queue	3.1130	0,36	2.3324	3.7619	0.00069278	18.4225	
Hold norte prove.Queue	2.9988	0,35	2.3975	3.9425	0.00126161	18.9005	
Hold norte san mateo.Queue	3.4082	1,00	2.2680	6.0064	0.04849025	14.4732	
HOLD quebrada seca.Queue	3.2573	0,35	2.5615	3.9496	0.00153801	18.8663	
Hold sur campo alegre.Queue	15.1521	0,25	14.6630	15.5257	14.6630	15.5257	
Hold sur cana.Queue	3.9590	0,41	3.1491	4.7149	0.00029323	19.0190	
Hold sur chorreras.Queue	3.3583	0,37	2.4907	4.1885	0.00195007	19.2284	
Hold sur diamante.Queue	3.8434	0,35	2.9176	4.6097	0.00127077	19.0697	
Hold sur la estancia.Queue	5.7282	1,08	2.6946	7.3684	0.00178887	17.2448	
Hold sur la isla.Queue	3.7255	0,42	2.7762	4.9192	0.00452166	18.6444	
Hold sur la rosita.Queue	3.8848	0,46	2.8601	5.0903	0.00440134	16.5577	
Hold sur lagos.Queue	3.9395	0,41	2.9784	4.7382	0.00013068	18.9069	
Hold sur menzuli.Queue	5.2152	1,20	3.5421	8.0619	0.06206225	17.3614	
HOLD sur norte la espanolita.Queue	3.1593	0,47	2.3686	4.3465	0.00021580	18.9212	
HOLD sur palmichal.Queue	4.2226	0,66	2.8259	5.5158	0.04429912	17.2087	
Hold sur payador.Queue	3.6671	0,38	2.9458	4.7570	0.00028946	18.6805	
Hold sur prove.Queue	3.9363	0,34	3.3206	4.8616	0.00004028	18.6264	
Hold sur san mateo.Queue	3.2710	0,31	2.5814	3.8623	0.00144919	18.6540	
Other							

Fuente propia

En la tabla 65 se observa que al implementar esta alternativa en el modelo de simulación se reduce en algunas estaciones el tiempo promedio en cola en 1 minuto, pero por otra parte en otras se mantiene el mismo tiempo que el modelo inicial, lo que muestra lo difícil que es tratar con este tipo de problemas de colas y transporte, que aunque se mejoró un poco sigue mostrando falencias.

En cuantos a los datos máximos se observa que mejoraron significativamente, pues en el modelo inicial estos tiempos superaban los 20 minutos, aquí se observa que no superan los 19 minutos, por lo tanto se puede afirmar que esta

alternativa aunque no mejora en un 100% el problema si ayuda a mejorar las condiciones del sistema.

## 9.2 NÚMERO PROMEDIO DE PASAJEROS EN COLA

Tabla 66. Numero de pasajeros en cola alternativa de mejora

Queue						
Other						
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
HOLD Initial Point.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hold norte campo alegre.Queue	0.7905	0,07	0.6728	0.9640	0.00	7.0000
Hold norte cana.Queue	7.1407	0,99	5.5233	9.6578	0.00	56.0000
Hold norte chorreras.Queue	0.9148	0,11	0.6405	1.1018	0.00	9.0000
Hold norte diamante.Queue	2.9787	0,35	2.3444	3.9006	0.00	23.0000
Hold norte la estancia.Queue	0.3639	0,10	0.1676	0.5855	0.00	7.0000
Hold norte la isla.Queue	0.8561	0,16	0.5347	1.2538	0.00	9.0000
Hold norte la rosita.Queue	0.1996	0,04	0.1461	0.2709	0.00	2.0000
Hold norte lagos.Queue	6.5213	0,90	4.9334	9.1366	0.00	54.0000
Hold norte menzuli.Queue	0.6627	0,15	0.3774	0.9330	0.00	7.0000
HOLD norte palmichal.Queue	8.6709	1,11	6.9873	11.3850	0.00	65.0000
Hold norte payador.Queue	2.4999	0,31	1.9257	3.1787	0.00	21.0000
Hold norte prove.Queue	5.3457	0,52	4.4934	6.4661	0.00	41.0000
Hold norte san mateo.Queue	0.2142	0,05	0.1346	0.3322	0.00	3.0000
HOLD quebrada seca.Queue	2.9446	0,37	2.0482	3.8154	0.00	24.0000
Hold sur campo alegre.Queue	0.08417813	0,00	0.08146136	0.08625385	0.00	1.0000
Hold sur cana.Queue	5.4196	0,61	4.3037	6.6532	0.00	37.0000
Hold sur chorreras.Queue	6.0986	0,77	4.2171	8.3080	0.00	49.0000
Hold sur diamante.Queue	4.6972	0,36	3.9712	5.5398	0.00	35.0000
Hold sur la estancia.Queue	0.2529	0,05	0.1653	0.4231	0.00	4.0000
Hold sur la isla.Queue	2.3307	0,33	1.6377	3.2521	0.00	19.0000
Hold sur la rosita.Queue	0.9746	0,12	0.6356	1.2424	0.00	9.0000
Hold sur lagos.Queue	3.4805	0,42	2.3496	4.1221	0.00	29.0000
Hold sur menzuli.Queue	0.2636	0,06	0.1255	0.4032	0.00	3.0000
HOLD sur norte la espanolita.Queue	14.8808	2,25	11.2125	20.7491	0.00	97.0000
HOLD sur palmichal.Queue	0.7980	0,16	0.5409	1.2870	0.00	7.0000
Hold sur payador.Queue	2.7689	0,38	2.0642	3.9666	0.00	24.0000
Hold sur prove.Queue	9.5739	0,82	7.9519	11.1594	0.00	66.0000
Hold sur san mateo.Queue	4.6023	0,59	3.8007	6.3457	0.00	36.0000

Fuente propia

Se observa en la tabla 66 que la disminución de número promedio de pasajeros en cola se da en todas las estaciones en aproximadamente 2 personas, en cuanto a los datos máximos vemos una significativa disminución, por ejemplo en la estación la españolita se databa 107 pasajeros en cola ahora data 97.

Es importante reiterar que tratar de mejorar los problemas del sistema no es tarea fácil, aunque con este modelo de simulación se haya logrado cambiar en un pequeño porcentaje las cosas, es importante profundizar en este tema ya no en un

nivel de trabajo de grado, si no con un grupo de profesionales, en unión con la empresa Metrolínea S.A.

## 10 CONCLUSIONES

- Al observar los resultados del modelo de simulación de la ruta T3 de Metrolínea en el software Arena, se concluye que funciona y puede ser aplicado para toma de decisiones en el sistema real.
- En la toma de tiempos en las estaciones se estableció la tasa de entrada de los buses de 4.40 minutos por bus, 280 segundos y la tasa de llegada de pasajeros por cada estación datos importantes para el modelo de simulación.
- Con el cuestionario realizado en las estaciones se estableció el destino de los pasajeros cuando usan la ruta T3, obteniendo 2447 datos por todas las estaciones, los suficientes para darle a esta investigación confiabilidad.
- Por medio de la toma de tiempos se obtuvieron 385 datos para los tiempos de espera de un bus en cada estación. Este dato fue muy importante en la investigación y ayudo a completar el modelo con este dato.
- Los resultados arrojados por el modelo de simulación de la ruta T3 de Metrolínea mostraron tiempos promedio en cola QUE tienden a los 3 minutos, sin embargo se ven valores máximos que tienden a 20 minutos que afectan el libre funcionamiento del sistema. Lo mismo ocurrió con el número promedio de pasajeros en cola, observando los valores máximos se encontraron 107 pasajeros en cola en la estación la Españolita y 71 en la cola sur de la estación Provenza
- La alternativa propuesta para intentar mejorar el sistema mostró en pequeño porcentaje disminución en los tiempos en cola y el número de pasajeros en el sistema, sin embargo se evidencia lo difícil que es tratar de mejorar sistemas como el de la ruta T3 que ha sido motivo de estudio desde la era moderna.

## 11 RECOMENDACIONES

- Es recomendable darle continuidad a esta investigación, pero no en un nivel de pregrado, sino con un grupo de profesionales y con la colaboración de la empresa se pueda estudiar más a fondo las falencias y proponer un modelo de simulación de todo el Sistema Integrado de transporte Metrolínea.
- Para siguientes investigaciones se debe trabajar en las limitaciones del modelo de simulación, para que este sea más completo y así su implementación sea más válida.
- Se recomienda utilizar la metodología usada para diseñar este modelo en otras rutas del Sistema Integrado de transporte Metrolínea para conocer sus fallas e ir dándole un mejoramiento continuo al sistema.
- Para otra investigación se pueden trabajar con más variables, para proponer más alternativas de mejora; se puede trabajar con los tiempos de espera de buses en las estaciones, la capacidad máxima de los buses y tiempos en los que se detiene el recorrido como en semáforos o trancones.

## 12 BIBLIOGRAFÍA

ARANA, Diana Margarita. Herramienta para el diseño óptimo de la red de rutas en sistemas de transporte masivo con aplicación a TransMilenio S.A". Tesis de Maestría, Universidad de los Andes, Julio 2004

CASELLI GISMONDI, Hugo. Manual de simulación en Arena. 2da edición. Hugo Caselli. 2009. p.9

CHANCA CACERES, José Antonio. CASTELLANOS, José. Simulación microscópica del tráfico urbano y su aplicación en un área de la ciudad de Zaragoza. 10 h. XXV jornadas de automática ciudad real, del 8 al 10 de septiembre de 2004.

CHERNOFF, H. LEHMANN E.L. The use of maximum likelihood estimates in tests for goodness-of-fit. The Annals of Mathematical statistics 25: McGraw-Hill pp. 579–586.

CHÍO, Juan Carlos. “Metrolínea es el culpable de todos los males, incluso de lo que no tenemos la culpa”. Vanguardia liberal, Bucaramanga: (30 de septiembre de 2012); P.19A

COSS BU, Raúl. Definición de simulación. En: COSS BU, Raúl. Simulación: un enfoque practico. México DF: Editorial Limusa, 2003, p. 11-14

ESCOBAR, Diego. Simulación del Servicio del Trolebús. Quito, 2009, 131 h. Trabajo de grado ( Ingeniero en informática). Universidad Tecnológica Equinoccial. Facultad de ingenierías. Escuela de informática y ciencias de La computación

HILLIER, Frederick S. LIEBERMAN, Gerald J. Introducción a la investigación de operaciones. 2a.edicion. México: McGraw-Hill, 1989. 906 p. ISBN 968-451-447-6.

KELTON, W. David. SADOWSKI, Randall P. STURROCK, David T. Simulación con Software Arena.4a.edicion. México: McGraw-Hill, 2008, 631 p. ISBN 978-970-10-6515-0.

RIAÑO, Germán. ACERO, Juan Camilo. Implementación y análisis de un modelo estocástico de despacho de vehículos de transporte masivo. En: Revista de ingenierías. No. 21 (mayo, 2005); pp. 6-18. ISSN 0121-4993



### 13 WEBGRAFIA

ALEGSA. Diccionario de informática [en línea]. <  
<http://www.alegsa.com.ar/Dic/sistema.php> > [citado 15 de mayo del 2013].

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN: Participantes en el proyecto visión Colombia II Centenario [en línea]. <  
[http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/vision%20colombia%20ii%20centenario\\_2019%20dnp\\_2005.pdf](http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/vision%20colombia%20ii%20centenario_2019%20dnp_2005.pdf) > [citado 8 abril del 2013].

ISDEFE. Simulación de sistemas discretos. [en línea]  
<<http://jmonzo.net/blogeps/simulacionsistemasbn.pdf> > [citado en 30 de enero de 2013]

MINISTERIO DE TRANSPORTE. Diagnostico del sector transporte 2008 [en línea].  
<[http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Estadisticas/DIAGNOSTICO\\_TRANSPORTE\\_2008.pdf](http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Estadisticas/DIAGNOSTICO_TRANSPORTE_2008.pdf)> [citado 8 abril del 2013].

REDACCIÓN VANGUARDIA ONLINE. Arrancó inauguración de Metrolínea [en línea]. <  
<http://www.vanguardia.com/historico/48967>> [citado 9 abril del 2013].

SIERRA, Juan Carlos. Algo rueda mal en Colombia: El proyecto que buscaba darle un timonazo a la movilidad en las capitales del país no ha tenido el éxito esperado y más gente se bajó del bus para ir en vehículo particular. En: Semana [en línea]. (2 de febrero, 2013). Disponible en <  
<http://www.semana.com/nacion/articulo/algo-rueda-mal-colombia/331435-3>> [citado en 4 de febrero de 2013]

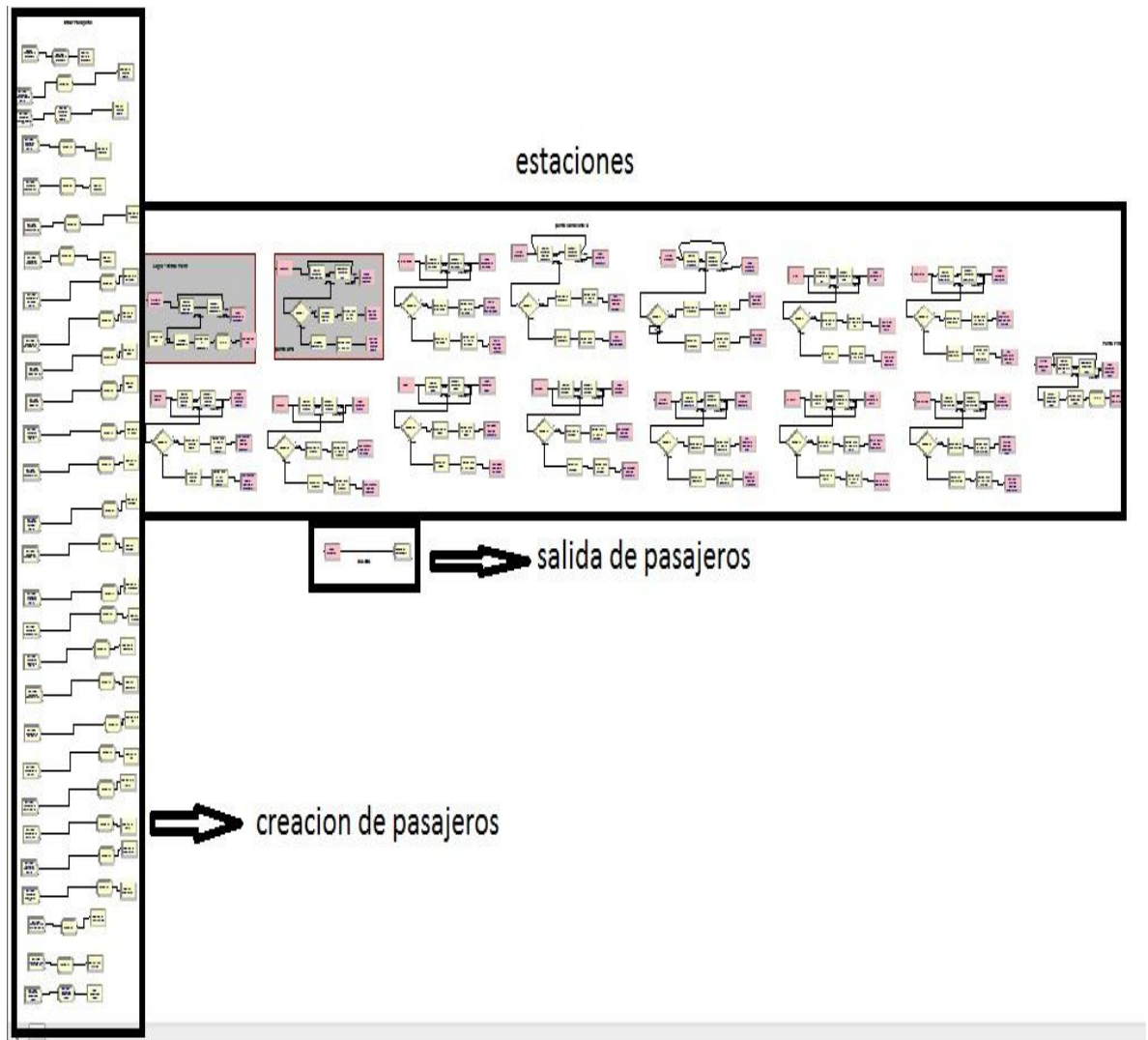
UNIVERSIDAD CAECE. Modelos y simulación 1. [en línea]. <<http://caece-mys1.wikispaces.com/Modelos+determin%C3%ADsticos+y+estoc%C3%A1sticos>> [citado en 30 de enero de 2013]

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO. Simulación de Sistemas Continuos. Notas de Clase [en línea]. <[http://www.fceia.unr.edu.ar/control/ssc/notas\\_ssc.pdf](http://www.fceia.unr.edu.ar/control/ssc/notas_ssc.pdf)> [citado en 30 de enero de 2013]

## 14 ANEXOS



## ANEXO B. MODELO COMPLETO



ANEXO C. CD Modelo de simulación en software Arena.

Nota: para poder ver el modelo de simulación se necesita la licencia profesional del software Arena, que se encuentra en el laboratorio de simulación K 206.