



PROYECTO DE GRADO

Presentado ante la ilustre UNIVERSIDAD DE LOS ANDES como requisito final para
obtener el Título de INGENIERO DE SISTEMAS

DESARROLLO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DE LA LÍNEA 2 DEL TROLEBÚS MÉRIDA

Por

Br. Leyvic Maria Quintero D'Alessio

Tutor: Prof. Magdiel Ablan Bortone

Tutor: Prof. Douglas Eduing Rivas Olivo

Noviembre 2017

©2017 Universidad de Los Andes Mérida, Venezuela

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY - NC - SA 3.0 VE)

Desarrollo de un Modelo de Simulación de la Línea 2 del Trolebús Mérida

Br. Leyvic Maria Quintero D'Alessio

Proyecto de Grado — Investigación de Operaciones, 71 páginas

Resumen: Se presenta la elaboración de un modelo de simulación del comportamiento de los usuarios de la Línea 2 de TROMERCA, utilizando Simulación de Eventos Discretos. Para la construcción del modelo se revisó la documentación del proyecto de la Línea 2, se observó y analizó el comportamiento de los usuarios del sistema de transporte público existente por la ruta donde se construirá la Línea 2: sector Centro - Hechicera. Se realizó el diseño y la implementación del modelo de simulación de la Línea 2 utilizando el software de simulación AnyLogic en su versión PLE para estudiantes. Este modelo permite evaluar el tiempo entre salidas de las unidades de transporte y estimar la cantidad de unidades necesarias para satisfacer la demanda esperada de usuarios; así como también le permitirá a la empresa TROMERCA evaluar el desempeño de la futura Línea de transporte propuesta y contribuirá a la toma de decisiones durante la puesta en servicio de la misma.

Palabras clave: modelo, simulación, Simulación de Eventos Discretos, sistema de transporte masivo.

Índice

Índice de Tablas	vi
Índice de Figuras	viii
Agradecimientos	x
1 Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del Problema	3
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4
1.5 Metodología	5
2 Marco teórico y conceptual	6
2.1 Modelado y Simulación	6
2.2 Modelo	6
2.3 Simulación por computador	6
2.4 Sistema Real	7
2.5 Simulación por Eventos Discretos	7
2.6 Software AnyLogic	7
2.7 Software estadístico R	9
2.8 Software EasyFit	9
2.9 Sistema de Transporte Masivo	9

2.10	La empresa TROMERCA	10
2.11	Línea 2 del Sistema de Transporte Masivo de la ciudad de Mérida . . .	10
2.12	Características principales de la Línea 2	11
2.12.1	Unidades de transporte	11
2.12.2	Estaciones	13
2.12.3	Vialidad	17
2.12.4	Semáforos	17
3	Proceso de recolección de datos y análisis	19
3.1	Recolección de datos	19
3.1.1	Encuesta	19
3.1.2	Conteo de pasajeros	21
3.2	Análisis de datos	23
3.2.1	Análisis de las gráficas	24
3.2.2	Ajuste de los datos a las distribuciones	28
4	Diseño e implementación del modelo de simulación	30
4.1	Marcación del espacio de trabajo	31
4.2	Ruta vehicular	31
4.3	Estaciones	32
4.4	Unidades de transporte	33
4.5	Usuarios	34
4.6	Implementación del modelo	35
4.6.1	Flujograma de procesos	35
4.6.2	Datos e instrucciones del modelo	38
4.7	Interfaz de usuario	46
5	Análisis de resultados	51
5.1	Tiempo de recorrido	52
5.1.1	Tiempo de recorrido sentido Hechicera - Centro	52
5.1.2	Tiempo de recorrido sentido Centro - Hechicera	53
5.1.3	Tiempo de recorrido total Hechicera - Centro - Hechicera	54

5.2	Tiempo de espera de los usuarios en las estaciones de la Línea 2	55
5.3	Porcentaje de ocupación de las unidades de transporte en las estaciones de la Línea 2	56
5.4	Longitudes de cola de usuarios en cada una de las estaciones de la Línea 2	58
5.5	Cantidad de usuarios que demandan el servicio en cada una de las estaciones de la Línea 2	59
5.6	Escenarios	62
6	Conclusiones	64
6.1	Recomendaciones	65
	Bibliografía	66
A	Herramientas para la recolección y análisis de datos	68
A.1	Cuestionario de preguntas	68
A.2	Formulario de recolección de datos para el conteo de pasajeros	69
B	Datos para el modelo	70
B.1	Data del conteo de pasajeros	70

Índice de Tablas

2.1	Principales características de las estaciones de la Línea 2	16
2.2	Distancia entre estaciones de la Línea 2	17
2.3	Semáforos de la Línea 2	18
3.1	Datos poblacionales de las parroquias (INE, 2011)	20
3.2	Muestra por parroquia	21
3.3	Paradas del sistema de transporte público de la ciudad de Mérida seleccionadas para el conteo de pasajeros	23
3.4	Resultados de la encuesta por parroquias	24
3.5	Ajustes de distribuciones sentido Centro - Hechicera, periodo: 7:00 am a 6:00 pm	28
3.6	Ajustes de distribuciones sentido Hechicera - Centro, periodo: 7:00 am a 6:00 pm	29
4.1	Distancia entre estaciones para el modelo	32
4.2	Tiempo de carga y descarga de las unidades de transporte en cada estación	43
5.1	Tiempo de recorrido de la unidad de transporte sentido Hechicera - Centro	52
5.2	Tiempo de recorrido de la unidad de transporte sentido Centro - Hechicera	53
5.3	Tiempo de recorrido total Hechicera - Centro - Hechicera	54
5.4	Tiempo de espera de los usuarios en las estaciones en sentido Hechicera - Centro	55
5.5	Tiempo de espera de los usuarios en las estaciones en sentido Centro - Hechicera	55

5.6	Porcentaje de ocupación de las unidades de transporte en las estaciones en sentido Hechicera - Centro	56
5.7	Porcentaje de ocupación de las unidades de transporte en las estaciones en sentido Centro - Hechicera	57
5.8	Longitudes de cola de usuarios en cada una de las estaciones en sentido Hechicera - Centro	58
5.9	Longitudes de cola de usuarios en las estaciones sentido Centro - Hechicera	59
5.10	Cantidad de usuarios que demandan el servicio en las estaciones en sentido Hechicera - Centro	60
5.11	Cantidad de usuarios que demandan el servicio en las estaciones en sentido Centro - Hechicera	61
5.12	Tiempo de espera de los usuarios en la estación Sor Juana Inés (en sentido Hechicera - Centro) según el tiempo entre salidas de las unidades de transporte	62
B.1	Pasajeros que demandan el servicio de transporte público en un día en las paradas en sentido Centro - Hechicera	70
B.2	Pasajeros que demandan el servicio de transporte público en un día en las paradas en sentido Hechicera - Centro	71

Índice de Figuras

2.1	Ruta y estaciones de la Línea 2 (TROMERCA, 2017)	11
2.2	Autobús Yutong (YUTONG, 2017)	12
2.3	Trolebús (TROMERCA, 2017)	13
2.4	Estación Domingo Peña (TROMERCA, 2017)	14
2.5	Diseño de la estación Tipo (TROMERCA, 2017)	14
2.6	Diseño de la estación Centro (TROMERCA, 2017)	15
2.7	Diseño de la estación de Transferencia (TROMERCA, 2017)	15
2.8	Diseño de la estación Terminal (TROMERCA, 2017)	16
3.1	Comportamiento de la demanda de pasajeros, paradas sentido Hechicera - Centro	25
3.2	Comportamiento de la demanda de pasajeros, paradas sentido Centro - Hechicera	27
4.1	Marcación del espacio de trabajo	31
4.2	Características de la estación en el modelo	33
4.3	Características de la unidad de transporte para del modelo	34
4.4	Usuario en 3D para el modelo	34
4.5	Características de la persona	35
4.6	Secuencia de actividades de los Usuarios para abordar la unidad de transporte	36
4.7	Secuencia de actividades de los Usuarios al bajar de la unidad de transporte	37
4.8	Secuencia de actividades de los Buses	37
4.9	Flujograma Persona - Buses	38
4.10	Propiedades del bloque PedSource	39

4.11	Propiedades del bloque PedWait	39
4.12	Propiedades del bloque PedExit	40
4.13	Propiedades del bloque Queue	40
4.14	Propiedades del bloque CarSource	41
4.15	Propiedades del bloque CarMoveTo de decisión	41
4.16	Propiedades del bloque SelectOutput	42
4.17	Propiedades del bloque CarMoveTo para dirigirse hacia las puertas	42
4.18	Propiedades del bloque Delay	43
4.19	Propiedades del bloque Pickup	44
4.20	Propiedades del bloque Dropoff	45
4.21	Propiedades del bloque PedEnter	46
4.22	Propiedades del bloque PedGoTo	46
4.23	Menú del modelo de simulación de la Línea 2	47
4.24	Ventana de parámetros en el modelo	47
4.25	Ventana de parámetros en la simulación	48
4.26	Ventana de estadísticas por estación de la Línea 2	49
4.27	Estadísticas detalladas por estación de la Línea 2	50
4.28	Estadísticas globales	50
5.1	Tiempo de espera de las personas en la estación Sor Juana Inés vs Tiempo entre salidas de las unidades de transporte	63
A.1	Cuestionario de preguntas	68
A.2	Formulario de recolección de datos para el conteo de pasajeros	69

Agradecimientos

A Dios todo poderoso, por escucharme y brindarme sus bendiciones siempre que lo necesito.

A mis padres, por darme la vida, brindarme su amor, apoyarme incondicionalmente y darme la mejor educación para ser quien soy hoy.

A mi hermano, por ser ese compañero fiel y llenar mi vida de alegría.

A toda mi familia, por siempre estar presente cuando los necesito.

A mi novio, por apoyarme, cuidarme y ayudarme a ser una mejor persona.

A la familia Pacheco Rodríguez, especialmente al Sr. Wilmer y a la Sra. Marleny por hacerme parte de su familia y brindarme su cariño siempre.

A la Profesora Magdiel, por ser una gran guía y prestar su ayuda para la elaboración de este proyecto.

A mis amigos, por su apoyo durante la carrera y por su cariño incondicional.

A la ilustre Universidad de los Andes, por ser la casa de estudios que me acogió durante mi carrera.

A la Empresa TROMERCA, especialmente al Arq. Angel Mendoza por la oportunidad de realizar este proyecto.

A todas aquellas personas que no haya mencionado pero que han contribuido con mi formación y crecimiento personal de una u otra manera.

Capítulo 1

Introducción

1.1 Antecedentes

Son muchos los estudios y trabajos que se han realizado de sistemas de transporte masivo en diferentes partes del mundo. Particularmente, aquí se mencionan a continuación algunos de los trabajos realizados en la Universidad de Los Andes para la empresa TROMERCA por estudiantes de diferentes carreras como Ingeniería Civil e Ingeniería de Sistemas.

- Calderas (2001) realizó un trabajo de maestría en Ingeniería Vial, titulado: Modelado y Simulación de la línea 1 del Sistema de Transporte Masivo del área metropolitana de Mérida. Se pretendía para el momento en que se realizó el trabajo que la Línea 1 cubriera la ruta Ejido - La Hechicera. El modelo, de tipo predictivo, fue realizado utilizando el software Arena versión 5.0, con enfoque en Modelado de Procesos, el mismo incorpora las características del diseño del sistema propuesto por las empresas encargadas del proyecto de la Línea 1. El propósito del trabajo es obtener información a través del modelado y simulación desde el punto de vista de las unidades de transporte, en cuanto a tiempos de recorrido entre estaciones y recorrido total, tiempo de retardo en los semáforos, cantidad promedio de vehículos necesarios por tramo y estadísticas de la velocidad de recorrido por tramo y total.

- Vasquez (2005) llevó a cabo un proyecto de grado de la carrera Ingeniería de Sistemas, titulado: Ampliación, Actualización y Validación de un Modelo de la línea 1 del Sistema de Transporte Masivo de la zona metropolitana de Mérida. El modelo de simulación realizado por Vasquez se basó en el modelo realizado por Calderas en el año 2001 antes de la construcción de la línea 1 de TROMERCA. El enfoque utilizado para el modelo fue el Modelado de Procesos utilizando la herramienta Arena versión 5.0. En este trabajo se modela el servicio de transporte con enfoque principalmente tanto en los usuarios del servicio como en las unidades de transporte con el fin de obtener resultados acerca del tiempo de recorrido promedio de la ruta, tiempos de espera de los usuarios en cola y flujo de pasajeros que llegan a las estaciones por hora. En base a los resultados obtenidos Vasquez concluyó que el tamaño de algunas estaciones resulta insuficiente debido a la cantidad de usuarios que llegan a las mismas y en cuanto a los tiempos de recorrido las unidades tardan en promedio 45 min en recorrer la ruta Ejido - La Hechicera.
- Álvarez (2017) en su trabajo de grado de la carrera Ingeniería de Sistemas que lleva por título: Desarrollo de un Modelo de Simulación de la Línea 1 de TROMERCA en la Ciudad de Mérida, Venezuela, evalúa el funcionamiento de la Línea 1 de TROMERCA que cubre la ruta Ejido - Sector Paseo de la Feria, realizando el modelado del sistema con el software AnyLogic versión 7.3.6, donde puede notar al momento de realizar el muestreo que los usuarios deben esperar largos periodos de tiempo para abordar la unidad de transporte y para llegar a su destino, por ende propone y evalúa distintos escenarios que permiten disminuir los periodos de tiempo de espera de los usuarios, y periodos de tiempo de viaje así como otros escenarios esenciales para mejorar las políticas de funcionamiento de la Línea 1.
- Silva (2017) de la carrera de Ingeniería de Sistemas desarrolló un trabajo de grado estadístico titulado: Modelo de Demanda de la Red de Transporte Centro - La Hechicera para la Línea 2 del Trolebús Mérida, con el fin de estimar la demanda en cada una de las estaciones de la red de transporte diseñadas por la empresa

TROMERCA, utilizando diversas variables entre ellas la cantidad de personas que se movilizan a través del transporte público que cubre la ruta de la Línea 2 y otras variables urbanas como el uso de suelo. Con dichas variables se estimó el modelo de generación y distribución de viajes a partir de la representación de las estaciones de transporte público por medio de un grafo apoyado en sistemas de información geográfica, para ello se utilizaron diversos métodos como análisis de regresión lineal y optimización de la entropía.

1.2 Planteamiento del Problema

TROMERCA (Trolebús Mérida, C.A.) es una empresa del estado Venezolano que se encarga de elaborar proyectos de transporte público masivo en el Área Metropolitana de Mérida, estado Mérida. Para el año 2016 se completó la construcción de la Línea 1 (L1) del Trolebús y se colocó en servicio la última etapa de la misma, cuyo recorrido comienza en la estación Terminal Ejido, en el municipio Campo Elías y culmina en la estación Domingo Peña sector Paseo de la Feria en el centro de la ciudad de Mérida. Además de la L1 la empresa ofrece el servicio de la Línea 3 (L3), que conecta el sector San Jacinto con la ciudad de Mérida a través del sistema Trolcable que es parte del diseño propuesto para el transporte masivo en la ciudad de Mérida.

El próximo proyecto de la empresa es la construcción de la Línea 2 (L2) del Trolebús la cual permitirá cubrir la ruta desde el centro de la ciudad, iniciando en la estación Domingo Peña, hasta el sector la Hechicera. Para la L2 la empresa no cuenta con estudios de simulación que le permita observar cómo será la interacción de los usuarios con el sistema de transporte en la mencionada línea.

1.3 Justificación

Con el modelo de simulación se podrán plantear y evaluar escenarios que permitan validar el diseño de la Línea 2 y sobre todo facilitar la toma de decisiones en la empresa para la operación futura de la Línea 2, siendo esto de suma importancia ya que por la zona donde se construirá dicha línea se desplazan muchas personas diariamente.

Los resultados ayudarían a estimar la cantidad de personas que utilizan el sistema de transporte en un día, tiempo que tardan las unidades de transporte en completar el recorrido en sentido Hechicera - Centro y en sentido Centro - Hechicera, obtener el tiempo de espera de las personas antes de acceder al servicio y estimar el porcentaje de ocupación de la unidad de transporte en las diferentes estaciones de la ruta de la L2.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un Modelo de Simulación de la Línea 2 que permita evaluar el tiempo entre salidas de las unidades de transporte y estimar la cantidad de unidades necesarias para satisfacer la demanda esperada de los usuarios.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Revisar la documentación existente del proyecto de la Línea 2 de TROMERCA y realizar una descripción detallada de la misma con sus respectivas características.
- Elaborar el modelo de simulación de la Línea 2 de TROMERCA que permita estimar los siguientes parámetros:
 - Tiempo de recorrido parcial y total Hechicera - Centro - Hechicera.
 - Cantidad de usuarios que demandan el servicio de transporte por día en cada una de las estaciones en sentido Hechicera - Centro - Hechicera.
 - Tiempo de espera de los usuarios para abordar la unidad de transporte en cada una de las estaciones en sentido Hechicera - Centro - Hechicera.
 - Porcentaje de ocupación de la unidad de transporte en las diferentes estaciones en sentido Hechicera - Centro - Hechicera.
 - Longitudes de la cola de usuarios en cada una de las estaciones sentido Hechicera - Centro - Hechicera.

- Realizar el análisis de los resultados obtenidos mediante la simulación.
- Estimar el tiempo entre salidas de las unidades de transporte desde la estación Terminal La Hechicera y la cantidad de unidades operativas necesarias para cubrir la demanda.

1.5 Metodología

La metodología que se siguió para el desarrollo del modelo de simulación es una adaptación de la metodología propuesta por Barceló (1996).

- Se revisó de la documentación acerca de la Línea 2.
- Se realizó la descripción de las características de la Línea 2.
- Se recopilaron los datos necesarios para la simulación.
- Se realizó la estimación de la distribución de los datos obtenidos.
- Se realizó del diseño del modelo de simulación.
- Se utilizó el software de simulación AnyLogic para implementar el modelo de simulación.
- Se analizaron los datos obtenidos mediante la simulación.
- Se diseñaron los escenarios y se evaluaron los mismos.

Capítulo 2

Marco teórico y conceptual

2.1 Modelado y Simulación

El modelado y la simulación comprenden un conjunto de actividades que involucran tanto la construcción de modelos del mundo real como su simulación en una computadora (Zeigler, 1984).

2.2 Modelo

Un modelo es un conjunto de reglas con las cuales se pueden generar datos de comportamiento. Por sí sólo no genera datos, aunque se puede hablar de datos generados por el modelo que es el encargado de proveer el conjunto de instrucciones a la computadora para que genere dichos datos (Zeigler, 1984).

2.3 Simulación por computador

La simulación por computador es una técnica que realiza experimentos en un computador con un modelo de un sistema dado. El modelo es el vehículo utilizado para la experimentación en sustitución del sistema real (Barceló, 1996).

2.4 Sistema Real

Un sistema real está definido como algún componente de interés del mundo real, bien sea natural o artificial, existente o por hacer. Puede decirse que dicho sistema es o será una fuente de datos de comportamiento (Zeigler, 1984).

2.5 Simulación por Eventos Discretos

Según Barceló (1996) la Simulación por Eventos Discretos consiste en el seguimiento de los cambios de estado del sistema que tienen lugar como consecuencia de la ocurrencia de una secuencia de sucesos.

2.6 Software AnyLogic

El software de modelado y simulación AnyLogic es definido por AnyLogic (2016) como una herramienta de toma de decisiones, que permite utilizar diferentes técnicas de modelado y simulación como: Dinámica de Sistemas, Eventos Discretos, y el Modelado Basado en Agentes. AnyLogic permite combinar estas técnicas de simulación dentro de un mismo modelo, así como la interfaz gráfica, herramientas y objetos de la biblioteca del software permiten modelar diversas áreas como la manufactura y logística, procesos de negocio, recursos humanos, la dinámica de peatones y simulación del tráfico. Es importante resaltar que este software posee una interfaz gráfica que permite observar las simulaciones de manera animada en 3D con una buena definición y semejanza al mundo real. El software AnyLogic posee varias librerías, las cuales son: Librería de Modelado de Procesos, Librería de Autos, Librería de Peatones, Librería de Trenes y Librería de Fluidos. A continuación se describe brevemente cada una de las librerías mencionadas anteriormente según AnyLogicNorthAmerica (2016):

- Librería de Modelado de Procesos: Permite modelar sistemas del mundo real en término de entidades (clientes, productos, vehículos, entre otros), procesos (secuencia de operaciones que involucre colas, retrasos, entre otros) y recursos.

Una característica importante de esta librería es que permite crear animaciones del sistema que se modela.

- Librería de Autos: Permite modelar, simular y visualizar el tráfico de vehículos; así como también admite modelos de nivel físico detallado y altamente eficientes. Es adecuado para modelar tráfico en carreteras, transporte en sitios de fabricación, estacionamientos o cualquier otro sistema con vehículos, carreteras y carriles. Esta librería se integra muy bien con la Librería de Modelado de Procesos (ya que se deriva de ella) y con la Librería Peatonal.

Esta librería incluye:

- * Espacios de marcación visuales (carretera, intersección, parada de autobús, estacionamiento, línea de parada) para trazar redes de carreteras.
 - * Comportamiento del conductor: control de velocidad, elegir carril menos ocupado, dar paso cuando los carriles se fusionan, evitar y detectar colisiones en las encrucijadas.
 - * Soporte de tipos de automóviles definidos por el usuario con animación personalizada y características individuales.
- Librería de Peatones: Se dedica a simular flujos peatonales en entornos “físicos”. Permite crear modelos de edificios peatonales como estaciones de metro, entidades bancarias, controles de seguridad, entre otros. Los modelos permiten recopilar estadísticas sobre la densidad de peatones en diferentes áreas, estimar la duración de la estancia en áreas específicas, entre otras aplicaciones. En los modelos creados con la Librería de Peatones, los mismos se mueven en un espacio continuo, reaccionando a diferentes tipos de obstáculos (muros, diferentes tipos de áreas) y a otros peatones. Como ya se mencionó, esta Librería se combina perfectamente con la Librería de Autos así como también con la Librería de Modelado de Procesos.
 - Librería de Fluidos: Permite modelar el almacenamiento y la transferencia de fluidos, materiales a granel o grandes cantidades de elementos discretos, que no se desean modelar como objetos separados. Incluye bloques tales como

Tanque, Tubería, Válvula, Fuente de Fluido y Eliminación de Fluido. También hay bloques para enrutar, fusionar y divergir el flujo. La Librería de Fluidos interactúa con la Librería de Modelado de Procesos: puede convertir agentes en porciones de fluido y viceversa.

2.7 Software estadístico R

R es un entorno y lenguaje de programación con un enfoque al análisis estadístico (TheRFoundation, 2017). R es un proyecto GNU también disponible para Windows y MacOS. TheRFoundation (2017) destaca que este software proporciona una amplia variedad de herramientas estadísticas (modelos lineales y no lineales, test estadísticos, agrupación, entre otros) y técnicas gráficas. Además, al tratarse de un lenguaje de programación, le permite al usuario crear sus propias funciones a parte de las predeterminadas.

2.8 Software EasyFit

EasyFit es un software estadístico que permite ajustar automáticamente las distribuciones a los datos de la muestra y seleccionar el mejor modelo. Está diseñado para hacer el análisis de datos lo más fácil posible, dejar los detalles técnicos complejos entre bastidores y permitirle al usuario que se enfoque en los objetivos de su proyecto (MathWaveTechnologies, 2017).

2.9 Sistema de Transporte Masivo

Un sistema de transporte masivo en autobuses también es conocido como bus de transporte rápido (BRT, *Bus Rapid Transit*), y es definido por Wrigth *et al.* (2010) como sigue:

El BRT es un sistema de alta calidad basado en buses que proporcionan movilidad urbana rápida, cómoda y de relación favorable costo-beneficio a través de la provisión de infraestructura de carriles segregados, operación rápida y frecuente y excelencia en mercadeo y servicio al cliente. (p. 12)

2.10 La empresa TROMERCA

TROMERCA (Trolebús Mérida C.A.) es una empresa de transporte público masivo, encargada de financiar, inspeccionar y ejecutar programas, ingeniería de infraestructura y superestructura, adquisición de equipos e instalaciones, así como su operación y administración, a fin de garantizar la prestación permanente, continua y eficaz del sistema de transporte público masivo en el Área Metropolitana de Mérida (TROMERCA, 2017).

2.11 Línea 2 del Sistema de Transporte Masivo de la ciudad de Mérida

La construcción de la L2 es un proyecto que plantea la empresa TROMERCA ejecutar y colocar en funcionamiento en la ciudad de Mérida para expandir sus líneas de transporte hasta el Norte de la ciudad. Dicha línea contará con dos canales exclusivos para las unidades de transporte que recorrerán el eje central de las vías colaterales. Recorrerá aproximadamente 4,6 kilómetros de longitud cuya ruta comienza en el centro de la ciudad en el sector Paseo de la Feria, atraviesa la calle 26 y el viaducto Campo Elías haciendo un cruce para subir por la Av. Las Américas hasta el norte de la ciudad, luego sube por la Av. Alberto Carnevali y finaliza en el sector La Hechicera a la altura del jardín botánico de Mérida, conectando así cuatro vías principales de la ciudad (Av. Domingo Peña, Calle 26, Av. Las Américas y Av. Alberto Carnevali). A lo largo del recorrido se construirán 8 estaciones (figura 2.1) y se utilizará una estación ya construida de la Línea 1.



Figura 2.1: Ruta y estaciones de la Línea 2 (TROMERCA, 2017)

2.12 Características principales de la Línea 2

2.12.1 Unidades de transporte

El principal vehículo seleccionado para operar en la L2 es el autobús Yutong y se plantea que operen Trolebuses como medida de contingencia en circunstancias de exceso de demanda. A continuación se describen con más detalle los vehículos mencionados anteriormente:

- **Autobús Yutong:** Los buses Yutong (figura 2.2) son fabricados por la empresa china Zhengzhou Yutong Group Co., Ltd. Las características principales del Yutong son su tecnología de electroforesis (mejora el rendimiento de anti-corrosión), y su sistema de gestión térmica que permite la reducción del combustible entre 5 y 10 por ciento según YUTONG (2017). Estos buses actualmente son ensamblados en Venezuela, específicamente en San Felipe, estado

Yaracuy, por la planta ensambladora Yutong la cual fue inaugurada el 2 de Diciembre de 2015 debido a convenios entre China y Venezuela. La unidad de transporte Yutong que operará en la L2 posee las siguientes especificaciones:

- Largo: 13.75 m
- Ancho: 2.30 m
- Alto: 2.50 m
- Velocidad máxima: 85 km/hr
- Número de puertas: 2 de 1.20 m de ancho.
- Plataforma: 0.70 m
- Configuración: 1 cuerpo
- Número de asientos: 33 de pasajeros más 1 de conductor.
- Capacidad máxima de pasajeros: 85.



Figura 2.2: Autobús Yutong (YUTONG, 2017)

- Trolebús: Es un vehículo de dos cuerpos articulados sobre ruedas, alimentado mediante guayas eléctricas o combustible para su funcionamiento (figura 2.3). Este vehículo es fabricado en Europa, Asia y América por diversas empresas. Sus principales características son las siguientes:

- Largo: 17.74 m
- Ancho: 2.50 m
- Alto: 3.00 m
- Velocidad máxima: 80 km/hr
- Número de puertas: 3 de 1.20 m de ancho.
- Plataforma: 0.72 m
- Configuración: 2 cuerpos articulados
- Número de asientos: 42 para pasajeros, 3 para discapacitados y uno para conductor.
- Capacidad máxima de pasajeros: 150.



Figura 2.3: Trolebús (TROMERCA, 2017)

2.12.2 Estaciones

La L2 contará con 9 estaciones a lo largo de su recorrido, donde una de ellas ya se encuentra construida y es la estación Domingo Peña (figura 2.4), perteneciente a la Línea 1. El diseño de las nuevas estaciones donde realizarán las paradas las unidades de transporte fue realizado por estudiantes de la facultad de Arquitectura de la Universidad de Los Andes conjuntamente con Arquitectos e Ingenieros que laboran en la Sala de Proyectos y Afectaciones, departamento de la empresa TROMERCA.



Figura 2.4: Estación Domingo Peña (TROMERCA, 2017)

La L2 contará con cuatro tipos de estaciones:

1. Estación Tipo: Es una estación diseñada para que dos buses puedan acceder a la misma en simultáneo, tanto un Trolebús como un autobús Yutong (figura 2.5).



Figura 2.5: Diseño de la estación Tipo (TROMERCA, 2017)

2. Estación Centro: Estación que cumple con las mismas características que la estación tipo, pueden acceder dos unidades de transporte, un autobús Yutong y un Trolebús. Las diferencias con la estación Tipo son el tamaño (ya que esta posee un área total menor a la estación tipo) y diseño arquitectónico (figura 2.6).

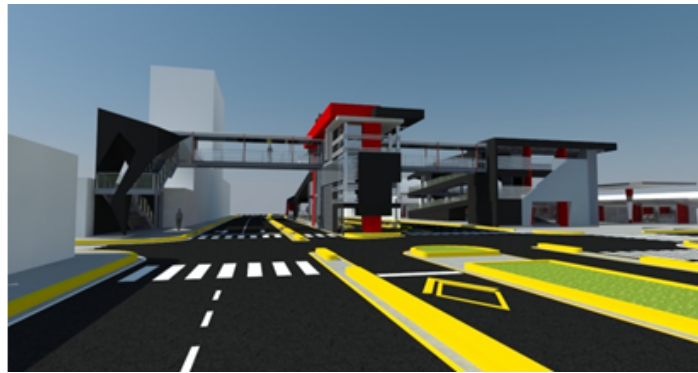


Figura 2.6: Diseño de la estación Centro (TROMERCA, 2017)

3. Estación de Transferencia: Estación triple diseñada para permitir el acceso de dos autobuses Yutong y un Trolebús. A lo largo del recorrido estarán construidas dos estaciones de Transferencia, estación Las Américas (figura 2.7) y estación Santa Ana de la cual se encuentra su diseño en planificación.

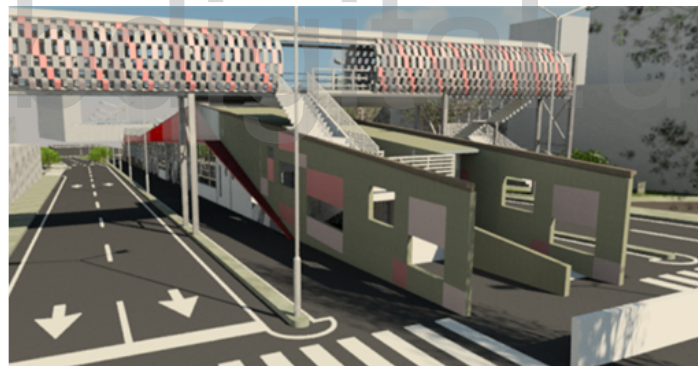


Figura 2.7: Diseño de la estación de Transferencia (TROMERCA, 2017)

4. Estación Terminal: Es la estación más grande de toda la L2, diseñada para el resguardo de los vehículos y como zona de partida de los mismos. Su diseño es arquitectónicamente moderno con diversas áreas disponibles para el confort de los usuarios. En su planificación existen dos propuestas para la construcción de la Estación Terminal (figura 2.8a, figura 2.8b).

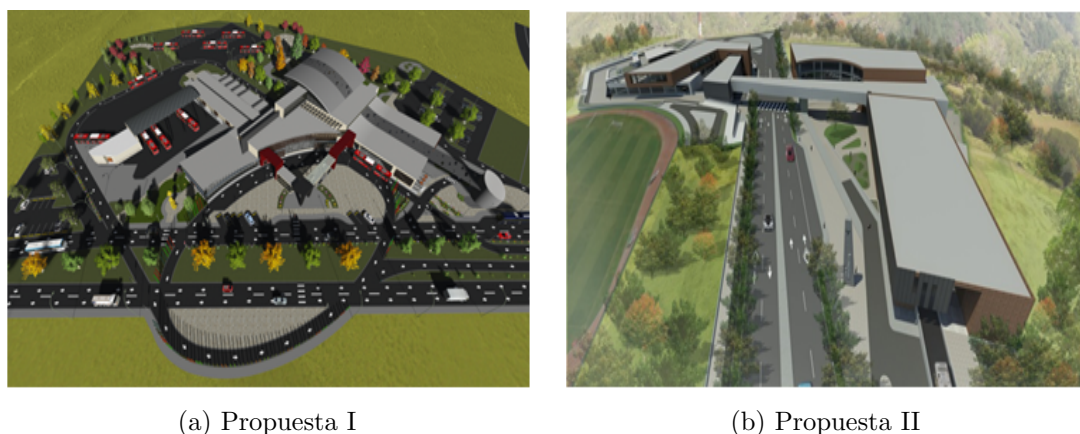


Figura 2.8: Diseño de la estación Terminal (TROMERCA, 2017)

Para cada una de las estaciones descritas anteriormente se muestra en la tabla 2.1 la ubicación geográfica y área total que se estima poseerá cada una de ellas.

Tabla 2.1: Principales características de las estaciones de la Línea 2

Estación	Nombre	Longitud (°)	Latitud (°)	Área total (m^2)
Centro	Centro	-71,147090	8,596296	216,594
Transferencia	Las Américas	-71,148509	8,600097	540,039
Tipo	Sor Juana Inés	-71,145833	8,602396	234,240
Tipo	Liria	-71,142046	8,608334	234,240
Transferencia	Santa Ana	-71,143757	8,611919	540,039
Tipo	Alberto Carnevali	-71,144256	8,615435	234,240
Tipo	CC La Hechicera	-71,145527	8,621503	234,240
Terminal	La Hechicera	-71,146539	8,627438	Embarque: 318 Desembarque: 220
Intermodal	Domingo Peña	-71,145227	8,591757	420

La distancia vial en metros desde el centro de cada estación se muestra en la siguiente tabla 2.2.

Tabla 2.2: Distancia entre estaciones de la Línea 2

Origen	Destino	Distancia (m)
Domingo Peña	Centro	591
Centro	Las Américas	525
Las Américas	Sor Juana Inés	390
Sor Juana Inés	Liria	804
Liria	Santa Ana	472
Santa Ana	Alberto Carnevali	419
Alberto Carnevali	C.C. La Hechicera	696
C.C. La Hechicera	Terminal La Hechicera	750

2.12.3 Vialidad

Para la vialidad de la nueva línea de transporte L2, es necesario reducir los canales viales que se encuentran a lo largo del recorrido por donde se construirá dicha línea, para construir dos canales exclusivos con un ancho estimado de 3 m cada uno y los bordillos que separan la vía del sistema de transporte con los canales regulares de 20 cm aproximadamente, también se deben construir aceras para la circulación de personas que se estiman de 2,40 m de ancho.

2.12.4 Semáforos

La L2 contará con 7 semáforos a través de toda la ruta, 2 en la Av. Las Américas, 1 en la intersección entre Av. Las Américas, Av. Alberto Carnevali y Av. Los Próceres y 4 en la calle 26 del centro de la ciudad. La tabla 2.3 resume las características de cada semáforo de la ruta, donde tiempo en rojo representa los segundos que debe esperar la unidad de transporte en cada semáforo y tiempo en verde los segundos para avanzar en cada semáforo en sentido Centro - Hechicera y sentido Hechicera - Centro.

Tabla 2.3: Semáforos de la Línea 2

Número	Semáforo	Tiempo en Rojo (s)	Tiempo en Verde (s)
1	Av. Alberto Carnevali	110	30
2	Av. Las Américas - Liria	30	50
3	Av. Las Américas - Yuan Lin	90	30
4	Calle 26 - Av. 2	36	54
5	Calle 26 - Av. 3	36	54
6	Calle 26 - Av. 4	36	54
7	Calle 26 - Av. 5	109	30

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 3

Proceso de recolección de datos y análisis

En este capítulo se relata cómo se desarrolló la recolección y el análisis de los datos.

3.1 Recolección de datos

3.1.1 Encuesta

Se realizó una encuesta dicotómica (de respuesta Si/No) en 4 diferentes parroquias, parroquia El Llano, parroquia Sagrario, parroquia Spinetti Dini y parroquia Milla, por las cuales se implementará la nueva ruta L2, con el fin de obtener datos de la aceptación que tendrá la futura línea de transporte masivo.

3.1.1.0.1 Descripción del proceso de recolección de datos para la encuesta

Primero se diseñó el cuestionario de preguntas (apéndice A.1), se investigó en el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) la cantidad de habitantes por parroquia según el censo poblacional realizado en el año 2011, se realizó el cálculo de la muestra de las personas a encuestar y por último se visitó cada parroquia y se encuestó a la cantidad de personas requeridas. Este proceso se realizó en aproximadamente 3 días con la colaboración de un equipo de trabajo proporcionado por la empresa

TROMERCA conformado por 9 personas. A continuación se presenta el proceso de cálculo de la muestra con los respectivos datos de la población total por parroquia y el resultado de la cantidad de personas encuestadas por parroquia.

Cálculo del tamaño de la muestra

*** Datos de las parroquias**

Tabla 3.1: Datos poblacionales de las parroquias (INE, 2011)

Parroquia	Población
Spinetti Dini	38589
El Llano	10954
Milla	24507
Sagrario	7123

*** Cálculo de la muestra total**

Se utilizó la ecuación (3.1) para calcular el tamaño de la muestra cuando se conoce el tamaño de la población, para obtener la muestra total de las 4 parroquias:

$$n = \frac{Z^2 pq N}{Z^2 pq + e^2 (N - 1)} \quad (3.1)$$

donde:

n: Tamaño de la muestra.

N: Tamaño de la población. (Suma total de los habitantes de las 4 parroquias=81173).

Z: Nivel de confianza = 95%.

p: Probabilidad de aceptación = 50%.

q: Probabilidad de rechazo = 50%.

e: Porcentaje de error = 5%.

Dando como resultado el tamaño de la muestra $n = 383$ habitantes.

*** Cálculo de la muestra por parroquia**

Para el cálculo de la muestra por parroquia se utilizó la ecuación (3.2):

$$M_p = \frac{N_p}{N}n \quad (3.2)$$

donde:

M_p : Muestra por parroquia P.

n : Tamaño de la muestra = 383.

N_p : Número de habitantes de la parroquia P. (Tomados de la tabla 3.1)

N : Tamaño de la población.

Luego de calcular la muestra para cada parroquia se obtienen los resultados que se muestran a continuación (tabla 3.2):

Tabla 3.2: Muestra por parroquia

Parroquia	Muestra
Spinetti Dini	182
El Llano	52
Milla	116
Sagrario	34

3.1.2 Conteo de pasajeros

Se llevó a cabo un conteo de pasajeros en cada una de las paradas del sistema de transporte público actual de la ciudad de Mérida cercanas a la zona donde se construirán las estaciones de la L2 en sentido Hechicera - Centro y Centro - Hechicera, con el fin de que estos sirvan como insumo al modelo, basados en la suposición de que estos usuarios serán los de la L2.

3.1.2.0.1 Descripción del proceso de recolección de datos para el conteo de pasajeros

Para el conteo de pasajeros se realizó un formulario de recolección de datos (apéndice A.2) y se planificó un horario entre los días martes a jueves de 7:00 am a 6:00 pm, se recolectaron los datos manualmente mediante el método de observación en cada parada, anotando en el formulario la cantidad de usuarios que hacen uso del sistema de transporte público, específicamente, cuántos pasajeros suben y cuántos bajan de la unidad de transporte en intervalos de 10 min. El muestreo fue realizado por un grupo de 9 personas de servicio comunitario de la empresa TROMERCA, las cuales fueron distribuidas en las 16 paradas que se encuentran cercanas al lugar donde se construirán las estaciones de la L2. Se comenzó tomando los datos en sentido Centro - Hechicera, las personas encargadas del muestreo se distribuyeron de dos en dos por parada y de este mismo modo se realizó en sentido Hechicera - Centro. Este proceso de recolección de datos llamado conteo fue realizado entre los meses de Marzo y Abril del año 2017, cabe resaltar que las condiciones de la ciudad durante el tiempo de muestreo no permitían que se realizara el conteo durante un día completo en algunas paradas; en consecuencia, se tomaron los datos un día en una parada durante la mañana y otro día se completó el muestreo para esa parada durante la tarde. En todas las paradas se realizó una sola observación debido a las condiciones de la ciudad y disturbios ocurridos en la misma los meses posteriores al comienzo del muestreo.

Las paradas seleccionadas para el conteo, con su respectiva descripción de la ubicación de las mismas, se aprecian en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Paradas del sistema de transporte público de la ciudad de Mérida seleccionadas para el conteo de pasajeros

Parada	Descripción de la ubicación	
	Sentido Centro - Hechicera	Sentido Hechicera - Centro
Centro	Calle 26 entre Av. 3 y 4 a 100 m aproximadamente del C.C. La Casona	Calle 26 entre Av. 3 y 4 a 100 m aproximadamente del C.C. Ideal
Yuan Lin	Av. Las Américas frente al C.C. Yuan Lin	Av. Las Américas pasos abajo (a 50 m aproximadamente) del C.C. Mamayeya
FACES	Av. Las Américas pasos arriba (a 50 m aproximadamente) del hospital Sor Juana Inés	Av. Las Américas, pasos abajo (a 10 m aproximadamente) de la entrada de la FACES
FACIJUP	Av. Las Américas pasos arriba (a 100 m aproximadamente) de la plaza de toros	Av. Las Américas al lado de la entrada de la FACIJUP
Santa Ana Sur	Av. Alberto Carnevali pasos arriba (a 10 m aproximadamente) de la intersección Albarregas	Av. Las Américas pasos abajo (10 m aproximadamente) de la intersección Albarregas
Domingo Salazar	Av. Alberto Carnevali pasos arriba (10 m aproximadamente) del Hotel Convención Boutique	Av. Alberto Carnevali al lado de la entrada a las Residencias Domingo Salazar
Santa Ana Norte	Av. Alberto Carnevali frente a Cerámicas Arcosan	Av. Alberto Carnevali frente al C.C. La Hechicera
Núcleo La Hechicera	Núcleo universitario Pedro Rincón Gutiérrez frente a la entrada norte de la facultad de Ingeniería	Núcleo universitario Pedro Rincón Gutiérrez frente a la entrada de la facultad de Ciencias

3.2 Análisis de datos

Luego de obtener tanto los datos de la encuesta como del conteo de pasajeros se procede a realizar el análisis de los mismos, para la encuesta los resultados por parroquia son los siguientes:

Tabla 3.4: Resultados de la encuesta por parroquias

Parroquia	Si (%)	No (%)
Antonio Spinetti Dini	97,80	2,20
Sagrario	97,06	2,94
El Llano	92,31	7,69
Milla	90,52	9,48

Como se puede observar en la tabla 3.4 para todas las parroquias más del 90% de las personas encuestadas utilizarían la servicio de transporte masivo en su nueva ruta L2.

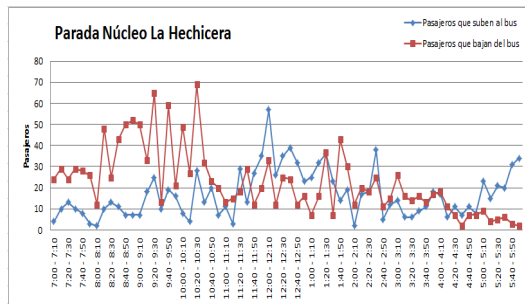
Para el conteo de pasajeros se analizaron los datos mediante gráficas para observar el comportamiento de la demanda de los pasajeros del sistema de transporte público en cada parada, y luego de esto se procedió a estimar la distribución de los datos de la demanda de usuarios por día en cada parada.

3.2.1 Análisis de las gráficas

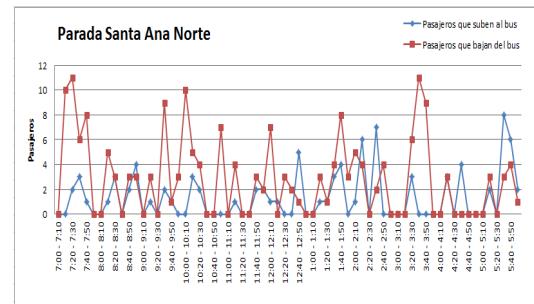
En esta sección se realiza el análisis de los datos de los pasajeros que utilizan el sistema de transporte público de la ciudad y se muestra el ajuste de los datos a las distribuciones correspondientes. Cabe destacar que las gráficas y el ajuste de las distribuciones se realizaron con el software Excel y EasyFit respectivamente.

3.2.1.0.1 Análisis de datos para las paradas sentido Hechicera - Centro

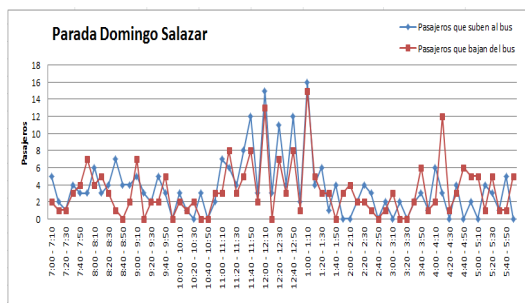
En las gráficas que se muestran a continuación se puede observar el comportamiento de los pasajeros que hacen uso del servicio del sistema de transporte público en las paradas mencionadas en la tabla 3.3, sentido Hechicera - Centro. Las gráficas muestran la cantidad de usuarios que suben al bus y bajan del bus en intervalos de 10 min para todo un día desde las 7:00 am a 6:00 pm, en las gráficas las líneas en rojo representan el comportamiento de los usuarios que bajan del bus y las líneas en azul el comportamiento de los usuarios que suben al bus.



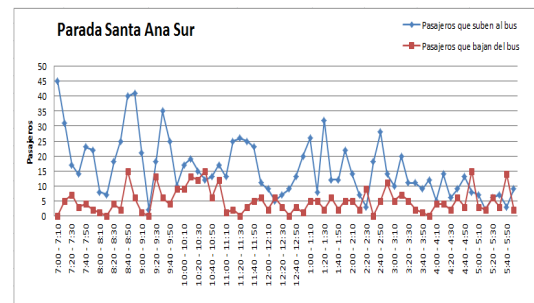
(a) Parada Núcleo La Hechicera



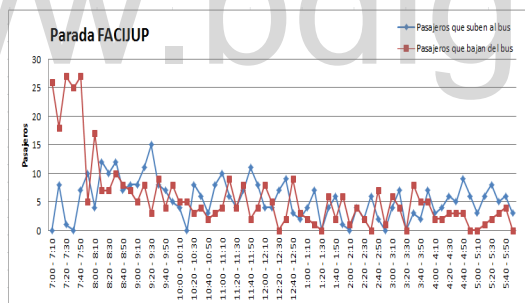
(b) Parada Santa Ana Norte



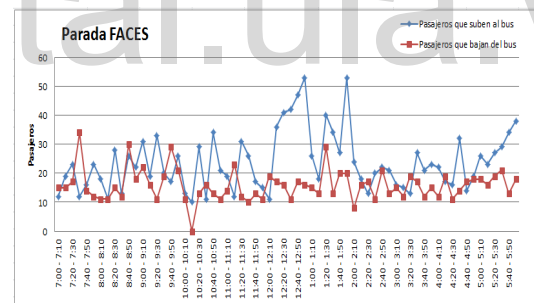
(c) Parada Domingo Salazar



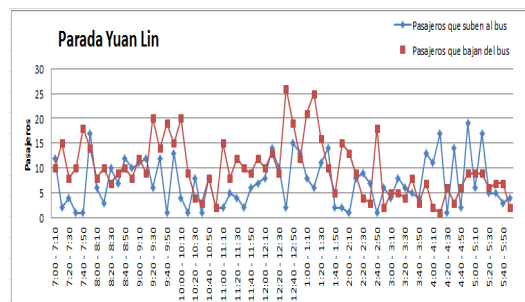
(d) Parada Santa Ana Sur



(e) Parada FACIJUP



(f) Parada FACES



(g) Parada Yuan Lin

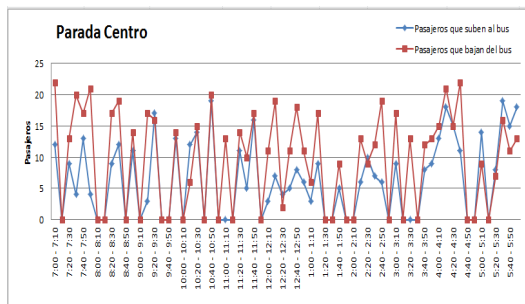
Figura 3.1: Comportamiento de la demanda de pasajeros, paradas sentido Hechicera - Centro

En la parada Faces (figura 3.1f) se observa un comportamiento diferente durante el periodo de 12:00 m a 2:00 pm, donde incrementa la demanda del servicio. También en la parada Domingo Salazar (figura 3.1c) se observa un aumento en la demanda del servicio en el periodo de 11:00 am a 1:00 pm. Por último en el núcleo La Hechicera (figura 3.1a) se presenta un aumento en la demanda del servicio en el periodo de 12:00 m a 2:40 pm.

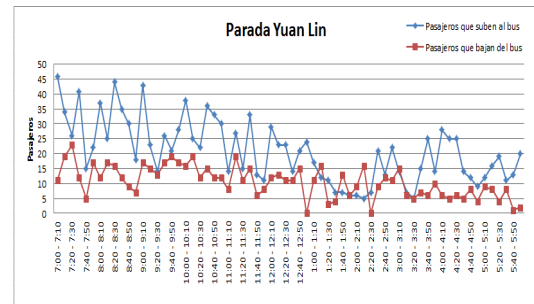
3.2.1.0.2 Análisis de datos para las paradas sentido Centro - Hechicera

El comportamiento de los pasajeros que hacen uso del servicio del sistema de transporte público en las paradas mencionadas en la tabla 3.3, sentido Centro - Hechicera, se puede observar en las gráficas que se muestran a continuación. Las gráficas muestran la cantidad de usuarios que suben al bus y bajan del bus en intervalos de 10 min para todo un día desde las 7:00 am a 6:00 pm, en las gráficas las líneas en rojo representan el comportamiento de los usuarios que bajan del bus y las líneas en azul el comportamiento de los usuarios que suben al bus.

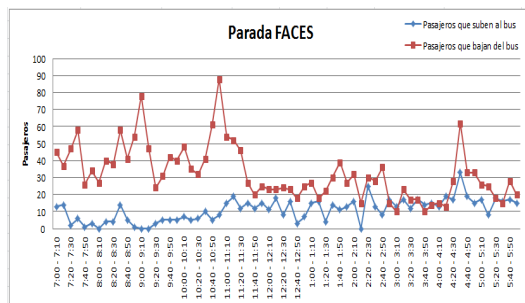
www.bdigital.ula.ve



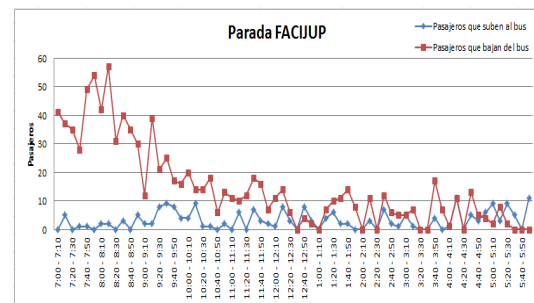
(a) Parada Centro



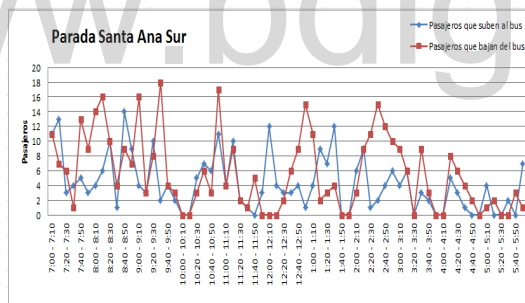
(b) Parada Yuan Lin



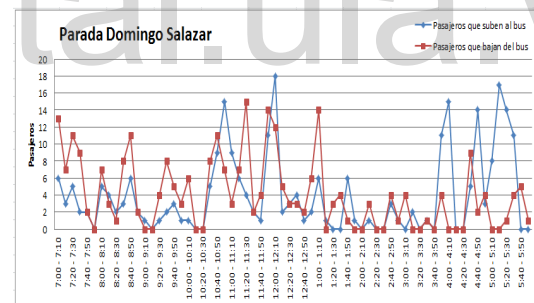
(c) Parada FACES



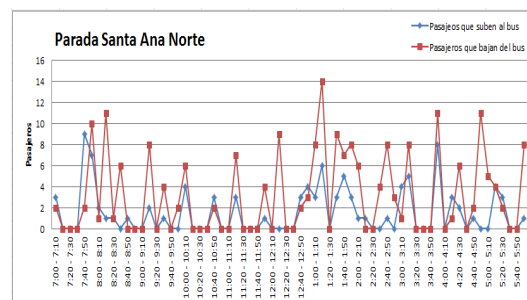
(d) Parada FACIJUP



(e) Parada Santa Ana Sur



(f) Parada Domingo Salazar



(g) Parada Santa Ana Norte

Figura 3.2: Comportamiento de la demanda de pasajeros, paradas sentido Centro - Hechicera

Al observar las gráficas de las paradas Centro - Hechicera se aprecia en la parada Domingo Salazar, figura 3.2f, un notable aumento de la demanda en los periodos de 10:50 am a 12:10 pm y de 3:50 pm a 5:30 pm.

3.2.2 Ajuste de los datos a las distribuciones

Dado lo variable de los datos y las condiciones del muestreo, se ajustó una única distribución de probabilidad como una aproximación a la situación real.

En las tablas que se muestran a continuación (tabla 3.5 y tabla 3.6) se pueden apreciar las distribuciones de los datos durante un día para cada una de las paradas en sentido Centro - Hechicera y Hechicera - Centro. La distribución Gamma representa la tasa de llegada de los usuarios que solicitan el servicio en cada una de las paradas del transporte público, los parámetros α y β de la distribución Gamma estan asociados a la media y la varianza donde α representa la forma y β la tasa de la distribución.

Tabla 3.5: Ajustes de distribuciones sentido Centro - Hechicera, periodo: 7:00 am a 6:00 pm

Parada	Gamma(α ; β) (usuarios que solicitan el servicio de transporte por hora)	
	α	β
Centro	5,809	6,572
Yuan Lin	7,0165	17,841
FACES	4,598	14,315
FACIJUP	3,9405	4,8448
Santa Ana Sur	5,6415	4,5281
Domingo Salazar	3,0363	7,8146
Santa Ana Norte	2,9471	4,6222

Tabla 3.6: Ajustes de distribuciones sentido Hechicera - Centro, periodo: 7:00 am a 6:00 pm

Parada	Gamma(α ; β) (usuarios que solicitan el servicio de transporte por hora)	
	α	β
Núcleo La Hechicera	3,9639	25,503
Santa Ana Norte	6,5688	2,575
Domingo Salazar	4,0827	6,5688
Santa Ana Sur	6,626	11,255
FACIJUP	6,39	4,1217
FACES	12,712	9,478
Yuan Lin	10,21	4,3936

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 4

Diseño e implementación del modelo de simulación

Se presenta en este capítulo el diseño e implementación del modelo de simulación con el software AnyLogic versión 7.3.6, y se realiza una descripción detallada de los componentes de este, la ruta vehicular, estaciones, unidades de transporte y usuarios.

Es importante mencionar que se crearon dos modelos, uno para la ruta en sentido Hechicera - Centro y otro para la ruta en sentido Centro - Hechicera, esto debido a las limitaciones del software que al tratarse de la versión gratuita para estudiantes no permite crear una cantidad mayor a 200 bloques por modelo. Sin embargo, los dos modelos se construyeron de la misma manera, utilizando los mismos componentes y cumpliendo con las condiciones y características para cada sentido (Hechicera - Centro, Centro - Hechicera). Entonces, al mencionar en el texto a “el modelo”, se está haciendo referencia a ambos modelos de simulación.

Las principales librerías utilizadas para la construcción e implementación del modelo son las siguientes:

- Librería de Modelado de Procesos.
- Librería de Autos.

- Librería de Peatones.

4.1 Marcación del espacio de trabajo

En primer lugar, antes de comenzar a crear los componentes del modelo se procede a realizar la marcación del espacio de trabajo, estableciendo la regla de 100 pixeles y la longitud de la regla de 20 m, es decir, cada cuadro en el espacio de trabajo representa 10 m y cada punto representa 2 m (figura 4.1a y 4.1b).

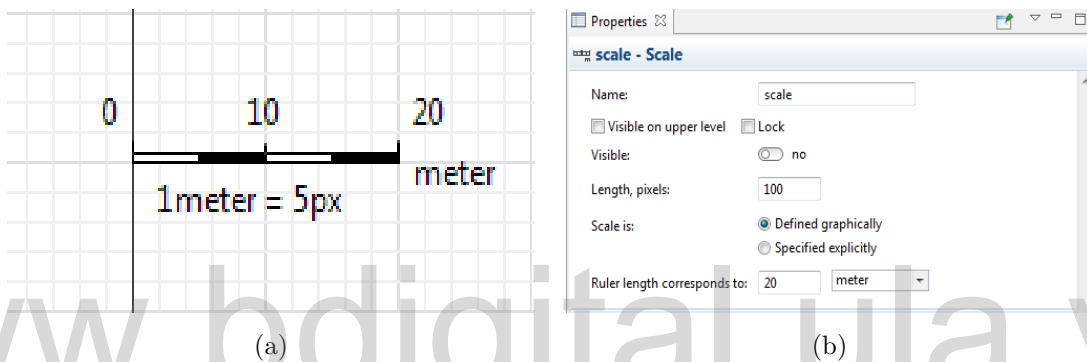


Figura 4.1: Marcación del espacio de trabajo

4.2 Ruta vehicular

La ruta vehicular original presenta una distancia total de 4,6 km aproximadamente, para el modelo se decidió dividir esta distancia en dos para evitar el colapso en la simulación al utilizar la distancia real. Las velocidades de las unidades de transporte y las distancias entre estaciones se ajustaron a esta nueva escala.

Tabla 4.1: Distancia entre estaciones para el modelo

Origen	Destino	Distancia original (m)	Distancia para el modelo (m)
Domingo Peña	Centro	591	295,5
Centro	Las Américas	525	262,5
Las Américas	Sor Juana Inés	390	180
Sor Juana Inés	Liria	804	402
Liria	Santa Ana	472	236
Santa Ana	Alberto Carnevali	419	209,5
Alberto Carnevali	C.C. La Hechicera	696	348
C.C. La Hechicera	Terminal Hechicera	750	375

Se creó la ruta utilizando el elemento “Road” de la librería de Autos, el cual permite crear carreteras o caminos, estos pueden contener segmentos rectos o curvos y uno o varios carriles.

En cada modelo se creó un camino con un solo carril que contiene segmentos rectos y curvos adaptados de la ruta original.

Se colocaron en el camino líneas de parada: “StopLine”, de la librería de Autos, para que se estacionen las unidades de transporte en cada estación, dos o tres líneas de parada por estación según el tipo. Así como también se crearon otros StopLine para los semáforos, 7 en total.

4.3 Estaciones

El modelo cuenta con 9 estaciones a lo largo de la ruta que se crearon como un área rectangular con el elemento de marcado de espacio: “Rectangular Wall”, de la librería de Peatones. Las dimensiones de las estaciones varían según el tipo (estación Tipo, estación Centro, estación de Transferencia y estación Terminal) cumpliendo con las dimensiones originales (tabla 2.1) y se encuentran ubicadas en el modelo cumpliendo

con las distancias especificadas en la tabla 4.1. Sin embargo, solo se consideró visualmente y no se tomó en cuenta la ocupación de los usuarios en las estaciones.

En cada estación se encuentran dos líneas de destino: “Target Line”, de la librería de Peatones, que representan las líneas de entrada y de salida de las personas a la estación (ver figura 4.2).

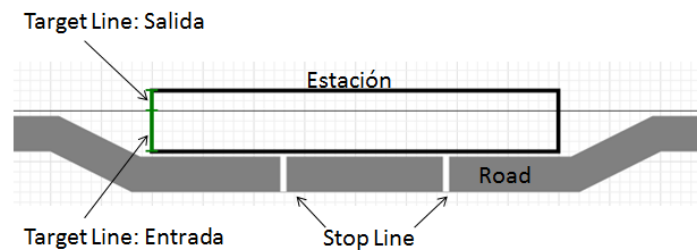


Figura 4.2: Características de la estación en el modelo

4.4 Unidades de transporte

Para las unidades de transporte se utilizó el bloque “CarSource” de la librería de Autos, especificándose el tipo de auto como autobús con animación 3D, en este bloque se especifica su longitud de 13,75 m que corresponde a la longitud del autobús Yutong.

El bloque “CarSource” permite especificar el tiempo entre salidas de los buses así como la velocidad, aceleración y desaceleración. Las unidades presentan una aceleración máxima de $1,5 \text{ m/seg}^2$, desaceleración máxima de $1,5 \text{ m/seg}^2$ y velocidad promedio entre 24 y 27 km/hr. Estos datos fueron extrapolados de la Línea 1 debido a que Línea 2 aún no ha sido construida y no existe manera de medir los mismos, y fueron obtenidos por medio del trabajo realizado por Álvarez (2017).

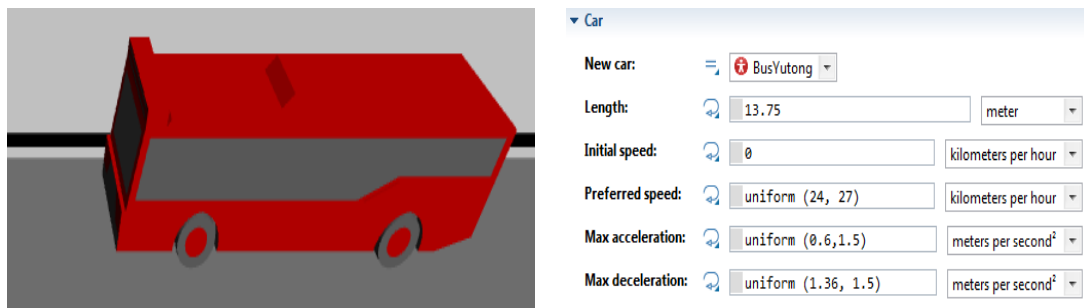


Figura 4.3: Características de la unidad de transporte para del modelo

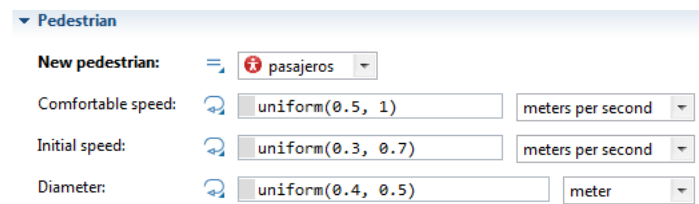
4.5 Usuarios

Se crearon los usuarios con el bloque “PedSource”, de la librería de Peatones, con animación 3D (figura 4.4).



Figura 4.4: Usuario en 3D para el modelo

En este bloque se especifica el lugar donde aparecerán las personas, la tasa de llegadas de las personas a la estación así como la velocidad promedio en la que caminan que varía entre (0.5, 1) m/seg, la velocidad inicial entre (0.3, 0.7) m/seg y diámetro de las personas entre (0.4, 0.5) m que permite ocupar una posición en el modelo y la misma va variando a medida que el usuario se va desplazando, cabe resaltar que los usuarios no pueden ubicarse entre ellos a menos de 0,25 m de distancia. Al igual que para las unidades de transporte estos parámetros fueron tomados de los usuarios de la Línea 1, los mismos se encuentran especificados en el trabajo de Álvarez (2017).



▼ Pedestrian

New pedestrian:  pasajeros

Comfortable speed:  uniform(0.5, 1) meters per second

Initial speed:  uniform(0.3, 0.7) meters per second

Diameter:  uniform(0.4, 0.5) meter

Figura 4.5: Características de la persona

4.6 Implementación del modelo

Se realizó el modelo de simulación como ya se mencionó con el software AnyLogic, el cual presenta una interfaz de trabajo amigable que permite combinar el espacio de trabajo con los diferentes elementos de cada una de las librerías.

Este software utiliza como lenguaje de programación el lenguaje Java, el propio software va generando el código de funcionamiento a medida que se van utilizando los diferentes bloques.

4.6.1 Flujograma de procesos

El flujograma de procesos representa las acciones que van a ejecutar las entidades, en este caso, Buses y Usuarios.

La secuencia de acciones que ejecutan las personas o usuarios desde su llegada a la estación hasta el momento de subirse a la unidad de transporte se muestra en la figura 4.6.

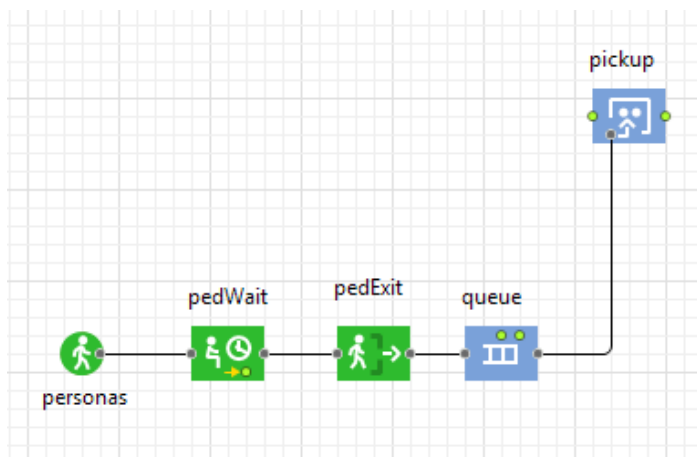


Figura 4.6: Secuencia de actividades de los Usuarios para abordar la unidad de transporte

El bloque “PedSource” nombrado personas, es el bloque que genera la población de personas, “pedWait” es un bloque que permite que las personas vayan a una ubicación especificada en este caso a las estaciones y esperen allí hasta que llegue la unidad de transporte; “pedExit” recibe a las personas desde un ambiente de simulación y las envía hasta otro ambiente de simulación, en este caso las personas que llegan a una estación las recibe este bloque y las dirige a otra estación. En el bloque “queue” las personas llegan con cierto orden y esperan hasta ser aceptados por el siguiente bloque del flujograma de procesos, es decir hasta que llegue la unidad de transporte. El bloque “pickup” funciona como un contenedor, elimina a las personas de la cola y los agrega a la unidad de transporte.

La figura 4.7 muestra la secuencia de acciones de las personas al bajarse de la unidad de transporte en cierta estación. Con el bloque “dropoff” se eliminan a las personas del contenedor y aparecen en la siguiente estación mediante el bloque “pedEnter”, y las mismas se dirigen a la salida de la estación a través del bloque “pedGoTo1” y finalmente se eliminan de la simulación con el bloque “pedSink”. Cabe resaltar que los bloques en color verde pertenecen a la librería de Peatones y los bloques en color azul pertenecen a la librería de Modelado de Procesos.

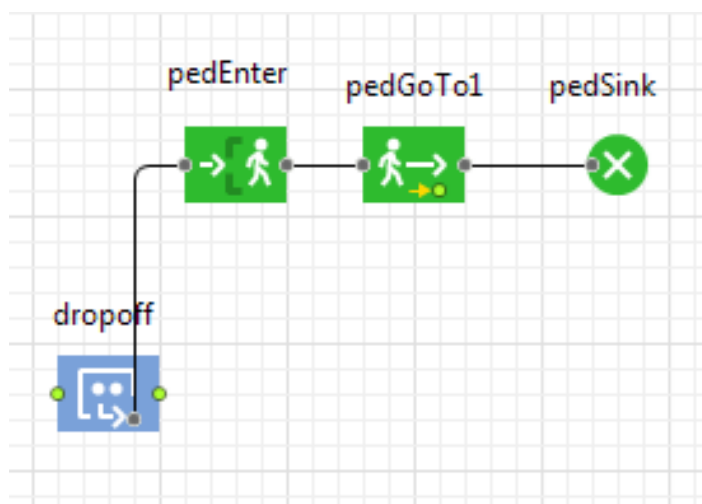


Figura 4.7: Secuencia de actividades de los Usuarios al bajar de la unidad de transporte

Por otra parte la secuencia de acciones que ejecuta la unidad de transporte o bus desde su punto de partida en la estación Terminal La Hechicera, se muestra en la figura 4.8.

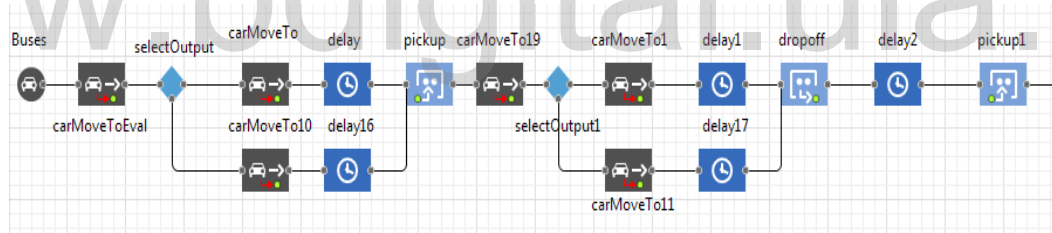


Figura 4.8: Secuencia de actividades de los Buses

Se generan las unidades de transporte a través del bloque “carSource”, nombrado Buses; luego mediante el bloque “carMoveToEval” se le indica a la unidad de transporte que pase por un “StopLine” para evaluar en cuál de las puertas de la estación debe pararse, esta acción se realiza con el bloque “selectOutput”, si la puerta 1 está libre la unidad se mueve hasta ella mediante el bloque “carMoveTo”, de lo contrario deberá moverse en la puerta 2. Luego para simular el tiempo que tarda la unidad de transporte para recoger a las personas se utilizar el bloque “delay”, recoge a las mismas en el bloque “pickup”, posteriormente se desplaza hasta la siguiente estación, se utiliza el bloque “delay1” para simular el tiempo que tarda en dejar a

las personas en la estación, deja a las personas a través del bloque “dropoff” el cual elimina a las mismas del contenedor, recoge a las personas con el bloque “pickup1” y continua desplazándose por la ruta así sucesivamente (pickup - carMoveToEval - selectOutput - carMoveTo - delay - dropoff - delay - pickup). Los bloques en color gris son de la librería de Autos y los bloques en color azul de la librería de Modelado de Procesos como ya se mencionó.

Finalmente la figura 4.9 muestra conjuntamente la interacción de la entidad personas y la entidad buses.

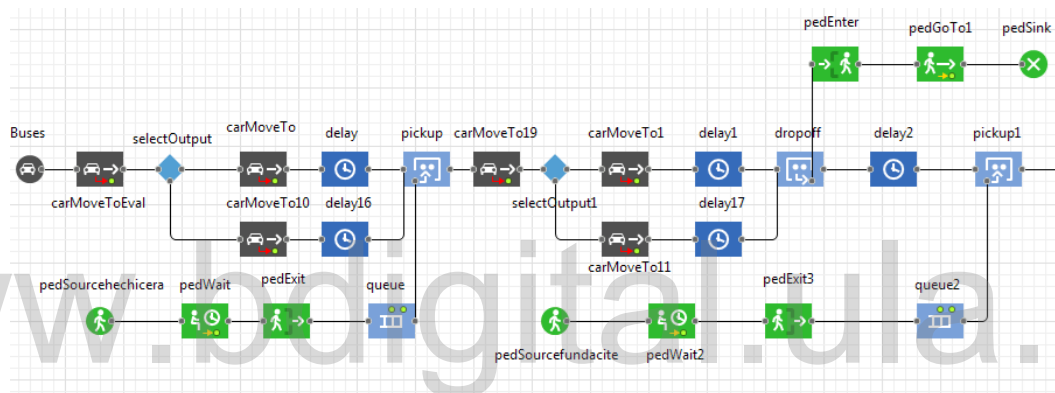


Figura 4.9: Flujograma Persona - Buses

4.6.2 Datos e instrucciones del modelo

Luego de la construcción del flujograma de procesos se procede a introducir los datos, instrucciones y sentencias que se deben ejecutar en cada uno de los bloques para representar de la mejor manera el sistema real.

- En los bloques **PedSource** se coloca en la casilla Arrival rate la distribución de la tasa de llegadas de las personas a la estación. Los datos utilizados en cada estación corresponden a las distribuciones ajustadas en la sección (3.2.2), tablas 3.5 y 3.6. También en este bloque se indicó la línea destino por donde entrarán las personas a la estación en la casilla Target line (ver figura 4.10).

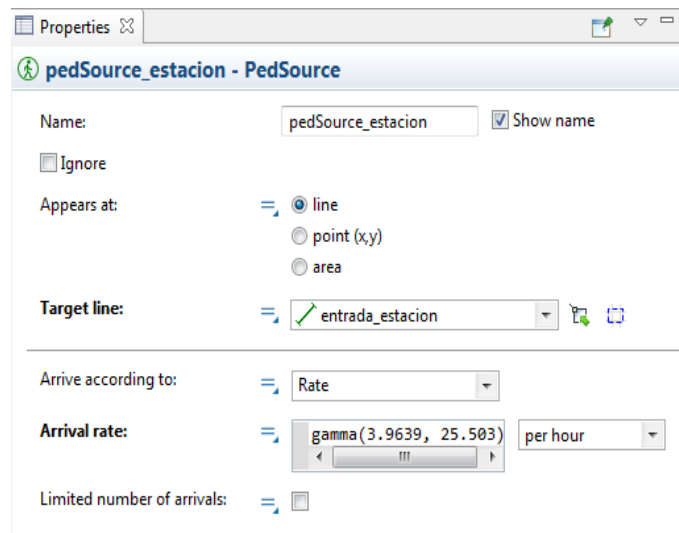


Figura 4.10: Propiedades del bloque PedSource

- En los bloques **PedWait** se indica el área donde deben permanecer las personas esperando mientras abordan la unidad de transporte, en este caso, el área de espera es en cada una de las estaciones. Del mismo modo en este bloque se agrega el valor de la distancia entre personas correspondiente a 0,25 m (ver figura 4.11).

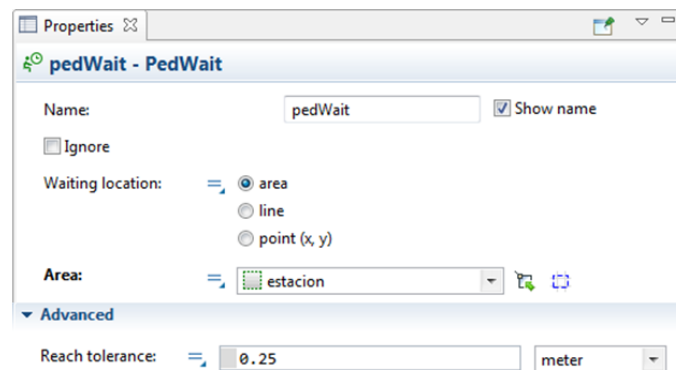


Figura 4.11: Propiedades del bloque PedWait

- En los bloques **PedExit** se indica que los agentes permanezcan donde se encuentran mientras son trasladados a su estación destino (ver figura 4.12).

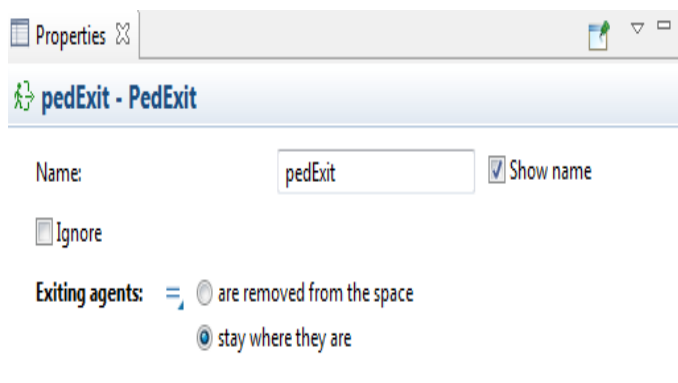


Figura 4.12: Propiedades del bloque PedExit

- En los bloques **Queue** se especifica la locación donde las personas van a realizar la cola. De igual manera en este bloque se indica la disciplina de la cola, la cual es del tipo FIFO (first in first out) (ver figura 4.13).

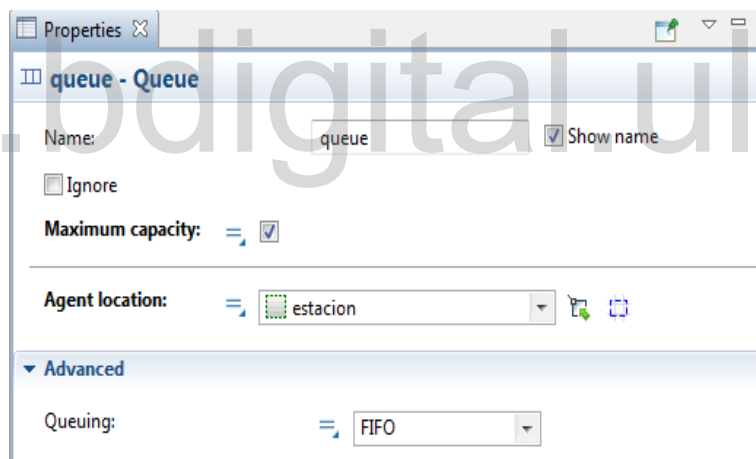


Figura 4.13: Propiedades del bloque Queue

- En el bloque **CarSource** se indica el tiempo entre salidas de las unidades de transporte correspondiente a 10 minutos. Se indica el camino por donde va transitar la unidad (ver figura 4.14). Así como también se agregan los valores de la longitud de la unidad, velocidad inicial, velocidad promedio, máxima aceleración y mínima aceleración, que se especifican en la sección (4.4).

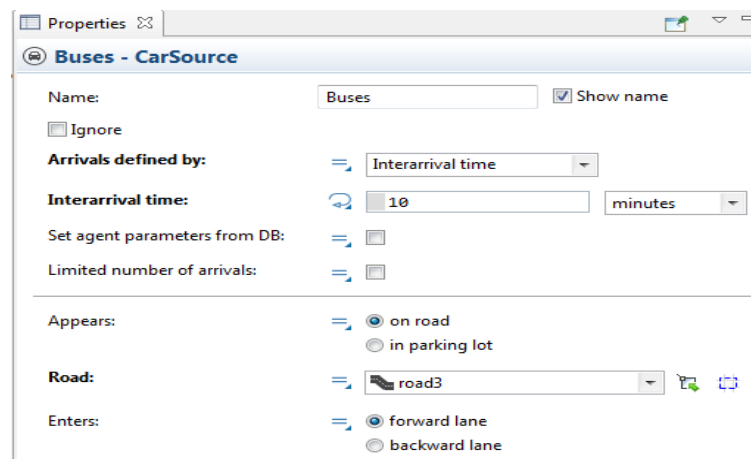


Figura 4.14: Propiedades del bloque CarSource

- En el bloque **CarMoveTo** ubicado luego del carSource y de los pickups se indica a la unidad de transporte que debe moverse hasta una línea Stop Line que se encuentra metros antes de la estación para evaluar en cual puerta debe detenerse la unidad (ver figura 4.15).

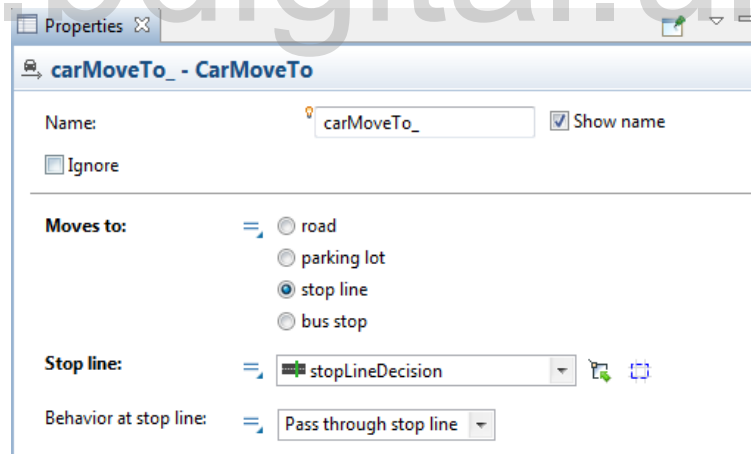


Figura 4.15: Propiedades del bloque CarMoveTo de decisión

- En los bloques **SelectOutput** se coloca la condición que permite verificar si la puerta 1 de la estación está ocupada, mediante la evaluación de una condición: `puerta_ocupada==false` (si la condición es verdadera la unidad de transporte se dirige a la puerta 1, de lo contrario se dirige a la puerta 2) (ver figura 4.16).

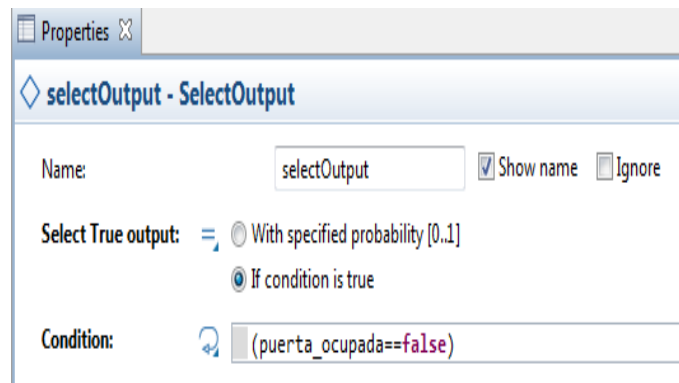


Figura 4.16: Propiedades del bloque SelectOutput

- En los bloques **CarMoveTo** ubicados luego del bloque selectOutput se indica a la unidad de transporte que se dirija a un Stop Line que representan la puerta 1 o 2 (ver figura 4.17).

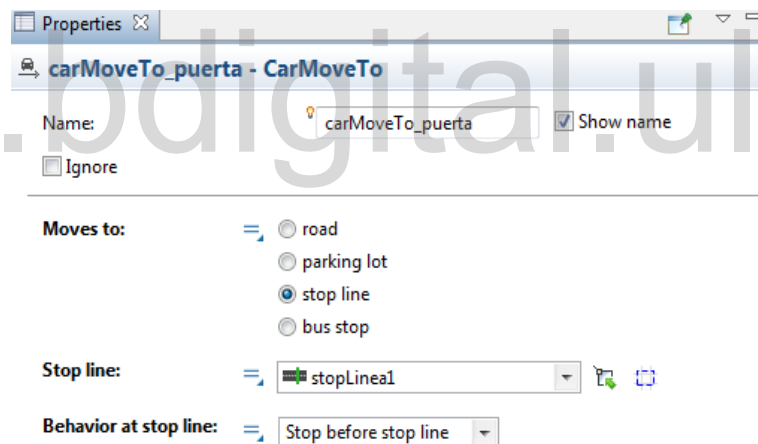


Figura 4.17: Propiedades del bloque CarMoveTo para dirigirse hacia las puertas

- En los bloques **Delay** ubicados antes de cada pickup se especifica el tiempo que tarda la unidad en cargar a las personas y se expresa en las acciones en el puerto On enter puerta_ocupada=true para representar que la unidad de transporte se encuentra en la puerta y en el puerto On exit puerta_ocupada=false para representar que la puerta se encuentra desocupada (ver figura 4.18).

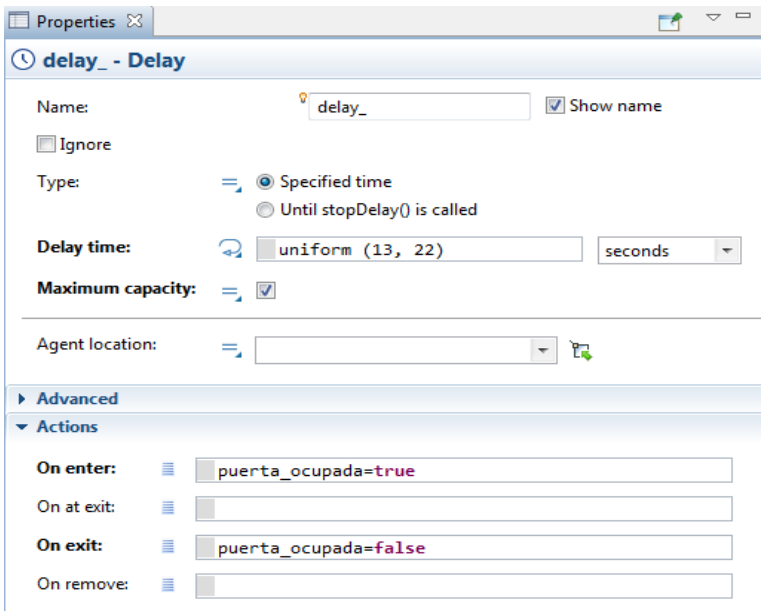


Figura 4.18: Propiedades del bloque Delay

Para representar el tiempo de carga y descarga de personas en las estaciones se extrapolaron los datos de la Línea 1 según las estaciones con comportamiento similar al de las estaciones de la L2. Los tiempos de carga y descarga de personas en cada estación se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Tiempo de carga y descarga de las unidades de transporte en cada estación

Estaciones		Tiempo de carga (segundos)		Tiempo de descarga (segundos)		Estación similar de la Línea 1
		uniforme (a; b)		uniforme (a; b)		
		a	b	a	b	
Sentido Hechicera - Centro	Terminal La Hechicera	40	60	22	31	Terminal Ejido
	C.C. La Hechicera	11	16	14	19	Las cruces
	Alberto Carnevali	13	22	16	20	San Antonio
	Santa Ana	18	25	13	22	Carrizal
	Liria	10	16	12	20	Soto Rosa
	Sor Juana Inés	15	22	18	25	Hospital
	Las Américas	8	14	12	21	La Parroquia
Sentido Centro - Hechicera	Centro	10	16	12	20	Soto Rosa
	Las Américas	9	16	13	20	Alto chama
	Sor Juana Inés	13	21	16	24	Acuario
	Liria	8	14	10	17	Museo de Ciencias
	Santa Ana	10	16	12	20	Soto Rosa
	Alberto Carnevali	13	20	16	20	San Antonio
	C.C. La Hechicera	11	16	14	19	Las Cruces

- En los bloques **Pickup** se indica la cantidad de personas que debe recoger la unidad de transporte dada por una variable llamada `capacidadbus_Estacion`. En este bloque también se expresan una serie de sentencias que permiten obtener la ocupación de la unidad de transporte, se actualiza la capacidad de la unidad de transporte y el número de personas que se bajarán en siguiente estación (ver figura 4.19).

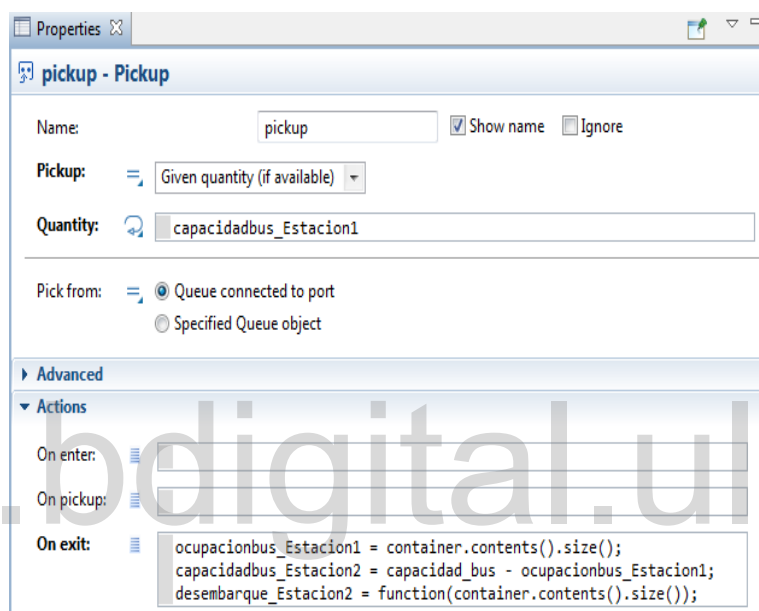


Figura 4.19: Propiedades del bloque Pickup

- `function(container.contents().size())` es una función del bloque pickup que devuelve la cantidad de personas en el bloque.
- `capacidad_bus` es una constante cuyo valor es 85 que corresponde al máximo número que puede transportar la unidad.
- `function(ocupacion)` es una función que recibe la ocupación de la unidad de transporte. En la función se genera un número aleatorio entre 0 y 10 que representa el número de personas que bajarán en la siguiente estación, la función realiza una comparación entre el número aleatorio generado y la ocupación de la unidad de transporte, si el número generado es mayor a la ocupación la función devuelve la ocupación de lo contrario devuelve el número aleatorio generado.

Se decidió calcular mediante una función que genera números aleatorios la cantidad de personas que se bajan de la unidad de transporte en cada estación, debido a que el bloque Dropoff no permite distribuciones y al observar los datos del conteo de pasajeros se aprecia que en las paradas se bajan entre 0 y 10 personas por unidad de transporte.

- En los bloques **Dropoff** se señala en la casilla Quantity la cantidad de personas que se bajarán en la estación, cuyo valor ha sido generada en el bloque Pickup anterior a este bloque. También en este bloque se actualiza la capacidad de la unidad de transporte y la ocupación (ver figura 4.20).

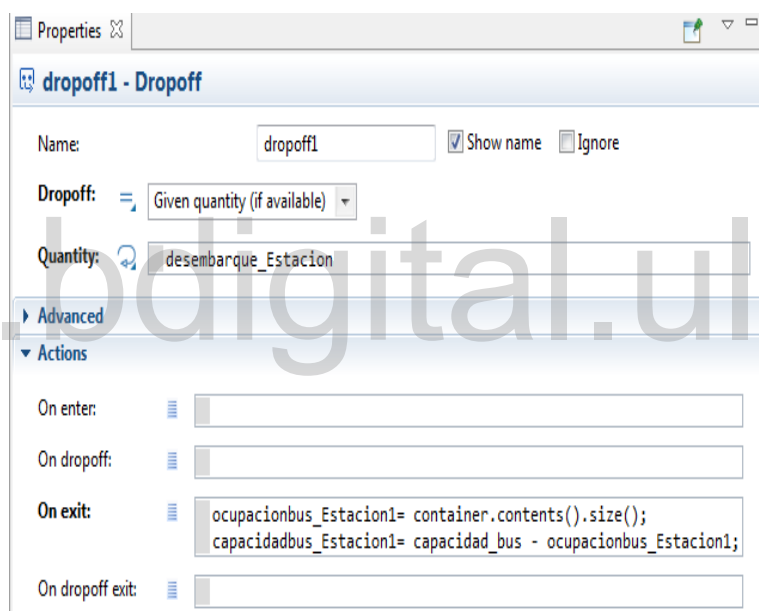


Figura 4.20: Propiedades del bloque Dropoff

- En los bloques **Delay** ubicados antes de los Dropoff se ingresa el tiempo que tarda la unidad de transporte en descargar las personas en la estación en la casilla Delay time. Los tiempos de descarga por estación se muestran la tabla 4.2.
- En los bloques **PedEnter** se indica el área donde aparecerán las personas que son expulsadas por el bloque Dropoff (ver figura 4.21).

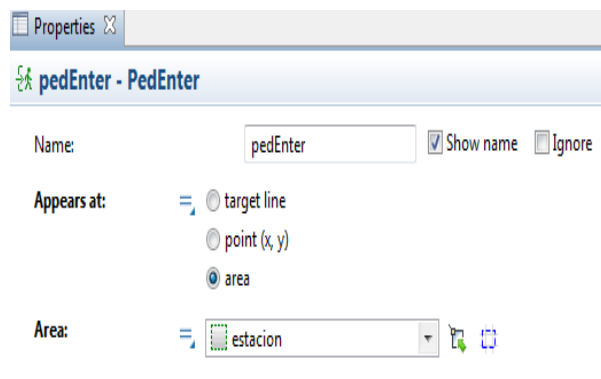


Figura 4.21: Propiedades del bloque PedEnter

- En los bloques **PedGoTo** se especifica en la casilla Target line la línea destino por donde saldrán las personas de la estación (ver figura 4.22).

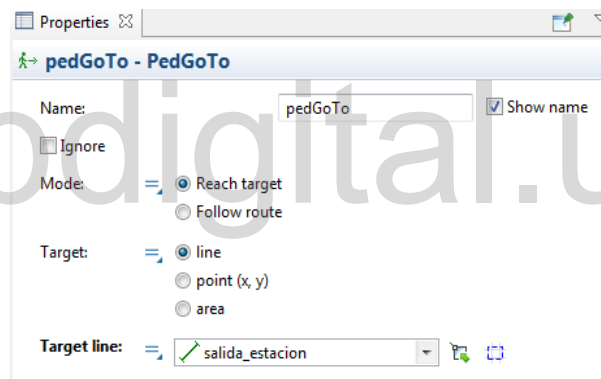


Figura 4.22: Propiedades del bloque PedGoTo

4.7 Interfaz de usuario

Se realizó una interfaz para facilitarle al usuario la tarea de definir los datos de entrada y mediante la misma mostrar los datos obtenidos a través de la simulación, la cual contiene un menú principal (figura 4.23) para dirigirse a las estadísticas resultantes en cada una de las estaciones, estadísticas globales y parámetros.

Estaciones de la Línea 2 del Sistema de Transporte Masivo de Mérida

Estadísticas - Terminal Hechicera	Estadísticas Globales
Estadísticas - C.C. La Hechicera	Parámetros
Estadísticas - Alberto Carnevali	
Estadísticas - Santa Ana	
Estadísticas - Liria	
Estadísticas - Sor Juana Inés	
Estadísticas - Las Américas	
Estadísticas - Centro	

Figura 4.23: Menú del modelo de simulación de la Línea 2

Al ingresar al modelo el usuario podrá definir los principales parámetros de entrada en un recuadro que contiene cada uno de los parámetros tanto de las unidades como de los usuarios (figura 4.24), solo basta ingresar al parámetro y definir el valor del mismo bien sea un número o una distribución de probabilidad. De igual modo el usuario puede acceder al bloque personas o buses del flujograma de procesos para definir otros parámetros de cada uno de ellos.

Figura 4.24: Ventana de parámetros en el modelo

Luego de iniciar la simulación al pulsar el click sobre Parámetros en el menú principal se dirige a una ventana (figura 4.25) donde se encuentran los principales parámetros de entrada al modelo, los cuales podrán ser variados durante la simulación a través de un “slider” que permite cambiar los valores de los parámetros dentro de un intervalo previamente definido.

Parámetros

Unidades



Usuarios



Figura 4.25: Ventana de parámetros en la simulación

Al presionar el click sobre cualquiera de las estadísticas de las estaciones se dirige a una ventana (figura 4.26) donde muestra los resultados que se están dando durante la simulación. En esta ventana se muestran diferentes elementos como un histograma del tiempo de espera, un gráfico de la ocupación del bus por minutos, un gráfico de la longitud de cola por minuto, una barra de longitud de cola promedio, una barra de longitud de cola máxima, una barra del porcentaje de ocupación de la unidad de transporte.

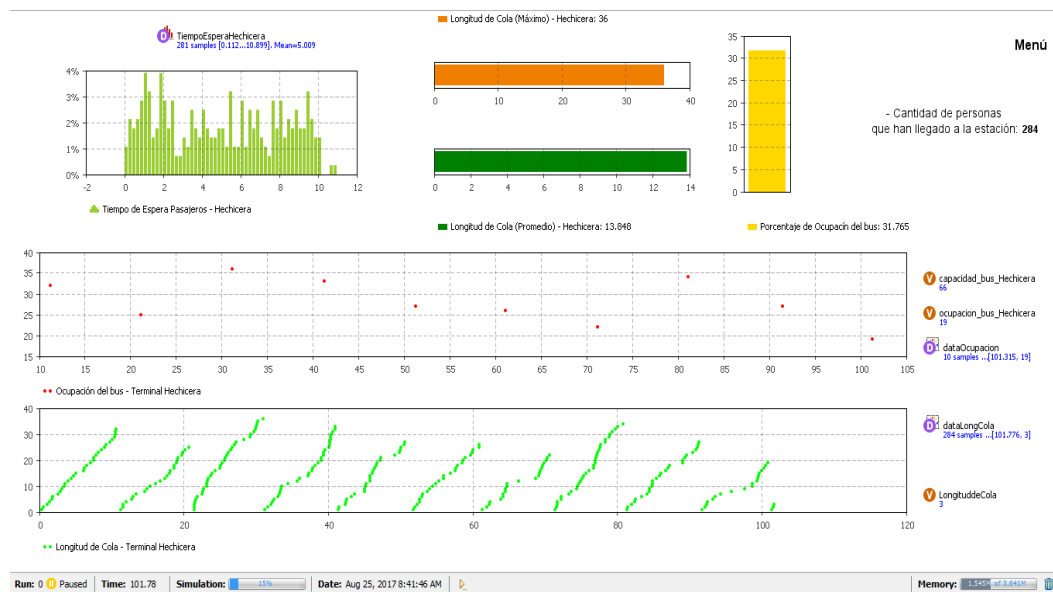


Figura 4.26: Ventana de estadísticas por estación de la Línea 2

También en la ventana de estadísticas se encuentran elementos que al hacer click sobre ellos muestran con más detalles las estadísticas que se están generando (figura 4.27), los cuales son “TiempoEsperaNombreEstacion” donde se muestra el tiempo mínimo, promedio y máximo que tardan los usuarios en abordar la unidad de transporte, “dataOcupacion” muestra la cantidad de puestos ocupados en la unidad de transporte y el minuto en que se ocuparon y “dataLongCola” muestra la cantidad de usuarios en cola y el minuto en cual se presenta esa cantidad de cola. En esta ventana también se puede observar la cantidad de personas que han llegado a la estación demandando el servicio de transporte y un enlace para regresar al menú.

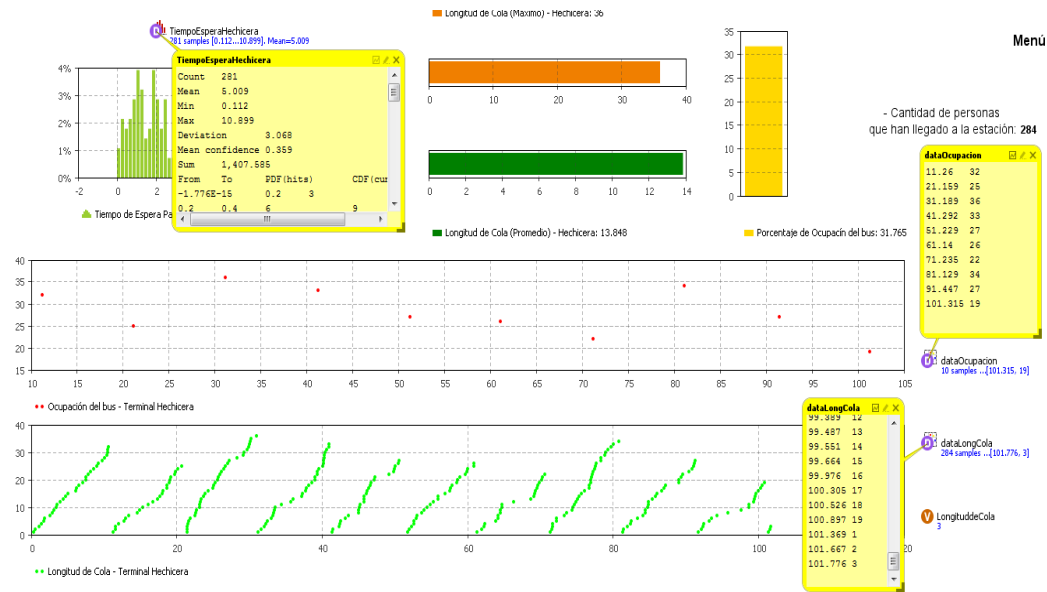


Figura 4.27: Estadísticas detalladas por estación de la Línea 2

Por otra parte, en el menú, al presionar el click sobre el enlace Estadísticas Globales se muestra una ventana (figura 4.27) con el resultado total de los usuarios que llegaron a las estaciones durante el día, el tiempo mínimo promedio y máximo de recorrido de las unidades de transporte y un cuadro resumen del porcentaje de ocupación de las unidades de transporte en las diferentes estaciones durante el día.

Estadísticas Globales: Hechicera - Centro



Figura 4.28: Estadísticas globales

Capítulo 5

Análisis de resultados

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos mediante la simulación, específicamente los siguientes parámetros:

- Tiempo de recorrido parcial y total Hechicera - Centro - Hechicera.
- Tiempo de espera de los usuarios para abordar la unidad de transporte en cada una de las estaciones en sentido Hechicera - Centro - Hechicera.
- Porcentaje de ocupación de la unidad de transporte en las diferentes estaciones en sentido Hechicera - Centro - Hechicera.
- Longitudes de cola de usuarios en cada una de las estaciones sentido Hechicera - Centro - Hechicera.
- Cantidad de usuarios que demandan el servicio de transporte por día en cada una de las estaciones en sentido Hechicera - Centro - Hechicera.

Para obtener los parámetros mencionado anteriormente se realizó la simulación para el periodo de un día desde las 7:00 am hasta las 6:00 pm y se utilizó una semilla aleatoria para cada corrida. Los parámetros para obtener los resultados son capacidad de las unidades de transporte igual a 85 usuarios, tiempo entre salidas de las unidades de transporte cada 10 min y los parámetros de la tasa de llegada de los usuarios a las estaciones estimados como se muestra en el capítulo 3.

Para cada uno de los parámetros resultantes de la simulación se estimó un intervalo de confianza del 95%, es decir, con un margen de error del 5%.

5.1 Tiempo de recorrido

5.1.1 Tiempo de recorrido sentido Hechicera - Centro

La tabla 5.1 resume los resultados del tiempo de recorrido mínimo, promedio y máximo de la unidad de transporte en 10 corridas durante un día desde las 7:00 am a 6:00 pm.

Tabla 5.1: Tiempo de recorrido de la unidad de transporte sentido Hechicera - Centro

Corrida	Tiempo de recorrido sentido Hechicera - Centro (min)		
	Mínimo	Promedio	Máximo
1	14,4	16,7	19,4
2	13,9	16,4	19,0
3	14,2	16,6	19,3
4	14,5	16,7	19,7
5	13,6	16,6	18,9
6	14,1	16,5	19,7
7	13,6	16,5	19,0
8	13,5	16,6	19,1
9	14,2	16,7	18,9
10	13,8	16,2	20,0
Promedio	13,9	16,6	19,3
Intervalo de confianza (95%)	[13,7; 14,4]	[16,5; 16,7]	[19,1; 19,5]

Se observa para 10 corridas que el tiempo de recorrido máximo, promedio y mínimo es de 19,3 min, 16,6 min y 13,9 min respectivamente. Por lo tanto los usuarios del sistema de transporte masivo en su ruta L2 que accedan al servicio desde la estación

Terminal Hechicera y deseen dirigirse a la estación Domingo Peña tardarán estos tiempos de recorrido, en promedio.

5.1.2 Tiempo de recorrido sentido Centro - Hechicera

Para el tiempo de recorrido sentido Centro - Hechicera se presentan los resultados en la tabla 5.2, para un total de 10 corridas durante un día desde las 7:00 am a 6:00 pm.

Tabla 5.2: Tiempo de recorrido de la unidad de transporte sentido Centro - Hechicera

Corrida	Tiempo de recorrido sentido Centro - Hechicera (min)		
	mínimo	promedio	máximo
1	14,8	17,1	19,9
2	14,8	16,9	19,6
3	14,6	16,8	19,9
4	15,0	17,0	20,1
5	14,6	16,9	19,5
6	14,5	17,0	19,7
7	14,7	16,9	19,2
8	14,9	17,1	19,8
9	14,7	16,8	20,0
10	15,1	17,0	19,9
Promedio	14,8	17,0	19,8
Intervalo de confianza (95%)	[14,7; 14,9]	[16,8; 17,2]	[19,6; 20,0]

Para 10 corridas el tiempo de recorrido que se observa es 19,6 min como máximo, 16,9 min en promedio y 14,6 min como mínimo. Los resultados obtenidos para el tiempo de recorrido sentido Centro - Hechicera no difieren mucho del tiempo de recorrido sentido Hechicera - Centro, y de esperarse, ya que es aproximadamente la misma distancia de recorrido, existe la misma cantidad de semáforos y los tiempos de carga

y descarga de personas no varían mucho en las estaciones entre Centro - Hechicera y Hechicera -Centro.

5.1.3 Tiempo de recorrido total Hechicera - Centro - Hechicera

El tiempo que tarda la unidad de transporte en recorrer toda la ruta, es decir, el tiempo que tarda en regresar al punto de partida (Terminal La Hechicera) se resume en la tabla 5.3.

Tabla 5.3: Tiempo de recorrido total Hechicera - Centro - Hechicera

Corrida	Tiempo de recorrido total (min)		
	mínimo	promedio	máximo
1	29,2	33,8	39,3
2	28,7	33,3	38,6
3	28,8	33,4	39,2
4	29,5	33,7	39,8
5	28,2	33,5	38,4
6	28,6	33,5	39,4
7	28,3	33,4	38,2
8	28,4	33,7	38,9
9	28,9	33,5	38,9
10	28,9	33,2	39,9
Promedio	28,8	33,5	39,1
Intervalo de confianza (95%)	[28,6; 29,0]	[33,4; 33,6]	[38,8; 39,4]

5.2 Tiempo de espera de los usuarios en las estaciones de la Línea 2

Tabla 5.4: Tiempo de espera de los usuarios en las estaciones en sentido Hechicera - Centro

Estaciones	Tiempo de espera de los usuarios (min)					
	Promedio para 10 corridas			Intervalo de confianza (95%)		
	mínimo	promedio	máximo	mínimo	promedio	máximo
Terminal La Hechicera	0,11	5,06	10,47	[0,09; 0,13]	[4,96; 5,16]	[10,24; 10,70]
C.C. La Hechicera	0,12	4,73	10,91	[0,10; 0,14]	[4,19; 5,27]	[10,36; 11,46]
Alberto Carnevali	0,11	5,09	11,55	[0,09; 0,13]	[5,00; 5,18]	[10,60; 12,50]
Santa Ana	0,13	5,06	16,07	[0,09; 0,17]	[5,00; 5,12]	[15,67; 16,47]
Liria	0,11	5,20	15,17	[0,09; 0,13]	[5,02; 5,38]	[13,66; 1,68]
Sor Juana Inés	0,11	5,28	19,36	[0,09; 0,13]	[5,24; 5,32]	[17,56; 21,16]
Las Américas	0,11	5,30	20,84	[0,09; 0,13]	[5,24; 5,36]	[19,71; 21,97]

Tabla 5.5: Tiempo de espera de los usuarios en las estaciones en sentido Centro - Hechicera

Estaciones	Tiempo de espera de los usuarios (min)					
	Promedio para 10 corridas			Intervalo de confianza (95%)		
	mínimo	promedio	máximo	mínimo	promedio	máximo
Centro	0,13	8,81	23,26	[0,10; 0,16]	[8,64; 8,89]	[22,47; 24,05]
Las Américas	0,15	7,91	23,64	[0,12; 0,18]	[7,76; 8,06]	[22,98; 24,30]
Sor Juana Inés	0,15	8,69	25,12	[0,11; 0,19]	[8,50; 8,88]	[21,94; 28,30]
Liria	0,13	7,96	23,82	[0,10; 0,16]	[7,01; 8,91]	[20,60; 27,04]
Santa Ana	0,15	10,61	30,98	[0,12; 0,18]	[8,72; 12,50]	[25,72; 36,24]
Alberto Carnevali	0,16	11,75	34,63	[0,12; 0,20]	[9,25; 14,25]	[31,71; 37, 55]
C.C. La Hechicera	0,15	14,39	41,88	[0,12; 0,18]	[8,69; 20,09]	[35,51; 48,25]

Se puede apreciar en las tablas 5.4 y 5.5 el promedio para 10 corridas del tiempo de espera de los usuarios mínimo, promedio y máximo en las estaciones de la L2 tanto

en sentido Hechicera - Centro como sentido Centro - Hechicera durante todo un día desde las 7:00 am a 6:00 pm.

En sentido Hechicera - Centro el tiempo promedio de espera en las estaciones oscila entre 4,73 min y 5,30 min, y el mayor tiempo de espera se presenta en la estación Las Américas y es de 20,84 min.

En sentido Centro - Hechicera el tiempo de espera promedio oscila entre 7,91 min y 14,39 min, y el mayor tiempo de espera es de 41,88 min en la estación C.C. La Hechicera.

5.3 Porcentaje de ocupación de las unidades de transporte en las estaciones de la Línea 2

Tabla 5.6: Porcentaje de ocupación de las unidades de transporte en las estaciones en sentido Hechicera - Centro

Estaciones	Porcentaje de ocupación de las unidades de transporte (%)					
	Promedio para 10			Intervalo de confianza (95%)		
	mínimo	promedio	máximo	mínimo	promedio	máximo
Term. La Hechicera	9,114	18,845	30,000	[6,425; 11,802]	[14,459; 23,232]	[24,862; 35,138]
C.C. La Hechicera	4,353	16,996	30,471	[1,911; 6,794]	[12,633; 21,358]	[25,488; 35,453]
Alberto Carnevali	4,353	18,109	32,677	[2,289; 6,417]	[14,466; 21,752]	[28,061; 37,292]
Santa Ana	10,588	26,990	47,291	[7,393; 13,783]	[22,557; 31,423]	[42,636; 51,946]
Liria	6,353	25,604	48,118	[4,112; 8,593]	[21,468; 29,740]	[43,124; 53,111]
Sor Juana Inés	17,795	43,435	77,883	[14,399; 21,191]	[38,895; 47,976]	[68,788; 86,977]
Las Américas	19,412	46,511	85,765	[15,095; 23,729]	[42,259; 50,763]	[78,219; 93,311]

En la tabla 5.6 se observa el promedio para 10 corridas del porcentaje de ocupación de las unidades de transporte en cada una de las estaciones sentido Hechicera - Centro, durante un día desde las 7:00 am a 6:00 pm. Las estaciones Sor Juan Inés y Las Américas son las estaciones donde se presenta el mayor porcentaje de ocupación de

la unidad de transporte con respecto a las demás estaciones tanto mínimo, promedio como máximo.

Tabla 5.7: Porcentaje de ocupación de las unidades de transporte en las estaciones en sentido Centro - Hechicera

Estaciones	Porcentaje de ocupación de las unidades de transporte (%)					
	Promedio para 10			Intervalo de confianza (95%)		
	mínimo	promedio	máximo	mínimo	promedio	máximo
Centro	6,353	13,999	24,471	[3,582; 9,124]	[10,491; 17,508]	[18,548; 30,393]
Las Américas	32,706	51,801	76,262	[29,432; 35,980]	[46,705; 56,897]	[68,376; 84,148]
Sor Juana Inés	26,353	58,345	92,353	[22,330; 30,376]	[51,328; 65,362]	[84,627; 100,079]
Liria	35,765	63,576	94,235	[27,316; 44,213]	[54,514; 72,639]	[88,425; 100,045]
Santa Ana	37,294	70,199	97,294	[27,927; 46,661]	[60,118; 80,281]	[92,263; 102,326]
Alberto Carnevali	39,765	73,610	98,824	[30,191; 49,338]	[64,585; 82, 636]	[96,636; 101,011]
C.C. La Hechicera	45,412	76,673	98,353	[34,659; 56,164]	[66,107; 87,240]	[95,290; 101,416]

Como se puede apreciar en la tabla 5.7 el porcentaje de ocupación de las unidades de transporte en las estaciones en sentido Centro - Hechicera, durante un día desde las 7:00 am a 6:00 pm, es en la mayoría de las estaciones mayor al 50% tanto el promedio como el máximo.

5.4 Longitudes de cola de usuarios en cada una de las estaciones de la Línea 2

Tabla 5.8: Longitudes de cola de usuarios en cada una de las estaciones en sentido Hechicera - Centro

Estaciones	Longitud de cola (usuarios)			
	Promedio para 10 corridas		Intervalo de confianza (95%)	
	promedio	máxima	promedio	máxima
Term. La Hechicera	7	25	[6, 8]	[21, 25]
C.C. La Hechicera	1	7	[0, 2]	[6, 8]
Alberto Carnevali	2	10	[1, 3]	[8, 12]
Santa Ana	6	22	[4, 8]	[17, 27]
Liria	1	8	[0, 2]	[7, 9]
Sor Juana Inés	9	39	[8, 10]	[35, 43]
Las Américas	3	15	[2, 4]	[13, 17]

En la tabla 5.8 se representan los valores de la longitud de cola promedio y máxima en cada una de las estaciones sentido Hechicera - Centro, durante un día desde las 7:00 am a 6:00 pm, donde la mayor longitud de cola se presenta en la estación Sor Juana Inés con una cantidad de usuarios en cola promedio y máximo de 9 y 39 respectivamente. La estación donde se presenta menor cantidad de usuarios en cola es la estación C.C. La Hechicera, en promedio 1 usuario en cola y como máximo 7 usuarios en cola.

Tabla 5.9: Longitudes de cola de usuarios en las estaciones sentido Centro - Hechicera

Estaciones	Longitud de cola (usuarios)			
	Promedio para 10 corridas		Intervalo de confianza (95%)	
	promedio	máxima	promedio	máxima
Centro	5	20	[4, 6]	[15, 25]
Las Américas	16	54	[15, 17]	[49, 59]
Sor Juana Inés	6	24	[4, 8]	[18, 30]
Liria	1	12	[0, 2]	[10, 14]
Santa Ana	6	23	[4, 8]	[18, 28]
Alberto Carnevali	2	13	[1, 3]	[11, 15]
C.C. La Hechicera	2	11	[1, 3]	[8, 14]

Para las estaciones en sentido Centro - Hechicera se muestra en la tabla 5.9 la longitud de cola de usuarios en cada una de ellas, durante un día desde las 7:00 am a 6:00 pm, donde se observa que la estación en la cual se forma mayor cantidad de cola es Las Américas con un promedio de 16 usuarios y máximo de 54 usuarios. La menor longitud de cola se presenta en dos estaciones, Liria con un promedio de 1 usuario y máximo 12 usuarios y C.C. La Hechicera con un promedio de 2 usuarios y máximo 11 usuarios.

5.5 Cantidad de usuarios que demandan el servicio en cada una de las estaciones de la Línea 2

Se presenta en la tabla 5.10 los resultados obtenidos mediante la simulación de la cantidad de usuarios que demandan el servicio de transporte por día, desde las 7:00 am hasta las 6:00 pm, en cada estación para desplazarse sentido Hechicera - Centro.

Tabla 5.10: Cantidad de usuarios que demandan el servicio en las estaciones en sentido Hechicera - Centro

Estaciones	Cantidad de usuarios	
	Promedio para 10 corridas	Intervalo de confianza (95%)
Term. La Hechicera	1058	[815; 1301]
C.C. La Hechicera	190	[158; 222]
Alberto Carnevali	330	[201; 459]
Santa Ana	774	[557; 991]
Liria	225	[165; 285]
Sor Juana Inés	1266	[1148; 1384]
Las Américas	477	[407; 547]

Tal como se muestra en la tabla anterior, las estaciones que reciben mayor cantidad de usuarios por día, desde las 7:00 am hasta las 6:00 pm, son Terminal La Hechicera, Santa Ana y Sor Juana Inés con una cantidad de usuarios de 1058, 774 y 1266 respectivamente. Y las estaciones que reciben menor cantidad de usuarios por día son Liria con 225 usuarios y C.C. La Hechicera con 190 usuarios.

Los resultados de los usuarios que llegan a las estaciones para desplazarse en sentido Centro - Hechicera se muestran en la tabla 5.11.

Tabla 5.11: Cantidad de usuarios que demandan el servicio en las estaciones en sentido Centro - Hechicera

Estaciones	Cantidad de usuarios	
	Promedio para 10 corridas	Intervalo de confianza (95%)
Centro	460	[345; 575]
Las Américas	1378	[1257; 1499]
Sor Juana Inés	649	[500; 798]
Liria	210	[162; 258]
Santa Ana	257	[201; 313]
Alberto Carnevali	253	[145; 361]
C.C. La Hechicera	102	[79; 125]

Se puede observar en la tabla anterior como la estación con más usuarios demandando el servicio por día, desde las 7:00 am hasta las 6:00 pm, es Las Américas con 1378 usuarios y la estación con menor cantidad de usuarios demandando el servicio es C.C. La Hechicera con un promedio de 102 usuarios por día.

En base a los resultados obtenidos y mostrados anteriormente se deduce que en sentido Hechicera - Centro las estaciones más críticas son Terminal La Hechicera, Santa Ana y Sor Juana Inés por ser en estas donde se presenta la mayor demanda del servicio, teniendo como consecuencia la formación de grandes longitudes de colas en algunos instantes del día y por lo tanto los usuarios esperan largos periodos de tiempo para abordar la unidad de transporte. En sentido Centro - Hechicera la estación más crítica es las Américas por poseer la mayor demanda de usuarios ocasionando grandes longitudes de cola y largos periodos de tiempo de espera de los usuarios para abordar la unidad de transporte. Debido a lo expuesto anteriormente en cuanto a las estaciones críticas en sentido Hechicera - Centro y Centro - Hechicera se recomienda tener operadores en cada estación que puedan notificar a la sala de operaciones cuando existe gran cantidad de usuarios demandando el servicio para que se puedan enviar unidades vacías hasta estas estaciones y de este modo se puedan reducir las longitudes

de cola y tiempo de espera de los usuarios en dichas estaciones.

Por otra parte la estación C.C. La Hechicera es la que presenta la menor demanda de usuarios por día tanto en sentido Hechicera - Centro como en sentido Centro - Hechicera por lo que se recomienda reubicar la estación a un lugar con mayor concentración de pasajeros o considerar no construirla.

5.6 Escenarios

Usando los parámetros de entrada estimados en el capítulo 3 se evaluaron 4 escenarios variando en cada uno de ellos el tiempo entre salidas de las unidades de transporte desde la estación Terminal La Hechicera, siendo este un parámetro importante ya que incide directamente en los tiempos de espera de los usuarios en cada una de las estaciones. En estos escenarios se observó el tiempo de espera de los usuarios en la estación Sor Juana Inés en sentido Hechicera - Centro por ser una de las estaciones que posee mayor cantidad de usuarios demandando el servicio.

Los resultados del tiempo de espera de los usuarios al variar el tiempo entre salidas de las unidades de transporte para cada uno de los escenarios se resumen en la tabla 5.12.

Tabla 5.12: Tiempo de espera de los usuarios en la estación Sor Juana Inés (en sentido Hechicera - Centro) según el tiempo entre salidas de las unidades de transporte

Escenario	Tiempo entre salidas de la unidad de transporte (min)	Tiempo de espera de los usuarios (min)						Unidades de transporte necesarias para cubrir la ruta
		Promedio para 10 corridas			Intervalo de confianza (95%)			
		mínimo	promedio	máximo	mínimo	promedio	máximo	
1	10	0,12	5,30	20,27	[0,10; 0,14]	[5,23; 5,37]	[20,02; 20,52]	4
2	15	0,10	35,38	93,39	[0,08; 0,12]	[32,64; 38,12]	[74,15; 112,63]	3
3	20	22,78	221,3	344,83	[19,35; 26,21]	[204,71; 237,89]	[332,79; 356,87]	2
4	25	33,00	300,06	570,63	[28,36; 37,64]	[284,23; 315,89]	[565,59; 575,67]	2

Es claro que al aumentar el tiempo entre salidas de las unidades de transporte el tiempo de espera de las personas aumenta, tal como se muestra en la tabla 5.12 el tiempo de espera aumenta de manera casi exponencial con una variación de 5 min entre tiempos de salida. En la tabla anterior también se especifica el número de

unidades necesarias para cubrir la ruta según el tiempo entre salidas de las unidades de transporte.

A continuación se puede observar gráficamente en la figura 5.1 el tiempo de espera según la variación del tiempo entre salidas.

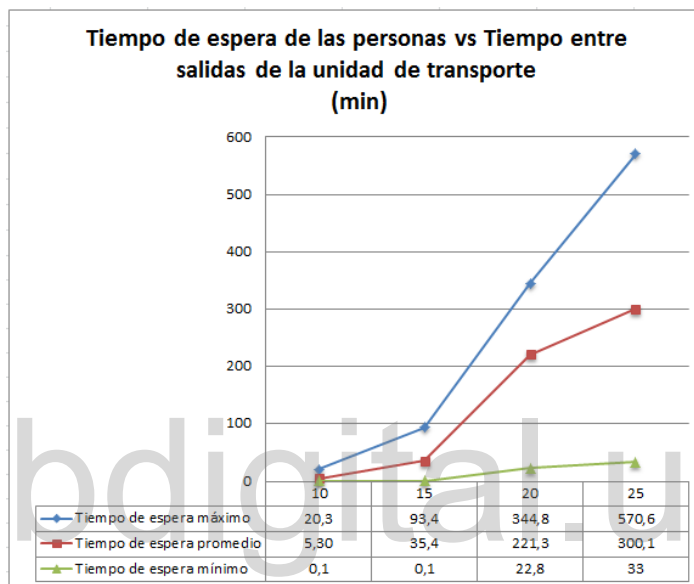


Figura 5.1: Tiempo de espera de las personas en la estación Sor Juana Inés vs Tiempo entre salidas de las unidades de transporte

Luego de observar los resultados en la tabla 5.12 y figura 5.1, se deduce que el tiempo más apropiado para que las unidades de transporte partan de la estación Terminal La Hechicera es cada 10 minutos, con esta frecuencia de salida la empresa debe contar con una flota vehicular de al menos 4 unidades operativas para cubrir la demanda de usuarios en la ruta Hechicera - Centro - Hechicera. Si las unidades transporte parten de la estación Terminal La Hechicera con una frecuencia de salida mayor a 10 minutos las personas deberán esperar mayor tiempo para abordar la unidad de transporte lo cual no es beneficioso para los usuarios y perjudica la reputación del servicio.

Capítulo 6

Conclusiones

Se realizó un modelo de simulación de la futura Línea 2 de TROMERCA con el software de simulación AnyLogic PLE versión 7.3.6, el cual permite evaluar el tiempo entre salidas de las unidades de transporte y estimar la cantidad de unidades operativas necesarias para cubrir la demanda.

Se utilizaron como principales parámetros de entrada al modelo el tiempo entre salidas de la unidad de transporte, capacidad de la unidad de transporte y las distribuciones de los usuarios que demandan el servicio de transporte.

Los resultados obtenidos muestra que las estaciones más críticas son Terminal La Hechicera, Santa Ana y Sor Juana Inés en sentido Hechicera - Centro; y en sentido Centro - Hechicera es la estación Las Américas. Debido a esto se sugiere a los planificadores colocar personal en cada una de las estaciones que puedan notificar a la sala de operaciones cuando exista gran cantidad de usuarios demandando el servicio para que se envíen unidades vacías a estas estaciones y de esta forma reducir las grandes longitudes de cola y los tiempos de espera de los usuarios.

La evaluación de los escenarios permitió determinar el mejor tiempo entre salidas de las unidades de transporte desde la estación Terminal La Hechicera y la cantidad de unidades operativas para cubrir la demanda de usuarios esperada; siendo cada 10 minutos el tiempo entre salidas donde los usuarios esperan menor tiempo para abordar la unidad de transporte y 4 las unidades operativas necesarias para cubrir la demanda.

6.1 Recomendaciones

El modelo de simulación presentado en este trabajo permite dar una primera aproximación que muestra el desempeño esperado de la Línea 2 del Trolebús Mérida. Sin embargo, no hay manera de validar que los datos utilizados para la estimación de los parámetros de entrada correspondan con la demanda real del sistema; por lo tanto, se recomienda una vez construida y en funcionamiento la L2 realizar el registro de éstos datos periódicamente para utilizar el modelo propuesto en la toma de decisiones en la etapa de funcionamiento de la línea y ajustar regularmente la cantidad y la frecuencia de salida de las unidades utilizadas.

El modelo realizado posee las características proporcionadas por los planificadores en cuanto a tipo de unidades destinadas a operar, dimensiones de las estaciones, cantidad de estaciones y distancias entre ellas y cantidad de kilómetros de la ruta, si estos datos varían es recomendable realizar modelos de simulación que permitan incorporar las nuevas variaciones. En este caso se recomienda adquirir el software de simulación AnyLogic sin limitaciones ya que permitirá a los usuarios del modelo incorporar las mejoras al mismo, este software es una herramienta que deberían considerar para facilitar y soportar la toma de decisiones de operatividad en las diferentes líneas del proyecto TROMERCA.

Por último se alienta a proponer nuevos escenarios y plantear nuevas preguntas al modelo que ayuden al desarrollo y puesta en funcionamiento del proyecto del sistema de transporte masivo de TROMERCA.

Bibliografía

AnyLogic. 2016. *AnyLogic*. Disponible en <http://www.anylogic.com/features>.

AnyLogicNorthAmerica. 2016. *AnyLogic Personal Learning Edition (Version 7.3.6)*. Software recuperado de <https://www.anylogic.com/>. Fecha de consulta: 01 de Noviembre de 2016.

Barceló, J. 1996. *Simulación de Sistemas Discretos*. Madrid, España: Isdef.

Calderas, R. 2001. *Modelado y Simulación del Sistema de Transporte Masivo de la Zona Metropolitana de Mérida (Tesis de maestría no publicada)*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Mérida, Venezuela.

INE. 2011. *Instituto Nacional de Estadística - Informe Censo Mérida*. Disponible en <http://www.ine.gov.ve/>. Fecha de consulta: 10 de Enero de 2017.

Álvarez, O. 2017. *Desarrollo de un Modelo de Simulación de la Línea 1 de TROMERCA en la Ciudad de Mérida, Venezuela (Tesis de pregrado mención publicación)*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Mérida, Venezuela.

MathWaveTechnologies. 2017. *EasyFit*. Disponible en <http://www.mathwave.com/es/home.html>. Fecha de consulta: 24 de Mayo de 2017.

Silva, U. 2017. *Modelo de Demanda de la Red de Transporte Centro - La Hechicera para la Línea 2 del Trolebús Mérida (Tesis de pregrado mención publicación)*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Mérida, Venezuela.

TheRFoundation. 2017. *¿Qué es R?* Disponible en <https://www.r-project.org/about.html>. Fecha de consulta: 24 de Mayo de 2017.

TROMERCA. 2017. *TROMERCA*. Disponible en <http://www.tromerca.gob.ve/index.php/trom/quienes>. Fecha de consulta: 10 de Junio de 2017.

Vasquez, Y. 2005. *Ampliación, Actualización y Validación de un Modelo de la línea 1 del Sistema de Transporte Masivo de la zona metropolitana de Mérida (Tesis de pregrado no publicada)*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Mérida, Venezuela.

Wright, L., Hook, W., & Pardo, C. 2010. *Guía de planificación de sistemas BRT*. Disponible en <https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2014/07/02.-BRT-Guide-Spanish-Introduccion.pdf>. Fecha de consulta: 05 de Noviembre de 2016.

YUTONG. 2017. *Yutong*. Disponible en <http://es.yutong.com/products/ZK6108HGC-CIS.shtml#>. Fecha de consulta: 24 de Mayo de 2017.

Zeigler, B. 1984. *Theory of Modeling and Simulation*. Melbourne, FL: Krieger Publishing Co.

Apéndice A

Herramientas para la recolección y análisis de datos

A continuación se presentan los instrumentos y ecuaciones necesarias para la recolección de los datos para el modelo.

A.1 Cuestionario de preguntas



Recolección de datos necesarios para la realización de los proyectos: **Desarrollo de un Modelo de Simulación de la Línea 2 del Sistema de Transporte Masivo de Mérida, Venezuela.**

Los datos servirán para estimar la demanda de pasajeros que utilizarán el sistema de transporte masivo en la ciudad de Mérida entre las zonas: Centro - Sector La Hechicera.

Fecha:

Parroquia:

- Si se realiza la ampliación de las rutas del sistema de transporte masivo de la ciudad de Mérida desde el centro, estación Domingo Peña (sector paseo la feria), hasta el sector la Hechicera cuya ruta es denominada Línea 2* ¿utilizarías el servicio de transporte masivo en esta nueva ruta?

SI	NO
Total:	Total:

Línea 2*: Ruta Centro-Hechicera la cual comenzará en la estación Domingo Peña en el sector paseo la feria, atravesando la calle 26, sube por la Av. Las Américas y culminará finalmente en el sector la Hechicera metros arriba del Jardín Botánico (y viceversa).

Figura A.1: Cuestionario de preguntas

A.2 Formulario de recolección de datos para el conteo de pasajeros

Se realizó el formulario de recolección de datos para el conteo con el fin de llevar un registro el número de personas que subían al bus y bajaban del bus en periodos de 10 min, así como también se tomó como dato adicional la cantidad de buses que frecuentaban la parada en el mismo intervalo de tiempo, desde las 7:00 am hasta las 6:00 pm.



Gobierno Bolivariano de Venezuela

Ministerio del Poder Popular para el Transporte



ZAMORA
UNIÓN CIVICO MILITAR

Tromerca

Recolección de datos necesarios para la realización de los proyectos: **Desarrollo de un Modelo de Simulación de la Línea 2 del Sistema de Transporte Masivo de Mérida, Venezuela.**
Los datos servirán para estimar la demanda de pasajeros que utilizan el transporte público en la ciudad de Mérida entre las zonas: Centro - Sector La Hechicera.

Fecha: _____ Día de la semana: _____ Lugar: _____

Encargado (a): _____

	Intervalo de hora	Conteo de personas que SUBEN al bus	Conteo de personas que BAJAN del bus	Conteo de Buses
7:00am - 8:00 am	7:00 am -			
	7:10 am -			
	7:20 am -			
	7:30 am -			
	7:40 am -			
	7:50 am -			
	8:00 am -			
	8:10 am -			
	8:20 am -			
	8:30 am -			
8:00am - 9:00 am	8:40 am -			
	8:50 am -			
	9:00 am -			
	9:10 am -			
	9:20 am -			
	9:30 am -			
	9:40 am -			
	9:50 am -			
	10:00 am -			

Figura A.2: Formulario de recolección de datos para el conteo de pasajeros

Apéndice B

Datos para el modelo

B.1 Data del conteo de pasajeros

Para las paradas en sentido Centro - Hechicera se resume en la tabla B.1 los resultados del conteo de pasajeros de transporte público en intervalos de una hora para un día de 7:00 am a 6:00 pm.

Tabla B.1: Pasajeros que demandan el servicio de transporte público en un día en las paradas en sentido Centro - Hechicera

Intervalo de hora	Cantidad de personas que demandan el servicio de transporte público por paradas						
	Centro	Yuan Lin	FACES	FACIJUP	Santa Ana Sur	Domingo Salazar	Santa Ana Norte
7:00 am - 8:00 am	42	184	39	7	39	18	19
8:00 am - 9:00 am	32	189	28	12	44	22	5
9:00 am - 10:00 am	33	155	18	33	25	8	3
10:00 am - 11:00 am	45	184	41	17	29	30	7
11:00 am - 12:00 m	32	113	88	18	20	33	4
122:00 m - 1:00 pm	33	134	63	23	27	30	7
1:00 pm - 2:00 pm	17	60	73	14	32	14	20
2:00 pm - 3:00 pm	29	74	79	13	28	5	3
3:00 pm - 4:00 pm	26	80	88	10	15	14	17
4:00 pm - 4:00 pm	57	113	116	26	9	37	6
5:00 pm - 6:00 pm	74	91	91	37	13	50	8
Total por día	420	1377	724	210	281	261	99

En sentido Hechicera - Centro se muestra en la tabla B.2 los resultados del conteo de pasajeros de transporte público en un día de 7:00 am a 6:00 pm, resumidos en periodos de una hora.

Tabla B.2: Pasajeros que demandan el servicio de transporte público en un día en las paradas en sentido Hechicera - Centro

Intervalo de hora	Cantidad de personas que demandan el servicio de transporte público por paradas						
	Terminal La Hechicera	Santa Ana Norte	Domingo Salazar	Santa Ana Sur	FACIJUP	FACES	Yuan Lin
7:00 am - 8:00 am	48	6	18	152	26	105	37
8:00 am - 9:00 am	50	10	28	139	53	118	48
9:00 am - 10:00 am	95	4	18	111	54	146	55
10:00 am - 11:00 am	80	5	9	93	29	118	24
11:00 am - 12:00 m	118	5	40	123	46	120	26
12:00 m - 1:00 pm	212	7	47	63	29	230	62
1:00 pm - 2:00 pm	149	9	31	112	22	198	43
2:00 pm - 3:00 pm	92	14	11	84	14	118	32
3:00 pm - 4:00 pm	64	3	8	73	23	115	40
4:00 pm - 5:00 pm	60	7	15	55	33	120	64
5:00 pm - 6:00 pm	144	18	13	34	31	177	40
Total por día	1112	88	238	1039	360	1565	471