

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 1 de TROMERCA en la Ciudad de Mérida, Venezuela

Desarrollado por:

Br. Oscar Enrique Álvarez Andérez

Tutor: Prof. Magdiel Ablan Bortone

Cotutor: Prof. Douglas Rivas

Mayo 2017



©2017 Universidad de Los Andes Mérida, Venezuela

Desarrollo de un Modelo de Simulación de la Línea 1 de TROMERCA en la ciudad de Mérida, Venezuela.

Br. Oscar Enrique Álvarez Andérez

Proyecto de Grado — Investigación de Operaciones.

Resumen:

Este proyecto presenta un modelo de simulación de la Línea 1 de TROMERCA que abarca desde la estación Terminal Ejido, hasta la Estación Domingo Peña. Se utilizaron los datos tomados por el autor de los usuarios que usan esta línea del sistema del trolebús. Para este trabajo se utilizó la simulación de eventos discretos, escogiendo como herramienta de simulación el software AnyLogic con el fin de evaluar su desempeño para este tipo de trabajos. Hoy en día, los usuarios de TROMERCA deben esperar largos tiempos para dirigirse desde su lugar de origen hasta su lugar de destino, los escenarios planteados permitirían la reducción de estos tiempos, así como con el escenario número 1, evitaría la coincidencia de unidades de transporte a la misma hora en la misma estación, y el tiempo máximo de espera de los usuarios para acceder al servicio se reduciría ajustándose mucho más a la media.

Descriptores: AnyLogic, Simulación de Eventos discretos, TROMERCA, Modelo de transporte.

A mi Familia,

A cada miembro de ella, en especial a mi Abuelo Toto,

*Porque aunque no llegaste a conocer mi anhelo por este logro, sé que no
podrías estar más orgulloso de mí.*

ÍNDICE

Índice.....	iv
Índice de Tablas.....	ix
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Gráficas.....	xiii

CAPITULO 1. Introducción..... 3

1.1	Antecedentes.....	3
1.2	Definición del Problema.....	4
1.3	Justificación.....	5
1.4	Objetivos.....	5
1.4.1	Objetivo General.....	5
1.4.2	Objetivos Específicos.....	6
1.5	Metodología.....	7
1.6	Estructura del Documento.....	7

CAPITULO 2. Marco Teórico..... 9

2.1	Sistema.....	9
2.2	Simulación.....	9
2.2.1	Simulación de Eventos Discretos.....	10
2.2.1.1	Características.....	10
2.3	Software de Simulación.....	10
2.3.1	ARENA.....	10
2.3.2	FLEXSIM.....	11
2.3.3	SIMUL8.....	11

2.3.4	AnyLogic.....	11
2.3.4.1	Animación.....	12
2.3.4.2	Bibliotecas.....	12
2.4	TROMERCA.....	13
2.4.1	Visión.....	14
2.4.2	Rutas.....	14
2.4.3	Componentes básicos del sistemas.....	16
2.4.4	Flota vehicular.....	16
2.4.4.1	Trolebús.....	17
2.4.4.1.1	Componentes.....	17
2.4.4.2	Yutong.....	18
2.4.5	Semáforos.....	18
2.4.6	Estaciones.....	20
2.4.6.1	Áreas.....	21
2.4.6.2	Estaciones que componen la Línea 1 de TROMERCA.....	21
2.4.6.2.1	Terminal – Ejido.....	21
2.4.6.2.2	Estación Pozo Hondo.....	22
2.4.6.2.3	Estación Centenario.....	22
2.4.6.2.4	Estación Montalbán.....	23
2.4.6.2.5	Estación Las Cruces.....	23
2.4.6.2.6	Estación Pan de Azúcar.....	24
2.4.6.2.7	Estación La Parroquia.....	24
2.4.6.2.8	Estación La Mara.....	25
2.4.6.2.9	Estación Alto Chama.....	25
2.4.6.2.10	Estación Carrizal.....	26
2.4.6.2.11	Estación Museo de Ciencias.....	26
2.4.6.2.12	Estación Las Tapias.....	27
2.4.6.2.13	Estación Acuario.....	27
2.4.6.2.14	Estación San Antonio.....	28

2.4.6.2.15 Estación Pie del Llano.....	28
2.4.6.2.16 Estación Santa Juana.....	29
2.4.6.2.17 Estación Soto Rosa.....	30
2.4.6.2.18 Estación María Mazzarello.....	30
2.4.6.2.19 Estación Campo de Oro.....	31
2.4.6.2.20 Estación Hospital.....	31
2.4.6.2.21 Estación Mercado Periférico.....	32
2.4.6.2.22 Estación Luís Ghersi.....	32
2.4.6.2.23 Estación Medicina.....	33
2.4.6.2.24 Estación Universidad.....	33
2.4.6.2.25 Estación Domingo Peña.....	33

2.5 Herramientas de Análisis Estadístico..... 35

2.5.1 Software Estadístico R.....	35
2.5.2 EasyFit.....	36

CAPITULO 3. Descripción del Modelo..... 37

3.1 Ruta.....	38
3.2 Flota vehicular.....	39
3.3 Estaciones.....	40
3.4 Usuarios.....	42
3.5 Semáforos.....	42
3.6 Análisis de datos.....	44
3.6.1 Análisis de datos Estación Pie del Llano.....	44
3.6.2 Análisis de datos Terminal Ejido.....	45
3.6.3 Análisis de datos Estación Universidad.....	47

CAPITULO 4. Implementación del Modelo.....	49
4.1 Descripción general de la implementación en AnyLogic.....	49
4.1.1 Librerías.....	49
4.2 Modelado de la demarcación espacial del modelo y bases para la animación.....	50
4.3 Modelado de usuarios en una estación del Trolebús.....	52
4.4 Modelado de la unidad de transporte.....	54
4.5 Modelado de la red de transporte.....	55
4.6 Animación del modelo.....	56
4.7 Toma de datos utilizando el modelo.....	58
4.8 Evaluación de la calidad del modelo (Verificación y Validación).....	57
4.8.1 Verificación.....	59
4.8.2 Validación.....	61
CAPITULO 5. Análisis de Resultados.....	64
5.1 Determinar el número de usuarios en promedio que utilizan el sistema ofrecido por TROMERCA en un día de (7:30 am a 6:00 pm) desde las estaciones: Terminal Ejido, Pie del Llano, Universidad.....	64
5.2 Conocer el tiempo de espera de los usuarios para utilizar el servicio de TROMERCA.....	64
5.3 Determinar la coincidencia de los trolebuses en la misma estación desde las 7:30 am hasta las 6:00 pm.....	67
5.4 Conocer el tiempo promedio que tardan los usuarios en llegar desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Pie del Llano, desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Universidad, y desde la Estación Pie del Llano hasta la Estación Universidad.....	68
5.5 Evaluación de escenarios.....	69

5.5.1	Escenario 1. El trolebús tenga paso prioritario y no deba detenerse en los semáforos.....	69
5.5.2	Escenario 2. Existe una mayor cantidad de Trolebuses por lo tanto los mismos parten de la estación Terminal Ejido con mayor frecuencia que la presentada actualmente.....	70
5.6	Evaluar AnyLogic como herramienta de simulación para proyectos relacionados con sistema de transporte	73
CAPITULO 6. Conclusiones y recomendaciones.....		76
6.1	Conclusiones	76
6.2	Recomendaciones	77
BIBLIOGRAFÍA		79
APÉNDICE A		81
APÉNDICE B		82
APÉNDICE C		87
APÉNDICE D		89

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PP.
1 Distancia entre estaciones en la Línea 1 de TROMERCA.....	15
2 Semáforos que componen la Línea 1 de TROMERCA.....	19
3 Usuarios aproximados que llegan a cada estación.....	34
4 Distancia entre estaciones en el modelo.....	38
5 Velocidades de las unidades escaladas al modelo.....	40
6 Características de las estaciones.....	41
7 Semáforos.....	43
8 Estadística descriptiva Estación Terminal Ejido.....	46
9 Estadística descriptiva Estación Universidad.....	47
10 Entradas variadas para la verificación del modelo.....	60
11 Salidas obtenidas en la verificación del modelo al variar el parámetro 1.....	60
12 Salidas obtenidas en la verificación del modelo al variar el parámetro 2.....	61
13 Tiempos observados en la Línea 1 de TROMERCA.....	62
14 Tiempos observados en el modelo de simulación.....	62
15 Cantidad de usuarios que llegan a las estaciones arrojadas por el modelo.....	64
16 Tiempos que tardan los usuarios en utilizar el sistema en la Estación Terminal Ejido.....	65
17 Tiempos que tardan los usuarios en utilizar el sistema en la Estación Pie del Llano.....	65
18 Tiempos que tardan los usuarios en utilizar el sistema en la Estación Universidad.....	66
19 Cantidad de veces que coinciden 2 o más trolebús en una Estación.....	67
20 Tiempo promedio que tardan los usuarios desde una Estación A hasta una Estación B.....	68
21 Resultados arrojados por el modelo para el escenario 1.....	69
22 Resultados arrojados por el modelo para el escenario 2.....	70

23	Tabla comparativa desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Pie del Llano.....	71
24	Tabla comparativa desde la Estación Pie del Llano hasta la Estación Universidad.....	71
25	Tabla comparativa desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Universidad.....	72
26	Evaluación del software utilizado.....	73
27	Conteos en las estaciones de TROMERCA. Estación Terminal Ejido	
	7:30 am – 8:30 am.....	81
28	Resultados conteo entre las 7:30 am y las 8:30 am.....	82
29	Resultados conteo entre las 8:30 am y las 9:30 am.....	83
30	Resultados conteo entre las 9:30 am y las 10:30 am.....	83
31	Resultados conteo entre las 10:30 am y las 11:30 am.....	83
32	Resultados conteo entre las 11:45 am y las 12:45 pm.....	83
33	Resultados conteo entre las 1:00 pm y las 2:00 pm.....	84
34	Resultados conteo entre las 2:00 pm y las 3:00 pm.....	85
35	Resultados conteo entre las 3:00 pm y las 4:00 pm.....	85
36	Resultados conteo entre las 4:00 pm y las 5:00 pm.....	85
37	Resultados conteo entre las 5:00 pm y las 6:00 pm.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PP.
1 Animación de AnyLogic (Fuente: Examples AnyLogic).....	12
2 Rutas TROMERCA (Fuente: TROMERCA, 2016).....	14
3 Vista de canal exclusivo TROMERCA y canales vehiculares (Fuente: TROMERCA 2016).....	16
4 Componentes de una unidad de TROMERCA (Fuente: TROMERCA, 2016).....	17
5 Estación Terminal – Ejido, Patio y Talleres (Fuente: TROMERCA 2009).....	22
6 Estación Pozo Hondo (Fuente: TROMERCA 2012).....	22
7 Estación Centenario (Fuente: TROMERCA 2012).....	23
8 Estación Montalbán (Fuente: TROMERCA 2012).....	23
9 Estación Las Cruces.....	24
10 Estación Pan de Azúcar (Fuente: TROMERCA 2012).....	24
11 Estación La Parroquia (Fuente: TROMERCA 2012).....	25
12 Estación La Mara (Fuente: TROMERCA 2012).....	25
13 Estación Alto Chama (Fuente: TROMERCA 2012).....	26
14 Estación Carrizal.....	26
15 Estación Museo de Ciencias (Fuente: TROMERCA 2012).....	27
16 Estación Las Tapias.....	27
17 Estación Acuario (Fuente: TROMERCA 2012).....	28
18 Estación San Antonio (Fuente: TROMERCA 2012).....	28
19 Ubicación Estación Pie del Llano.....	29
20 Estación Pie del Llano (Fuente: TROMERCA 2011).....	29
21 Estación Santa Juana.....	30
22 Estación Soto Rosa.....	30
23 Estación María Mazzarello.....	31

24 Estación Campo de Oro.....	31
25 Estación Hospital.....	32
26 Estación Luís Gherzi.....	32
27 Estación Universidad.....	33
28 Estación Domingo Peña.....	34
29 Datos tomados en la Estación Pie del Llano.....	44
30 Datos tomados en la Estación Terminal Ejido.....	45
31 Datos tomados en la Estación Universidad.....	47
32 Funciones de la librería de Modelado de Procesos.....	50
33 Escala del modelo.....	51
34 Dibujando la Línea 1 de TROMERCA.....	52
35 Estación Pie del Llano en AnyLogic.. ..	52
36 PedSource.....	53
37 Paleta de acciones para usuarios.....	53
38 Secuencia de bloques para el modelado de usuarios en una estación.....	54
39 Secuencia de bloques para el modelado de Trolebuses en una estación.....	54
40 Función en un bloque.....	55
41 Modelado de la red de transporte en AnyLogic.....	56
42 Utilización de View Área en el modelo.....	57
43 Animación en 3D del modelo.....	57
44 Conteo de usuarios en el modelo.....	58
45 Toma de datos de los usuarios en el modelo.....	58
46 Contabilizando las coaliciones entre las unidades de transporte.....	59
47 Coincidencia de 2 buses, vista en 3D.....	59
48 Estación Típica 1 (Fuente: Hernández, 2017).....	89
49 Estación Típica 2 (Fuente: Hernández, 2017).....	90
50 Estación Paradero (Fuente: Hernández, 2017).....	90
51 Estación Paradero (Mercado Periférico) (Fuente: Hernández, 2017).....	91
52 Estación tipo Propuesta Inicial (Trolebús) (Fuente: Hernández, 2017).....	91

Capítulo 1

Introducción

1.1 Antecedentes

Los sistemas de transporte masivo se han vuelto comunes en cualquier país del mundo, donde los países más desarrollados, por lo general, ya poseen alguno, y otros, se encuentran en proceso de construcción. Entonces es frecuente encontrar trabajos donde se han realizado estudios semejantes al que aquí se ejecutó. La simulación como herramienta ideal para tratar este tipo de estudios, aparece en varios de estos trabajos.

Serrano & Ortiz (2004), realizaron un modelo de simulación para evaluar el desempeño de un sistema de transporte masivo, con el fin de precisar y evaluar las medidas de desempeño típicas de las líneas de espera, ya que tomaron como elementos importantes del sistema las estaciones intermedias y las rutas de los buses, entre otras, pero dándole prioridad al estudio del ingreso y salida de usuarios de las estaciones intermedias, considerando que pueden realizar transbordo, poseer ticket, o tener que hacer cola para comprarlo.

En Perú, Lima, debido a la construcción en el año 2011 de un sistema de tránsito público masivo Carbajal, Aragón, & Dávila (2013), ejecutaron un proyecto que buscaba optimizar la atención de los usuarios que hacen uso de ese sistema de transporte, minimizando los tiempos de espera y para ello fue necesario apoyarse en la simulación para poder experimentar y realizar propuestas de mejoras sobre el desempeño de este sistema.

La Universidad de Los Andes, no se ha mantenido alejada de este proyecto que comenzó la antigua Trolmérida en el año 2001, ya que se han llevado a cabo diversos

trabajos. En particular, uno muy importante realizado por Calderas en el año 2001, el cual consistió en simular y modelar la Línea 1 del Sistema de Transporte Masivo Trolmérida, para predecir el funcionamiento y comportamiento de este sistema. Este trabajo abrió el panorama para que otros tesisistas, tanto de postgrado como de pregrado, pudieran desarrollar trabajos enfocados a este Sistema de Transporte Masivo, tal y como fue el trabajo de Vazquez en el año 2004, el cual basado en el trabajo de maestría del Ingeniero anteriormente mencionado, experimentó y validó dicha tesis, utilizando el software de simulación ARENA.

1.2 Definición del problema

En la actualidad, en Mérida, Venezuela, se viene desarrollando un plan público vial ejecutado por el Ministerio del Poder Popular para Transporte Terrestre, a través de la empresa TROMERCA, con la finalidad de dotar a la ciudad de Mérida de un sistema masivo de transporte.

Entre los problemas que reportan comúnmente los usuarios del servicio se encuentran:

- Largos tiempos de espera para acceder al servicio en algunos horarios en ciertas estaciones.
- Tiempo de recorrido demasiado prolongado.
- Falta de regularidad en el servicio (a veces dos o más unidades coinciden en una misma estación y otras veces pasa un período de tiempo largo sin que llegue a la estación ninguna unidad).

Para buscar soluciones a estos problemas, la gerencia de la empresa ha planteado la necesidad de realizar una evaluación sistemática de la Línea 1 del sistema masivo de transporte TROMERCA. Para realizar esta evaluación y estudiar escenarios que permitan cuantificar o dar respuesta, se plantea el desarrollo de un modelo de simulación.

1.3 Justificación

La realización de un modelo de simulación sobre la Línea 1 de TROMERCA, que abarca desde su Estación principal Terminal Ejido en la Avenida Centenario, hasta la Estación Domingo Peña ubicada en el Paseo Las Ferias, permitió analizar diferentes soluciones al problema planteado, pudiendo observarse los cambios en los tiempos que los usuarios demoran en llegar de su lugar de origen a su destino, si el intervalo de tiempo entre los trolebuses que salen de la Estación Terminal Ejido fuera menor al que presentan actualmente, o si el trolebús tuviese paso prioritario en las intersecciones, en las cuales en estos momentos debe detenerse.

A pesar de ser una línea que ya se encuentra construida y que está en funcionamiento, es ideal para ser estudiada utilizando simulación, pues el modelo permite una visión del sistema como un todo. Teniendo el modelo se pueden estudiar diferentes escenarios, que permitan proponer mejoras en la operación del Sistema de Transporte Masivo TROMERCA, cambiando algunos parámetros.

El modelo de simulación que se realizó en este proyecto, no solo permite observar el funcionamiento de los buses y trolebuses de TROMERCA a lo largo de esta línea, sino también evaluar el funcionamiento de las estaciones con más afluencia de usuarios, utilizando valores reales sobre entradas y salidas de usuarios.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo de simulación que permita evaluar el funcionamiento actual de la línea 1 de TROMERCA, responder preguntas sobre el sistema y evaluar posibles soluciones tendentes a reducir el tiempo que utilizan los usuarios para llegar a su destino.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Hacer una descripción detallada del sistema que incluya una descripción realista de la red de transporte, incluyendo distancias, velocidades y estaciones y la cuantificación del número de usuarios y unidades de TROMERCA en cada una de las estaciones a diferentes horas del día.
2. Construir un modelo de simulación de la Línea 1 de TROMERCA.
3. Utilizar el modelo para:
 - A. Determinar el número de usuarios en promedio que utilizan el sistema ofrecido por TROMERCA en un día (de 7:30 am a 6:00 pm) desde las Estaciones: Terminal Ejido, Pie del Llano, Universidad.
 - B. Medir el tiempo de espera de los usuarios para utilizar el servicio de TROMERCA.
 - C. Determinar la coincidencia de los trolebuses en una misma estación desde las 7:30 am hasta las 6:00 pm.
 - D. Conocer el tiempo promedio que tardan los usuarios en llegar desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Pie del Llano, desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Universidad, y desde la Estación Pie del Llano hasta la Estación Universidad.
4. Evaluar los siguientes escenarios:
 - A. El Trolebús tenga paso prioritario y no deba detenerse en los semáforos.
 - B. Exista una mayor cantidad de unidades de transporte TROMERCA, para que salgan de la Estación Terminal Ejido con mayor frecuencia que la presentada actualmente.
5. Valorar el software AnyLogic como herramienta de simulación para proyectos relacionados con sistemas de transporte.

1.5 Metodología

Para poder llevar a cabo un estudio detallado del problema, observar los factores que influyen, y adecuar el modelo lo más cercano posible a la realidad, se decidió seguir la metodología de simulación propuesta por Coss Bu (1998), pero adaptándolo al proyecto realizado. Las actividades realizadas fueron las siguientes:

- Descripción del sistema.
- Formulación del modelo.
- Recolección de datos.
- Implementación del modelo con la computadora.
- Validación.
- Experimentación.
- Interpretación.
- Documentación.

1.6 Estructura Del Documento

Capítulo 1. Introducción

En el capítulo 1, se presenta la introducción a este trabajo, donde se especifican los objetivos que se plantean cumplir y se mencionan algunos trabajos relacionados que fueron realizados anteriores a este, y que sirvieron de base para el desarrollo de este proyecto.

Capítulo 2. Marco Teórico

En este capítulo se desarrolla la teoría que fundamenta este proyecto, se definen conceptos importantes, se describe el sistema de TROMERCA y se explican las características de los software utilizados en este trabajo.

Capítulo 3. Descripción del Modelo

La descripción del modelo está ubicada en el capítulo 3 de este proyecto, donde se detalla las características que presenta el modelo, incluyendo las características de las estaciones, de las distancias de la Línea 1, de los usuarios, unidades de transporte, la toma de datos realizada y el análisis de estos datos, etc.

Capítulo 4. Implementación del Modelo

El capítulo 4, contiene todo lo referente al modelo generado, desde el proceso de creación de las entidades, de la demarcación del espacio, hasta la verificación y validación del modelo.

Capítulo 5. Análisis de Resultados

El análisis de los resultados, las respuestas a las preguntas planteadas en el capítulo 1, y la comparación de los escenarios con la situación actual, están presentados en este capítulo.

Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones

El capítulo 6, contiene las conclusiones a las que se llegó en este proyecto, así como ciertas recomendaciones a la empresa TROMERCA y a la escuela de Ingeniería de Sistemas de la ULA.

Capítulo 2

Marco teórico

En el siguiente capítulo se desarrollan los basamentos teóricos que van a fundamentar el proyecto, haciendo énfasis en la utilización de conceptos claros y definidos, ya que serán el sustento teórico para poder llevar a cabo el mismo.

2.1 Sistema

Según la definición de la RAE (2016), “Sistema” viene del latín “systēma” y del griego “σύστημα sýstēma” y es un: “Conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto”.

2.2 Simulación

Basándose en la RAE (RAE, Real Academia Española, 2016), Simular viene de lat. Simulāre, que es un verbo transitivo que significa “Representar algo, fingiendo o imitando lo que no es”, pero este concepto no lo deja muy claro, por lo tanto es necesario indagar un poco más. Banks, Carson, Barry, & Nicol (2009), explica que la simulación es la imitación de un proceso o sistema del mundo real, sin importar si es realizado a mano o en un ordenador, la simulación involucra la generación de una historia artificial de un sistema y la observación de esa historia para extraer inferencias sobre las características operativas del sistema real. Siguiendo la definición de la RAE la cual define la simulación de manera menos compleja como:

“El proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas

estrategias - dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema."

2.2.1 Simulación de Eventos Discretos

Cevallos J. (2013), en su trabajo, explica que la Simulación de Eventos Discretos "Es una técnica informática de modelado dinámico de sistemas. Permite un control en la variable del tiempo que permite avanzar a éste a intervalos variables, en función de la planificación de ocurrencia de tales eventos a un tiempo futuro".

2.2.1.1 Características

El profesor Jonathan Cevallos define la simulación discreta con 4 características de carácter importante que la definen:

1. Mantiene un estado interno global del sistema, que puede no obstante estar física o lógicamente distribuido, y que cambia parcialmente debido a la ocurrencia de un evento.
2. El estado del sistema solo cambia mediante la ejecución de eventos, que se almacenan en un contenedor.
3. La ejecución de un evento puede desencadenar la generación de nuevos eventos futuros.
4. Cada evento está marcado por su tiempo, por lo que el orden de generación puede no coincidir con el orden de ejecución.

2.3 Software de simulación

En la actualidad existen diversos software de simulación basados en diversos lenguajes de programación, según Banks, Carson, Barry, & Nicol (2009), los software listados a continuación son de los más importantes desde un punto de vista comercial, además que han permanecido por más de 30 años.

2.3.1 ARENA

Según Banks, Carson, Barry, & Nicol (2009), el software ARENA, puede ser utilizado para simulación discreta y sistemas continuos. Este software, salido al mercado en 1993, emplea

un diseño basado en objetos, los modelos de simulación son contruidos a partir de módulos, para definir la lógica del sistema.

Arena combina las ventajas de los simuladores de alto nivel con la flexibilidad de lenguajes generales como Microsoft y visual basic. Puede conseguirse más información acerca de este software en la página principal de Arena, <https://www.arenasimulation.com>

2.3.2 FLEXSIM

Según Flexsim Inc (2017), no existe otro software de simulación con el nivel de personalización que Flexsim ofrece, ya que puedes crear tus propias clases, librerías, aplicaciones y guías. Flexsim Inc asegura también, que este software posee una librería que permite realizar diferentes modelos bastante rápido, con muy poca programación requerida, o en algunos casos sin necesidad de programar. Puede conseguirse mayor información acerca de este software en la página principal de Flexsim, <https://www.flexsim.com/>

2.3.3 SIMUL8

Según Banks, Carson, Barry, & Nicol (2009), SIMUL8, fue lanzado al mercado en 1995. Sus modelos son generados al dibujar el flujo de trabajo con el ratón, utilizando una serie de iconos y flechas que representan las colas y los recursos del sistema. La especialidad de SIMUL8 es el servicio industrial donde los usuarios procesan transacciones. Puede conseguir más información sobre SIMUL8, en la página principal de este software en: <https://www.simul8.com>

2.3.4 AnyLogic

“AnyLogic es una herramienta desarrollada por The AnyLogic Company que incluye todos los métodos de simulación más comunes en práctica hoy.” (Wikipedia, 2015), es decir, es una herramienta multiparadigma, que permite realizar simulación de agentes, de eventos discretos y dinámica de sistemas.

AnyLogic posee una interfaz de fácil manejo, con lenguaje base de programación Java, con la facilidad de exportar archivos de diferentes formato (Excel, GIS, base de datos, etc).

2.3.4.1 Animación

Uno de los fuertes de este software es las capacidades para animación que posee, ya que permite realizar animación en 2D y 3D, colocación de diversas cámaras a lo largo del modelo, y la fácil modificación de parámetros, incluso durante la simulación, mediante el uso de herramientas como botones, deslizadores (*sliders*), entre otros. En la figura No. 1 se puede observar un ejemplo de la animación de AnyLogic para un departamento de emergencia, extraído de los ejemplos que posee el software.



Figura No. 1. Animación de AnyLogic. (Fuente: Examples AnyLogic)

2.3.4.2 Bibliotecas

AnyLogic posee diversas bibliotecas en las cuales según Wikipedia (2015) en las cuales destacan:

- La Biblioteca de Procesos, está diseñada para apoyar la simulación por eventos discretos en la industria manufacturera, la cadena de Suministro, Logística y Cuidados de Salud. Usando la biblioteca de procesos es posible modelar sistemas del mundo real en términos de entidades (operaciones, clientes, productos, componentes, vehículos, etc), procesos (secuencias de operaciones que suelen implicar las colas, las demoras, la utilización de recursos), y los recursos. Los procesos se especifican en la forma de diagramas de flujo.

- La Biblioteca de Usuarios se dedica a simular los flujos de usuarios en un ambiente "físico". Le permite crear modelos de los edificios con tráfico intensivo de usuarios (como las estaciones de metro, los controles de seguridad, etc.) o en las calles (aun cuando tengan un gran número de usuarios). Los modelos permiten recoger varias estadísticas como la densidad de usuarios en diferentes áreas, asegurando una compresión aceptable sobre los puntos de servicio de interés, por ejemplo con la asignación de un valor de carga teórica, se pueden estimar valores como el tiempo de permanencia en áreas específicas, y se pueden detectar problemas con la geometría interior - como el efecto de quitar o añadir obstáculos - y otras aplicaciones. Los usuarios se mueven en un espacio continuo, reaccionando ante diferentes tipos de obstáculos tales como paredes o distintas áreas, al igual que con otros usuarios. Los usuarios se simulan como agentes con un comportamiento complejo, pero la Biblioteca de Usuarios de AnyLogic proporciona una interfaz de alto nivel para la creación rápida de los modelos basado en diagramas de flujo.
- La Biblioteca Terminal Ferroviaria apoya el modelado, simulación y visualización de las operaciones de ferrocarriles de cualquier complejidad y escala. Los modelos de terminal de ferrocarril pueden ser combinados con eventos discretos o agentes de modelos basados sobre la carga y descarga, la asignación de recursos, mantenimiento, procesos de negocio, y las actividades de transporte.

Además de estas bibliotecas suministradas el usuario puede crear sus propias bibliotecas y distribuirlos libremente.

2.4 TROMERCA

“TROMERCA (TROLEBUS 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 (2016).

2.4.1 Visión

Según TROMERCA (2016), la visión de esta empresa es la generación de un sistema de transporte público masivo de calidad, utilizando nuevas tecnologías, llevando a cabo proyectos y control de operaciones.

2.4.2 Rutas

Hasta Abril del año 2017, existen solo 2 rutas construidas, la ruta número 3, la cual consiste en un transporte aéreo, similar a un teleférico, y permite a los usuarios trasladarse entre la Estación terminal “San Jacinto” y la Estación “Domingo Peña”, y la ruta número 1, que es la ruta que se estudió en éste trabajo, la cual abarca desde la Estación “Terminal de Ejido” hasta la Estación “Domingo Peña”. En la figura No 2, se observa el orden en el que se distribuían las estaciones que componían a la línea 1 antes del 2016.



Figura No 2. Rutas TROMERCA (Fuente TROMERCA, 2016)

A mediados del 2016, se añadió una estación adicional entre la Estación Hospital Universitario y la estación Luis Gherzi Govea, llamada Estación Mercado Periférico, siendo ésta, conjuntamente con la Estación Pie del Llano, las 2 únicas con retorno de emergencia. La ruta número 1 esta conformada en la actualidad por 23 estaciones intermedias y 2 estaciones terminales para un total de 25 estaciones, las cuales están distribuidas a lo largo de las avenidas Centenario, Monseñor Chacón, Andrés Bello, 16 de septiembre, Don Tulio Febres Cordero, Cardenal Quintero y la Avenida 8 del estado Mérida, atravesando así gran parte del municipio Campo Elías y el municipio Libertador. Esta línea posee un recorrido

total de 14.13 kilómetros a lo largo de la cual se encuentran las estaciones como se describe en la Tabla No. 1.

Tabla No. 1. Distancia entre estaciones en la Línea 1 de TROMERCA.

Origen	Destino	Distancia
Terminal Ejido	Pozo Hondo	630 metros
Pozo Hondo	Centenario	550 metros
Centenario	Montalbán	750 metros
Montalbán	Las Cruces	850 metros
Las Cruces	Pan de Azúcar	1000 metros
Pan de Azúcar	La Parroquia	1210 metros
La Parroquia	La Mara	540 metros
La Mara	Alto Chama	670 metros
Alto Chama	Carrizal	380 metros
Carrizal	Museo de Ciencias	740 metros
Museo de Ciencias	Las Tapias	590 metros
Las Tapias	Acuario	900 metros
Acuario	San Antonio	830 metros
San Antonio	Pie del Llano	450 metros
Pie del Llano	Santa Juana	440 metros
Santa Juana	Soto Rosa	230 metros
Soto Rosa	María Mazzarello	480 metros
María Mazzarello	Campo de Oro	360 metros
Campo de Oro	Hospital	380 metros
Hospital	Mercado Periférico	440 metros
Mercado Periférico	Luís Gherzi	40 metros
Luis Gherzi	Medicina	600 metros
Medicina	Universidad	630 metros
Universidad	Domingo Peña	440 metros
Distancia total		14130 metros

2.4.3 Componentes básicos del sistema

La Línea 1 del trolebús posee un canal exclusivo en un 90%, manteniendo las vías actuales para el tránsito vehicular, un sistema de paradas o estaciones prepagadas con un control de acceso (Figura No. 3).



Figura No. 3. Vista de canal exclusivo TROMERCA y canales vehiculares. (Fuente: TROMERCA 2016)

El sistema de transporte masivo TROMERCA transporta usuarios de todas las edades y con diversos empleos, dependiendo de la edad del usuario o la profesión su acceso al servicio se comporta de diferente manera:

- A. Usuarios Mayores de 60 años: No pagan pasaje.
- B. Usuarios Menores de 60 años:
 - I. Compra de ticket de 25 pasajes
 - II. Compra de ticket de 5 pasajes
- C. Estudiantes: Tarjeta inteligente

TROMERCA cuenta con una serie de equipos auxiliares tales como: un sistema automatizado de semaforización, radio ayuda y localizador de pantalla, visor electrónico de información en paradas y estaciones terminales.

2.4.4 Flota vehicular

Los vehículos que posee la empresa TROMERCA explicados a continuación, parten desde la estación Terminal Ejido, con un tiempo comprendido entre cada una de las unidades

entre 5.8 minutos y 7.4 minutos. El horario de servicio es de lunes a domingo, desde las 6:00 am hasta 8:30 pm.

2.4.4.1 Trolebús

Un resumen de las características de los vehículos tipo Trolebús están presentadas más abajo, para ver las especificaciones completas, ver Apéndice C.

- Marca: Mercedes Benz
- Dimensiones del vehículo:
 - A. Longitud: 17.74 metros
 - B. Ancho: 2.50 metros
 - C. Altura: 3.00 metros
 - D. Plataforma: 0.72 metros
- Número de puertas: 3 de 1.20 metros de ancho.
- Configuración: 2 cuerpos articulados
- Capacidad aproximada 150 usuarios
- Asientos 42, 3 para discapacitados

2.4.4.1.1 Componentes

Los componentes de este vehículo pueden verse en la Figura No.4.

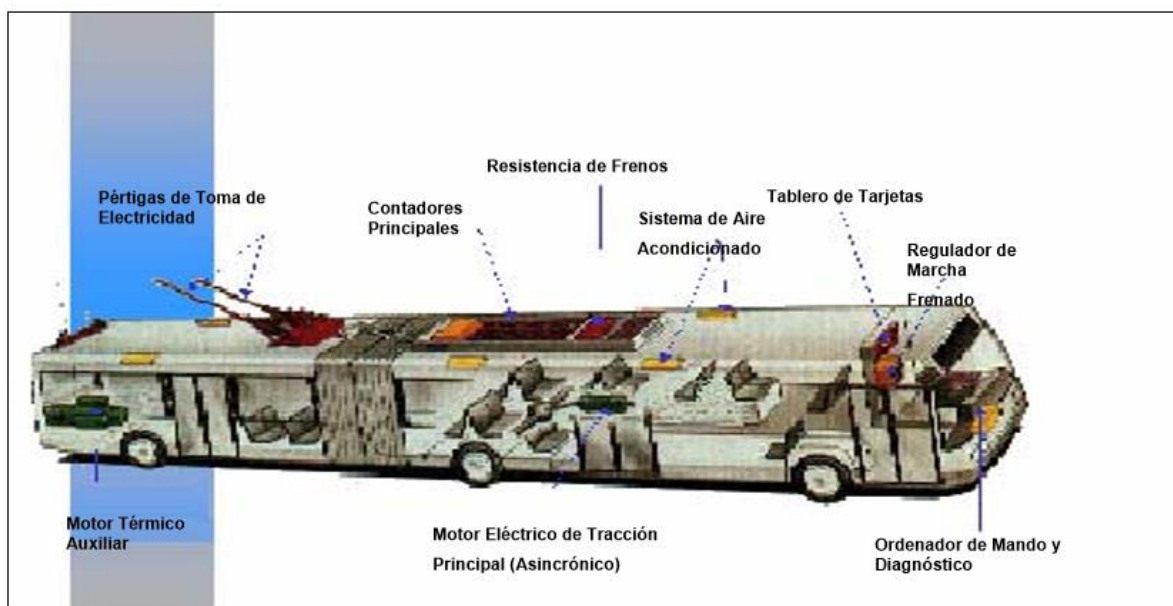


Figura No. 4. Componentes de una unidad de TROMERCA. (Fuente: TROMERCA 2016)

En el Apéndice C, se dan las especificaciones y características de las unidades Tipo Trolebús.

2.4.4.2 Yutong

Las unidades tipo Yutong tienen características muy similares a las unidades tipo Trolebús, las características de estas unidades son las siguientes:

- Marca: Mercedes Benz
- Dimensiones del vehículo:
 - A. Longitud: 13.75 metros
 - B. Ancho: 2.30 metros
 - C. Altura: 2.50 metros
 - D. Plataforma: 0.70 metros
- Número de puertas: 2 de 1.20 metros de ancho.
- Configuración: 1 cuerpo
- Capacidad aproximada 85 usuarios
- Asientos 33.

2.4.5 Semáforos

La Línea 1 del sistema de transporte TROMERCA posee a lo largo de su trayecto un total de 36 semáforos, donde 7 son semáforos peatonales y 29 están situados en diferentes intersecciones.

En este proyecto es muy determinante el tiempo que los semáforos detienen a la unidad de transporte, esta información está recogida en la Tabla No. 2.

Tabla No. 2. Semáforos que componen la Línea 1 de TROMERCA

Cruce	Ubicación	Número de semáforo	Tiempo en Rojo (segundos)	Tiempo en verde (segundos)
1ª	Estación Terminal/Pasarela	1	80	15
1B	Estación Terminal (Rutas Cortas)	2	70	25
3	Calle Carabobo	3	56	40
4ª	Estación Pozo Hondo	4	16	79
5	Calle Ayacucho	5	48	47
5ª	Frente al banco Bicentenario	6	25	70
6	Estación Centenario	7	45	50
7	Diagonal al C.C Centenario	8	27	68
8	Calle Herminia Rosa	9	23	72
9	Estación Montalbán	10	37	58
10	Retorno Monseñor Chacón (Sentido Sur)	11	14	81
11	Retorno Monseñor Chacón (Sentido Norte)	12	14	81
13 (Peatonal)	Estación La Parroquia	13	0	0
14	La Avioneta	14	40	55
15	Estación La Mara	15	43	52
17	Estación de servicio Alto Chama	16	41	54
18 (Peatonal)	Estación Alto Chama	17	0	0
19	Estación Carrizal	18	45	50
20	Centro Comercial "Millenium"	19	32	63

Tabla No. 2. Semáforos que componen la Línea 1 de TROMERCA (Continuación)

21	Museo de Ciencias	20	43	52
22	Estación Acuario	21	51	44
24	Estación San Antonio	22	37	58
25C	Enlace Pie del Llano	23	76	19
26	Pie del Llano/ Av. 16 de Septiembre	24	79	16
27 (Peatonal)	Estación Santa Juana	25	0	0
28 (Peatonal)	Estación Soto Rosa	26	0	0
29 (Peatonal)	Estación María Mazzarello	27	0	0
30 (Peatonal)	Estación Campo de Oro	28	0	0
32	Estación Juan XXIII	30	53	42
33 (No afecta al Trole)	Entrada a Santa Elena	31 ^a	0	0
34	Mercado Periférico	31	81	14
38	Los Tanques	32	29	51
39	Facultad de Medicina (calle 34)	33	20	50
40	Residencias Femenina	34	18	58
42	Paseo la feria (Calle 30)	35	36	44
45	Intersección AV. Don Tulio con Calle 26	36	61	20

2.4.6 Estaciones

Esta línea posee 2 estaciones con retorno de emergencia, y un solo terminal, ubicado en la primera estación, donde se le realiza el mantenimiento periódico a las unidades.

Las estaciones que componen la Línea 1, tienen diversos modelos y cada modelo tiene características diferentes.

Las estaciones de la Línea 1 pueden ser:

- Estación Típica 1
- Estación Típica 2
- Estación tipo Paradero
- Estación tipo propuesta inicial
- Estación Intermodal

Pueden observarse las características de estas estaciones en el Apéndice D.

2.4.6.1 Áreas

Las Estaciones de la Línea 1 presentan las siguientes áreas:

1. Taquilla de Información
2. Cuarto de Operaciones
3. Baño
4. Lavamopas
5. Sistema de torniquetes (control)
6. Plataforma de carga y descarga
7. Señalética/información

2.4.6.2 Estaciones que componen la Línea 1 de TROMERCA

2.4.6.2.1 Estación Terminal – Ejido

Está ubicada en la avenida Centenario - Ejido, y es la estación principal de esta empresa, donde se encuentran ubicadas las oficinas administrativas (figura No. 5).

Esta estación tiene unas medidas de 4.12 metros de alto, por 23.67 metros de largo incluyendo las taquillas que se encuentran en la parte exterior de la estación y posee una capacidad para 140 usuarios aproximadamente. Esta es la única estación que posee 2 taquilleros que se encargan de marcar los tickets de los usuarios y vender los mismos. Así mismo acoge usuarios del servicio de Bus Mérida, que labora realizando viajes desde San Juan, Lagunillas, Nueva Bolivia, Canaguá, El Vigía, Las Mesitas, Arapuey y Jají.



Figura No. 5. Estación Terminal – Ejido, Patio y Talleres. (Fuente: TROMERCA 2009)

2.4.6.2.2 Estación Pozo Hondo

La estación Pozo Hondo (figura No. 6), está ubicada en la avenida Centenario en el municipio Campo Elías y maneja usuarios regularmente provenientes del Palmo y de la Plaza Bolívar de Ejido.

Esta estación es una estación típica 1, por lo que tiene una capacidad para 125 usuarios aproximadamente, con unas medidas de 2.92 metros de alto, 3.24 metros de ancho y 16.81 metros, desde el pasador hasta el final de la estación que es donde se ubican los usuarios para esperar la unidad de transporte TROMERCA.



Figura No. 6. Estación Pozo Hondo. (Fuente: TROMERCA 2012)

2.4.6.2.3 Estación Centenario

Al igual que la estación Pozo Hondo, la estación Centenario es una estación típica 1, posee una capacidad aproximada para 125 usuarios y presenta las mismas medidas, es una

estación de las más demandadas de la Línea 1, ya que se encuentra ubicada cerca de una zona residencial muy poblada del municipio Campo Elías (Figura No.7).



Figura No. 7. Estación Centenario. (Fuente: TROMERCA 2012)

2.4.6.2.4 Estación Montalbán

La estación Montalbán (Figura No. 8), está ubicada en la Avenida Centenario, es otra estación típica 1, ubicada frente al hotel Villa Suite, con una capacidad aproximada de 125 usuarios.



Figura No. 8. Estación Montalbán. (Fuente: TROMERCA 2012)

2.4.6.2.5 Estación Las Cruces

La estación Las Cruces, alberga los usuarios del sector Las Cruces en el municipio Campo Elías. Es una estación típica 1, posee las mismas medidas que las estaciones anteriores, exceptuando la estación Terminal Ejido. Esta estación se caracteriza por poseer su única

entrada conectada a una pasarela (figura No. 9), y recibe usuarios en su mayoría provenientes del Salado.



Figura No. 9. Estación Las Cruces.

2.4.6.2.6 Estación Pan de Azúcar

La estación Pan de Azúcar ubicada metros abajo de la cuesta del ciego, es una estación fundamental para la ciudad debido a su cercanía con el estadio Metropolitano de Mérida, sede de grandes eventos en la ciudad, tales como partidos de fútbol, conciertos, eventos benéficos, entre otros. Esta estación está conectada al igual que la estación Las Cruces con una pasarela. (Figura No. 10).



Figura No. 10. Estación Pan de Azúcar. (Fuente: TROMERCA 2012)

2.4.6.2.7 Estación La Parroquia

La estación La Parroquia (figura No. 11) es la última estación típica 1 de la Línea 1, y se encuentra ubicada al inicio de la Avenida Bolívar, cerca del colegio de Abogados del Estado Mérida.



Figura No. 11. Estación La Parroquia. (Fuente: TROMERCA 2012)

2.4.6.2.8 Estación La Mara

La estación La Mara recibe usuarios regularmente de la Mara y de la Parroquia, es una estación típica 2 (Figura No. 12), con medidas muy parecidas a la estación típica 1.



Figura No. 12. Estación La Mara. (Fuente: TROMERCA 2012)

2.4.6.2.9 Estación Alto Chama

La estación Alto Chama es la única estación de la Línea 1 que sigue el tipo Propuesta Inicial, y que se caracteriza por poseer su taquilla en la parte exterior de la misma (figura No. 13). Recibe este nombre, ya que se encuentra ubicada en frente al centro comercial Alto Chama.



Figura No. 13. Estación Alto Chama. (Fuente: TROMERCA 2012)

2.4.6.2.10 Estación Carrizal

Ubicada a pocos metros del centro comercial Millenium la estación Carrizal es una estación típica 2. La estación Carrizal (figura No. 14), es una estación importante de la avenida Andrés Bello ya que recibe usuarios que residen en la urbanización Carrizal, y del liceo Carracciolo Parra.



Figura No. 14. Estación Carrizal

2.4.6.2.11 Estación Museo de Ciencias

La estación Museo de Ciencias (Figura No. 15), es una estación típica 2, Esta estación recibe este nombre, debido a su cercanía con el Museo de Ciencia y Tecnología.



Figura No. 15. Estación Museo de Ciencias. (Fuente: TROMERCA 2012)

2.4.6.2.12 Estación Las Tapias

Esta estación presentaba una baja afluencia de usuarios por lo que actualmente se encuentra clausurada, lo que representa una situación atípica y sólo se pone en funcionamiento en situaciones especiales. La estación Las Tapias (figura No. 16), fue construida con el objetivo de disminuir el trayecto entre una estación y otra, pero el estudio de demanda no se realizó adecuadamente generándose un costo innecesario.



Figura No. 16. Estación Las Tapias.

2.4.6.2.13 Estación Acuario

La estación Acuario (figura No. 17), ubicada frente al centro comercial Las Tapias, es una de las más importante de la Línea 1, debido a la posibilidad de tomar buses públicos para dirigirse hacia la Avenida Las Américas; de hecho, en el proyecto que se está llevando acabo de la línea 3, se convertiría la estación Acuario de una estación típica 2 en una estación intermodal para trasbordo.



Figura No. 17. Estación Acuario. (Fuente: TROMERCA, 2012)

2.4.6.2.14 Estación San Antonio

La estación San Antonio (figura No. 18), es utilizada por usuarios de la urbanización San Antonio, y está ubicada frente al parque Andrés Bello.



Figura No. 18. Estación San Antonio. (Fuente: TROMERCA 2012)

2.4.6.2.15 Estación Pie del Llano

La estación Pie del Llano (figura No. 20), es una de las estaciones más importantes que componen la Línea 1 de TROMERCA, ya que era la última estación previa a la finalización del tramo número 2 construido en el año 2011, que abarcó desde esta estación hasta la estación Periférico. Su ubicación es estratégica debido a la cercanía a la intersección entre la Avenida Urdaneta y la Avenida Humberto Tejera y el Viaducto Sucre (Figura No. 19).

Esta estación permite manejar usuarios, no solo de la parte norte de la urbanización San Cristóbal, sino usuarios que residen en la avenida Las Américas, en las cercanías de la panadería Croacia, y clientes del supermercado Garzón que atraviesan el viaducto Sucre caminando, solo para utilizar el servicio que ofrece TROMERCA y son recibidos en la estación Pie del Llano.

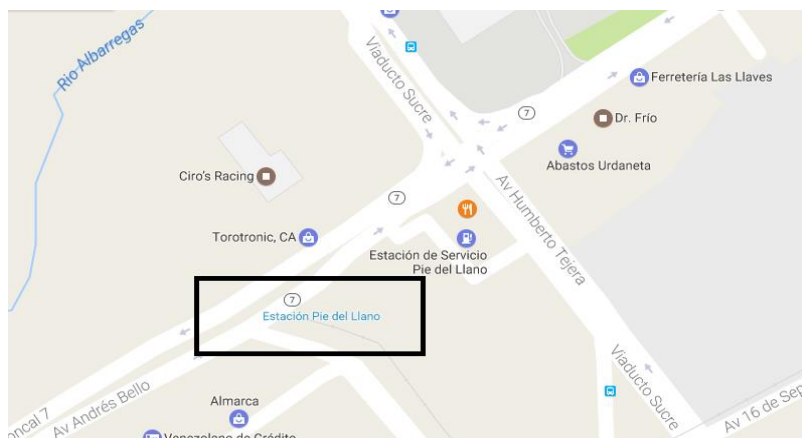


Figura No. 19. Ubicación Estación Pie del Llano.



Figura No. 20. Estación Pie del Llano. (Fuente: TROMERCA 2011)

2.4.6.2.16 Estación Santa Juana

La estación Santa Juana (figura No. 21), es la primera estación que se encuentra en la avenida 16 de Septiembre, y recoge usuarios de Santa Juana y de los comercios que están ubicados en esta importante avenida de la ciudad de Mérida. Es una estación típica 2, que se encuentra a muy pocos metros de la estación Soto Rosa (230 metros), por lo que la demanda de usuarios se divide entre estas 2 estaciones.



Figura No. 21. Estación Santa Juana.

2.4.6.2.17 Estación Soto Rosa

La estación Soto Rosa (figura No. 22), por la misma cercanía con la estación Santa Juana. Está ubicada en la avenida 16 de septiembre, recibe este nombre debido a su cercanía con el estadio Soto Rosa y es una estación típica 2.



Figura No. 22. Estación Soto Rosa.

2.4.6.2.18 Estación María Mazzarello

La estación María Mazzarello (figura 23), ubicada frente al colegio María Mazzarello es una estación Típica 2.



Figura No. 23. Estación María Mazzarello.

2.4.6.2.19 Estación Campo de Oro

La estación Campo de Oro (figura No. 24), está ubicada a pocos metros de la intersección entre la avenida 16 de septiembre y la avenida Humberto Tejera y es una estación típica 2.



Figura No. 24. Estación Campo de Oro.

2.4.6.2.20 Estación Hospital

La estación Hospital es una de las estaciones más conocidas por los usuarios de TROMERCA, debido a su cercanía al Hospital Universitario de Los Andes (IAHULA), una alta cantidad de usuarios regularmente escogen desembarcar en esta estación para utilizar los servicios de este centro de salud, aunque también es usada por usuarios que habitan en la avenida El Milagro y en la avenida Buena Vista.



Figura No. 25. Estación Hospital.

2.4.6.2.21 Estación Mercado Periférico

La estación Mercado Periférico, es una estación atípica, ya que es la única a lo largo de la Línea 1 que funciona como Estación Paradero, además no se encuentra en la ruta que cubre la Línea 1, si no que se encuentra 40 metros abajo de la estación Luís Gherzi y es utilizada como una estación de retorno de emergencia.

2.4.6.2.22 Estación Luís Gherzi

La estación Luis Gherzi (figura No. 26) queda a 40 metros de la estación Periférico, es una estación bastante visitada debido a su cercanía con el viaducto Miranda y es la última estación típica 2 de la Línea 1; recibe su nombre debido a estar ubicada frente al Complejo Deportivo Luís Gherzi Govea.



Figura No.26. Estación Luís Gherzi.

2.4.6.2.23 Estación Medicina

La estación Medicina no ha funcionado desde su construcción debido a las constantes protestas que se realizan en esta zona. Esta estación fue creada con el fin de satisfacer la demanda que se podía generar en la facultad de Medicina y como estación intermedia entre la estación Universidad y la estación Luis Gherzi. Los usuarios de esta estación, deben dirigirse a las dos estaciones más cercanas cuando desean hacer uso del transporte TROMERCA.

2.4.6.2.24 Estación Universidad

La estación Universidad es una de las estaciones más importantes de la Línea 1 de TROMERCA (figura No. 27), ya que es la más cercana al centro de la ciudad de Mérida y recibe a los usuarios cuando se dirigen a sus trabajos, y luego los vuelve a recibir para trasladarlos nuevamente hacia sus casas. Está estación alberga solo usuarios que van en el sentido Norte – Sur de la ciudad.

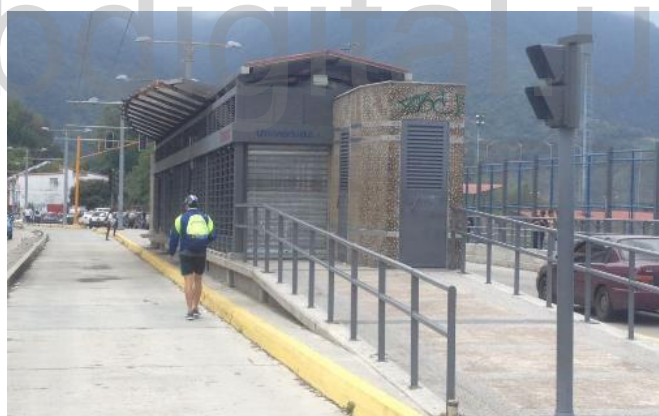


Figura No. 27. Estación Universidad.

2.4.6.2.25 Estación Domingo Peña.

La estación Domingo Peña (figura No. 28), es la única que actualmente posee la configuración de la estación intermodal (Apéndice D), ya que es allí donde los usuarios pueden conectar con la Línea 3 (Trolcable), que moviliza usuarios desde la meseta de Mérida hacia San Jacinto.

Esta estación está ubicada a tan solo 440 metros de la estación Universidad, por lo que una gran parte de los usuarios que pudieran utilizar esta estación se dirige a la estación

Universidad, ya que allí a ciertas horas obligan a bajar a todos los usuarios que vienen en los buses como si fuese la estación final para poder manejar la alta demanda que dicha estación requiere, por lo tanto, quedan muy pocos puestos para que los usuarios de la estación Domingo Peña puedan viajar cómodamente. Al igual que la estación Universidad, solo recibe usuarios que van en el sentido Norte-Sur de la ciudad.



Figura No. 28. Estación Domingo Peña.

En la tabla No. 3, se proporcionan datos aproximados de los usuarios que embarcan en cada estación en una hora, y en un día (7:30 am – 6:00 pm) según datos tomados en este proyecto.

Tabla No. 3. Usuarios aproximados que llegan a cada estación

Estación	Cantidad aproximada de usuarios que recibe por hora	Cantidad aproximada de usuarios que recibe por día
Terminal Ejido	100	5167
Pozo Hondo	171	1796
Centenario	230	2415
Montalbán	48	504
Las Cruces	30	315
Pan de Azúcar	59	620
La Parroquia	65	693
La Mara	180	1890
Alto Chama	95	998
Carrizal	60	630
Museo de Ciencias	68	714

Tabla No. 3. Usuarios aproximados que llegan a cada estación (continuación)

Las Tapias	CERRADA	CERRADA
Acuario	129	1355
San Antonio	30	315
Pie del Llano	190	1693
Santa Juana	93	977
Soto Rosa	80	840
María Mazzarello	96	1008
Campo de Oro	80	840
Hospital	132	1386
Mercado Periférico	CERRADA	CERRADA
Luís Gherzi	155	1628
Medicina	CERRADA	CERRADA
Universidad	480	4127
Domingo Peña	105	1103

2.5 Herramientas de Análisis Estadístico

2.5.1 Software estadístico R.

Díaz-Uriarte (2003) asegura que el software estadístico R es un lenguaje con el cual se permite acceder a una amplia variedad de técnicas estadísticas y gráficas. A los usuarios con mayor experiencia utilizando R, se les ofrece una programación completa con la cual se puede agregar funcionalidad mediante la definición de nuevas funciones.

La capacidad de combinar, análisis “pre-empaquetados” con análisis *ad-hoc*, específicos para una situación: capacidad de manipular y modificar datos y funciones, así como sus gráficos de alta calidad, son los grandes atractivos de este software según Díaz-Uriarte (2003).

2.5.2 EasyFit

Según Mathwave Technologies (2017), “EasyFit permite ajustar automáticamente las distribuciones a los datos de la muestra y seleccionar el mejor modelo en unos segundos. Está diseñado para hacer el análisis de datos lo más fácil posible.

Mathwave Technologies (2017) asegura también que EasyFit, ahorra tiempo en comparación con los métodos manuales, pero garantiza alta calidad de sus proyectos. EasyFit es además un software fácil de aprender y de usar, requiere solo conocimientos básicos de estadística.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 3.

Descripción del modelo

En el presente capítulo se describe el modelo, así como sus principales componentes, rutas, estaciones, usuarios, semáforos y un análisis de datos de la Estación Terminal Ejido, Pie del Llano y Universidad.

Para la toma de datos, se utilizó el material que puede ser observado en el Apéndice A, considerando que los usuarios de TROMERCA, los días laborables de uso masivo del servicio (Martes, Miércoles y Jueves), usualmente toman este medio de transporte a las mismas horas, y embarcan y desembarcan en las mismas estaciones. Para este trabajo se tomaron datos estos días para cada una de las estaciones. Las Estaciones: Terminal Ejido, Pie del Llano y Universidad, fueron consideradas en este proyecto como las más importantes del recorrido debido a su alta afluencia de usuarios, así como, por sus ubicaciones estratégicas a lo largo de la Línea 1, siendo ideales para particularizarlas en el modelo realizado, y por esto, en dichas Estaciones se realizó una toma de datos completa durante todo el día (desde las 7:30 am hasta las 6:00 pm) a intervalos de 10 minutos, y luego un análisis detallado de los datos en estas estaciones con la finalidad de ver como se distribuyen las llegadas de usuarios en cada una de ellas.

Debido a que la empresa TROMERCA presentaba datos desactualizados en lo que respecta a la llegada de usuarios a cada una de sus estaciones, con la ayuda de un grupo de Servicio Comunitario de FADULA (Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Los Andes), y el material propuesto por el autor de este proyecto, se llevó a cabo la realización de un conteo de usuarios desde las 7:30 am hasta las 8:30 am, desde las 11:45 am hasta las 12:45 pm y desde las 5:00 pm hasta las 6:00 pm. Para observar los valores obtenidos en el conteo por estación es necesario trasladarse al Apéndice B.

3.1 Ruta

El recorrido total en el modelo generado es de 4.7 km, al dividir las distancias entre estaciones presentados en la tabla No. 1 entre 3, ya que así se facilitó la observación del modelo para la interfaz de trabajo, y a su vez para la animación en 2D. Es importante destacar que para poder hacer esto fue necesario dividir de igual forma las velocidades que se presentan hoy en día (Tabla No.5)

El recorrido se presenta en su mayoría en línea recta por simplicidad, exceptuando 4 cruces. El primero con coordenadas (34700,330) presentado entre la estación San Antonio y la estación Pie del Llano, otro cruce en las coordenadas (34720,1230) entre la estación Pie del Llano y la estación Santa Juana, entre la estación Hospital y la Estación Luís Gherzi con coordenadas (40710,1260) y finalmente otro cruce en la coordenada (44570,220) metros antes de la estación Universidad.

La ruta posee un solo canal subiendo y uno bajando, por lo tanto, no es posible que 2 unidades de transporte ocupen el mismo lugar ni que la unidad que haya salido después pueda adelantar a la primera.

En la tabla No. 4, se presentan las distancias entre estaciones reales del sistema y las distancias que posee el modelo.

Tabla No. 4. Distancias entre estaciones en el modelo.

Origen	Destino	Distancia Real	Distancia en el modelo (distancia real /3)
Terminal Ejido	Pozo Hondo	630 metros	210 m.
Pozo Hondo	Centenario	550 metros	183 m.
Centenario	Montalbán	750 metros	250 m.
Montalbán	Las Cruces	850 metros	283 m.
Las Cruces	Pan de Azúcar	1000 metros	333 m.
Pan de Azúcar	La Parroquia	1210 metros	403 m.
La Parroquia	La Mara	540 metros	180 m.
La Mara	Alto Chama	670 metros	223 m.
Alto Chama	Carrizal	380 metros	127 m.
Carrizal	Museo de Ciencias	740 metros	247 m.
Museo de Ciencias	Las Tapias	590 metros	197 m.

Tabla No. 5. Velocidades de las unidades escaladas al modelo (continuación)

Las Tapias	Acuario	900 metros	300 m.
Acuario	San Antonio	830 metros	277 m.
San Antonio	Pie del Llano	450 metros	150 m.
Pie del Llano	Santa Juana	440 metros	147 m.
Santa Juana	Soto Rosa	230 metros	77 m.
Soto Rosa	María Mazzarello	480 metros	160 m.
María Mazzarello	Campo de Oro	360 metros	120 m.
Campo de Oro	Hospital	380 metros	127 m.
Hospital	Mercado Periférico	440 metros	147 m.
Mercado Periférico	Luís Gherzi	40 metros	14 m.
Luís Gherzi	Medicina	600 metros	200 m.
Medicina	Universidad	630 metros	210 m.
Universidad	Domingo Peña	440 metros	147 m.

3.2 Flota vehicular

Las unidades de transporte en el modelo, presentan variaciones en sus velocidades dependiendo del tramo que transitan. La tabla No. 5, presenta la ajustación de las velocidades a las distancias en el modelo, separándolas por trayectos.

Todas las unidades parten desde la estación Terminal Ejido, y su selección del tipo de bus, depende de la cantidad de unidades disponibles. Estas, presentan una aceleración con una distribución uniforme $(0.6, 1.5) \text{ m/s}^2$, y desaceleran con una velocidad uniforme $(1.36, 1.5) \text{ m/s}^2$. Ya que no se tomaron datos en los que influyera la capacidad de la unidad de transporte, se utilizó para todas las unidades una longitud de 13.70 metros (longitud del Yutong), y éstas, parten de la estación Terminal Ejido con un tiempo entre unidades con una distribución triangular entre $(5.8, 7.4)$ con una media de 7 minutos.

Además, cada unidad de transporte ocupa una posición con coordenadas (x,y) y estas van variando a medida que se va moviendo. Estas unidades van transitando cada tramo respetando las velocidades que se encuentran en la tabla No.5, así como también, se detienen en los semáforos respetando sus tiempos (tabla No. 7), y se detienen para embarcar y desembarcar usuarios solo al llegar a cada estación.

Tabla No. 5. Velocidades de las unidades escaladas al modelo.

Origen	Destino	Velocidad promedio Trolebús	Velocidad promedio Trolebús en el modelo (velocidad/3)
Terminal Ejido	Pozo Hondo	Entre 48 y 54 km/h	Entre 16 y 18 km/h
Pozo Hondo	Centenario		
Centenario	Montalbán		
Montalbán	Las Cruces		
Las Cruces	Pan de Azúcar		
Pan de Azúcar	La Parroquia	30 km/h	10 km/h
La Parroquia	La Mara	Entre 51 y 57 km/h	Entre 17 y 19 km/h
La Mara	Alto Chama	Entre 48 y 54 km/h	Entre 16 y 18 km/h
Alto Chama	Carrizal		
Carrizal	Museo de Ciencias		
Museo de Ciencias	Las Tapias		
Las Tapias	Acuario		
Acuario	San Antonio	Entre 54 y 60 km/h	Entre 18 y 20 km/h
San Antonio	Pie del Llano		
Pie del Llano	Santa Juana		
Santa Juana	Soto Rosa	Entre 42 y 48 km/h	Entre 14 y 16 km/h
Soto Rosa	María Mazzarello		
María Mazzarello	Campo de Oro	Entre 48 y 54 km/h	Entre 16 y 18 km/h
Campo de Oro	Hospital		
Hospital	Mercado Periférico		
Mercado Periférico	Luís Gherzi		
Luís Gherzi	Medicina		
Medicina	Universidad		
Universidad	Domingo Peña	Entre 51 y 57 km/h	Entre 17 y 19 km/h

3.3 Estaciones

Para realizar una mejor modelización de las estaciones, se separaron cada una de ellas en los tipos de estaciones que presenta TROMERCA, especificando lo que caracteriza a cada una de ellas. En la tabla No. 6, se observan las características de las estaciones

Tabla No. 6. Características de las Estaciones

Tipo de Estación	Estación	Capacidad aproximada de usuarios	Coordenadas (x, y)	Tasa de llegada de usuarios por hora
Típica 1	Terminal Ejido	110	(270,370)	Uniforme (180,750)
	Pozo Hondo		(2370,370)	Sin tasa de llegada
	Centenario		(5230,370)	
	Montalbán		(7750,380)	
	Las Cruces		(10584,370)	
	Pan de Azúcar		(13885,366)	
	La Parroquia		(17934,365)	
Típica 2	La Mara	125	(17740,370)	Sin tasa de llegada
	Carrizal		(23229,369)	
	Museo de Ciencias		(25742,364)	
	Las Tapias		(27741,364)	
	Acuario		(30731,373)	
	San Antonio		(33536,363)	
	Pie del Llano		(34650,580)	Poisson (169.26)
	Santa Juana		(35527,1270)	Sin tasa de llegada
	Soto Rosa		(36332,1266)	
	María Mazzarello		(37929,1267)	
	Campo de Oro		(39438,1268)	
	Hospital		(40329,1267)	
	Luís Gherzi		(40829,267)	
	Medicina		(42828,264)	
	Universidad		(44610,490)	Uniforme (162,666)
Tipo Paradero	Mercado Periférico	25	(40380,200)	Sin tasa de llegada

Tabla No. 6. Características de las Estaciones (continuación)

Tipo Propuesta Inicial	Alto Chama	110	(22342,367)	Sin tasa de llegada
Intermodal	Domingo Peña	240	(43756,1226)	Sin tasa de llegada

3.4 Usuarios

Para el modelo se realizó una población de usuarios, con la misma imagen 3D, que son capaces de trasladarse con una velocidad regular que varía entre (0.5,1) m/s, una velocidad inicial que ronda entre (0.3,0.7) m/s. Estas variaciones corresponden a que el servicio de TROMERCA, recibe usuarios de cualquier edad, por lo tanto, los mismos se trasladan a diferentes velocidades.

Cada usuario, posee un diámetro que varía entre 0.4 y 0.5 metros, ocupando una así una posición en el modelo, que va variando a medida que el usuario se traslada de un lugar a otro, y que no pueden encontrarse a menos de 0.25 metros de distancia entre ellos.

Los usuarios esperan hasta que la unidad de transporte TROMERCA llegue a la estación en la que ellos se encuentran, para el ingreso, se realiza por orden de llegada, y en caso que haya más usuarios esperando de los que puede montar la unidad en esa estación, deben esperar a que llegue una unidad diferente para poder embarcar. Al llegar a la estación destino, la cantidad de usuarios que desembarcan en ella, son colocados en esa estación y caminan manteniendo las características mencionadas anteriormente hasta la entrada de la estación donde posteriormente salen del sistema.

3.5 Semáforos

Los semáforos incorporados a lo largo de la Línea 1, poseen las características que se presentan en la tabla No. 7.

Tabla No. 7. Semáforos

Número de semáforo	Tiempo en Rojo (segundos)	Tiempo en verde (segundos)	% probabilidades de verdes	Posición Coordenadas (x,y)
1	80	15	15.79 %	(950,330)
2	70	25	26.315 %	(1410,330)
3 (Peatonal)	0	0	0 %	(1690,330)
4 (Peatonal)	0	0	0 %	(1940,330)
5	48	47	49.47 %	(3170,330)
6	25	70	73.684 %	(4510,330)
7	45	50	52.631 %	(5540,330)
8	27	68	71.580 %	(6200,330)
9	23	72	75.789 %	(6730,330)
10	37	58	61.052 %	(7430,330)
11	14	81	85.267 %	(10960,330)
12	14	81	85.263 %	(12820,330)
13 (Peatonal)	0	0	0 %	(17760,330)
14	40	55	57.894 %	(19260,330)
15	43	52	54.737 %	(20210,330)
16	41	54	56.842 %	(21420,330)
17 (Peatonal)	0	0	0 %	(22540,330)
18	45	50	52.631 %	(22970,330)
19	32	63	63.316 %	(23800,330)
20	43	52	54.737 %	(26210,330)
21	51	44	46.316 %	(30140,330)
22	37	58	61.052 %	(32280,330)
23	76	19	20 %	(34700,330)
24	79	16	16.842 %	(34840,1230)
25 (Peatonal)	0	0	0 %	(35690,1230)
26 (Peatonal)	0	0	0 %	(36480,1230)
27 (Peatonal)	0	0	0 %	(38100,1220)
28 (Peatonal)	0	0	0 %	(39390,1230)
30	53	42	44.210 %	(39920,1230)
31	81	14	14.737 %	(40710,290)
32	29	51	63.75 %	(41470,220)

Tabla No. 7. Semáforos (Continuación)

33	20	50	71.428 %	(42240,230)
34	18	58	76.316 %	(43310,220)
35	36	44	55 %	(43680,220)
36	61	20	24.691 %	(44570,220)

3.6 Análisis de datos

3.6.1 Análisis de datos Estación Pie del Llano

Para la Estación Pie del Llano los datos recogidos de los usuarios que llegaron demandando el servicio pueden ser observados en la figura No. 29.

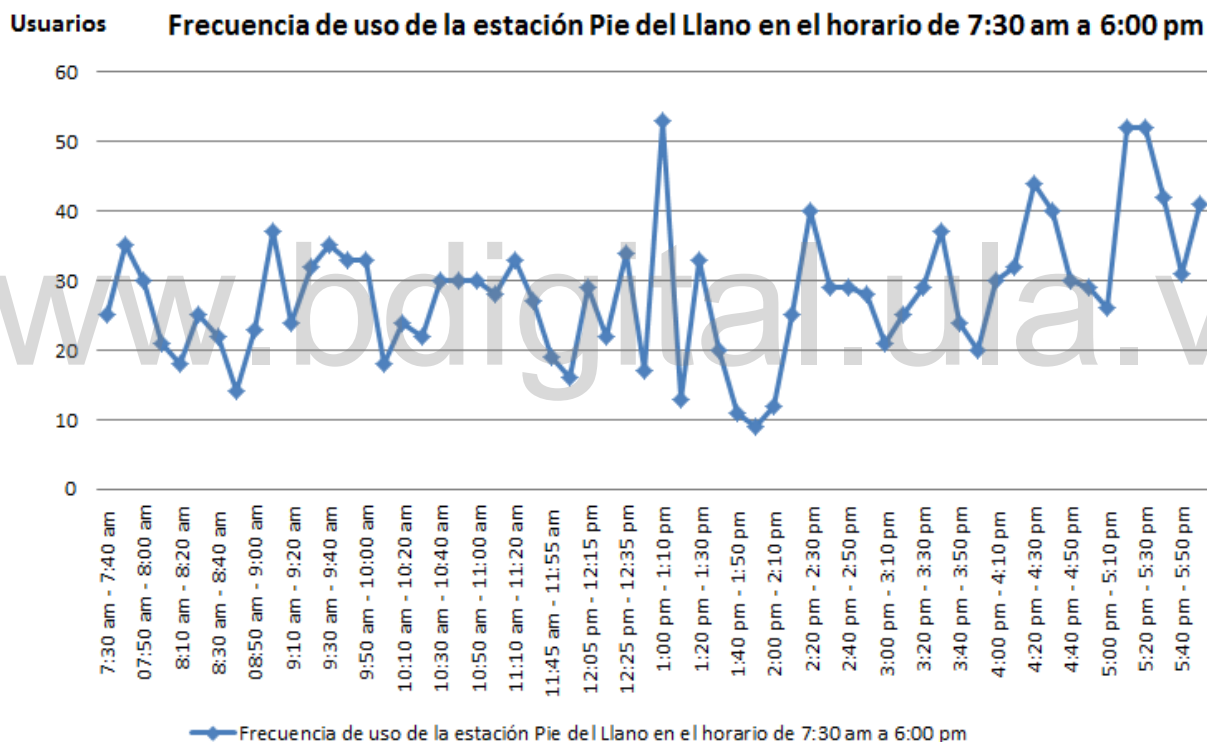


Figura No. 29. Datos tomados en la Estación Pie del Llano.

Para los datos obtenidos, se realizó el análisis de los datos de acuerdo al procedimiento requerido, utilizando el software R, y el software EasyFit, obteniéndose que el número promedio de llegadas por intervalo de 10 minutos fue de 28.2. Como es usual en este tipo de procesos, se trató de verificar si el número de llegadas a la estación corresponde a un modelo de poisson.

Se realizaron todos los análisis gráficos y estadísticos para corroborar este supuesto. Se realizó una prueba de bondad del ajuste Chi cuadrado mediante la comparación entre las frecuencias observadas y las frecuencias teóricas. Se calculó el valor del estadístico chi-cuadrado (7.37) y se comparó con el valor crítico (7.81) para un nivel de confianza de 95%. Se concluye que los datos tomados en la Estación Pie del Llano con intervalos de 10 minutos a lo largo del día, se comportan como una distribución poisson con media 28.22, Esta es la distribución introducida en el modelo para la tasa de llegadas de usuarios en la Estación número 15 (Estación Pie del Llano), convenientemente escalada a hora.

3.6.2 Análisis de datos Terminal Ejido

Al igual que para la Estación Pie del Llano, se llevaron a cabo diferentes pruebas para determinar cómo se distribuyen los datos obtenidos a lo largo del día en la Estación Terminal Ejido. Ver figura No. 30, para observar los resultados obtenidos con los datos tomados en esta estación.

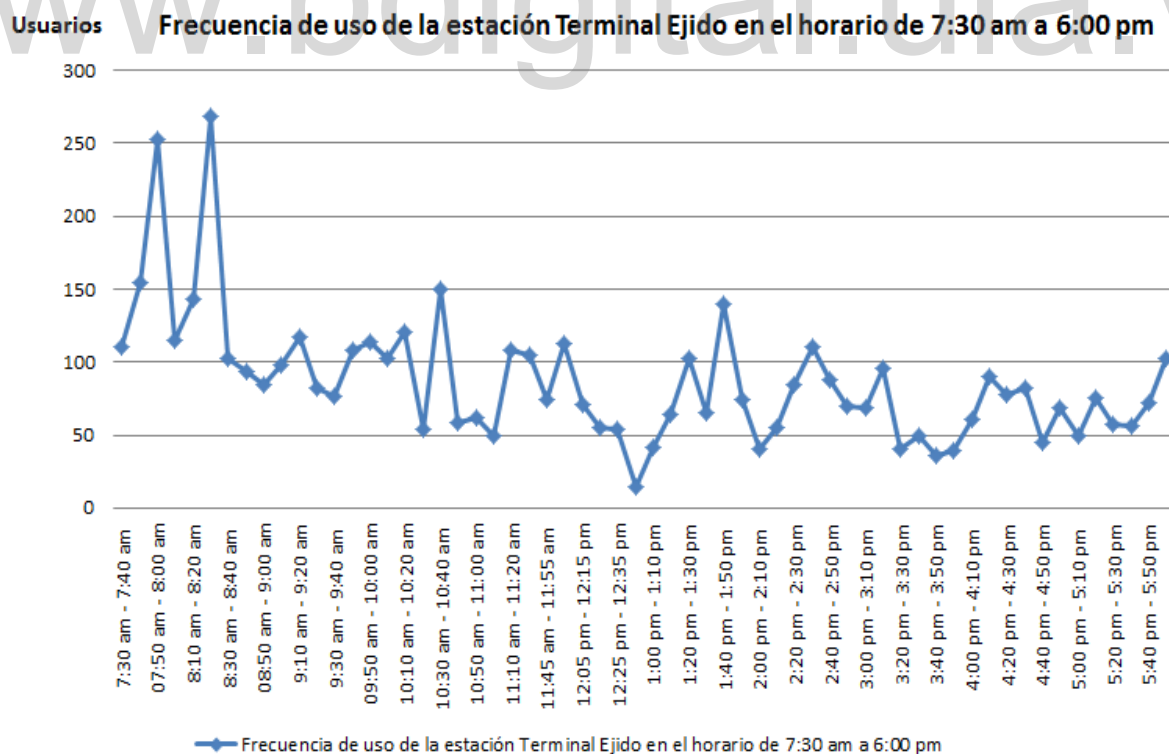


Figura No. 30. Datos tomados en la Estación Terminal Ejido.

Al llevar a cabo un análisis de los datos obtenidos en la Estación Terminal Ejido, se observó que entre las 7:30 am y las 8:30 am, existe un comportamiento diferente al que se obtuvo el resto del día, esto se debe al servicio de Bus Mérida que presta TROMERCA, que consiste en transportar usuarios desde el Vigía, San Juan de Lagunillas, Nueva Bolivia, Canaguá, entre otras poblaciones, alimentando así, la Estación Terminal Ejido, entre este horario que presenta una cantidad de usuarios atípica, en comparación con los datos tomados de los usuarios, durante el resto del día, por lo tanto se decidió analizar los datos de 8:30 am hasta las 6:00 pm, y de las 7:30 am a 8:30 am por separado.

Al realizar las pruebas para los datos tomados de 8:30 am a 6:00 pm se obtuvo como resultado que la llegada de usuarios a la estación Terminal Ejido se distribuyen uniformemente entre 30 y 125 usuarios muestreados en un intervalo de 10 minutos, con una estadística descriptiva que puede observarse en la Tabla No. 8.

Es importante destacar que al introducir los datos al modelo, estos valores fueron escalados y llevados a hora, ya que los datos tomados fueron en lapsos de 10 minutos, y para el modelo la tasa de llegada es por hora.

Tabla No. 8. Estadística Descriptiva Estación Terminal Ejido.

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	54	Min	15
Rango	135	5%	39
Media	77.278	10%	42
Varianza	772.87	25% (Q1)	55
Desviación estándar	27.8	50% (Mediana)	74
Coef. de variación	0.35975	75% (Q3)	102
Error estándar	4.1911	90%	113
Asimetría	0.32704	95%	121
Curtosis	-0.2586	Max	150

Para los datos entre las 7:30 am y 8:30 am se decidió alimentar el modelo utilizando una fuente generadora de usuarios controlados por un calendario que permite ir cambiando los valores a ciertas horas, de acuerdo al volumen de usuarios que llegan a la estación, provenientes del Servicio Bus Mérida.

3.6.3 Análisis de datos Estación Universidad

Los datos tomados en la estación Universidad fueron contados por un observador que cada 10 minutos, contabilizaba el número de usuarios que llegaba a esta estación, al igual que se realizó en las dos estaciones anteriores, obteniendo los resultados mostrados en el figura No. 31, que representa las llegadas en esta estación desde las 7:30 am hasta las 6:00 pm.

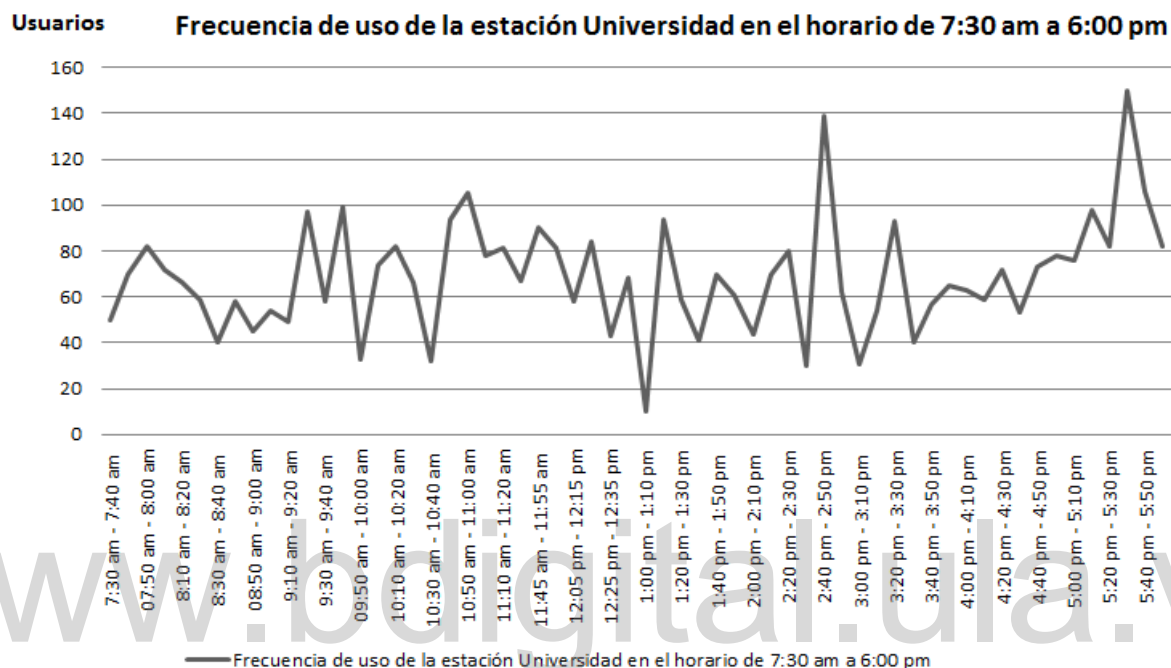


Figura No. 31. Datos tomados en la Estación Universidad.

Al igual que en las Estaciones Pie del Llano y Terminal Ejido, se analizaron estos datos utilizando el software estadístico R y el software EasyFit, obteniendo la estadística descriptiva observada en la tabla No. 9.

Tabla No. 9. Estadística Descriptiva Estación Universidad

Estadística descriptiva			
Estadística	Valor	Percentil	Valor
Tamaño de la muestra	60	Min	10
Rango	140	5%	31.05
Media	68.783	10%	40
Varianza	617.19	25% (Q1)	54
Desviación estándar	24.843	50% (Mediana)	67.5
Coef. de variación	0.36118	75% (Q3)	82
Error estándar	3.2073	90%	97.9
Asimetría	0.6539	95%	105.95
Curtosis	1.6987	Max	150

Para la Estación Universidad la distribución que mejor se adecua a los datos tomados en este proyecto, es una distribución uniforme entre 27 y 111 usuarios muestreados en un intervalo de 10 minutos.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 4.

Implementación del Modelo

En este capítulo se describe la implementación del modelo realizada en AnyLogic. Todas las corridas se refieren a la simulación de un día desde las 7:30 am hasta las 6:00 pm, utilizando minutos como unidad de tiempo. El modelo permite diferentes velocidades a la hora de la simulación, en la velocidad 1x, cada minuto representa un minuto del modelo real. Para agilizar las simulaciones se utilizó la velocidad de 500X, tomando un aproximado de 4 minutos por simulación.

4.1 Descripción general de la implementación en AnyLogic

Como lenguaje de simulación fue utilizado el software AnyLogic, el cual para el modelado funciona de manera sencilla e interactiva con el usuario utilizando el marcado de espacio y el organigrama de procesos.

AnyLogic utiliza Java como lenguaje de programación, pero es autogeneradora de código, es decir, al crear cada bloque, el mismo software va generando el código para llevar a cabo cada función.

4.1.1 Librerías

Para este modelo fue necesario utilizar 3 librerías que posee el software AnyLogic, las cuales son:

1. Librería de Modelado de Procesos (*Process Modeling Library*)
2. Librería Peatonal (*Pedestrian Library*)
3. Librería de Trenes (*Rail Library*)

En cada una de las librerías se crean entidades, que luego son sujetas a diversos tipos de procesos, modelizados a través de bloques de acción, que describen las actividades que se llevan a cabo en el sistema.

La librería de modelado de procesos o “Process Modeling Library” es la librería estándar de simulación de eventos discretos y contiene bloques para realizar las funciones

clásicas de cualquier simulador de eventos discretos: creación y destrucción de entidades, colas, servicios, demoras, etc. (Figura No. 32)

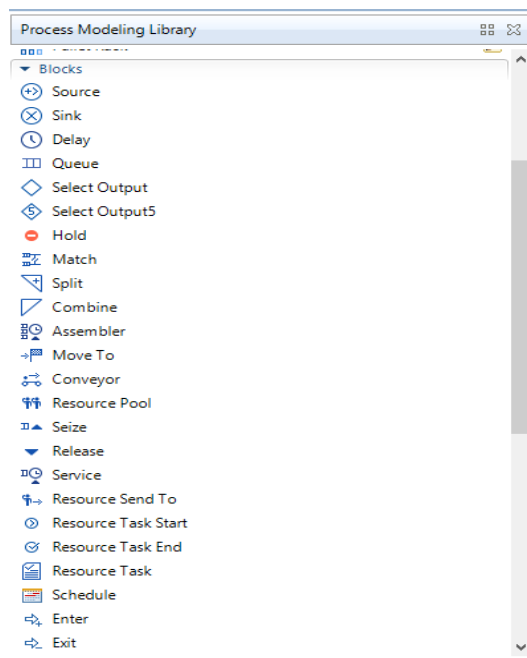


Figura No. 32. Funciones de la Librería de Modelado de Procesos.

La Librería peatonal o “Pedestrian Library” es la librería que permite utilizar los bloques relacionados con los usuarios. Es una adaptación y especialización de las funciones básicas del simulador pero orientado a la simulación de usuarios y su movimiento. Al crear una entidad, AnyLogic permite controlarla utilizando esta misma librería.

4.2 Modelado de la demarcación espacial del modelo y bases para la animación

Para este trabajo se comenzó estableciendo la escala para el modelo, la cual fue configurada para que la regla fuera de 100 pixeles, y la longitud de la regla represente 10 metros, es decir, que cada cuadro en la página de configuración del modelo representa 5 metros, y cada punto representa un metro (Figura No. 33).

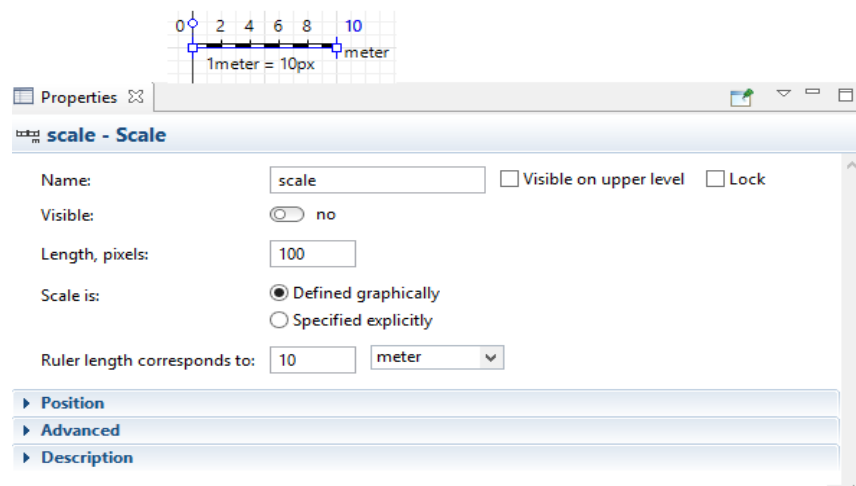


Figura No. 33. Escala del modelo

Al finalizar la configuración de la escala para el modelo, el siguiente paso fue el de generar los agentes que se iban a utilizar para este proyecto, siendo estos:

- Usuario
- Trolebús

Así mismo se realizó el recorrido completo y las estaciones que se iban a modelar en su totalidad, utilizando el marcado de espacio en la librería de trenes, usando el “Railway Track” para dibujar la vía del Trolebús y el “Position on Track” para establecer puntos a donde el tren se va a dirigir para realizar alguna acción. Para dibujar las estaciones, se accedió a la paleta, y luego en la opción de presentación, se realizaron líneas generando la forma, y luego con el software transformar estas líneas en paredes. (Figura No. 34).

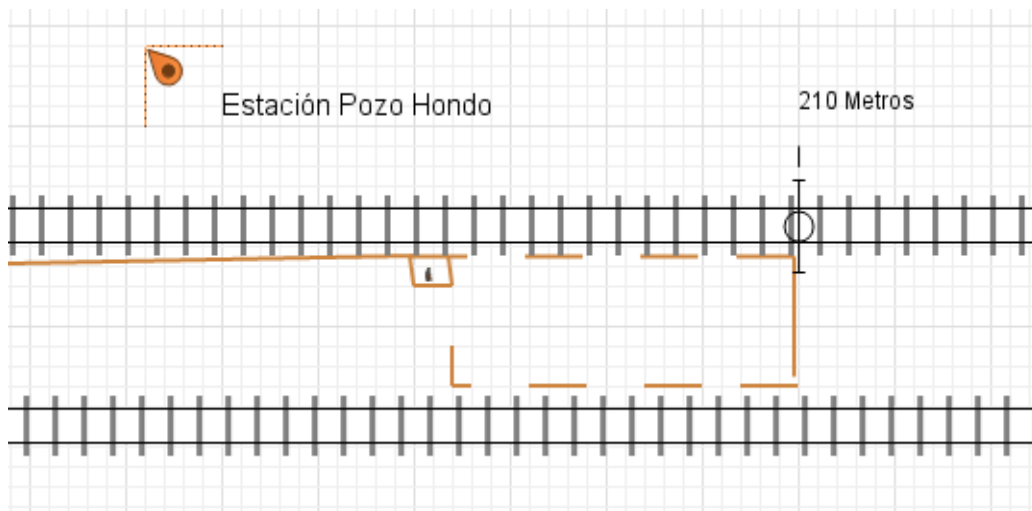


Figura No. 34. Dibujando la Línea 1 de TROMERCA.

Los bloques, que son los que permiten las acciones de los agentes, necesitan líneas o áreas de referencia para poder ejecutar sus funciones, por lo tanto, fue necesario generar áreas de servicio, servicio con líneas, y líneas objetivos. En la Figura No. 35 puede observarse una estación que va a tener afluencia de usuarios.

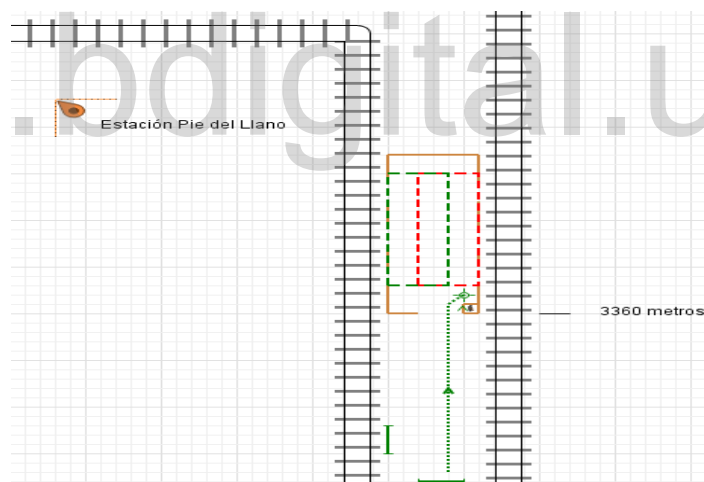


Figura No. 35. Estación Pie del Llano en AnyLogic.

4.3 Modelado de usuarios en una estación del Trolebús

Para crear una fuente de usuarios, se utiliza el bloque “Ped Source”, permitiendo cambiar sus propiedades como se puede observar en la Figura No. 36, donde se coloca la ubicación en la que aparecerán los usuarios, se importa la clase o el agente que se desea utilizar, que por lo general es el que contiene la Figura en 3D, y se le asigna la tasa de llegadas.

fp10 - PedSource

Name: ☒ Show name ☐ Ignore

Appears at: ☒ line ☐ point (x,y) ☐ area

Target line:

Arrive according to:

Arrival rate:

Limited number of arrivals: ☐

Pedestrian

New pedestrian:

Comfortable speed:

Initial speed:

Diameter:

Groups

Advanced

Add pedestrian to: ☒ default population of root agent ☐ custom population

Actions

Figura No. 36. PedSource

Como se dijo anteriormente, AnyLogic posee una paleta para cada una de sus bibliotecas, con diferentes acciones que los agentes pueden realizar, en la Figura No. 37 se puede observar las opciones que el software admite, entre ellas, el “Ped Service”, que permite a los usuarios creadas dirigirse a una lugar y representar un servicio, que involucra una cola y el tiempo que demora ese servicio; también “Ped wait” permite al agente creado esperar hasta que se llame una función que indique que termino la espera, o simplemente al transcurrir cierto tiempo, finalizar la espera y proseguir al bloque siguiente, entre otros.

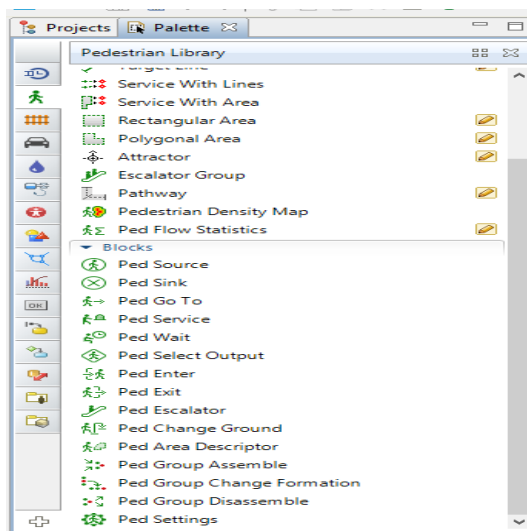


Figura No. 37. Paleta de acciones para usuarios.

En la Figura No. 38, se puede observar la secuencia de bloques utilizada en este proyecto para modelar en una estación las llegadas de usuarios, la compra de boletos y la posterior espera hasta que el trolebús los aborde.

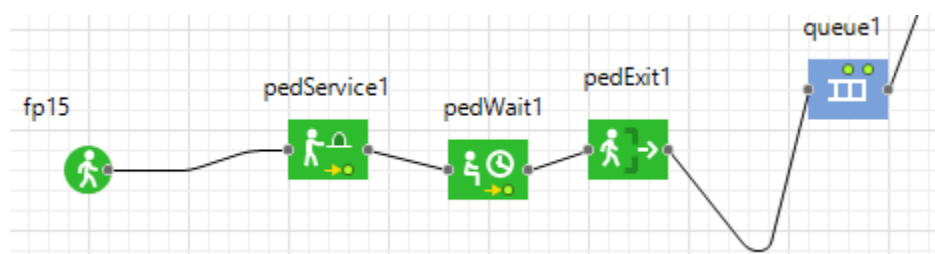


Figura No. 38. Secuencia de bloques para el modelado de usuarios en una estación.

4.4 Modelado de la unidad de transporte

Para la creación de una unidad de transporte tipo tren, se utiliza el bloque “TrainSource”, que funciona como una fuente de trenes, en la cual se le asigna el punto de partida donde se van a crear; el parámetro de llegada; además se le asigna el número de vagones que posee el tren, en la paleta del “TrainSource”, es posible colocar también atributos como la velocidad cruce, la longitud del vehículo, la aceleración y desaceleración del Trolebús.

Para dirigir la unidad de transporte de un lugar a otro se utiliza el bloque “TrainMoveTo”, donde se puede modificar también la velocidad del trolebús en este tramo. Para generar el retraso que toma el trolebús, al embarcar y desembarcar usuarios, se utiliza el bloque de la librería de procesos “delay”. En la Figura No. 39, se observa la secuencia de bloques para el modelado del Trolebús.

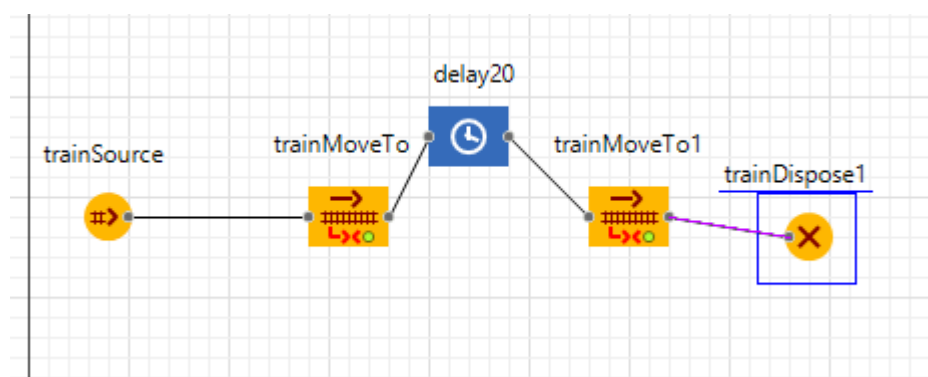


Figura No. 39. Secuencia de bloques para el modelado de Trolebuses en una estación.

4.5 Modelado de la red de transporte

Una de las partes más importante del modelado en AnyLogic, es el diagrama de bloques, que representa la secuencia de los procesos que va realizando el modelo, donde se están creando trenes utilizando el agente Trolebús, a la par que se va generando la entrada de usuarios que ingresan a la estación; luego en azul (un bloque de la librería de modelado de procesos) se le añade un retraso (delay) para representar el tiempo de espera mientras los usuarios desembarcan. Posteriormente se usa el bloque “dropoff”, también de la librería de modelado de procesos, para especificar cuantas usuarios bajan del tren y aparecerlas a través de los bloques que se encuentran arriba de éste, comenzando por el pedEnter, para luego llevarlos a una línea objetivo y allí desaparecerlos. Para montar el agente usuario, primero se crea con un “pedSource”, luego se dirige a un servicio que sería el comprar el boleto para utilizar el sistema de TROMERCA, y de ahí a la sala de espera, que cuando el diagrama de bloques llega hasta el siguiente retraso, en las propiedades de este “delay” en la parte de acciones en el inicio de este bloque, se realiza la liberación de los usuarios que se encuentran en la sala de espera, para poder luego con el “pickup” recogerlos y montarlos en el trolebús. (Figura No. 40).

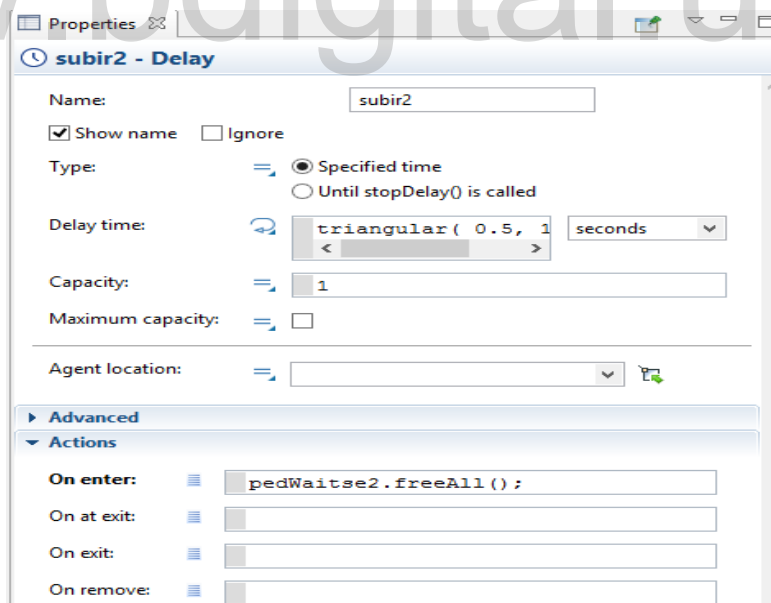


Figura No. 40. Función en un bloque.

Para simular el tiempo que el trolebús debe esperar en las intersecciones semaforizadas se añade un “select output” al diagrama de procesos, que permite introducir cierta probabilidad para escoger que bloque debe continuar, uno de los delay representa la

posibilidad de conseguir el semáforo en verde calculando el porcentaje de probabilidad de que esto ocurra, tomando el tiempo que el semáforo dura en verde, multiplicándolo por 100 y luego dividiéndolo entre el tiempo total del ciclo (Tabla No. 2), y el otro delay representa el tiempo que el semáforo dura en rojo, con una distribución de tiempo uniforme entre 3 segundos y el tiempo máximo posible en rojo que posea cada semáforo.

En la figura No. 41 se observa la unión entre los bloques de la librería de Trenes y la librería de usuarios, utilizando el bloque pickup.

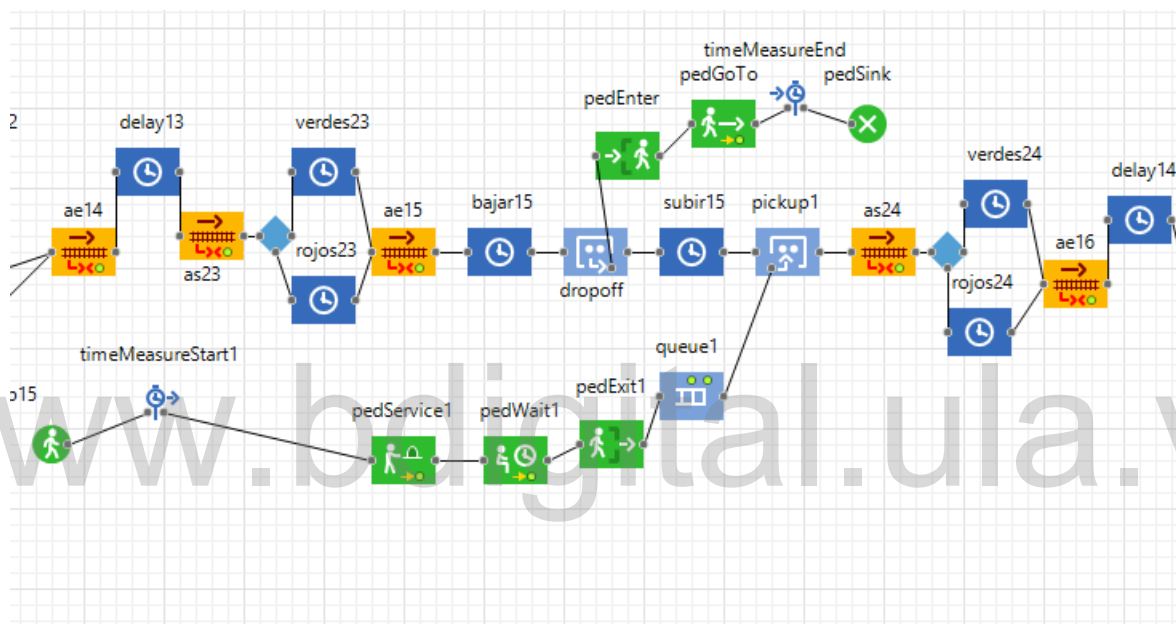


Figura No. 41. Modelado de la red de transporte en AnyLogic.

4.6 Animación del modelo

La animación del modelo es una parte muy importante para este trabajo, la animación en 2D viene ya incluida por omisión, pero permitiendo un solo plano, para poder mover la vista por todo el modelo, se utiliza la función View Area en la sección de presentación en la paleta de AnyLogic, que al colocarlo en cierto lugar en el modelo, al simular, es posible ir a esta vista, un ejemplo de la lista de lugares por los que se puede pasear la vista 2D es posible observarla en la figura No. 42.

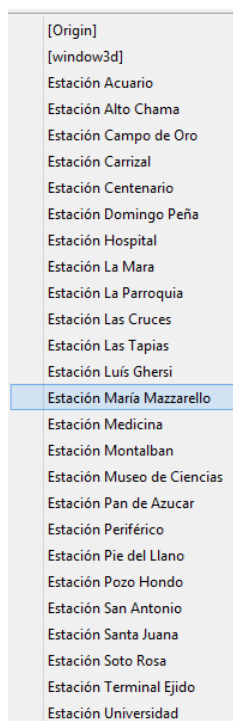


Figura No. 42. Utilización de View Área en el modelo.

Se decidió realizar una vista en 3D, donde es posible ir a cualquiera de las 3 cámaras colocadas en la estación Terminal Ejido, Pie del Llano y Universidad, y moverse fácilmente utilizando el ratón, a través de todo el modelo (figura No. 43).



Figura No. 43. Animación en 3D del modelo.

4.7 Toma de datos utilizando el modelo

Para obtener datos del modelo, dependiendo del dato que se quiera obtener, se accede a la información del bloque, en la figura No. 44, se puede apreciar como cada bloque lleva un conteo de los agentes que han pasado por allí, utilizando esta información se pudo contabilizar los usuarios que llegaron a cada estación en un día normal, mientras que en la figura No. 45, se puede observar como para el calcular el tiempo desde que los usuarios entran a la estación Pie del Llano, hasta que desembarcan en la estación Universidad, para acceder a esa información solo hay que dar doble click en el bloque de la cual se quiere extraer datos.

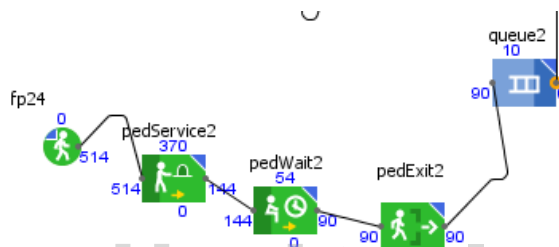


Figura No. 44. Conteo de usuarios en el modelo.

distribution	
Count	910
Mean	1,057.782
Min	620.446
Max	2,506.695
Deviation	400.872
Mean confidence	26.046

Figura No. 45. Toma de datos de los usuarios en el modelo.

Para poder conocer la cantidad de veces que los trolebuses coinciden, en la misma corrida, se puede observar los bloques que representan a la unidad de transporte, en el “Train Move To”, el bloque tiene la posibilidad de ver las veces que los agentes colisionan como puede observarse en la figura No. 46, en la que se muestra, que en la estación 24, coincidieron en 2 ocasiones 2 o más buses, mientras en la figura No. 47, se observa en una animación de 3D el momento en que esto sucede.

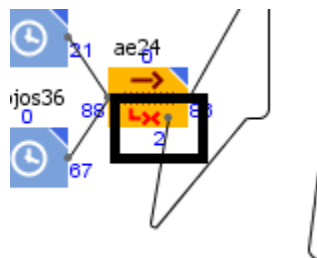


Figura No. 46. Contabilizando la coaliciones entre las unidades de transporte.

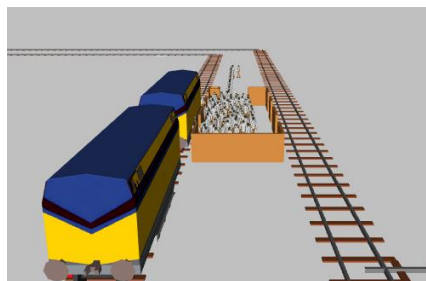


Figura No. 47. Coincidencia de 2 buses, vista en 3D.

4.8 Evaluación de la calidad del modelo (Verificación y Validación)

Davis (1992 citado en Stewart 2004) explica que la verificación es el proceso que asegura que el modelo conceptual ha sido transformado en un modelo computacional con suficiente precisión, mientras que la validación según Carson (1986 citado en Stewart 2004), es el proceso que permite asegurar que el modelo computacional es capaz de cumplir los objetivos propuestos.

4.8.1 Verificación

Según Hoeger (1997), la verificación puede ser llamada también depuración es decir, que el modelo hace lo que debe hacer. Para la verificación es importante preguntarse si el modelo conceptual está representado por el modelo operacional generado, para esto, es necesario verificar si las suposiciones realizadas, los valores de los parámetros y las simplificaciones realizadas, funcionan correctamente.

Como es lo usual en cualquier proceso de codificación, la verificación se llevó a cabo progresivamente, asegurándose de que cada elemento nuevo añadido al modelo funcionaba de la manera apropiada. Por la aleatoriedad presente en los modelos de simulación, es necesario ser especialmente cuidadosos en esta fase. Así, para verificar

adicionalmente el modelo se escogió realizar una prueba de continuidad, es decir, modificar los parámetros de entrada y observar como varían las salidas del sistema, analizando que estas variaciones se comporten de manera coherente.

Dos parámetros de entrada fueron escogidos para ser variados con la finalidad de verificar el modelo, siendo estos, el intervalo de tiempo con el que parten los trolebuses de la Estación principal Terminal Ejido, como la cantidad de usuarios que se montan en esta misma estación, para verificar que el modelo esté funcionando correctamente, al variar estos 2 parámetros mencionados, los tiempos de espera (parámetro de salida tomado para la verificación) deberían variar lógicamente de acuerdo con estas modificaciones. Los valores de entradas están expresados en la tabla No. 10, mientras que para observar la variación del tiempo de espera promedio de los usuarios al realizar dichas variaciones es importante revisar las tablas No. 11 y No. 12.

Tabla No. 10. Entradas variadas para la verificación del modelo.

Parámetro	Valores escogidos libremente	Valores incrementados 30%	Valores disminuidos 30%
Intervalo de tiempo entre trolebuses	10 minutos	13 minutos	7 minutos
Cantidad de usuarios que se montan en la estación 1.	50	65	35

Tabla No. 11. Salidas obtenidas en la verificación del modelo al variar el parámetro 1

Parámetro variado	Con valores iniciales (minutos)	Con valores incrementados 30% (minutos)	Con valores disminuidos 30% (minutos)
Intervalo de tiempo entre trolebuses	5.9	10.4	4.2

Tabla No. 12. Salidas obtenidas en la verificación del modelo al variar el parámetro 2

Parámetro variado	Con valores iniciales (minutos)	Con valores incrementados 30% (minutos)	Con valores disminuidos 30% (minutos)
Cantidad de usuarios que se montan en la estación 1	10.7	9.3	15.1

Tal y como se esperaba, si el tiempo entre llegadas de las unidades de transporte a la estación Terminal Ejido es mayor, el tiempo de espera de los usuarios para acceder al servicio de TROMERCA debe ser mayor también (tabla No. 11), y si se reduce la cantidad de usuarios que el trolebús puede recoger en esta estación de 50 usuarios a 35 usuarios, el tiempo de espera de los usuarios aumentará de 10.7 minutos a 15.1 minuto (tabla No. 12), lo cual nos permite concluir que el modelo se comporta de manera lógica, ya que los usuarios estarán más tiempo en espera debido a que deben esperar que lleguen más unidades de transporte.

4.8.2 Validación

Según Hoeger (1997) “Validar es asegurarse de que los supuestos usados en el desarrollo del modelo son razonables en el sentido de que, si es correctamente implementado, el modelo producirá resultados próximos a los observados en el sistema real”, es por esto, que para validar el modelo en cuestión se comparó el tiempo que tarda la unidad de transporte TROMERCA en llegar desde la Estación Terminal Ejido, hasta la Estación Universidad, con el promedio de tiempo que tardaron 5 trolebuses en el modelo.

Diferentes observadores tomaron los datos de los tiempos que tardaba el trolebús en el sentido Sur-Norte desde la Estación Terminal Ejido, hasta la Estación Universidad, un día normal, entre las 10 am, y las 3 pm. Estos datos pueden ser observados en la tabla No. 13.

Tabla No. 13. Tiempos observados en la Línea 1 de TROMERCA.

Observación	Tiempo que tardo el trolebús en minutos, desde la estación Terminal Ejido hasta la estación Universidad
1	33
2	36
3	38.5
4	37.4
5	35.8

La estimación de la media del tiempo que tarda el trolebús está dado por:

$$\frac{1}{5} \sum_{i=0}^5 xi = 36.1 \text{ minutos}$$

Para hallar el intervalo de confianza para la media de los tiempos observados con una confianza del 95 %, se utilizó el software estadístico R, obteniendo que con el 95 % de confianza los datos obtenidos se encontrarán en el intervalo [33.57; 38.69] minutos.

Para calcular el promedio de tiempos que tarda el trolebús en el modelo, se llevó a cabo 5 corridas y se tomó un trolebús al azar para cada una de ellas, tomando en consideración que el horario del modelo estuviese entre las 10 am y las 3 pm. Los datos que arrojó el sistema están explicados en la Tabla No. 14.

Tabla No. 14. Tiempos observados en el modelo de simulación.

Observación	Tiempo que tardo el trolebús en minutos, desde la Estación Terminal Ejido hasta la estación Universidad en el modelo
1	35.9
2	33.2
3	33.1
4	36
5	36.2

La estimación de la media de los tiempos observados en el modelo de simulación está dada por la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{5} \sum_{i=0}^5 xi = 34.9 \text{ minutos}$$

Para un intervalo de confianza para la media de 95% utilizando el software estadístico R, se obtiene que los tiempos que tarda el trolebús entre la Estación Terminal Ejido y la Estación Universidad obtenidos según el modelo están en el intervalo [32.9; 36.8] minutos.

Al comparar el valor obtenido por el modelo, con el valor obtenido en las observaciones de la línea 1 de TROMERCA, se observa que los valores son muy similares, tomando en cuenta que es en un recorrido de 14.1 km, y además el intervalo de confianza generado por el modelo se solapa en un alto porcentaje con el intervalo de confianza medido en la realidad, se considera que respecto a esta medida, el modelo puede considerarse como válido.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 5.

Análisis de Resultados

En este capítulo se responde a las incógnitas planteadas en el capítulo 1, en los objetivos específicos, analizando cada resultado obtenido en el modelo.

5.1 Determinar el número de usuarios en promedio que utilizan el sistema ofrecido por TROMERCA en un día (de 7:30 am a 6:00 pm) desde las estaciones: Terminal Ejido, Pie del Llano, Universidad.

Se realizaron 10 corridas, estableciendo como tiempo de simulación desde las 7:30 am hasta las 6:00 pm, y los resultados obtenidos por estación, se pueden observar en la Tabla No. 15.

Tabla No. 15. Cantidad de usuarios que llegan a las estaciones arrojadas por el modelo.

Cantidad de usuarios que utilizan el servicio de TROMERCA en cada estación en un día (7:30 am – 6:00 pm),	Corrida	Terminal Ejido	Pie del Llano	Universidad
	1	6606	1822	5635
	2	6796	1820	5767
	3	6739	1804	5704
	4	6676	1832	5840
	5	6718	1747	5701
	6	6820	1792	5735
	7	6651	1800	5795
	8	6796	1907	5765
	9	6773	1773	5591
	10	6610	1807	5768
	PROMEDIO	6719	1810	5730

5.2 Conocer el tiempo de espera de los usuarios para utilizar el servicio de TROMERCA

Los tiempos que demoran los usuarios desde su llegada a cada estación para hacer uso del servicio de TROMERCA, hasta que se montan en una unidad de transporte se encuentran expresados en las tablas No. 16, 17 y 18.

Tabla No. 16. Tiempos que tardan los usuarios en utilizar el sistema en la Estación Terminal Ejido.

Tiempo que demoran los Usuarios en utilizar el sistema TROMERCA (minutos)			
Estación Terminal Ejido			
Corrida	Tiempo Mínimo	Tiempo Medio	Tiempo Máximo
1	0.7	7.6	61.9
2	0.7	6.4	46.1
3	0.7	7.4	56.8
4	0.6	7.1	61
5	0.7	5.4	30.1
6	0.7	7	50.9
7	0.6	6.8	40.4
8	0.6	6.7	55.2
9	0.7	7.3	52.2
10	0.7	6.7	33.1
PROMEDIO	0.7	6.8	48.8

En la tabla No. 16, se puede observar que al realizar 10 corridas con un promedio de 6719 usuarios que ingresaron en esta estación, el tiempo mínimo de espera de algún usuario no varía mucho, y es alrededor de 0.7 minutos, lo cual es un tiempo corto, tratándose de aquellos usuarios que ingresan a la estación cuando el trolebús está llegando. El tiempo máximo de algún usuario, varía alrededor de 48.8 minutos, el cual es un tiempo considerablemente alto, esto es debido a la cola que se presenta a diferentes horas del día; el valor más importante en la tabla No. 16, es el tiempo promedio que tardan los usuarios para montarse en el Trolebús, el cual de acuerdo al modelo, es de 6.8 minutos en promedio, el cual es un tiempo razonable de espera para esta estación, ya que se encuentra incluso por debajo, del promedio de tiempo que tardan los trolebuses en salir desde esta estación (entre 5.8 y 7.4 minutos)

Tabla No. 17. Tiempos que tardan los usuarios en utilizar el sistema en la Estación Pie del Llano.

Tiempo que demoran los Usuarios en utilizar el sistema TROMERCA (minutos)			
Estación Pie del Llano			
Corrida	Tiempo mínimo	Tiempo medio	Tiempo máximo
1	0.4	4.8	29.4
2	0.5	4.7	30.5
3	0.4	4.9	31.1
4	0.4	4.8	32.2

Tabla No. 17. Tiempos que tardan los usuarios en utilizar el sistema en la Estación Pie del Llano.

(Continuación)

5	0.5	4.6	31.4
6	0.4	4.9	30
7	0.4	4.6	31.5
8	0.5	4.7	31.9
9	0.4	4.4	30.3
10	0.5	4.8	32.9
PROMEDIO	0.4	4.7	31.1

Para la Estación Pie del Llano (Tabla No. 17), al presentarse una cantidad de usuarios inferior al que se presenta en la Estación Terminal Ejido, el tiempo máximo es menor, aproximadamente 31 minutos, ya que no se presenta tanta cola en un día normal, mientras que el tiempo promedio está cerca de los 5 minutos.

Tabla No. 18. Tiempos que tardan los usuarios en utilizar el sistema en la Estación Universidad.

Tiempo que demoran los Usuarios en utilizar el sistema TROMERCA (minutos)			
Estación Universidad			
Corrida	Tiempo Mínimo	Tiempo Medio	Tiempo Máximo
1	0.5	9.5	66.5
2	0.5	9.1	58.3
3	0.4	12.2	90.1
4	0.5	9.4	77.9
5	0.4	7.4	50.7
6	0.4	10.9	65.5
7	0.5	8.5	58.1
8	0.4	13.7	99.6
9	0.4	12.2	63.2
10	0.4	11.9	95.9
PROMEDIO	0.4	10.5	51.5

En la tabla No. 18, se observan que los usuarios deben esperar alrededor de 51.5 minutos como máximo para acceder al sistema en la estación Universidad.

5.3 Determinar la coincidencia de los trolebuses en la misma estación desde las 7:30 am hasta las 6:00 pm.

Un fenómeno que se observa en la Línea 1 de TROMERCA, y que en los datos tomados de acuerdo a las llegadas de los trolebuses, se puede observar desde la Estación Acuario en adelante, es que los tiempos de llegadas son muy variados, llegando hasta un máximo de 17 minutos sin que llegue ningún trolebús y presentándose situaciones donde llegan hasta 3 trolebuses en un intervalo de 2 minutos.

En la Tabla No. 19, se puede observar el número de veces que coinciden en un día 2 o más trolebuses y en la estación en la cual sucedió el evento. Es importante recalcar que para el modelo, para que exista coincidencia, debe darse que mientras una unidad de transporte TROMERCA esté en su tiempo de servicio en una estación cualquiera, llegue otro trolebús en el mismo instante a la misma estación.

Tabla No. 19. Cantidad de veces que coinciden 2 o más trolebús en una estación.

Cantidad de veces que coinciden 2 o más trolebús en una estación	Corrida	Valor/Estación
	1	1/Universidad
	2	1/San Antonio, 1/Universidad
	3	1/ Pie del Llano, 2/Universidad
	4	3/ Universidad
	5	0
	6	1/ Acuario, 1/Universidad
	7	2/universidad, 2/Domingo Peña
	8	1/Acuario, 1 Soto Rosa
	9	4/Universidad
	10	2/Luís Gherzi, 2/Universidad

5.4 Conocer el tiempo promedio que tardan los usuarios en llegar desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Pie del Llano, desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Universidad, y desde la Estación Pie del Llano hasta la Estación Universidad.

Para la Tabla No. 20, se realizaron 10 corridas con la finalidad de hallar los tiempos promedios que tardan los usuarios a lo largo de todo el día, en llegar desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Pie del Llano; desde la Estación Pie del Llano hasta la Estación Universidad y finalmente desde la Estación Terminal Ejido a la Estación Universidad, desde que el usuario llega a la estación solicitando el servicio de TROMERCA hasta que desembarca en la estación de destino.

Según los datos arrojados en la Tabla No. 20, al observar tiempos muy altos, se presentaron los escenarios analizados en la sección 5.5, con la finalidad de comparar resultados y así poder realizar recomendaciones a la empresa TROMERCA a fin de disminuir estos tiempos.

Tabla No. 20. Tiempo promedio que tardan los usuarios desde una Estación A hasta una Estación B.

Tiempo promedio que tardan los Usuarios en embarcar en la Estación A hasta llegar a la Estación B (minutos)			
Corrida	Terminal Ejido – Pie del Llano	Pie del Llano – Universidad	Terminal Ejido – Universidad
1	34.4	20.4	42.9
2	34.4	17.5	45.3
3	34.1	17.5	44.8
4	34	17.3	49.5
5	34.2	19	47
6	34.3	17.6	44.2
7	32.6	17.4	43.1
8	35.3	17.6	45.2
9	33.9	17.2	47.3
10	34.7	17.6	44.3
Promedio	34.2	17.9	45.3

5.5 Evaluación de escenarios

- A. El Trolebús tenga paso prioritario y no deba detenerse en los semáforos.
- B. Exista una mayor cantidad de unidades de transporte TROMERCA, para que salgan de la Estación Terminal Ejido con mayor frecuencia que la presentada actualmente.

5.5.1 Escenario 1. El Trolebús tenga paso prioritario y no deba detenerse en los semáforos

Uno de los escenarios planteados en este proyecto está respaldado por el hecho de que en otros países del mundo esto ha sido aplicado, y que la empresa TROMERCA cuenta ya con ciertos sensores implantados a lo largo de la Línea 1, utilizados anteriormente para monitorear sus unidades, pero que podrían programarse para generar este escenario.

En la Tabla No. 21, se observan los resultados obtenidos al realizar 10 corridas en el modelo desde las 7:30 am hasta las 6:00 pm, al considerar la probabilidad de conseguir el semáforo en verde y colocarla en 100% para todos los semáforos, efectivamente el trolebús mantendría la misma velocidad sin tener que desacelerar y volver a acelerar hasta la velocidad cruce, sin tener que esperar que el semáforo se coloque en verde.

Tabla No. 21. Resultados arrojados por el modelo para el escenario 1.

Tiempo promedio que tardan los usuarios en embarcar en la Estación A hasta llegar a la Estación B si el trolebús tiene paso prioritario en los semáforos (minutos)			
Corrida	Terminal Ejido – Pie del Llano	Pie del Llano – Universidad	Terminal Ejido – Universidad
1	30.8	15.2	40.1
2	32.1	15.3	39.7
3	31.4	15.4	38.6
4	31.7	15.3	39
5	31.1	15.5	39.3
6	31.1	15.4	40.2
7	31.7	15.1	39.6
8	31.2	15.9	38.9
9	30.2	15	39
10	30.9	15.2	39.1
Promedio	31.2	15.3	39.3

Es importante destacar, que al apagar los semáforos a lo largo de toda la Línea 1, no se presentó ningún caso en ninguna de las 10 corridas donde hubiera coincidencia de 2 o

más trolebuses en una misma estación, a diferencia de lo sucedido cuando se evaluó la situación actual (Tabla No. 20), así como también se pudo observar la disminución del tiempo máximo de espera de algún usuario, ajustándose más a la media, ya que la única variable considerada en este escenario es el tiempo de servicio en cada estación.

5.5.2 Escenario 2. Existe una mayor cantidad de Trolebuses por lo tanto los mismos parten de la estación Terminal Ejido con mayor frecuencia que la presentada actualmente.

El escenario 2, asume que el trolebús parte desde la Estación Terminal Ejido con un tiempo entre unidades de 3 minutos, a diferencia de lo que se sucede hoy en día, como se expresa en el capítulo 3, en la sección de la flota vehicular, que parten con una frecuencia entre 5.8 y 7.4 minutos.

En la Tabla No. 22, se pueden observar los resultados obtenidos para este escenario, destacando que los tiempos obtenidos, son menores tanto para la situación actual como para los observados en la Tabla No. 21, para el escenario número 1.

Tabla No. 22. Resultados arrojados por el modelo para el escenario 2.

Tiempo promedio que tardan los Usuarios en embarcar en la estación A hasta llegar a la estación B si el trolebús sale cada 3 minutos (minutos)			
Corrida	Terminal Ejido – Pie del Llano	Pie del Llano – Universidad	Terminal Ejido – Universidad
1	28	15	39.8
2	28.1	15.1	39.9
3	27.9	15.2	39.9
4	27.9	15.1	40
5	28.2	15.3	39.6
6	27.9	15.3	39
7	28	15	39
8	27.9	15.5	39.1
9	27.9	15.3	39.7
10	27.7	15.2	40.1
Promedio	27.9	15.2	39.6

Para poder observar mejor las reducciones que generarían los escenarios número 1 y número 2, se realizó la tabla número 23, 24 y 25, donde se puede observar la diferencia de tiempos que tardan los usuarios para la situación actual y para los escenarios 1 y 2.

Tabla No. 23. Tabla comparativa desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Pie del Llano.

Tabla comparativa de los tiempos que demoran los Usuarios desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Pie del Llano (minutos)			
Corrida	Situación Actual	Escenario 1	Escenario 2
1	34.4	30.8	28
2	34.4	32.1	28.1
3	34.1	31.4	27.9
4	34	31.7	27.9
5	34.2	31.1	28.2
6	34.3	31.1	27.9
7	32.6	31.7	28
8	35.3	31.2	27.9
9	33.9	30.2	27.9
10	34.7	30.9	27.7
PROMEDIO	34.2	31.2	27.9

En la tabla número 23, se observa que tanto el escenario 1 como el escenario 2, presentan tiempos menores a los tiempos actuales, siendo la mejor opción la reducción del tiempo de partida de los trolebuses desde la Estación Terminal Ejido (Escenario 2), obteniéndose una reducción de 6.3 minutos en promedio entre todas las corridas, el cual representa un tiempo significativo para los usuarios, mientras que el escenario número 1 reduciría aproximadamente 3 minutos del tiempo promedio que se tarda en la situación actual.

Tabla No. 24. Tabla comparativa desde la Estación Pie del Llano hasta la Estación Universidad.

Tabla comparativa de los tiempos que demoran los Usuarios desde la Estación Pie del Llano hasta la Estación Universidad (minutos)			
Corrida	Situación Actual	Escenario 1	Escenario 2
1	20.4	15.2	15
2	17.5	15.3	15.1
3	17.5	15.4	15.2
4	17.3	15.3	15.1
5	19	15.5	15.3
6	17.6	15.4	15.3
7	17.4	15.1	15
8	17.6	15.9	15.5
9	17.2	15	15.3
10	17.6	15.2	15.2
PROMEDIO	17.9	15.3	15.2

Para los usuarios que ingresan en la Estación Pie del Llano y desembarcan en la Estación Universidad, la tabla comparativa de tiempos entre la situación actual, el escenario 1 y el escenario 2, representados en la tabla No. 24, al igual que en la Tabla No. 23; se puede notar que la columna que presenta menores tiempos es la correspondiente a el escenario 2, con poco tiempo de diferencia, respecto a el escenario 1, (0.1 minutos) lo cual no parece mayormente relevante, pero en comparación con la situación actual, reduce un aproximado de 2.6 minutos en su totalidad.

Finalmente en la Tabla No. 25, se presentan los resultados de la situación actual, contrastados con los resultados obtenidos en los escenarios 1 y 2 para los usuarios que usualmente embarcan en la Estación Terminal Ejido teniendo como destino final la Estación Universidad. En este caso, los menores tiempos los presenta la columna del escenario 1, es decir, que priorizando el paso del trolebús se reduciría 6 minutos en promedio el tiempo que demoran los usuarios que parten desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Universidad.

Tabla No. 25. Tabla comparativa desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Universidad.

Tabla comparativa de los tiempos que demoran los Usuarios desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Universidad (minutos)			
Corrida	Situación Actual	Escenario 1	Escenario 2
1	42.9	40.1	39.8
2	45.3	39.7	39.9
3	44.8	38.6	39.9
4	49.5	38.9	40
5	47	39.3	39.6
6	44.2	40.2	39
7	43.1	39.6	39
8	45.2	38.9	39.1
9	47.3	39	39.7
10	44.3	39.1	40.1
PROMEDIO	45.3	39.3	39.6

5.6 Evaluar AnyLogic como herramienta de simulación para proyectos relacionados con sistema de transporte.

(IEEE, Std. 610 -1990), asegura que la calidad de un software es “el grado con el que un sistema, componente o proceso cumple los requerimientos especificados y las necesidades o expectativas del cliente o usuario”.

Largo y Marín (2005), explican que para poder evaluar un software es necesario evaluar diferentes características. Para la evaluación de AnyLogic, el autor considera los siguientes aspectos a evaluar en la tabla No. 26.

Para evaluar AnyLogic como herramienta de simulación para proyectos relacionados con transporte, en la Tabla No. 25, se otorgó una calificación cualitativa, dependiendo de la pregunta que se estaba realizando, y de acuerdo a la siguiente escala mostrada a continuación

1. Deficiente (0,1,2)
2. Insuficiente (3,4)
3. Aceptable (5,6)
4. Sobresaliente (7,8)
5. Excelente (9,10)

Tabla No. 26. Evaluación del software utilizado.

Característica	Pregunta	Sub Característica	Pregunta	Calificación
Funcionalidad	¿Las funciones y propiedades satisfacen las necesidades explícitas e implícitas; esto es el que?	Adecuación	¿Tiene el conjunto funciones apropiadas para las tareas especificadas?	Aceptable
		Exactitud	¿Hace lo que fue acordado en forma esperada y correcta?	Aceptable
		Madurez	¿Con qué frecuencia presenta fallas por defectos o errores?	Excelente

Tabla No. 26. Evaluación del software utilizado. (Continuación)

Confiabilidad	¿Puede mantener el nivel de rendimiento, bajo ciertas condiciones y por cierto tiempo?	Tolerancia a errores	¿Si suceden fallas, como se comporta en cuanto a la perfomancia especificada?	Excelente
		Recuperabilidad	¿Es capaz de recuperar datos en caso de fallas?	Excelente
		Entendimiento	¿Es fácil de entender y reconocer la estructura y la lógica?	Sobresaliente
Usabilidad	¿El software, es fácil de usar y aprender?	Aprendizaje	¿Es fácil de aprender a usar?	Sobresaliente
		Operabilidad	¿Es fácil de operar y controlar?	Sobresaliente
		Atracción	¿Es atractivo el diseño del software?	Sobresaliente
Eficiencia	¿Es rápido y minimalista en cuanto a uso de recursos, bajo ciertas condiciones?	Comportamiento de tiempos	¿Cuál es el tiempo de respuesta y performance en la ejecución de la función?	Insuficiente
		Utilización de recursos	¿Cuántos recursos usa y durante cuánto tiempo?	Deficiente
Capacidad de mantenimiento	¿Es fácil de modificar y testear?	Capacidad de ser analizado	¿Es fácil diagnosticar una falla o identificar partes a modificar?	Excelente
		Cambiabilidad	¿Es fácil de modificar y adaptar?	Excelente

En esta evaluación al software, es importante conocer si los objetivos que se plantearon pudieron concretarse todos, y con la eficiencia deseada. Una pregunta que surgió durante la realización de este proyecto, fue la de conocer cuál era la capacidad disponible con la que llegaba la unidad de transporte a cada una de las estaciones, pero esta pregunta no pudo ser respondida por el modelo, ya que como se explica en el capítulo 2, las librerías de AnyLogic, como la librería de usuarios, o la librería de trenes, son derivadas de la librería de procesos, con características definidas, es posible que por esto, en la versión del

software en la que se desarrolló este modelo, la librería de trenes no tiene la propiedad de capacidad, y por lo tanto no se puede acceder a ella para extraer información.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 6.

Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Se desarrolló un modelo de simulación de la línea 1 de TROMERCA. Este modelo permitió responder las preguntas planteadas sobre el sistema y la evaluación de diferentes escenarios de cambios en su forma actual de operación
- Se realizó e incorporó en el modelo una descripción detallada del sistema que incluyó una descripción realista de la red de transporte, con distancias, velocidades y estaciones y la cuantificación del número de usuarios y unidades de TROMERCA en cada una de las estaciones a diferentes horas del día.
- Las llegadas de usuarios en la estación Terminal Ejido está dada por una distribución uniforme (a: 30,b: 125) para datos tomados en intervalos de 10 minutos, en el horario comprendido entre las 8:30 am y las 6:00 pm, mientras que desde las 7:30 am hasta las 8:30 am, los datos se distribuyen de manera diferente; la Estación Pie del Llano presenta una distribución poisson con un $\lambda = 28.21667$ y la Estación Universidad una distribución uniforme (a: 27,b: 111).
- Se construyó un modelo del sistema que fue verificado y validado utilizando algunas de las técnicas estándares para este tipo de procedimientos. El modelo fue usado para determinar las siguientes cuestiones:
 - A. El número promedio de usuarios que utilizan el sistema ofrecido por TROMERCA en un día (de 7:30 am a 6:00 pm) desde las Estaciones: Terminal Ejido, Pie del Llano, Universidad es de 6719, 1810 y 5730, usuarios, respectivamente.
 - B. El tiempo de espera de los usuarios para utilizar el servicio de TROMERCA es muy variable en todas las estaciones, pero alcanza valores máximos muy altos de 49, 31 y 52 minutos, aproximadamente para las estaciones Terminal Ejido, Pie del Llano, Universidad, respectivamente.

- C. Al igual que sucede en el sistema real, en la mayoría de las corridas se observó la coincidencia de los trolebuses en una misma estación.
 - D. El tiempo promedio de viaje desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Pie del Llano es de 34 minutos; desde la Estación Terminal Ejido hasta la Estación Universidad es de 46 minutos y desde la Estación Pie del Llano hasta la Estación Universidad es de 18 minutos.
- Al evaluar los dos escenarios considerados para la reducción del tiempo de viaje se consiguió que, en el mejor de los casos, en cualquiera de las dos hipótesis, en promedio se obtiene una disminución de cerca de 6 minutos
 - En base a la experiencia de este trabajo se evaluó la idoneidad del software AnyLogic para la realización de este tipo de proyectos, concluyendo que:
 - A. Las versiones de AnyLogic (AnyLogic Personal Learning y Anylogic University versión de prueba) utilizadas en este proyecto, no permitieron simular la interacción entre los usuarios y los trolebuses en todas las estaciones, debido a su límite de 200 bloques en el diagrama de flujo y tampoco permitió obtener datos sobre las capacidades con la que llegaban los trolebuses a cada estación.
 - B. El software AnyLogic admite combinar la librería de trenes con la librería de usuarios, permitiendo realizar una simulación compleja, siendo también un software visualmente muy atractivo.

6.2 Recomendaciones

Para la empresa TROMERCA:

1. Proponer diversos escenarios tendentes a reducir los tiempos máximos de espera para acceder al servicio.
2. Adquirir el software AnyLogic en su edición completa, con la finalidad de poder simular el sistema completo.
3. Realizar en AnyLogic la propuesta del escenario 1, para observar el sistema con el uso de sensores dándole a la unidad de transporte TROMERCA paso

prioritario, y así evaluar las afectaciones que este escenario puede generarle a los vehículos particulares.

4. Realizar estudios constantes (conteos de usuarios, matrices origen-destino, entre otros) que faciliten la toma de decisiones.
5. Mantener el alto interés que presenta la sala de proyectos y afectaciones para realizaciones de trabajos de esta índole.
6. Realizar estudios poblacionales y estimaciones de demanda para las futuras Líneas que pretenden construir, con la finalidad de que no ocurra lo sucedido con la estación Medicina y la estación Las Tapias, y puedan estimar los tamaños que deben tener las estaciones para que los usuarios no deban esperar fuera de la estación como ocurre en la estación Universidad.
7. Solicitar mayor cantidad de tesis de Ingeniería de Sistemas, para desarrollar proyectos de automatización de semáforos, con el fin de implementar el paso prioritario.

Para la Escuela de Ingeniería de Sistemas:

1. Proponer e incitar a que se realicen más proyectos que puedan generar cambios positivos en la sociedad.
2. Realizar mayor cantidad de proyectos en materias que se presten para ello, con la finalidad de estimular al estudiante para que se involucre en este tipo de trabajos.
3. Fomentar el uso del software AnyLogic y otros tipos de software incorporándolo en las diferentes materias de la carrera, para preparar a los estudiantes en su uso y aprovechar así las herramientas tecnológicas para propender una mejor formación integral de los nuevos ingenieros.
4. Si bien es posible utilizar los software gratuitos, es necesario que la Escuela haga un esfuerzo para disponer de software con licencia completa y así evitar las limitaciones que aquellos presentan.

Bibliografía

Aguilar, J., Rios, A., Hidrobo, F., & Cerrada, M. (2013). *Ingeniería ULA*. Recuperado el 2016, de http://www.ing.ula.ve/~aguilar/publicaciones/objetos/author_libros/editor.pdf

Banks, J., Carson, J., Barry, N., & Nicol, D. (2009). *Discrete-Event System Simulation*. Prentice Hall.

Calderas, R. (2001). *Modelado y Simulación de la Línea 1 del Sistema de Transporte Masivo de la Zona Metropolitana de Mérida*. Tesis de Magíster no publicada. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

Camacho, J. (2008). Estudio del uso de sistemas multiagentes para el modelado del tráfico de autos. *Universidad de los Andes*.

Carbajal, E., Aragón, L., & Dávila, C. (2013). Optimización basada en simulación en un sistema de tránsito público masivo. *Innovation in Engineering, technology and education for competitiveness and prosperity*.

Coss Bu, R. (1998). *Simulación un enfoque práctico*. Limusa

Definicion. (s.f). *Definicion.de*. Obtenido de <http://definicion.de/sistema/>

Díaz-Uriarte, R. (2003). *Introducción al uso y programación del sistema estadístico R*. Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas.

Flexsim Inc. (2017). Recuperado el 17 de Febrero de 2017, de Flexsim: <https://www.flexsim.com/>

Goldsmith Jr, T. T., & Ray Mann, E. (03 de Mayo de 2016). *Wikipedia*. Recuperado el 2016, de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Simulaci%C3%B3n>

Gomez, & Garcia. (2005). Ventajas de los SMA.

R.E, S. (03 de Mayo de 2016). *Wikipedia*. Recuperado el 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Simulaci%C3%B3n>

Hernández, H. (18 de Febrero de 2017). TROMERCA. (O. Alvarez, Entrevistador)

Hoeger, H. (1997), *Pasos en un estudio de simulación*.

Largo García, C.A. & Marín, E. (2005). *Puntoexe*. Recuperado el 07 febrero de 2017, de <http://puntoexe.com>

Mathwave Technologies. (2017). *Easyfit*. Recuperado el 13 de abril de 2017, <https://easyfit.com/>

RAE. (2016). *RAE*. Recuperado el 2016, de <http://dle.rae.es/?id=Y2AFX5s>

RAE. (2016). *Real Academia Española*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=Xw4s6f6>

Serrano, L., & Ortiz, J. (2004). Simulación De Sistemas De Transporte Público Masivo. *Informática y Conocimiento*, 75-82.

TROMERCA. (08 de Marzo de 2016). *Tromerca*. Recuperado el Noviembre de 2016, de http://www.tromerca.gob.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=355&Itemid=15

Vazquez, Y. (2004). Ampliación, Actualización y Validación de un Modelo de la Línea-1 del Sistema de Transporte Masivo de la Zona Metropolitana de Mérida.

Wikipedia. (2015). *Wikipedia*. Recuperado el 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/AnyLogic>

Apéndice A

Conteos en las estaciones de TROMERCA.

- Modelo del material para el conteo**

Tabla Número 27. Conteos en las estaciones de TROMERCA. Estación Terminal-Ejido 7:30 am – 8: 30 am

Terminal Ejido Horario de la medición 7:30 am a 8:30 am	Cantidad de llegadas de usuarios a la estación para utilizar el servicio					
	7:30 am a 7:40 am	7:40 am a 7:50 am	7:50 am a 8:00 am	8:00 am a 8:10 am	8:10 am a 8:20 am	8:20 am a 8:30 am
	Total:	Total:	Total:	Total:	Total:	Total:
	Cantidad de usuarios que salen de la estación después de utilizar el servicio					
	7:30 am a 7:40 am	7:40 am a 7:50 am	7:50 am a 8:00 am	8:00 am a 8:10 am	8:10 am a 8:20 am	8:20 am a 8:30 am
	Total:	Total:	Total:	Total:	Total:	Total:
	Hora de llegada y dirección de unidad de transporte Tipo A (Articulado 3 puertas) S-> Subiendo, B-> Bajando			Hora de llegada y dirección de unidad de transporte tipo C (2 puertas no articulado) S-> Subiendo, B-> Bajando		
	Cantidad de usuarios desertores (Usuarios que dejan las estación sin utilizar el servicio)			Total:		

Apéndice B

- Resultados de los conteos de usuarios**

Para el horario comprendido entre 7:30 am y 8:30 am, los resultados de los conteos pueden observarse en la tabla No. 28.

Tabla No. 28. Resultados conteo entre las 7:30 am y las 8:30 am.

Estación	Usuarios Originadas en esta estación	Usuarios que desembarcan en esta estación
1	1044	329
2	181	119
3	242	181
4	123	47
5	53	8
6	76	54
7	73	100
8	134	142
9	96	128
10	45	88
11	55	136
12	0	0
13	121	223
14	64	96
15	154	262
16	112	127
17	130	77
18	76	45
19	71	69
20	125	128
21	0	0
22	138	370
23	0	0
24	399	491
25	120	89

Para el horario entre las 8:30 am a las 9:30 am los resultados obtenidos en los conteos pueden apreciarse en la tabla No. 29.

Tabla No. 29. Resultados conteo entre las 8:30 am y las 9:30 am.

Estación	Usuarios Originadas en esta estación	Usuarios que desembarcan en esta estación
1	577	217
15	194	194
24	343	383

Para el horario entre las 9:30 am a las 10:30 am los resultados obtenidos en los conteos pueden apreciarse en la tabla No. 30.

Tabla No. 30. Resultados conteo entre las 9:30 am y las 10:30 am.

Estación	Usuarios Originadas en esta estación	Usuarios que desembarcan en esta estación
1	577	293
15	223	176
24	412	560

Para el horario entre las 10:30 am a las 11:30 am pueden observarse en la tabla No. 31.

Tabla No. 31. Resultados conteo entre las 10:30 am y las 11:30 am.

Estación	Usuarios Originadas en esta estación	Usuarios que desembarcan en esta estación
1	534	367
15	154	141
24	457	524

Para el horario comprendido entre las 11:45 am y las 12:45 pm los resultados obtenidos en el conteo pueden observarse en la tabla No. 32.

Tabla No. 32. Resultados conteo entre las 11:45 am y las 12:45 pm.

Estación	Usuarios Originadas en esta estación	Usuarios que desembarcan en esta estación
1	382	394
2	171	201
3	275	217
4	57	41
5	16	23
6	59	49

Tabla No. 32. Resultados conteo 11:45 am a 12:45 pm (continuación)

7	55	44
8	185	177
9	90	59
10	61	46
11	48	75
12	0	0
13	114	103
14	17	10
15	137	238
16	93	135
17	54	44
18	94	72
19	93	58
20	144	158
21	0	0
22	297	150
23	0	0
24	424	373
25	148	97

Para el horario comprendido entre las 1:00 pm y las 2:00 pm los resultados obtenidos en el conteo pueden observarse en la tabla No. 33.

Tabla No. 33. Resultados conteo entre las 1:00 pm y las 2:00 pm.

Estación	Usuarios Originadas en esta estación	Usuarios que desembarcan en esta estación
1	487	346
15	139	94
24	335	279

Para el horario entre las 2:00 pm y las 3:00 pm los resultados obtenidos en el conteo pueden observarse en la tabla No. 34.

Tabla No. 34. Resultados conteo entre las 2:00 pm y las 3:00 pm.

Estación	Usuarios Originadas en esta estación	Usuarios que desembarcan en esta estación
1	448	299
15	163	142
24	425	301

Para el horario comprendido entre las 3:00 pm y las 4:00 pm los resultados obtenidos en el conteo pueden observarse en la tabla No. 35.

Tabla No. 35. Resultados conteo entre las 3:00 pm y las 4:00 pm.

Estación	Usuarios Originadas en esta estación	Usuarios que desembarcan en esta estación
1	331	348
15	156	144
24	340	323

En cuanto al horario comprendido entre las 4:00 pm y las 5:00 pm los resultados obtenidos en el conteo pueden observarse en la tabla No. 36.

Tabla No. 36. Resultados conteo entre las 4:00 pm y las 5:00 pm.

Estación	Usuarios Originadas en esta estación	Usuarios que desembarcan en esta estación
1	425	395
15	205	182
24	398	377

En cuanto al horario comprendido entre las 5:00 pm y las 6:00 pm los resultados obtenidos en el conteo pueden observarse en la tabla No. 37.

Tabla No. 37. Resultados conteo entre las 5:00 pm y las 6:00 pm.

Estación	Usuarios Originadas en esta estación	Usuarios que desembarcan en esta estación
1	412	303
2	118	207
3	214	487
4	33	67
5	24	26
6	30	114
7	71	44
8	201	130
9	102	57
10	69	28
11	98	72
12	0	0
13	158	83
14	15	6
15	244	160
16	86	85
17	87	93
18	120	41
19	87	59
20	135	50
21	0	0
22	274	111
23	0	0
24	594	765
25	62	73

Apéndice C

Especificaciones Técnicas de la flota vehicular

Trolebús:

Los vehículos tipo Trolebús son vehículos articulados con las siguientes especificaciones:

- Marca: Mercedes Benz
 - Tecnología: Trolleybus
 - Dimensiones del vehículo:
 - A. Longitud: 17.74 metros
 - B. Ancho: 2.50 metros
 - C. Altura: 3.00 metros
 - D. Plataforma: 0.72 metros
 - Número de ejes: 3
 - Número de puertas: 3 de 1.20 metros de ancho.
 - Plataforma de evacuación: 1
 - Transformador de tracción, transformador estático de resistencia de frenado y equipo de aire acondicionado en el techo del vehículo.
 - Configuración: 2 cuerpos articulados
 - Capacidad de usuarios aproximada: 150 usuarios (entre usuarios de pie y sentadas).
 - Número de trolebuses: 45 unidades
 - Horario de Servicio: De 6:00 am, hasta 8:30 pm.
 - Frecuencia de Vehículo en horas pico: Intervalo de 6 a 8 minutos aproximadamente.
 - Frecuencia de Vehículos en horas valle: De 6 a 8 minutos aproximadamente.
-
- | | |
|--|-------------------------|
| • Peso | 17,0 toneladas |
| • Carga | 7,8 toneladas |
| • Aceleración máxima en tramos a nivel | 1,5 m/seg ² |
| • Aceleración máxima p = 10% | 0,6 m/seg ² |
| • Desaceleración máxima | 1,5 m/seg ² |
| • Desaceleración principal | 1,36 m/seg ² |

- Diámetro de ruedas 932 mm
- Relación de transmisión 12,41 / 1
- Capacidad 150 usuarios
- Sentados 45 usuarios
- Ventanas panorámicas
- Aire Acondicionado
- Rampas de acceso
- Potencia del Motor 308,43 hp
- Relación Peso-Potencia 80 a 93 Kg/hp

www.bdigital.ula.ve

Apéndice D

Tipos de Estaciones

Estación Típica 1

El diseño de las estaciones típicas 1 se puede observar en la Figura No. 48, destacándose las siguientes características:

- Estructura Metálica
- Área de carga y descarga
- Plataforma rectangular
- Puertas de vidrio (electromecánicas)
- Posa cuerpos metálico pulidos
- Torniquetes
- Pantallas
- Baño Rectangular
- Rampas de acceso
- Catenarias (área de alimentación que transmite energía eléctrica).

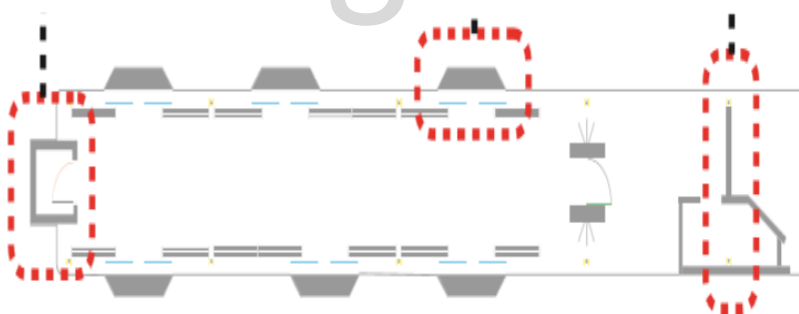


Figura No. 48. Estación Típica 1. (Fuente: Hernández, 2017)

Las estaciones típicas 1 tienen unas medidas de aproximadamente 4.12 metros de alto, 23.67 metros de largo y una entrada de 1.85 metros de ancho, con una taquilla de 1.46 metros de largo por 1.60 metros de ancho.

Estación Típica 2

Las estaciones típicas 2, tienen muchas características similares a las de las estaciones típicas 1 (Figura No. 49), pero tienen también muchas que las diferencian:

- Estructura metálica

- Plataforma rectangular
- Área de carga y descarga
- Puertas electromecánicas de vidrio
- Posa cuerpos metálicos pulidos
- Torniquetes
- Pantallas
- Baño circular
- Acabados de granito y vidrio
- Mosaicos vitrificados
- Rampas de acceso
- Facilidades para usuarios con movilidad reducida
- Catenarias (área de alimentación que transmite energía eléctrica)



Figura No. 49. Estación típica 2. (Fuente: Hernández, 2017)

Estación Paradero (Estación de Retorno)

Las estaciones paradero se utilizan para situaciones de emergencia y no poseen la misma infraestructura de las estaciones típicas 1 y 2. Estas estaciones son una parada abierta sin cerramientos que no posee el sistema de catenarias, donde el área de embarque y desembarque se encuentran divididas en 2 elementos (Figuras No. 50 y No. 51).

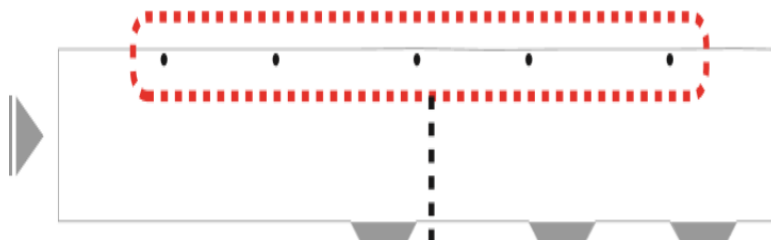


Figura No. 50. Estación Paradero. (Fuente: Hernández, 2017)



Figura No. 51. Estación Paradero (Mercado Periférico). (Fuente: Hernández, 2017)

Estación tipo propuesta inicial (Trolebús)

Este modelo de estación corresponde a la propuesta manejada en los planes iniciales (Figura No. 52), y que actualmente en la Línea 1, solo una estación está construida siguiendo este modelo, y posee las siguientes características:

- Estructura metálica
- Cubierta curva
- Zona de embarque y desembarque (redondeada)
- Zona de información y boletería retirada de la plataforma (taquilla externa).
- Puertas electromecánicas (vidrio)
- Elementos verticales en mosaico vitrificado.
- Cerramiento de vidrio en la estación.
- Baño circular
- Catenarias
- Facilidades para usuarios con movilidad reducida
- Pantallas

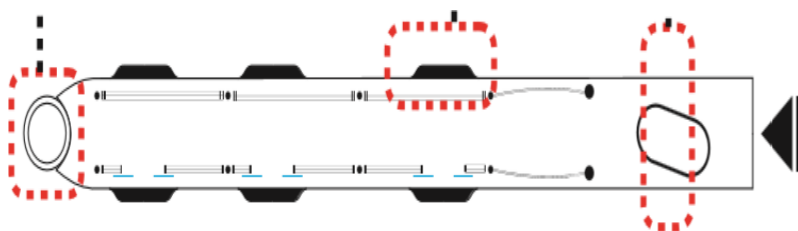


Figura No. 52. Estación tipo propuesta inicial (Trolebús). (Fuente: Hernández, 2017)

Estación Intermodal

Las estaciones intermodales se caracterizan por ser de doble andén, funcionan como una estación de trasbordo. A pesar de ser una estación diferente, comparte muchas características con las estaciones explicadas anteriormente. Las características principales de las estaciones intermodales son:

- Doble andén
- Acabado de Alucubond, Plafones y otros.
- Cerramientos en paneles de vidrio y elementos de metal pulido.
- Elementos de metal pulido.
- Estructura metálica.
- Basamento en concreto (fundación).
- Señalética digital y física.
- Taquilla.
- Cubierta con pendiente mínima (2 cuerpos).
- Semaforización y catenarias.

www.bdigital.ula.ve