CAPÍTULO 4

4. VALIDACIÓN DEL SIMULADOR Y ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN DE LA TRONCAL 7 “ORQUÍDEAS-CENTRO URBANO”

4.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realizará la validación del modelo que simulará el comportamiento de la Troncal 7 “Orquídeas-Centro Urbano”, este proceso es de gran importancia ya que servirá para asegurarnos que el modelo sea una réplica de la realidad, además se verificará que los resultados obtenidos del modelo sean confiables. El proceso de validación del modelo a través de pruebas será desarrollado en la sección 4.2, en la sección 4.3 se implementará el modelo de

simulación a la ruta Troncal 7 “Orquídeas-Centro Urbano”, se verificará además que los resultados obtenidos en la simulación sean coherentes. Finalmente se realizará la simulación de la Troncal 7 para varias políticas de operación las cuales se explican en la sección 4.4.

4.2. VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE LA TRONCAL 7

La validación es un proceso que tiene como objetivo determinar la habilidad que tiene el modelo para representar la realidad. Existen dos enfoques principales para los métodos de validación.

El primero, consiste en comparar los resultados obtenidos en el modelo de simulación con los resultados reales del sistema. Para validar el modelo no se utilizará este primer enfoque debido a que la ruta Troncal 7 no ha sido implementada todavía, por lo que no existen resultados reales que sirvan para realizar la comparación.

El segundo enfoque consiste en determinar la confiabilidad del modelo en base a su comportamiento y a la coherencia de los resultados que se obtengan. Para validar el modelo en base a este segundo enfoque, será necesario utilizar datos falsos, ya que se desea verificar el buen funcionamiento del modelo antes de implementarlo a la ruta Troncal 7 “Orquídeas-Centro Urbano”.

Se utilizará las siguientes pruebas de validación:

1. Validación Interna
2. Degenerativa
3. Condiciones Extremas
4. Valores Fijos
5. Consulta con Expertos

Prueba Validación Interna

Debido a la naturaleza probabilística de los sistemas donde se utiliza la simulación, se hace imprescindible crear modelos cuyos resultados sean estadísticamente iguales a los sistemas reales.

Uno de los factores que afectan en forma directa esos resultados es el número de corridas de simulación realizadas para obtener resultados confiables. Al realizar una corrida de simulación, el resultado promedio de las variables del sistema tienen un periodo de inestabilidad y, conforme se aumenta el número de corridas esas variables tienden a un estado estable y es entonces cuando los valores de las variables de respuesta son confiables.

La validación interna consiste en verificar que el modelo de simulación cumpla con lo anteriormente dicho, es decir, que a mayor número de corridas de simulación, los resultados converjan a un solo conjunto de valores.

Para validar el funcionamiento de los paraderos, se creará una ruta con un terminal de integración y un paradero. En los paraderos se verificará el comportamiento de las siguientes variables:

Contenido Promedio de la Cola de Espera de Pasajeros

Longitud Máxima de Cola de Espera de Pasajeros

A continuación se muestran los resultados estadísticos obtenidos en cada iteración con su gráfica correspondiente.

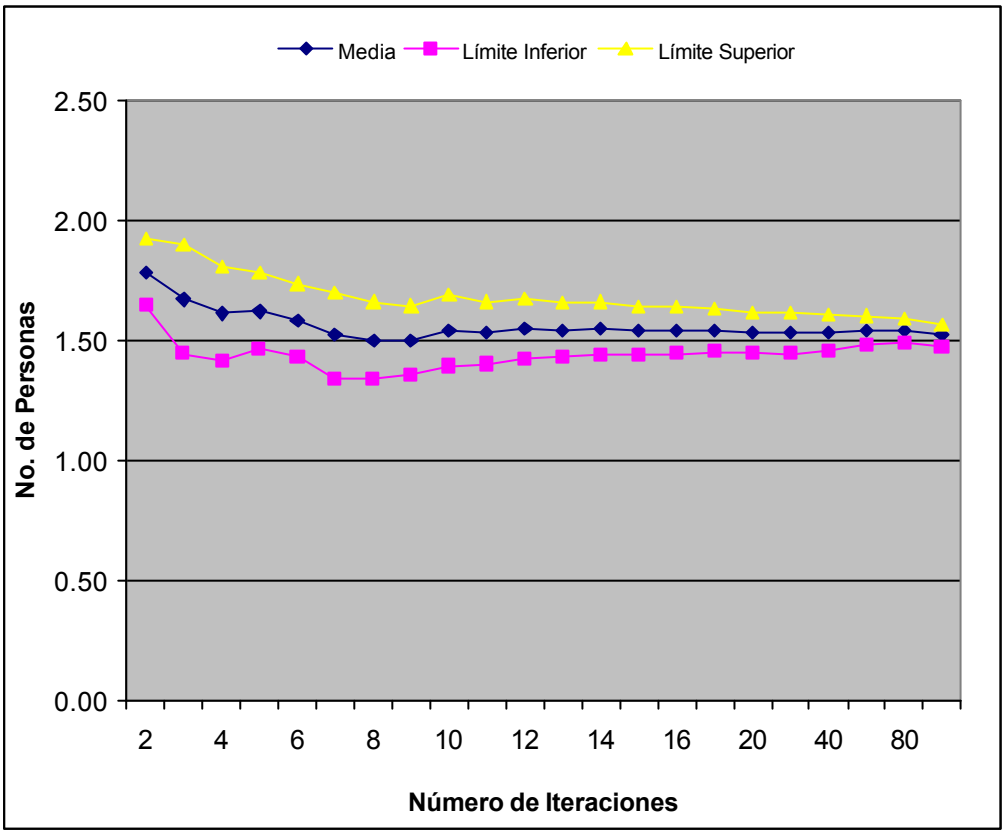
- **Contenido Promedio de la Cola de Espera de Pasajeros**

Tabla 54
Estadística del contenido promedio de la cola de espera de los pasajeros para un número determinado de iteraciones

Número de Iteraciones	Media	Limite Inferior	Límite Superior
2	1.78	1.64	1.92
3	1.67	1.44	1.90
4	1.61	1.41	1.81
5	1.62	1.46	1.78
6	1.58	1.43	1.73
7	1.52	1.34	1.70
8	1.50	1.34	1.66
9	1.50	1.36	1.64
10	1.54	1.39	1.69
11	1.53	1.40	1.66
12	1.55	1.43	1.67
13	1.54	1.43	1.65
14	1.55	1.44	1.66
15	1.54	1.44	1.64
16	1.54	1.44	1.64
17	1.54	1.45	1.63
20	1.53	1.45	1.61
30	1.53	1.44	1.62

40	1.53	1.46	1.60
60	1.54	1.48	1.60
80	1.54	1.49	1.59
100	1.52	1.47	1.57

Gráfico 4.1
Media, límite inferior y límite superior de la variable contenido promedio de cola de espera de pasajeros



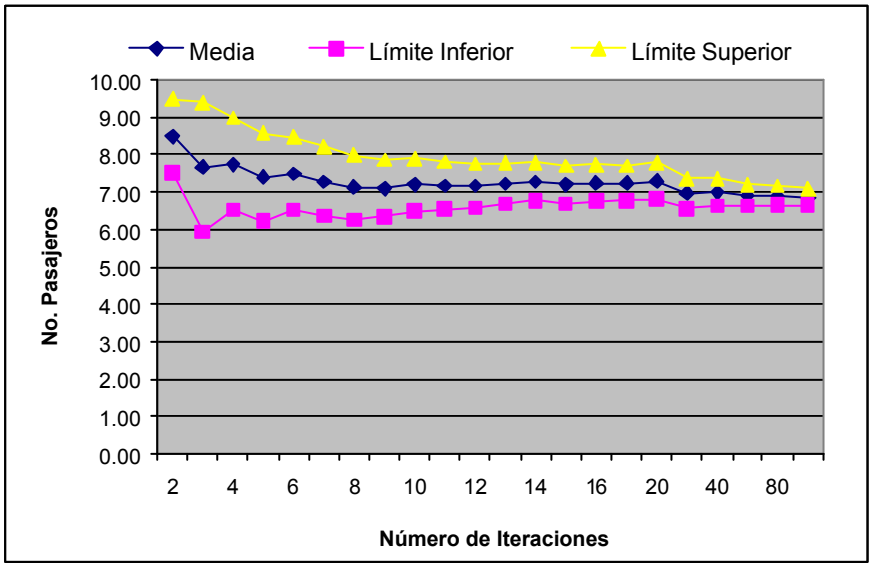
Los resultados indican que a medida que el número de iteraciones se incrementa, los resultados convergen a un solo valor y el intervalo de confianza se hace cada vez de menor tamaño.

▪ Longitud Máxima de la Cola de Espera de Pasajeros

Tabla 55
Estadística de la longitud máxima de la cola de espera de los pasajeros en los paraderos para un número determinado de iteraciones

Número de Iteraciones	Media	Limite Inferior	Límite Superior
2	8.50	7.52	9.48
3	7.67	5.94	9.40
4	7.75	6.52	8.98
5	7.40	6.23	8.57
6	7.50	6.52	8.48
7	7.29	6.36	8.22
8	7.13	6.26	8.00
9	7.11	6.35	7.87
10	7.20	6.49	7.91
11	7.18	6.54	7.82
12	7.17	6.59	7.75
13	7.23	6.68	7.78
14	7.29	6.77	7.81
15	7.20	6.69	7.71
16	7.25	6.76	7.74
17	7.24	6.78	7.70
20	7.30	6.80	7.80
30	6.97	6.57	7.37
40	7.00	6.63	7.37
60	6.93	6.64	7.22
80	6.91	6.66	7.16
100	6.88	6.65	7.11

Gráfico 4.2
Media, Límite Inferior y Superior de la variable longitud máxima de cola de espera de los pasajeros en los paraderos



Como se puede apreciar en las gráficas a mayor número de iteraciones los resultados convergen a un valor y la diferencia entre los límites superiores e inferiores es cada vez más pequeño.

Comportamientos similares se obtuvo en las demás variables que intervienen en el funcionamiento del simulador, cuyo análisis no se encuentra incluido. De acuerdo a los resultados observados, se concluye que el modelo de simulación es válido en términos de la prueba realizada.

Prueba Degenerativa

Esta prueba se enfoca en el análisis del cambio en el comportamiento de un par de variables relacionadas entre si, este enfoque se lo conoce como causa-efecto, es decir, se analiza los resultados obtenidos en la simulación en función de las políticas y parámetros de operación diseñados para la ruta Troncal 7. Por ejemplo una relación causa-efecto es el comportamiento de las colas de espera de los paraderos en relación al tiempo entre salidas de los buses desde la Terminal de Integración, ya que, si la frecuencia con que salen los buses del terminal es mayor, la cantidad de personas sin ser atendidas debe ser menor.

Para validar el simulador POWER TRANS T7 1.0, se tomará en cuenta las siguientes variables:

Tiempo entre salida de los buses troncales desde la Terminal de Integración

Vs.

Cola Máxima de Espera de Pasajeros en los Paraderos

Se analizará la cola máxima de espera de las personas en los paraderos en función al tiempo entre salidas de los buses troncales desde la Terminal de Transferencia.

Datos del Funcionamiento de la Ruta Troncal diseñada para la validación

-Tiempo Entre Llegada de las personas al paradero

Exponencial con media 8, se mantiene constante durante todo el día de operación de la Troncal.

-Distancia entre la Terminal y el Paradero:

700 mts. el bus tomará un tiempo entre 41.88 +-3.12 hasta llegar al paradero ya que circulará por la zona apartada a una velocidad entre 56 y 65 km/hora

-Horas y Días de Operación de la Troncal:

La troncal funcionará durante 14 horas (desde las 5:00 a.m. hasta las 7:00 p.m.) el día Lunes

-Tiempo de Permanencia de los buses en el paradero:

Espera constante de 60 segundos

-Tiempo entre salida de los buses desde la Terminal de Integración:

Los tiempos entre salidas de los buses dependerán de la hora de operación de la Troncal, la cual se indica en la siguiente tabla.

Tabla 56
Tiempos entre salida de los buses desde la Terminal de Integración

Horas de Operación de la Troncal	Tiempo entre salidas de los buses
5:00 a.m. - 6:00 a.m.	40
6:00 a.m. - 7:00 a.m.	40
7:00 a.m. - 8:00 a.m.	80
8:00 a.m. - 9:00 a.m.	80
9:00 a.m. - 10:00 a.m.	110
10:00 a.m. - 11:00 a.m.	110
11:00 a.m. - 12:00 a.m.	140
12:00 a.m. - 1:00 p.m.	140
1:00 p.m. - 2:00 p.m.	140
2:00 p.m. - 3:00 p.m.	120
3:00 p.m. - 4:00 p.m.	120
4:00 p.m. - 5:00 p.m.	80
5:00 p.m. - 6:00 p.m.	80
6:00 p.m. - 7:00 p.m.	75

Los resultados obtenidos de la ruta diseñada para validar el simulador, se detallan a continuación:

Tabla 57
Resultados de la simulación de la Cola Máxima de Espera en el Paradero para efectos de validar el simulador mediante las pruebas degenerativas

Horas de Operación de la Troncal	Cola Máxima de Espera en el Paradero
5:00 a.m. - 6:00 a.m.	11.30
6:00 a.m. - 7:00 a.m.	10.90
7:00 a.m. - 8:00 a.m.	18.30
8:00 a.m. - 9:00 a.m.	19.70
9:00 a.m. - 10:00 a.m.	19.80
10:00 a.m. - 11:00 a.m.	33.50
11:00 a.m. - 12:00 a.m.	46.70
12:00 a.m. - 1:00 p.m.	58.30
1:00 p.m. - 2:00 p.m.	48.90
2:00 p.m. - 3:00 p.m.	37.70
3:00 p.m. - 4:00 p.m.	23.30
4:00 p.m. - 5:00 p.m.	20.10
5:00 p.m. - 6:00 p.m.	14.20
6:00 p.m. - 7:00 p.m.	6.50

Gráfico 4.3
Tiempo entre salida de los buses desde la terminal de integración vs. Cola máxima de espera de pasajeros en el paradero

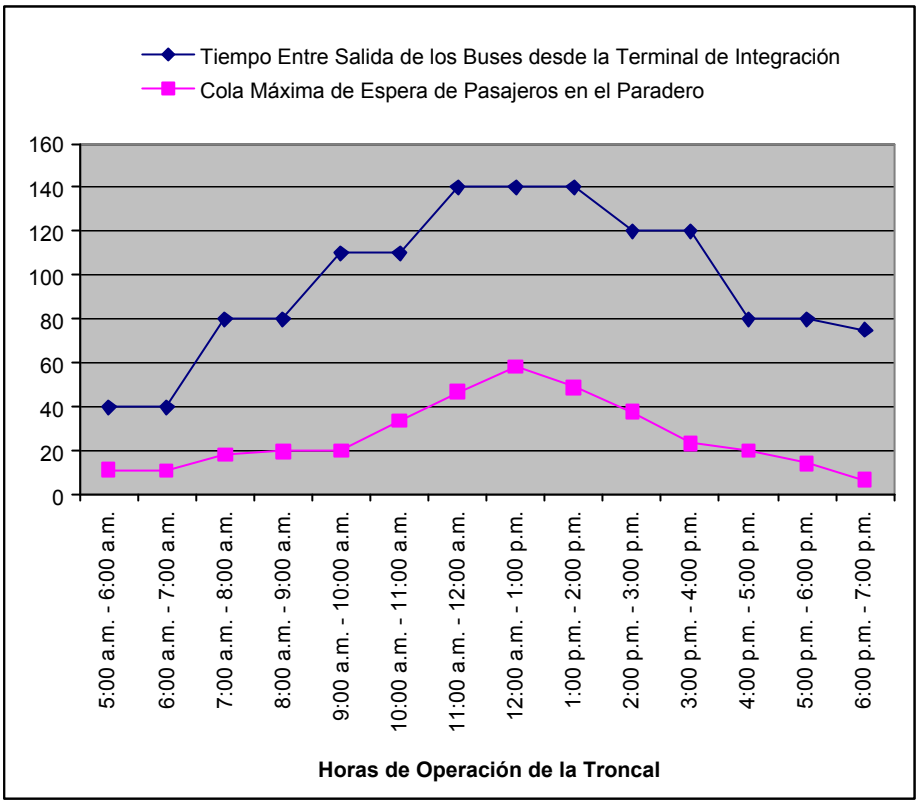


Gráfico 4.4
Tiempo entre salida de los buses desde la terminal de integración

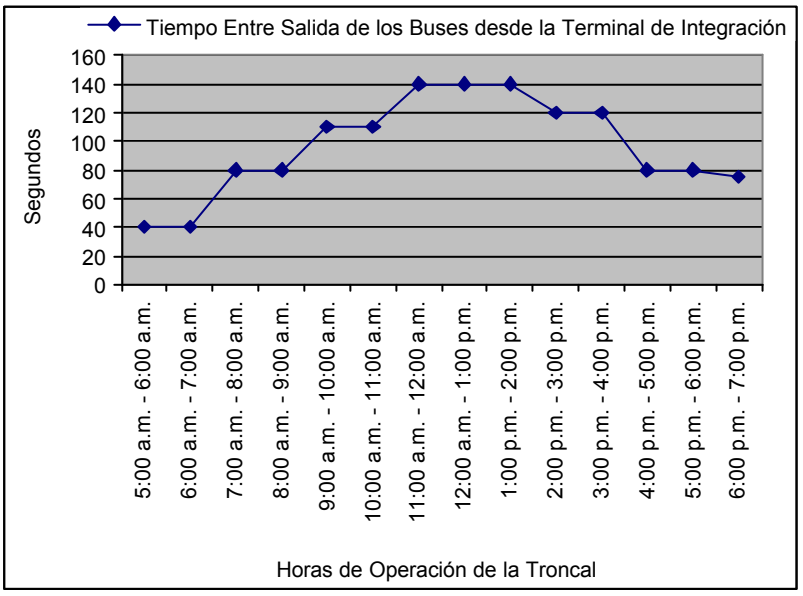
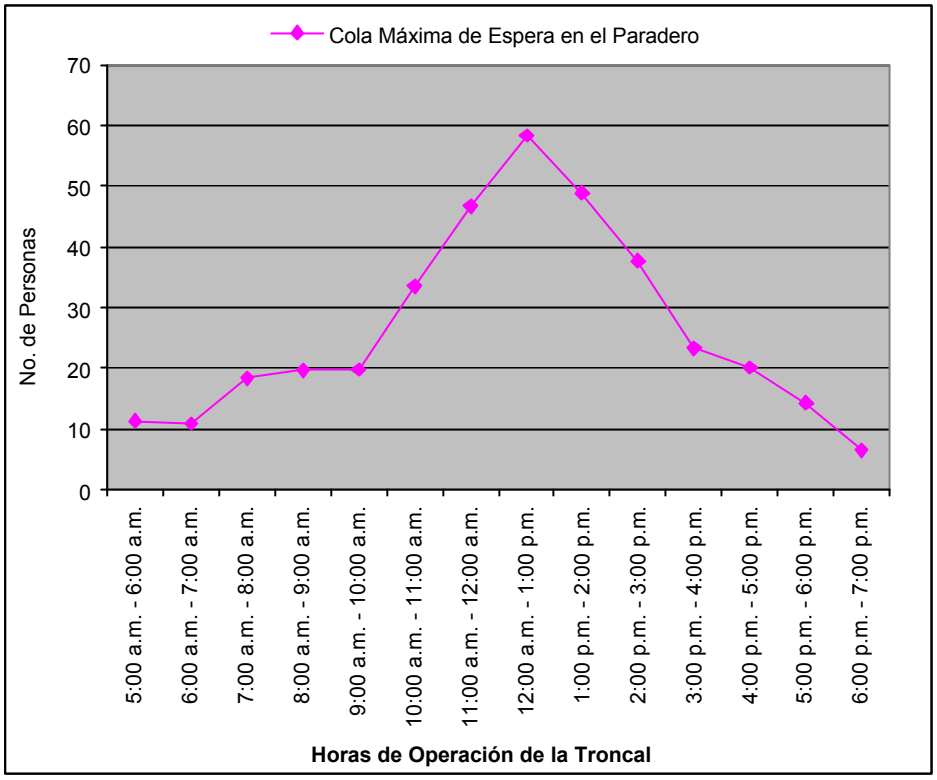


Gráfico 4.5
Cola máxima de espera en el paradero



En las gráficas mostradas anteriormente se puede apreciar que a un menor tiempo entre salida de los buses de la Terminal de Integración, aumenta la cola máxima de espera de los paraderos, y a un mayor tiempo entre salida de los buses de la Terminal de Integración, disminuye la cola máxima de espera de los paraderos. Por lo tanto se puede concluir que el simulador pasa la prueba de validación tomando en cuenta la relación de estas dos variables.

Además de analizar estas dos variables, se realizó el análisis para las demás variables consideradas importantes para el análisis del

comportamiento del simulador, obteniendo de este análisis resultados favorables, por lo tanto, se concluye que el modelo de simulación ha superado la prueba de validación degenerativa, lo cual indica que los resultados que se obtenga del modelo de simulación son confiables.

Prueba Condiciones Extremas

Esta prueba consiste en diseñar modelos para que opere el simulador en condiciones extremas, con el fin de determinar si el simulador está en la capacidad de emitir resultados coherentes.

Esta prueba contiene dos escenarios extremos, el primero es Mayor oferta vs. Menor demanda, el cual consiste en que estén varios buses en circulación, mientras que la cantidad de personas que lleguen a los paraderos sea mínima. El segundo escenario corresponde al de Menor oferta vs. Mayor demanda, este escenario es lo contrario al anterior, ya que, en este escenario la cantidad de buses en circulación será mínima, mientras que la cantidad de personas en los paraderos será máxima. Para ambos escenarios el simulador debe estar en la capacidad de proporcionar resultados coherentes.

Las variables objeto de estudio son aquellas que están relacionadas con las colas de espera de pasajeros y con la utilización del los buses troncales.

Cola Máxima de Espera de Pasajeros en el Paradero

Tiempo Promedio de Espera de Pasajeros en el Paradero

Máxima Utilización de los Buses

Escenario Mayor Oferta vs. Menor Demanda

Para validar el simulador por medio de esta prueba, se utilizará la ruta diseñada anteriormente, con la variación de los siguientes parámetros de operación.

- Tiempo Entre Salida de los buses desde la Terminal de Integración:
  Cada 60 segundos (1 minuto)
- Tiempo de Permanencia de los buses troncales en el paradero:
  Los buses esperarán en los paraderos durante 120 segundos (2 minutos).
- Tiempo Entre Llegada de personas al paradero:
  Exponencial con media de 120 segundos, este valor será igual para todas las horas de operación de la troncal.

Los resultados obtenidos de la simulación por medio de este método, son los siguientes resultados:

Gráfico 4.6
Simulación de la cola máxima de espera de pasajeros en el paradero utilizando el método mayor oferta vs. menor demanda

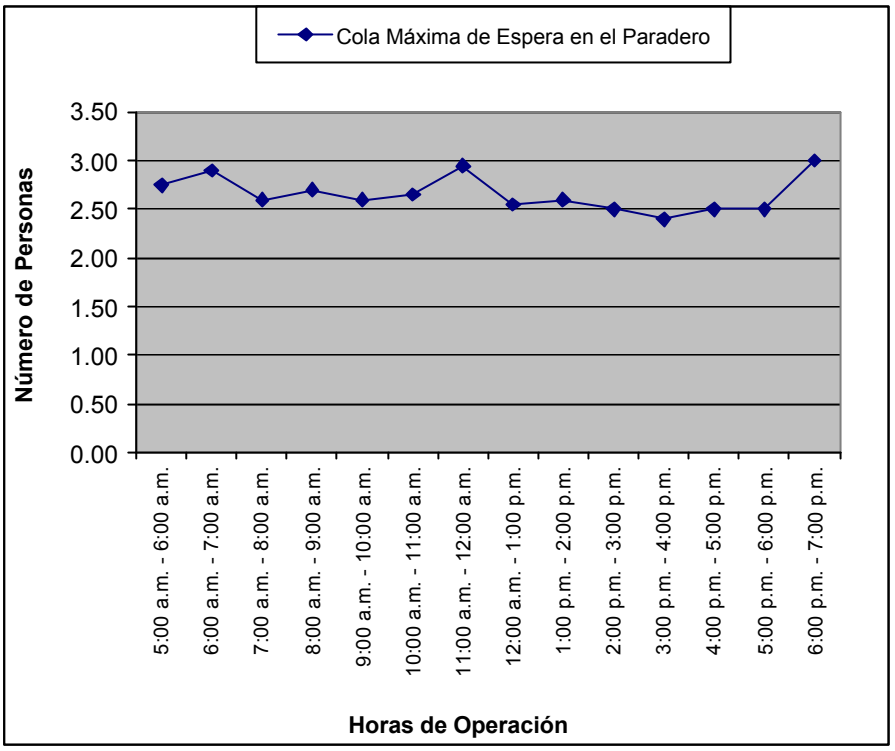


Tabla 58
Resultados de la simulación de la Cola Máxima de Espera de Pasajeros en el Paradero utilizando el método mayor oferta vs. menor demanda

Horas de Operación de la Troncal	Cola Máxima de Espera en el Paradero
5:00 a.m. - 6:00 a.m.	2.75
6:00 a.m. - 7:00 a.m.	2.90
7:00 a.m. - 8:00 a.m.	2.60
8:00 a.m. - 9:00 a.m.	2.70
9:00 a.m. - 10:00 a.m.	2.60
10:00 a.m. - 11:00 a.m.	2.65
11:00 a.m. - 12:00 a.m.	2.95
12:00 a.m. - 1:00 p.m.	2.55
1:00 p.m. - 2:00 p.m.	2.60
2:00 p.m. - 3:00 p.m.	2.50
3:00 p.m. - 4:00 p.m.	2.40
4:00 p.m. - 5:00 p.m.	2.50
5:00 p.m. - 6:00 p.m.	2.50
6:00 p.m. - 7:00 p.m.	3.00

Gráfico 4.7
Simulación del tiempo promedio de espera de pasajeros en el paradero utilizando el método mayor oferta vs. menor demanda

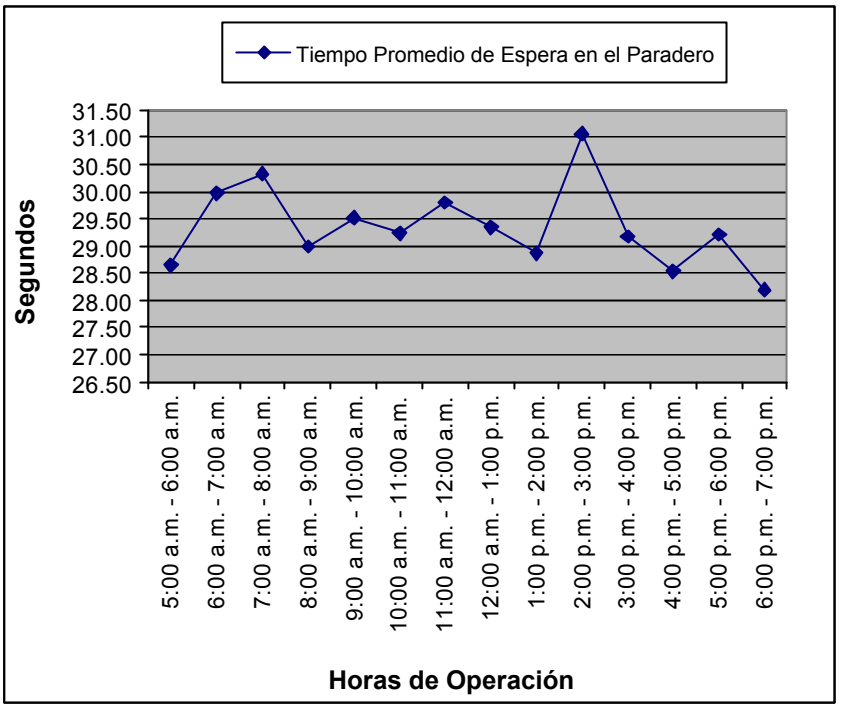


Tabla 59
Resultados de la simulación del Tiempo promedio de espera de pasajeros en el paradero utilizando el método mayor oferta vs. menor demanda

Horas de Operación de la Troncal	Tiempo Promedio de Espera
5:00 a.m. - 6:00 a.m.	28.65
6:00 a.m. - 7:00 a.m.	29.97
7:00 a.m. - 8:00 a.m.	30.32
8:00 a.m. - 9:00 a.m.	28.99
9:00 a.m. - 10:00 a.m.	29.51
10:00 a.m. - 11:00 a.m.	29.24
11:00 a.m. - 12:00 a.m.	29.80
12:00 a.m. - 1:00 p.m.	29.34
1:00 p.m. - 2:00 p.m.	28.86
2:00 p.m. - 3:00 p.m.	31.06
3:00 p.m. - 4:00 p.m.	29.17
4:00 p.m. - 5:00 p.m.	28.54
5:00 p.m. - 6:00 p.m.	29.21
6:00 p.m. - 7:00 p.m.	28.19

Gráfico 4.8
Simulación de la Máxima utilización del bus utilizando los parámetros necesarios para validar el simulador mediante el método mayor oferta vs. menor demanda

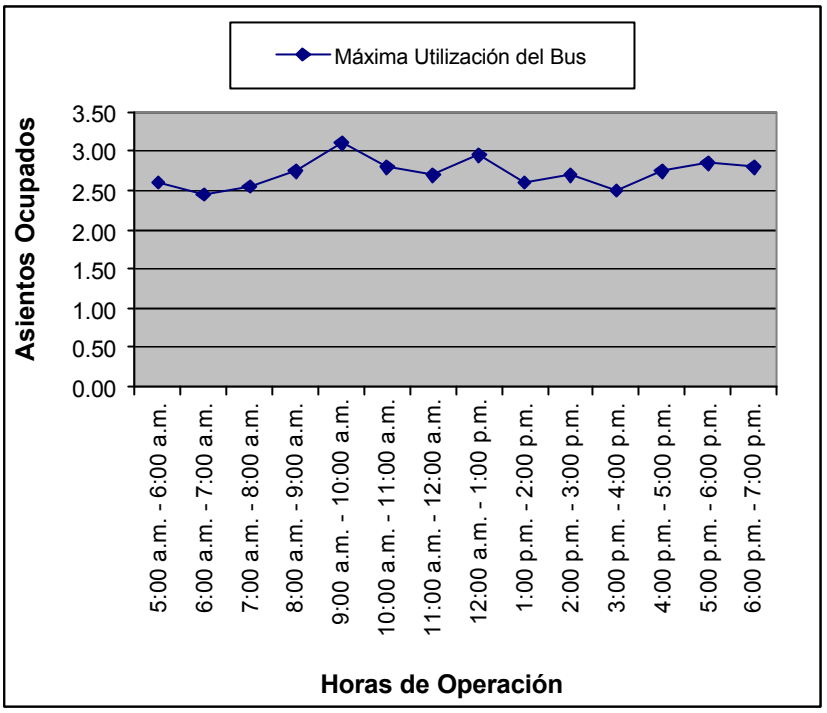


Tabla 60
Resultados de la Máxima utilización del bus para efectos de validar el simulador mediante el método mayor oferta vs. menor demanda

Horas de Operación de la Troncal	Máxima Utilización del Bus
5:00 a.m. - 6:00 a.m.	2.60
6:00 a.m. - 7:00 a.m.	2.45
7:00 a.m. - 8:00 a.m.	2.55
8:00 a.m. - 9:00 a.m.	2.75
9:00 a.m. - 10:00 a.m.	3.10
10:00 a.m. - 11:00 a.m.	2.80
11:00 a.m. - 12:00 a.m.	2.70
12:00 a.m. - 1:00 p.m.	2.95
1:00 p.m. - 2:00 p.m.	2.60
2:00 p.m. - 3:00 p.m.	2.70
3:00 p.m. - 4:00 p.m.	2.50
4:00 p.m. - 5:00 p.m.	2.75
5:00 p.m. - 6:00 p.m.	2.85
6:00 p.m. - 7:00 p.m.	2.80

Las colas máximas de las personas que esperan a los buses en los paraderos, se encuentra entre 2 y 3 personas, además el tiempo que en promedio esperan las personas a que los buses troncales lleguen al paradero está entre 28 y 31 segundos.

En este escenario no podemos dar cuenta que las personas están siendo bien atendidas ya que el tiempo que tienen que esperar a que llegue el bus al paradero es mínimo, debido a que los buses salen desde la Terminal de Integración cada minuto. Pero por otra parte la utilización máxima del bus está entre dos y tres asientos lo cual genera un desperdicio de recursos.

De acuerdo a los resultados obtenidos nos podemos dar cuenta que el simulador esta en la capacidad de dar resultados coherentes aún cuando el escenario de operación de la ruta esta dado en condiciones extremas de trabajo.

Escenario Menor Oferta vs. Mayor Demanda

Se utilizará la ruta diseñada anteriormente con la variación de los siguientes parámetros:

- Tiempo Entre Salida de los buses desde la Terminal de Integración:

  Las salidas serán cada 1800 segundos (30 minutos)

-Tiempo de Permanencia de los buses troncales en el paradero:

Los buses esperarán en los paraderos durante 180 segundos (3 minutos).

-Tiempo Entre Llegada de personas al paradero:

Exponencial con media de 10 segundos, este valor será igual para todas las horas de operación de la troncal (Lunes 5:00 a.m. – 7:00 p.m.).

Los resultados de la cola máxima de espera de pasajeros, el tiempo promedio de espera de los pasajeros, y la máxima utilización del bus se muestran a continuación:

Tabla 61
Resultados de la simulación de la Cola Máxima de Espera en el Paradero para efectos de validar el simulador mediante el método menor oferta vs. mayor demanda

Horas de Operación de la Troncal	Cola Máxima de Espera en el Paradero
5:00 a.m. - 6:00 a.m.	344.70
6:00 a.m. - 7:00 a.m.	698.70
7:00 a.m. - 8:00 a.m.	1052.00
8:00 a.m. - 9:00 a.m.	1409.10
9:00 a.m. - 10:00 a.m.	1772.40
10:00 a.m. - 11:00 a.m.	2122.30
11:00 a.m. - 12:00 a.m.	2484.30
12:00 a.m. - 1:00 p.m.	2844.50
1:00 p.m. - 2:00 p.m.	3202.30
2:00 p.m. - 3:00 p.m.	3573.20
3:00 p.m. - 4:00 p.m.	3935.00
4:00 p.m. - 5:00 p.m.	4289.70
5:00 p.m. - 6:00 p.m.	4645.40
6:00 p.m. - 7:00 p.m.	4999.89

Gráfico 4.9
Simulación de la cola máxima de espera en el paradero utilizando los parámetros necesarios para validar el simulador mediante el método menor oferta vs. mayor demanda

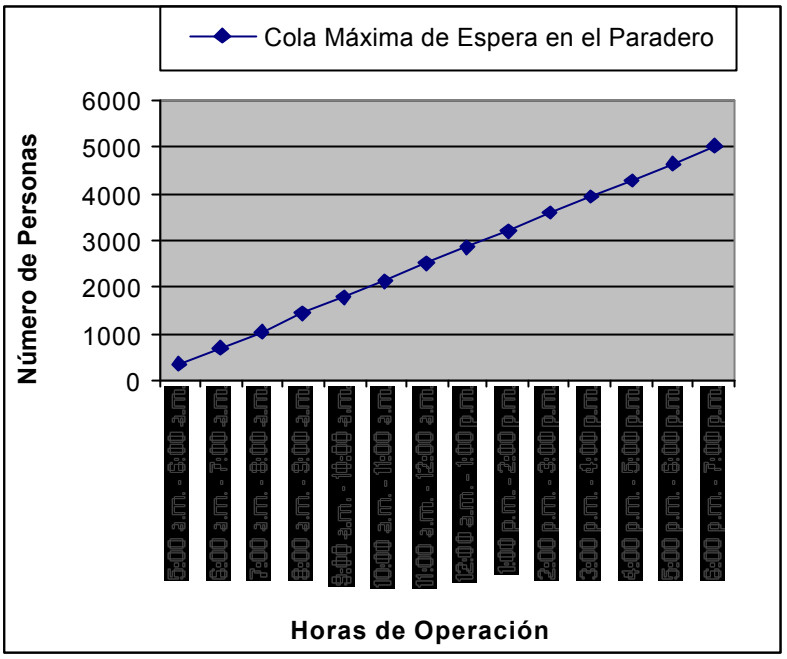


Tabla 62
Resultados de la simulación del Tiempo promedio de espera en el paradero para efectos de validar el simulador mediante el método menor oferta vs. mayor demanda

Horas de Operación de la Troncal	Tiempo Promedio de Espera
5:00 a.m. - 6:00 a.m.	1749.78
6:00 a.m. - 7:00 a.m.	2631.39
7:00 a.m. - 8:00 a.m.	2982.33
8:00 a.m. - 9:00 a.m.	3135.38
9:00 a.m. - 10:00 a.m.	3222.18
10:00 a.m. - 11:00 a.m.	3296.70
11:00 a.m. - 12:00 a.m.	3327.93
12:00 a.m. - 1:00 p.m.	3373.69
1:00 p.m. - 2:00 p.m.	3397.72
2:00 p.m. - 3:00 p.m.	3411.35
3:00 p.m. - 4:00 p.m.	3431.67
4:00 p.m. - 5:00 p.m.	3450.36
5:00 p.m. - 6:00 p.m.	3458.89
6:00 p.m. - 7:00 p.m.	3470.62

Gráfico 4.10
Simulación del Tiempo promedio de espera en el paradero utilizando los parámetros necesarios para validar el simulador mediante el método menor oferta vs. mayor demanda

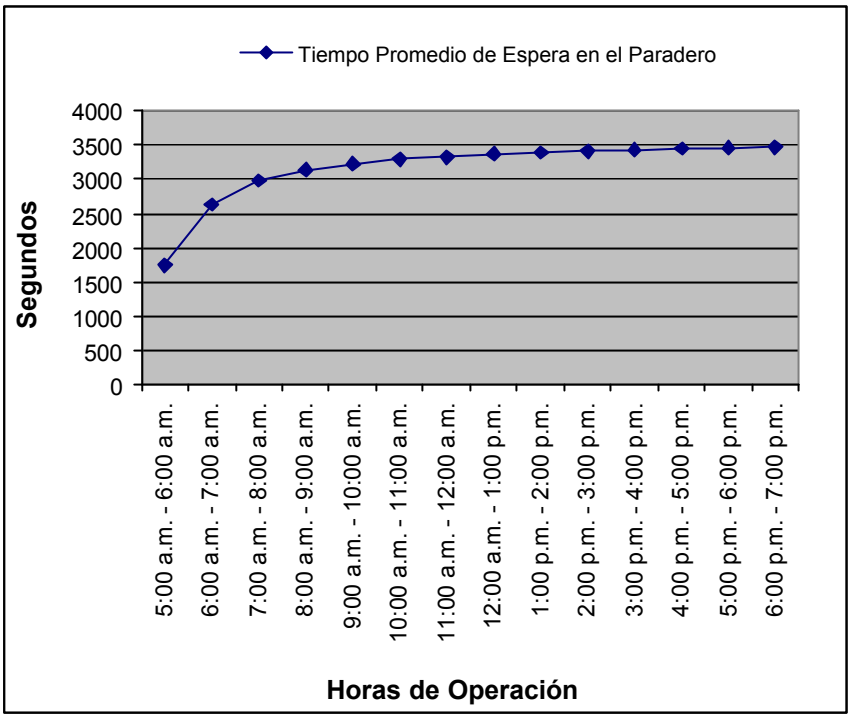
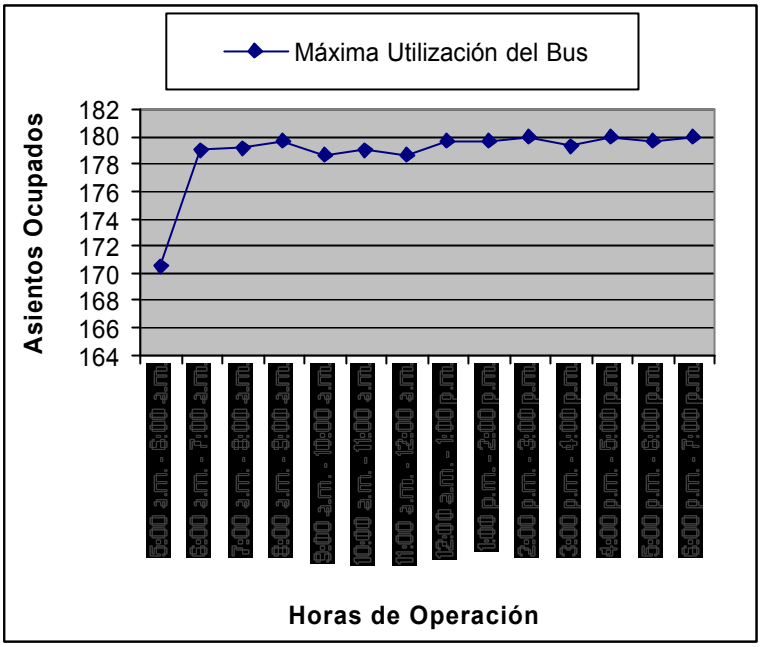


Tabla 63
Resultados de la simulación de la Máxima utilización del bus para efectos de validar el simulador mediante el método menor oferta vs. mayor demanda

Horas de Operación de la Troncal	Máxima Utilización del Bus
5:00 a.m. - 6:00 a.m.	170.60
6:00 a.m. - 7:00 a.m.	178.90
7:00 a.m. - 8:00 a.m.	179.20
8:00 a.m. - 9:00 a.m.	179.60
9:00 a.m. - 10:00 a.m.	178.70
10:00 a.m. - 11:00 a.m.	178.90
11:00 a.m. - 12:00 a.m.	178.70
12:00 a.m. - 1:00 p.m.	179.70
1:00 p.m. - 2:00 p.m.	179.60
2:00 p.m. - 3:00 p.m.	180.00
3:00 p.m. - 4:00 p.m.	179.30
4:00 p.m. - 5:00 p.m.	180.00
5:00 p.m. - 6:00 p.m.	179.60
6:00 p.m. - 7:00 p.m.	180.00

Gráfico 4.11
Simulación de la Máxima utilización del bus utilizando los parámetros necesarios para validar el simulador mediante el método menor oferta vs. mayor demanda



Como se puede apreciar en la gráfica, las colas máximas de personas que esperan en el paradero se encuentra entre 300 y 4000 personas, además el tiempo de espera de las personas en el paradero está entre 1000 y 3000 segundos, lo cual es completamente diferente al escenario anterior. Todo esto se debe al elevado tiempo entre salida de los buses troncales desde la Terminal de Integración. Pero a diferencia del escenario anterior la utilización máxima del bus ha aumentado, dicho valor se encuentra entre 170 y 180 asientos, siendo ahora utilizados la mayoría de los asientos de los buses. En este escenario se utiliza la mayoría de los recursos, pero se disminuye la satisfacción en los pasajeros, ya que los tiempos de espera en los paraderos son muy elevados.

Con respecto a los resultados coherentes obtenidos en ambos escenarios, se concluye que el simulador está en la capacidad de emitir resultados confiables para los dos escenarios de trabajo en condiciones extremas.

Prueba Valores Fijos

La prueba de valores fijos consiste en analizar el modelo de simulación y obtener los resultados de forma analítica, para luego contrastarlos con los obtenidos en la simulación del modelo. Para realizar esto es necesario hacer uso de valores constantes en los datos que serán ingresados al simulador.

Datos de la Troncal diseñada para la validación

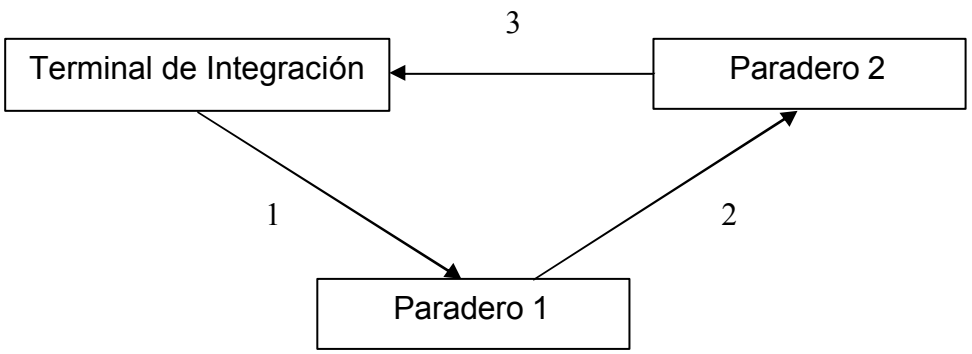
-Conformación de la ruta

1 Terminal de Integración

2 Paraderos

-Secuencia de Objetos

Gráfico 4.12
Secuencia de Objetos que conforma la ruta troncal diseñada para efectos de validar el simulador



-Distancia entre Objetos

Tabla 64
Distancia entre Objetos en segundos

Desde	Hasta	Distancia en segundos
Terminal de Integración	Paradero 1	20
Paradero 1	Paradero 2	20
Paradero 2	Terminal de Integración	20

-Día y Hora de operación de la Troncal:

Lunes desde las 5:00 a.m. hasta la 1:00 p.m.

-Tiempo entre llegada de las personas a los paraderos

Tabla 65
Tiempo entre llegada de las personas a los paraderos

	Tiempo Entre Llegada
Paradero 1	Cada 10 segundos
Paradero 2	Cada 20 segundos

La terminal de integración no recibirá pasajeros

-Destino de los Pasajeros

El destino de los pasajeros será siempre la terminal de integración, sin importar el paradero en el que se hayan subido al bus.

-Tiempo entre salida de los buses desde la Terminal de Integración:

150 segundos (dos minutos y medio)

-Tiempo de Permanencia de los buses en los paraderos:

Tabla 66
Tiempo de Permanencia de los buses en los paraderos

	Tiempo de Permanencia
Paradero 1	40 segundos
Paradero 2	100 segundos

-Comportamiento de las Colas de Espera en los paraderos

Será aleatorio, es decir no existirán colas en los paraderos y por lo tanto el orden de subidas de las personas a los buses no dependerá del orden en que lleguen a los paraderos.

-Comportamiento de los Ascensos y Descensos de los buses

Las subidas a los buses será independiente de las bajadas, es decir no se esperará a que las personas bajen para luego iniciar el proceso de subidas, ya que el bus tiene 8 puertas y 4 de ellas han sido asignadas para las subidas y 4 para las bajadas.

-Comportamiento de la Espera de los buses en los paraderos

La política de espera de los buses en los paraderos es **fijo,** es decir, el bus no podrá extender su tiempo de permanencia en el paradero aún cuando las circunstancias lo ameriten, es decir, si ya finalizó el tiempo de espera en el paradero y todavía hay personas esperando por subir al bus, el bus cerrará sus puertas y no permitirá que suban más personas, pero si al finalizar el tiempo y todavía hay personas esperando por bajar del bus, éste esperará a que las personas bajen para continuar con su recorrido.

Todas las características anteriormente establecidas se mantendrán inalterables a lo largo del día de operación de la Troncal.

Resultados Obtenidos de Forma Analítica

Se realizará el cálculo de forma analítica de las variables especificadas para el estudio, luego sus resultados serán contrastados con los que se obtenga en la simulación del sistema, los cuales deben mostrar igualdad para así determinar la validez del funcionamiento del simulador.

- **Número de buses que Llegan a los Paraderos y Terminal de Integración en cada hora de operación de la Troncal.**

  Paradero 1

  Tomando en cuenta el tiempo entre salida de los buses desde la Terminal de Integración (150 segundos) y el tiempo que tarda el bus en llegar al paradero 1 (20 segundos) se puede obtener la cantidad de buses que llegan al paradero 1 en cada una de las horas de operación de la Troncal.

  Paradero 2

  Tomando en cuenta el tiempo entre salida de los buses desde la Terminal de Integración (150 segundos) y el tiempo que tarda el bus en llegar al paradero 1 (20 segundos), el tiempo que permanecerá el bus en el paradero 1 (40 segundos) y el tiempo que tarda el bus en llegar al paradero 2 (20 segundos) se puede

obtener la cantidad de buses que llegan al paradero 2 en cada una de las horas de operación de la Troncal.

Terminal de Integración

Tomando en cuenta el tiempo entre salida de los buses desde la Terminal de Integración (150 segundos) y el tiempo que tarda el bus en llegar al paradero 1 (20 segundos), el tiempo que permanecerá el bus en el paradero 1 (40 segundos), el tiempo que tarda el bus en llegar al paradero 2 (20 segundos), el tiempo de permanencia del bus en el paradero 2 (100 segundos) y el tiempo que tarda el bus en llegar al Terminal de Integración (20 segundos) se puede obtener la cantidad de buses que llegan al Terminal de Integración en cada una de las horas de operación de la Troncal.

La siguiente tabla describe el número de buses que llegan a cada uno de los paraderos y Terminal de Integración.

Tabla 67
Tiempo de Llegada de los buses a los paraderos y a la terminal de integración

Primera Hora 5:00 a.m. - 6:00 a.m.			
No. de Buses	**Tiempo de Llegada al Paradero 1**	**Tiempo de Llegada al Paradero 2**	**Tiempo de Llegada al Terminal de I.**
1	170	230	350
2	320	380	500
3	470	530	650
4	620	680	800
5	770	830	950
6	920	980	1100
7	1070	1130	1250

8	1220	1280	1400
9	1370	1430	1550
10	1520	1580	1700
11	1670	1730	1850
12	1820	1880	2000
13	1970	2030	2150
14	2120	2180	2300
15	2270	2330	2450
16	2420	2480	2600
17	2570	2630	2750
18	2720	2780	2900
19	2870	2930	3050
20	3020	3080	3200
21	3170	3230	3350
22	3320	3380	3500
23	3470	3530	-

Segunda Hora 6:00 a.m. - 7:00 a.m.			
No. de Buses	**Tiempo de Llegada al Paradero 1**	**Tiempo de Llegada al Paradero 2**	**Tiempo de Llegada al Terminal de l.**
1	3620	3680	3650
2	3770	3830	3800
3	3920	3980	3950
4	4070	4130	4100
5	4220	4280	4250
6	4370	4430	4400
7	4520	4580	4550
8	4670	4730	4700
9	4820	4880	4850
10	4970	5030	5000
11	5120	5180	5150
12	5270	5330	5300
13	5420	5480	5450
14	5570	5630	5600
15	5720	5780	5750
16	5870	5930	5900
17	6020	6080	6050
18	6170	6230	6200
19	6320	6380	6350
20	6470	6530	6500
21	6620	6680	6650
22	6770	6830	6800
23	6920	6980	6950
24	7070	7130	7100

Tabla 68
Número de buses que llegan a los objetos

	No. de buses que Llegan a los Objetos		
Horas de Operación	**Paradero 1**	**Paradero 2**	**Terminal de Integración**
5:00 a.m. - 6:00 a.m.	23	23	22
6:00 a.m. - 7:00 a.m.	24	24	24
7:00 a.m. - 8:00 a.m.	24	24	24
8:00 a.m. - 9:00 a.m.	24	24	24
9:00 a.m. - 10:00 a.m.	24	24	24
10:00 a.m. - 11:00 a.m.	24	24	24
11:00 a.m. - 12:00 a.m.	24	24	24
12:00 a.m. - 1:00 p.m.	24	24	24

En la primera hora (5:00 a.m. -6:00 a.m.) la cual finaliza cuando el reloj marca 3600 segundos, al paradero 1 y paradero 2 llegan 23 buses, mientras que a la Terminal de Integración llegan 22 buses. En el resto de horas de operación del simulador a cada uno de los paraderos y al Terminal de I. llegan 24 buses.

- **Tiempo de Recorrido de Toda la Ruta**

Para encontrar dicho valor se deben sumar los siguientes elementos que intervienen en la operación y funcionamiento de la ruta Troncal.

Tabla 69
Tiempo que tarda el bus en llegar a cada uno de los objetos que conforma la ruta

Elementos	**Tiempo en segundos**
Tiempo que Tarda el Bus en llegar al Paradero 1	20
Tiempo que permanecerá el bus en el Paradero 1	40
Tiempo que Tarda el Bus en llegar al Paradero 2	20
Tiempo que permanecerá el bus en el Paradero 2	100
Tiempo que Tarda el Bus en llegar al Terminal de Integración	20
Total	200 seg.

El tiempo que tarda el bus en recorrer toda la ruta es 200 segundos.

- **Número de Personas que llegan a los paraderos 1 y 2**

  Paradero 1

  El tiempo entre llegada de las personas al paradero 1 es 10 segundos por lo tanto en una hora llegarán 360 personas.

  Paradero 2

  El tiempo entre llegada de las personas al paradero 2 es 20 segundos por lo tanto en una hora llegarán

- **Número de Vueltas de Buses**

  Este valor se lo obtiene tomando en cuenta el tiempo entre salida de los buses desde la Terminal de Integración (150 segundos) y el tiempo de recorrido de toda la ruta (200 segundos), con estos datos se puede determinar la hora de retorno de los buses al Terminal de Integración, y de esta forma saber la cantidad de vueltas que han dado los buses en cada hora.

Tabla 70
Número de vueltas de los buses en la primera hora de operación

Primera Hora 5:00 a.m. - 6:00 a.m.		
Número de Vueltas	**Tiempo de Salida de la Terminal de Integración**	**Tiempo de Llegada a la Terminal de Integración**
1	150	350
2	300	500

3	450	650
4	600	800
5	750	950
6	900	1100
7	1050	1250
8	1200	1400
9	1350	1550
10	1500	1700
11	1650	1850
12	1800	2000
13	1950	2150
14	2100	2300
15	2250	2450
16	2400	2600
17	2550	2750
18	2700	2900
19	2850	3050
20	3000	3200
21	3150	3350
22	3300	3500

Tabla 71

Número de vueltas de los buses en la segunda hora de operación

Segunda Hora 6:00 a.m. - 7:00 a.m.		
Número de Vueltas	**Tiempo de Salida de la Terminal de Integración**	**Tiempo de Llegada a la Terminal de Integración**
1	3450	3650
2	3600	3800
3	3750	3950
4	3900	4100
5	4050	4250
6	4200	4400
7	4350	4550
8	4500	4700
9	4650	4850
10	4800	5000
11	4950	5150
12	5100	5300
13	5250	5450
14	5400	5600
15	5550	5750
16	5700	5900
17	5850	6050
18	6000	6200
19	6150	6350
20	6300	6500
21	6450	6650
22	6600	6800
23	6750	6950
24	6900	7100

En la primera hora de operación de la ruta troncal, la cual finaliza cuando el reloj marca 3600 segundos, el número de vueltas que realizan los buses es 22, mientras que en las siguientes horas los buses realizan 24 vueltas.

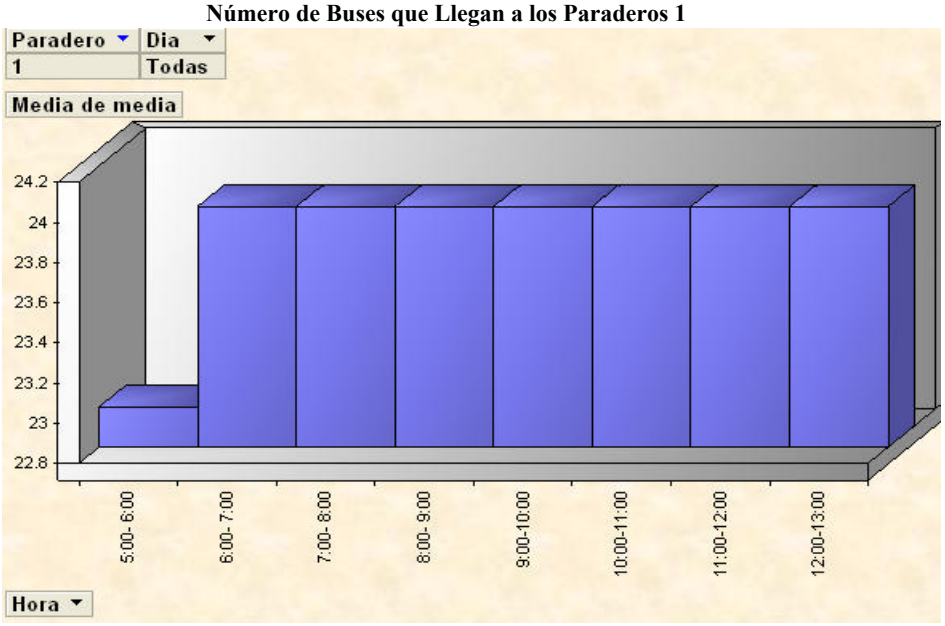
Resultados Obtenidos en la Simulación

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la simulación de la ruta anteriormente diseñada, para verificar si los resultados obtenidos de forma analítica concuerdan con los proporcionados por el simulador.

- **Número de Buses que Llegan a los Paraderos 1 y 2**

  Paradero 1

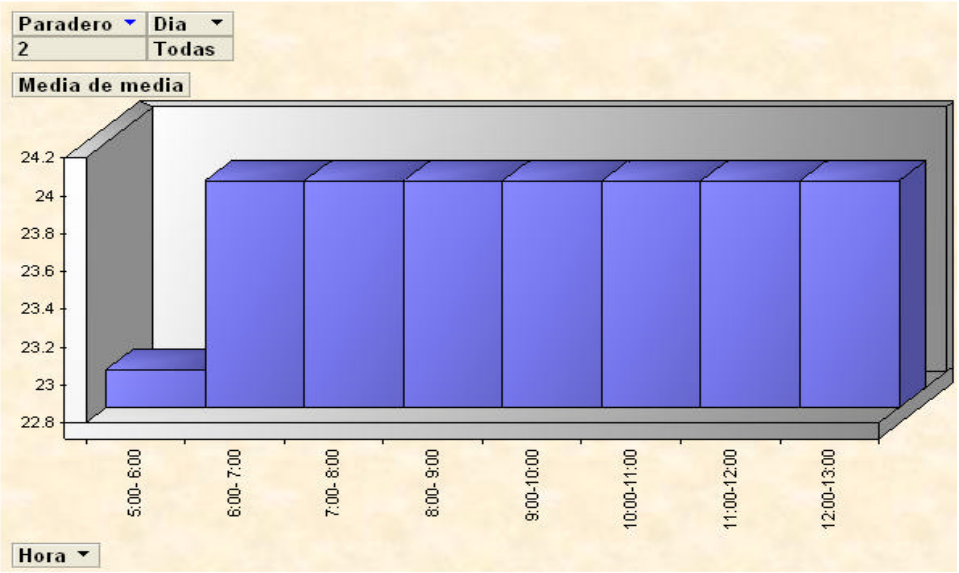
Gráfico 4.13
Número de Buses que Llegan a los Paraderos 1



El gráfico indica que en la primera hora (5:00 a.m. – 6:00 a.m.) al paradero 1 ingresan 23 buses, en el resto de horas de operación de la troncal ingresan al paradero 24 buses.

Paradero 2

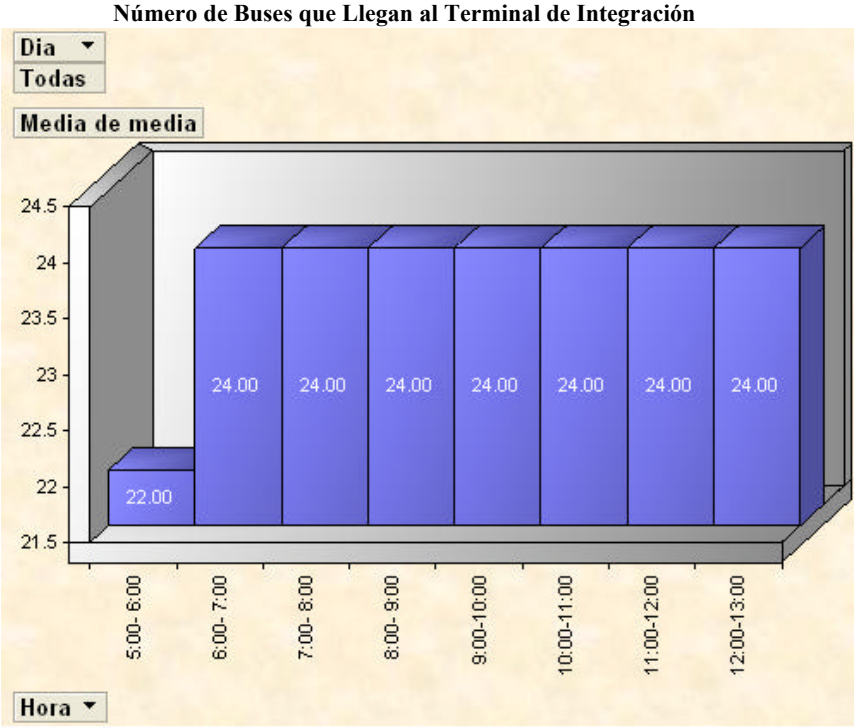
Gráfico 4.14
Número de Buses que Llegan a los Paraderos 2



En la primera hora (5:00 a.m. – 6:00 a.m.) al paradero 2 ingresan 23 buses, mientras que en las demás horas de operación de la troncal ingresan al paradero 24 buses.

Terminal de Integración

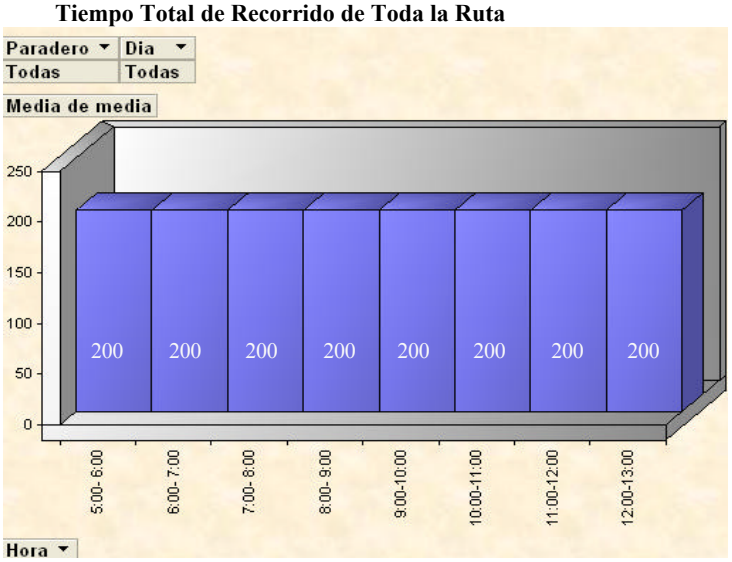
Gráfico 4.15
Número de Buses que Llegan al Terminal de Integración



El gráfico indica que en la primera hora (5:00 a.m. – 6:00 a.m.) llegan al terminal de integración 22 buses, mientras que en las demás horas de operación, al terminal ingresan 24 buses.

- **Tiempo Total de Recorrido de Toda la Ruta**

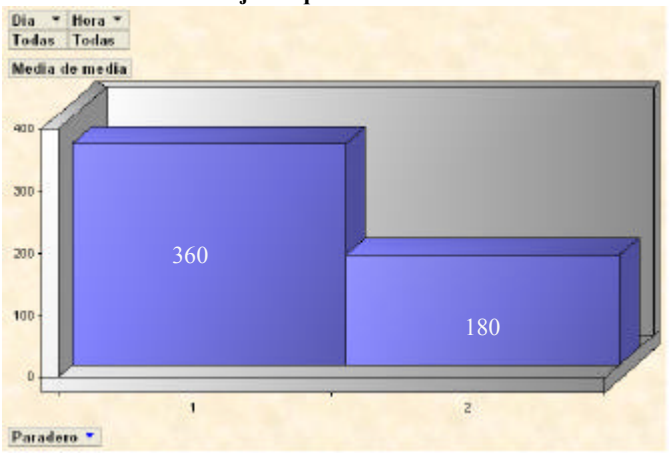
Gráfico 4.16
Tiempo Total de Recorrido de Toda la Ruta



El tiempo total de recorrido de toda la ruta en cada hora es 200 segundos, como lo demuestra la gráfica.

- **Numero de Pasajeros que Entraron a los Paraderos**

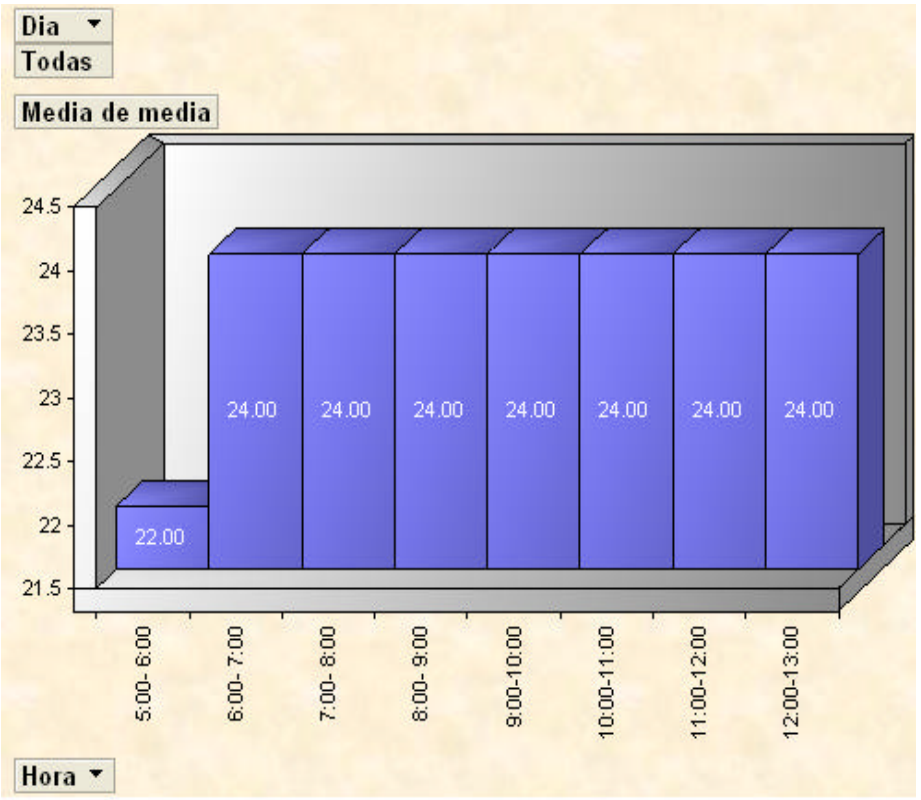
Gráfico 4.17
Numero de Pasajeros que Entraron a los Paraderos



Al paradero 1 ingresaron 360 personas, al paradero 2 ingresaron 180 personas.

- **Número Total de Vueltas**

Gráfico 4.18
Número Total de Vueltas



En la primera hora de operación de la troncal (5:00 a.m. – 6:00 a.m.), 22 buses completan el recorrido, en el resto de horas de operación 24 buses finalizaron el recorrido.

Los resultados obtenidos en la simulación son exactamente iguales a los que se obtuvo de forma analítica, lo cual demuestra que el modelo de simulación es válido y que los resultados que se obtengan del mismo serán confiables.

Prueba Consulta con Expertos

La prueba consiste en analizar las funciones de cada uno de los procesos que se va a simular, así también se analizará los resultados obtenidos del modelo con personas que conocen de forma precisa cada detalle de operación del sistema METROVIA.

Para cumplir con esta prueba fue necesaria la ayuda del personal del Departamento Municipal de Transporte de la M.I. Municipalidad de Guayaquil, siendo ellos las personas más indicadas para analizar la lógica del funcionamiento de cada uno de los procesos que simulará el comportamiento de la Troncal 7 “Orquideas-Centro Urbano”, así también se analizó los resultados obtenidos en la simulación, los cuales según los expertos son coherentes y confiables.