

Pontificia Universidad Católica del Perú
Facultad de Ciencias e Ingeniería



**ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DE PROCESOS EN LA RUTA DE
UNA LÍNEA DE TRANSPORTE URBANO USANDO SIMULACIÓN
DISCRETA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial, que presenta el bachiller:

Víctor Eduardo Lavandera Zúñiga

ASESOR: Wilmer Atoche Díaz

Lima, Abril del 2018



A mi familia, en especial a mis padres Helmer y Victoria por darme su apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida. A ellos dedico mis logros y les estaré siempre agradecido.

A la universidad y a todos mis docentes, quienes me convirtieron en un profesional preparado para asumir todo tipo de desafíos.

A mi asesor Wilmer Atoche por su guía y compromiso para el desarrollo de la presente tesis.

RESUMEN

La presente tesis tiene como enfoque mejorar los procesos de asignación de frecuencias y recursos en la ruta de una línea de transporte urbano en la ciudad de Lima Metropolitana. Esto se debe a la necesidad de optimizar el transporte de pasajeros en una ciudad con un alto nivel de población, en la cual se hace cada vez más complejo movilizarse.

Se busca determinar las frecuencias de salidas de ruta durante distintos periodos del día, considerando variables como niveles de tráfico o demanda de pasajeros. Asimismo mediante la correcta asignación de frecuencias, se pretende hallar la cantidad de flota de buses necesaria para cumplir con las operaciones sin sobrepasar la capacidad de la unidad establecida y de esta forma mejorar el servicio a los usuarios. Luego de ello calcular la cantidad de choferes y asignarlos a un horario determinado de salidas de la manera más óptima. El análisis busca considerar, de la misma forma, el beneficio económico, en la mejora a implementar, para la empresa de la línea de transporte.

Para lograr estas mejoras se estableció implementar la herramienta de simulación de eventos discretos, mediante el uso del software Arena. Esta aplicación permite simular y evaluar distintos escenarios, mediante conceptos estadísticos relacionados a las variables que afectan las operaciones de la línea de transporte, y determinar en base a los objetivos planteados las propuestas más óptimas.

El caso en estudio pretende disminuir costos de operación al optimizar los recursos como buses como choferes y buses al aumentar la utilización y disminuir tiempos en cola. Sin embargo, el principal beneficio para la empresa y los usuarios es atender de manera más óptima la demanda de pasajeros, reduciendo los tiempos de espera en los paraderos, respetando la capacidad de las unidades y lograr la mayor movilización de usuarios, lo que repercute en la mejora del nivel de servicio.



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS

PARA OPTAR : Título de Ingeniero Industrial

ALUMNO : **VICTOR EDUARDO LAVANDERA ZUÑIGA**

CÓDIGO : 2009.0511.12

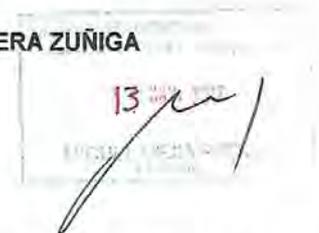
PROPUESTO POR : Ing. Wilmer J. Atoche Díaz

ASESOR : Ing. Wilmer J. Atoche Díaz

TEMA : ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DE PROCESOS EN LA RUTA DE UNA LÍNEA DE TRANSPORTE URBANO USANDO SIMULACION DISCRETA.

N° TEMA : # 1421

FECHA : San Miguel, 09 de noviembre de 2017



JUSTIFICACIÓN:

EL crecimiento económico en el país, se va reflejando en diversos ámbitos, siendo el sector transporte urbano en la ciudad de Lima el que experimenta un desarrollo descontrolado y poco formal el cual es considerado uno de los principales problemas en esta ciudad. Esto se debe a la baja inversión en infraestructura, institucionalidad, equipamiento del parque automotor y a la poca educación vial de las personas originando costos de 470 millones de soles en materiales por accidentes de tránsito lo que representa el 0,17% del PBI del país¹.

De la misma manera, en promedio un ciudadano de Lima ocupa entre 2 a 3 horas diarias en trasladarse y gasta S/.2,184 anual si viaja en metropolitano, S/.1,680 si es en bus o en combi y S/12,328 en auto particular. Asimismo el 92% de los ciudadanos sufre de estrés por el tráfico urbano².

Si bien el transporte público y el tráfico son problemas distintos, según estudios realizados, los medios más eficientes para disminuir el tráfico son los transportes públicos masivos como trenes o buses y que el 54% de propietarios de autos particulares estarían dispuestos a dejar su vehículo y usar otro medio de transporte como los mencionados³.

¹ *La seguridad vial en el Perú está en crisis* [En línea]. Lima: RPP [fecha de consulta: 22 Setiembre 2017]. Disponible desde Internet < <http://www.capital.com.pe/actualidad/la-seguridad-vial-en-el-peru-esta-en-crisis-noticia-520708>>

² *Tráfico que daña* [En línea]. Lima: El Comercio [fecha de consulta: 22 Setiembre 2017]. Disponible desde Internet < <https://elcomercio.pe/lima/transporte/trafico-dana-92-limenos-estresa-caos-vehicular-noticia-451433>>

³ *¿Cuánto dinero y tiempo invierten los limeños por el tráfico vehicular?* [En línea]. Lima: El Comercio [fecha de consulta: 24 Setiembre 2017]. Disponible desde Internet <<https://elcomercio.pe/economia/trafico-vehicular-dinero-invierten-personas-lima-noticia-noticia-451135?foto=9>>



Asimismo según una encuesta realizada por Ipsos sobre las tres principales medidas que deberían implementarse para solucionar la congestión en Lima, el 26% expresaron que se deberían reordenar las líneas de microbuses o combis, y el 30% y 28% expresaron que se debería ampliar las rutas y cobertura de los principales medios de transporte de la ciudad (Metropolitano y el Metro de Lima), lo que demuestra que no se está brindando la oferta necesaria para atender la demanda de pasajeros existente y de acuerdo a los periodos de mayor afluencia, como son entre las 6 y 8 am en el cual el 51.2% de los limeños se movilizan y entre las 6 y 8 pm en el cual el 30.1% lo hacen⁴.

Según especialistas el transporte público debe optimizarse con más unidades y líneas, de otra forma los pasajeros usarán vehículos particulares y generarán así un efecto contrario al incrementar el parque automotor y por consiguiente el tráfico vehicular.

En esta situación la gestión de empresas de este rubro en su mayoría es desordenada, con mayor interés en el propio beneficio, sin una adecuada regulación, obteniendo niveles de servicio muy deficiente. Ante este panorama una línea de transporte puede optimizar sus recursos en relación a la demanda de pasajeros real lo que reflejará un mejor nivel de servicio y mayores ingresos a la empresa.

El presente estudio tiene como fin el análisis y mejora de una línea de servicio de transporte urbano en la ciudad de Lima Metropolitana, estudiando sus procesos involucrados, planteando propuestas de mejora mediante la herramienta de simulación de eventos discretos para identificar distintos escenarios posibles considerando los factores que lo afectan y de esta forma obtener una eficiente programación y asignación de recursos lo que conllevará a la mejora de la calidad el servicio brindado.

OBJETIVO GENERAL:

Analizar y proponer mejora de procesos en la ruta de una línea de transporte urbano usando simulación discreta

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Explicar los conceptos asociados a los métodos a proponer para la mejora de las operaciones para este tipo de empresa de servicios según los principales problemas identificados.
- Analizar y describir las operaciones del sistema para la realización del servicio.
- Realizar un diagnóstico del proceso actual e identificar los principales problemas en la asignación de salidas de buses y choferes de acuerdo a la demanda variable.
- Plantear alternativas de mejora para los procesos en base al diagnóstico efectuado y a las herramientas establecidas que sean más eficientes y brinde un mejor servicio.
- Realizar una evaluación económica de la propuesta de mejora para evaluar los beneficios y costos que se obtienen como resultado de estos cambios.

⁴ *Pico y placa* [En línea]. Lima: El Comercio [fecha de consulta: 26 Setiembre 2017]. Disponible desde Internet <<https://elcomercio.pe/lima/transporte/pico-placa-71-apoya-restringir-carros-numero-placa-435654>>



PUNTOS A TRATAR:

a. Marco teórico.

Se desarrollarán los conceptos de las herramientas de Ingeniería Industrial para el análisis y mejora de procesos del caso en estudio, detallando el por qué de su uso y finalidad.

b. Descripción y definición del proyecto.

Se describirá la organización en estudio, asimismo las operaciones que realiza para la prestación del servicio, los problemas y su situación actual.

c. Diagnóstico del proceso.

En este punto se identifican los problemas más resaltantes mediante herramientas de mejora continua, cuantificándolos y analizando su impacto.

d. Propuestas de mejora.

Se propondrán alternativas de mejora utilizando herramientas de simulación de sistemas e investigación de operaciones para lo cual se explicará sus ventajas y desventajas.

e. Evaluación económica.

Se evaluarán los beneficios y costos que se obtengan como resultado de la aplicación de la alternativa elegida y comparándola con la situación actual en donde se evaluará la viabilidad de la propuesta.

f. Conclusiones y recomendaciones.

Máximo: 100 páginas



ASESOR

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1 MARCO TEÓRICO.....	2
1.1. Proceso.....	2
1.1.1. Definición.....	2
1.1.2. Elementos.....	2
1.1.3. Factores.....	3
1.2. Investigación de operaciones.....	3
1.2.1. Definición.....	3
1.2.2. Programación lineal.....	4
1.2.3. Programación entera.....	5
1.3. Herramientas de análisis de procesos.....	6
1.3.1. Diagrama de flujo.....	7
1.3.2. Diagrama de Pareto.....	7
1.3.3. Diagrama de Ishikawa.....	8
1.3.4. Matriz de selección.....	9
1.4. Conceptos Estadísticos.....	10
1.4.1. Población y muestra.....	10
1.4.2. Tamaño de muestra	10
1.4.3. Prueba de hipótesis.....	11
1.4.4. Pruebas de bondad de ajuste.....	12
1.5. Simulación de sistemas.....	13
1.5.1. Simulación de eventos discretos.....	13
1.5.2. Etapas de la simulación.....	13
1.5.3. Definiciones para la simulación.....	14
1.5.4. Simulación con Arena.....	15
1.6. Caso práctico de Fournier	16
1.7. Caso práctico de Mauttone, Martinez y Urquhart	17
1.8. Caso práctico de Ortiz.....	19
CAPITULO 2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	20
2.1. Descripción.....	20
2.2. Misión y Visión.....	20

2.3.	Instalaciones.....	21
2.4.	Servicio.....	21
2.5.	Clientes.....	23
2.6.	Recursos principales.....	23
2.7.	Estructura organizacional.....	24
CAPITULO 3 DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA.....		25
3.1.	Aplicación de <i>brainstorming</i>	25
3.2.	Aplicación de Causa-efecto.....	27
3.3.	Contramedidas.....	33
3.4.	Cronograma.....	36
CAPITULO 4 PROPUESTA DE MEJORA		37
4.1.	Análisis de datos.....	37
4.1.1.	Recopilación de datos.....	37
4.1.2.	Tamaño de muestra y determinación de variables aleatorias.....	39
4.2.	Desarrollo del modelo.....	46
4.2.1.	Identificación de entidades, atributos, recursos, estaciones y colas.....	46
4.2.2.	Supuestos.....	48
4.2.3.	Descripción del modelo para la programación de buses.....	50
4.3.	Análisis y validación de resultados.....	59
4.3.1.	Análisis de resultados.....	59
4.3.2.	Validación de resultados.....	60
4.4.	Desarrollo de las propuestas de mejora.....	62
4.4.1.	Definición de variables de control.....	62
4.4.2.	Definición de variables de respuesta.....	63
4.4.3.	Definición de restricciones.....	63
4.4.4.	Función objetivo.....	64
4.4.5.	Resultados.....	65
4.5.	Modelo para la programación de choferes.....	66
4.5.1.	Descripción del modelo para la programación de choferes.....	66
4.5.2.	Asignación de conductores mediante programación lineal.....	68
CAPITULO 5 EVALUACIÓN ECONÓMICA.....		73
5.1.	Análisis de resultados.....	73
5.2.	Inversión y costos.....	74
5.3.	Ingresos.....	75

5.4. Flujo de caja.....	76
CAPITULO 6 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.....	78
6.1. Conclusiones.....	78
6.2. Recomendaciones.....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de selección	10
Tabla 2 Resultados de Pruebas de Hipótesis	11
Tabla 3 Descripción de áreas de la empresa	24
Tabla 4 Puntajes de evaluación	25
Tabla 5 Ponderación de problemas identificados.....	26
Tabla 6 Matriz de priorización de causas	30
Tabla 7 Tiempos de viaje por periodos	31
Tabla 8 Demandas de pasajeros promedio por viaje por periodos.....	31
Tabla 9 Utilización promedio de unidades de buses por periodos.....	33
Tabla 10 Contramedidas para cada causa raíz.....	34
Tabla 11 Priorización y Selección de Contramedidas de los problemas	35
Tabla 12 Clasificación de datos	38
Tabla 13 Tamaño de muestra de variables aleatorias tiempo entre llegadas periodo 1 (7:00 a 9:00 am).....	40
Tabla 14 Tamaño de muestra de variables aleatorias tiempo entre paraderos periodo 1 de tráfico (7:00 a 8:30 am)	41
Tabla 15 Semaforización antes del paradero 1.....	42
Tabla 16 Probabilidades de destino viaje de ida.....	43
Tabla 17 Probabilidades de destino viaje de vuelta.....	44
Tabla 18 Otras proporciones.....	45
Tabla 19 Datos determinísticos.....	45
Tabla 20 Indicadores para validación.....	59
Tabla 21 Análisis de resultados.....	61
Tabla 22 Rango de las variables de control.....	63
Tabla 23 Costos de operación de bus urbano.....	64
Tabla 24 Expresión de variable “Ganancias”	65
Tabla 25 Resultados obtenidos de la herramienta OptQuest.....	66
Tabla 26 Clasificación de buses por periodos	67
Tabla 27 Variables para determinación de cronograma	68
Tabla 28 Choferes necesarios por periodo.....	70
Tabla 29 Indicadores de evaluación técnica.....	73
Tabla 30 Inversión	74
Tabla 31 Costos anuales por viajes adicionales.....	75
Tabla 32 Costos anuales por flota adicional.....	75
Tabla 33 Ingresos – evaluación económica.....	75
Tabla 34 Cálculo del COKe.....	77
Tabla 35 Indicadores financieros.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Simbología del diagrama de flujo	7
Figura 2 Diagrama de Pareto.....	8
Figura 3 Diagrama de Ishikawa	9
Figura 4 Diagrama de flujo de línea de transporte de la empresa	22
Figura 5 Recorrido del servicio de transporte de pasajeros	22
Figura 6 Bus Urbano.....	23
Figura 7 Organigrama de la empresa	24
Figura 8 Diagrama de Pareto de problemas de la empresa	27
Figura 9 Diagrama de Ishikawa Problema 1	28
Figura 10 Diagrama de Ishikawa Problema 2	28
Figura 11 Diagrama de Ishikawa Problema 3	29
Figura 12 Diagrama de Ishikawa Problema 4	29
Figura 13 Diagrama de Gantt del caso de estudio	36
Figura 14 Prueba de bondad de ajuste de la variable aleatoria “Tiempo entre paradero 1 y paradero 2” del periodo 1	42
Figura 15 Diagrama de bloques en Arena: Creación de pasajeros en paraderos ...	51
Figura 16 Diagrama de bloques en Arena: Salida de buses	52
Figura 17 Diagrama de bloques en Arena: Interacción pasajeros y buses paradero inicial	54
Figura 18 Diagrama de bloques en Arena: Interacción pasajeros y buses paraderos de abordaje y descenso.....	57
Figura 19 Diagrama de bloques en Arena: Interacción pasajeros y buses paradero final	58
Figura 20 Variables de respuesta mediante OptQuest.....	63
Figura 21 Restricciones mediante OptQuest.....	64
Figura 22 Objetivo OptQuest	65
Figura 23 Lista de las mejores soluciones mediante OptQuest.....	65
Figura 24 Cronograma de viajes según frecuencias	69
Figura 25 Asignación de choferes a cronograma de salidas	72
Figura 26 Flujo de caja del proyecto	76

INTRODUCCIÓN

El caso en estudio se desarrolla por medio de la herramienta de mejora de procesos, simulación de eventos discretos, la cual se aplica a una línea de transporte urbano con el objetivo de mejorar los procesos de ruta, es decir optimizar las frecuencias de salidas e incrementar la utilización de los recursos que permitan el beneficio económico a la empresa e incrementar la calidad de servicio a los usuarios.

En el capítulo 1 se describen las diversas metodologías, técnicas y conceptos que componen las herramientas para la mejora de procesos en la empresa en estudio, como son los conceptos estadísticos, la simulación de eventos discretos e investigación de operaciones.

Posteriormente, en el capítulo 2, se describe a la empresa en estudio, su modelo de organización, instalaciones, recursos, tipo de servicios que ofrece a los usuarios, procesos y recorridos de ruta.

En el capítulo 3 se realiza el diagnóstico actual de la situación de la empresa mediante la identificación de sus principales problemas por medio de herramientas y las causas que los originan. En ella se identifica como principal problema la no relación de las operaciones de ruta respecto a la demanda fluctuante de pasajeros a lo largo del día. Asimismo en el capítulo 4 se realiza la construcción del modelo, validación y se plantean las propuestas de mejora que permitan dar solución a los problemas identificados por medio de la simulación de sistemas que logran la reducción de costos e incremento de la productividad y servicio al cliente.

En el capítulo 5 se muestra el análisis económico y financiero de la mejora propuesta evaluando los costos y beneficios asociados a la implementación de este modelo y comparándolo con la situación actual para demostrar el incremento de productividad que esta refleja y su viabilidad económica. Finalmente en el capítulo 6 se brindan las conclusiones y recomendaciones del caso en estudio.

CAPITULO 1 MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se desarrolla la descripción de los conceptos que son la base del caso de estudio, para de esta forma poseer el conocimiento y sustento teórico del mismo.

1.1. Proceso

En los siguientes párrafos se realiza la descripción de un proceso, asimismo los elementos y factores que lo componen.

1.1.1. Definición

Proceso se define como el conjunto de actividades o recursos interrelacionadas entre si y que interactúan para transformar elementos de entrada en salidas (Cerrón, 2006). Estos recursos son de tipo equipos, insumos, personal, métodos, etc.

Asimismo también se puede describirlo como a la secuencia ordenada de actividades del cual su producto tiene un valor intrínseco para el cliente o usuario final.

1.1.2. Elementos del proceso

Según Pérez (2007) los procesos cuentan con los siguientes elementos:

- **Input:** Es la entrada principal con características que responda al estándar de aceptación definido, es la salida de un proceso precedente en la cadena de valor del negocio.
- **Secuencia de actividades:** Desarrollo del proceso el cual trabaja a través de factores medios y recursos determinados para ejecutarlo.
- **Output:** Salida que representa al producto con la calidad requerida por el estándar del proceso, destinado a un cliente interno o externo, y este puede poseer un valor intrínseco, medible o evaluable.

1.1.3. Factores de un proceso

Son necesarios los siguientes factores para llevar a cabo un proceso (Pérez, 2007):

- **Personas:** Miembros del proceso con los conocimientos, habilidades y actitudes para realizarlo.
- **Materiales:** Materias primas en producción o información esencial (para procesos de servicios) con adecuadas características.
- **Recursos físicos:** Se relaciona con las maquinarias, utillajes, instalaciones o sistemas de información que se requieren en óptimas condiciones.
- **Métodos del proceso:** Indica la manera en la que se utilizarán los recursos. Es el procedimiento o método de trabajo.

1.2. Investigación de operaciones

A continuación se aborda el concepto de investigación de operaciones y la representación de los modelos matemáticos tales como programación lineal y programación entera.

1.2.1. Definición

Según Taha (2011) las primeras actividades de investigación de operaciones se realizaron durante la Segunda Guerra Mundial cuando un equipo especial de científicos empezaba tomar decisiones respecto a la mejor utilización del material bélico. Desde entonces los conceptos formulados se adaptaron para incrementar la eficiencia y productividad en este sector.

La investigación de operaciones, la cual es llamada ciencia de administración, según Winston (2005) es un enfoque científico para la mejor toma de decisiones el cual tiene como fin obtener el mejor diseño y operar un sistema que requiere la asignación de escasos recursos.

En este enfoque se necesita el uso de uno o más modelos matemáticos. Entre estas representaciones matemáticas están la programación lineal, programación entera, programación de red, entre otros.

1.2.2. Programación lineal

Según Hillier (2010) en la programación lineal se describe el problema mediante un modelo matemático en el cual se resalta que todas las funciones matemáticas del modelo deben ser funciones lineales. Por otro lado la programación lineal refiere a la planeación de actividades con el fin de obtener un resultado óptimo que mejor alcance la meta especificada entre todas las alternativas. Asimismo la asignación de recursos a las actividades es la aplicación más común en este modelo, sin embargo cualquier problema que se ajuste al modelo matemático de programación lineal es un problema de este tipo.

El desarrollo de la programación lineal es considerado uno de los más importantes avances científicos más importante del siglo veinte, según Hillier (2010). Este mismo resalta que el uso de esta herramienta se aplica normalmente en muchas compañías, el cual ayuda a ahorrar gran cantidad de costos.

Modelo matemático:

La formulación del modelo estándar de programación lineal según Hillier (2010), es el siguiente:

El modelo busca elegir valores para: $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$

$$\text{Maximizar } Z = C_1 * X_1 + C_2 * X_2 + \dots + C_n * X_n$$

Restricciones:

$$a_{11} * x_1 + a_{12} * x_2 + \dots + a_{1n} * x_n \leq b_1$$

$$a_{21} * x_1 + a_{22} * x_2 + \dots + a_{2n} * x_n \leq b_2$$

.

.

$$a_{m1} * x_1 + a_{m2} * x_2 + \dots + a_{mn} * x_n \leq b_m, \quad y: \quad x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

La función “Z” que se desea maximizar recibe el nombre de función objetivo, asimismo esta está limitada a las restricciones, las cuales reciben el nombre de restricciones funcionales y presentan a todas las variables.

De igual manera se encuentran las restricciones de no negatividad, las que se indican de manera $x_j \geq 0$.

Finalmente la resolución de un problema de programación lineal se puede llevar a cabo mediante el uso de los programas informáticos Lindo, Lingo o Solver, ingresando la función objetivo y las restricciones obteniendo el resultado de forma sencilla y rápida.,

1.2.3. Programación entera

Según Winston (2005), un problema de programación entera es un problema lineal en el que se requiere que determinadas variables o todas sean enteros no negativos.

- Un problema de programación entera puro es en el cual todas las variables deben ser números enteros. Por ejemplo:

$$\text{Maximizar } Z = 3 * X_1 + 2 * X_2$$

Restricciones:

$$x_1 + x_2 \leq 6$$

Y: $x_1, x_2 \geq 0, x_1, x_2$ enteros

- De la misma forma un problema de programación entera que solo requiera algunas variables enteras es llamado Problema combinado de programación entera. Por ejemplo:

$$\text{Maximizar } Z = 3 * X_1 + 2 * X_2$$

Restricciones:

$$x_1 + x_2 \leq 6$$

Y: $x_1, x_2 \geq 0, x_1$ enteros

- Por otro lado un problema de programación entera en la cual todas las variables deban ser números iguales a 0 o 1 recibe el nombre de programación entera binaria. Por ejemplo:

$$\text{Maximizar } Z = 3 * X_1 + 2 * X_2$$

Restricciones:

$$x_1 + x_2 \leq 6$$

Y: $x_1, x_2 = 0$ o bien 1

- Asimismo se define al concepto de relajación de programación entera cuando se omiten todos los enteros o las restricciones binarias en las variables. Por ejemplo:

$$\text{Maximizar } Z = 3 * X_1 + 2 * X_2$$

Restricciones:

$$x_1 + x_2 \leq 6$$

Y: $x_1, x_2 \geq 0$

1.3. Herramientas de análisis de procesos

Se presentan a continuación, las herramientas a aplicar para el análisis de los procesos y la identificación de los principales problemas para el caso en estudio.

1.3.1. Diagrama de flujo

Según Michalsky (1998), el diagrama de flujo es una herramienta que describe gráficamente las secuencias de un proceso de manera ordenada y sencilla. De esta forma ayuda al análisis de los procesos y entender la relación de las etapas del sistema en estudio.

Esta herramienta permite entender correctamente las diferentes fases de todo proceso, su funcionamiento de forma que facilita su comprensión para realizar mejoras al proceso.

Los elementos que conforman un diagrama de flujo, bajo la simbología ANSI, se muestran en la figura 1.

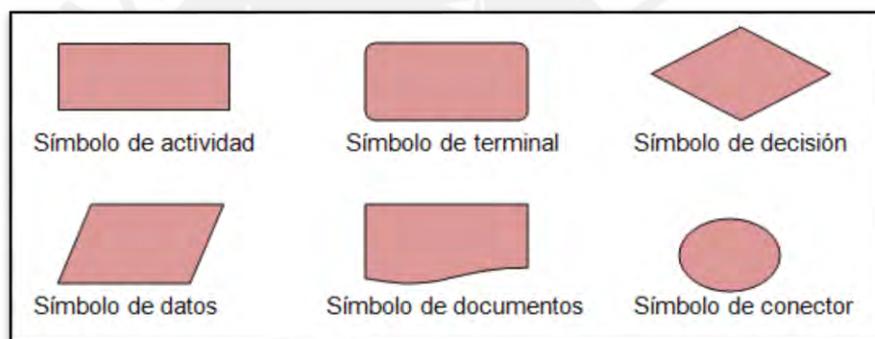


Figura 1: Simbología de diagrama de flujo.

Fuente: Ciencias administrativas (2012)

Elaboración propia

1.3.2. Gráfico de Pareto

Michalsky (1998) menciona a esta herramienta como un gráfico para organizar datos de manera descendente en el cual se establece que la mayor parte de problemas de una actividad tiene como causa un reducido número de factores.

El mayor beneficio que brinda esta herramienta es que se puede establecer un orden de prioridades para una correcta toma de decisiones en una empresa.

Este grafico indica que el 80% de los efectos de cierta actividad es originado por el 20% de los factores.

El grafico consta de dos ejes verticales y un eje horizontal. En los ejes verticales se señalan la frecuencia y en el otro el porcentaje acumulado de esta. Asimismo en el eje horizontal de manera descendente según su nivel de frecuencia se ordenan los factores comprometidos. Esta representación se observa en la figura 2.

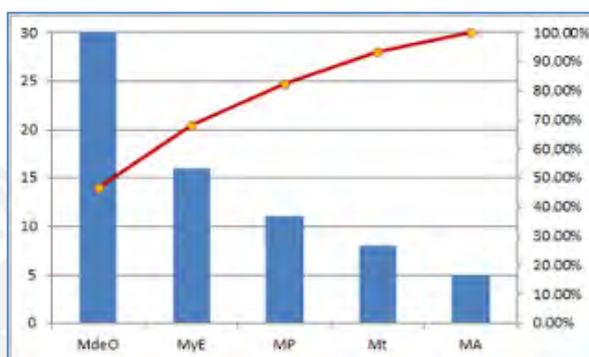


Figura 2: Diagrama de Pareto

Fuente: Matemática con tecnología.

1.3.3. Diagrama causa – efecto

Según Guajardo (1996) el diagrama de causa-efecto o también llamado diagrama de Pescado o Ishikawa, permite de forma sencilla analizar y distinguir los problemas de todo tipo. Asimismo por la sencillez de su estructura es una herramienta usual en el análisis inicial de un problema.

Esta herramienta para ordenar las causas que afectan el nivel de calidad de un proceso o servicio.

Asimismo brinda los siguientes beneficios:

- Se efectúa una lluvia de ideas en el cual se clasifica en grupos diferentes los problemas.
- Se puede identificar las causas más importantes a tratarse primero para así resolver el problema principal.

- Se pueden obtener causas de variabilidad no comunes en el proceso.

En la figura 3 se aprecia un ejemplo particular de esta herramienta:

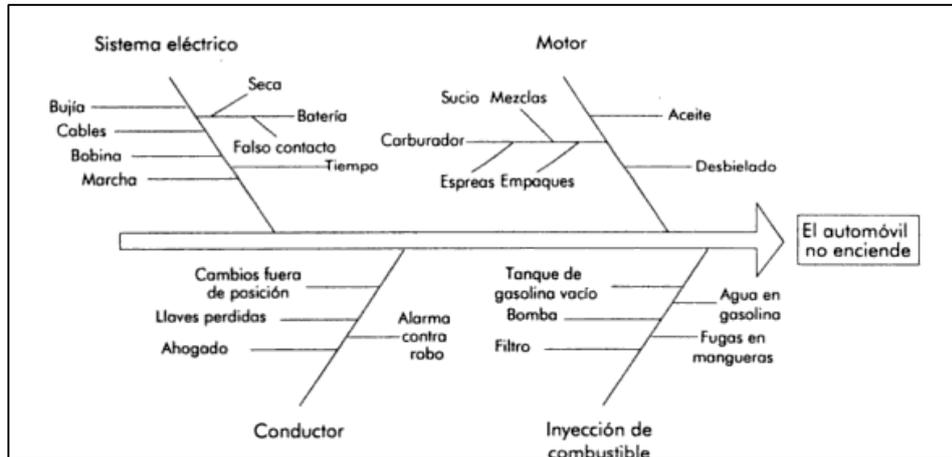


Figura 3: Diagrama de Ishikawa.

Fuente: Administración de la calidad total, Guajardo.

1.3.4. Matriz de selección

Según la lista de oportunidades de mejora ante determinados problemas, se aplica la llamada matriz de selección.

La matriz de selección es una herramienta que permite priorizar o brindar un orden de importancia a las causas propuestas en función de distintos criterios (Chang 1999). Estos pueden ser los siguientes:

- Tiempo de implementación
- Facilidad de implementación
- Impacto en otras áreas
- Costo de implementación
- Seguridad, Ambiental
- Otros impactos

Se califica cada criterio con distintos niveles de valoración según sea el caso y se eligen las propuestas más importantes con mayor ponderación. Esto se puede observar en el ejemplo desarrollado en la tabla 1.

Tabla 1: Matriz de selección

Idea	Relevancia	Factibilidad	Eficiente	Impacto	Costo	Total
1. Capacitar al equipo de trabajo que maneje el control de stock.	12	10	12	12	3	49
2. Pedir la colaboración del personal para mantener el orden y evitar el desperdicio.	3	6	5	6	9	29
3. Implementar una fórmula estadística para realizar el pedido semanal.	9	11	9	9	6	44
4. Implementar un código de barras para control.	6	3	4	3	12	28

Fuente: Slideplayer (2014)

1.4. Conceptos estadísticos

Se detallan las definiciones estadísticas para el correcto uso de la herramienta de simulación de sistemas.

1.4.1. Población y muestra

a) Población

Según Córdova (2006) se define como población a un conjunto de personas u objetos de tamaño finito o infinito que presentan características comunes. El tamaño de una población es el número de elementos que la componen. Si la población es demasiado grande se le puede considerar como infinita y en caso contenga un número limitado de elementos se le considera finita.

b) Muestra

Se define a una muestra como una representación significativa de las características de una población. Se utiliza la muestra de una población para analizar y realizar estudios al comportamiento de esta y sus características.

1.4.2. Tamaño de muestra

Según Mendenhall y Sincich (1997), para la estimación de la media en una población infinita, se puede analizar mediante un tamaño de muestra adecuado que lo represente.

Esta muestra se calcula de la siguiente forma:

$$n = \frac{\sigma^2 * (Z_{1-\alpha/2})^2}{d^2}$$

Donde:

n = tamaño de muestra a calcular

σ = desviación estándar de la muestra

Z = nivel de confianza

d = máximo error permisible

1.4.3. Pruebas de hipótesis

Las pruebas de hipótesis estadísticas se usan para tomar decisiones acerca de los parámetros a analizar, según Mendenhall y Sincich (1997).

Los elementos de una prueba de hipótesis son:

- Hipótesis nula (H_0): hipótesis acerca de uno o más parámetros cuya validez se somete a prueba.
- Hipótesis alternativa (H_1): hipótesis alternativa en caso de rechazar la hipótesis nula
- Estadístico de prueba: se calcula para decidir si se rechaza o no la hipótesis nula
- Región de rechazo: representa los valores del estadístico de prueba que implicarán el rechazo de la hipótesis nula.

En las pruebas de hipótesis se puede cometer dos tipos de errores, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Resultados de las pruebas de hipótesis

	H_0 es verdadera	H_0 es falsa
Se rechaza H_0	Error tipo I	No hay error
No se rechaza H_0	No hay error	Error tipo II

Fuente: Mendenhall y Sincich (1997)

Elaboración propia

a) Error tipo I: Probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando esta es verdadera. Se denota como α .

b) Error tipo II: Probabilidad de aceptar la hipótesis nula cuando esta es falsa. Se denota como β .

1.4.4. Pruebas de bondad de ajuste

Según Kelton y Law (1991), las pruebas de bondad de ajuste se usan para determinar qué distribución de función de probabilidad se ajusta mejor a los datos recopilados.

Para la simulación de eventos discretos se utilizan la prueba Chi Cuadrado y la prueba Kolmogorov-Smirnov.

a) Prueba Chi cuadrado

Usado para determinar distribución de probabilidad según la muestra. Debe cumplir con lo siguiente:

- Tamaño de la muestra mayor a 90 datos
- Variables pueden ser discretas o continuas

$$\text{Estadístico de prueba: } X^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (o_i - e_i)^2}{e_i} \sim X^2 (m-k-1)$$

Donde:

o_i : es el valor observado.

e_i : es la frecuencia esperada

k: es el número de parámetros estimados.

m: número de categorías en que se agrupan los números

b) Prueba Kolmogorov-Smirnov

Para determinar el nivel de ajuste de la distribución al igual que la Chi-cuadrado se realiza la prueba K-S. Para esta prueba se deben cumplir lo siguiente:

- Las variables deben ser variables aleatorias continuas.
- El número de elementos de la muestra no es relevante.

1.5. Simulación de sistemas

La simulación se define como una técnica que imita el comportamiento de un sistema del mundo real y a medida que este se desarrolla con el tiempo. (Kelton y Sadowski, 2010).

1.5.1. Simulación de eventos discretos

Se define, según Winston (2005), como una herramienta para el modelado de un sistema estocástico que evoluciona con el tiempo mediante la representación de variables de estado que cambian solamente en puntos discretos del tiempo.

1.5.2. Etapas para la simulación de sistemas

Los pasos a realizar para el desarrollo del modelo con la herramienta de simulación de eventos discretos son:

a) Definición del sistema:

Se realiza un análisis preliminar del sistema a simular, se evalúa las restricciones que contiene, las variables que lo afectan, los indicadores a usar para el análisis del sistema y resultados que se buscan obtener.

b) Recolección de datos

Para el desarrollo del modelo se definen los datos necesarios para el funcionamiento lógico del mismo, posteriormente se deben tomar una muestra válida de datos que respalden la realidad a simular en base a data histórica, registros, etc.

c) Formulación del modelo:

Se desarrolla el modelo que simulará el proceso a analizar, definiendo sus variables y relaciones lógicas.

d) Verificación del modelo

Etapas en la cual se analiza la lógica operacional del modelo, es decir si ha sido diseñado correctamente y poder determinar si existen errores en el modelo.

e) Validación del modelo

Luego de la verificación se evalúa los resultados obtenidos comparándolos con los resultados reales del sistema, estos indicaran si el modelo es válido es decir que ha sido diseñado y desarrollado de forma correcta. En caso que los resultados obtenidos de la simulación no concuerden con los reales se debe corregir errores en el diseño y desarrollo hasta poder inferir que el modelo es válido.

f) Corridas y análisis de resultados

Luego de realizarse la verificación y validación al modelo, se realizan experimentos para analizar la simulación de los distintos escenarios que el modelo arroja. Posteriormente se formulan propuestas de mejora, brindando alternativas para la optimización del modelo el cual se hará a partir de modificación en asignación de recursos, procesos o procedimientos actuales.

g) Documentación de reportes e implementación

Etapas en la cual se realiza la documentación de los resultados obtenidos de la simulación del modelo luego de realizado el estudio. Se emite conclusiones del estudio estableciendo la mejor propuesta de mejora para el sistema.

1.5.3. Definiciones en la simulación de eventos discretos

La simulación de sistemas se basa en los siguientes fundamentos:

Evento:

Se dice del acontecimiento que se da en un instante de tiempo específico en el cual pueden cambiar las condiciones del sistema.

Entidad:

Una entidad se define como un objeto o persona que se mueve a través del sistema y que causa cambios en las variables y que además puede ser afectado por otras entidades.

Recurso:

Un recurso es un elemento estacionario que puede ser ocupado por una entidad, es decir puede brindar un servicio a las entidades del modelo. Se emplean para representar actividades del sistema que restringe flujos de entidades.

Atributo:

Se define como a una característica propia de una entidad. Estos pueden tomar diferentes valores para cada entidad, asimismo una entidad puede poseer varios atributos.

Variables de estado:

Variables que representan información de la situación de un sistema en un determinado momento del modelo.

Variables globales:

Representan características del sistema sin importar las entidades que este posea, no es propia de entidades.

1.5.4. Simulación con el software Arena

El software Arena (versión 14.7), desarrollado por Rockwell Automation, es una herramienta para trabajar casos de simulación de eventos discretos.

Mediante el uso de Arena se puede crear modelos de sistemas continuos o discretos, el cual se desarrolla en el lenguaje de programación SIMAN, este software integra todas las funciones necesarias para el desarrollo de una simulación confiable mediante el uso de animaciones, análisis de entrada o salida de datos y verificación del modelo implementado.

1.6. Caso práctico de Fournier

El siguiente caso presenta la formulación de un modelo de programación lineal para su aplicación en empresas con líneas de transporte urbano.

Fournier (2009) presenta un modelo para el desarrollo de un problema de horarios de viaje con el fin de satisfacer la demanda de pasajeros y lograr la minimización de costos. Esta demanda está determinada en periodos de tiempo a lo largo del día, sirve de información para determinar junto a la capacidad de los buses el número de viajes a realizar para cada periodo de tiempo. En este caso aplicativo se busca la sincronización entre los viajes de ida y de vuelta en una línea de transporte, para la programación de periodos de viaje y atender la demanda de pasajeros de forma óptima.

1.6.1. Resumen del problema

En el presente caso se desea conseguir un modelo de generación de viajes de ida y de vuelta para una línea de transporte para el cual se proporciona un calendario para cada dirección por separado. Este método presenta los siguientes inconvenientes para la programación de vehículos de transporte, los cuales son:

- No puede haber una cantidad de viajes de ida sin estar relacionada a los viajes de vuelta, ya que en caso contrario daría lugar a buses con muy pocos pasajeros o uso de gran cantidad de buses que solo cumplen algunos viajes.
- Los viajes de ida que no se sincronizan con los de vuelta puede generar buses con mayor tiempo de inactividad.

En este modelo se busca generar simultáneamente los viajes de ida y de vuelta de tal forma que cada viaje de ida esté relacionado con su respectivo viaje de vuelta y se cuenta con una escala mínima entre ambos. Por ello cada vehículo podrá realizar un viaje de vuelta justo después de haber finalizado el viaje de ida y se pondrá a disposición en el punto de partida de la línea, el cual es el terminal de autobuses o patio de maniobras de la empresa, luego procederá a formar una cola para realizar otro viaje de ida.

1.6.2. Formulación del modelo

Del modelo se establece que cada viaje de vuelta será automáticamente generado de su asociado viaje de ida. Asimismo se generan estos viajes de ida con el fin de satisfacer la demanda de los viajes de vuelta. Por lo tanto, se generan los viajes de ida con el fin de satisfacer la demanda de viajes hacia atrás, para esto se debe cambiar los períodos de tiempo de viajes de vuelta en períodos de tiempo de viajes de ida.

Se busca con este modelo la minimización óptima de viajes de ida y vuelta así como también la maximización del intervalo promedio entre viajes consecutivos de tal forma que se reduzcan los costos y considerando diversos factores (ver Anexo 1).

1.6.3. Conclusiones

El modelo presentado posee ciertas ventajas como: presenta linealidad, es fácil de resolver, minimiza el número de viajes y si hubiese varios periodos de tiempo para algunos viajes se puede elegir el periodo de tiempo más largo. Asimismo se aplicó a distintas líneas de transporte en las que se logra generar un horario óptimo de buses, redefiniendo los periodos de tiempo tomando en consideración para la programación, la intersección de los viajes de ida como los de vuelta.

Este modelo genera el uso de un menor número de buses en comparación de una programación de viajes de ida y de vuelta por separado. Por lo tanto se reduce los costos de operación, se logra brindar al pasajero un programa regular de buses y tiempos de espera bajos. Se mejora el nivel de servicio al crearse mayor cantidad de viajes y crear intervalos óptimos para cada periodo del día.

1.7. Caso práctico de Mauttone, Martinez y Urquhart

En el siguiente caso aplicativo se desarrolla un modelo para la optimización de frecuencias para un sistema de transporte público con el fin de determinar intervalos de tiempos correctos entre pasadas consecutivas de

autobuses. Para esto se considera la demanda del trayecto y se busca reducir el tiempo de viaje de los usuarios.

1.7.1. Resumen del problema

Mauttone, Martínez y Urquhart (2012) proponen una formulación de programación lineal entera mixta de un modelo existente (Constantin and Florian, 1995), en el cual se busca definir la frecuencia de pasadas de buses para cada línea de transporte, teniendo en cuenta que se ajuste a los niveles de demanda presentes en el trayecto de los viajes. Para ello se cuenta con determinado número de líneas para una determinada localización.

El modelo toma a una pequeña ciudad de Uruguay, Rivera, para su aplicación. La oferta es representada por las líneas de buses correspondiente cuyos trayectos están conformados por estaciones de paradas. La demanda se representa por los usuarios los cuales tienen un punto de parada de origen y destino.

1.7.2. Formulación del Modelo

En el presente modelo, los autores desarrollan la función objetivo como la minimización del tiempo de viaje y el tiempo de espera para los usuarios considerando la demanda, el tamaño de flota, entre otros aspectos, buscando brindar el mejor servicio al cliente y reducir la duración de su viaje de inicio a fin (ver Anexo 2).

1.7.3. Conclusiones

Con la formulación del modelo representado se logra una mejora del 3% del tiempo total, lo que se expresa como el nivel de frecuencias de buses adecuado que genera un menor tiempo de viaje en los usuarios y por consiguiente el servicio dado es mejor. Sin embargo el modelo es aplicado a una pequeña ciudad con niveles de demanda bajos, lo cual para casos más complejos el modelo no es el más adecuado. Por otro lado la modelación del caso de estudio no toma en cuenta los niveles de congestión

que se podría obtener en diferentes rutas horarias lo cual se puede considerar para otros casos de estudio

1.8. Caso práctico de Ortiz

Ortiz (2012) realiza un estudio para el caso de una línea de transporte que opera en un corredor de la ciudad de México DF. Para el cual tiene como objetivo el desarrollo de intervalos de buses luego el análisis de los escenarios y beneficios mediante la aplicación de un modelo matemático.

1.8.1. Resumen del problema

Como se mencionó, el caso de estudio se centra en un sistema de transporte público donde opera una única línea en un corredor exclusivo unidireccional de la ciudad de México con N paraderos, el cual es un circuito cerrado donde el fin del recorrido es el mismo inicio. Asimismo se cuenta con una flota fija de buses, los cuales paran en todas los paraderos a dejar o recoger pasajeros.

1.8.2. Formulación del Modelo

La formulación del presente caso tiene como función objetivo la minimización de la suma de todos los tiempos de viaje individuales de todos los pasajeros, desde que arriban al paradero hasta que llegan a su destino final, esto también considera la minimización de tiempos de espera en paradero o a bordo de los vehículos

1.8.3. Conclusiones

Mediante la aplicación del modelo descrito se obtuvieron los siguientes resultados: se redujo en 21% los tiempos de espera total percibidos, se redujo la variabilidad en 39% de espera en paraderos. Asimismo permitió reducir tiempo de ciclo y variabilidad, lo que generó una reducción de flota de 5% reduciendo de esta forma costos totales de operación para el corredor de línea en estudio.

CAPITULO 2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

En este capítulo se presenta información general de la empresa del caso en estudio tales como el sector económico, servicio que ofrece, recursos y estructura organizacional.

2.1. Descripción de la empresa

La empresa en estudio se dedica a la prestación de servicio de transporte urbano por medio de la posesión de una línea comercial en la ciudad de Lima Metropolitana (actividad económica clasificada con código CIUU 6021).

Esta línea de transporte desarrolla sus operaciones en el centro de Lima y distritos aledaños por lo cual se tiene un nivel de demanda importante por lo que representa esta parte de la ciudad y el flujo de gente que se moviliza a diario en estas zonas.

Esta empresa de transporte se ha logrado consolidar en la ciudad como una línea importante ya que cuenta con una trayectoria de más de veinte años en el sector de servicio de transporte.

Asimismo se destaca de la empresa el desarrollo de sus operaciones de manera formal en la que cuenta con unidades propias y trabajadores con relación legal laboral, a diferencia de la informalidad que abunda en otras empresas de este sector.

2.2. Misión y visión

Visión:

“Ser la mejor opción de línea de transporte urbana entre nuestros pasajeros y a la vez ser reconocida como la empresa más confiable en la ciudad”.

Misión:

“Ofrecer un alto nivel de seguridad y calidad a los pasajeros durante todo el trayecto”.

2.3. Instalaciones

La empresa cuenta con un local propio de 400 metros cuadrados aproximadamente en el cual se encuentra la zona de patio de maniobras de unidades, mantenimiento, almacén de unidades y el descanso de sus trabajadores, asimismo en este lugar se encuentran las oficinas administrativas de la empresa.

De esta instalación parten las unidades cada intervalo de tiempo y comienzan a desarrollar la ruta establecida hasta llegar a su destino final, luego realizan el viaje de regreso inmediatamente y terminan hasta volver a las instalaciones. Por tanto el tiempo de viaje es tanto de ida como de vuelta.

2.4. Servicio

La empresa en estudio brinda el servicio de transporte de personas por medio de una línea de transporte urbana la cual se desarrolla principalmente en el distrito de Cercado de Lima. Por otro lado para el arribo y descenso de pasajeros se desarrolla en determinados paraderos. Los lugares principales y puntos de control establecidos de la ruta son los siguientes: Avenida Argentina, Plaza 2 de Mayo, Plaza San Martín, Parque Universitario, Avenida Grau, Gamarra, Abancay y Plaza Unión.

Asimismo esta ruta es de aproximadamente trece kilómetros de trayecto en el cual el tiempo entre una unidad y otra es de ocho minutos aproximadamente. Por tal motivo el tiempo total de viaje de ida y vuelta es corto y puede variar entre una a dos horas y media como máximo según la congestión vehicular y la situación de la ruta en determinado tiempo. El desarrollo de operaciones inicia desde las 7 am y termina a las 9:30 pm aproximadamente.

En la figura 4 se muestra el diagrama de flujo del servicio de transporte en un viaje de ida y vuelta.

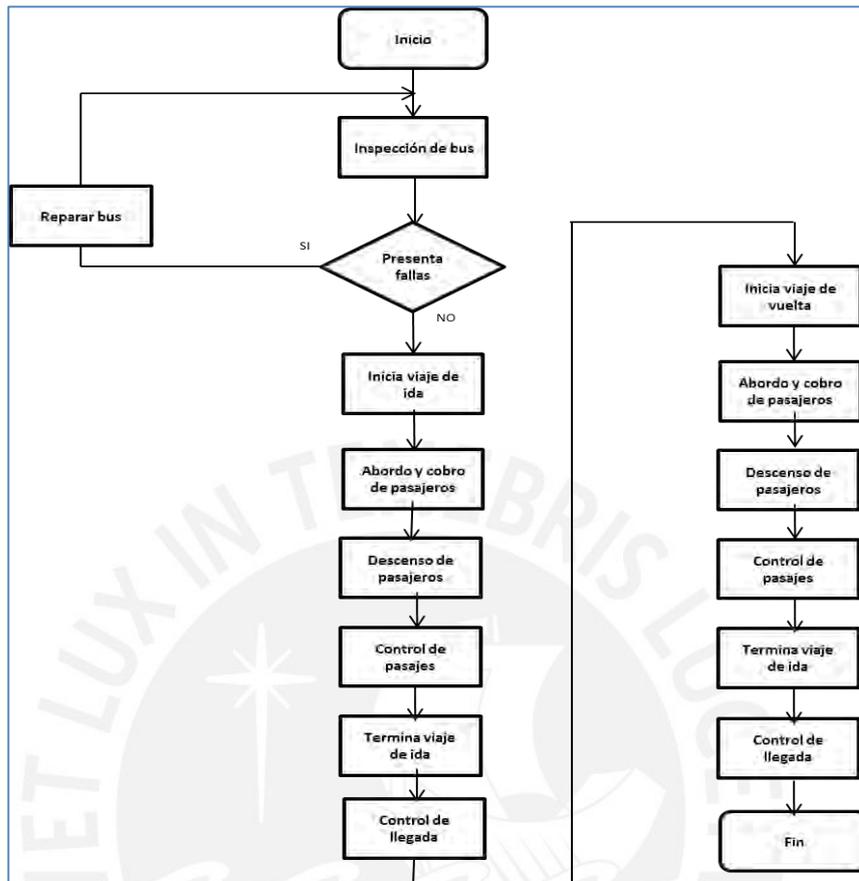


Figura 4: Diagrama de flujo de línea de transporte

Fuente: La empresa

Asimismo el recorrido que realiza la línea de transporte se observa en la figura 5.

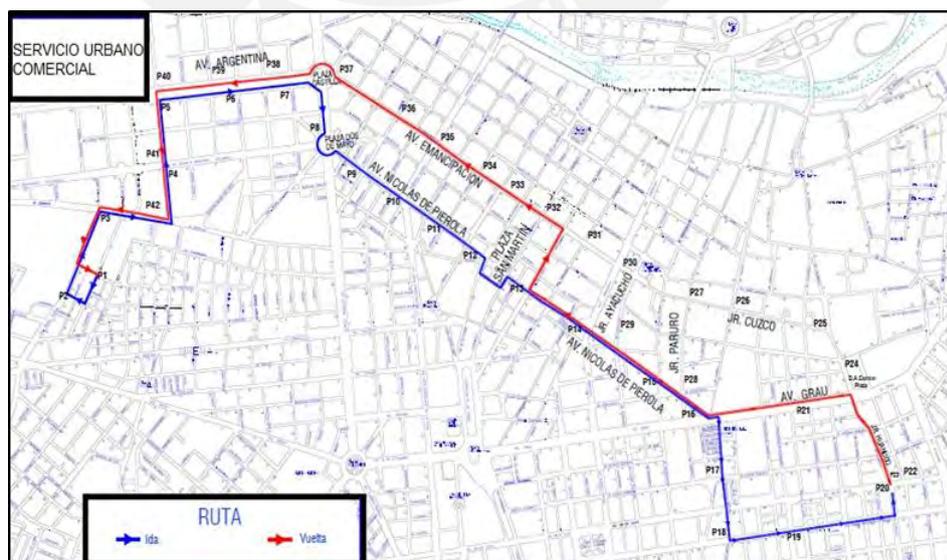


Figura 5: Recorrido del servicio de transporte de pasajeros.

Fuente: La empresa

2.5. Clientes

Los principales clientes que abordan la línea de transporte de la empresa son personas que necesitan desplazarse a lo largo de la zona del centro de Lima, por ende estos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Trabajadores: Quienes buscan desplazarse a sus centros de trabajo, principalmente en centros comerciales en el distrito de Cercado de Lima.
- Consumidores: Personas que buscan ir a esta zona de la ciudad para compras personales o para mercadería de sus negocios.
- Visitantes: Personas que desean visitar o conocer el centro histórico de la ciudad de Lima Metropolitana.

2.6. Recursos principales del proceso

La empresa cuenta actualmente con una flota de 20 unidades de transporte tipo bus urbano para el desarrollo del trayecto de la ruta. Estos buses cuentan con una capacidad de 30 personas sentadas y de 55 pasajeros como máximo. Además poseen dos puertas de apertura neumática, en la parte delantera y posterior respectivamente, y operan a base de combustible tipo GNV. En la figura 6 se observa el tipo de bus descrito para el estudio,

Por otro lado para el desarrollo de las actividades se cuentan con 26 operarios que tienen funciones de chofer-cobrador, 2 supervisores quienes abordan durante el viaje para el control de cobro de pasajes y 1 controlador de fin de ruta.



Figura 6: Bus Urbano.

Fuente. Sinomaq

2.7. Estructura Organizacional de la Empresa

La empresa cuenta con una organización funcional, dividido por departamentos. Las áreas principales que conforman la empresa son administración, mantenimiento, comercial y desarrollo humano, operaciones y legal. El organigrama que describe la estructura de la empresa se aprecia en la figura 7 y en la tabla 3 se describe de forma breve cada área.

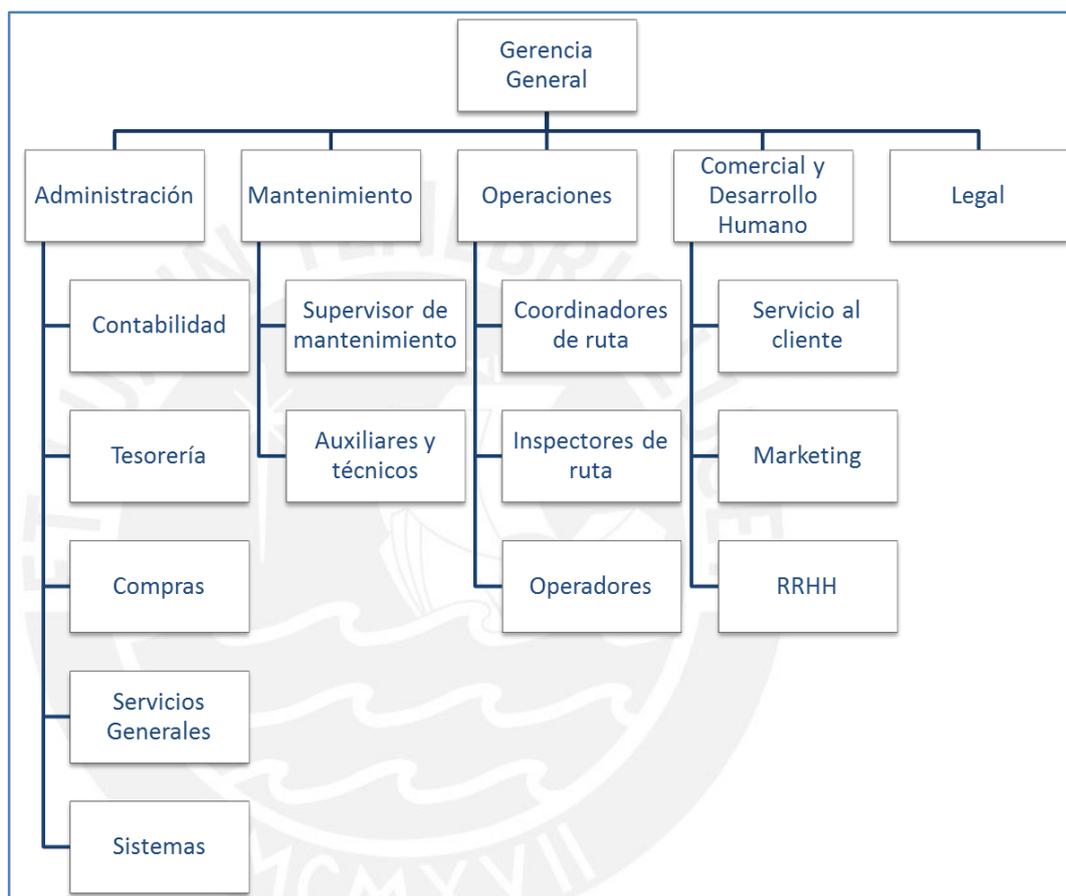


Figura 7. Organigrama de la empresa

Fuente: La empresa

Tabla 3: Descripción de áreas de la empresa

Área	Descripción
Administración	Involucra la gestión contable y de tesorería. También realizan las actividades de abastecimiento, servicios generales y de sistemas
Mantenimiento	Incluye las actividades de mantenimiento de la flota de buses a través de un supervisor, auxiliares y técnicos.
Operaciones	Se encarga de brindar y asegurar el correcto funcionamiento del servicio de transporte durante toda la ruta.
Comercial y desarrollo humano	Desarrolla las actividades de gestión y desarrollo humano, marketing y atención al cliente.
Legal	Se encarga de realizar todos los procesos legales en cuanto a aspectos relacionados a los buses, choferes y rutas de transporte.

Elaboración propia

CAPITULO 3 DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA

Luego del análisis y descripción del sistema operativo de la empresa se procede a realizar un diagnóstico de la situación actual con el fin de encontrar los principales problemas que le afectan. Para desarrollar esto se aplicaron herramientas de análisis de procesos como *Brainstorming*, diagrama de Pareto y análisis Causa-Efecto.

3.1. Aplicación de *Brainstorming*

Para el desarrollo de esta herramienta se seleccionó a un grupo de expertos de la empresa, quienes tienen puestos importantes para el funcionamiento del negocio. Entre estos están: el gerente, el jefe de operaciones, el jefe de mantenimiento, un supervisor de líneas y un chofer de transporte. Se procedió a realizar una lluvia de ideas del tipo no estructurado en un lapso de 20 minutos, en el cual en consenso con todo el grupo se eliminó las ideas duplicadas y problemas muy triviales. Posteriormente para la calificación de los problemas cada integrante brindó una evaluación respectiva según su punto de vista, desde una ponderación de alto impacto hasta una de impacto nulo. Los niveles de calificación se muestran en la tabla 4, según el nivel de impacto.

Tabla 4: Puntajes de evaluación

Puntaje de Evaluación	
Muy alto impacto	5
Alto impacto	4
Mediano Impacto	3
Bajo impacto	2
Muy bajo impacto	1

Elaboración propia

Luego, se obtuvo el porcentaje de cada problema tomando como total la sumatoria de los puntajes y brindando además un nivel de ponderación de importancia según la persona que califica, es decir se le asigna la mayor

ponderación al gerente por su conocimiento y experiencia; y por ende la menor ponderación al operario.

Tabla 5: Ponderación de problemas identificados

Item	Principales problemas	Gerente	Jefe de operaciones	Jefe de mantenimiento	Supervisor	Operario	Sumatoria	%	% Acumulado
		30%	20%	20%	15%	15%			
A	Los distintos niveles de congestión vehicular durante el día afectan la programación de las operaciones.	4	4	4	4	4	4.00	21%	21%
B	Tiempos de espera excesivos en choferes.	4	4	4	3	4	3.85	20%	41%
C	Buses en mal estado debido a fallas técnicas frecuentes.	4	3	4	3	4	3.65	19%	61%
D	Se tienen varios buses parados en la mayor parte del día	3	3	3	4	3	3.15	17%	77%
E	Accidentes de tránsito dañan la imagen de la empresa.	2	2	1	1	1	1.50	8%	85%
F	El nivel de servicio se ve afectado debido al trato de los choferes.	2	1	1	1	0	1.15	6%	91%
G	Falta de educación vial en algunos choferes.	1	1	1	0	0	0.70	4%	95%
H	Falta de control en abordaje de pasajeros.	0	1	1	0	1	0.55	3%	98%
I	Competencia entre choferes por afectan la secuencia entre buses.	0	0	0	1	1	0.30	2%	99%
J	Supervisores no controlan todos los viajes	0	0	0	1	0	0.15	1%	100%
Total							19.00	100%	

Elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla 5, se expresa de la columna del porcentaje acumulado que el 40% de los problemas vitales hacen que se originen el 80% de los efectos aproximadamente. Este valor nos sirve para realizar el análisis Pareto. El siguiente paso es realizar el diagrama Pareto con la información presentada, el cual se puede apreciar en la figura 8.

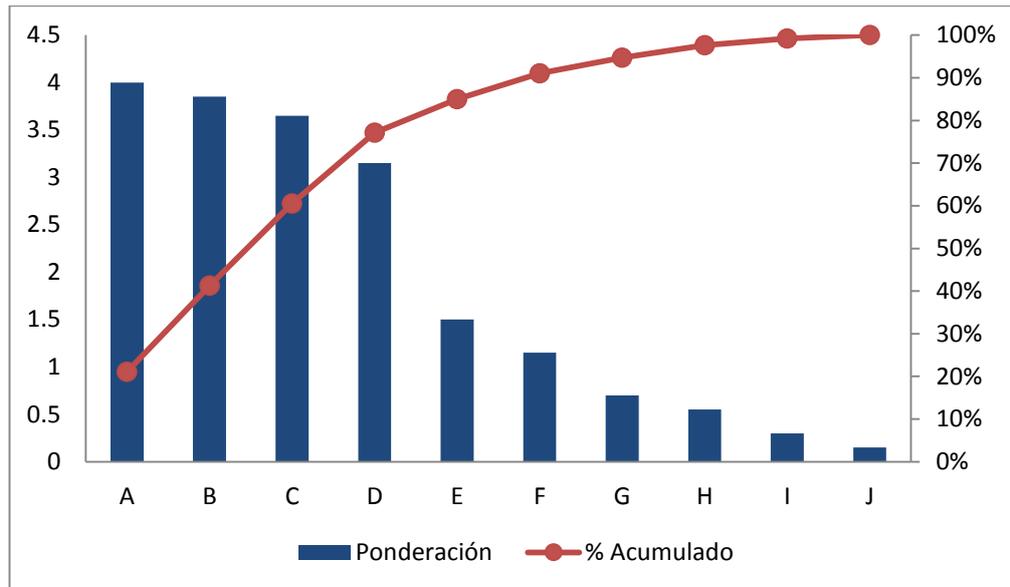


Figura 8: Diagrama de Pareto de los problemas de la empresa
Elaboración propia

Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de causa y efectos de los problemas más resaltantes los cuales son los siguientes:

- Los distintos niveles de congestión vehicular durante el día afectan la programación de las operaciones.
- Tiempos de espera excesivos en choferes.
- Buses en mal estado debido a fallas técnicas frecuentes.
- Se tienen tiempos excesivos de buses no operando.

3.2. Aplicación de Diagrama Causa-Efecto

Se realizó un análisis causa-efecto para cada uno de los puntos obtenidos más resaltantes por el análisis de Pareto. Mediante este análisis se puede determinar los principales factores que están vinculados a cada uno de los problemas obtenidos. En esta etapa también participaron las personas seleccionadas para el análisis anterior tanto como los jefes como los operarios.

El resultado para el problema 1 se puede apreciar en la figura 9:

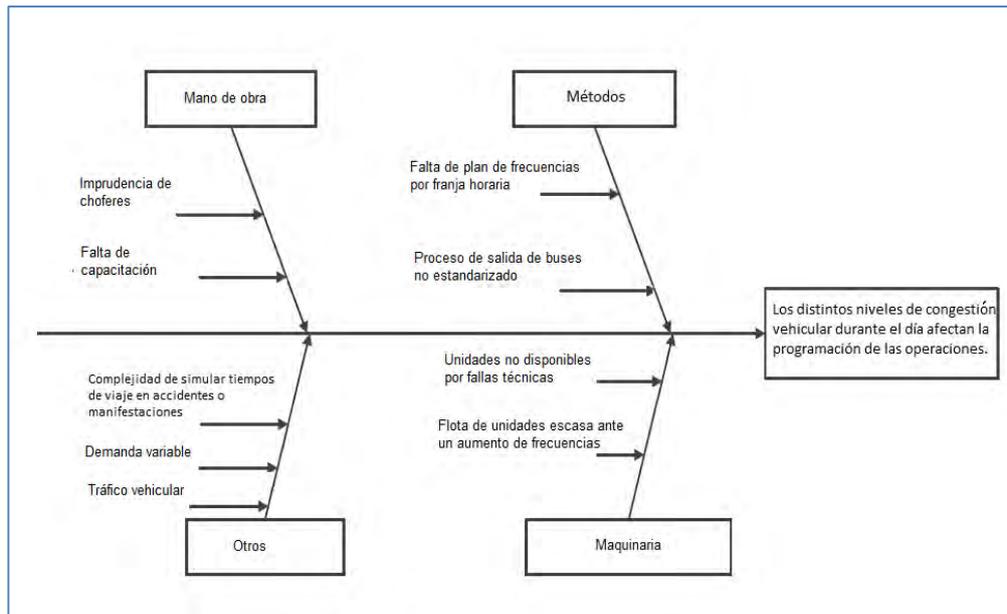


Figura 9. Diagrama de Ishikawa Problema 1

De la figura anterior se determina que el problema de inadecuada programación de operaciones durante el día se debe a la variación de la demanda horaria, accidentes o sucesos durante el viaje, flota inadecuada y la falta de un plan de frecuencias por franja horaria.

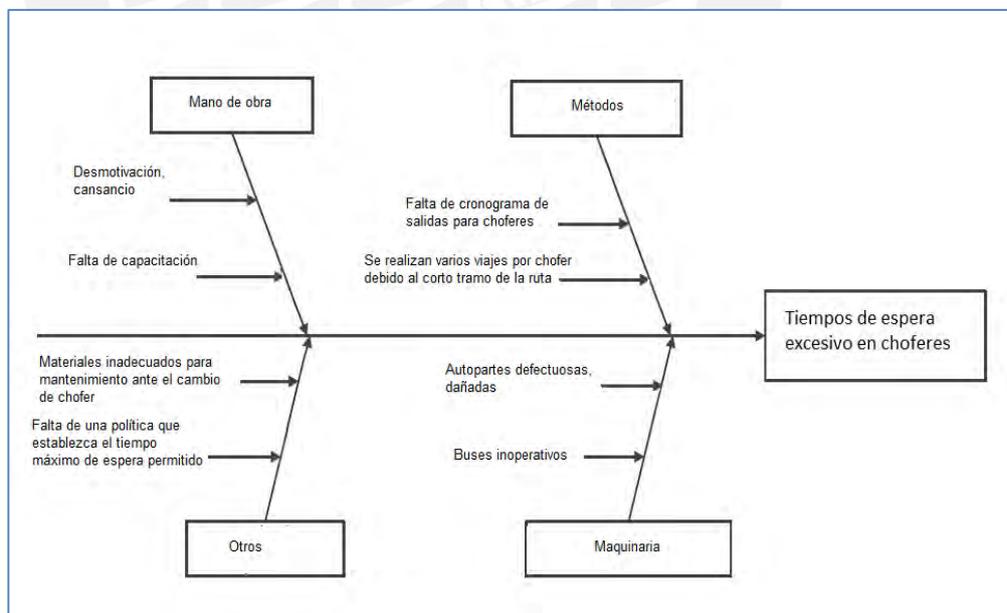


Figura 10: Diagrama de Ishikawa Problema 2

Del diagrama Ishikawa del problema 2 se observa en la figura 10, que se origina por la falta de un cronograma de salidas para los choferes, varios

viajes realizados, falta de control en tiempos de descansos, falta de capacitación, entre otros.

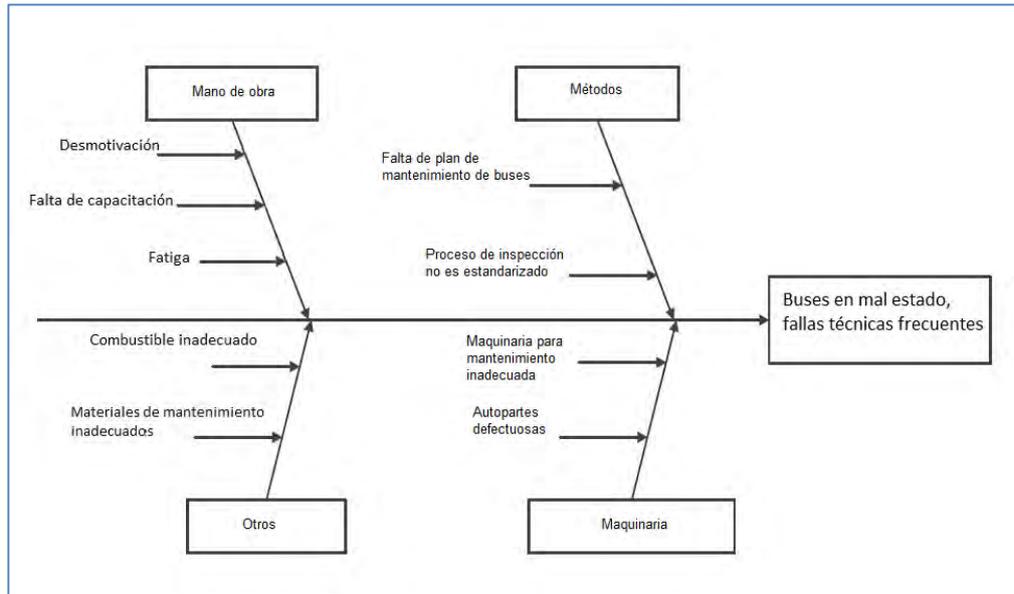


Figura 11: Diagrama de Ishikawa Problema 3

Del diagrama mostrado en la figura 11 se concluye que las fallas técnicas se deben a la falta de un plan de mantenimiento continuo, falta de capacitación, autopartes defectuosas, falta de motivación y compromiso, entre otros.

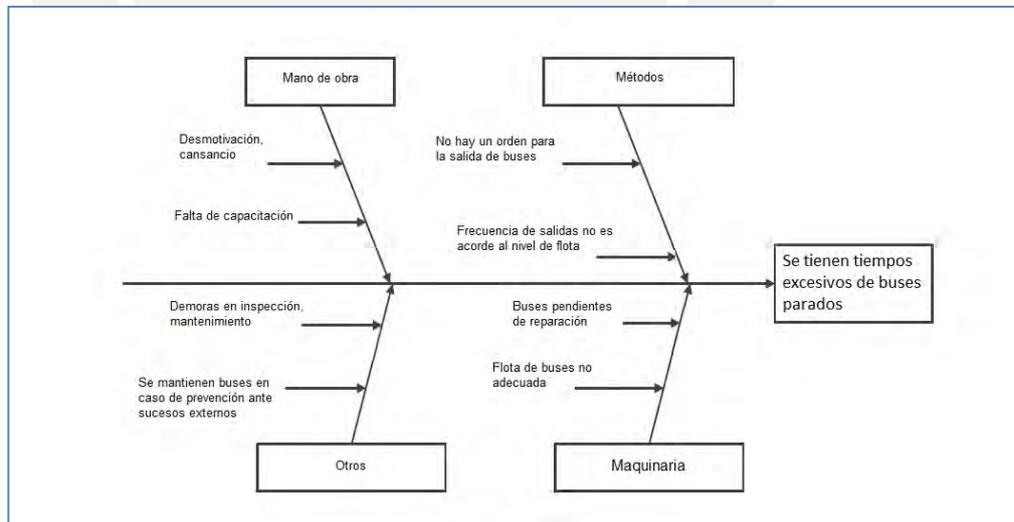


Figura 12: Diagrama de Ishikawa Problema 4

Del mismo modo, para el problema 4 identificado, como lo señala la figura 12, se tienen las siguientes causas: buses de parados por presentar fallas, flota no ajustada la demanda actual, falta de orden para la asignación de viajes, frecuencias de salidas no es eficiente, etc.

Tabla 6: Matriz de priorización de causas

Causa	Problema	Probabilidad 1-3	Impacto 1-3	Puntaje
Falta de plan de frecuencias de salidas	1	3	3	9
Flota de buses inadecuada	1,4	3	3	9
Tráfico vehicular	1	2	3	6
Eventos fortuitos en vías	1	1	3	3
Demanda variable	1	3	2	6
Falta de capacitación	1,2,4	2	2	4
Falta de cronograma para choferes	2	3	2	6
No hay límite de tiempo de descanso establecido para choferes	2,4	3	2	6
Se realizan varios viajes por chofer	2	3	1	3
Falta de plan de mantenimiento de buses	3,4	2	2	4
Proceso de inspección no es estandarizado	3	2	2	4
Maquinaria y autopartes defectuosos	3	1	2	2
Errores humanos, desmotivación, fatiga	2,3,4	2	3	6
Materiales de mantenimiento inadecuados	3	1	3	3
Proceso de salida de buses no es estandarizado	4	3	2	6
Buses para emergencias	4	1	1	1

Elaboración propia

Del análisis obtenido de la matriz de priorización de causas (tabla 6) se concluye que la falta de programación de salidas y la inadecuada flota son las causas que impactan más al problema de la congestión variable durante el día. Asimismo, para los problemas de tiempo de espera de choferes y buses parados se identificaron como principales causas a la falta de cronograma para choferes, tiempos de espera máximos permitidos y falta de un sistema de colas para la llegada y salida de buses.

Para estas causas, se procede a realizar la descripción respecto a la situación actual:

- a. **No se cuenta con un plan de frecuencias de salidas:** La línea de transporte de la empresa mantiene una frecuencia de salidas promedio durante todo el día de trabajo, el cual es de 8 minutos. Sin

embargo, el tiempo de viaje puede variar y diferenciarse en distintos periodos del día, esto debido a la diferente congestión vehicular que existe durante la mañana, tarde o en la noche.

A continuación se muestra en la tabla 7 los tiempos promedios de viaje en diferentes periodos del día:

Tabla 7: Tiempos de viaje por periodos

Periodo	Tiempo de viaje (minutos)
7:00-9:00 am	80
9:00-11:00 am	82
11:00-1:00 pm	106
1:00-3:00 pm	105
3:00-5:00 pm	110
5:00-7:30 pm	114
7:30-9:30 pm	86

Elaboración propia

Como se puede apreciar de la tabla anterior los niveles de tiempos de viaje presentan variabilidad a lo largo del día, se destacan las horas con mayor tiempo de viaje debido al mayor flujo de gente que transita en esta parte de la ciudad.

Por otro lado los niveles de demanda de pasajeros también varían a lo largo del día, lo cual tiene una relación con la congestión, debido a la mayor afluencia de personas en las rutas que opera la línea y esto se puede apreciar en la tabla 8.

Tabla 8: Demandas de pasajeros promedio por viaje por periodos

Periodo	Demanda (personas)
7:00-9:00 am	50
9:00-11:00 am	63
11:00-1:00 pm	65
1:00-3:00 pm	63
3:00-5:00 pm	70
5:00-7:30 pm	55
7:30-9:30 pm	40

Elaboración propia

Asimismo los tiempos de viajes mostrados en líneas anteriores se puede ver afectado ante situaciones externas en las carreteras que obstruyen el flujo de vehículos. La línea de transporte urbana de la empresa, como se mencionó, opera en el centro de la ciudad en el cual el flujo de personas y vehículos, en las calles y autopistas respectivamente, es elevado. Por otro lado, otra característica importante en esta zona de la ciudad de Lima es que se pueden presentar manifestaciones en las pistas distorsionando el sistema de transporte establecido tanto para la línea de la empresa como otros vehículos que circulan por esta zona.

El nivel de ocurrencia de estos hechos externos es aproximadamente tres veces por semana principalmente en horario de las tardes o puede darse en ciertos casos en la mañana. Esto ocasiona que el tiempo de viaje de los buses aumente entre media y una hora más. Por lo cual los costos de gasolina y mano de obra se incrementan. También se reduce el número de viajes por día ya que ante estos hechos los choferes dejan de realizar un viaje por el tiempo perdido.

- b. Falta de cronograma de salidas de choferes y buses en conjunto:** La cantidad de choferes que trabajan en la línea de la empresa es de 26 personas. Sin embargo el nivel de choferes productivos en un determinado periodo de tiempo está entre 12 a 18, lo que se determina que más de un 25% de choferes no se encuentren trabajando. Esto ocurre debido a un calendario actual irregular de salidas que permite al operario tener esperas de 30 minutos por viaje en promedio ya que luego de cada viaje puede esperar de 15 a 50 minutos para volver a trabajar. Es decir en un día un chofer pasa un 25% de su tiempo sin estar operando lo que genera se incurre en altos costos de mano de obra.
- c. Flota de buses inadecuada:** La empresa actualmente cuenta con una flota de veinte unidades de buses, sin embargo, debido al tiempo de viaje corto de la ruta, la utilización real de estas es de 15 unidades en promedio, siendo de hasta 12 unidades en determinados periodos de tiempo. Por consiguiente el nivel de flota no productiva de alrededor de 25% aproximadamente, ya que esta

cantidad de vehículos se mantiene no operando y en muchos casos el tiempo de espera para volver a realizar otro viaje es alto debido al desorden en las salidas.

El nivel de productividad promedio de las máquinas al día se señala en la tabla 9.

Tabla 9: Utilización promedio de unidades de buses por periodos

Periodo	Buses operando	Utilización
7:00-10:00 am	12	60%
10:00-2:00 pm	14	70%
2:00-5:30 pm	15	75%
5:30-9:30 pm	17	85%

Elaboración propia

d. Falta de plan de mantenimiento establecido: Los buses son la principal y única máquina para el desarrollo del sistema de transporte, A pesar de normas existentes y sanción a choferes que maniobran a estas de forma inadecuada, existe un importante gasto de tiempo y costo por fallas. Al mes el nivel de ocurrencia de fallas entre menores e importantes es de 36. Asimismo el nivel de prevención es inadecuado ya que no se realizan inspecciones antes y después de cada viaje en todas las unidades.

Otro aspecto importante es, la ocurrencia de una falla técnica durante el viaje no sólo genera costos de los pasajeros que se pierden, sino de los que ya abordaron, por lo cual los tiempos de ocurrencia de estos deben ser bajos.

3.3. Contramedidas

A estas causas raíces mencionadas, se les propone planteamientos de solución que permitan evaluar y resaltar aquellos más prácticos a implementar, estas contramedidas se observan en la tabla 10.

Tabla 10: Contramedidas para cada causa raíz

Problema	Causas	Costos anuales (Soles)	Contramedida
Nivel de congestión variable afectan las operaciones	Falta de plan de frecuencias de salidas	130,000	Aplicación de herramientas de simulación de sistemas para la adecuada asignación de salidas de frecuencias acorde a la demanda y congestión que maximice las utilidades.
	Demanda variable		
	Flota de buses inadecuada		
Tiempos improductivos de choferes, esperas prolongadas	Falta de cronograma para choferes	72,000	Aplicación de programación lineal para establecer un calendario de salidas acorde a las frecuencias que minimice los tiempos de recursos de mano de obra de los choferes.
	No hay límite de tiempo de descanso		
	Falta de capacitación		
Buses con poca utilización	Cola de buses no tiene un sistema de salidas y llegadas	15,000	Implementación de llegadas y salidas de buses acorde a las frecuencias establecidas, para obtención de la óptima flota y utilización.
	Frecuencia de salidas no es acorde al nivel de flota		
	Flota de buses inadecuada		
Buses en mal estado o con fallas técnicas	No hay un plan definido para el adecuado mantenimiento de los buses	21,000	Aplicación de herramientas de mantenimiento preventivo y correctivo a los buses, considerando un aprovechamiento eficaz de los tiempos.
	Errores humanos, desmotivación, fatiga		
	Materiales inadecuados		

Elaboración propia

Para obtención de los distintos costos promedios se basó en información de la empresa y costos involucrados, por ello en cada problema se considera lo siguiente:

- **Problema A:** Por proporción, la demanda de pasajeros, la cual es alta según lo mostrado, debe ir acorde a la oferta de buses, el costo mostrado es el que se dejaría de ganar por no atender esta demanda, para el cual se muestra un aumento de sólo 6% más de salidas al día para las horas pico.
- **Problema B:** Actualmente como máximo operan 20 choferes, sin embargo debido a la falta de una programación de salidas se contratan más operarios en total 26, se considera este costo como el costo de mano de obra anual reduciéndolo en un 20% del actual.

- **Problema C:** Costo aproximado por unidades de buses no utilizadas, las cuales involucra limpieza, mantenimiento, repuestos entre otros.
- **Problema D:** Se muestran los costos aproximados por reparación de unidades debido al mal mantenimiento así como costos por pérdida de pasajeros en un viaje no terminado.

Posteriormente se procede a aplicar la matriz de selección (priorización y selección de contramedidas) para determinar las propuestas a implementar. Esto se puede observar en la tabla 11 mostrada a continuación:

Tabla 11: Priorización y Selección de Contramedidas de los problemas

Criterios de Evaluación	Factores de Evaluación	A	B	C	D
Facilidad de implementación	5	4	3	5	3
Tiempo de implementación	4	2	3	3	3
Impacto a otras áreas	3	4	3	3	3
Costo de implementación	5	3	4	2	2
Seguridad en la organización	3	4	4	5	5
Impactos generales	4	5	4	3	3
PUNTAJE		89	87	84	83

Elaboración propia

De la tabla 8, se puede concluir que las contramedidas o soluciones a aplicar por nivel de importancia, son las siguientes:

- Solución 1: Diseñar un programa óptimo de intervalos de salidas de buses acorde a la demanda de los usuarios y congestión que incremente la productividad de la empresa generando mayor utilidades.
- Solución 2: Obtener un calendario de trabajo para los operarios que maximice su eficiencia y se reduzca sus tiempos de espera, optimizando de esta forma los recursos de mano de obra y brindando

un mejor servicios debido a la ejecución de un calendario establecido para el usuario.

- Solución 3: Implementar un sistema de colas para los buses en relación a la programación de frecuencias y cronograma de choferes para la optimización del proceso.

3.4. Cronograma de trabajo

El presente caso de estudio se procederá a desarrollar de acuerdo al cronograma presentado en el gráfico 13, el cual indica los tiempos necesarios para cada actividad según lo requerido.

Etap	Actividad	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA	Diagnóstico	■	■										
PROPUESTA DE MEJORA	Recopilación de datos			■	■	■							
	Desarrollo del modelo						■	■					
	Análisis y validación de resultados								■				
	Propuesta de mejora									■			
EVALUACION ECONÓMICA	Evaluación económica de propuesta									■	■		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES													■

Figura 13. Diagrama de Gantt Caso de estudio

Elaboración propia

De la figura mostrada se determina lo siguiente: la actividad inicial para el caso de estudio será el diagnóstico y análisis de la problemática. Posteriormente se realiza la propuesta de mejora con la recopilación de datos, necesarios para validar el modelo, (esta actividad tendrá el tiempo mayor en realizarse debido a la elevada información de distintas variables que presenta el modelo), luego está el desarrollo del modelo. Asimismo, se procede a analizar y validar los resultados para presentar la propuesta de mejora más óptima, para estas actividades los tiempos son más cortos debido a que se realizan con ayuda del software Arena.

Finalmente se realiza la evaluación económica y financiera; y las recomendaciones y conclusiones para la aplicación de este modelo.

CAPITULO 4 PROPUESTA DE MEJORA

En el presente capítulo se desarrolla la propuesta de mejora para la empresa de transporte urbano, para ello se inicia con el análisis de datos, luego se procede con la elaboración del modelo en Arena y posteriormente la validación de resultados para demostrar que el modelo es acorde al sistema del caso en estudio. Adicional a ello se propone un modelo en programación lineal para optimizar la utilización de los recursos. Finalmente se presenta el desarrollo de la propuesta de mejora resaltando los resultados obtenidos.

4.1. Análisis de datos

Se procede al análisis de los datos de entrada que requiere el modelo. Este proceso abarca la recopilación de datos, clasificación del tipo de dato y determinación de función de probabilidad en caso se tratase de variables aleatorias mediante el uso de un tamaño de muestra significativo.

4.1.1. Recopilación de datos

Se realiza la recopilación de todos los datos necesarios presentes en el sistema en estudio. Esta recolección se hace de forma correcta que permita simular un sistema confiable significativo con la realidad. Para esto antes se determina los datos a recolectar y se clasifica según su tipo.

4.1.1.1. Determinación de datos

En esta sección se muestran todos los datos a considerar en el presente sistema para su modelación, los cuales son los siguientes:

- Tiempo entre llegadas de pasajeros en minutos al paradero $i=1, 2, 3, \dots, 15$, del periodo del día $j=1, 2, \dots, 6$.
- Tiempo de viaje del bus entre el paradero i al paradero k en el periodo del día $j=1, 2, \dots, 6$.
- Tiempo de permanencia del bus en un paradero para el abordaje y descenso de pasajeros.
- Tiempos de señalización de semáforos entre los paraderos.
- Tiempo de iniciación de salida de bus de empresa a la ruta.
- Tiempo de llegada de ruta a la empresa.
- Franja horaria del periodo del día $j=1, 2, \dots, 6$.

- Capacidad máxima del bus.
- Proporción de pasajero que aborda en el paradero $i=1, 2, 3, \dots, 15$ y se dirige a paradero de destino $i=2, 3, \dots, 16$.
- Probabilidad de desertar de un pasajero de usar el servicio por espera.
- Probabilidad de desertar de un pasajero de usar el servicio por encontrar bus lleno.
- Tiempo de proceso de control en el fin de viaje de ida.

4.1.1.2. Clasificación de datos

Los datos a usar en el sistema de transporte se clasifican según su tipo, es decir, en datos determinísticos, proporciones o variables aleatorias. Esta clasificación se detalla en la tabla 12.

Tabla 12: Clasificación de datos

Dato	Tipo
Tiempo entre llegadas de personas en minutos al paradero $i=1, 2, 3, \dots, 15$, del periodo del día $j=1, 2, \dots, 4$	Variable Aleatoria
Tiempo de viaje del bus entre el paradero i al paradero k en el periodo del día según nivel de tráfico $j=1, 2, \dots, 6$	Variable Aleatoria
Tiempos de señalización de semáforos entre los paraderos	Variable Aleatoria
Tiempo de proceso de control en el fin de viaje de ida	Variable Aleatoria
Probabilidad de pasajeros que aborden en el paradero $i=1, 2, 3, \dots, 15$ y se dirijan al paradero de destino $i=2, 3, \dots, 16$	Proporción
Probabilidad de desertar de un pasajero de usar el servicio por espera	Proporción
Probabilidad de desertar de un pasajero de usar el servicio por encontrar bus lleno	Proporción
Probabilidad del tamaño de grupo de cada llegada	Proporción
Tiempo de permanencia del bus en un paradero para el abordaje y descenso de pasajeros	Determinístico
Tiempo de inicio de salida de bus de empresa a la ruta	Determinístico
Tiempo de llegada de ruta a la empresa	Determinístico
Capacidad máxima del bus.	Determinístico
Franja horaria del periodo del día $j=1, 2, \dots, 4$ para el arribo de pasajeros.	Determinístico
Tiempo de traslado de último paradero de ida al primer paradero de vuelta	Determinístico

4.1.2. Tamaño de muestra y determinación de variables aleatorias mediante pruebas de bondad de ajuste

Posterior a la determinación y clasificación de los datos a usar en el modelo, se calcula el tamaño de muestra para determinar a un nivel significativo la función de probabilidad en el caso de las variables aleatorias o determinar la relación en caso de proporciones.

4.1.2.1. Estimación de la media

Se calcula el tamaño de muestra mediante la estimación de la media para variables aleatorias. Primero se toma una muestra aleatoria de 30 datos para obtener una media y varianza de esta muestra, posteriormente con esta información y con un error de 5% se calcula el tamaño ajustado de la muestra (considerando que la población es finita para este sistema).

La población se considera para un horizonte de dos semanas de funcionamiento de la línea de transporte (de lunes a viernes), en función de los periodos del día. Por ejemplo para el tiempo entre llegadas se calcula el total de personas a arribar en cada periodo durante 10 días. Para el caso de los tiempos entre paraderos, la población se relaciona a la cantidad de viajes durante ese periodo del día.

En la tabla 13 se muestran los cálculos del tiempo entre llegadas (4 periodos) y en la tabla 14 los tiempos entre paraderos de viaje de bus (6 periodos) para el periodo inicial en ambos casos. El resumen de todos los periodos se encuentran en el Anexo.

Tabla 13: Tamaño de muestra de variables aleatorias tiempo entre llegadas periodo1 (7:00 a 9:00 am)

Variable	Media de la muestra	Varianza de la muestra	d	Tamaño de muestra	N	Tamaño ajustado	Distribución
Tiempo entre llegadas paradero 1	1.96	0.91	0.10	328	635	216	Beta
Tiempo entre llegadas paradero 2	1.08	0.53	0.05	362	1249	281	Beta
Tiempo entre llegadas paradero 3	2.12	1.24	0.11	530	570	275	Beta
Tiempo entre llegadas paradero 4	1.68	0.85	0.08	391	661	246	Erlang
Tiempo entre llegadas paradero 5	4.35	2.06	0.22	344	271	152	Beta
Tiempo entre llegadas paradero 6	7.43	3.71	0.37	384	163	115	Beta
Tiempo entre llegadas paradero 7	32.08	15.80	1.60	373	38	34	Empírica
Tiempo entre llegadas paradero 9	2.32	1.18	0.12	398	542	230	Beta
Tiempo entre llegadas paradero 10	4.42	2.28	0.22	408	276	165	Beta
Tiempo entre llegadas paradero 11	2.71	1.40	0.14	410	439	212	Beta
Tiempo entre llegadas paradero 12	3.08	1.31	0.15	276	380	160	Beta
Tiempo entre llegadas paradero 13	4.41	2.16	0.22	371	271	157	Beta
Tiempo entre llegadas paradero 14	22.57	8.35	1.13	210	52	41	Beta
Tiempo entre llegadas paradero 15	39.88	16.81	1.99	273	30	30	Beta

Elaboración propia

Tabla 14: Tamaño de muestra de variables aleatorias tiempo entre paraderos periodo 1 de tráfico (7:00 a 8:30 am)

Variable	Media de la muestra	Varianza de la muestra	d	Tamaño de muestra	N	Tamaño ajustado	Distribución
Tiempo entre paradero 1 y paradero 2	2.45	0.76	0.12	149	113	64	Erlang
Tiempo entre paradero 2 y paradero 3	4.30	0.58	0.21	28	113	30	Beta
Tiempo entre paradero 3 y paradero 4	2.06	0.33	0.10	40	113	30	Erlang
Tiempo entre paradero 4 y paradero 5	6.11	0.88	0.31	32	113	30	Beta
Tiempo entre paradero 5 y paradero 6	1.47	0.29	0.07	58	113	38	Gama
Tiempo entre paradero 6 y paradero 7	3.03	0.45	0.15	33	113	30	Beta
Tiempo entre paradero 7 y paradero 8	3.53	0.62	0.18	48	113	34	Weibull
Tiempo entre paradero 9 y paradero 10	2.54	0.66	0.13	102	113	54	Beta
Tiempo entre paradero 10 y paradero 11	2.45	0.57	0.12	83	113	48	Gama
Tiempo entre paradero 11 y paradero 12	10.33	1.97	0.52	56	113	37	Beta
Tiempo entre paradero 12 y paradero 13	3.23	0.66	0.16	64	113	41	Lognormal
Tiempo entre paradero 13 y paradero 14	3.03	0.54	0.15	49	113	34	Lognormal
Tiempo entre paradero 14 y paradero 15	2.31	0.37	0.12	40	113	30	Gama
Tiempo entre paradero 15 y paradero 16	2.37	0.30	0.12	24	113	30	Lognormal

Elaboración propia

Por otro lado se toma en cuenta para el modelo los tiempos de demora por semaforización, estos se trabajarán como una variable discreta. A continuación se muestra en la tabla 15, el tiempo de semaforización antes de llegar a la estación 1 (ver lista completa en anexos):

Tabla 15: Semaforización antes del paradero 1

Rojo	Amarillo	Verde	Total Ciclo	Total rojo-ámbar	Total verde	Variable
00:00:36	00:00:03	00:00:54	93.00	39.00	54.00	Empírica discreta

Fuente: La empresa

También se presenta el modelo un tiempo variable de control al final del viaje de ida que según experiencia de trabajadores puede modelarse como una función Triangular (0.5, 2, 4.5).

Luego de calculado el tamaño de muestra a las variables aleatorias se procede a realizarle la prueba de bondad de ajuste para determinar la función de probabilidad a la cual se ajusta mejor. Esto se realizó con la herramienta Input Analyzer, lo cual se puede observar en la figura 14 como ejemplo del análisis de una variable (ver las demás variables en Anexo):

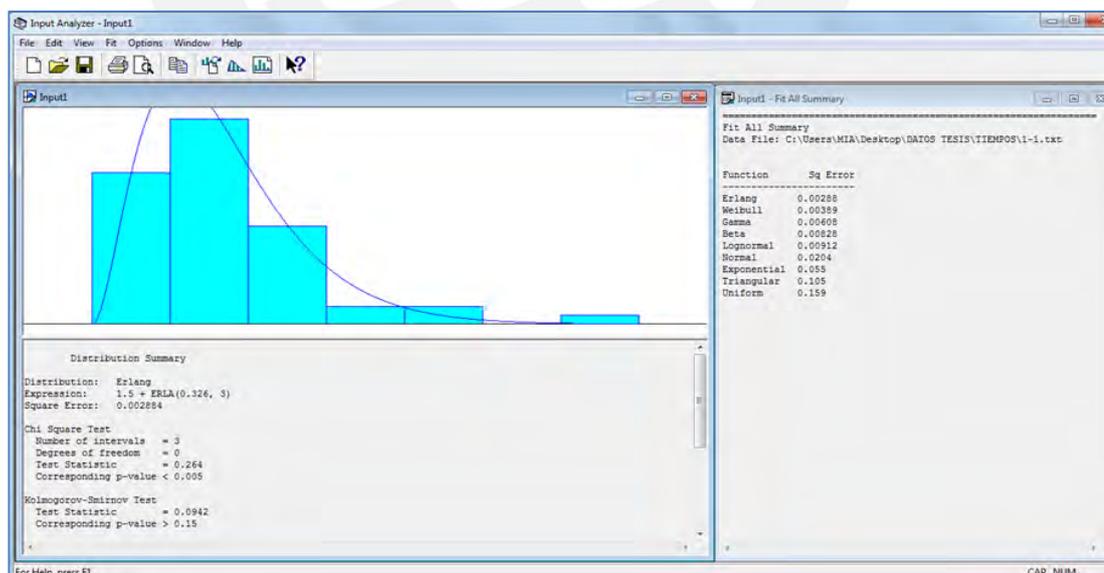


Figura 14: Prueba de bondad de ajuste de la variable aleatoria "Tiempo entre paradero 1 y paradero 2" del periodo 1.

De la imagen se concluye que la variable de traslado “Tiempo entre paradero 1 y paradero 2” del periodo 1, se ajuste mejor a la función de probabilidad Erlang, ya que esta presenta menor error cuadrático como se observa en el resumen de la imagen.

Asimismo se puede precisar que al ser una variable continua puede cumplir ambas pruebas tanto Chi-Cuadrado como la prueba K-S, sin embargo el estadístico “p-value” no cumple para la primera y si para la segunda, lo cual es suficiente para aceptar la hipótesis de que la variable se ajusta a la función indicada.

4.1.2.2. Estimación de la proporción

Mediante la estimación de la proporción se calcula un tamaño de muestra para obtener una proporción significativa. Para lo cual se toma una muestra inicial aleatoria de 30 datos para obtener una proporción, luego con esta información y con un error de 5% se calcula el tamaño ajustado de la muestra (considerando que la población es finita para este sistema para el periodo de un día). A continuación, en la tabla 16 y en la tabla 17, se presentan las probabilidades de destino calculadas para cada paradero para el viaje de ida y de vuelta:

Tabla 16: Probabilidades de destino viaje de ida

De	Hacia	Proporción esperada	Error	Tamaño de muestra	Tamaño ajustado	Proporción calculada
Paradero 1	Paradero 2	0.085	0.05	120	84	0.09
	Paradero 3	0.035	0.05	51	43	0.03
	Paradero 4	0.203	0.05	249	132	0.22
	Paradero 5	0.300	0.05	323	150	0.3
	Paradero 6	0.221	0.05	264	136	0.22
	Paradero 7	0.067	0.05	96	72	0.06
	Paradero 8	0.077	0.05	109	79	0.08
Paradero 2	Paradero 3	0.026	0.05	39	34	0.024
	Paradero 4	0.168	0.05	214	122	0.181
	Paradero 5	0.406	0.05	371	160	0.4
	Paradero 6	0.231	0.05	273	138	0.23
	Paradero 7	0.048	0.05	70	56	0.054
	Paradero 8	0.124	0.05	166	105	0.11
Paradero 3	Paradero 4	0.099	0.05	137	92	0.11
	Paradero 5	0.362	0.05	355	157	0.38
	Paradero 6	0.368	0.05	357	157	0.35
	Paradero 7	0.034	0.05	51	43	0.04
	Paradero 8	0.097	0.05	134	91	0.12

Paradero 4	Paradero 5	0.181	0.05	228	126	0.22
	Paradero 6	0.458	0.05	381	162	0.46
	Paradero 7	0.077	0.05	110	79	0.08
	Paradero 8	0.228	0.05	271	138	0.24
Paradero 5	Paradero 6	0.302	0.05	324	150	0.3
	Paradero 7	0.148	0.05	194	115	0.15
	Paradero 8	0.529	0.05	383	162	0.55
Paradero 6	Paradero 7	0.074	0.05	105	77	0.08
	Paradero 8	0.931	0.05	98	73	0.92

Elaboración propia

Tabla 17: Probabilidades de destino viaje de vuelta

De	Hacia	Proporción esperada	Error	Tamaño de muestra	Tamaño ajustado	Proporción calculada
Paradero 9	Paradero 10	0.029	0.05	43	38	0.03
	Paradero 11	0.513	0.05	384	162	0.48
	Paradero 12	0.124	0.05	167	105	0.11
	Paradero 13	0.136	0.05	181	110	0.14
	Paradero 14	0.127	0.05	170	106	0.12
	Paradero 15	0.076	0.05	108	78	0.08
	Paradero 16	0.038	0.05	57	47	0.04
Paradero 10	Paradero 11	0.158	0.05	205	118	0.16
	Paradero 12	0.238	0.05	279	140	0.24
	Paradero 13	0.258	0.05	295	144	0.26
	Paradero 14	0.195	0.05	241	130	0.2
	Paradero 15	0.061	0.05	88	67	0.08
	Paradero 16	0.056	0.05	82	63	0.06
Paradero 11	Paradero 12	0.063	0.05	91	69	0.06
	Paradero 13	0.262	0.05	297	144	0.26
	Paradero 14	0.458	0.05	381	162	0.44
	Paradero 15	0.133	0.05	177	109	0.13
	Paradero 16	0.109	0.05	149	98	0.11
Paradero 12	Paradero 13	0.145	0.05	191	114	0.15
	Paradero 14	0.452	0.05	381	162	0.45
	Paradero 15	0.250	0.05	288	142	0.25
	Paradero 16	0.132	0.05	176	108	0.15
Paradero 13	Paradero 14	0.345	0.05	347	155	0.37
	Paradero 15	0.342	0.05	346	155	0.35
	Paradero 16	0.262	0.05	297	144	0.28
Paradero 14	Paradero 15	0.285	0.05	313	148	0.31
	Paradero 16	0.669	0.05	340	154	0.69

Elaboración propia

Cabe mencionar que tanto el “paradero 7” como el “paradero 15” no se muestran pues su destino será siempre ir al paradero final el cual justamente es el siguiente próximo.

Por otro lado, en la tabla 18, se tienen las proporciones de tamaño de grupo, proporciones de desertar por encontrar bus lleno y proporciones de espera máxima (relación de pasajeros que esperan hasta 5 minutos, 10 minutos, 15 minutos, 20 minutos o más de 20 minutos) obtenidas por una encuesta realizada con un error de 0.05.

Tabla 18: Otras proporciones

Variable	Proporción esperada	Error	Tamaño de muestra	Tamaño ajustado
Probabilidad de tamaño de grupo (1,2,3,4,5 personas)	0.86	0.05	178	172
Probabilidad de desertar por esperar (5, 10 ,15, 20 o más de 20 minutos)	0.46	0.05	382	259
Probabilidad de no desertar por encontrar bus lleno	0.8	0.05	245	236

Elaboración propia

4.1.2.3. Datos determinísticos

Asimismo se cuentan con datos determinísticos en base a información de la empresa mostrados en la tabla 19.

Tabla 19: Datos determinísticos

Dato	Valor
Tiempo de permanencia del bus en un paradero para el abordaje y descenso de pasajeros (segundos)	20
Tiempo de inicio de salida de bus de empresa a la ruta (minutos)	4
Tiempo de llegada de ruta a la empresa (minutos)	4
Capacidad máxima del bus	56
Tiempo de traslado de último paradero de ida al primer paradero de vuelta (minutos)	3

Elaboración propia

4.2. Desarrollo del modelo

Se realiza la descripción del modelo para el caso de la empresa en estudio, aplicando la herramienta de simulación de sistemas con ayuda del software Arena (versión 14.7), indicando todos los elementos que presenta, la funcionalidad del mismo así como los supuestos asumidos para su desarrollo.

4.2.1. Identificación de Entidades, Atributos, Recursos, Estaciones y colas

a) Entidades

Las entidades del modelo del sistema de transporte analizado se pueden clasificar en los siguientes:

- Usuarios: que arriban a los paraderos para abordar el bus, los cuales van llegando a cada paradero de la ruta en estudio.
- Buses de la empresa que entran al sistema dirigiéndose a una cola de buses para iniciar viajes según las frecuencias. Estas entidades no saldrán del sistema ya que luego de completado un viaje volverán a la cola.
- Entidad fantasma para usuarios que desertan el servicio: entidad ficticia que ingresa al sistema cada minuto y realiza la función de revisar si las personas presentes en la cola de los paraderos ya superaron su espera máxima para de esta forma retirarlos del sistema, sino regresarlos a la cola.
- Entidad de señalización de salidas: entidad que señala las frecuencias que los buses deben partir, su intervalo de salidas representa las frecuencias de los buses, ya que al crearse mandarían una señal a la cola de buses para que se libere un bus e inicie un viaje.

b) Atributos

Los atributos definidos en el modelo son:

- Destino del pasajero: Atributo que señala en qué paradero el pasajero descenderá.
- Tipo de pasajero: Atributo que señala en que paradero el pasajero abordó el bus.

- Tiniciolda: Atributo que marca el momento en que un bus inicia el viaje de ida.
- TinicioVuelta: Atributo que marca el momento en que un bus inicia el viaje de ida.
- Tamaño de grupo: Cantidad de personas por grupo que llegan al paradero.
- Bus: Atributo propio de los buses para diferenciarlos de las otras entidades (personas).
- Tiempo de espera máximo: Por parte del usuario antes de desertar luego de esperar el bus en el paradero.
- Instante de arribo de un usuario a su paradero respectivo.
- Tiempo en el sistema: Tiempo de viaje completo de un bus al recorrer la ruta de ida y vuelta.

c) Recursos

La empresa para el desarrollo de la línea de transporte brinda recursos como los buses y choferes, sin embargo para el presente modelo los buses son considerados como entidades. Por tanto los recursos del modelo son los choferes que se dispondrán para la salida de cada bus.

d) Estaciones

Las estaciones, definidas en el modelo son representadas por los paraderos de la ruta en el cual opera la línea de transporte:

- Estaciones viaje de ida: Paradero1, Paradero2, Paradero3, Paradero4, Paradero5, Paradero6, Paradero7, Paradero8 (paradero final de viaje de ida).
- Estaciones viaje de vuelta: Paradero9, Paradero10, Paradero11, Paradero12, Paradero13, Paradero14, Paradero15, Paradero16 (paradero final de viaje de vuelta).
- Patio de maniobras: Estación de donde saldrán y llegarán los buses luego de recorrer una vuelta.

e) Colas

Se clasifican en:

- Pasajeros: Se definen las colas presentes en el modelo para los usuarios en cada uno de los paraderos, la metodología de arribar será por orden de llegada, es decir, en el momento de arribar el bus todos los presentes en la cola de cada paradero ascenderán a este, según el orden de llegada, siempre que no exceda la capacidad. En el modelo se define como sistema FIFO.
- Buses: Se define una cola para los buses los cuales van entrando a la ruta conforme al intervalo de tiempo más apropiado y luego de finalizar el viaje regresarán a la cola, se rige por el tipo FIFO (First In First Out).
- Pasajeros a bordo: Colas imaginarias para representar al grupo de pasajeros que no descenderán al llegar a un determinado paradero (se asigna el nombre "Pasajeros que no bajan en paradero").

4.2.2. Supuestos

Los supuestos son las diferencias entre el modelo y el sistema; y es necesario considerar una cantidad adecuada de supuestos para el desarrollo del modelo, ni muchos pues simplificaría al modelo ni pocos pues se volvería muy complejo. Para el trabajo desarrollado se tienen los siguientes supuestos:

- Los tiempos de permanencia en cada estación, en los cuales se abordan y descenden, son constantes debido a la poca variabilidad y al corto tiempo.
- Pasajeros abordan aunque no hayan asientos libres.
- No es posible que el bus exceda la capacidad normalmente estipulada.
- No se considera fallas técnicas de los buses, accidentes o problemas con la policía de tránsito.
- Los choferes de los buses mantienen un rendimiento de velocidad similar según el horario del día y de correcto comportamiento.
- El bus solo descenderá y abordará pasajeros en los principales y autorizados paraderos que se muestran en el modelo.

- El bus se detiene en los paraderos así no haya descensos ni abordajes.
- No hay competencia entre choferes, por tanto no es posible adelantar a otros.
- Pasajeros abordan por orden de llegada.
- No se considera a pasajeros escolares, ya que representan al 4.5% de los usuarios en general (Protransporte).
- Los choferes cobran siempre la tarifa correspondiente, la cual es única para cualquier destino y de 1 S/. (al ser una ruta de tramo corto la tarifa es general).
- El tiempo de entrar y salir del patio de maniobras a la ruta se considera constante pues es una distancia corta de tres cuadras.
- El modelo define paraderos que representan a las personas que suben en un rango promedio de 5 cuadras, por lo tanto no se considera a usuarios suban y bajen dentro de ese rango, lo cual es poco común en la realidad.
- Se consideran tiempos de semáforos, como al conjunto de semáforos entre un paradero a otro en la ruta.
- El modelo presenta cambios de tráfico y tasas de llegada por franjas horarias.
- Para los usuarios que lleguen en grupos el modelo abordará siempre que haya espacio a los que pueden abordar sin considerar a todos los miembros del grupo.
- Se considera al proceso de los inspectores de ruta como caja negra.
- Los choferes solo se detienen en los paraderos un tiempo constante, sin excederse de este así tengan pocos pasajeros.
- Se trabaja con los usuarios que tienen la intención de tomar esta línea de transporte, al ser una línea única con exclusividad en su ruta.
- Todos los usuarios pagan por el servicio, no se consideran abordajes que no lo hagan y afecten la capacidad.
- Se cuentan con todos los choferes disponibles siempre que cumplan con la espera de tiempo mínima después de cada viaje.

4.2.3. Descripción del modelo para buses

El modelo se subdivide en las siguientes partes: creación de pasajeros en paraderos, salidas de buses y el proceso de interacción entre buses y pasajeros durante toda la ruta.

a) Creación de pasajeros

El modelo empieza colocando catorce módulos "Create" que representan la llegada de las personas a cada uno de los paraderos esperando abordar el bus (la mitad de estas conforman el viaje de ida y la otra mitad, los viajes de vuelta).

Las personas de cada paradero mantienen una tasa de llegada, a la cual se le asigna una distribución de probabilidad que mejor se ajusta. Este intervalo de tiempo entre llegadas puede variar durante distintas horas del día, por lo tanto en el modelo se especificará intervalos distintos para periodos de la mañana, tarde y noche según la información obtenida. Por otro lado, las personas que arriban pueden llegar solas o en grupos pequeños por lo que se les asigna un atributo de tamaño de grupo.

Asimismo, luego del arribo a los paraderos, esperan a la línea del bus en estudio (la cual es única en su ruta), sin embargo se les asignan un atributo de tiempo de espera máximo, el cual es una probabilidad de que deserten de esta por algún otro medio, por superar su tiempo límite de espera. La cantidad de usuarios de desertar puede aumentar a medida que crece el intervalo de tiempo entre buses, ya que aumentaría el tiempo de espera. Por otro lado a cada pasajero se le asigna en base a proporciones un atributo de destino el cual indica en que paradero descenderá y otro atributo que indica en qué paradero abordó.

Los usuarios que llegan al paradero para tomar el bus de la línea forman una cola en el modelo esperando ser retirados de esta cuando llegue el bus al paradero correspondido, representando así el abordaje. A continuación se muestra la primera parte del modelo en la que se observan los módulos de creación de las entidades de pasajeros:

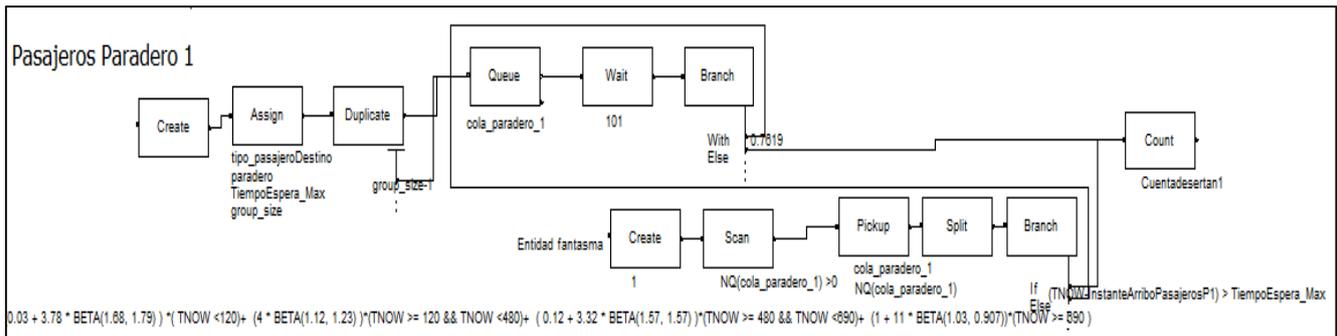


Figura 15: Diagrama de bloques en Arena: Creación de pasajeros en paraderos
Elaboración propia

En la figura 15, se observa un módulo “Wait” el cual detiene a los pasajeros en la cola y solo serán abordados cuando el bus llegue al paradero y los retirará mediante un “Pick up”, módulo del sub modelo de paraderos (Figura 4.3) y al momento del bus partir de ese paradero enviará la señal que liberará a los pasajeros que no hayan podido ser retirados por el bus por exceder la capacidad, estos regresarán a la cola o se irán del sistema en base a una probabilidad indicada en el módulo “Branch”.

Por otro lado se observa que junto a la entidad de pasajeros se tiene en la parte inferior una entidad fantasma de actualización, la cual se creará cada minuto en cada paradero, tomará a los pasajeros presentes en la cola del paradero mediante un módulo “Pick up” y los sacará del sistema si han superado su tiempo de espera permitido (atributo inicial) sino los regresará a la cola, como se indica en las condiciones del módulo “Branch”. Este procedimiento se realizará instantáneamente cada minuto y posterior a ello la entidad fantasma se eliminará. Todos los usuarios que deserten de esperar, debido a que buscan otro medio para movilizarse, serán contabilizados y retirados del sistema mediante un contador presenta en cada paradero.

b) Salida de buses

Los buses se crean como un lote inicial único, al inicio del sistema, que representa el tamaño de la flota actual. Los buses entran a la estación del patio de maniobras y pasan a una cola de espera de donde saldrán para iniciar un viaje.

Estos buses esperarán en la cola una señal de salida, enviada por una entidad fantasma que determinará las frecuencias de salidas por medio del intervalo de creación de estas. Al enviar la señal esta entidad saldrá del sistema y el bus será liberado y se trasladará a la primera estación, es decir al paradero 1 para el arribo de pasajeros e iniciar la ruta.

En este sub-modelo se busca la optimización del sistema brindando intervalos de tiempo entre salidas adecuados para cada periodo del día según la demanda de pasajeros en cada estación. Es decir, en periodos de mayor flujo de personas se tendrá un menor intervalo de tiempo entre salidas (más cantidad de buses en la ruta) en comparación de periodos con menor demanda. El intervalo de salidas de la entidad de frecuencias serán por tanto una de las variables de control a optimizar pues éstas envían la señal a los buses para salir.

Asimismo a los buses se les asigna un atributo propio de esta entidad (Esbu) para diferenciarlos luego con los pasajeros. A continuación se muestra, en la figura 16, el sub-modelo para la salida de buses según lo descrito:

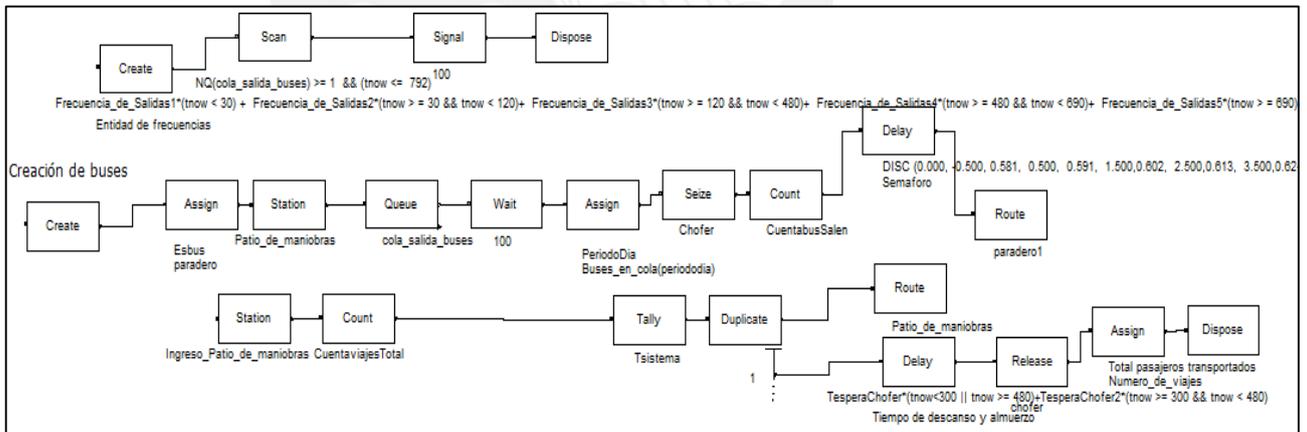


Figura 16: Diagrama de bloques en Arena: Salida de buses

Elaboración propia

Posteriormente luego de que un bus ha sido liberado, se le asigna un chofer (recurso), luego pasa por el primer tiempo de espera de semáforo, y luego se dirige a la estación 1 mediante el módulo "Route" que indicará el tiempo de desplazamiento hacia el paradero en base a franjas horarias de tráfico.

Por otro lado luego de realizado el viaje el bus regresa a la estación del patio de maniobras, sin embargo, el recurso o chofer se tendrá disponible otra vez luego de su tiempo de descanso o espera permitida y almuerzo, por ello se crea una sub estación llamada Ingreso patio de maniobras, en el cual se representa mediante un “Duplicate” y posterior “Delay” la liberación del recurso chofer. Asimismo al volver el bus se contabiliza la cantidad de viajes totales, el tiempo en el sistema y el total de pasajeros transportados mediante módulos “Count” y “Tally”. Posterior a ello el bus ingresará instantáneamente a la cola de salida de buses en la estación del patio de maniobras del inicio.

c) Proceso de interacción entre buses y pasajeros

El proceso de interacción sigue la lógica de abordaje y descenso de pasajeros en el bus. Es decir, cada vez que llega un bus a un paradero habrá un tiempo de permanencia, en el cual el modelo descenderá o eliminará del sistema a los pasajeros que tienen como destino dicho paradero, por otro lado, arribarán los pasajeros que estaban esperando en esta estación para luego partir al siguiente paradero.

El tiempo entre paraderos se determina como una variable aleatoria con una función de probabilidad adecuada para cada periodo del día en relación a los niveles del tráfico según data histórica.

Se diferencia este proceso en tres sub modelos, para el paradero inicial, paradero final; y paraderos de abordaje y descenso.

- Sub-modelo paradero inicial

El paradero inicial (paradero 1 en el caso de viaje de ida y paradero 9 para el viaje de vuelta) mantiene la siguiente lógica: cada vez que llega un bus toma un tiempo de permanencia que representa el tiempo de abordaje y descenso (para todos los paraderos). Asimismo el modelo evalúa si hay personas para recoger (primer módulo “Branch”), si fuese el caso se crea una entidad temporal similar al bus (con uso de “Duplicate”) para remover las personas de la cola que están esperando en el paradero (esta entidad duplicada saldrá del sistema cuando los pasajeros se desagrupen en la

estación siguiente mediante un “Split”). Luego este grupo de personas se agrupan junto a la entidad del bus original, envían una señal de salida y parten rumbo al paradero siguiente. Esta señal de salida, como se mencionó al inicio, la recibirá el módulo “Wait” del sub modelo creación de pasajeros (Figura 15) y liberarán a los usuarios que no pudieron abordar el bus por superar la capacidad. Estos usuarios, en base a una proporción, volverán a la cola o desertarán de usar el servicio y saldrán del sistema.

El modelo presenta la restricción de no abordar más personas de la capacidad permitida por el bus, para lo cual evalúa la cantidad de gente presente en la cola del paradero en ese momento mediante un módulo “Branch” y arribar como máximo el límite permitido. En la figura 17 se visualiza la representación del sub modelo en mención.

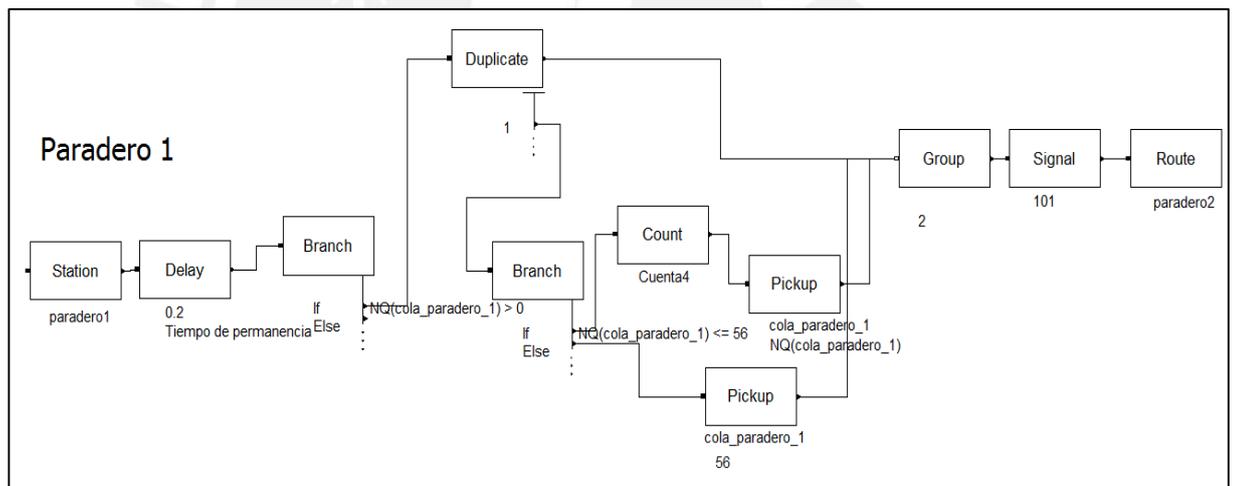


Figura 17: Diagrama de bloques en Arena: Interacción pasajeros y buses paradero inicial
Elaboración propia

- Sub-modelo paraderos de abordaje y descenso

El siguiente sub-modelo describe la interacción entre pasajeros y buses en todos los paraderos que no sean de inicio ni final. Es decir en los paraderos que habrán tanto descenso y abordaje de pasajeros a la vez. El modelo sigue la lógica del anterior a diferencia que al paradero no solo llega el bus, sino junto a este los pasajeros que abordaron anteriormente.

Lo que hace el modelo es separar este grupo de entidades tanto de pasajeros como el bus (con uso de dos “Split” por haber subgrupos) en entidades individuales a la llegada de la estación. Luego el modelo evaluará y separará, en base a un módulo “Branch”, a las entidades según los atributos (paradero de destino) asignados al inicio, los pasajeros que descenderán y por tanto saldrán del sistema, a los pasajeros que no bajarán aún y a la entidad que representa al bus. En el caso de los pasajeros que no desciendan el modelo les creará una cola ficticia temporal llamada “pasajeros que no bajan”, los cuales serán retenidos por un “Wait”.

Posteriormente la entidad del bus tomará un tiempo de permanencia en la estación para la subida y bajada de pasajeros y evaluará tres condiciones mediante un módulo “Branch”: si existen personas que no descendieron del bus y si existen personas que subirán (personas en cola del paradero); otro caso es que no existan ninguno de ellos y por último, el caso en que exista gente que va a subir o que exista gente que no descendió.

Esta división se realiza con el objetivo de crear un duplicado del bus que agrupe a las personas que no descendieron y otro para las personas que esperan en el paradero para subir (con uso de “Pickup”). Luego se vuelven a agrupar la entidad del bus original junto a los otros grupos de personas descritas. Las entidades duplicadas serán eliminadas en la siguiente estación al desintegrarse el grupo (este es el motivo de no usar la entidad del bus original).

Esta representación tiene la siguiente lógica: para el caso en el que se tienen pasajeros que no bajaron (representados por la cola de pasajeros que no bajan) y pasajeros que van a subir, los cuales están en la cola del paradero correspondiente, se generan dos duplicados de la entidad del bus. Uno de ellos retirará mediante un módulo “Pick up” a los usuarios que esperan en la cola del paradero sin antes evaluar mediante un “Branch” no sobrepasar la capacidad permitida. La otra entidad duplicada retirará también con un “Pick up” a los pasajeros que no bajaron y se encuentran en la cola ficticia que

se creó al inicio (cola de pasajeros que no bajan). Luego de ello se unirán ambos grupos de pasajeros (los que no bajaron y los que subieron) junto a la entidad del bus para formar una sola entidad representativa mediante un módulo "Group". Esta entidad enviará una señal de salida del paradero y se retirará hacia la siguiente estación.

La lógica del siguiente caso, si hay pasajeros que no bajaron o pasajeros que esperan subir, se representa de la siguiente manera: se genera una sola entidad duplicada, la cual evaluará mediante un "Branch" cuál de las dos condiciones se cumplen (si hay pasajeros que no bajan o hay pasajeros que van a subir) y en base a la condición correcta retirará por medio de un "Pick up" a los pasajeros de la cola correspondiente, considerando en el caso de abordar a pasajeros, de no sobrepasar con la capacidad máxima. Posterior a ello el grupo de pasajeros se unirá a la entidad original del bus y formarán una sola entidad representativa por medio de un "Group" para luego desplazarse hacia el próximo paradero.

Finalmente en el último caso, en el que no se tienen pasajeros que no bajaron y no hay pasajeros en el paradero, la entidad única del bus pasará directamente hacia la siguiente estación por medio del módulo "Route".

El diagrama de bloques del sub modelo descrito se muestra en la figura 18.

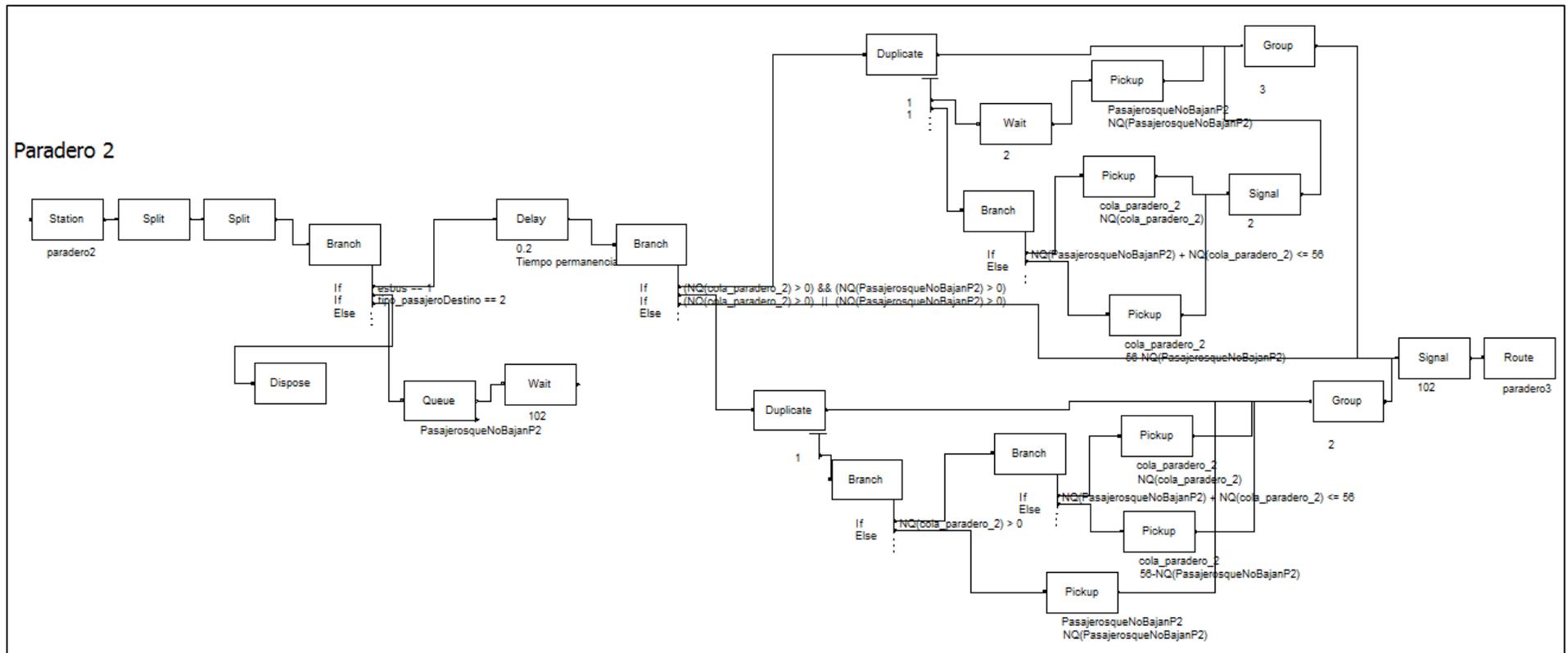


Figura 18: Diagrama de bloques en Arena: Interacción pasajeros y buses paraderos de abordaje y descenso

Elaboración propia

- Sub-modelo paradero final

Este sub-modelo representa la llegada al último paradero, el cual puede ser el paradero 8 para el viaje de ida como el paradero 16 para el viaje de vuelta. Presenta una lógica similar a los sub-modelos presentados anteriormente, sin embargo se diferencia por tener solo descensos de pasajeros y no abordajes.

Como se aprecia en la figura 19, luego de terminar el viaje de ida el bus se dirige inmediatamente a iniciar el viaje de vuelta, en el cual llegado, posteriormente, al paradero 16 y descender a los pasajeros el bus volverá al patio de maniobras.

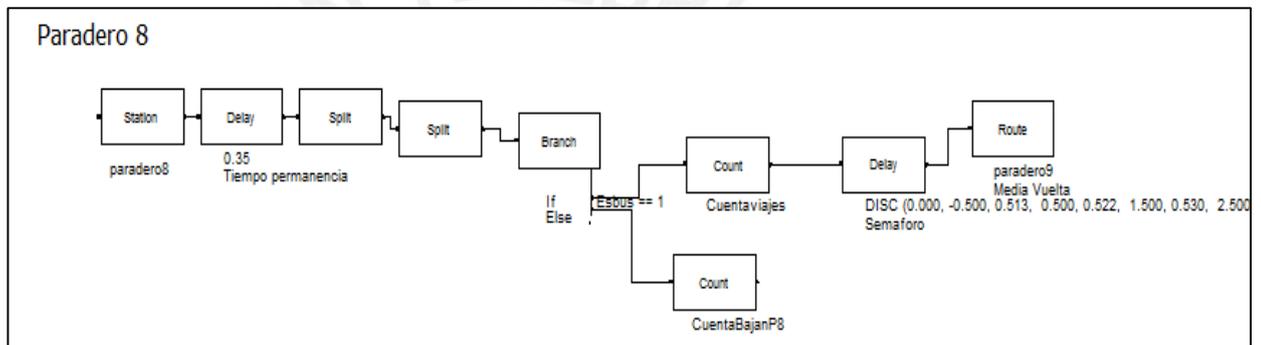


Figura 19: Diagrama de bloques en Arena: Interacción pasajeros y buses paraderos final

Elaboración propia

La figura anterior representa la llegada al último paradero del viaje de ida (el paradero 16 será el último del viaje de vuelta), en el cual se observa un tiempo de permanencia mayor debido a que la mayoría de usuarios descienden en este tramo. Asimismo las entidades son separadas en pasajeros y en el del bus. Se usan contadores para determinar la cantidad de pasajeros que descienden y la cantidad de viajes de ida o vuelta. Por otro lado el bus procederá a desplazarse hacia el paradero 9 (inicio del viaje de vuelta) o al patio de maniobras en el caso que estuviese en el paradero 16.

4.3. Análisis y validación de resultados

En esta etapa se presentan los resultados obtenidos de la simulación del modelo desarrollado, asimismo se realiza la validación de estos respecto al sistema real mediante la prueba T-student.

4.3.1. Análisis de Resultados

Se realiza en esta sección, posterior a la corrida del modelo, el análisis de la información el cual se hará según el tipo de sistema de simulación y asimismo se calculará el ancho del intervalo según un determinado número de réplicas.

4.3.1.1. Definición del Sistema

El caso en estudio pertenece a un sistema terminal pues se conocen las condiciones de inicio y fin en este sistema de transporte, y las cuales representan a un día de trabajo, desde el inicio de operaciones en la mañana hasta la noche.

4.3.1.2. Indicadores de análisis

Los indicadores a evaluar en la validación del sistema representan los tiempos relacionados a duración de viaje según franjas horarias, cantidad de pasajeros abordados, utilización de buses durante el día, entre otros. El número de réplicas total será de veinte, la longitud de la réplica será cuando en el sistema haya terminado de completar un viaje el último bus programado, el cual como máximo inicia a las 8:30 pm (el primero sale a las 7am). Para asegurar que es se cumpla se define una longitud de réplica igual 920. Los indicadores a evaluar se observan en la tabla 20.

Tabla 20: Indicadores para validación

Indicador	Descripción	N
NC(Cuenta Pasajeros)	Muestra el promedio de pasajeros en todo el día	20
TAVG(Tiempo de viaje 1)	Muestra el tiempo de viaje total en la mañana.	20
TAVG(Tiempo de viaje 2)	Muestra el tiempo de viaje total al mediodía.	20

TAVG(Tiempo de viaje 3)	Muestra el tiempo de viaje total en la tarde.	20
TAVG(Tiempo de viaje 4)	Muestra el tiempo de viaje total en la noche.	20
DAVG(Cola bus periodo 1)	Cantidad de buses no operando en cola de espera en la mañana.	20
DAVG(Cola bus periodo 2)	Cantidad de buses no operando en cola de espera al mediodía.	20
DAVG(Cola bus periodo 3)	Cantidad de buses no operando en cola de espera en la tarde.	20
DAVG(Cola bus periodo 4)	Cantidad de buses no operando en cola de espera en la noche.	20

Elaboración propia

4.3.2. Validación de Resultados

Se compara que los resultados del modelo realmente representan a la realidad. Para esto se desarrolla el cálculo de la longitud de réplica del modelo y luego la aplicación de la prueba de hipótesis t-student.

4.3.2.1. Cálculo de la Longitud de Réplica y Prueba de Hipótesis t-student

En la validación se analizará los resultados y para lo cual se calcula la longitud de réplica en base a la precisión requerida. Posteriormente se comparan los resultados con información del sistema real mediante el uso de la prueba de hipótesis de dos colas con un nivel de confianza de 95% (tabla 21), en la cual la aceptación de la hipótesis nula nos indicará que el modelo de simulación representa a la realidad de forma similar.

Tabla 21: Análisis de resultados

Indicador	Promedio	S	Ancho (h)	t 0.975, 19	C	N	Porcentaje	T0	Descripción
Arribos diarios	5765.98	75.40	35.24	2.09	5735	20	1%	1.837	$ t_0 < t(\alpha/2, n-1)$
Tiempo viaje mañana	81.99	2.43	1.14	2.09	82	20	1.39%	-0.014	$ t_0 < t(\alpha/2, n-1)$
Tiempo viaje mediodía	105.88	3.18	1.49	2.09	106	20	1.41%	-0.171	$ t_0 < t(\alpha/2, n-1)$
Tiempo viaje tarde	113.49	2.13	0.99	2.09	114	20	1%	-1.064	$ t_0 < t(\alpha/2, n-1)$
Tiempo viaje noche	86.50	1.12	0.53	2.09	86	20	1%	1.99	$ t_0 < t(\alpha/2, n-1)$

Elaboración propia

De la validación realizada obtenemos el siguiente análisis:

- Las variaciones porcentuales de los indicadores se encuentran entre 1 a 2% para un nivel de 20 réplicas, lo cual es suficiente para tener valores dentro de los límites aceptables.
- La cantidad de réplica representa a un análisis mensual de 20 días ya que se analiza los días de lunes a viernes.
- Los tiempos de viaje se encuentran dentro del promedio actual, por consiguiente tanto estos indicadores como la demanda actual se acepta la hipótesis nula de que el modelo representa a la realidad.

4.4. Desarrollo de propuesta de mejora

En este capítulo se realiza el desarrollo de una propuesta de mejora mediante la herramienta OptQuest de Arena para obtener una solución óptima al modelo planteado. Para esto se definen las variables de control, las variables de respuesta, las restricciones requeridas y la función objetivo según lo que se busca obtener.

4.4.1. Definición de variables de control

Las variables de decisión o control que se ingresan en el OptQuest para el logro de la solución más óptima, son los siguientes:

- Frecuencia de salidas de buses (dato tipo variable) para los distintos periodos del día (intervalo de salidas para la mañana: 7 a 9 am, mediodía: 9 a 3 pm, tarde: 3 a 7 pm y noche: 7 a 10 pm).
- Cantidad de choferes a requerir (recursos) como mínimo durante el día de trabajo.
- Tiempo de espera permitido para que un chofer vuelva a realizar otra vuelta.
- Cantidad de unidades de la flota de buses.

Los valores mínimos y máximos permitidos para el sistema, de estas variables, se muestran en la tabla 22.

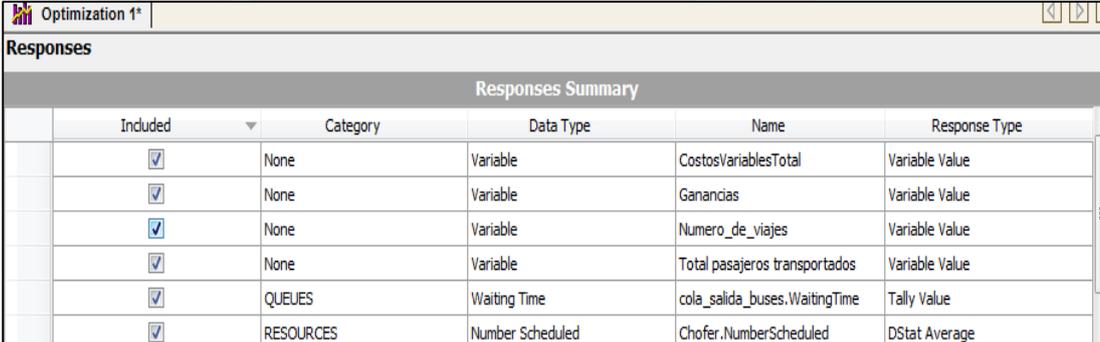
Tabla 22: Rango de las variables de control

Control	Valor mínimo	Valor máximo
Frecuencia (intervalo de salidas) para la mañana	4	12
Frecuencia de salidas para el mediodía	4	12
Frecuencia de salidas para la tarde	4	12
Frecuencia de salidas para la noche	4	12
Choferes	15	25
Tiempo de espera chofer	5	30
Flota de buses	18	23

Elaboración propia

4.4.2. Definición de variables de respuesta

Las variables de respuesta son las que se espera lograr al optimizar nuestro sistema en estudio. En la figura 20 se muestran las variables de respuesta más importantes a considerar en este modelo:



Responses Summary					
	Included	Category	Data Type	Name	Response Type
	<input checked="" type="checkbox"/>	None	Variable	CostosVariablesTotal	Variable Value
	<input checked="" type="checkbox"/>	None	Variable	Ganancias	Variable Value
	<input checked="" type="checkbox"/>	None	Variable	Numero_de_viajes	Variable Value
	<input checked="" type="checkbox"/>	None	Variable	Total pasajeros transportados	Variable Value
	<input checked="" type="checkbox"/>	QUEUES	Waiting Time	cola_salida_buses.WaitingTime	Tally Value
	<input checked="" type="checkbox"/>	RESOURCES	Number Scheduled	Chofer.NumberScheduled	DStat Average

Figura 20: Herramienta Optquest de Arena: Variables de respuesta

4.4.3. Definición de restricciones

Se presentan en la figura 21, las restricciones requeridas para la correcta solución de la propuesta óptima en base a recursos de la empresa, nivel de servicio al cliente y beneficios esperados.

Constraints					
Constraints Summary					
	Included	Name	Type ▲	Description	Expression
	<input checked="" type="checkbox"/>	Constraint 1	NonLinear	Promedio de pasajeros por viaje como mínimo 60	$[\text{Total pasajeros transportados}] - 60 * [\text{Numero_de_viajes}] \geq 0$
	<input checked="" type="checkbox"/>	Constraint 2	NonLinear	Costos de operación mensual a lo más 25,000	$[\text{CVunitario}] * [\text{kmporviaje}] * [\text{Numero_de_viajes}] * 5 * 4 \leq 25000$
	<input checked="" type="checkbox"/>	Constraint 3	NonLinear	Tiempo promedio de buses en cola a lo más 70	$[\text{cola_salida_buses.WaitingTime}] \leq 70$
	<input checked="" type="checkbox"/>	Constraint 4	NonLinear	Número de viajes como mínimo 95	$[\text{Numero_de_viajes}] \geq 95$

Figura 21: Herramienta Optquest de Arena: Restricciones

4.4.4. Función objetivo

Luego de establecido las variables de control, respuesta y las restricciones se desarrolla la función objetivo para obtener la solución óptima. Esta función establecerá la maximización de las ganancias en las que se señalan ingresos y costos de operación. Sin embargo otro objetivo importante es también la mejora del servicio como la reducción de tiempo de espera o reducción de la carga por bus, por lo cual será un factor para analizar las propuestas.

A continuación, se presentan en la tabla 23, los costos de operación requeridos para la flota de buses, que se usarán para establecer la función objetivo.

Tabla 23: Costos de operación de bus urbano

COSTOS	UNIDAD	PRECIO SIN IMPUESTOS (S/.)	RENDIMIENTO x Km	Soles /km
Combustible GNV	1 Gln	3.7542	0.1585	0.5951
Aceite Motor	1 Gln	35.5932	0.0025	0.0890
Aceite Transmisión	1 Gln	28.8136	0.0001	0.0029
Aceite Direccional	1 Gln	28.8136	0.0002	0.0058
Grasas	1kg	21.1864	0.0001	0.002
Neumáticos	6.000	724.5763	80000.000	0.054
Mano de obra, lavado	1.000	80.0000	0.0001	0.008
Total				0.757

Fuente: Protransporte

Asimismo el costo de chofer por viaje realizado aproximado es de S/. 7 considerando que el tiempo de viaje en promedio es de 100 minutos. Por otro lado la distancia recorrida por viaje es de 13 km y la velocidad promedio de 8 km/hora y la tarifa única de pasaje es de S/. 1.

Considerando los factores mencionados y según lo indicado se establece la función objetivo según se observa en la tabla 24.

Tabla 24: Expresión de variable “Ganancias”

Variable	Expresión
Ganancias:	$1 * NC(\text{CuentaPasajerosAbordados}) - \text{ResUseCost}(\text{Chofer}) - \text{CVunitario} * \text{kmporviaje} * NC(\text{CuentaViajesTotal})$

Elaboración propia

Asimismo en la herramienta Optquest, como se muestra en la figura 22, se establece el objetivo.

Objectives Summary						
	Included	Name	Type	Goal	Description	Expression
▶	<input checked="" type="checkbox"/>	Objective 1	NonLinear	Maximize		[Ganancias]

Figura 22: Herramienta Optquest de Arena: Objetivo

4.4.5. Resultados

Finalmente se obtienen los resultados del modelo luego de 100 simulaciones realizadas, esta información se visualiza en la figura 23.

Best Solutions									
	Simulation	Objective Value	Status	Chofer	Flota_buses	Frecuencia_de_Salidas1	Frecuencia_de_Salidas2	Frecuencia_de_Salidas3	Frecuencia_de_Salida
	95	4548.4	Feasible	22	21	10	8	8	11
	8	4460.36	Feasible	22	20	10	8	6	12
	19	4460.36	Feasible	23	20	10	8	6	12
	22	4460.36	Feasible	21	20	10	8	6	12
	23	4460.36	Feasible	22	21	10	8	6	12
	31	4460.36	Feasible	22	22	10	8	6	12
	32	4460.36	Feasible	23	22	10	8	6	12
	91	4460.36	Feasible	21	22	10	8	6	12
▶	99	4453.36	Feasible	22	21	10	8	6	11
	24	4447.76	Feasible	21	21	10	8	7	12
	45	4447.76	Feasible	22	21	10	8	7	12
	86	4447.76	Feasible	22	22	10	8	7	12
	15	4443.52	Feasible	19	20	10	9	7	9
	28	4442.76	Feasible	20	21	10	8	7	11
	98	4442.76	Feasible	22	21	10	8	7	11
	20	4431.76	Feasible	22	20	10	9	6	12
	89	4421	Feasible	22	20	10	7	8	12
	25	4419.4	Feasible	19	21	10	9	7	10
	21	4410.12	Feasible	19	20	10	8	7	9
	12	4408	Feasible	19	20	10	7	8	12
	27	4408	Feasible	19	21	10	7	8	12
	1	4401	Feasible	20	22	9	8	7	11
	78	4395.6	Feasible	23	20	10	7	8	8

Figura 23: Herramienta Optquest de Arena: Lista de las mejores soluciones

Como se observa de la figura anterior se obtiene la mejor solución en la simulación 95 en términos monetarios, sin embargo se considerará a la mejor solución que tenga además mayor número de viajes para así no reducir el nivel de servicio brindado al cliente. En este caso dentro de las 10 mejores soluciones, la simulación 99 presenta la mayor cantidad de viajes (8 más que la primera), por tanto será la seleccionada. En la tabla 25 se muestran los resultados obtenidos de la solución elegida.

Tabla 25: Resultados obtenidos de la herramienta OptQuest

Variable	Resultado
Pasajeros abordados	6200
Cantidad de viajes realizados	103
Costo promedio (S/.)	1,746
Ganancia esperada diaria (S/.)	4,454
Tiempo promedio de buses en cola de espera (minutos)	60
Frecuencia mañana (minutos)	10
Frecuencia mediodía (minutos)	8
Frecuencia tarde (minutos)	6
Frecuencia noche (minutos)	11
Cantidad de choferes como máximo en un instante de tiempo	22
Flota de buses	21

Elaboración propia

4.5. Modelo para programación de choferes

En esta sección se busca determinar un óptimo de choferes para cumplir con la programación de frecuencias establecida.

4.5.1. Descripción del modelo para programación de choferes

Luego de obtenido la cantidad de buses a requerir para distintos horarios del día mediante el modelo anterior descrito, se procede a realizar un modelo en programación lineal para obtener la mínima cantidad de choferes que se encargaran de realizar los viajes programados. La programación de salidas se obtendrá del modelo anterior y de esta se realizará la correcta asignación de

choferes. Se busca que los choferes cumplan ocho horas y además se clasifica el mínimo de recursos a necesitar por periodo del día, esto se puede observar en la tabla 26.

Tabla 26: Clasificación de buses por periodo del día

Horario	Periodo	Mínimo de buses o choferes a requerir
1	7:00-9:00 am	B1
2	9:00-11:00 am	B2
3	11:00-1:00 pm	B3
4	1:00-3:00 pm	B4
5	3:00-5:00 pm	B5
6	5:00-7:30 pm	B6
7	7:30-9:30 pm	B7

Elaboración propia

Variables de decisión:

X_j : Cantidad de choferes que trabajan en el horario j por 8 horas (1= 7 am, 2= 9 am, 3= 11 am, 4= 1 pm, 5= 3 pm, 6= 5 pm, 7= 7 pm)

Función objetivo:

Minimizar la cantidad de choferes

$$\text{Min } Z = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7$$

Restricciones:

Requerimiento mínimo de empleados en cada turno establecido

$$X_1 \geq B1$$

$$X_1 + X_2 \geq B2$$

$$X_1 + X_2 + X_3 \geq B3$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \geq B4$$

$$X_2 + X_3 + X_4 + X_5 \geq B5$$

$$X_3 + X_4 + X_5 + X_6 \geq B6$$

$$X_4 + X_5 + X_6 + X_7 \geq B7$$

Rango de existencia: $X_j \geq 0$

La indicación de ocho horas es un promedio de tiempo en el que el chofer cumpla cinco viajes por día estipulados. Este horario puede variar dependiendo de la

variabilidad del tiempo de viaje. Por lo tanto la programación de salidas será un dato importante de entrada para determinar el tiempo de trabajo para que los choferes cumplan sus cinco viajes.

4.5.2. Asignación de conductores mediante programación lineal

Con los resultados obtenidos mediante la simulación de sistemas, se procede a asignar un programa de salidas a los conductores para cumplir con las frecuencias establecidas, lo cual se realizará mediante programación lineal para optimizar el rendimiento de los conductores y reducir costos.

Para ello inicialmente se realiza el cronograma requerido de viajes en base a los tiempos de viaje máximo por cada periodo (obtenidos de la simulación) y los descansos establecidos luego de cada viaje para de esta forma cumplir con un cronograma que no se vea afectado por retrasos. En la tabla 27 se resume lo señalado.

Tabla 27: Variables para determinación de cronograma

Periodo	Intervalo de salidas	Tiempo de viaje máximo
Periodo 1	00:10	01:24
Periodo 2	00:08	01:50
Periodo 3	00:06	02:04
Periodo 4	00:11	01:34
Espera normal		10
Espera Almuerzo		20

Elaboración propia

En la figura 24 se establece el cronograma de viajes según frecuencias considerando los valores señalados.

Posteriormente para el desarrollo de una óptima asignación de conductores se calcula la cantidad mínima requerida por periodo para cumplir con las frecuencias establecidas, como se muestra en la tabla 28.

Tabla 28. Choferes necesarios por periodo

Periodo	Choferes necesarios
7 a 8 am	6
8 a 9 am	9
9 a 10 am	10
10 a 11 am	14
11 a 12 pm	14
12 a 1 pm	14
1 a 2 pm	14
2 a 3 pm	15
3 a 4 pm	15
4 a 5 pm	20
5 a 6 pm	21
6 a 7 pm	21
7 a 8 pm	21
8 a 9 pm	17
9 a 10 pm	11

Elaboración propia

Finalmente en base a estos datos se realiza un problema de programación lineal que minimice la cantidad de choferes y para el cual se cumpla que cada chofer realice cinco viajes como máximo (promedio 9 horas). El problema se define la siguiente manera:

Variables de decisión:

X_i : Cantidad de choferes que empiezan a trabajar a partir de la hora i (1= 7 am, 2= 7:30 am, 3= 8 am, 4=8:30 am, 5=9am, 6=9:30 am,..., 13= 1 pm)

Función objetivo:

Minimizar la cantidad de choferes

$$\text{Min } Z = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17}$$

Restricciones:

Requerimiento mínimo de conductores en cada turno establecido

$$X_1 + X_2 \geq 6$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \geq 9$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 \geq 10$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 \geq 14$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} \geq 14$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} \geq 14$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} \geq 14$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} \geq 15$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} \geq 15$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} \geq 20$$

$$X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} \geq 21$$

$$X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} \geq 21$$

$$X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} \geq 21$$

$$X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} \geq 17$$

$$X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} \geq 11$$

Rango de existencia: $X_i \geq 0$, entero.

Desarrollando este modelo en un software de programación, obtenemos los siguientes resultados:

Valor de la función: 30 conductores

$X_1 = 3$ conductores iniciarán labores a partir de las 7 am

$X_2 = 6$ conductores iniciarán labores a partir de las 7:30 am

$X_6 = 10$ conductores iniciarán labores a partir de las 9:30 am

$X_{13} = 11$ conductores iniciarán labores a partir de las 1 pm

Cabe señalar que los conductores no necesariamente empezarán a trabajar a esas horas, sino más bien estarán disponibles desde ese horario para cuando se requiera hacer uso de ellos para realizar un viaje. Asimismo se puede apreciar que el nivel de conductores es mayor al actual sin embargo se está evaluando jornadas de no mayor a nueve horas para brindar un mejor servicio, lo cual no sucede muy a menudo en las empresas de transporte actual en los que los conductores realizan jornadas de un día entero lo cual disminuye la eficiencia y el servicio brindado. Sin embargo, si se compara por productividad de las horas hombre contratadas, la propuesta es mejor.

Con estos resultados se procede a realizar la asignación de los conductores a los viajes establecidos en el cronograma de salidas. En la figura 25 se resume lo indicado:

CAPÍTULO 5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

En el siguiente capítulo se realizará una evaluación de los costos y los beneficios del modelo propuesto en relación a la situación actual. Asimismo se evalúa de forma económica la inversión requerida para implementar el modelo propuesto, el valor presente neto esperado y la rentabilidad de la inversión.

5.1. Análisis de resultados

A continuación se presenta una lista de los indicadores más relevantes a considerar en la evaluación de la propuesta. En la tabla 29 se muestran los valores de la situación actual y de la situación propuesta, calculando la variación porcentual respecto a esta.

Tabla 29: Indicadores de los resultados

Indicador	Situación actual promedio	Situación propuesta	Variación
Usuarios atendidos	5750	6200	7.83%
Viajes realizados	98	103	5.10%
Rango de salidas de buses	De 7 am hasta 8:12 pm	De 7 am hasta 8:20 pm	1%
Salidas en la mañana (7 a 9 am)	14	12	-14.29%
Salidas en la mañana tarde o mediodía (9 a 3 pm)	47	45	-4.26%
Salidas en la tarde (3 a 6:30 pm)	27	35	29.63%
Salidas en la noche (6:30 a 8:20 pm)	10	11	10.0%
Horas hombre de conductores diario	240	214	-10.83%
Tiempo de espera del bus en cola (minutos)	63	59	-6.35%
Tamaño de flota	20	21+5%(Operativo) =22	10.00%

Elaboración propia

De la tabla presentada se puede concluir lo siguiente:

- Con el modelo propuesta se está atendiendo 7.8% más de la cantidad de pasajeros actual.
- Se incrementa la cantidad de viajes en 5% prácticamente en el mismo periodo de tiempo de operación actual (solo aumenta en 1% el rango de tiempo de salidas).
- Como se aprecia la cantidad de salidas en el periodo de la mañana y mediodía se reducen, sin embargo en la tarde, el cual es el periodo pico el nivel de salidas se incrementa en 29% para atender la demanda, también se aumenta la salidas en la noche.
- El nivel de flota actual necesario operativo aumentó a 21, sin embargo por reglamento se considera un 5% adicional del requerido, por lo tanto se requerirán dos buses más.
- La programación de conductores dio como resultado una mayor eficiencia en las labores de estos trabajadores, ya que en la situación actual se mantiene en la empresa en promedio 240 horas de choferes, para realizar 98 viajes (100 minutos por viaje en promedio, lo que hace 163 horas de trabajo real y una eficiencia de 68%), en comparación con el propuesto que se requiere 214 horas para realizar 103 viajes aumentando la eficiencia a 80%. Esto se debe a la falta de un programa establecido lo que genera largos tiempos de espera para que un conductor realice otro viaje.

5.2. Inversión y costos

La inversión requerida para implantar el modelo propuesto se compone principalmente del tamaño de flota a aumentar, asimismo se incurrirá en costos fijos respectivos y los costos variables operativos respecto a los viajes adicionales a realizar. En la tabla 30 se detalla la inversión; en la tabla 31, los costos variables y en la tabla 32, los costos fijos.

Tabla 30: Inversión

Inversión	Precio unitario más IGV (\$)	Tasa de cambio	Total (2buses) S/.
Inversión de flota	56,640	3.3	373,824

Elaboración propia

Tabla 31: Costos anuales por viajes adicionales

Costos variables	Costo anual (S/.)
Combustible GNV	10,056.49
Aceite Motor	1,503.81
Aceite Transmisión	48.69
Aceite Direccional	97.39
Grasas	35.81
Neumáticos	918.40
Mano de obra, lavado	135.20

Elaboración propia

Tabla 32: Costos anuales por flota adicional

Costos fijos	Costo anual (S/.)
Gastos generales	3,360.00
Seguro	2,850.00

Elaboración propia

5.3. Ingresos

Como se determinó en el modelo el nivel de ingresos aumenta por atender a una mayor demanda. Por otro lado se reducen los costos por mano de obra laborada por los choferes, partiendo del supuesto que aunque en la situación actual se realicen menos viajes, se tienen mayor cantidad de horas ociosas por esperas, sin embargo el costo de hora por chofer será el mismo en cualquier situación, por tanto se considera como un ingreso adicional. Este detalle se observa en la tabla 33.

Tabla 33: Ingresos – evaluación económica

Ingreso	Diario	Anual
Ingreso por ventas adicional (De 5760 a 6200)	440	114,400
Ingreso por reducción de costos (reducción de 240 a 215 horas diarias)	25h *5 S/./hora	32,500

Elaboración propia

5.4. Flujo de caja

Se elabora el flujo de caja para un horizonte de 5 años, para el cual asimismo se tomará un préstamo para la inversión inicial. En la figura 26 se detalla el flujo de caja para el proyecto:

FLUJO DE CAJA ECONOMICO Y FINANCIERO						
	2,015	2,016	2,017	2,018	2,019	2,020
INGRESOS						
+ Ventas		114,400.00	114,400.00	114,400.00	114,400.00	114,400.00
+ Otros ingresos		32,500.00	32,500.00	32,500.00	32,500.00	32,500.00
= TOTAL INGRESOS		146,900.00	146,900.00	146,900.00	146,900.00	146,900.00
EGRESOS						
(-) Inversion activos	316,800					
(-) IGV - Sunat	57,024	2,303.24	2,303.24	2,303.24	2,303.24	2,303.24
(-) Gastos Operativos						
Costos variables						
Combustible GNV		10,056.49	10,056.49	10,056.49	10,056.49	10,056.49
Aceite Motor		1,503.81	1,503.81	1,503.81	1,503.81	1,503.81
Aceite Transmisión		48.69	48.69	48.69	48.69	48.69
Aceite Direccional		97.39	97.39	97.39	97.39	97.39
Grasas		35.81	35.81	35.81	35.81	35.81
Neumáticos		918.40	918.40	918.40	918.40	918.40
Mano de obra, lavado		135.20	135.20	135.20	135.20	135.20
Costos fijos						
Gastos generales		3,360.00	3,360.00	3,360.00	3,360.00	3,360.00
Salarios						
Seguro		2,850.00	2,850.00	2,850.00	2,850.00	2,850.00
(-) Depreciación		63,360.00	63,360.00	63,360.00	63,360.00	63,360.00
= TOTAL EGRESOS	373,824	84,669.04	84,669.04	84,669.04	84,669.04	84,669.04
= Utilidad antes de Impuestos	-373,824	62,230.96	62,230.96	62,230.96	62,230.96	62,230.96
(-) Impuesto a la Renta		18,669.29	18,669.29	18,669.29	18,669.29	18,669.29
Utilidad despues de Impuestos	-373,824	43,561.67	43,561.67	43,561.67	43,561.67	43,561.67
+ Depreciación	0.00	63,360.00	63,360.00	63,360.00	63,360.00	63,360.00
= FLUJO DE CAJA ECONÓMICO	-373,824	106,922	106,922	106,922	106,922	106,922
+ Entradas						
Préstamos	186,912					
(-) Salidas						
Amortización deuda		86,935.80	99,976.18			
Intereses		28,036.80	14,996.43			
Escudo Fiscal		8,411.04	4,498.93			
= FLUJO DE CAJA FINANCIERO	-186,912	360.11	-3,552.01	106,921.67	106,921.67	106,921.67

Figura 26: Flujo de caja del proyecto

Se establece que la empresa asumirá el 50% de la inversión y la diferencia será solventada por medio de un crédito. Este será cancelado en los siguientes dos años, por lo cual a partir del tercer año se obtendrán utilidades considerables.

Se procede a calcular el costo de oportunidad económico mediante el método CAPM, usando las siguientes fórmulas:

$$B_p = \left(1 + \frac{D}{C} * (1 - T)\right) * B$$

$$CO_{Ke} = R_f + B_p * (R_m - R_f)$$

$$CO_{Kf} = \frac{D}{(C+D)} * kd * (1 - T) + \frac{C}{(C+D)} * ke$$

En la tabla 34 se muestran los valores a utilizar para determinar el costo de oportunidad de la empresa:

Tabla 34: Cálculo del COKe

Impuesto a la renta	30%	IR
Tasa deuda	15%	Kd (BCP leasing)
β despalancado	0.86	B
D/C	0.5	Relación deuda capital de la empresa
Riesgo país	2.16%	Fuente BCRP
Tasa libre de riesgo	1.77%	Fuente: Datos Macroeconomía
Prima de riesgo promedio	8.45%	Finanzas corporativas
β proyectado	1.161	-
COKe	13.74%	-

Elaboración propia

Finalmente se obtienen los indicadores financieros, señalados en la tabla 35.

Tabla 35: Indicadores financieros

Indicador	Valor
COKf	12.12%
VANF	14,449
TIRF	14.26%

Elaboración propia

Finalmente, con los resultados obtenidos de los cálculos realizados, se observa que el Valor Actual Neto (VAN) es mayor a cero, asimismo la Tasa Interna de Retorno (TIR) hallada es de 14.26% y mayor al costo de oportunidad, por consiguiente, se concluye que el proyecto es económicamente viable.

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Finalmente para este capítulo se mencionan todas las conclusiones y recomendaciones obtenidas del diagnóstico y mejora de procesos para una empresa de transporte urbano.

6.1. Conclusiones

- En la actualidad el sector de transporte urbano afronta problemas difíciles, ante ello el presente trabajo busca una oportunidad de mejora en una línea de transporte. En el capítulo 2, se realiza el análisis y descripción del sistema operativo de esta empresa para poder realizar luego un diagnóstico adecuado y determinar una propuesta óptima.
- De acuerdo a los resultados obtenidos de la matriz de selección, se identifica como las causas más resaltantes de los problemas de la empresa, a la falta de un plan de salidas de los buses en los distintos horarios del día y la falta de un cronograma de salidas de choferes, lo cual representa más del 40% de los efectos que causan los problemas.
- Se determinó, según el análisis de priorización y selección de Contramedidas, que la mejor contramedida es diseñar un programa óptimo de intervalos de salidas de buses acorde a la demanda de pasajeros y congestión vehicular de la ruta que incremente la productividad de la empresa generando mayor utilidades y un buen servicio, por medio de herramientas de simulación de sistemas para identificar los distintos escenarios posibles y determinar la mejor propuesta así como una correcta programación de choferes en relación a estas frecuencias de salidas que optimice la utilización de estos operarios.
- Se desarrolló y validó el modelo de simulación de eventos discretos para el sistema el proceso en estudio, en el cual se compararon las mejores propuestas y se determinó que el mejor resultado es el que beneficia tanto a los usuarios como a la empresa. Esta propuesta incrementa en 7.8% los pasajeros abordados (6200 por día promedio), 103 viajes realizados (incremento de 5,1%), un costo promedio de S/.1,746 y ganancia esperada de S/.4,454 para la empresa. Asimismo con uso del modelo de asignación de

choferes por programación lineal se incrementa su eficiencia de 68% a 80%. Por lo tanto, no solo se reducen costos operativos e incrementan ingresos, sino a su vez se evitan pérdidas de pasajeros por esperas o retrasos de salidas de unidades

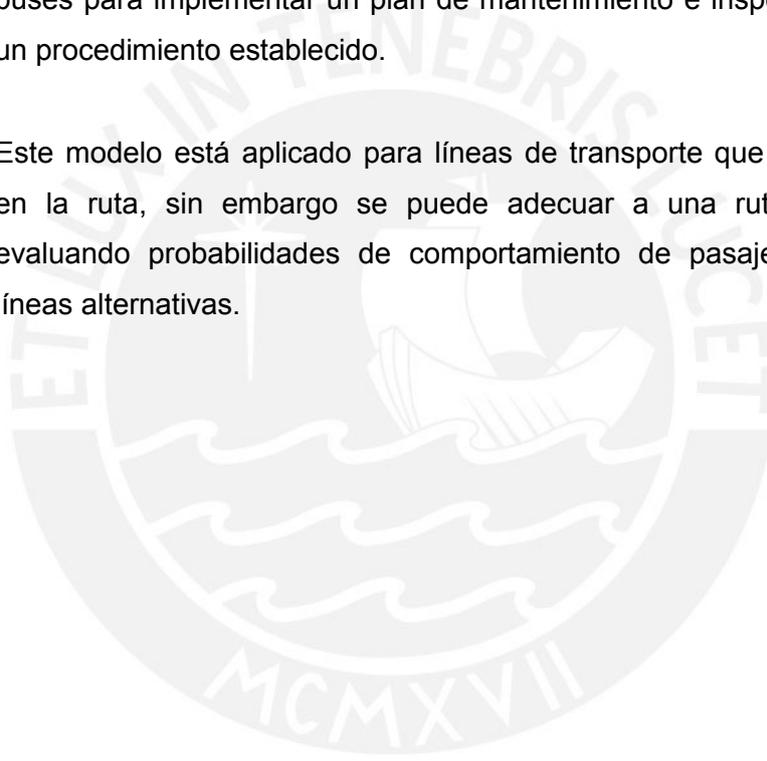
- De la evaluación económica obtenida, se concluye que la inversión requerida asciende a S/.373,824, monto necesario para tener la flota de buses necesaria. Sin embargo el beneficio anual se estima en S/146,900, principalmente por el incremento de usuarios abordados y la reducción de costos por horas de trabajo de choferes.
- Finalmente se concluye que el proyecto es viable económicamente al presentar una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 14.26%, mayor al costo de oportunidad de 12% y un Valor Actual Neto (VAN) de S/.14,449.

6.2. Recomendaciones

- Para el correcto funcionamiento de una línea de transporte se sugiere deba llevarse a cabo de una sola administración que sea formal, tenga la flota y choferes necesarios; que cumpla sus deberes como cualquier empresa y sea supervisada por la municipalidad para un mejor servicio a los usuarios. Asimismo, esta debe apoyar en brindar adecuadas infraestructuras viales, debido a que tanto la congestión vehicular como las pocas opciones de circulación vial pueden afectar los tiempos de circulación y sobrepasar la oferta máxima de pasajeros a transportar.
- El modelo desarrollado en esta tesis va enfocado a líneas de transporte con exclusividad en su ruta y que cuentan con tarifa única, por lo cual puede tener aplicación en sistemas de transporte masivos como buses o metros. También puede tener aplicación en rutas con tramos cortos y poca competencia como en líneas de ciudad al interior del país.
- Asimismo, la función objetivo del modelo resalta el beneficio económico como prioridad, sin embargo, esta puede modificarse y señalar como objetivo reducir los tiempos de espera en los paraderos o los tiempos de viaje a nivel global,

considerando restricciones de beneficios mínimos que pueda aceptar la empresa de transporte.

- La falta de determinación de paraderos autorizados, competencia de choferes, entre otras faltas son aspectos que se requieren solucionar y deben ser sancionados para una correcta gestión del servicio de transporte, ante ello también se sugiere mayor capacitación y supervisión a los operarios.
- El mantenimiento de unidades de transporte es vital para el cumplimiento de las operaciones, por tanto es necesario cumplir con las normas técnicas establecidas, asimismo se puede aprovechar los tiempos de espera de los buses para implementar un plan de mantenimiento e inspección de acuerdo a un procedimiento establecido.
- Este modelo está aplicado para líneas de transporte que tengan exclusividad en la ruta, sin embargo se puede adecuar a una ruta con competencia evaluando probabilidades de comportamiento de pasajeros respecto a las líneas alternativas.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACADEMIA.EDU

2015

Costos y tarifas en el transporte público

Consulta: 22 de Noviembre de 2015.

<https://www.academia.edu/5293162/COSTOS_Y_TARIFAS_EN_EL_TRANSPORTE_P%C3%9ABLICO_AUTOMOTOR_DE_PASAJEROS>

BANCO CENTRAL DE RESERVA

2015

Publicaciones

Consulta: 22 de Noviembre de 2015.

< <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Nota-Semanal/2015/resumen-informativo-09-2015.pdf>>

BANCO DE CRÉDITO DEL PERÚ

2015

Vía BCP

Consulta: 22 de Noviembre de 2015.

<<https://www.viabcp.com/wps/ProductosN3/Tasas.jsp?tio=AFBINM;AFBMYE;AFBOTR;LEASPY;LEAPYM>>

CERRON, Juan Carlos

2006

Sistema de gestión de la calidad basado en procesos

Fondo Editorial de la CMPSA, Trujillo.

CHANG, Richard

1999

Las Herramientas para la mejora continua de la Calidad.

Volumen 2. Buenos Aires: Granica.

CIENCIAS ADMINISTRATIVAS

2012

Diagrama de flujo

Consulta: 12 de Mayo de 2015.

<<https://administrativas.wordpress.com/2012/10/08/flujograma-y-diagrama-de-flujo-de-datos/>>

CORDOVA, Manuel

2006

Estadística Aplicada

Moshera. Lima.

EL COMERCIO

2017

Transporte: 'Pico y placa'

Consulta: 22 de Septiembre de 2017

< <http://elcomercio.pe/lima/transporte/pico-placa-71-apoya-restringir-carros-numero-placa-435654>>

EL COMERCIO

2017

Transporte:

Consulta: 22 de Septiembre de 2017

< <http://elcomercio.pe/economia/trafico-vehicular-dinero-invierten-personas-lima-noticia-noticia-451135?foto=9>>

- EL COMERCIO
2017
Transporte
Consulta: 22 de Septiembre de 2017
< <http://elcomercio.pe/lima/transporte/trafico-dana-92-limenos-estresa-caos-vehicular-noticia-451433>>
- FOURNIER, Sylvain
2009
Dedicated Heuristic for a Back-and-Forth Single-Line Bus Trip Timetabling Problem
Consulta: 30 de Mayo de 2015.
< <http://www.wplex.com.br/wp-content/uploads/2015/02/2010-sbpo-Dedicated-Heuristic-for-a-Back-and-Forth-Single-Line-Bus-Trip-Timetabling-Problem.pdf>>
- GESTIÓN
2017
Economía
Consulta: 22 de Septiembre de 2017
< <http://gestion.pe/economia/limenos-auto-gastan-mas-s-230-semanales-movilizarse-capital-2198021>>
- GUAJARDO, Edmundo
1996
Administración de la Calidad Total: Conceptos y enseñanzas de los grandes maestros de la calidad. Segunda edición.
Editorial Pax México.
- HILLIER, Frederick y LIEBERMAN, Gerald
2010
Introducción a la Investigación de operaciones.
Mcgraw-hill/interamericana editors. Mexico.
- KELTON, W. David
2010
Simulation with Arena
Boston : McGraw-Hill Higher Education
- LAW, Averill
1991
Solutions manual to accompany Law/Kelton : simulation modeling and analysis Arena.
New York : McGraw-Hill
- MATA, Edgar
2011
Matemáticas con tecnologías.
Consulta: 26 de Abril de 2015.
<<http://licmatamath.blogspot.com/2011/06/diagrama-de-pareto-en-excel.html>>
- MAUTTONE, Antonio; MARTINEZ, Héctor y URQUHART, María
2012
Formulación para el problema de la determinación de frecuencias en el transporte colectivo público.
Congreso Latino-Iberoamericano de Investigación operativa.
Consulta: 02 de Junio de 2015.
<<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2012/pdf/arq0145.pdf>>
- MENDENHALL, William
1997
Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.
Cuarta edición. México: Prentice Hall Hispanoamericana.

- MICHALSKY, Walter
1998
40 Herramientas de gestión para fábricas y servicios. Madrid.
Productivity Press.
- ORTIZ, Felipe
2012
Implementación de modelo para control de intervalos a buses
en un corredor de pistas segregadas en Embarq Brt Simulator
Biblioteca virtual Luis Ángel Arango.
Banco de la República Colombia-Actividad Cultural
Consulta: 12 de Junio de 2015.
<[http://admin.banrepcultural.org/blaavirtual/tesis/colfuturo/implem
entacion-de-modelo-para-control-de-intervalos](http://admin.banrepcultural.org/blaavirtual/tesis/colfuturo/implementacion-de-modelo-para-control-de-intervalos)>
- PEREZ, José
2007
Gestión por procesos
Editorial Esic 2da Edición. Madrid
- PROTRANSPORTE
2014
Memo noviembre
Consulta: 22 de Noviembre de 2015.
<http://www.protransporte.gob.pe/pdf/biblioteca/MEMO_V2_NOV.pdf>
- SINOMAQ
2014
Divisiones de buses urbano
Consulta: 04 de Mayo de 2015.
<[http://www.sinomaq.com.pe/divisiones-buses-bus-urbano-
9mtgnv9ug.html](http://www.sinomaq.com.pe/divisiones-buses-bus-urbano-9mtgnv9ug.html)>
- STERN
2015
Betas by sector.
Consulta: 22 de Noviembre de 2015.
<[http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/dat
afile/Betas.html](http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html)>
- TAHA, Hamdy
2011
Investigación de operaciones.
Editorial Pearson. Mexico.
- WINSTON, Wayne L.
2005
Investigación de operaciones, algoritmos y aplicaciones.
International Thompson editors.