

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PROPUESTA DE MEJORA EN REDUCCIÓN DE TIEMPO DE  
PARADA E INCREMENTO DE VELOCIDAD PROMEDIO DE  
RECORRIDO DEL SERVICIO DE UNA EMPRESA DE BUSES DE  
TRÁNSITO RÁPIDO**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial**

**AUTOR**

Jean Franco Ramos Torres

**ASESOR:**

Wilmer Jhonny Atoche Díaz

Lima, Marzo, 2025

## Informe de Similitud


Yo, WILMER JHONNY ATOCHE DIAZ, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada:

PROPUESTA DE MEJORA EN REDUCCIÓN DE TIEMPO DE PARADA E INCREMENTO DE VELOCIDAD PROMEDIO DE RECORRIDO DEL SERVICIO DE UNA EMPRESA DE BUSES DE TRÁNSITO RÁPIDO,

del autor: Jean Franco Ramos Torres, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 19%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 13/03/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: San Miguel, 14 de marzo de 2025

Apellidos y nombres del asesor: <u>ATOACHE DIAZ, Wilmer Jhonny</u>	
DNI: 08134370	 Firma
ORCID: 0000-0002-0923-7608	

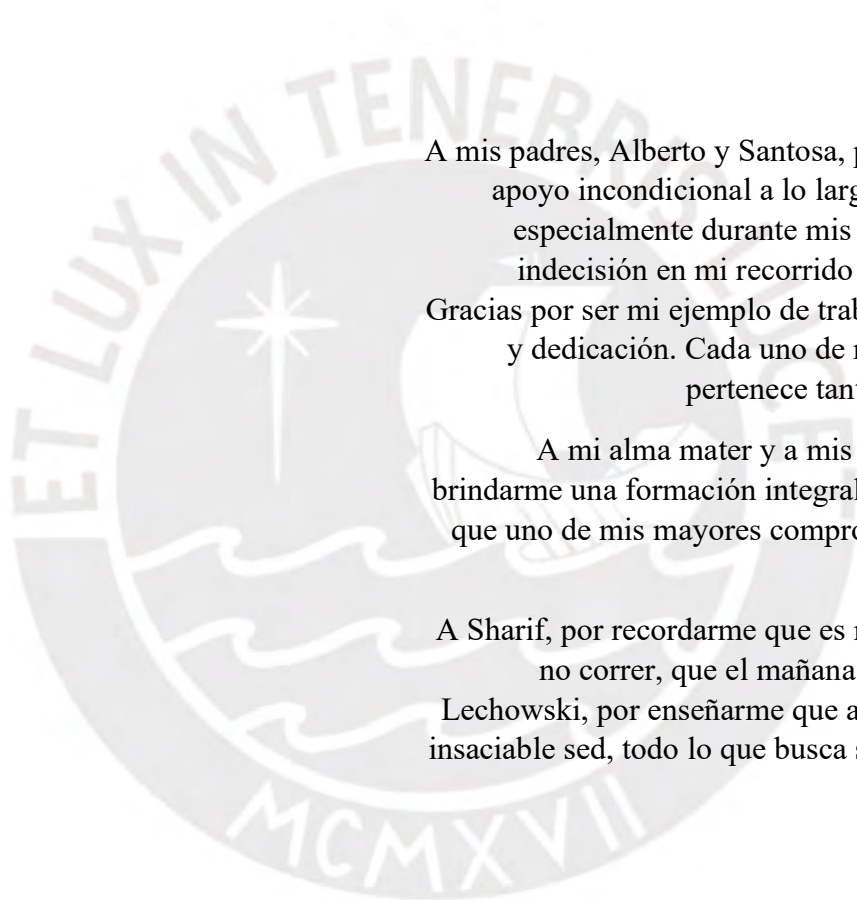
## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo mejorar el servicio de transporte alimentador de una empresa en Lima Metropolitana. Este servicio presenta problemas de satisfacción al cliente debido a excesivos tiempos de viaje en las horas punta. Sumado a esto, también se presenta problemas de rentabilidad debido una menor demanda de pasajeros al estimado inicialmente, motivo por el cual es imperante mejorar la eficiencia de este servicio.

Se busca realizar modificaciones a los procesos de subida y bajada de pasajeros en los buses alimentadores, con lo cual se opta por disminuir los tiempos de parada promedio en los paraderos de las rutas. Con ello se busca disminuir los tiempos de parada e incrementar la velocidad promedio en las rutas, lo que conllevará a reducir el retraso de buses, incrementar el uso de los activos y mejorar la rentabilidad del servicio. Así también, el tiempo de espera por los buses será reducido, así como el tiempo de espera adicional por la presencia de buses con capacidad completa de pasajeros, lo cual repercutirá en disminuir la cantidad de pasajeros que se abstienen de usar el servicio debido a demoras o buses a máxima capacidad.

Para lograr estos beneficios descritos, primero se estimaron los tiempos de bajada y subida promedios en las terminales del servicio alimentador a través de un muestreo aleatorio. Luego se estudiaron las formas de pago y los procesos de subida y bajada de pasajeros en los buses, con lo cual se propuso una mejora que consiste en: remover el torniquete que presentan los buses para el ingreso de pasajeros, realizar el pago en las terminales al ingresar a estas y que se dé la bajada/subida de pasajeros por ambas puertas. Posteriormente se modelaron los datos para determinar los ahorros de tiempos de parada en las distintas rutas, tanto en horas punta como en horas valle, y con ello estimar las mejoras en las velocidades promedio en las rutas. También se realizó una evaluación económica para determinar la rentabilidad de la propuesta de mejora.

El caso de estudio pretende incrementar la rentabilidad del servicio en base a un uso más efectivo de los recursos debido a la reducción de costos e incremento de ingresos, producto de una disminución del horario de recorrido en algunas rutas y del incremento de vueltas disponibles en otras. Sin embargo, el principal beneficio para la empresa y los pasajeros es un mejor servicio que tiene menor tiempo de espera en los paraderos, menores retrasos y menor tiempo de recorrido en las rutas.



A mis padres, Alberto y Santosa, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida, especialmente durante mis momentos de indecisión en mi recorrido universitario. Gracias por ser mi ejemplo de trabajo, esfuerzo y dedicación. Cada uno de mis logros les pertenece tanto como a mí.

A mi alma mater y a mis docentes, por brindarme una formación integral y enseñarme que uno de mis mayores compromisos es con mi pasión.

A Sharif, por recordarme que es mejor andar y no correr, que el mañana ya es ayer. A Lechowski, por enseñarme que al buscador de insaciable sed, todo lo que busca se esconde en su ser.

# ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo 1. MARCO TEÓRICO .....	2
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Definiciones .....	5
1.2.1. Demanda .....	5
1.2.2. Investigación de operaciones .....	5
1.2.3. Programación lineal y no lineal.....	6
1.2.4. Procesos estocásticos .....	7
1.2.5. Cadena de valor.....	7
1.2.6. Conceptos estadísticos .....	8
1.2.6.1. Población y muestra.....	8
1.2.6.2. Tamaño de muestra .....	9
1.2.6.3. Intervalos de confianza.....	9
1.2.6.4. Prueba de hipótesis .....	10
1.2.6.5. Prueba de normalidad.....	11
1.2.6.6. Métodos Bootstrap .....	11
1.2.6.7. Prueba de los rangos con signos Wilcoxon .....	12
1.2.7. Herramientas de calidad .....	13
1.2.7.1. Diagrama de flujo .....	13
1.2.7.2. Diagrama de Kauro Ishikawa.....	14
1.2.7.3. Diagrama de Pareto.....	14
1.2.7.4. Cartas de control para variables .....	15
1.2.7.5. Matriz de priorización .....	16
1.2.8. Indicadores de desempeño en el transporte público .....	16
1.2.8.1. Indicadores de calidad al usuario.....	16
1.2.8.2. Indicadores de eficiencia operacional .....	17
1.2.8.3. Indicadores de productividad .....	17
1.2.9. Factores que influyen en la velocidad de tránsito .....	19
Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA .....	20
2.1. Descripción de la empresa .....	20
2.2. Misión y visión.....	20
2.3. Estructura organizacional .....	20
2.4. Vías y rutas .....	22
2.4.1. Vía troncal .....	23
2.4.2. Vías alimentadoras .....	23
2.5. Servicio .....	24

2.5.1. Servicio troncal .....	24
2.5.1.1. Servicio regular .....	25
2.5.1.2. Servicio expreso .....	25
2.5.1.3. Servicio súper expreso .....	26
2.5.2. Servicio alimentador .....	26
2.5.2.1. Servicio alimentador zona norte .....	27
2.5.2.2. Servicio alimentador zona sur .....	27
2.5.2.3. Servicio alimentador especial .....	27
2.6. Horarios y paraderos .....	27
2.7. Recursos principales .....	29
2.7.1. Buses articulados .....	29
2.7.2. Buses alimentadores .....	29
2.7.3. Estaciones .....	30
2.7.3.1. Estaciones tramo centro .....	31
2.7.3.2. Estaciones tramo norte .....	31
2.7.3.3. Estaciones Tramo Sur .....	32
2.8. Cadena de Valor .....	33
2.9. Procesos relevantes .....	34
2.9.1. Subida y bajada de pasajeros .....	34
2.9.2. Pago del servicio .....	34
2.9.3. Recorrido de buses .....	35
Capítulo 3. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO .....	36
3.1 Análisis de la estabilidad de procesos .....	36
3.2 Análisis de los márgenes de contribución .....	39
3.3 Análisis de satisfacción de servicio al cliente .....	40
3.4 Matriz de priorización de soluciones propuestas .....	48
Capítulo 4. PROPUESTA DE MEJORA .....	51
4.1 Factores que impactan el tiempo de parada .....	51
4.2 Recopilación de datos .....	51
4.2.1 Tiempos de subida y bajada .....	51
4.2.2 Tiempos de viaje y velocidades promedio .....	55
4.2.3 Tiempos de subida con distintos medios de pago .....	55
4.2.4 Afluencia de pasajeros .....	56
4.3 Escenarios de propuesta de mejora .....	56
4.4 Tiempo estimado de mejora en los escenarios .....	57
4.5 Elección del escenario .....	58
4.6 Estimación de la mejora en la velocidad promedio .....	59
Capítulo 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA .....	62
5.1 Análisis de resultados .....	62

5.2	Ingresos .....	63
5.3	Inversión y costos .....	64
5.4	Flujo de Caja .....	64
Capítulo 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		67
6.1	Conclusiones .....	67
6.2	Recomendaciones .....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		71



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Cadena de Valor de Porter.....	7
Figura 1.2 Cadena de Valor de Alonso.....	8
Figura 1.3 Simbología de diagramas de flujos.....	13
Figura 1.4 Diagrama de Ishikawa.....	14
Figura 1.5 Diagrama de Pareto.....	14
Figura 1.6 Cartas de control $\bar{X} - R$ .....	15
Figura 1.7 Factores que influyen en la velocidad de tránsito.....	19
Figura 2.1 Organigrama de la empresa.....	22
Figura 2.2 Vía troncal.....	23
Figura 2.3 Ruta alimentadora norte.....	24
Figura 2.4 Ruta alimentadora sur.....	24
Figura 2.5 Cantidad de validaciones (en millones) del servicio troncal.....	25
Figura 2.6 Cantidad de validaciones (en millones) del servicio alimentador.....	27
Figura 2.7 Recorridos de los servicios troncales.....	28
Figura 2.8 Bus articulado.....	29
Figura 2.9 Bus alimentador.....	30
Figura 2.10 Cantidad de validaciones (en millones) por estaciones del tramo centro.....	31
Figura 2.11 Cantidad de validaciones (en millones) por estaciones del tramo norte.....	32
Figura 2.12 Cantidad de validaciones (en millones) por estaciones del tramo sur.....	32
Figura 2.13 Cadena de Valor de PROTRANSPORTE.....	33
Figura 2.14 Diagrama de flujo del recorrido del servicio troncal.....	35
Figura 2.15 Diagrama de flujo del recorrido del servicio alimentador.....	35
Figura 3.1 Prueba de normalidad de datos sin transformar.....	36
Figura 3.2 Prueba de normalidad de datos transformados.....	37
Figura 3.3 Carta de control $\bar{X} - R$ en el servicio alimentador.....	37
Figura 3.4 Nueva carta de control $\bar{X} - R$ en el servicio alimentador.....	38
Figura 3.5 Margen de contribución planeado y actual para el servicio troncal.....	39
Figura 3.6 Margen de contribución planeado y actual para el servicio alimentador.....	40
Figura 3.7 Diagrama de causa efecto 1.....	42
Figura 3.8 Diagrama de causa efecto 2.....	42
Figura 3.9 Diagrama de causa efecto 3.....	42
Figura 3.10 Diagrama de causa efecto 4.....	43
Figura 3.11 Diagrama de causa efecto 5.....	43
Figura 3.12 Diagrama de causa efecto 6.....	43
Figura 4.1 Prueba de normalidad a tiempos de subida y bajada.....	52
Figura 4.2 Distribuciones muestrales de las medias.....	53
Figura 4.3 Distribuciones muestrales de las desviaciones estándares.....	54
Figura 4.4 Ahorros en tiempo de parada por línea - Alimentador.....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Resultados de pruebas de hipótesis.....	10
Tabla 1.2 Matriz de priorización .....	16
Tabla 2.1 Servicios regulares y sus recorridos.....	25
Tabla 2.2 Servicios expresos y sus recorridos .....	26
Tabla 2.3 Servicios súper expresos y sus recorridos.....	26
Tabla 2.4 Horarios de los servicios troncales .....	28
Tabla 3.1 Problemas de reclamaciones – Servicio alimentador.....	41
Tabla 3.2 Problemas de reclamaciones – Servicio troncal .....	41
Tabla 3.3 Velocidad promedio en las líneas del servicio troncal .....	45
Tabla 3.4 Tiempos de viaje en las rutas del servicio alimentador .....	46
Tabla 3.5 Programación de buses en las líneas del servicio troncal .....	47
Tabla 3.6 Programación de buses en las rutas del servicio alimentador .....	47
Tabla 3.7 Comparación pareada de factores .....	49
Tabla 3.8 Orden jerárquico – Impacto al sistema.....	49
Tabla 3.9 Orden jerárquico – Simplicidad del problema .....	49
Tabla 3.10 Orden jerárquico – Costo de implementación .....	49
Tabla 3.11 Orden jerárquico – Viabilidad de la solución.....	50
Tabla 3.12 Confrontación del índice de importancia con los órdenes jerárquicos .....	50
Tabla 4.1 Tiempos de subida y bajada en distintos escenarios de pago.....	54
Tabla 4.2 Tiempos de subida y bajada en distintos escenarios de pago.....	55
Tabla 4.3 Tiempos de subida y bajada en los escenarios del servicio alimentador .....	57
Tabla 4.4 Ahorros en tiempo de parada por línea - Alimentador .....	58
Tabla 4.5 Estimación de las velocidades promedio .....	61
Tabla 5.1 Mejoras obtenidas con el escenario propuesto .....	62
Tabla 5.2 Indicadores de resultados.....	63
Tabla 5.3 Ingresos de la propuesta de mejora .....	64
Tabla 5.4 Inversión de la propuesta de mejora.....	64
Tabla 5.5 Costos de la propuesta de mejora .....	64
Tabla 5.6 Estructura de capital de la propuesta de mejora .....	65
Tabla 5.7 Valores usados para la evaluación financiera .....	65
Tabla 5.8 Flujo de caja de la propuesta de mejora .....	65
Tabla 5.9 Indicadores de la evaluación de la propuesta de mejora.....	66

# INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como propósito mejorar el servicio de transporte alimentador en la empresa PROTRANSPORTE al presentar una propuesta de optimización en los tiempos de viaje del servicio. En particular, se busca reducir los tiempos de parada en los paraderos con el fin de optimizar los procesos de ruta. Esto implica disminuir los tiempos de parada promedio en los paraderos, incrementar la velocidad promedio en las rutas y atender una mayor demanda de pasajeros al incrementar la utilización de los recursos. Como resultado, se espera no solo incrementar el beneficio económico de la empresa, sino también mejorar la calidad del servicio para los usuarios.

En el capítulo 1 se presentan los conceptos asociados a las metodologías que constituyen las herramientas para la mejora de procesos en la empresa en estudio, tales como son los conceptos estadísticos, investigación de operaciones y control de calidad.

El capítulo 2 describe a la empresa objeto de estudio, su organización, procesos, infraestructura, medios operativos, recursos y recorridos de ruta.

En el capítulo 3 se desarrolla el diagnóstico de la situación actual de la empresa a través de la identificación de sus principales problemáticas por medio de herramientas de control de calidad. Se hace referencia al estado de los procesos de la empresa y su desempeño para la satisfacción de los usuarios con el servicio recibido.

El capítulo 4 presenta la propuesta de mejora a realizar donde se evalúan tres escenarios de mejora para el ahorro de tiempos de parada que permite incrementar la velocidad promedio de recorrido en las rutas y con ello incrementar la cantidad de pasajeros atendidos. Se escoge al mejor escenario en base al que produce el mayor ahorro de tiempos y el mayor incremento de velocidad.

En el capítulo 5 se muestra la evaluación económica y financiera de la propuesta de mejora analizando los costos, ingresos e inversión asociados a su implementación, y realizando la comparativa con la situación actual para mostrar el incremento de beneficios y su viabilidad financiera. Finalmente, en el capítulo 6 se detallan las conclusiones y recomendaciones del caso en estudio.

# Capítulo 1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se realiza la descripción de los conceptos que son los fundamentos con los cuales se tendrá un mayor entendimiento y sustento teórico del caso de estudio. Así también, se mencionan algunos antecedentes de estudios que se llevaron a cabo en el mismo campo al del presente caso de estudio.

## 1.1. Antecedentes

Aplicando técnicas de Investigación de Operaciones, se llevó a cabo un análisis de la demanda en la Línea B del Metro de la Ciudad de México (Ramírez, 2016). El estudio se centró en la optimización de dos aspectos clave: la minimización del costo de traslado entre estaciones y la reducción del número de trenes en circulación. Para lograrlo, se desarrolló un modelo que consideró los tiempos de traslado y la afluencia de usuarios. Debido a la disponibilidad limitada de datos, se aproximó la distribución de la afluencia diaria a una distribución uniforme, utilizando la media y la desviación estándar como parámetros. Asimismo, se emplearon datos de tiempos de recorrido para estimar los tiempos de viaje entre estaciones y modelar la frecuencia de llegada de pasajeros.

Entonces, se usa un modelo con teoría de colas con los datos de tiempo de servicio y tiempo entre llegadas para lograr estimar el tiempo promedio de espera de las personas en las estaciones hasta abordar el tren. Con este modelamiento se plantea una mejora de eficiencia referente al número de trenes necesarios que deben operar, el cual resulta inferior al que se encuentra en circulación, con un estimado necesario de 18 trenes, frente a los 21 que se encuentran en circulación. Así también, se usó un método de simulación para optimizar los tiempos de servicio y de espera de los pasajeros. Como propuesta de mejora, se plantea que, en horas pico, los trenes omitan paradas en algunas estaciones estratégicas, ya que presentan menos demanda de embarque y desembarque de pasajeros, lo que reduciría el tiempo de servicio de 42 a 30.6 minutos y disminuiría el tiempo promedio de espera de los pasajeros.

Así también, Berbeya (2014) propone un algoritmo de replanificación en tiempo real para las líneas del Metro de Madrid. En este caso de estudio, primero se modela el tráfico del metro con un sistema de ecuaciones en tiempo discreto que toma en consideración los tiempos de salida de cada tren en cada estación, los tiempos de viaje desde una estación hasta la siguiente

correspondiente y los tiempos de parada en cada estación. Para hacer frente a las perturbaciones que pueden presentar las líneas del metro se consideran las aplicaciones de acciones de control para corregir los itinerarios de los trenes a través de la manipulación de los tiempos de parada y de viajes entre estaciones. Posteriormente, el problema se reformula en términos de una representación discreta del espacio de estados, donde las desviaciones horarias se modelan como la diferencia entre el horario planificado y el tiempo real de llegada de los trenes a cada estación.

A continuación, se estima el número de pasajeros en el tren y se aborda dicho problema mediante una estimación probabilística. Esto implica la clasificación de las estaciones según su nivel de importancia dentro de la línea de metro. Basándose en esta clasificación, se calcula la probabilidad de que un pasajero que se encuentra en un tren en una determinada estación descienda en la siguiente. Para ello, se consideran factores como el número de estaciones restantes hasta la terminal y la relevancia de cada estación dentro de la red de transporte.

Finalmente, se diseña un algoritmo de replanificación en tiempo real para gestionar perturbaciones significativas en el sistema. Este algoritmo permite eliminar uno o más trenes de los horarios planificados temporalmente hasta que la operación vuelva a la normalidad. En otras palabras, el horario de un tren afectado puede ser absorbido por el tren subsiguiente, asegurando la estabilidad del servicio. A través de este modelo, se calcula un índice de estabilidad en tiempo real, lo que permite predecir y anticipar la necesidad de ajustes en los horarios de los trenes. De este modo, el sistema se convierte en una herramienta efectiva para la planificación del tráfico y la reprogramación dinámica de las líneas del metro.

Los resultados experimentales que se obtuvieron incluyen la disminución de los valores mínimos y máximos de estabilidad del metro, ya que originalmente tiene valores de -75 y 60, respectivamente; y con este modelo se reducen a -1.48 y 0.5. Con esto, si se da la congestión de pasajeros con una perturbación de 500 segundos, en el escenario original se tiene un tren con una saturación máxima de 826 pasajeros; en cambio, al aplicar el modelo se obtiene un grupo de trenes con una distribución de carga de pasajeros más equilibrada y saturación máxima de 540 pasajeros, lo que indica una mejora respecto a la situación original.

Por otro lado, concerniente a Lima Metropolitana, Barrantes (2015) analiza el problema del diseño de rutas en una zona específica de la ciudad con el objetivo de reducir el tiempo total de viaje y disminuir la demanda insatisfecha. Para ello, se modela el problema como un

Problema de Diseño de Rutas de Tránsito, el cual busca optimizar la eficiencia de la red de transporte considerando restricciones operativas y de recursos disponibles.

En este estudio, se evalúan dos algoritmos como posibles enfoques de solución: el algoritmo de Recocido Simulado, desarrollado por Zhao y Gan, y el algoritmo PIA, propuesto por Mauttone y Urquhartparta. El primero tiene como objetivo diseñar rutas más directas, reducir el número de transferencias entre líneas y maximizar la cobertura del servicio de transporte. Por su parte, el algoritmo PIA se centra en optimizar el diseño de rutas de manera que se cubra la mayor demanda posible con los recursos disponibles, al tiempo que se minimizan los costos asociados a la creación de nuevas rutas.

Para evaluar el desempeño de ambos enfoques, se emplea el diseño de experimentos numéricos y pruebas de hipótesis, con el fin de comparar los valores de la función objetivo obtenidos por el algoritmo de Recocido Simulado y el algoritmo PIA. La comparación se realiza en función de las medias y varianzas de las funciones objetivo de cada algoritmo, obtenidas a partir de simulaciones aplicadas a modelos de redes de transporte.

Los resultados del análisis indican que el algoritmo Recocido Simulado presenta mejores prestaciones y eficiencia, y es propuesto para resolver la problemática. Con base en ello se desarrolla una aplicación que permite la creación de rutas de transporte público basada en las zonas que presentan mayores demandas de transporte y la reducción del tiempo de viaje total, las cuales pueden servir de complemento a las rutas existentes en situaciones de mayor tráfico.

Por otro lado, Lavandera (2018) aborda la mejora de asignación de recursos en una empresa de transporte en Lima Metropolitana. El estudio se centra en la determinación de las frecuencias de salida de los buses en distintos periodos del día. Además, se estima la cantidad óptima de flota necesaria para garantizar la operación eficiente del servicio, así como la programación de los buses en función de los horarios establecidos.

Para esto se hace uso de herramientas de simulación con variables como niveles de tráfico, capacidad de buses, demanda de pasajeros por estación, probabilidades de cambio de opinión de un pasajero de usar el servicio por espera, probabilidades de cambio de opinión de un pasajero de usar el servicio por bus lleno, entre otros. Con estos datos se realiza un modelo de simulación del servicio de transporte haciendo uso de teoría de colas con el fin de realizar mejoras al servicio. Así también, se hace uso de programación lineal para calcular la cantidad óptima de conductores necesarios para cumplir con la programación de buses por horarios.

La implementación del modelo desarrollado permite aumentar la cantidad de atención de usuarios en un 7.8% y se incrementa la cantidad de viajes en un 5%. Así también, al realizar la programación de conductores se incrementa la utilización de este recurso en un 12%. Finalmente, se concluye que, además de reducir los costos operativos y aumentar los ingresos de la empresa, se minimizan las pérdidas de pasajeros debido a tiempos de espera prolongados o retrasos en la salida de los buses.

## **1.2. Definiciones**

### **1.2.1. Demanda**

Andrade (2006) menciona que “es la cantidad de bienes o servicios que el comprador o consumidor está dispuesto a adquirir a un precio dado y en un lugar establecido, con cuyo uso pueda satisfacer parcial o totalmente sus necesidades particulares o pueda tener acceso a su utilidad intrínseca”. Cuando se menciona la demanda en el caso de estudio, se refiere a las personas que usan los servicios del Metropolitano, es decir, la cantidad de usuarios que utilizan el servicio a lo largo de las rutas troncal y/o alimentadoras.

Con el fin de estudiar el comportamiento de esta demanda es necesario descubrir factores o patrones característicos de la demanda (Krajewski, 2008), los cuales pueden comprender:

- Horizontal: Variaciones de los datos alrededor de una media constante.
- Tendencia: Incremento o disminución sostenida de la media a lo largo del tiempo.
- Elemento Estacional: Patrón recurrente de aumentos y descensos en función de la hora del día, la semana, el mes o la temporada.
- Elemento Cíclico: Fluctuaciones graduales y menos predecibles de la demanda a lo largo de periodos prolongados, como años o décadas.
- Variación Aleatoria: Cambios impredecibles en la demanda.

### **1.2.2. Investigación de operaciones**

Taha (2012) define la investigación de operaciones como “el arte de describir y modelar el problema, y la ciencia de resolver el modelo utilizando algoritmos matemáticos precisos”. Por su parte, Winston (2005) la describe como “un enfoque científico en la toma de decisiones que busca el mejor diseño y operar un sistema, por lo regular en condiciones que requieren la asignación de recursos escasos”.

La investigación de operaciones emplea diversos métodos cuantitativos para la resolución de problemas, entre los que se incluyen la programación lineal y entera, cadenas de Markov, teoría de colas y simulación, entre otros.

### 1.2.3. Programación lineal y no lineal

De acuerdo con Taha (2012), “la técnica de investigación de operaciones más importante es la programación lineal. Está diseñada para modelos con funciones objetivos y restricciones lineales”. En esencia, la programación lineal busca maximizar o minimizar una función lineal denominada función objetivo, la cual está sujeta a un conjunto de restricciones representadas por igualdades o desigualdades lineales

Por su parte, Hillier (2010) remarca que “la palabra programación no se refiere a términos computacionales; en esencia es sinónimo de planeación. Por lo tanto, la programación lineal involucra la planeación de actividades para obtener un resultado óptimo”.

A continuación, se presenta la formulación de un modelo estándar de programación lineal según Hillier (2010).

Declaración de variables:	$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$
Función objetivo:	Maximizar $Z = c_1 * x_1 + c_2 * x_2 + c_3 * x_3 + \dots + c_n * x_n$
Restricciones:	$a_{11} * x_1 + a_{12} * x_2 + \dots + a_{1n} * x_n \leq b_1$ $a_{21} * x_1 + a_{22} * x_2 + \dots + a_{2n} * x_n \leq b_2$ $\cdot$ $\cdot$ $\cdot$ $a_{m1} * x_1 + a_{m2} * x_2 + \dots + a_{mn} * x_n \leq b_m$
Rango de existencias:	$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$

La función objetivo es la función Z que se desea maximizar en base a las variables declaradas, y estas están sujetas a restricciones que deben cumplir. Así mismo, el rango de existencia presenta el rango de valores que las variables pueden asumir.

Por su parte, Anderson et al. (2011) mencionan que “un modelo de optimización no lineal tiene por lo menos un término no lineal, ya sea en una restricción o en la función objetivo”. Estos términos no lineales pueden incluir: variables elevadas a la enésima potencia, raíces enésimas de variables, divisiones entre variables, etc.

#### 1.2.4. Procesos estocásticos

La siguiente definición está basada en Hillier (2010). Un proceso estocástico se define como una colección indexada de variables aleatorias  $\{X_t : t \in T\}$ . Por ende, para cada instante de tiempo  $t$ , existe una variable aleatoria  $X_t$ , lo que permite interpretar un proceso estocástico como una sucesión de variables aleatorias cuyas propiedades evolucionan a lo largo del tiempo.

Los valores que puede asumir la variable aleatoria  $X_t$  se denominan estados, los cuales pueden pertenecer a un espacio de estados discreto o continuo. Si, para cada instante  $t$ ,  $X_t$  es continua, el proceso estocástico se considera de estado continuo; por el contrario, si  $X_t$  es discreta, el proceso estocástico será de estado discreto.

Asimismo, la variable tiempo  $t$  puede ser de tipo discreto o de tipo continuo. Donde el tiempo continuo implica cambios de estado cada instante y el tiempo discreto implica cambios de estado que ocurren por periodos de tiempo. Entonces, partiendo de estos conceptos, la demanda del servicio del Metropolitano es un proceso de estado discreto y tiempo continuo.

#### 1.2.5. Cadena de valor

La Cadena de Valor de Michael Porter es una herramienta clave para analizar actividades organizacionales y su impacto estratégico. Este modelo permite identificar el valor generado para los clientes, el cual constituye una fuente clave de ventaja competitiva. La Cadena de Valor se compone de un conjunto de actividades interrelacionadas dentro de una organización, las cuales agregan valor a los productos. Además, incluye tanto las actividades generadoras de valor agregado como los márgenes resultantes del sistema de producción, proporcionando así un marco analítico para comprender la relación entre las actividades organizacionales que crean valor para el cliente y la rentabilidad empresarial (Porter, 1986).



Figura 1.1 Cadena de Valor de Porter

Fuente: Alonso (2008)

No obstante, el modelo de Porter se enfoca principalmente en organizaciones industriales que ofrecen productos tangibles. Por ende, para analizar a la empresa de este caso de estudio, que es una empresa de servicios, se empleará el modelo de Cadena de Valor para Empresas de Servicios propuesto por Gustavo Alonso (Alonso, 2008).

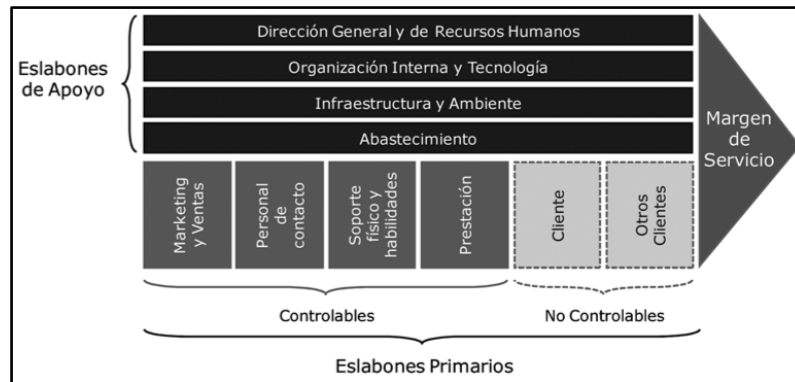


Figura 1.2 Cadena de Valor de Alonso

Fuente: Alonso (2008)

La principal adaptación de la herramienta a empresas de servicios se da en los eslabones primarios, los cuales son redefinidos y se presenta una clasificación adicional en lo que respecta a las posibilidades de control. Por su parte los eslabones de apoyo, levemente modificados, tienen la función de contribuir al montaje del escenario en el cual tendrá lugar la prestación del servicio, procurando el establecimiento de las mejores condiciones posibles.

### 1.2.6. Conceptos estadísticos

A continuación, se detallan definiciones estadísticas de utilidad para el desarrollo del presente caso de estudio.

#### 1.2.6.1. Población y muestra

Según Johnson (2012), “una población estadística es el conjunto de todas las mediciones (o registros de algún rasgo de calidad) correspondientes a cada unidad en toda la población de unidades, acerca de la cual se busca información”. En este contexto, el tamaño de una población es el número de elementos que la conforman. Si este puede determinarse, la población es finita; en caso contrario, se considera infinita por contener una cantidad ilimitada de elementos.

Así también, Johnson (2012) señala que “una muestra de una población estadística es el subconjunto de mediciones que realmente se recolectan en el curso de una investigación”. Su propósito es analizar y determinar las características de la población de la cual proviene.

### 1.2.6.2. Tamaño de muestra

Según Pérez (2022), se puede determinar el tamaño de muestra necesario de tal forma que la media de esta presente un error de estimación que no sea mayor a un valor dado respecto a la media de la población. En otros términos, se puede establecer la cantidad de elementos de la población necesarios para que la muestra sea representativa de esta con un error de estimación dado. Se calcula de la siguiente forma:

$$n = \frac{\sigma^2 * N * \left(Z_{1-\frac{\alpha}{2}}\right)^2}{\left(Z_{1-\frac{\alpha}{2}}\right)^2 * \sigma^2 + e^2 * (N-1)}$$

Donde:

$n$  = tamaño de muestra

$N$  = tamaño de la población

$\sigma$  = desviación estándar de la población

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$  = valor de  $Z$  correspondiente al nivel de confianza del  $(1-\alpha)\%$

$e$  = máximo error muestral permisible

Cuando la población es infinita o su tamaño tiende al infinito, la fórmula anterior se puede reducir a la siguiente forma:

$$n = \frac{\sigma^2 * \left(Z_{1-\frac{\alpha}{2}}\right)^2}{e^2}$$

### 1.2.6.3. Intervalos de confianza

Según Levine et al. (2012) y Córdova (2003), la estimación por intervalo consiste en determinar un parámetro dentro de un intervalo cerrado, cuyos valores extremos del intervalo se obtienen a partir de la distribución del estadístico que estima puntualmente. Es decir, el intervalo de confianza (IC) está conformado por el estadístico que estima puntualmente al parámetro, al cual se le adiciona un margen de error de estimación acorde al grado de confianza de que el parámetro a ser estimado se encuentre dentro del intervalo. Entonces, se pueden estimar distintos parámetros de una población, y a continuación se mencionará algunos de estos seguidos de sus supuestos y formulaciones.

- Para la media: Se asume que la muestra es aleatoria y proviene de una población normal o que su tamaño es lo suficientemente grande (mayor o igual a 30), de tal forma que la distribución de la media sea o se aproxime a una normal. A continuación, se detallan las

fórmulas del intervalo de confianza para los dos escenarios de la población:

$$\text{Población no normal: } \bar{x} - (S * Z_{1-\frac{\alpha}{2}})/\sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + (S * Z_{1-\frac{\alpha}{2}})/\sqrt{n}$$

$$\text{Población normal: } \bar{x} - (S * t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1})/\sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + (S * Z_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1})/\sqrt{n}$$

- Para la varianza: Se asume que la muestra es aleatoria y proviene de una población normal.

La formulación es la siguiente:

$$(n - 1) * S^2 / \chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} \leq \sigma^2 \leq (n - 1) * S^2 / \chi^2_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$$

#### 1.2.6.4. Prueba de hipótesis

Según Selvamuthu y Das (2018) y Córdova (2003), una prueba de hipótesis estadística es un procedimiento para decidir si se rechaza o no una hipótesis en favor de una hipótesis alternativa, con base en los resultados de una muestra aleatoria de la población. La hipótesis nula ( $H_0$ ) representa a la hipótesis que es aceptada provisionalmente como verdadera y cuya validez será sometida a comprobación experimental. Por otro lado, la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) es la hipótesis opuesta a la nula.

Como se observa en la Tabla 1, en base a los resultados obtenidos de una muestra aleatoria, hay 4 posibles situaciones que determinan si la decisión tomada es correcta o no:

Tabla 1.1 Resultados de pruebas de hipótesis

Decisión	$H_0$ verdadera	$H_0$ falsa
Rechazar $H_0$	Error tipo I Probab: $\alpha$	Decisión correcta Probab: $1-\beta$
Aceptar $H_0$	Decisión correcta Probab: $1-\alpha$	Error tipo II Probab: $\beta$

Fuente: Córdova (2003)

Así, existen los escenarios correctos de aceptar  $H_0$  cuando es verdadera y de rechazarla cuando es falsa. Por otro lado, se denomina error tipo I al error que se comete al rechazar  $H_0$  cuando es verdadera, denotada con la probabilidad  $\alpha$ ; y se denomina error tipo II al error que se comete al no rechazar  $H_0$  cuando es falsa, denotada con la probabilidad  $\beta$ . Entonces, se pueden calcular pruebas de hipótesis para distintos parámetros de una población, y a continuación se mencionará algunos de estos:

- Para la media: Se asume que la población es normal o que el tamaño de muestra es lo suficientemente grande (mayor o igual a 30).
- Para la varianza: Se asume que la muestra proviene de una población normal.

### **1.2.6.5. Prueba de normalidad**

Permite evaluar si la distribución de un conjunto de datos se asimila a una distribución normal. De acuerdo con Thode (2002), la prueba de normalidad mide el grado de ajuste de un modelo normal a los datos; si dicho ajuste es bajo, entonces se concluye que los datos no siguen una distribución normal.

Esta prueba se debe a que algunas herramientas estadísticas se basan en supuestos de normalidad, por lo cual se debe asegurar que los datos cumplen este supuesto. Cuando se da el caso de datos no normales es posible realizar transformaciones de datos siempre y cuando no sea justificada la falta de normalidad debido a características propias de la generación de datos.

Dentro de las transformaciones disponibles se encuentran transformaciones logarítmicas, de raíz cuadrada, Box-Cox, entre otros. La transformación Box-Cox busca el valor de un parámetro de transformación óptimo, el cual se usará para elevar los datos a dicha potencia. Con esta transformación datos transformados se consigue estabilizar la variabilidad tanto estacional como aleatoria, así como disminuir los problemas de normalidad, por lo cual es bastante recomendable para transformar series de tiempo (Ruppert y Matteson, 2015). A continuación, se presentan algunas pruebas de normalidad:

1. Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov: Compara la distribución de probabilidad de los datos con una distribución teóricamente especificada (en este caso, una distribución normal). El estadístico de prueba de KS mide la distancia máxima entre la función de distribución acumulada empírica de la muestra y la función de distribución acumulada especificada (Stephens, 1974).
2. Prueba de normalidad de Anderson-Darling: Prueba si una muestra se extrae de una distribución de probabilidad dada (en este caso, una distribución normal). Es más poderosa que la prueba Kolmogorov-Smirnov, ya que considera todos los valores en los datos y no solo el que produce la distancia máxima (Stephens, 1974).

### **1.2.6.6. Métodos Bootstrap**

Los métodos bootstrap son técnicas de remuestreo que surgen debido a la necesidad del supuesto de normalidad en la estadística inferencial, como en la estimación de intervalos de confianza para la media. En estos casos, se parte del supuesto de que la población sigue una

distribución normal o de que, con un tamaño de muestra suficientemente grande, la distribución de la media tiende a una distribución normal, independientemente de la distribución original de la población. Así, los métodos bootstrap permiten evaluar directamente la distribución muestral de los estadísticos sin depender del supuesto de normalidad, lo que posibilita la construcción de intervalos de confianza (Heeringa, 2017).

Según Davison y Hinkley (2013), el fin de los métodos bootstrap también es construir un modelo de distribución para determinar estadísticos a partir de la muestra. Sin embargo, en estos métodos no se establecen supuestos sobre distribuciones teóricas que siguen los estadísticos, ya que su distribución se obtiene mediante la simulación de un número elevado de muestras aleatorias (remuestreos) generadas a partir de una pseudopoblación, la cual se basa en una muestra de la población original. Dentro de sus aplicaciones se incluyen pruebas de hipótesis, intervalos de confianza, regresiones lineales, entre otros.

En la aplicación de los métodos bootstrap para la construcción de intervalos de confianza, se han desarrollado distintos métodos de construcción, entre los que están: normal estándar, t (estudentizado), BC, ABC, entre otros. En el caso del intervalo de confianza bootstrap t (estudentizado), en el cual se genera la distribución muestral de un estadístico tipo t mediante remuestreo, los pasos a seguir son los siguientes:

1. Se calcula el estadístico  $\hat{\theta}$  a partir de la muestra.
2. Generar  $j$  remuestreos y para cada uno de estos calcular el estadístico  $\hat{\theta}_j$ , el error estándar de estimación  $\widehat{se}_j$ , y el estadístico  $t_j$  según la fórmula  $\frac{\hat{\theta}_j - \hat{\theta}}{\widehat{se}_j}$ .
3. Calcular los cuantiles  $t_{\alpha/2}$  y  $t_{1-\alpha/2}$  del total de las réplicas del estadístico  $t_j$ .
4. Calcular la desviación estándar muestral  $\hat{\sigma}_{\hat{\theta}}$  del total de las réplicas  $\hat{\theta}_j$ .
5. Determinar los límites de confianza:  $[\hat{\theta} - t_{1-\frac{\alpha}{2}} * \hat{\sigma}_{\hat{\theta}}, \hat{\theta} - t_{\frac{\alpha}{2}} * \hat{\sigma}_{\hat{\theta}}]$

#### 1.2.6.7. Prueba de los rangos con signos Wilcoxon

Es una prueba de hipótesis pareada no paramétrica, lo que significa que no requiere asumir que los datos siguen una distribución normal. Se utiliza para comparar dos muestras pareadas y determinar si sus medianas difieren. Es una alternativa a la prueba de hipótesis para la diferencia de medias en datos pareados cuando estos no presentan una distribución normal. Además, una ventaja adicional de esta prueba es que no solo evalúa las diferencias entre los

pares de datos, sino que también los clasifica, y por ello es considerada una de las pruebas de mayor eficacia entre las pruebas paramétricas (Martínez, 2012).

Por otro lado, Siebert y Siebert (2018) mencionan que cuando se examinan muestras pequeñas, a menudo se prefiere el uso del valor de la mediana sobre el uso de la media porque un solo dato puede cambiar drásticamente el valor de la media. Así, cuando existen valores extremos, se prefiere usar la mediana porque elimina su influencia; en ausencia de estos, la media es la opción preferida. Por otro lado, si se dispone de muestras grandes, pero no se cumple el supuesto de normalidad, la prueba de rangos con signos Wilcoxon es la prueba pareada que reemplaza a su contraparte paramétrica pues prescinde de este supuesto.

### 1.2.7. Herramientas de calidad

Identifican problemas, los analizan y buscan soluciones a estos, pertenecen a diversas metodologías empleadas en el proceso de mejora continua. A continuación, se presentan herramientas a utilizar para el análisis de los procesos y detección de las principales problemáticas en el caso de estudio.

#### 1.2.7.1. Diagrama de flujo

Representa gráficamente la estructura y el funcionamiento de los procesos y/o sistemas dentro de una organización, incluyendo sus fases y la relación entre sus componentes. Esta herramienta proporciona una visión integral del proceso, permitiendo identificar con claridad la trayectoria de un producto o servicio, así como los recursos y personas involucradas en su desarrollo (Tague, 2005).

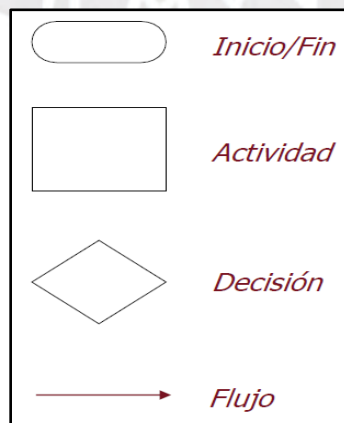


Figura 1.3 Simbología de diagramas de flujos

### 1.2.7.2. Diagrama de Kauro Ishikawa

Gutiérrez y De la Vara (2009) sostienen que “el diagrama de causa-efecto o de Ishikawa es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis y, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas”.

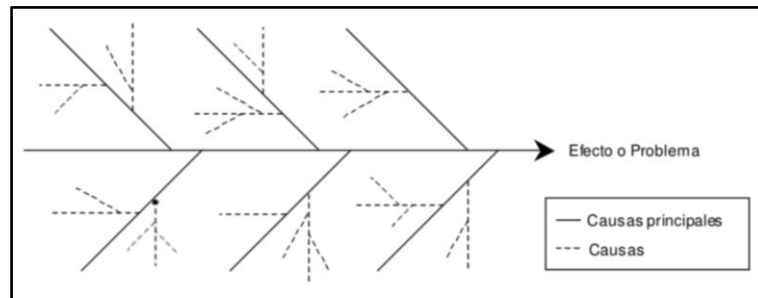


Figura 1.4 Diagrama de Ishikawa

### 1.2.7.3. Diagrama de Pareto

Gutiérrez y De la Vara (2009) afirman que “la viabilidad y utilidad general del diagrama está respaldada por el llamado principio de Pareto, conocido como “Ley 80-20” o “Pocos vitales, muchos triviales”, en el cual se reconoce que pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%), y el resto de los elementos propician muy poco del efecto total”.

Es una representación gráfica bidimensional en la que las causas de un problema se ordenan en el eje horizontal de mayor a menor impacto. En el eje vertical izquierdo se indica la magnitud del efecto provocado por cada causa, mientras que en el derecho se muestra el porcentaje acumulado del impacto total.



Figura 1.5 Diagrama de Pareto

Es una herramienta útil, ya que permite identificar visualmente, en un solo análisis, las características vitales que requieren mayor atención. Esto facilita la focalización de recursos en acciones correctivas, optimizando su uso y estableciendo un orden de prioridades para la toma de decisiones de manera más eficiente.

#### 1.2.7.4. Cartas de control para variables

Es una gráfica de control de una característica de la calidad que se calcula a partir de una muestra. Según Montgomery (2010), “la carta contiene una línea central que representa el valor promedio de la característica de la calidad que corresponde al estado bajo control. También se muestran en la carta otras dos líneas horizontales, llamadas el límite de control superior y el límite de control inferior. Estos límites de control se eligen de tal modo que si el proceso está bajo control casi todos los puntos muestrales se localizarán entre ellos”.

En el control de calidad de procesos, es fundamental monitorear tanto el valor promedio de la característica de la calidad como su variabilidad. Al respecto, Montgomery (2010) menciona que “el control del promedio del proceso, o nivel de calidad medio, suele hacerse con la carta de control para medias, o carta  $\bar{X}$ . La variabilidad del proceso suele monitorearse con una carta de control para la desviación estándar, llamada carta S, o bien con una carta de control para el rango, llamada carta R”.

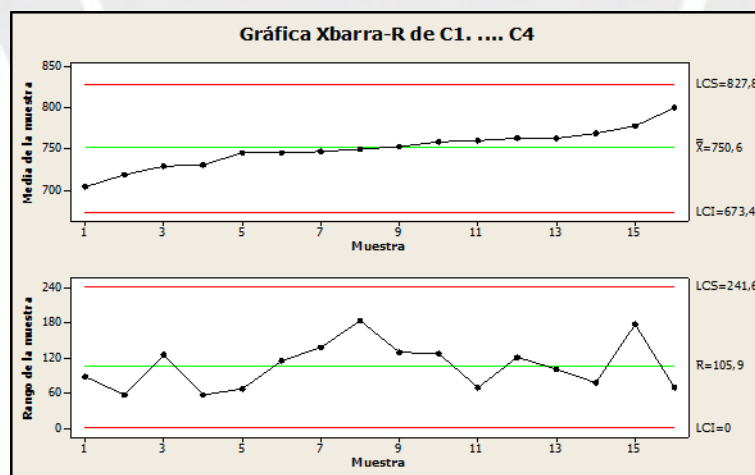


Figura 1.6 Cartas de control  $\bar{X}$  - R

Las cartas de control  $\bar{X}$  - R se usan con mayor frecuencia, y se aplican cuando el tamaño de la muestra es pequeño y constante, con valores típicos de 4, 5 o 6. En general, las cartas de control  $\bar{X}$  - S son más adecuadas cuando el tamaño de la muestra es moderadamente grande con valores mayores a 10, o cuando es variable.

Adicionalmente, se debe mencionar que los datos a utilizar para realizar una carta de control deben ajustarse a una distribución normal. Esto es debido a que, al situar los límites de control a una distancia de 3 desviaciones estándar de la línea central, y al cumplirse el supuesto de normalidad de los datos, se asegura que aproximadamente un 99.73% de los valores estén dentro de los límites de control y el 0.27% restante corresponda a error tipo I.

### 1.2.7.5. Matriz de priorización

Según Tague (2005), es una herramienta que permite evaluar y jerarquizar alternativas de solución en función de la ponderación de criterios que las afectan. Su uso es especialmente relevante cuando se requiere tomar decisiones de manera más objetiva y considerando múltiples criterios. Para la construcción de esta matriz se siguen los siguientes pasos:

1. Definir las alternativas a jerarquizar
2. Establecer los criterios de evaluación y asignar un peso a cada uno según su importancia
3. Construir la matriz y definir una escala de valoración para cada criterio
4. Evaluar cada alternativa en función de los criterios definidos
5. Multiplicar cada valoración por su peso y calcular la suma total por alternativa
6. Ordenar las alternativas de mayor a menor según la suma total obtenida

Tabla 1.2 Matriz de priorización

Criterio	Valoración	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Criterio 1	30%	8	3	5
Criterio 2	20%	2	10	9
Criterio 3	25%	7	3	8
Criterio 4	25%	9	4	7
Total		6.8	4.65	7.05

### 1.2.8. Indicadores de desempeño en el transporte público

Moreno (2016) clasifica los indicadores de servicio en el transporte público en tres grupos, los cuales se detallan a continuación.

#### 1.2.8.1. Indicadores de calidad al usuario

Este grupo de indicadores mide la calidad del servicio de transporte público desde la perspectiva del usuario, aspecto clave para su elección entre transporte público y privado. A continuación, se presentan seis indicadores de calidad según Moreno (2016).

- **Confort:** Es un indicador subjetivo, aunque cuantificable, el cual se resume en cuatro factores: climatización, ventilación, limpieza y conservación del material móvil. El objetivo es ofrecer desplazamientos agradables para los usuarios.
- **Velocidad promedio de viaje:** La velocidad promedio resulta de dividir la distancia total del recorrido desde la estación inicial hasta la estación destino entre el tiempo que demora el recorrido. Permite identificar puntos críticos y causas de bajas velocidades.
- **Atención al cliente:** Evalúa las alternativas a disposición del usuario para proporcionar información del servicio, resolver dudas y recibir sugerencias o quejas. Estas incluyen personal de atención al cliente en estaciones y líneas telefónicas. Se mide según su correcto funcionamiento en auditorías.
- **Seguridad:** Relaciona los kilómetros recorridos anualmente con la cantidad de accidentes de tránsito. Busca garantizar que el servicio sea percibido como seguro.
- **Confiabilidad:** Indica el grado en que el servicio cumple con los trayectos y horarios publicados.
- **Accesibilidad:** Evalúa la adecuación del servicio para personas con movilidad reducida, considerando rampas, puertas de salida a nivel, espacios reservados, entre otros. Se mide como la proporción de vehículos que cumplen los requisitos respecto al total de la flota.

### **1.2.8.2. Indicadores de eficiencia operacional**

Este grupo de indicadores permite evaluar el desempeño del proceso y la utilización de los recursos en el transporte público. Según Moreno (2016), dos de los principales indicadores utilizados en este ámbito son los siguientes:

- **Tiempo entre servicios:** Representa el intervalo de tiempo entre la salida de un vehículo de una estación y la llegada del siguiente que cubre la misma ruta. La regularidad de este indicador refleja el grado de cumplimiento de los intervalos programados y es útil para identificar los destinos más afectados por retrasos.
- **Tiempo de parada:** Corresponde al tiempo requerido para el embarque y desembarque de pasajeros. Permite optimizar la configuración de los vehículos, la distribución de las estaciones y la gestión del flujo de usuarios en cada estación.

### **1.2.8.3. Indicadores de productividad**

Este grupo de indicadores permite evaluar la eficiencia en el uso de los recursos

destinados a la prestación del servicio de transporte público. Según Acuña (2018), los principales indicadores empleados en este ámbito son los siguientes

- Índice de pasajeros por kilómetro (IPK): Es uno de los indicadores más utilizados, ya que proporciona información sobre la rentabilidad financiera del sistema. Permite evaluar cómo el principal insumo del servicio, los kilómetros recorridos por los vehículos, se traduce en su principal resultado operativo: la cantidad de pasajeros transportados. Facilita la optimización del aprovechamiento del kilometraje de la flota, evitando pérdidas y mejorando la eficiencia operativa. Además, permite estimar el costo operacional por kilómetro recorrido, considerando variables como consumo de combustible, neumáticos, aceite de motor, filtros y otros costos asociados. Se calcula como:

$$\text{IPK} = \frac{\text{Pasajeros movilizados}}{\text{Kilometraje ejecutado}}$$

- Índice de pasajeros por vehículo (IPV): Mide el aprovechamiento del vehículo en función del número de pasajeros transportados. También permite estimar los costos fijos asociados a la operación, como gastos administrativos, seguro obligatorio (SOAT), certificado de inspección técnica vehicular y tarjeta de circulación. Se calcula como:

$$\text{IPV} = \frac{\text{Pasajeros movilizados}}{\text{Buses ejecutados}}$$

- Índice de kilómetros por vehículo (IKV): Evalúa el aprovechamiento del vehículo en función de los kilómetros recorridos. Proporcionan información sobre el tráfico y su crecimiento, sirviendo como referencia para estimar la cantidad de viajes realizados en un área determinada. Además, permite medir la utilización de la flota, aspecto clave en la gestión de costos fijos. Se calcula como:

$$\text{IKV} = \frac{\text{Kilometraje ejecutado}}{\text{Buses ejecutados}}$$

- Indicador de cumplimiento de kilometraje: Mide la relación entre los kilómetros efectivamente recorridos y los kilómetros programados en la planificación operativa. Permite determinar si es necesario el incremento de la flota de vehículos y evaluar el desempeño de cada una de las rutas. Se calcula como:

$$\text{Cumplimiento} = \frac{\text{Kilometraje ejecutado}}{\text{Kilometraje programado}}$$

### 1.2.9. Factores que influyen en la velocidad de tránsito

Según TCRP (2013), la velocidad de tránsito está determinada por tres componentes principales, los cuales se representan en la Figura 1.7, junto con sus subcomponentes:

- Tiempo de ejecución: Es el tiempo a velocidad constante luego de la aceleración.
- Tiempo de servicio al pasajero: Incluye el tiempo de abordaje y desembarque de pasajeros. Está directamente relacionado al número de paradas y al tiempo de parada por estación.
- Demoras: Comprende los factores externos que afectan la circulación de los vehículos, como la congestión vehicular, la presencia de semáforos y cruces peatonales, entre otros.

La Figura 1.7 muestra que el número de paradas influye en los tres componentes de la velocidad de tránsito. A medida que aumenta la cantidad de paradas, se incrementa el tiempo perdido en las fases de desaceleración y aceleración, lo que reduce el tiempo efectivo de ejecución. No obstante, una mayor cantidad de paradas permite distribuir la demanda de pasajeros a lo largo del recorrido, disminuyendo el volumen de abordajes en cada estación y, en consecuencia, reduciendo el tiempo de detención en cada una. Además, esto impide que los vehículos alcancen su velocidad máxima o que la mantengan durante un período prolongado, ya que deben iniciar la desaceleración con frecuencia.

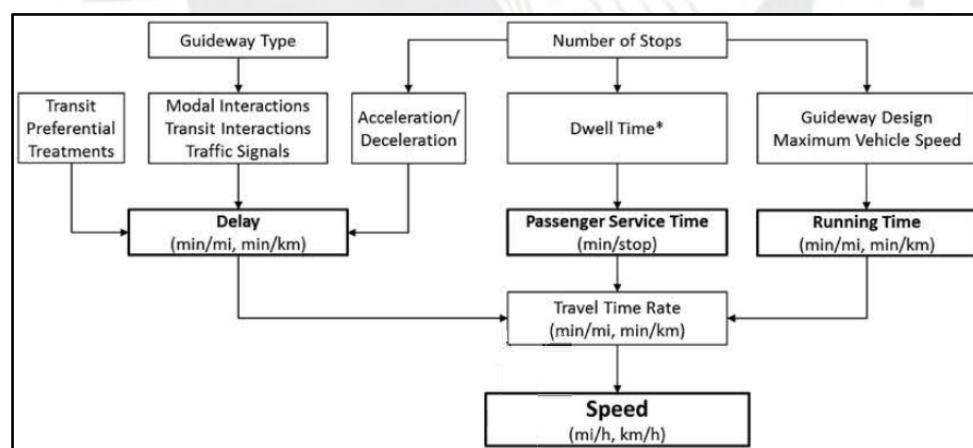


Figura 1.7 Factores que influyen en la velocidad de tránsito

Fuente: TCRP (2013)

Con esto concluye el primer capítulo de esta tesis, en que se han revisado estudios previos sobre mejoras en los tiempos de viaje, la afluencia de pasajeros, la planificación de horarios y la generación de rutas en el sector del transporte. Asimismo, se han expuesto los fundamentos teóricos necesarios para la comprensión de los capítulos siguientes. En el próximo capítulo, se presentará la descripción de la empresa objeto de estudio, abordando su estructura, funcionamiento, procesos y servicios ofertados.

## **Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

En este capítulo se describe a la empresa en estudio, sus servicios, organización, instalaciones, recursos principales, recorridos y horarios de ruta.

### **2.1. Descripción de la empresa**

El Metropolitano es el primer sistema de transporte público, urbano y masivo de Lima Metropolitana, con un flujo aproximado de 700 mil viajes diarios. Se trata de un sistema de Buses de Tránsito Rápido (BRT) compuesto por un corredor troncal, atendido mediante servicios regulares y expresos, además de una red alimentadora en los terminales.

El Metropolitano se diseñó para conectar el tránsito de pasajeros del Norte y Sur de Lima Metropolitana con el centro urbano. Este sistema también se desarrolló para conectar mediante rutas alimentadoras a las zonas urbanas más alejadas en los Conos Norte y Sur.

Es gestionado por la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML) a través de un organismo público descentralizado, el Instituto Metropolitano Protransporte de Lima (PROTRANSPORTE). Esta entidad se encarga del desarrollo de proyectos de transporte público en la ciudad, así como de la administración y ejecución del proyecto Metropolitano.

### **2.2. Misión y visión**

Visión: “Ser una institución líder en movilidad urbana con el desarrollo de sistema de transporte público masivo de pasajeros en Lima Metropolitana”.

Misión: “Gestionar el Sistema Integrado de Transporte, en forma eficaz y eficiente, con altos niveles de calidad, seguridad y protección del medio ambiente”.

### **2.3. Estructura organizacional**

PROTRANSPORTE presenta una organización funcional dividida en departamentos. Esta es una estructura versátil, flexible y muy popular, especialmente para empresas con abundante personal donde un jefe independiente coordina su equipo de trabajo. De acuerdo con el reglamento de organización y funciones (PROTRANSPORTE, 2016), la estructura orgánica

de PROTRANSPORTE es la siguiente:

- **Directorio:** Órgano de mayor jerarquía en la institución, encargado de la definición de planes y políticas institucionales. Entre sus principales funciones están: fiscalizar la gestión de PROTRANSPORTE y normar el funcionamiento del Sistema de Corredores Segregados de Alta Capacidad (COSAC) y los Corredores Complementarios.

- **Presidencia Ejecutiva:** Ejercida por el presidente del Directorio, dirige la institución a través de la Gerencia General. Entre sus funciones están: representar a PROTRANSPORTE ante entidades públicas y privadas; desarrollar e implementar la política de comunicaciones y relaciones públicas; y promover las relaciones institucionales.

- **Gerencia General:** Órgano de mayor autoridad administrativa y ejerce la representación legal. Administra los recursos, dirige al personal y supervisa el funcionamiento general de la organización, alineándola con los objetivos definidos por el Directorio.

- **Órgano de Control Institucional:** Responsable de realizar el control gubernamental de PROTRANSPORTE. Supervisa las operaciones internas, realiza auditorías a los estados financieros y atiende denuncias sobre irregularidades en la gestión.

- **Oficina de Asesoría Jurídica:** Brinda asesoramiento legal a los distintos órganos de la institución. Además, analiza e interpreta la normativa que impacta en su funcionamiento.

- **Oficina de planeamiento y presupuesto:** Se encarga de proponer estrategias y lineamientos para el desarrollo institucional a corto, mediano y largo plazo.

- **Oficina General de Administración y Finanzas:** Administra los recursos humanos, materiales, económicos y financieros de la institución.

- **Oficina de Tecnología de la Información:** Responsable de la implementación y mantenimiento de los sistemas informáticos, a fin de modernizar los procesos institucionales.

- **Oficina de Seguridad y Mantenimiento:** Se encarga de la seguridad integral, el mantenimiento de la infraestructura no vial y la transitabilidad de los usuarios del COSAC y los Corredores Complementarios.

- **Gerencia de Regulación e Infraestructura:** Planifica y regula los sistemas integrados de transporte, formula estudios y ejecuta proyectos, además de supervisar el mantenimiento de obras viales y otras encargadas por la MML.

- **Gerencia de Operaciones del COSAC:** Supervisa el funcionamiento del Sistema COSAC conforme a los parámetros técnicos y normativos establecidos, incluyendo licencias, autorizaciones y concesiones.

- **Gerencia de Operaciones de Corredores Complementarios:** Se encarga de la gestión operativa de los Corredores Complementarios, asegurando su cumplimiento con los requisitos técnicos y regulatorios.

- **Gerencia Comercial:** Planifica, organiza, ejecuta y supervisa la política comercial del Sistema COSAC y de los Corredores Complementarios.

- **Gerencia de Promoción de Inversiones y Concesiones:** Responsable de fomentar la inversión privada en el sistema de transporte y establecer alianzas estratégicas con entidades gubernamentales a nivel nacional y local.

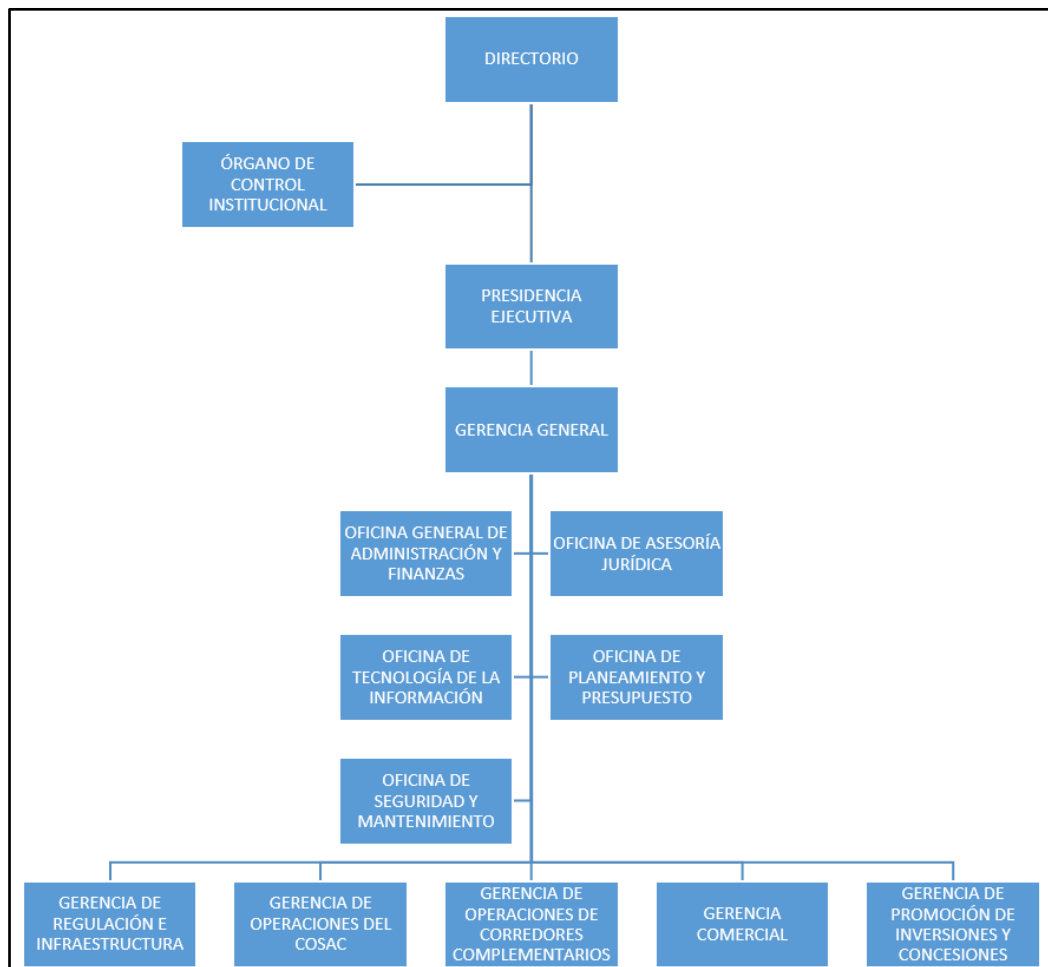


Figura 2.1 Organigrama de la empresa

Fuente: La empresa

## 2.4. Vías y rutas

El Metropolitano tiene una extensión de 26 Km que conectan los Conos Norte y Sur de Lima Metropolitana con el centro urbano. Su sistema está compuesto por una vía troncal y una red de rutas alimentadoras.

### 2.4.1. Vía troncal

La vía troncal recorre 12 distritos de Lima, desde el distrito de Comas en el norte hasta Chorrillos en el sur. Está conformada por carriles exclusivos para los buses del Metropolitano y conecta las estaciones principales a lo largo de la ciudad. Se divide en tres tramos:

- Tramo norte: Comprende los distritos del Rímac, San Martín de Porres e Independencia.
- Tramo centro: Incluye los distritos del Lima Cercado y Breña.
- Tramo Sur: Abarca los distritos de Chorrillos, Barranco, Miraflores, Surquillo, San Isidro, Lince y La Victoria.

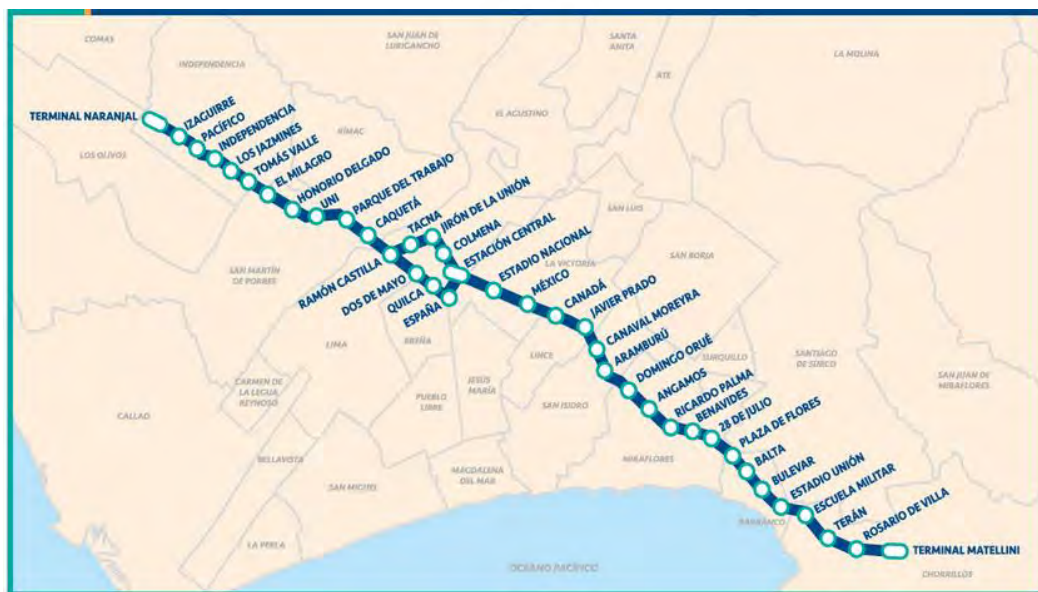


Figura 2.2 Vía troncal  
Fuente: La empresa

### 2.4.2. Vías alimentadoras

Las vías alimentadoras no son exclusivas del Metropolitano, ya que comparten carriles con otros medios de transporte público y privado. Su función principal es acercar a los usuarios a los terminales, donde pueden realizar la conexión con la vía troncal.

Se dividen en dos rutas alimentadoras: la ruta alimentadora norte, que acerca a los usuarios a la terminal Naranjal; y la ruta alimentadora sur, que los acerca a la terminal Matellini.



Metropolitano. En la Figura 2.5 se observa que el número de validaciones del servicio troncal ha aumentado en los últimos 5 años, con un crecimiento promedio del 2% anual, llegando a alrededor de 150 millones de validaciones en el 2019. Así mismo, el servicio troncal del Metropolitano se puede subdividir en servicio regular, expreso y super expreso.

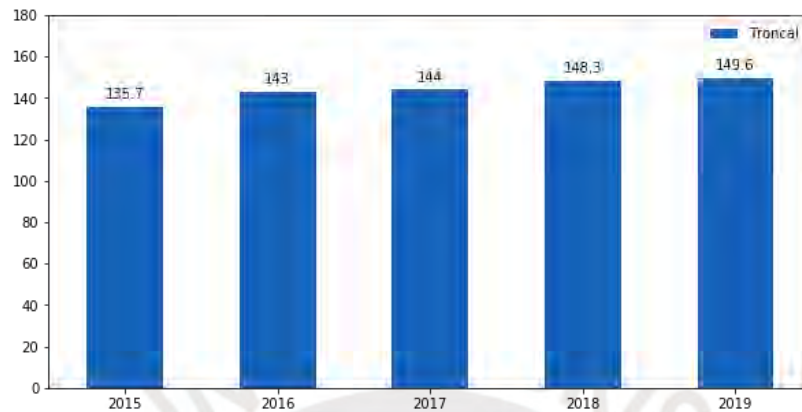


Figura 2.5 Cantidad de validaciones (en millones) del servicio troncal

### 2.5.1.1. Servicio regular

Se incluye dentro de este servicio el Regular A, el Regular B, el Regular C y el Regular D, las cuales se diferencian por su recorrido en la vía troncal. En todas estas rutas, los buses realizan paradas en todas las estaciones.

Tabla 2.1 Servicios regulares y sus recorridos

<b>Regular A</b>	Se detiene en todas las estaciones desde la terminal Naranjal hasta la estación Central, utiliza el ramal de Av. Emancipación y Jr. Lampa.
<b>Regular B</b>	Se detiene en todas las estaciones desde la terminal Naranjal hasta la terminal Matellini, utiliza el ramal de Av. Alfonso Ugarte y Av. España.
<b>Regular C</b>	Se detiene en todas las estaciones desde la estación Ramón Castilla hasta la terminal Matellini, utiliza el ramal de Av. Emancipación y Jr. Lampa.
<b>Regular D</b>	Se detiene en todas las estaciones desde la terminal Naranjal hasta estación Central, utiliza el ramal de Av. Alfonso Ugarte y Av. España.

### 2.5.1.2. Servicio expreso

El servicio expreso opera con paradas en estaciones de alta demanda, optimizando la fluidez del tránsito en horas punta. Consta de nueve servicios expresos, los cuales utilizan el ramal de Av. Alfonso Ugarte y Av. España. Por contar con dos carriles, los buses de este servicio pueden adelantar a los de los servicios regulares.

Tabla 2.2 Servicios expresos y sus recorridos

<b>Expreso 1</b>	Parte desde la estación Central hasta la terminal Matellini.
<b>Expreso 2</b>	Parte desde la terminal Naranjal hasta la estación 28 de Julio.
<b>Expreso 3</b>	Parte desde la terminal Naranjal hasta la estación Benavides.
<b>Expreso 4</b>	Parte desde la terminal Naranjal hasta la estación Plaza de Flores.
<b>Expreso 5</b>	Parte desde la terminal Naranjal hasta la estación Plaza de Flores.
<b>Expreso 6</b>	Parte desde la estación Izaguirre hasta la estación Benavides.
<b>Expreso 7</b>	Parte desde la estación Tomás Valle hasta la estación Angamos.
<b>Expreso 8</b>	Parte desde la estación Izaguirre hasta la estación Plaza de Flores.
<b>Expreso 9</b>	Parte desde la estación UNI hasta la estación Benavides.

### 2.5.1.3. Servicio súper expreso

El servicio súper expreso conecta directamente la zona norte de la ciudad con el centro financiero o urbano de Lima. Su objetivo es optimizar la fluidez del tránsito en horas punta al evitar paradas en estaciones intermedias entre el punto de partida y el destino.

Tabla 2.3 Servicios súper expresos y sus recorridos

<b>Súper Expreso</b>	Parte desde la terminal Naranjal hasta la estación Ricardo, y desde la estación Aramburú hasta la terminal Naranjal.
<b>Súper Expreso Norte</b>	Parte desde la terminal Naranjal hasta la estación Central.

### 2.5.2. Servicio alimentador

El servicio alimentador está compuesto por líneas de buses convencionales que facilitan el acceso de los usuarios a los terminales de la vía troncal. Excepcionalmente operan líneas especiales que complementan a la red de buses de la ciudad por motivos específicos. El servicio alimentador se divide en zona norte y sur, relacionado a la ruta en que se desarrolla el servicio.

La Figura 2.6 muestra que el servicio alimentador de la zona norte registra una mayor cantidad de validaciones anuales en comparación con la zona Sur, con una proporción aproximada de 5 a 1 o 4 a 1. Sin embargo, desde 2016, el número de validaciones en la zona norte ha mostrado una tendencia decreciente, con un descenso promedio del 1% anual, alcanzando aproximadamente 50 millones de validaciones en 2019. En contraste, la zona sur ha experimentado un crecimiento en los últimos cinco años, con un incremento promedio del 3% anual, llegando a alrededor de 13.5 millones de validaciones en 2019.

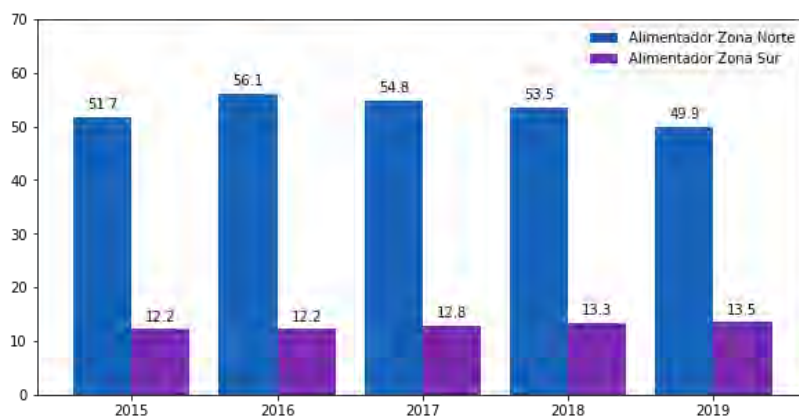


Figura 2.6 Cantidad de validaciones (en millones) del servicio alimentador

### 2.5.2.1. Servicio alimentador zona norte

Todas las líneas confluyen en la terminal Naranjal y se agrupan por el tamaño de los buses: 12 y 8.5 metros. El primer grupo lo constituyen 12 líneas: Tungasuca, Trapiche, Collique, Puno, Belaúnde, Milagros de Jesús, Carabayllo, Santo Domingo, Puente Piedra, La Ensenada, Bertello e Izaguirre. En el segundo grupo, con buses de menor tamaño, se encuentran 5 líneas: Tahuantinsuyo, Payet, Los Alisos, Los Olivos y Antúnez de Mayolo.

### 2.5.2.2. Servicio alimentador zona sur

Todos los buses en estas líneas son de 12 metros. Lo constituyen 4 líneas que confluyen en la terminal Matellini: Cedros de Villa, Villa El Salvador, América y Los Próceres.

### 2.5.2.3. Servicio alimentador especial

Actualmente existen 3 servicios de alimentadores especiales en el Metropolitano. La línea AC01 conecta la estación Central con el emporio comercial de Gamarra. Por otro lado, las líneas AS10 y AS11 operan únicamente durante el verano. La línea AS10 conecta el circuito de playas de la Costa Verde con la terminal Matellini, mientras que la línea AS11 realiza la conexión entre el circuito de playas de la Costa Verde y la estación Plaza de Flores.

## 2.6. Horarios y paraderos

El horario del servicio alimentador es uniforme a lo largo de los días en la semana, donde todas las líneas alimentadoras zona norte y sur operan desde 5 a. m. hasta las 11 p. m. y recorren todos los paraderos correspondientes a cada línea en ambas direcciones de recorrido.

Por su parte, el servicio troncal presenta horarios variables según el momento del día y la dirección del recorrido. En la Tabla 2.4 se detallan estos horarios, donde 'Sur' y 'Norte' indican la terminal de destino en cada sentido de viaje, es decir, Matellini y Naranjal, respectivamente.

Tabla 2.4 Horarios de los servicios troncales

Servicio	Lunes a Viernes				Sábados		Domingos	
	Mañana		Tarde		Sur	Norte	Sur	Norte
	Sur	Norte	Sur	Norte				
Regular A	05:00-22:30	05:40-23:00	05:00-22:30	05:40-23:00	05:00-22:15	05:40-22:45	05:15-21:55	05:55-22:00
Regular B	09:00-23:00				05:00-23:00	05:25-23:00	05:00-22:00	05:35-22:00
Regular C	05:00-23:00	05:00-22:05	05:00-23:00	05:00-22:05	05:30-22:55	05:15-22:05	05:30-21:55	05:25-22:00
Regular D	05:00-09:00	05:35-09:30	Sin servicio		Sin servicio			
Expreso 1	05:30-09:30	05:00-09:00	17:30-21:30	17:00-21:00	Sin servicio			
Expreso 2	05:00-09:00	05:40-09:00	Sin servicio		Sin servicio			
Expreso 3	05:30-09:00	Sin servicio	Sin servicio	17:00-21:00	Sin servicio			
Expreso 4	Sin servicio				06:00-21:00	06:00-21:30	Sin servicio	
Expreso 5	09:00-17:00	09:00-16:55	09:00-17:00	09:00-16:55	Sin servicio			
Expreso 6	05:30-09:00	Sin servicio	Sin servicio		Sin servicio			
Expreso 7	05:30-09:00	Sin servicio	Sin servicio		Sin servicio			
Expreso 8	Sin servicio		17:00-20:20	17:00-21:00	Sin servicio			
Expreso 9	05:30-09:00	Sin servicio	Sin servicio		Sin servicio			
Súper Expreso	06:00-09:00	Sin servicio	Sin servicio	17:00-21:00	Sin servicio			
Súper Expreso Norte	05:00-09:00	05:30-09:00	17:00-21:00	17:30-21:30	Sin servicio			

Fuente: La empresa

La Figura 2.7 se muestran los paraderos de los servicios troncales en ambas direcciones.

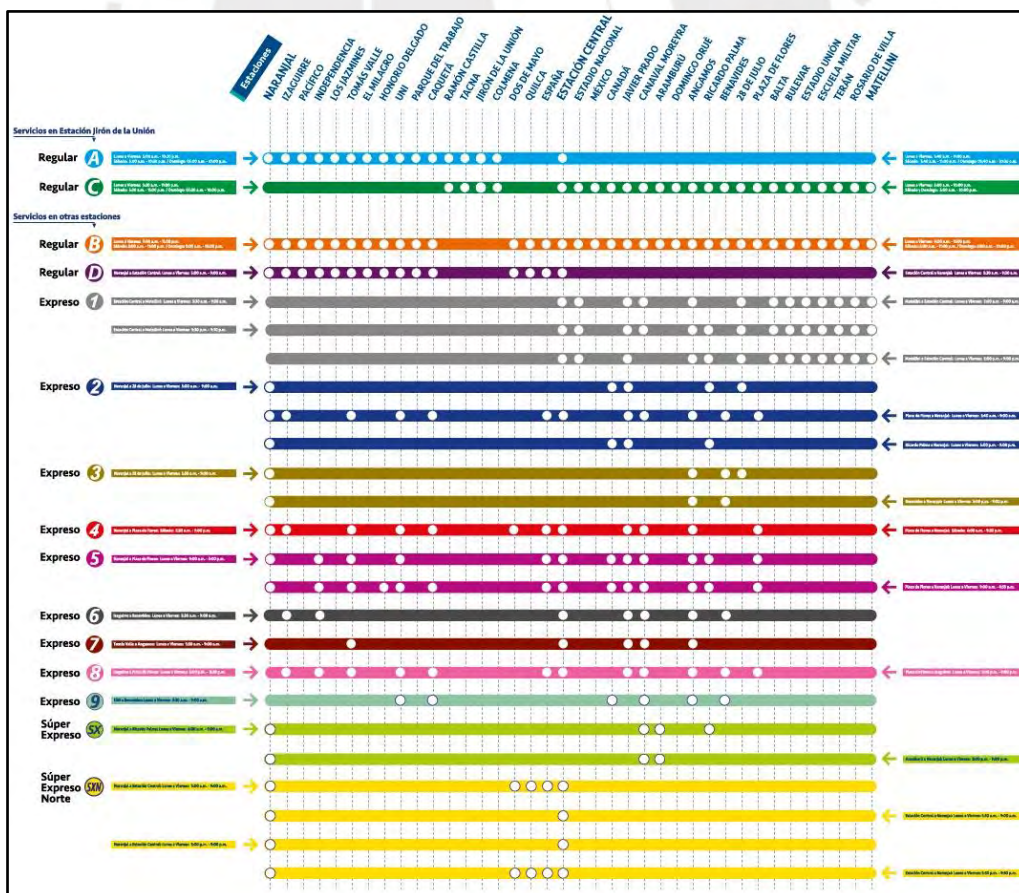


Figura 2.7 Recorridos de los servicios troncales

Fuente: La empresa

## 2.7. Recursos principales

A continuación, se detallan los principales recursos con los que cuenta la empresa, según PROTRANSPORTE (2001).

### 2.7.1. Buses articulados

Los buses articulados operan en la ruta troncal y se distinguen por su color plateado, su longitud de 18 metros y su capacidad para 160 pasajeros, de los cuales 42 pueden viajar sentados. Existen 305 unidades equipadas con diversas tecnologías para mejorar la seguridad y eficiencia del servicio, como localizadores automáticos vehiculares, espacios adaptados para personas con discapacidad, puertas y ventanas de emergencia, botón de emergencia, comunicación GPRS, sistema de audio para pasajeros y un módulo electrónico de monitoreo de operación que registra eventos diarios como velocidad y paradas. Además, cuentan con un sensor de priorización de semáforos, alarmas de seguridad y un sistema de luces y sonido para la apertura y cierre de puertas.



Figura 2.8 Bus articulado

Fuente: La empresa

### 2.7.2. Buses alimentadores

El sistema cuenta con 244 buses alimentadores que conectan las estaciones terminales con los paraderos de las rutas alimentadoras en ambos sentidos. Estas unidades están equipadas con validadores electrónicos para el pago del pasaje, GPS para ubicación satelital, alarmas de seguridad, cámaras de vigilancia, sistema de conteo de pasajeros, espacios para personas con discapacidad, ventanas de emergencia y sistema de audio para el chofer y los pasajeros.

Existen dos tipos de buses: los de color amarillo, de 12 metros de longitud, con capacidad para 80 pasajeros, de los cuales 31 pueden viajar sentados, que operan en ambas terminales; y los de color naranja, de 8.5 metros de longitud, con capacidad para 40 pasajeros, de los cuales 21 van sentados, que operan únicamente en algunas rutas de la terminal Naranjal.



Figura 2.9 Bus alimentador  
Fuente: La empresa

### 2.7.3. Estaciones

El Metropolitano cuenta con una estación subterránea central, llamada estación Central, que funciona como punto de interconexión con futuros corredores viales. Además, dispone de dos terminales: Naranjal, en el extremo norte de la vía troncal, y Matellini, en el extremo sur.

A lo largo de la vía troncal, hay 35 estaciones intermedias, que se dividen en dos tipos. Las estaciones de un solo nivel cuentan con rampas de acceso y cruces peatonales semaforizados, mientras que las estaciones de dos pisos, ubicadas en la Vía Expresa y Plaza Dos de Mayo, disponen de escaleras y ascensores para personas con discapacidad. Para ingresar a la zona de embarque de estas estaciones es necesario realizar el pago previamente, ya que el acceso está restringido a los usuarios del servicio troncal.

Las terminales Naranjal y Matellini también funcionan como puntos de partida y llegada de los buses alimentadores, aunque con diferencias en su acceso. En Naranjal, el ingreso es libre para usuarios y no usuarios del servicio alimentador. Los pasajeros forman colas y realizan el pago al abordar el bus. En cambio, en Matellini, la zona de embarque es exclusiva para usuarios del servicio alimentador, quienes deben pagar antes de ingresar a la terminal, lo que permite un abordaje más ágil.

### 2.7.3.1. Estaciones tramo centro

El tramo centro las comprenden 8 estaciones: Ramón Castilla, Tacna, Jirón de la Unión, Colmena, 2 de Mayo, Quilca, España y Estación Central.

Como se muestra en la Figura 2.10, entre 2015 y 2018 se observó una tendencia creciente en la cantidad de validaciones. Sin embargo, en 2019 hubo una ligera disminución, y el crecimiento esperado no se concretó. Por otro lado, las estaciones con mayor afluencia de usuarios son, en orden de mayor a menor demanda: Central, España, Jirón de la Unión y Colmena.

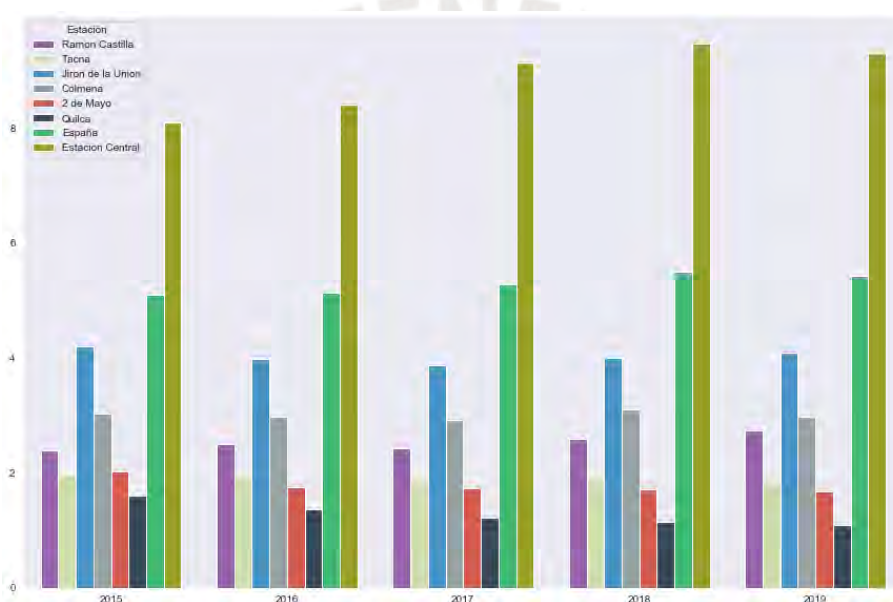


Figura 2.10 Cantidad de validaciones (en millones) por estaciones del tramo centro

### 2.7.3.2. Estaciones tramo norte

El tramo norte está compuesto por 11 estaciones: Naranjal, Izaguirre, Pacífico, Independencia, Los Jazmines, Tomás Valle, El Milagro, Honorio Delgado, UNI, Parque del Trabajo y Caquetá.

Como se muestra en la Figura 2.11, entre 2015 y 2018 se registró una tendencia creciente en la cantidad de validaciones. Sin embargo, en 2019 hubo una ligera disminución y el crecimiento esperado no se sostuvo. La estación con mayor afluencia de usuarios es la terminal Naranjal, que destaca significativamente frente a las demás por ser la terminal norte del sistema. Le siguen en importancia, en términos de afluencia, las estaciones Tomás Valle, Izaguirre y UNI.

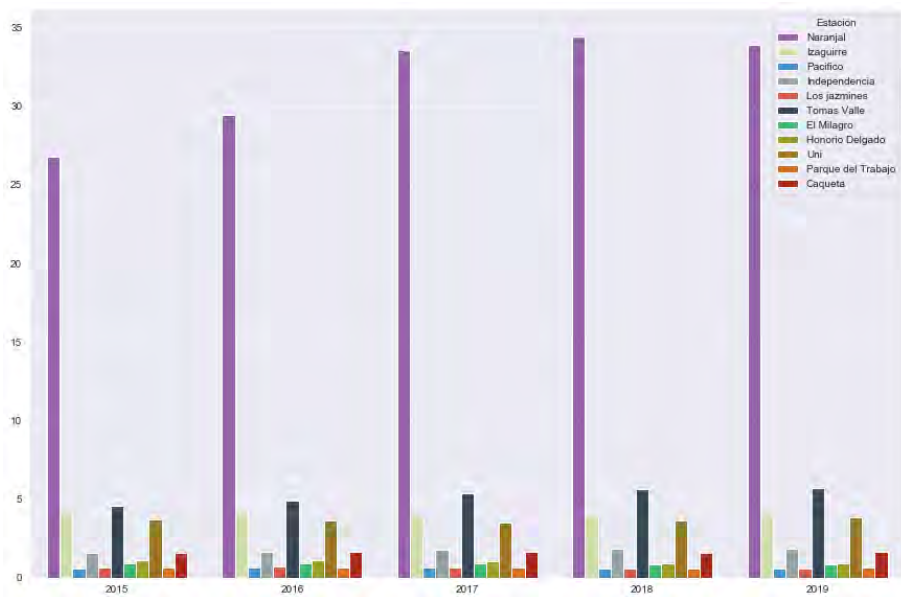


Figura 2.11 Cantidad de validaciones (en millones) por estaciones del tramo norte

### 2.7.3.3. Estaciones Tramo Sur

El tramo sur está compuesto por 19 estaciones: Estadio Nacional, México, Canadá, Javier Prado, Canaval y Moreyra, Aramburú, Domingo Orúe, Angamos, Ricardo Palma, Benavides, 28 de Julio, Plaza de Flores, Balta, Bulevar, Estadio Unión, Escuela Militar, Terán, Rosario de Villa y Matellini.

Como se muestra en la Figura 2.12, entre 2015 y 2019 se ha registrado una tendencia creciente en la cantidad de validaciones. La estación con mayor afluencia de usuarios es la terminal Matellini, que se distingue del resto por ser la terminal sur del sistema. Le siguen en importancia las estaciones Angamos, Canaval y Moreyra, Javier Prado, Canadá y Benavides.

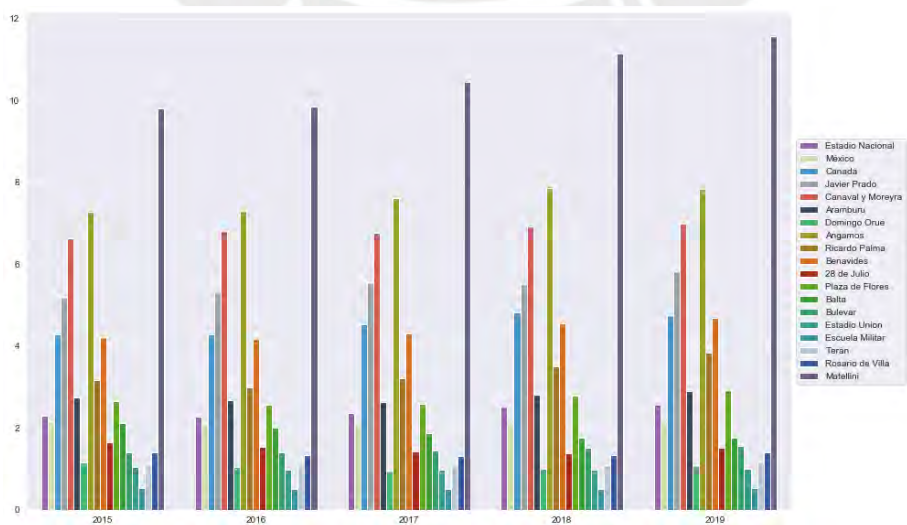


Figura 2.12 Cantidad de validaciones (en millones) por estaciones del tramo sur

## 2.8. Cadena de Valor

A continuación, se desarrolla la Cadena de Valor de Alonso para PROTRANSPORTE.

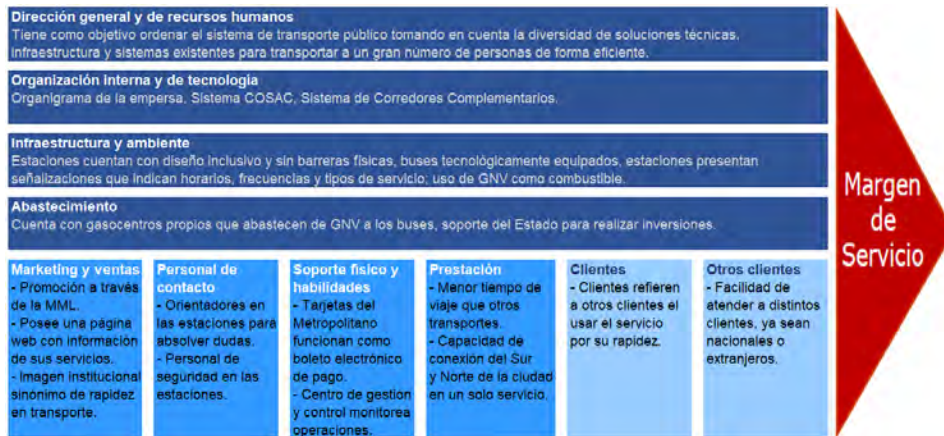


Figura 2.13 Cadena de Valor de PROTRANSPORTE

Con ayuda de esta herramienta, se puede apreciar que la ventaja competitiva de PROTRANSPORTE radica en su servicio de transporte rápido en comparación con otros medios de transporte. Esto se debe, además, a su infraestructura, tecnología y organización, que hacen posible el desarrollo de un servicio de transporte rápido.

El principal atributo y valor agregado del servicio de transporte de la empresa es la reducción en los tiempos de viaje, destacándose especialmente el servicio troncal, que es significativamente más rápido que el servicio alimentador debido a la existencia de carriles exclusivos para los buses del Metropolitano.

Este factor se refleja en la demanda creciente del servicio troncal, que muestra una tendencia al alza del 2% anual. En contraste, el servicio alimentador presenta una ligera tendencia a la baja del 0.1% en términos generales. Sin embargo, al analizar las zonas de manera separada, se observa que la zona norte experimenta una disminución del 1% anual, mientras que la zona sur muestra un incremento del 3% anual.

Asimismo, las principales estaciones del Metropolitano son la terminal Naranjal, la terminal Matellini y la estación Central. Su alta afluencia de pasajeros responde a su importancia estratégica dentro del sistema: las terminales marcan los extremos urbanos del servicio troncal, mientras que la estación Central se encuentra en el centro comercial de la ciudad, facilitando la conexión con otras rutas y servicios.

## **2.9. Procesos relevantes**

Se detallan procesos relevantes para brindar los servicios de transporte en las rutas troncales y alimentadoras.

### **2.9.1. Subida y bajada de pasajeros**

En el servicio troncal, cuando un bus llega a una estación, las tres puertas se abren simultáneamente para permitir el ascenso y descenso de pasajeros, dando prioridad a quienes descienden.

En el servicio alimentador norte, el pago del pasaje se realiza en la puerta delantera, por lo que los pasajeros solo pueden ingresar por esta y descienden por la puerta trasera. Este procedimiento se aplica en todas las paradas, incluida la terminal Naranjal. En cambio, en el servicio alimentador sur, en la terminal Matellini, el pago se efectúa al ingresar a la zona de embarque de alimentadores, de manera similar al servicio troncal. En este caso, los pasajeros ingresan únicamente por la puerta trasera y también descienden por la misma, ya que el pago se realizó previamente. Sin embargo, en el resto de las paradas del servicio alimentador sur, el proceso de subida, bajada y pago sigue el mismo esquema que en el servicio alimentador norte.

### **2.9.2. Pago del servicio**

El pago del servicio troncal y alimentador se realiza exclusivamente mediante tarjetas inteligentes sin contacto, que funcionan como boleto electrónico. Estas tarjetas poseen un chip que almacena los datos personales del usuario y su saldo recargado. La recarga se puede efectuar en las estaciones de la vía troncal y en puntos externos autorizados, como bodegas, boticas, grifos, locutorios y centros comerciales.

El pago del servicio troncal se realiza al ingresar a la zona de embarque en todas las estaciones de la vía troncal. En el servicio alimentador, el pago se efectúa al ingresar al bus colocando la tarjeta frente al validador ubicado dentro del vehículo, el cual descuenta automáticamente el costo del pasaje y muestra el saldo disponible. Luego, el usuario gira el torniquete e ingresa al interior del bus. En la terminal Matellini, el pago del servicio alimentador sur se realiza al ingresar a la zona de embarque. En este caso, los pasajeros ingresan al bus por la puerta trasera sin necesidad de girar el torniquete, lo que agiliza el abordaje.

### 2.9.3. Recorrido de buses

En la Figura 2.14 se presenta el diagrama de flujo del recorrido del servicio troncal, donde se observa que los buses se detienen en todos los paraderos sin importar si hay o no pasajeros que subirán o bajarán, lo que constituye una característica de este servicio.

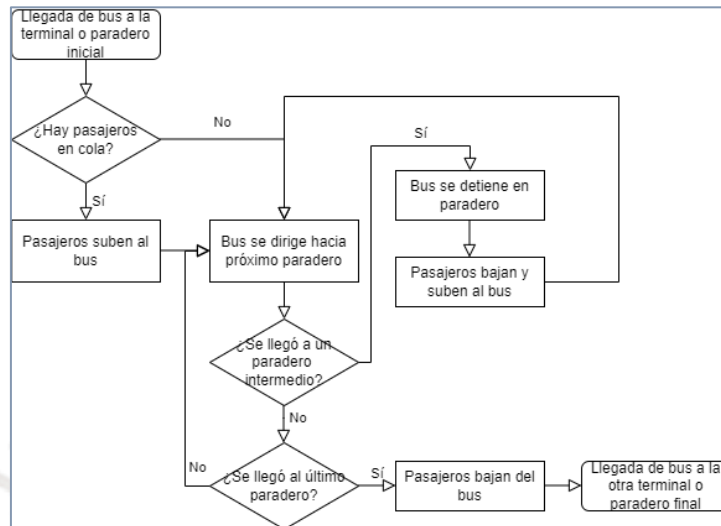


Figura 2.14 Diagrama de flujo del recorrido del servicio troncal

Por otro lado, en la Figura 2.15 se muestra el diagrama de flujo del recorrido del servicio alimentador, específicamente del alimentador norte. A diferencia del servicio troncal, los buses solo se detienen en los paraderos intermedios cuando hay pasajeros que subirán o bajarán.

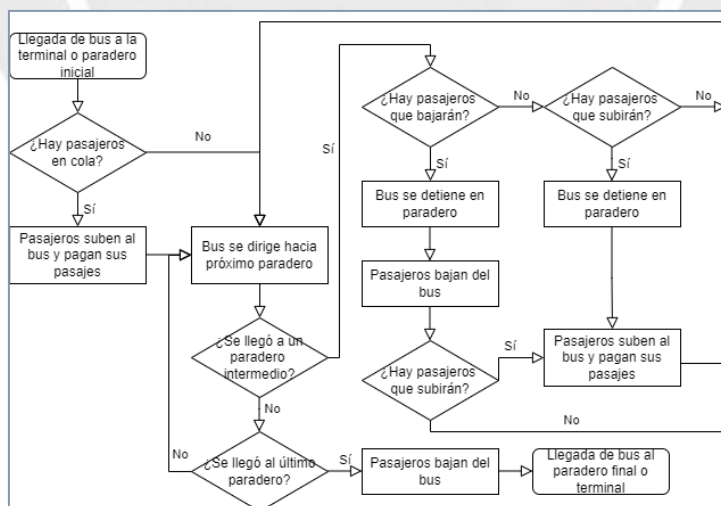


Figura 2.15 Diagrama de flujo del recorrido del servicio alimentador

A continuación, se dará inicio al tercer capítulo, en el que se analizará la situación de la empresa para identificar oportunidades de mejora en los procesos actuales. Posteriormente, se detectarán los problemas de mayor impacto y se propondrán alternativas de solución.

## Capítulo 3. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO

El objetivo de este capítulo es realizar un diagnóstico detallado de la situación actual de los servicios troncal y alimentador del Metropolitano con el fin de identificar los principales problemas que afectan su correcto desempeño.

### 3.1 Análisis de la estabilidad de procesos

Es fundamental verificar la estabilidad de los procesos de ambos servicios, asegurando que se encuentren bajo control estadístico para detectar posibles inestabilidades y circunstancias anómalas. Para ello, se emplean las cartas de control junto con el Índice de Pasajeros por Kilómetro (IPK), utilizado como indicador de productividad en PROTRANSPORTE tanto para el servicio troncal como para el servicio alimentador. En ambos casos, se consolidaron los IPK de todas las semanas del periodo 2018-2019, obteniendo una base de datos con un total de 105 observaciones por servicio.

Como primer paso, se verifica la normalidad de los datos mediante una prueba de normalidad aplicada al IPK de ambos servicios. Como se observa en la Figura 3.1, los datos de ambos servicios no siguen una distribución normal.

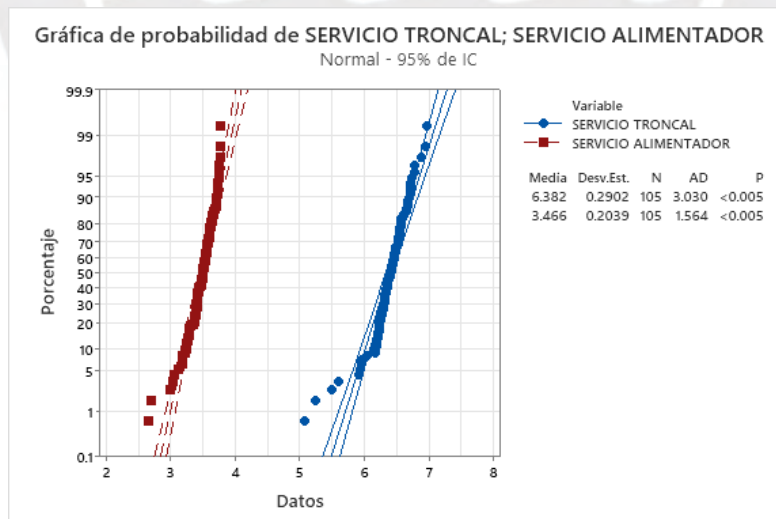


Figura 3.1 Prueba de normalidad de datos sin transformar

Se aplica una transformación Box-Cox a los datos de ambos servicios, obteniendo como potencias sugeridas 7.8634 para el servicio troncal y 6.7775 para el servicio alimentador. Luego de la transformación, se vuelve a aplicar la prueba de normalidad. Como se observa en la Figura 3.2, solo los datos transformados del servicio alimentador siguen una distribución normal.

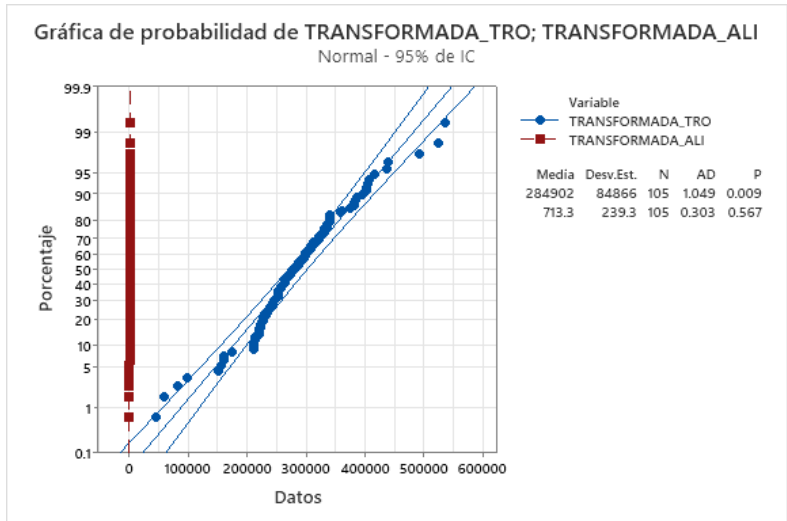


Figura 3.2 Prueba de normalidad de datos transformados

Por esta razón solo se examinará el proceso del servicio alimentador. Se agruparon las observaciones en grupos de 4, obteniendo así 26 subgrupos por servicio, con 4 observaciones por subgrupo. Dado el tamaño de muestra reducido y constante, se establece la carta de control  $\bar{X} - R$  (Figura 3.3).

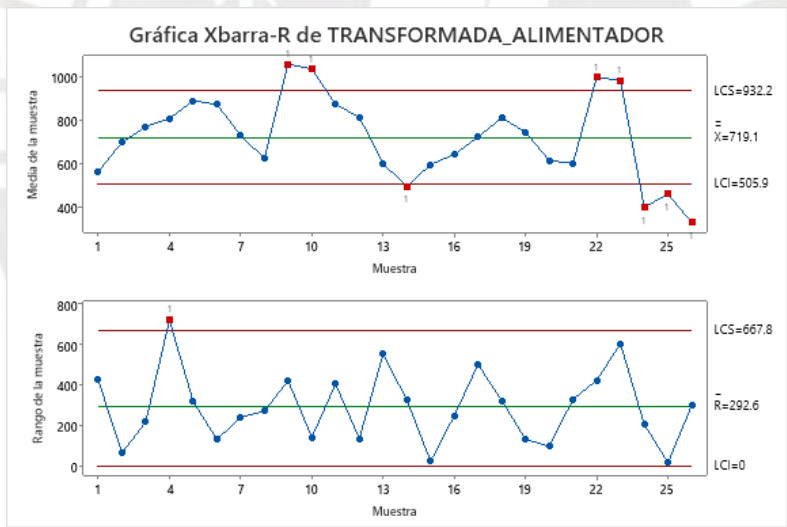


Figura 3.3 Carta de control  $\bar{X} - R$  en el servicio alimentador

Se analiza la carta R y se observa que el subgrupo 4 está fuera de los límites de control. Sin embargo, esto no indica que la carta R esté fuera de control, ya que el subgrupo no se encuentra significativamente alejado del límite de control superior. Por ello, esta variación se puede atribuir a causas fortuitas, es decir, a la variabilidad natural del proceso. En consecuencia, se elimina este subgrupo y se establece una nueva carta de control, presentada en la Figura 3.4

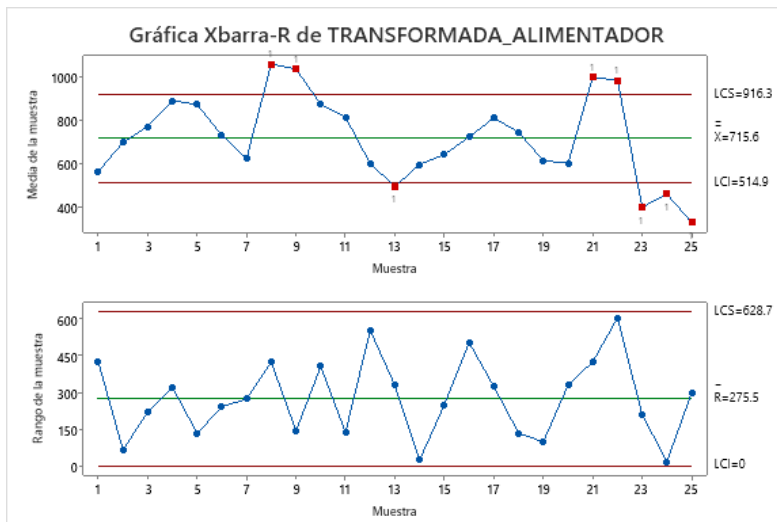


Figura 3.4 Nueva carta de control  $\bar{X} - R$  en el servicio alimentador

Se analiza la nueva carta R y se confirma que se encuentra bajo control, ya que no existen puntos fuera de los límites de control; sin embargo, se observa inestabilidad en el proceso. De al analizar la carta  $\bar{X}$ , se identifican 8 subgrupos fuera de control y la presencia de una corrida entre los subgrupos 3 y 11. Además, se detectan tendencias crecientes en los subgrupos 1 al 4 y 13 al 17, así como tendencias decrecientes en los subgrupos 8 al 13 y 17 al 20. También se evidencia un patrón al comparar los subgrupos del 1 al 9 con los del 14 al 22, lo que indica que los subgrupos no son aleatorios. Por lo tanto, se concluye que el proceso no se encuentra bajo control estadístico y es necesario analizar las causas de estas incidencias para determinar si se trata de casos aislados o si existe un problema de fondo.

También se debe acotar que el IPK es un buen indicador de la rentabilidad del servicio, ya que un mayor IPK refleja un incremento en los ascensos y descensos por kilómetro, lo que se traduce en un aumento de ingresos. Por esta razón, es uno de los principales indicadores utilizados en empresas de transporte público. Sin embargo, aunque el IPK permite medir el desempeño del servicio, es fundamental complementarlo con otros indicadores, ya que su análisis aislado puede llevar a conclusiones erróneas. Por ejemplo, si la cantidad de kilómetros recorridos disminuye debido a factores como tráfico vehicular, mantenimiento de buses o cierre de estaciones, también se reducirá el número de usuarios transportados. En este escenario, el IPK se mantendría constante, lo que podría llevar a la interpretación errónea de que el desempeño del servicio no ha cambiado. Sin embargo, en realidad, tanto los kilómetros recorridos como la cantidad de pasajeros habrían disminuido proporcionalmente, lo que indicaría una reducción en el cumplimiento del servicio.

### 3.2 Análisis de los márgenes de contribución

Dado que el IPK es el indicador utilizado en PROTRANSPORTE para medir la productividad de los servicios, es relevante comparar los resultados esperados en términos de ingresos monetarios con los resultados reales observados en los últimos años. Para esto se usarán los datos de costo por kilómetro asociados a los servicios troncal y alimentador. En PROTRANSPORTE (2013), figuran los costos por kilómetro de cada ruta de los servicios troncal y alimentador, y con esto se calcula el costo por kilómetro promedio de cada servicio. Asimismo, se requiere del IPK estimado por PROTRANSPORTE al inicio del proyecto del Metropolitano para ambos servicios, los cuales se especifican en PROTRANSPORTE (2009). Para realizar la comparativa, se utiliza el valor promedio del IPK de cada servicio, obtenido de la base datos consolidada con los IPK semanales del periodo 2018-2019.

En la Figura 3.5 se presentan los valores utilizados para el servicio troncal, con los cuales se calcula un costo planeado de S/. 0.76 por pasajero y uno actual de S/. 1.01 por pasajero. Considerando que la tarifa del bus articulado fue inicialmente fijada en S/. 1.50 por pasajero y actualmente es de S/. 2.50 por pasajero, se calcula la variación del margen de contribución. Se obtiene un valor planificado de S/. 0.74 por pasajero y uno actual de S/. 1.49 por pasajero. Como resultado, el margen de contribución del servicio troncal ha aumentado en un 100% respecto a lo planeado inicialmente, lo que indica que el servicio es operativamente rentable.

ESCENARIO PLANEADO AL INICIO DEL METROPOLITANO		ESCENARIO ACTUAL DEL METROPOLITANO	
IPK Inicial Propuesto	8.5 Pasajeros/km	IPK Real	6.38 Pasajeros/km
Costo por kilómetro	6.47 Soles/km	Costo por kilómetro	6.47 Soles/km
Costo por pasajero	0.76 Soles/Pasajero	Costo por pasajero	1.01 Soles/Pasajero
Ingreso por pasajero	1.5 Soles/Pasajero	Ingreso por pasajero	2.5 Soles/Pasajero
Margen de contribución	0.74 Soles/Pasajero	Margen de contribución	1.49 Soles/Pasajero

Figura 3.5 Margen de contribución planeado y actual para el servicio troncal

En la Figura 3.6 se presentan los valores utilizados en el servicio alimentador, con los cuales se calcula un costo planeado de S/. 0.69 por pasajero y uno actual de S/. 1.76 por pasajero. Se tiene en cuenta que la tarifa del bus alimentador se ha mantenido en el mismo valor fijado inicialmente, de S/. 1.00 por pasajero. Se calcula un margen de contribución planificado de S/. 0.31 por pasajero y uno actual de -S/. 0.76 por pasajero. Como resultado, el margen de contribución del servicio alimentador disminuyó en un 345% respecto a lo planeado inicialmente y, al no contar con un margen de contribución positivo, no existe utilidad operativa, por lo que el servicio no es rentable en la actualidad.

ESCENARIO PLANEADO AL INICIO DEL METROPOLITANO		ESCENARIO ACTUAL DEL METROPOLITANO	
IPK Inicial Propuesto	8.89 Pasajeros/km	IPK Real	3.47 Pasajeros/km
Costo por kilómetro	6.10 Soles/km	Costo por kilómetro	6.10 Soles/km
Costo por pasajero	0.69 Soles/Pasajero	Costo por pasajero	1.76 Soles/Pasajero
Ingreso por pasajero	1.00 Soles/Pasajero	Ingreso por pasajero	1.00 Soles/Pasajero
Margen de contribución	0.31 Soles/Pasajero	Margen de contribución	-0.76 Soles/Pasajero

Figura 3.6 Margen de contribución planeado y actual para el servicio alimentador

### 3.3 Análisis de satisfacción de servicio al cliente

PROTRANSPORTE evalúa la satisfacción de los usuarios en relación con los servicios troncales y alimentadores mediante el análisis de las reclamaciones registradas en la Hoja de Reclamaciones, disponible tanto en la página web del Metropolitano como en las estaciones del sistema de transporte. Estos datos, accesibles como información de dominio público en la plataforma de PROTRANSPORTE, se procesan mediante un procedimiento de estratificación, permitiendo clasificar los reclamos en categorías específicas de problemas. Posteriormente, se aplica el principio de Pareto para identificar los factores más significativos que afectan la experiencia del usuario. Para este análisis, se utilizaron las estadísticas de reclamaciones correspondientes al año 2019. Los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 3.1 y 3.2, donde se detallan las principales razones de insatisfacción reportadas por los usuarios de los servicios troncal y alimentador, respectivamente.

Como se aprecia en la Tabla 3.1, alrededor del 20% de los problemas vitales causan el 85% de los efectos; y, de la Tabla 3.2 se aprecia que el 30% de los problemas vitales causan el 80% de los efectos, aproximadamente. Mediante el uso del principio de Pareto se concluye que la mayoría de los reclamos están relacionados con:

- Buses alimentadores no se detienen en los paraderos establecidos
- Retraso de buses alimentadores
- Retrasos de buses articulados
- Buses articulados no se detienen en las estaciones establecidas
- Buses articulados llenos
- Manejo inadecuado de choferes de buses alimentadores y articulados

Tabla 3.1 Problemas de reclamaciones – Servicio alimentador

Código	Reclamo	Ruta Alimentadora Norte	Ruta Alimentadora Sur	Total	%	% Acumulado
A	No se detiene en el paradero establecido	66	20	86	45%	45%
B	Retraso de buses	36	23	59	31%	76%
C	Manejo inadecuado del chofer	10	7	17	9%	85%
D	Otros	4	7	11	6%	91%
E	Conflicto entre usuarios	1	3	4	2%	93%
F	Accidente al abordar al bus	0	3	3	2%	94%
G	Accidente al bajar del bus	2	0	2	1%	95%
H	Asientos preferenciales	0	2	2	1%	96%
I	Problemas con los paraderos instalados	1	1	2	1%	97%
J	Buses llenos	0	1	1	1%	98%
K	Accidente de tránsito	0	1	1	1%	98%
L	Plataforma de acceso para personas con discapacidad	1	0	1	1%	99%
M	Seguridad dentro de los buses	1	0	1	1%	99%
N	Limpieza y mantenimiento de buses	1	0	1	1%	100%
Total				191	1	

Tabla 3.2 Problemas de reclamaciones – Servicio troncal

Código	Reclamo	Servicio Regular	Servicio Expreso	Total	%	% Acumulado
A	Retraso de buses	43	33	76	39%	39%
B	No se detiene en la estación establecida	18	14	32	16%	55%
C	Manejo inadecuado del chofer	21	2	23	12%	67%
D	Buses llenos	13	3	16	8%	75%
E	Accidente al abordar al bus	9	4	13	7%	82%
F	Ventilación dentro de los buses	6	4	10	5%	87%
G	Conflicto entre usuarios	1	4	5	3%	90%
H	Limpieza y mantenimiento de buses	4	1	5	3%	92%
I	Otros	1	4	5	3%	95%
J	Seguridad dentro de los buses	3	0	3	2%	96%
K	Problemas mecánicos de los buses	2	1	3	2%	98%
L	Asientos preferenciales	0	1	1	1%	98%
M	Accidente al bajar del bus	0	1	1	1%	99%
N	Accidente dentro del bus	1	0	1	1%	99%
O	Accidente de tránsito	1	0	1	1%	100%
Total				195	1	

En base a los resultados obtenidos se realizan diagramas de causa-efecto de las fuentes más relevantes que originan reclamos en los servicios troncal y alimentador, los cuales se muestran a continuación:

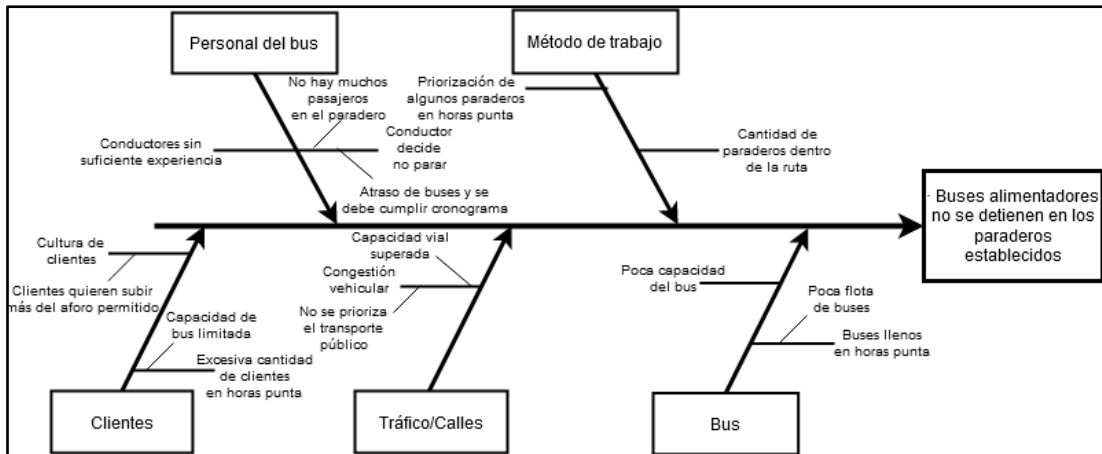


Figura 3.7 Diagrama de causa efecto 1

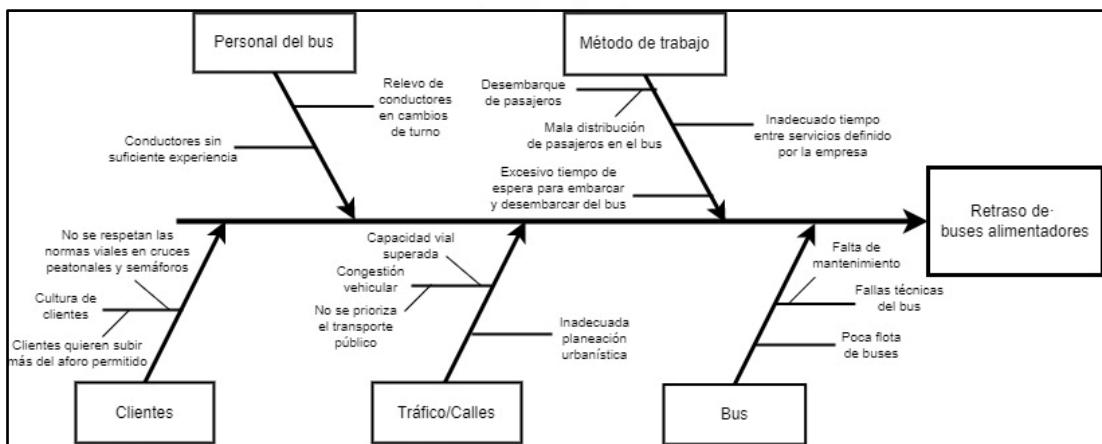


Figura 3.8 Diagrama de causa efecto 2

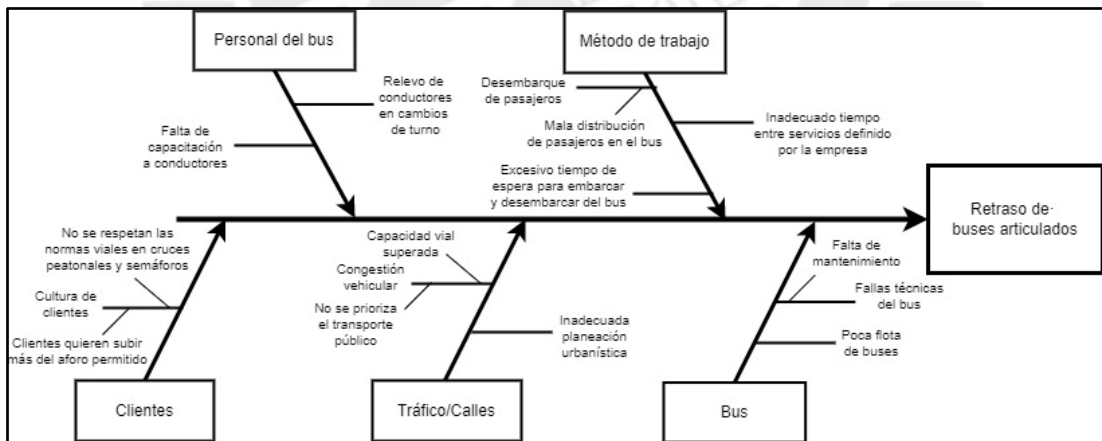


Figura 3.9 Diagrama de causa efecto 3

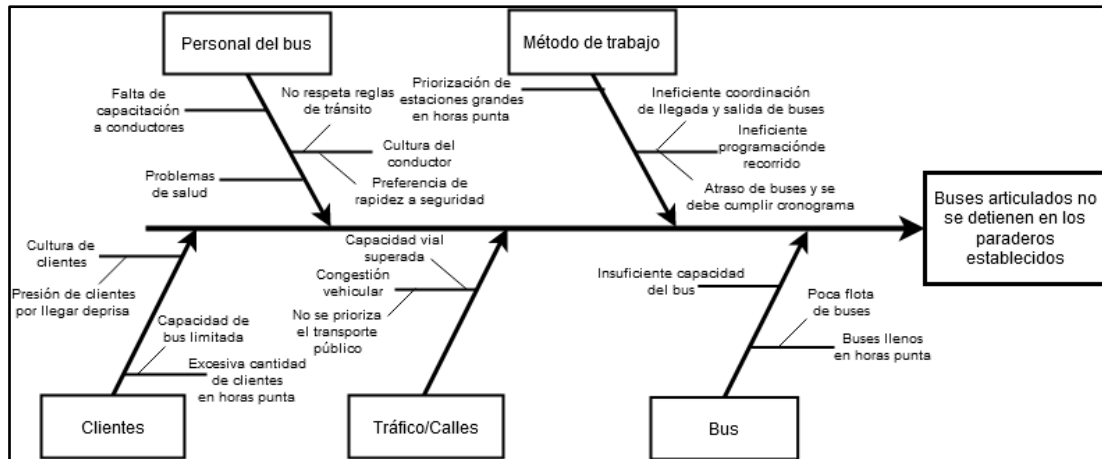


Figura 3.10 Diagrama de causa efecto 4

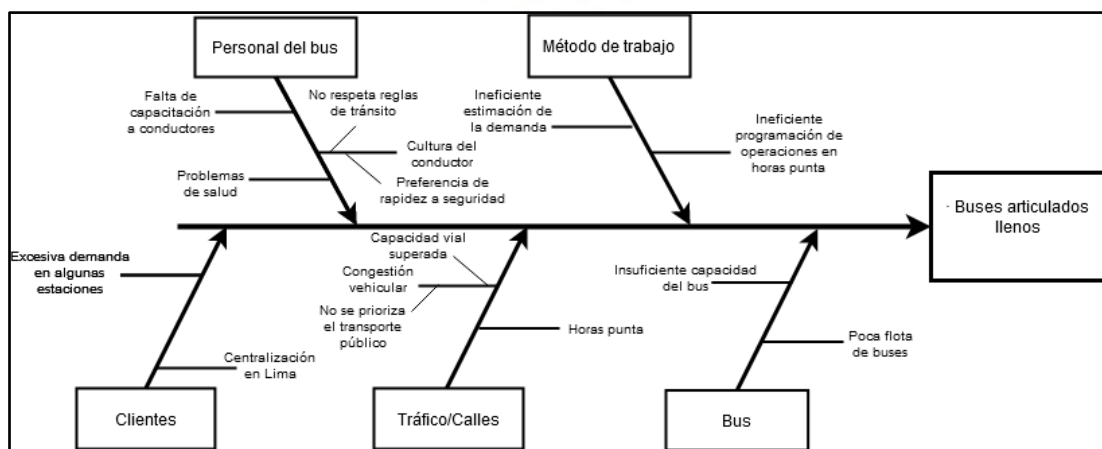


Figura 3.11 Diagrama de causa efecto 5

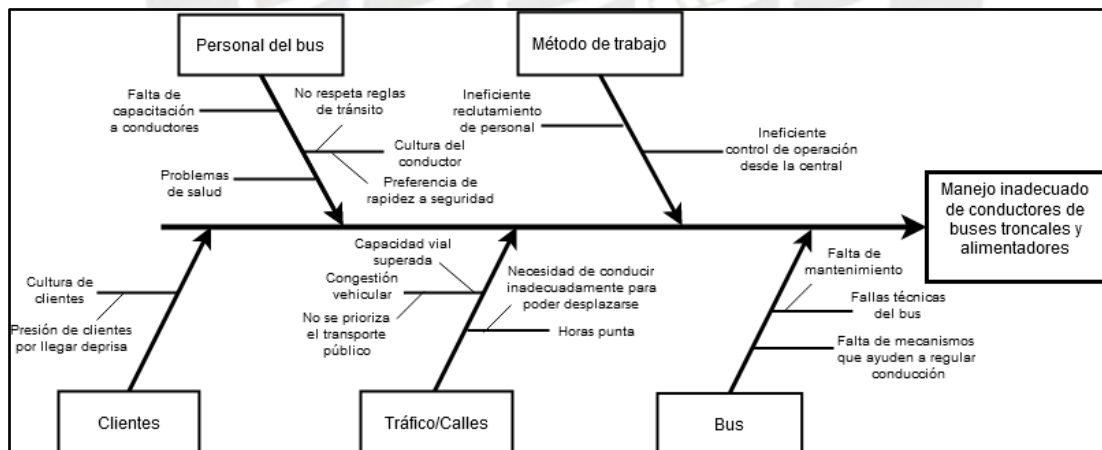


Figura 3.12 Diagrama de causa efecto 6

En términos generales, se identifica que varios de los problemas observados tienen causas transversales, entre las que destacan la congestión vehicular, la insuficiente capacitación de los conductores, las dificultades en el desembarque de pasajeros que generan retrasos y la ineficaz planificación operativa durante las horas punta. Asimismo, la limitada disponibilidad de flota y/o la baja capacidad de los buses impiden satisfacer la demanda oportunamente. Es importante

señalar que los diagramas de causa-efecto permiten estructurar y visualizar hipótesis sobre los factores que inciden en estas problemáticas; sin embargo, solo a través de su validación con datos empíricos es posible identificar las causas reales. En ese sentido, a continuación, se presenta un análisis detallado de la situación actual:

**a) Tiempos de servicio y velocidad media en el servicio troncal:** El servicio troncal se caracteriza por ofrecer tiempos de viaje menores en comparación con otros medios de transporte público y privado, que están más expuestos a la congestión vehicular. Esta ventaja se debe a la disponibilidad de carriles exclusivos para buses articulados, lo que reduce significativamente el impacto del tráfico. No obstante, el servicio puede verse afectado en los tramos donde los carriles exclusivos se intersecan con la vía pública.

Es fundamental analizar las diferencias en los tiempos de servicio entre las distintas líneas del servicio troncal, así como la velocidad promedio de cada una, ya que esto permite realizar comparaciones más precisas. En la Tabla 3.3 se presentan estos valores para cada línea durante las horas punta de la mañana y/o la noche, según su horario de operación. Para facilitar la interpretación, las velocidades por encima del promedio se destacan en color verde, mientras que las que están por debajo se muestran en rojo, con una intensidad que indica el grado de desviación respecto a la media.

Los datos reflejan que las líneas regulares tienen una velocidad promedio menor en comparación con las líneas expresas, lo cual es esperable, ya que estas últimas realizan paradas en un número reducido de estaciones. Sin embargo, el Expreso 8 presenta una velocidad promedio en la noche significativamente inferior a la de otros expresos, equiparándose a las líneas regulares. De manera similar, los Expresos 7 y 1 muestran velocidades menores durante la noche en comparación con otros expresos, aunque cercanas al promedio general. En términos generales, la velocidad promedio de los expresos tiende a disminuir en horario nocturno. Esto sugiere la necesidad de optimizar los tiempos de servicio en las líneas de expresos durante la noche, con especial atención en los Expresos 8, 7 y 1, en ese orden de prioridad.

En cuanto a las líneas regulares, se identifica que el Regular A tiene la menor velocidad promedio tanto de día como de noche, seguido del Regular D, que también presenta un rendimiento bajo. Por lo tanto, es recomendable implementar mejoras en estas líneas de tal forma que el servicio sea más homogéneo en todas las líneas regulares.

Por otro lado, se han registrado velocidades máximas superiores a 60 km/h, lo que representa más del doble de la velocidad promedio. Esto indica que, en ciertas condiciones, los

buses podrían completar los recorridos en la mitad del tiempo actualmente requerido. La notable reducción de la velocidad promedio sugiere la presencia de factores transversales que afectan el rendimiento del servicio y que deben ser abordados para optimizar la eficiencia operativa en todas las líneas.

Tabla 3.3 Velocidad promedio en las líneas del servicio troncal

Servicio	Franja Horaria	Desde	Hasta	Tiempo de Viaje (min)	Recorrido (km)	Velocidad Promedio (km/h)	
RA	Hora Punta en la Mañana	Naranjal	Estación Central	37	9.74	15.79	
		Estación Central	Naranjal	28		20.87	
	Hora Punta en la Noche	Naranjal	Estación Central	40		14.61	
		Estación Central	Naranjal	39		14.98	
RB	Todo el día	Matellini	Naranjal	67	24.01	21.50	
		Naranjal	Matellini	67		21.50	
RC	Todo el día	Ramón Castilla	Matellini	47	16.88	21.55	
		Matellini	Ramón Castilla	47		21.55	
RD	Hora Punta en la Mañana	Naranjal	Estación Central	33	9.43	17.15	
		Estación Central	Naranjal	29		19.51	
EXP1	Hora Punta en la Mañana	Matellini	Estación Central	30	14.58	29.16	
		Estación Central	Matellini	31		28.22	
	Hora Punta en la Noche	Matellini	Estación Central	33		26.51	
		Estación Central	Matellini	35		24.99	
EXP2	Hora Punta en la Mañana	Naranjal	28 de Julio	32	17.88	33.53	
		Naranjal	Plaza de Flores	34		18.74	33.07
		Plaza de Flores	Naranjal	38			29.59
	Hora Punta en la Noche	Ricardo Palma	Naranjal	35	16.67	28.58	
Naranjal		Ricardo Palma	36	27.78			
EXP3	Hora Punta en la Mañana	Naranjal	28 de Julio	33	17.88	32.51	
		28 de Julio	Naranjal	32		33.53	
	Hora Punta en la Noche	Benavides	Naranjal	36	17.35	28.92	
		Naranjal	Benavides	38		27.39	
EXP4	Todo el día	Naranjal	Plaza de Flores	40	18.74	28.11	
		Plaza de Flores	Naranjal	42		26.77	
EXP5	Todo el día	Naranjal	Plaza de Flores	40	18.74	28.11	
		Plaza de Flores	Naranjal	42		26.77	
EXP6	Hora Punta en la Mañana	Izaguirre	Benavides	30	16.58	33.16	
		BVDS	Izaguirre	35		28.42	
EXP7	Hora Punta en la Mañana	Tomás Valle	Angamos	27	13.33	29.62	
		Angamos	Tomás Valle	32		24.99	
EXP8	Hora Punta en la Noche	Izaguirre	Plaza de Flores	39	17.98	27.66	
		Plaza de Flores	Izaguirre	53		20.35	
EXP9	Hora Punta en la Mañana	UNI	Benavides	23	12.54	32.71	
		Benavides	UNI	28		26.87	

**b) Tiempos de servicio y velocidad media en el servicio alimentador:** A diferencia del servicio troncal, el servicio alimentador no cuenta con carriles exclusivos, lo que lo hace más vulnerable a la congestión vehicular, especialmente durante las horas punta en Lima. Debido a esto, es importante realizar un análisis similar al efectuado en las líneas troncales para evaluar los tiempos de servicio y la velocidad media en diferentes franjas horarias.

En la Tabla 3.4 se aprecian las velocidades promedio registradas durante las horas punta de la mañana, la noche y las horas valle. En la zona norte, la ruta Mayolo muestra la menor velocidad promedio, alcanzando 12.05 km/h en la noche. Asimismo, las rutas Payet, Tahuantinsuyo, Bertello y Puno presentan bajas velocidades en todos los horarios analizados.

También se observa que algunas rutas, como Alisos, Izaguirre y La Ensenada, tienen un buen desempeño en la mañana, pero una notable reducción de velocidad en la noche y/o en la hora valle. En la zona centro, la ruta Gamarra presenta una velocidad inferior al promedio, a pesar de operar únicamente en horas valle. Finalmente, en la zona sur, de las cuatro rutas evaluadas, solo Villa El Salvador mantiene valores de velocidad superiores al promedio, mientras que las rutas Cedros de Villa, Américas y Próceres presentan velocidades bajas en todos los horarios.

Estos resultados indican la necesidad de homogenizar las velocidades promedio en las rutas de la zona sur, la ruta Gamarra y varias rutas de la zona norte, priorizando aquellas que registran bajos valores en los tres horarios analizados.

Por otro lado, se han registrado velocidades máximas superiores a 50 km/h en ciertas rutas del servicio alimentador, lo que representa más del doble e incluso hasta tres veces la velocidad promedio en algunas rutas. Esto sugiere que los tiempos de recorrido actuales podrían reducirse significativamente si se optimizan los factores que afectan la velocidad. Estos factores impactan más severamente en el servicio alimentador que en el troncal, dado que este último opera en una vía exclusiva.

Tabla 3.4 Tiempos de viaje en las rutas del servicio alimentador

Zona	Ruta	Recorrido (km)	Tiempo de viaje de ciclo (min)			Velocidad Promedio (km/h)		
			Hora punta en la mañana	Hora valle	Hora punta en la Noche	Hora punta en la mañana	Hora valle	Hora punta en la Noche
Norte	Payet	7.16	31	30	32	13.86	14.32	13.43
	Tahuantinsuyo	6.44	27	25	26	14.31	15.46	14.86
	Bertello	16.48	60	64	75	16.48	15.45	13.18
	Alisos	7.80	27	28	37	17.33	16.71	12.65
	Los Olivos	11.72	33	30	36	21.31	23.44	19.53
	Mayolo	14.06	49	56	70	17.22	15.06	12.05
	Izaguirre	10.90	34	44	52	19.24	14.86	12.58
	Puente Piedra	27.84	85	83	91	19.65	20.13	18.36
	La Ensenada	20.00	74	66	81	16.22	18.18	14.81
	Trapiche	24.08	81	55	79	17.84	26.27	18.29
	Collique	22.96	73	76	82	18.87	18.13	16.80
	Tungasuca	21.60	67	72	68	19.34	18.00	19.06
	Santo Domingo	25.88	73	84	74	21.27	18.49	20.98
	Puno	11.08	47	47	50	14.14	14.14	13.30
	Milagro	20.62	68	72	76	18.19	17.18	16.28
	Belaunde	13.72	49	50	52	16.80	16.46	15.83
Carabayllo	28.88	82	82	94	21.13	21.13	18.43	
Centro	Gamarra	7.12		33			12.95	
Sur	Cedros de Villa	8.00	38	38	38	12.63	12.63	12.63
	Villa El Salvador	28.60	95	91	89	18.06	18.86	19.28
	América	12.56	51	49	52	14.78	15.38	14.49
	Los Próceres	10.90	56	57	56	11.68	11.47	11.68

c) **Flota de buses:** Si sabe que el metropolitano cuenta con 305 buses articulados y 244 buses alimentadores, los cuales se distribuyen en sus diferentes líneas en distintas cantidades dependiendo de si es hora punta u hora valle.

Tabla 3.5 Programación de buses en las líneas del servicio troncal

Servicios Troncales	Día	Buses en hora punta mañana	Buses en hora valle	Buses en hora punta noche
RA	Hábil	28	19	26
RC	Hábil	38	26	26
RB	Hábil	0	33	76
RD	Hábil	15	0	0
SX	Hábil	30	0	25
SXN	Hábil	29	0	15
EXP1	Hábil	36	0	18
EXP2	Hábil	42	0	18
EXP3	Hábil	34	0	25
EXP6	Hábil	21	0	0
EXP7	Hábil	22	0	0
EXP8	Hábil	0	0	55
EXP9	Hábil	5	0	0
EXP5	Hábil	0	21	0
Total		300	99	284

Tabla 3.6 Programación de buses en las rutas del servicio alimentador

Ruta	Tipo Día	Buses en hora punta mañana	Buses en hora valle	Buses en hora punta noche
Payet	Hábil	7	3	6
Tahuantinsuyo	Hábil	7	4	7
Bertello	Hábil	14	11	14
Alisos	Hábil	13	7	13
Los Olivos	Hábil	9	5	10
Mayolo	Hábil	16	13	17
Izaguirre	Hábil	7	5	6
Gamarra	Hábil	0	4	0
Puente Piedra	Hábil	14	11	14
La Ensenada	Hábil	13	7	14
Trapiche	Hábil	11	4	10
Collique	Hábil	9	6	9
Tungasuca	Hábil	14	8	14
Santo Domingo	Hábil	13	8	14
Puno	Hábil	6	4	6
Milagro	Hábil	7	6	7
Belaunde	Hábil	6	4	6
Carabaylo	Hábil	18	10	16
Cedros de Villa	Hábil	6	5	7
Villa El Salvador	Hábil	19	16	21
América	Hábil	6	4	4
Próceres	Hábil	7	5	6
Total		222	150	221

De las Tablas 3.5 y 3.6 se observa que la mayor cantidad de buses asignados en días hábiles se concentra en la hora punta de la mañana, tanto en el servicio alimentador como en el troncal, con 222 y 300 buses, respectivamente.

Como consecuencia, el nivel de flota no productiva asciende al 2% en el servicio troncal y al 9% en el servicio alimentador. Esta flota corresponde a los buses de retén, los cuales PROTRANSPORTE está obligado a mantener según la normativa vigente.

Sin embargo, considerando la alta demanda y la recurrencia de buses con capacidad completa, es posible optimizar el uso de la flota mediante una mejor programación por horarios. Esto permitiría un mejor aprovechamiento de recursos, lo que resulta especialmente relevante dado el déficit de rentabilidad que enfrenta el servicio alimentador en la actualidad.

### 3.4 Matriz de priorización de soluciones propuestas

A continuación, se presenta un resumen de los principales problemas identificados en los distintos análisis realizados:

- **Usar solo el IPK como indicador de desempeño de los servicios:** Como se explica anteriormente, el IPK es un buen indicador de rentabilidad de los servicios; sin embargo, para poder llevar un control integral del desempeño operativo es necesario complementarlo con otros indicadores.
- **No rentabilidad del servicio alimentador:** Se observa que actualmente el servicio alimentador no es rentable debido a que el IPK real actual es menor al esperado. Esto es consecuencia de factores que impactan en el servicio como las bajas velocidades promedio que reducen la cantidad de vueltas que puede realizar un bus en un periodo determinado.
- **Excesivo tiempo de viaje en horas punta en el servicio alimentador:** Las velocidades promedio de las rutas son considerablemente menores en comparación con las velocidades máximas alcanzadas. Esto genera un incremento en la duración de los trayectos, llegando a duplicar o triplicar el tiempo que tomaría en condiciones ideales. Si bien la congestión vehicular es un factor externo que incide en esta problemática, existen otros elementos que afectan la eficiencia del servicio, tal como ocurre en el servicio troncal, donde ciertos factores reducen la velocidad operativa y limitan la capacidad de transporte de pasajeros.
- **Excesivo tiempo de viaje en horas punta en el servicio troncal:** Aunque el servicio troncal opera en vías exclusivas, las velocidades promedio registradas son menos de la mitad de las velocidades máximas alcanzadas. Como resultado, los tiempos de viaje superan los valores óptimos en condiciones ideales. Dado que este servicio no está sujeto a la congestión vehicular en la misma medida que el alimentador, la disminución de la velocidad promedio se debe a factores del proceso que afectan la eficiencia y limitan la capacidad de transporte de pasajeros.

En función de estos problemas, se plantean las siguientes soluciones:

- **Solución A:** Incorporación de indicadores adicionales al IPK, como el IPV, IKV y el índice de cumplimiento. Con esto se garantiza llevar un mejor control del desempeño de los servicios.
- **Solución B:** Rediseño de las rutas alimentadoras para reducir los tiempos de servicio en horas punta, priorizando su integración con zonas urbanas de alta densidad. Esta medida permitirá mejorar el indicador IPK del servicio y, en consecuencia, su rentabilidad.
- **Solución C:** Modificación de los procesos de embarque y desembarque de pasajeros en los buses troncales con el fin de incrementar la velocidad promedio de las líneas, reducir el retraso

de buses, incrementar el uso de los activos fijos y reducir el tiempo espera de los pasajeros.

• **Solución D:** Modificación de los procesos de embarque y desembarque de pasajeros en los buses alimentadores con el fin de incrementar la velocidad promedio de las rutas, reducir el retraso de buses, incrementar el uso de los activos fijos y mejorar la rentabilidad del servicio.

Para establecer un orden de prioridad en la implementación de estas soluciones, se empleará una matriz de priorización. Esta herramienta se fundamenta en cuatro criterios principales: impacto de la solución en el sistema, simplicidad del problema que aborda, costo de implementación y viabilidad de la solución. En la Tabla 3.7, se presenta un índice de importancia relativa de estos factores, obtenido mediante comparación pareada. En este análisis, se ha definido la siguiente jerarquización: *viabilidad de la solución = impacto al sistema > simplicidad del problema = costo de implementación*.

Tabla 3.7 Comparación pareada de factores

Factor	Comparaciones pareadas						Suma	Índice
	1	2	3	4	5	6		
Impacto al sistema	1	1	1				3	38%
Simplicidad del problema	0			1	0		1	13%
Costo de implementación		0		1		0	1	13%
Viabilidad de solución			1		1	1	3	38%
Total							8	

A continuación, se establece un ordenamiento jerárquico de los problemas en función de cada factor, mediante comparación pareada (Tablas 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11).

Tabla 3.8 Orden jerárquico – Impacto al sistema

Solución	Comparaciones pareadas - Impacto al sistema				Suma	Orden
	A	B	C	D		
A		0	0	0	0	0%
B	1		1	1	3	50%
C	1	0		0	1	17%
D	1	0	1		2	33%
Total					6	

Tabla 3.9 Orden jerárquico – Simplicidad del problema

Solución	Comparaciones pareadas - Simplicidad del problema				Suma	Orden
	A	B	C	D		
A		1	1	1	3	43%
B	0		0	0	0	0%
C	0	1		1	2	29%
D	0	1	1		2	29%
Total					7	

Tabla 3.10 Orden jerárquico – Costo de implementación

Solución	Comparaciones pareadas - Costo de implementación				Suma	Orden
	A	B	C	D		
A		1	1	1	3	43%
B	0		0	0	0	0%
C	0	1		1	2	29%
D	0	1	1		2	29%
Total					7	

Tabla 3.11 Orden jerárquico – Viabilidad de la solución

Cosparaciones pareadas - Viabilidad de la solución						
Solución	A	B	C	D	Suma	Orden
A		1	1	1	3	43%
B	0		0	0	0	0%
C	0	1		1	2	29%
D	0	1	1		2	29%
Total					7	

Posteriormente, se confronta el índice de importancia con el orden jerárquico en cada factor para determinar la puntuación de cada solución (Tabla 3.12).

Tabla 3.12 Confrontación del índice de importancia con los órdenes jerárquicos

Factor	Índice	A	B	C	D
<b>Impacto al sistema</b>	38%	0%	50%	17%	33%
<b>Simplicidad del problema</b>	13%	43%	0%	29%	29%
<b>Costo de implementación</b>	13%	43%	0%	29%	29%
<b>Viabilidad de solución</b>	38%	43%	0%	29%	29%
Total		0.27	0.19	0.24	0.30

Se determina que la solución de mayor importancia es la solución D, que consisten en realizar modificaciones a los procesos de subida y bajada de pasajeros en los buses alimentadores. Por ello, se desarrollará esta propuesta de mejora, dado que resulta fundamental optimizar el aprovechamiento de los recursos del servicio alimentador, siendo esta una iniciativa de alta prioridad para PROTRANSPORTE. Se decidió enfocar la mejora en la reducción de los tiempos de parada, ya que, entre los 3 principales componentes de la velocidad, este incide directamente en el componente de tiempo de servicio al pasajero. Como se mencionó previamente, las velocidades promedio de las rutas del servicio alimentador están muy por debajo de los valores máximos alcanzables, lo que limita la capacidad de transporte de pasajeros por día y afecta la rentabilidad del servicio, especialmente considerando su situación actual de rentabilidad.

En este sentido, se plantea la reducción de los tiempos de parada para incrementar la velocidad promedio de las rutas del servicio alimentador, lo que permitirá reducir el retraso de los buses, incrementar el uso de los activos fijos y mejorar la rentabilidad del servicio. Asimismo, el tiempo de espera por los buses será reducido, así como el tiempo de espera adicional generado por la presencia de buses con capacidad completa de pasajeros. Esto contribuirá a disminuir la cantidad de pasajeros que optan por no utilizar el servicio debido a demoras o buses a máxima capacidad. En el siguiente capítulo se detallará el desarrollo de esta propuesta de mejora, desde la recopilación de los datos necesarios hasta la cuantificación de los beneficios obtenidos.

## Capítulo 4. PROPUESTA DE MEJORA

En este capítulo se desarrollan las propuestas de mejora para la empresa en estudio. Para ello se inicia con la evaluación de los procesos actuales, seguida de la recopilación de datos, posteriormente las mejoras en los procesos y, finalmente, la validación de los resultados.

### 4.1 Factores que impactan el tiempo de parada

Dentro de los factores que afectan los tiempos de viaje y, por ende, las velocidades promedio se pueden mencionar las siguientes:

- **Apertura y cierre de puertas:** Relacionado con la rapidez de la apertura y cierre de las puertas, y con la posible presencia de problemas con los mecanismos de funcionamiento, lo que puede generar demoras en la operación del bus
- **Subida y bajada de pasajero:** Se refiere a la dinámica con la que los pasajeros ingresan y descienden de la unidad, así como a la distribución de los accesos utilizados para estos fines. Un diseño ineficiente en este proceso puede generar congestión interna y retrasos adicionales.
- **Métodos de pago:** La forma en que se efectúan los pagos impacta directamente en el tiempo de parada. Los pagos pueden realizarse antes de abordar el bus o dentro de este, y pueden incluir diversas modalidades como efectivo, tarjetas de contacto y sin contacto, entre otros.
- **Infraestructura vial:** La distribución y el tipo de vías utilizadas influyen significativamente en el tiempo de recorrido. Las diferencias entre vías exclusivas y compartidas, la cantidad de semáforos, intersecciones y la presencia de incidentes de tráfico pueden generar variaciones en la velocidad promedio y afectar su operativa.

### 4.2 Recopilación de datos

A continuación, se detallan los datos necesarios para plantear las mejoras y validar los resultados en los apartados posteriores.

#### 4.2.1 Tiempos de subida y bajada

Para analizar los tiempos de subida y bajada de pasajeros en el servicio alimentador, se recopilaron muestras aleatorias tanto del servicio alimentador norte como del sur. A partir de estos datos, se estimaron los parámetros estadísticos de los tiempos promedios de subida y

bajada, específicamente la media y la desviación estándar.

El primer enfoque adoptado consistió en calcular los intervalos de confianza para la media y la desviación estándar. Para ello, se verificó inicialmente si las muestras seguían una distribución normal, como se observa en la Figura 4.1. Los resultados indicaron que solo los tiempos registrados en la terminal Matellini se ajustaban a una distribución normal. Sin embargo, dado que el tamaño muestral en la terminal Naranjal supera los 30 datos, se procedió a calcular los intervalos de confianza para la media en dicha terminal. No obstante, la falta de normalidad en los datos de los cuatro tiempos impidió determinar los intervalos de confianza para la varianza y, por consiguiente, para la desviación estándar.

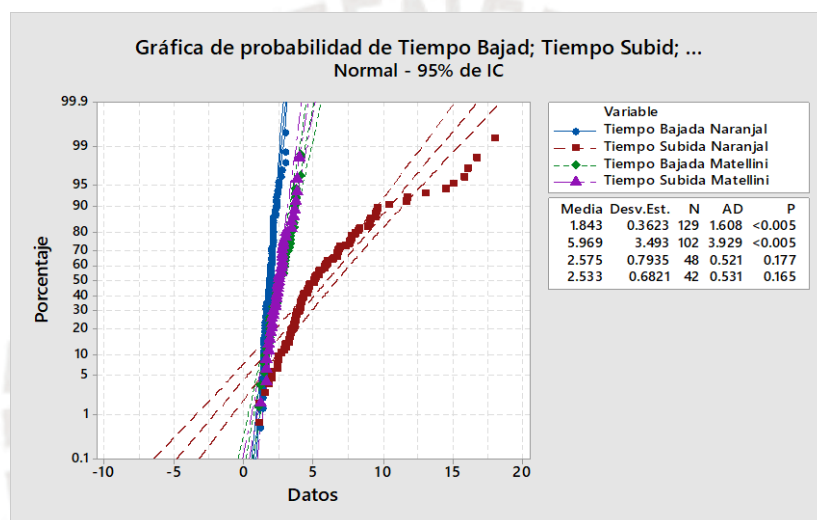


Figura 4.1 Prueba de normalidad a tiempos de subida y bajada

En la Figura 4.1 también se presentan los estimadores puntuales de las medias y desviaciones estándar. Se observa que el tiempo promedio de subida en la terminal Naranjal es significativamente mayor que en Matellini, lo cual se atribuye a diferencias en el proceso de ingreso: en Matellini, los pasajeros acceden al bus por la puerta trasera y realizan el pago fuera del vehículo. Asimismo, los tiempos promedio de subida y bajada en Matellini resultan similares, debido a que el flujo de pasajeros es equilibrado y no existen torniquetes que puedan generar variaciones significativas. Por otro lado, el tiempo de bajada promedio en Matellini supera al registrado en Naranjal, ya que la cantidad de pasajeros que desciende por bus en esta última terminal suele ser mayor, lo que contribuye a reducir la ratio de bajada en Naranjal a comparación de Matellini.

Los intervalos de confianza calculados confirman que el tiempo promedio de bajada en Naranjal es menor que en Matellini, dado que no existe superposición entre los intervalos y los

valores en Naranjal son consistentemente inferiores. Asimismo, se reafirma que los tiempos de subida y bajada en Matellini no presentan diferencias significativas, ya que los intervalos de confianza se traslapan, mientras que el tiempo promedio de subida en Naranjal es superior al de Matellini.

IC Tiempo Bajada - Naranjal : [1.78, 1.91] segundos  
IC Tiempo Subida - Naranjal : [5.29, 6.65] segundos  
IC Tiempo Bajada - Matellini : [2.35, 2.80] segundos  
IC Tiempo Subida - Matellini : [2.33, 2.74] segundos

Dado que no fue posible obtener un intervalo de confianza para la desviación estándar de los cuatro tiempos debido a la falta de normalidad en todas las muestras, se adoptó un segundo enfoque basado en intervalos de confianza bootstrap t (studentizados). Para ello, se realizaron 10,000 remuestreos y se analizaron las distribuciones muestrales de las medias y desviaciones estándar en ambas terminales (Figuras 4.2 y 4.3). Los resultados mostraron distribuciones con forma acampanada, características de una distribución normal, y las medias obtenidas fueron prácticamente idénticas a las halladas en el primer análisis, lo que valida la robustez de los cálculos previos.

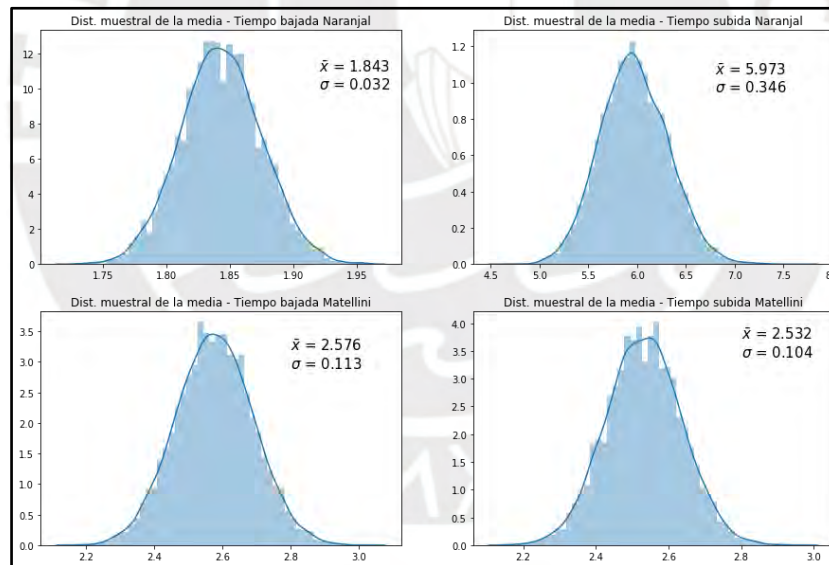


Figura 4.2 Distribuciones muestrales de las medias

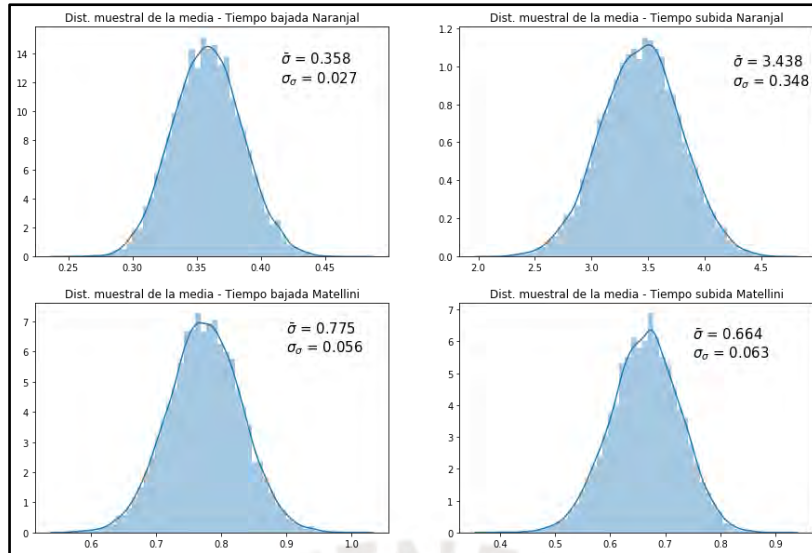


Figura 4.3 Distribuciones muestrales de las desviaciones estándares

A partir de estas distribuciones muestrales, se calcularon los intervalos de confianza para la media y la desviación estándar, cuyos valores se presentan en la Tabla 4.1. En dicha tabla también se incluyen los estimadores puntuales de la media y la desviación estándar, los cuales serán tomados como valores de referencia en el proceso de análisis.

Tabla 4.1 Tiempos de subida y bajada en distintos escenarios de pago

		Intervalo de Confianza		Estimador Puntual	
		Media	Desviación Estándar	Media	Desviación Estándar
Naranjal	T. Bajada	[1.785, 1.908]	[0.306, 0.410]	1.843	0.358
	T. Subida	[5.362, 6.728]	[2.747, 4.125]	5.973	3.438
Matellini	T. Bajada	[2.339, 2.810]	[0.661, 0.884]	2.576	0.775
	T. Subida	[2.337, 2.753]	[0.532, 0.783]	2.532	0.664

Las diferencias observadas en los tiempos de subida entre ambas terminales pueden atribuirse principalmente a la presencia del torniquete y a las diferencias en el momento de pago. Por esta razón, el tiempo de subida en Naranjal se considerará como el tiempo promedio de subida con presencia de torniquete que se replica en todos los paraderos. En contraste, el tiempo de subida en Matellini será considerado como el tiempo promedio de subida sin presencia de torniquete y donde el pago se realiza al ingresar a la terminal, que se tomará como referencia en todos los paraderos.

En cuanto a los tiempos de bajada en los distintos paraderos, se asumirá que estos siguen el patrón observado en cada una de las rutas: para las rutas del alimentador norte, se considerará el tiempo de bajada en Naranjal, mientras que, para las rutas del alimentador sur, se usará como referencia el tiempo de bajada en Matellini.

#### 4.2.2 Tiempos de viaje y velocidades promedio

Los datos referentes a los tiempos de viaje y las velocidades promedio de cada una de las rutas, tanto del servicio troncal como del servicio alimentador, se presentan en las Tablas 3.3 y 3.4. Estos valores fueron proporcionados directamente por la empresa en estudio.

#### 4.2.3 Tiempos de subida con distintos medios de pago

En el servicio troncal, el ingreso de pasajeros es más ágil debido a la ausencia de barreras físicas que obstaculicen el acceso. Sin embargo, en el servicio alimentador, la presencia de un torniquete ralentiza significativamente el flujo de ingreso.

Por esta razón, resulta fundamental considerar los tiempos estimados de subida asociados a los distintos métodos de pago disponibles. Estos valores se presentan en la Tabla 4.2, basada en los datos del Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCRP, 2013), donde se establecen los rangos de tiempos y valores recomendados para diversos escenarios de embarque y desembarque en sistemas BRT.

Tabla 4.2 Tiempos de subida y bajada en distintos escenarios de pago

Situation	Average Passenger Service Time (s/p)	
	Observed Range	Suggested Default
<b>BOARDING</b>		
No fare payment	1.75–2.5	1.75
Visual inspection (paper transfer/flash pass/mobile phone)	1.6–2.6	2.0
Single ticket or token into farebox	2.9–5.1	3.0
Exact change into farebox	3.1–8.4	4.5
Mechanical ticket validator	3.5–4.0	4.0
Magnetic stripe card	3.7–6.5	5.0
Smart card	2.5–3.2	2.75
<b>ALIGHTING</b>		
Front door	1.4–3.6	2.5
Rear door	1.2–2.2	1.75
Rear door with smart card check-out	3.4–4.0	3.5

Fuente: TCRP (2013)

De acuerdo con la Tabla 4.2, los tiempos de subida más reducidos se observan en tres escenarios: cuando no se requiere pago de tarifa (ingreso directo), cuando se efectúa una inspección visual del boleto de ingreso, y cuando el pago se realiza mediante tarjetas sin contacto (tarjetas inteligentes). Además, el manual recomienda adicionar a los tiempos de ingreso un valor 0.5 segundos/pasajeros cuando hay pasajeros de pie y otros 0.5 segundos/pasajeros cuando el embarque no se encuentra nivelado y se requieren escaleras.

De la Tabla 4.1 se obtuvieron el tiempo de subida promedio con torniquete en todos los paraderos, el tiempo de subida promedio sin presencia de torniquete y con pago al ingresar a

la terminal, y los tiempos de bajada. Un dato adicional requerido para el posterior modelado de escenarios es el tiempo de subida que existiría en los paraderos que no sean las terminales y sin contar con torniquete. Para estimarlo, se plantea la inspección visual al ingreso del bus, que según la Tabla 4.2 tiene un rango de entre 1.6 y 2.6 segundos, con un valor recomendado de 2 segundos.

Dado que el proceso de subida observado en la terminal Matellini es similar al de la inspección visual (ya que no cuenta con torniquete), se ha optado por utilizar el tiempo de subida registrado en Matellini (2.532 segundos, según la Tabla 4.1). Este valor se encuentra dentro del rango propuesto y representa una estimación conservadora para los cálculos posteriores.

#### **4.2.4 Afluencia de pasajeros**

Se cuenta con bases de datos para el servicio troncal y alimentador proporcionadas por la empresa en el que se tienen las cantidades de validaciones de todo el mes de noviembre de 2019. Para el caso del servicio alimentador, está especificada por ruta y por franja horaria. Las validaciones están registradas desde las 5:00 a. m. hasta las 11:00 p. m., generando un total de 18 subtotales diarios por ruta.

### **4.3 Escenarios de propuesta de mejora**

Se plantean tres escenarios de mejora en los cuales se propone eliminar el torniquete y establecer el pago al ingresar a la estación en ambas terminales, replicando el sistema actualmente implementado en la terminal Matellini. Para los paraderos intermedios, se propone que el conductor controle el flujo de pasajeros que ingresen por la puerta delantera para que ninguno ingrese sin pagar (inspección visual). Los escenarios propuestos son los siguientes:

- **Escenario 1:** Subida y bajada por ambas puertas, con validación del pago mediante tarjeta sin contacto y sin el uso de torniquete. Para esto se requerirá instalar un validador adicional en la puerta trasera.
- **Escenario 2:** Subida por ambas puertas con tarjeta sin contacto y sin torniquete, mientras que la bajada se realizaría exclusivamente por la puerta trasera. Para esto también se requerirá instalar un validador adicional en la puerta trasera.
- **Escenario 3:** Subida únicamente por la puerta delantera con tarjeta sin contacto y sin torniquete, mientras que la bajada se permitiría por ambas puertas.

En estos tres escenarios, al no existir barrera física que impida el ingreso de pasajeros sin pagar, podría presentarse un porcentaje de fraude, es decir, pasajeros que intenten acceder sin validar su pasaje. Si bien es necesario evaluar alternativas para reducir este riesgo, este trabajo no considerará este impacto negativo para el análisis económico posterior.

#### 4.4 Tiempo estimado de mejora en los escenarios

Para esta sección se usarán las siguientes abreviaciones: número de pasajeros que suben (PS), número de pasajeros que bajan (PB), tiempo de subida por pasajero (TS) y tiempo de bajada por pasajero (TB).

La fórmula para estimar los tiempos de bajada y subida está basada en TCRP (2013) y se interpreta considerando el máximo tiempo de flujo entre todas las puertas disponibles. Esto se debe a que el tiempo total será proporcional a la cantidad de pasajeros que suben y bajan en cada parada, así como a los tiempos individuales de subida y bajada por pasajero.

$$\text{Tiempo de flujo} = \max(\sum_{puerta=1}^{puerta=n} PS_{puerta} * TS_{puerta} + PB_{puerta} * TB_{puerta})$$

A continuación, en la Tabla 4.3, se presentan los cálculos para estimar los tiempos de subida y bajada en el servicio alimentador:

Tabla 4.3 Tiempos de subida y bajada en los escenarios del servicio alimentador

ESCENARIO 1	Puerta delantera	$PS*TS/2 + PB*TB/2$
	Puerta trasera	$PS*TS/2 + PB*TB/2$
ESCENARIO 2	Puerta delantera	$PS*TS/2$
	Puerta trasera	$PS*TS/2 + PB*TB$
ESCENARIO 3	Puerta delantera	$PS*TS + PB*TB/2$
	Puerta trasera	$PB*TB/2$

Los resultados de la evaluación de los escenarios propuestos se muestran en la Tabla 4.4. Como era de esperarse, el Escenario 1 genera el mayor ahorro en los tiempos de parada, ya que permite la subida y bajada de pasajeros por ambas puertas, optimizando el flujo de pasajeros. Este escenario permite una reducción mínima del 2.39% y un máximo de 3.54% en el tiempo total disponible por ruta.

Los siguientes escenarios en términos de reducción de tiempos de parada son el Escenario 2 y el Escenario 3, respectivamente. Se observa que la disminución en los tiempos de parada está principalmente relacionada con la reducción en los tiempos de subida, ya que la principal mejora proviene de la eliminación del torniquete, que facilita un flujo más rápido de pasajeros.

Tabla 4.4 Ahorros en tiempo de parada por línea - Alimentador

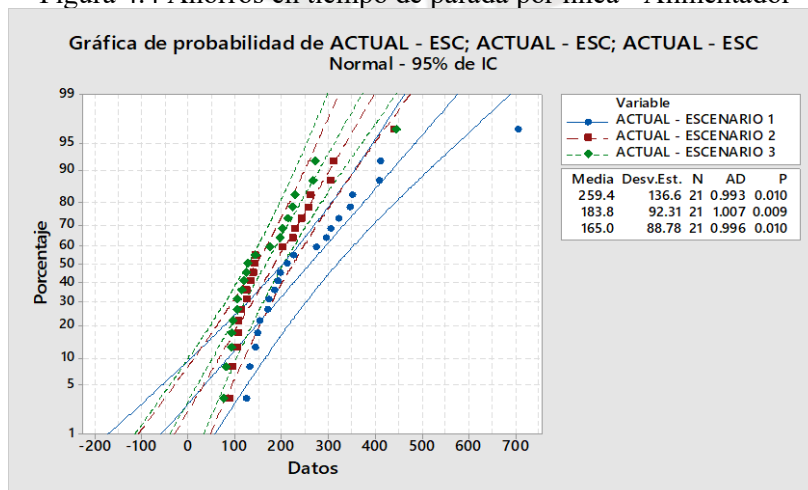
Zona	Ruta	Minutos Disponibles por Ruta	Tiempo de Parada Total por Día en Ruta (min)				Ahorro en Tiempo de Parada por Ruta		
			Actual	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Norte	Payet	4680	226	85	120	134	3.02%	2.26%	1.98%
	Tahuantinsuyo	5580	240	94	134	148	2.61%	1.90%	1.64%
	Bertello	13140	558	213	302	336	2.63%	1.94%	1.69%
	Alisos	10080	443	171	243	270	2.70%	1.98%	1.72%
	Los Olivos	7320	305	121	172	191	2.51%	1.82%	1.56%
	Mayolo	15540	657	248	352	391	2.63%	1.96%	1.71%
	Izaguirre	6000	253	101	144	160	2.53%	1.82%	1.56%
	Puente Piedra	13140	562	213	302	336	2.66%	1.98%	1.72%
	La Ensenada	10320	466	172	245	272	2.85%	2.14%	1.88%
	Trapiche	7020	324	128	181	202	2.79%	2.03%	1.74%
	Collique	7740	319	128	182	202	2.47%	1.78%	1.52%
	Tungasuca	11160	509	188	267	297	2.88%	2.17%	1.90%
	Santo Domingo	10980	484	180	256	285	2.76%	2.07%	1.81%
	Puno	5160	215	85	121	135	2.51%	1.82%	1.55%
	Milagro	6900	279	111	157	174	2.44%	1.76%	1.51%
	Belaunde	5160	209	85	121	135	2.39%	1.70%	1.44%
Carabaylo	13680	645	237	337	374	2.98%	2.25%	1.98%	
Sur	Cedros de Villa	6360	393	168	253	252	3.54%	2.21%	2.23%
	Villa El Salvador	19980	1233	528	795	790	3.53%	2.20%	2.22%
	América	4920	310	138	208	207	3.49%	2.08%	2.10%
	Los Próceres	6300	384	173	260	259	3.34%	1.96%	1.98%

#### 4.5 Elección del escenario

Con el fin de discernir entre los escenarios propuestos se debe corroborar que exista una mejora significativa en la reducción de los tiempos de parada en comparación a la situación actual. Con este propósito, se llevaron a cabo pruebas de hipótesis pareadas, comparando cada uno de los escenarios propuestos con el escenario actual.

En primer lugar, se evaluó si las diferencias en los tiempos de parada entre la situación actual y cada escenario seguían una distribución normal. Sin embargo, dado que la muestra está compuesta por solo 21 observaciones por escenario (correspondientes a cada una de las rutas), no es posible asumir normalidad, ya que el tamaño muestral es pequeño (inferior a 30).

Figura 4.4 Ahorros en tiempo de parada por línea - Alimentador



En la Figura 4.4 se confirma que ninguna de las tres diferencias pareadas se ajusta a una distribución normal. Por lo tanto, se optó por emplear la prueba de hipótesis Wilcoxon, la cual es una prueba de hipótesis para comparar datos pareados que no toma como supuesto la normalidad de las diferencias pareadas. Las pruebas de hipótesis realizadas siguen la siguiente forma, donde  $i$  corresponde al número del escenario, y el nivel de significancia es 0.05:

$H_0$ : La diferencia de medianas de la situación actual contra el escenario  $i$  es cero

$H_1$ : La diferencia de medianas de la situación actual contra el escenario  $i$  es positiva

El p-value de las tres pruebas hipótesis, de la situación actual contra cada uno de los escenarios, fue de  $2.384 \cdot 10^{-7}$ . En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que hay evidencia en que los tiempos en la situación actual es significativamente mayor a cada uno de los escenarios.

Dado que todos los escenarios presentan mejoras estadísticamente significativas en comparación con la situación actual, se comparó el escenario 1 contra los otros dos escenarios para determinar cuál presenta la mayor reducción en los tiempos de parada. Las pruebas de hipótesis realizadas siguen la siguiente forma, donde  $i$  corresponde al número de escenario (2 o 3), y el nivel de significancia es 0.05:

$H_0$ : La diferencia de medianas del escenario 1 contra el escenario  $i$  es cero

$H_1$ : La diferencia de medianas del escenario 1 contra el escenario  $i$  es negativa

Los resultados mostraron que el p-valor obtenido en ambas comparaciones fue de  $2.384 \cdot 10^{-7}$ , lo que permite rechazar la hipótesis nula. Se concluye, por tanto, que los tiempos de parada en el Escenario 1 son significativamente menores que en los Escenarios 2 y 3.

Con base en estos hallazgos, se selecciona el Escenario 1 como la mejor opción para la propuesta de mejora, ya que ofrece la mayor reducción en los tiempos de parada tanto en comparación con la situación actual como con los demás escenarios evaluados.

#### **4.6 Estimación de la mejora en la velocidad promedio**

Tras la selección del escenario más adecuado para la propuesta de mejora, resulta fundamental estimar el impacto en las velocidades promedio de las rutas como consecuencia de la optimización en los tiempos de ascenso y descenso de pasajeros. Para ello, se empleará un modelo para estimar la velocidad promedio en cada una de las rutas. En particular, se

utilizará el modelo propuesto por Valenzuela y Baeza (1991), el cual considera la frecuencia de parada y el tiempo de parada, integrando los parámetros  $V_0$ ,  $\alpha$  y  $\beta$ , que serán ajustados mediante un proceso de calibración. La formulación de este modelo es la siguiente:

$$V_C = V_0 * e^{-(\alpha * f_s + \beta * t_s)}$$

- $V_c$ : Velocidad promedio (km/h)
- $f_s$ : Frecuencia de detenciones (det/h)
- $t_s$ : Tiempo de parada (s/km)
- $V_0$ : Parámetro de velocidad de recorrido (km/h)
- $\alpha$ : Parámetro de efecto marginal de cada detención
- $\beta$ : Parámetro de efecto del tiempo de parada

El procedimiento para la aplicación del modelo en cada línea se detalla a continuación:

- En primer lugar, se ajusta el modelo a los datos de la situación actual con el objetivo de determinar los valores de los parámetros. Esta calibración se lleva a cabo minimizando el error cuadrático medio, métrica que cuantifica la diferencia entre los valores observados y los estimados por el modelo. La minimización de este error se puede expresar a través de la siguiente formulación de programación no lineal:

- Declaración de variables:  $y_i =$  velocidad en el día  $i$  ( $i=1,2,3\dots n$ )
- Función objetivo: Minimizar  $Z = \frac{1}{n} * \sum_1^n (\hat{y}_i - y_i)^2$
- Restricciones:
  - $\hat{y}_i = V_0 * e^{-(\alpha * f_s + \beta * t_{si})}$  para cada  $i$  ( $i=1,2,3\dots n$ )
  - $\alpha > 0$
  - $\beta > 0$
- Rango de existencias:  $y_1, y_2, \dots, y_n \geq 0$

- Una vez obtenidos los parámetros calibrados, se procede a estimar la nueva velocidad promedio considerando la modificación de los tiempos de parada  $t_s$ .

Para aplicar el procedimiento anterior se hace uso de la base de datos de validaciones del servicio alimentador del mes de noviembre de 2019. Este contiene 30 registros de datos por cada ruta, de los cuales, excluyendo fines de semana y un feriado, se dispone de 20 registros correspondientes a días hábiles, los cuales serán empleados para la aplicación del modelo.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4.5, donde se observa que la mayor mejora en la velocidad promedio se produce durante la franja horaria de la mañana en hora punta. Este comportamiento puede atribuirse a la mayor afluencia de pasajeros en dicha franja, lo que reduce los tiempos de espera en los paraderos. Por el contrario, la menor mejora se registra en la franja horaria de la noche en hora punta.

Tabla 4.5 Estimación de las velocidades promedio

Zona	Ruta	Velocidad Promedio (km/h) - Actual			Velocidad Promedio (km/h) - Escenario 1			Variación Porcentual de la Velocidad		
		Hora Punta en la Mañana	Hora Valle	Hora Punta en la Noche	Hora Punta en la mañana	Hora Valle	Hora Punta en la Noche	Hora Punta en la mañana	Hora Valle	Hora Punta en la Noche
Norte	Payet	13.86	14.32	13.42	14.47	14.72	13.78	4.42%	2.79%	2.66%
	Tahuantinsuyo	14.31	15.46	14.86	14.94	15.88	15.19	4.41%	2.71%	2.20%
	Bertello	16.48	15.45	13.18	17.21	15.85	13.47	4.40%	2.57%	2.20%
	Alisos	17.33	16.71	12.65	18.10	17.17	12.93	4.40%	2.74%	2.23%
	Los Olivos	21.31	23.44	19.53	22.25	24.09	19.93	4.41%	2.79%	2.04%
	Mayolo	17.22	15.06	12.05	17.97	15.45	12.30	4.41%	2.58%	2.09%
	Izaguirre	19.24	14.86	12.58	20.08	15.24	12.91	4.40%	2.56%	2.64%
	Puente Piedra	19.65	20.13	18.36	20.52	20.64	18.77	4.41%	2.56%	2.26%
	La Ensenada	16.22	18.18	14.81	16.93	18.69	15.13	4.42%	2.79%	2.11%
	Trapiche	17.84	26.27	18.29	18.62	27.04	18.74	4.41%	2.93%	2.49%
	Collique	18.87	18.13	16.80	19.70	18.60	17.18	4.39%	2.63%	2.24%
	Tungasuca	19.34	18.00	19.06	20.20	18.49	19.48	4.42%	2.70%	2.22%
	Santo Domingo	21.27	18.49	20.98	22.21	18.98	21.42	4.41%	2.70%	2.09%
	Puno	14.14	14.14	13.30	14.77	14.52	13.59	4.43%	2.62%	2.23%
	Milagro	18.19	17.18	16.28	19.00	17.62	16.65	4.41%	2.54%	2.27%
Belaunde	16.80	16.46	15.83	17.54	16.90	16.37	4.39%	2.64%	3.41%	
Carabaylo	21.13	21.13	18.43	22.06	21.70	18.90	4.41%	2.67%	2.54%	
Sur	Cedros de Villa	12.63	12.63	12.63	13.21	13.19	12.90	4.57%	4.39%	2.16%
	Villa El Salvador	18.06	18.86	19.28	18.89	19.66	19.72	4.56%	4.24%	2.29%
	América	14.78	15.38	14.49	15.45	15.97	15.04	4.56%	3.87%	3.81%
	Los Próceres	11.68	11.47	11.68	12.21	11.94	12.02	4.58%	4.08%	2.95%

De manera específica, la comparación entre el escenario actual y el escenario 1 propuesto muestra que la mejora promedio en las horas punta de la mañana alcanza aproximadamente un 4.44%. En el caso de las horas valle, la mejora es del 2.96%, mientras que en las horas punta de la noche se observa el menor incremento, con un aumento del 2.43% en la velocidad promedio.

Con esto concluye este capítulo de la propuesta de mejora en el que se confirma que con su aplicación se consiguen reducir los tiempos de parada en los paraderos, lo que conlleva un incremento en las velocidades promedio de las rutas. La mayor eficiencia se observa en las horas punta de la mañana, donde la optimización tiene un mayor impacto. En el siguiente capítulo, se continuará con la evaluación económica de la propuesta, con el fin de determinar su viabilidad financiera en un horizonte temporal de tres años desde su implementación.

## Capítulo 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este capítulo se lleva a cabo una evaluación económica de la propuesta de mejora en comparación con la situación actual. Para ello, se analizan los costos y beneficios asociados, así como la inversión requerida para su implementación. Además, se calcula el valor presente neto esperado y se estima la rentabilidad de la inversión.

### 5.1 Análisis de resultados

En la Tabla 5.1 se presentan las mejoras obtenidas en las distintas rutas con la propuesta.

Tabla 5.1 Mejoras obtenidas con el escenario propuesto

Zona	Ruta	Mejora
Norte	Payet	3 vueltas adicionales por día.
	Tahuantinsuyo	4 vueltas adicionales por día.
	Bertello	Se ganan 11 medias vueltas por día o, en su defecto, se ahorran 31 minutos de recorrido por bus.
	Alisos	7 vueltas adicionales por día.
	Los Olivos	5 vueltas adicionales por día.
	Mayolo	Se ganan 13 medias vueltas por día o, en su defecto, se ahorran 31 minutos de recorrido por bus.
	Izaguirre	5 vueltas adicionales por día.
	Puente Piedra	Se ganan 11 medias vueltas por día o, en su defecto, se ahorran 30 minutos de recorrido por bus.
	La Ensenada	Se ganan 7 medias vueltas por día o, en su defecto, se ahorran 32 minutos de recorrido por bus.
	Trapiche	Se ganan 4 medias vueltas por día o, en su defecto, se ahorran 33 minutos de recorrido por bus.
	Collique	Se ganan 6 medias vueltas por día o, en su defecto, se ahorran 31 minutos de recorrido por bus.
	Tungasuca	Se ganan 8 medias vueltas por día o, en su defecto, se ahorran 31 minutos de recorrido por bus.
	Santo Domingo	Se ganan 8 medias vueltas por día o, en su defecto, se ahorran 31 minutos de recorrido por bus.
	Puno	Se ganan 4 medias vueltas por día o, en su defecto, se ahorran 31 minutos de recorrido por bus.
	Milagro	Se ganan 6 medias vueltas por día o, en su defecto, se ahorran 30 minutos de recorrido por bus.
	Belaunde	Se ganan 4 medias vueltas por día o, en su defecto, se ahorran 34 minutos de recorrido por bus.
Carabayllo	Se ganan 10 medias vueltas por día o, en su defecto, se ahorran 32 minutos de recorrido por bus.	
Sur	Cedros de Villa	5 vueltas adicionales por día.
	Villa El Salvador	Se ganan 16 medias vueltas por día o, en su defecto, se ahorran 42 minutos de recorrido por bus.
	América	4 vueltas adicionales por día.
	Los Próceres	5 vueltas adicionales por día.

A partir de estos resultados, se han evaluado alternativas para la reorganización operativa de las rutas, considerando la posibilidad de realizar medias vueltas adicionales o reducir el horario de recorrido. No obstante, dado que los buses deben retornar a las estaciones terminales, la opción de medias vueltas no es viable, ya que se requiere completar los recorridos. Por esta

razón, se optó por una estrategia combinada que consiste en reducir el horario de operación en ciertas rutas e incrementar la cantidad de vueltas en otras.

Tabla 5.2 Indicadores de resultados

Indicador	Situación actual	Situación Propuesta	Variación
Pasajeros atendidos	63441900	63824900	0.60%
Horarios	5 a.m - 11 p.m	5 a.m - 10:30 a.m.	-2.78%
Vueltas	849996	859572	1.13%

La Tabla 5.2 muestra indicadores anuales que comparan el escenario actual con la propuesta de mejora. A partir de estos datos, se puede concluir lo siguiente:

- La implementación de la mejora permitiría atender un 0.6% más de pasajeros en comparación con la situación actual, lo que equivale a un incremento de aproximadamente 383,000 pasajeros anuales, es decir, más de 1,000 pasajeros adicionales por día.
- Se podría reducir el horario de operación en 13 rutas, disminuyéndolo en 30 minutos por día, sin afectar negativamente la cantidad de pasajeros atendidos. Esto representaría una reducción del 2.78% en el tiempo total disponible.
- En las 8 rutas restantes, se mantendría el horario actual, pero se incrementaría la cantidad de vueltas en un 1.13%.
- La flota operativa necesaria se mantendría en 222 buses, la misma cantidad utilizada en la actualidad. Sin embargo, considerando el 5% de flota de reserva exigido por reglamento, se podrían destinar hasta 9 buses adicionales en caso de que la demanda aumente debido a la implementación de la propuesta.

## 5.2 Ingresos

Como resultado de la mejora propuesta, se incrementa la cantidad de vueltas disponibles. Bajo el supuesto de que existirán pasajeros que utilizarán estas vueltas adicionales, también se espera un aumento en la cantidad de pasajeros atendidos.

Para estimar el incremento en los ingresos por este aumento en la demanda, se asume que la proporción de pasajeros que pagan tarifa completa respecto a aquellos que pagan medio pasaje es de 3 a 2, lo que da como resultado un precio de pasaje ponderado de S/. 0.8.

Adicionalmente, la propuesta genera una reducción de costos operativos, ya que en 13 rutas se reduce el horario de recorrido en 30 minutos, lo que conlleva una disminución en el pago total a los conductores.

En la Tabla 5.3 se presentan los ingresos adicionales anuales estimados derivados de estas modificaciones.

Tabla 5.3 Ingresos de la propuesta de mejora

Ingreso	Anual
Ingreso por incremento de pasajeros atendidos (de 5286000 a 5880000)	S/306,400
Ingreso por reducción de costos	S/18,000

### 5.3 Inversión y costos

La implementación del modelo propuesto requiere una inversión inicial enfocada principalmente en la instalación de validadores en la entrada de la terminal Naranjal y la incorporación de un validador adicional en la puerta trasera de todos los buses alimentadores. Específicamente, se plantea la instalación de 12 validadores con torniquete en la terminal Naranjal, distribuidos equitativamente con seis en cada extremo. Además, se considera la contratación de la mano de obra necesaria para llevar a cabo las modificaciones

En cuanto a los costos operativos, estos estarán asociados a la ejecución de vueltas adicionales, incluyendo gastos en combustible, aceite de motor, neumáticos y consumo eléctrico. La inversión requerida se detalla en la Tabla 5.4, mientras que en la Tabla 5.5 se presentan los costos operativos estimados.

Tabla 5.4 Inversión de la propuesta de mejora

Inversión	Precio unitario	Cantidad	Total
Validadores en estación Naranjal	S/2,500	12	S/30,000
Validadores en buses	S/1,600	244	S/390,400
Mano de obra	S/1,500	40	S/60,000

Tabla 5.5 Costos de la propuesta de mejora

Costo	Anual
Combustible GNV	S/28,600
Aceite motor	S/3,600
Neumáticos	S/6,000
Electricidad	S/8,000

### 5.4 Flujo de Caja

El flujo de caja se elabora considerando un horizonte temporal de tres años. Para financiar el proyecto, se propone una combinación de capital propio y deuda en una proporción de 1:1.

El financiamiento mediante deuda se estructurará a través de un préstamo bancario en

moneda nacional, bajo las siguientes condiciones: una tasa de interés efectiva anual del 15%, un plazo de tres años, cuotas constantes y una comisión del 5%.

En la Tabla 5.6 se presenta la estructura de capital, mientras que la Tabla 5.7 detalla los valores utilizados para la proyección del flujo de caja y la evaluación financiera del proyecto.

Tabla 5.6 Estructura de capital de la propuesta de mejora

ESTRUCTURA DE CAPITAL	Importe bruto	Importe neto
Crédito (D)	240,200	228,190
Aporte propio (C)	240,200	252,210
Inversión total	480,400	480,400

Tabla 5.7 Valores usados para la evaluación financiera

Impuesto a la renta (T)	30%	
Tasa de interés efectiva anual	15%	
Beta ( $\beta$ )	0.72	Fuente: Damodaran
D/C	1	
Riesgo país ( $R_p$ )	1.54%	Fuente: BCRP
Tasa libre de riesgo ( $R_f$ )	3.90%	Fuente: BCRP
Prima de riesgo ( $R_m - R_f$ )	8.43%	Fuente: Damodaran

En la Tabla 5.8 se muestra el flujo de caja de la propuesta de mejora:

Tabla 5.8 Flujo de caja de la propuesta de mejora

FLUJO DE CAJA				
	2022	2023	2024	2025
<b>INGRESOS</b>				
(+) Ingresos por ventas		306,400	306,400	306,400
(+) Otros ingresos		18,000	18,000	18,000
<b>TOTAL INGRESOS</b>		<b>324,400</b>	<b>324,400</b>	<b>324,400</b>
<b>INVERSION</b>				
<b>(-) Costos de inversión</b>				
Validadores en estación	-25,424			
Validadores en buses	-330,847			
Mano de obra	-50,847			
<b>TOTAL INVERSION</b>	<b>-407,119</b>			
<b>EGRESOS</b>				
<b>(-) Costos operativos</b>				
Combustible GNV		-28,600	-28,600	-28,600
Aceite motor		-3,600	-3,600	-3,600
Neumáticos		-6,000	-6,000	-6,000
Electricidad		-8,000	-8,000	-8,000
<b>(-) IGV</b>				
IGV		-39,692	-39,692	-39,692
Crédito IGV inversión	-73,281	39,692	33,590	0
<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>-73,281</b>	<b>-46,200</b>	<b>-52,302</b>	<b>-85,892</b>
<b>(-) Impuesto a la renta</b>		<b>-25,116</b>	<b>-28,229</b>	<b>-31,809</b>
<b>FLUJO DE CAJA ECONÓMICO</b>	<b>-480,400</b>	<b>253,084</b>	<b>243,869</b>	<b>206,700</b>
<b>FINANCIAMIENTO</b>				
<b>(-) Préstamo</b>				
	228,190			
<b>(-) Amortización</b>				
		-69,172	-79,548	-91,480
<b>(-) Interés</b>				
		-36,030	-25,654	-13,722
<b>(+) Escudo tributario</b>				
		10,809	7,696	4,117
<b>FLUJO DE CAJA FINANCIERO</b>	<b>-252,210</b>	<b>158,691</b>	<b>146,363</b>	<b>105,614</b>

El costo de oportunidad de la empresa se determina mediante el modelo de valoración de activos de capital (CAPM). A continuación, se presentan las fórmulas utilizadas para el cálculo del costo promedio ponderado de capital (WACC) y el costo de oportunidad del capital (COK), que son usados para evaluar el flujo de caja económico y el flujo de caja financiero, respectivamente.

$$COK = Rf + \beta * (Rm - Rf) + Rp$$

$$WACC = \frac{D}{D + C} * K_d * (1 - T) + \frac{C}{D + C} * COK$$

La Tabla 5.9 presenta los indicadores de la evaluación de la propuesta de mejora. Los resultados muestran que el Valor Actual Neto (VAN), tanto en términos económicos como financieros, es positivo. Asimismo, la Tasa Interna de Retorno (TIR) financiera alcanza un 31.4%, superando significativamente el costo de oportunidad de la empresa, estimado en 11.5%. Esto permite concluir que el proyecto es financieramente viable.

Tabla 5.9 Indicadores de la evaluación de la propuesta de mejora

Indicador	Valor
COK	11.5%
TIRE	22.7%
TIRF	31.4%
VANE	S/96,623
VANF	S/83,980

Los hallazgos de esta evaluación confirman que la propuesta de mejora, además de generar incrementos en las velocidades promedio de las rutas y reducir los tiempos de parada en los paraderos, también es sostenible desde el punto de vista financiero. Por lo tanto, se ratifica la viabilidad y conveniencia de su implementación como una alternativa rentable para optimizar la calidad del servicio alimentador percibido por los pasajeros. Además, esta iniciativa representa un incremento en la rentabilidad del servicio a largo plazo, lo que refuerza la pertinencia de su aplicación para mejorar la situación actual. En el siguiente capítulo, se presentan las principales conclusiones y recomendaciones derivadas de este estudio.

## Capítulo 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las principales conclusiones y recomendaciones derivadas del diagnóstico y mejora de procesos en la empresa en estudio.

### 6.1 Conclusiones

- Actualmente, el transporte público en Lima enfrenta serios desafíos debido al crecimiento poblacional y la consecuente congestión vehicular. En este contexto, las empresas del sector deben optimizar sus procesos para mejorar su competitividad. El análisis realizado en el Capítulo 2 permitió identificar diferencias significativas en la demanda entre los servicios troncales y alimentadores. Mientras que el servicio troncal, que opera con vías exclusivas y buses de mayor capacidad, presenta una demanda creciente del 2% anual, el servicio alimentador experimenta una tendencia decreciente del 0.1%. No obstante, al segmentar por zonas, se observa que la zona norte presenta una reducción del 1% anual, mientras que la zona sur registra un incremento del 3% anual.
- Con base en el diagnóstico efectuado, se ha determinado que la empresa enfrenta problemas de rentabilidad en el servicio alimentador. Mientras que el servicio troncal genera un margen de contribución operativo de S/. 1.49 por pasajero, el servicio alimentador opera con un margen negativo de S/. 0.76 por pasajero, lo que lo hace financieramente insostenible. Esto se debe a dos factores principales: primero, la demanda real en ambos servicios es inferior a la estimada inicialmente, lo que ha incrementado el costo por pasajero; segundo, aunque el precio del pasaje troncal se ha incrementado (de S/. 1.50 a S/. 2.50), el pasaje del servicio alimentador no ha sufrido modificaciones. Como resultado, el servicio troncal ha logrado mantener su rentabilidad operativa, mientras que el servicio alimentador sigue siendo deficitario debido a la baja demanda y la falta de ajuste tarifario. Se estima que, debido a estos factores, el margen de contribución del servicio alimentador ha disminuido en un 345% respecto a lo proyectado.
- Además, la empresa enfrenta problemas de satisfacción del cliente en ambos servicios. Mediante el principio de Pareto, se identificó que el 80% de los reclamos de los pasajeros están relacionados con tres aspectos principales: (1) buses que no se detienen en los paraderos establecidos, (2) retrasos en la llegada de los buses y (3) buses articulados con sobrecarga de pasajeros. Además, se detecta la necesidad de homogenizar las velocidades en las líneas regulares del servicio troncal, dando prioridad a las líneas A y D, que presentan las velocidades

más bajas dentro del sistema. En el servicio alimentador, la zona norte presenta cuatro rutas críticas con las menores velocidades tanto en horas punta como en horas valle: Payet, Tahuantinsuyo, Bertello y Puno. En la zona sur, solo la ruta de Villa El Salvador supera la media de velocidad, mientras que las rutas Cedros de Villa, Américas y Próceres presentan valores bajos en ambos horarios. Por ello, se debe estandarizar y optimizar la operación del servicio alimentador para mejorar su eficiencia.

- La empresa emplea el indicador Pasajeros por Kilómetro (IPK) como métrica principal para medir la rentabilidad diaria de sus servicios. Sin embargo, este indicador, por sí solo, no garantiza un control preciso del desempeño. Si bien un mayor IPK refleja un aumento en la cantidad de ascensos y descensos de pasajeros por kilómetro, lo que sugiere mayores ingresos, su interpretación puede ser incorrecta en ciertos escenarios. Por ejemplo, si tanto el número de pasajeros como los kilómetros recorridos disminuyen proporcionalmente junto con una reducción en el cumplimiento del servicio, el IPK podría mantenerse estable o disminuir levemente sin reflejar la verdadera caída en el desempeño operativo. Por ello, se debe complementar con otros indicadores que brinden una evaluación más integral del servicio.
- De acuerdo con la matriz de priorización de solución de problemas, se determinó que la acción más importante consiste en modificar los procesos de subida y bajada de pasajeros en los buses alimentadores. Se decidió optimizar los tiempos de parada, ya que, de los tres principales componentes que influyen en la velocidad, este tiene un impacto directo en el tiempo de servicio al pasajero. Con esta medida, se busca reducir los tiempos de parada, incrementar la velocidad promedio de las rutas del servicio alimentador y, como resultado, disminuir los retrasos, optimizar el uso de los activos fijos y mejorar la rentabilidad del servicio.
- Para desarrollar la propuesta de mejora, se analizaron las formas de pago y los procesos de subida y bajada de pasajeros en el servicio alimentador. En este análisis, se recopilieron muestras aleatorias de los tiempos de subida y bajada en los servicios alimentadores norte y sur, lo que permitió estimar sus promedios. Los resultados mostraron que el tiempo de subida promedio en la terminal Matellini es significativamente menor que en la terminal Naranjal: 2.5 segundos por pasajero frente a 5.9 segundos. Esta diferencia se debe a que, en Matellini, el pago se realiza al ingresar a la estación y no dentro del bus. Además, los pasajeros ingresan por la puerta trasera sin torniquete, en contraste con la puerta delantera de Naranjal, que sí cuenta con este dispositivo debido al cobro a bordo.
- Se evaluaron tres escenarios de mejora, todos ellos proponiendo la eliminación de los torniquetes en los buses y el pago del pasaje al ingresar a las terminales. Estos escenarios fueron

modelados para calcular los ahorros en los tiempos de parada de las rutas del servicio alimentador. Los resultados mostraron que el mayor ahorro se obtuvo en el escenario 1, que contempla el ingreso y salida de pasajeros por ambas puertas, lo que permite reducir entre un 2.39% y un 3.54% del tiempo total disponible por ruta. Asimismo, se estimaron los incrementos en la velocidad promedio de las rutas, obteniendo mejoras de 4.44% en promedio durante las horas punta de la mañana, 2.96% en las horas valle y 2.43% en las horas punta de la noche.

- La implementación de esta propuesta de mejora conlleva un incremento anual del 0.6% en el número de pasajeros atendidos, lo que equivale a 383 mil pasajeros adicionales al año, es decir, más de 1,000 pasajeros adicionales por día. Además, en 8 rutas se logra aumentar en un 1.13% la cantidad de vueltas realizadas, mientras que en las 13 rutas restantes se reduce el tiempo total de recorrido en 30 minutos sin afectar la cantidad de pasajeros transportados. Como resultado, se obtiene un aumento en los ingresos debido al incremento de pasajeros, junto con una reducción de costos operativos derivada de la optimización del tiempo de recorrido en 13 rutas.
- La evaluación del proyecto concluye que la inversión requerida asciende a S/. 480 400, monto que incluye la adquisición de validadores de tarjetas inteligentes para su instalación en todos los buses y en las entradas de la terminal Naranjal. En cuanto a los ingresos, se estima un beneficio anual de S/. 324 400, considerando tanto el aumento en los ingresos por el incremento de pasajeros como la reducción de costos derivados de la optimización de las horas de trabajo de los conductores.
- Finalmente, se concluye que el proyecto es viable financieramente, ya que se presenta un Tasa Interna de Retorno (TIR) financiera de 31.4%, superior al costo de oportunidad de la empresa del 11.5%. Además, el Valor Actual Neto (VAN) financiero asciende a S/. 83 980.

## **6.2 Recomendaciones**

- La propuesta de mejora de esta tesis se centra en la reducción de los tiempos de parada en las rutas alimentadoras. Para continuar con la optimización del servicio alimentador, se recomienda explorar alternativas como el rediseño de las rutas de recorrido. Esto permite identificar ubicaciones óptimas para los paraderos y definir rutas más eficientes en función de la densidad poblacional. De este modo, se puede atender a un mayor número de pasajeros, optimizar el uso de los recursos y mejorar la rentabilidad del servicio.
- En la matriz de priorización de soluciones propuestas, se identificó que la empresa utiliza únicamente el indicador IPK para evaluar el desempeño de sus servicios. Sin embargo, para llevar un control más preciso del rendimiento, es necesario complementarlo con otros

indicadores. Por ello, se recomienda incorporar métricas adicionales, como el IPV (que mide los gastos administrativos y parte de los costos fijos de los servicios), el IKV (que evalúa el aprovechamiento o utilización de la flota) y el índice de cumplimiento (que permite determinar la necesidad de incrementar la flota y medir el desempeño de cada ruta).

- El diagnóstico de la empresa revela que uno de los principales factores que afectan la rentabilidad del servicio alimentador es su bajo precio. A diferencia del servicio troncal, cuyo precio fue incrementado en un 67% respecto a lo inicialmente planificado, el servicio alimentador ha mantenido su tarifa sin cambios. Por ello, se recomienda realizar un análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de un aumento en el precio sobre la demanda de usuarios. Con base en estos resultados, se podría considerar un ajuste en la tarifa, lo que podría implicar una menor cantidad de pasajeros atendidos, pero con la ventaja de mejorar la rentabilidad del servicio.

- Se recomienda realizar un análisis de rentabilidad individual para cada ruta del servicio alimentador con el fin de identificar aquellas que generan mayores problemas y proponer alternativas de mejora. Entre las opciones a considerar están ajustar las tarifas de pasaje por ruta para cubrir los costos por pasajero, evaluando su impacto en la demanda y en la rentabilidad total; eliminar las rutas menos rentables e incrementar la tarifa en las restantes, priorizando aquellas de mayor beneficio económico para la empresa; o, en un escenario más drástico, si las opciones anteriores no logran hacer rentable el servicio alimentador, evaluar su eliminación y operar únicamente el servicio troncal, considerando el impacto en la demanda, dado que el servicio alimentador facilita el acceso a las terminales. Si se determina que la eliminación del servicio alimentador afecta negativamente la rentabilidad total de la empresa, se justificaría su mantenimiento pese a su baja rentabilidad individual, en función de su contribución a la rentabilidad global.

- Otra consideración a evaluar en el servicio alimentador es la presencia de un 9% de flota no productiva debido a una demanda de pasajeros menor a la estimada inicialmente. Para reducir los costos asociados a estos activos no utilizados, se pueden generar ingresos mediante su venta o, preferiblemente, su alquiler, ya que, con la implementación de las mejoras propuestas en esta tesis, la demanda podría incrementarse, permitiendo así un uso parcial o total de estos buses en el futuro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, David, SWEENEY, Dennis, WILLIAMS, Thomas, CAMM, Jeffrey y MARTIN Kipp  
2011 Métodos cuantitativos para los negocios.  
México D.F.: Cengage Learning.
- ACUÑA, Valentina  
2018 Análisis de la individualización de rutas compartidas en el componente zonal SITP de la ciudad de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería.
- ALONSO, Gustavo  
2008 “Marketing de Servicios: Reinterpretando la Cadena de Valor”.  
Palermo Business Review. Buenos Aires, 2008, No. 2, pp. 83 - 69
- ANDRADE, Simón  
2006 Diccionario de economía.  
Lima: Editorial Andrade.
- BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ  
2020 Resumen Informativo Semanal.  
<https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Nota-Semanal/2020/resumen-informativo-2020-11-26.pdf>
- BARRANTES, Walter  
2015 Implementación de un algoritmo recocido simulado para el diseño de rutas de transporte público para Lima centro. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- BERBEYA, A. y otros  
2014 “Un algoritmo de replanificación en tiempo real basado en un índice de estabilidad de Lyapunov para líneas de metro”. Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial. Valencia, 2014, Vol. 11, No. 2, pp. 167-178.
- CÓRDOVA, Manuel  
2003 Estadística descriptiva e inferencial: aplicaciones.  
Lima: Editorial Moshera.
- DAMODARAN  
2020 Betas by Sector.  
[http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New\\_Home\\_Page/datafile/Betas.html](http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html)
- DAVISON, Anthony y HINKLEY, David  
2013 Bootstrap Methods and Their Application.  
New York: Cambridge University Press

- GUTIÉRREZ, Humberto y DE LA VARA, Román  
2009 Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma.  
México D.F.: Mcgraw-hill/interamericana editors.
- HEERINGA, Steven y otros  
2017 Applied Survey Data Analysis.  
Londres: Chapman and Hall/CRC.
- HILLIER, Frederick y LIEBERMAN, Gerald  
2010 Introducción a la Investigación de operaciones.  
México D.F.: Mcgraw-hill/interamericana editors.
- JOHNSON, Richard  
2012 Probabilidad y estadística para ingenieros.  
México D.F.: Pearson Education.
- KRAJEWSKI, Lee y Ritzman, Larry  
2008 Administración de operaciones: Procesos y cadenas de suministro.  
México D.F.: Editorial Pearson.
- LEVINE, David, Krehbiel, Timothy y Berenson, Mark  
2012 Estadística Descriptiva.  
México D.F.: Editorial Pearson.
- LAVANDERA, Víctor  
2018 Análisis y propuesta de mejora de procesos en la ruta de una línea de transporte urbano usando simulación discreta. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- MARTÍNEZ, Ciro  
2012 Estadística y muestreo.  
Nueva York: Springer.
- MONTGOMERY, Douglas  
2010 Control estadístico de la calidad.  
México D.F.: LIMUSA Wiley.
- MORENO, Refugio  
2016 Gestión de la operación de transporte urbano de ruta fija mediante indicadores de efectividad y rentabilidad en la ciudad de León Guanajuato. México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería.
- PÉREZ, César  
2022 Técnicas de muestreo estadístico.  
Madrid: Garceta.
- PORTER, Michael  
1986 Ventaja competitiva.  
México D.F.: Editorial C.E.C.S.A.

- PROTRANSPORTE  
2001 Anexo 01 Acerca del Metropolitano. Lima.  
<http://www.protransporte.gob.pe/pdf/biblioteca/creatividad-empresarial/anexo-01-el-metropolitano.pdf>
- PROTRANSPORTE  
2009 Anexo N°13 Contrato de Concesión de la unidad de Recaudo. Lima.  
<http://www.protransporte.gob.pe/wp-content/uploads/2019/02/Contrato-de-Concesi%C3%B3n.pdf>
- PROTRANSPORTE  
2013 Memorándum informativo. Lima.  
[http://www.protransporte.gob.pe/pdf/Memorandum\\_Informativo.pdf](http://www.protransporte.gob.pe/pdf/Memorandum_Informativo.pdf)
- PROTRANSPORTE  
2016 Reglamento de organización y funciones del Instituto Metropolitano PROTRANSPORTE de Lima. Lima.  
[http://www.protransporte.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/ROF\\_2016.pdf](http://www.protransporte.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/ROF_2016.pdf)
- SIEBERT, Carl y SIEBERT, Darcy  
2018 Data Analysis with Small Samples and Non-Normal Data: Nonparametrics and Other Strategies  
Nueva York: Oxford University Press
- TAGUE, Nancy  
2005 The quality toolbox.  
Nueva York: ASQ Quality Press.
- TAHA, Hamdy  
2012 Investigación de operaciones.  
México D.F.: Editorial Pearson.
- THODE, Henry  
2002 Testing for normality.  
Nueva York: Marcel Dekker.
- Transit Cooperative Research Program (TCRP)  
2013 Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2nd Edition.  
Washington, D.C. Consulta: 20 de noviembre de 2020.  
<http://www.trb.org/Main/Blurbs/169437.aspx>
- RAMÍREZ, Gabriela  
2016 Análisis de la demanda de la Línea B del Metro utilizando optimización y simulación. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería.
- RUPPERT, David y MATTESON, David  
2015 Statistics and Data Analysis for Financial Engineering: With R Examples.  
Nueva York: Springer.

- STEPHENS, M.  
1974 "EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons". Journal of the American Statistical Association. Virginia, 1974, Vol. 69, No. 347, pp. 730-737.
- SELVAMUTHU, Dharmaraja y DAS, Dipayan  
2018 Introduction to Statistical Methods, Design of Experiments and Statistical Quality Control.  
Nueva York: Springer.
- WINSTON, Wayne  
2005 Investigación de operaciones, aplicaciones y algoritmos.  
México D.F.: International Thompson editors.
- VALENZUELA, Eduardo y BAEZA, Irene  
1991 Influencia del diseño de bus, paradero y modalidad de operación sobre la duración de las detenciones de buses.  
Actas del V Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte.  
Santiago de Chile.

