Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Matemáticas
Escuela Profesional de Investigación Operativa

Optimización de buses para ampliar la cobertura de usuarios en la ruta JC Bus (El Rápido)

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa

AUTOR

Gianmarco Abrahan SALDAÑA ANSELMO

ASESOR

Mg. Rosario Victoria LOCK DE LA CRUZ

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Saldaña, G. (2025). *Optimización de buses para ampliar la cobertura de usuarios en la ruta JC Bus (El Rápido)*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Profesional de Investigación Operativa]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Gianmarco Abrahan Saldaña Anselmo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	48298658
URL de ORCID	-
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Rosario Victoria Lock de la Cruz
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08670498
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-0407-0095
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Carmela Catalina Velázquez Pino
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09078631
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Mónica Ivonne Zavala Soto
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41607378
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.3.3.1 Optimización Matemática

Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Coordenadas geográficas Latitud: -12.058333 Longitud: -77.083333
Año o rango de años en que se realizó la investigación	JULIO 2025
URL de disciplinas OCDE	Matemáticas aplicadas https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO(A) EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA (PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2025)

En la UNMSM – Ciudad Universitaria – Facultad de Ciencias Matemáticas, siendo las 21:00 horas del miércoles 11 de junio del 2025, se reunieron los docentes designados como Miembros del Jurado Evaluador (PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2025): Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino (PRESIDENTA), Mg. Mónica Ivonne Zavala Soto (MIEMBRO) y la Mg. Rosario Victoria Lock De La Cruz (MIEMBRO ASESOR), para la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional titulada: "**OPTIMIZACIÓN DE BUSES PARA AMPLIAR LA COBERTURA DE USUARIOS EN LA RUTA JC BUS (EL RÁPIDO)**", presentado por el señor **Bachiller GIANMARCO ABRAHAN SALDAÑA ANSELMO**, para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Luego de la exposición del Trabajo de Suficiencia Profesional, la Presidenta invitó al expositor a dar respuesta a las preguntas formuladas.

Realizada la evaluación correspondiente por los Miembros del Jurado Evaluador, el expositor mereció la aprobación ..Sobresaliente...., con un calificativo promedio de ..18.....

A continuación, los Miembros del Jurado Evaluador dan manifiesto que el participante **Bachiller GIANMARCO ABRAHAN SALDAÑA ANSELMO**, en vista de haber aprobado la sustentación de su Trabajo de Suficiencia Profesional, será propuesto para que se le otorgue el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Siendo las 21:30 horas se levantó la sesión firmando para constancia la presente Acta.

Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino
PRESIDENTA

Mg. Mónica Ivonne Zavala Soto
MIEMBRO

Mg. Rosario Victoria Lock De La Cruz
MIEMBRO ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA

TABLA DE CALIFICACIONES

APROBADO	Regular	: 13, 14
	Bueno	: 15, 16
	Sobresaliente	: 17, 18
	Sobresaliente Con mención	: 19, 20
DESAPROBADO	de	: 0 a 12

Carmela C. Velásquez P.

Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino
PRESIDENTA

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA

TABLA DE CALIFICACIONES

APROBADO	**Regular**	**: 13, 14**
	Bueno	**: 15, 16**
	Sobresaliente	**: 17, 18**
	Sobresaliente Con mención	**: 19, 20**
DESAPROBADO	**de**	**: 0 a 12**

Mg. Mónica Ivonne Zavala Soto
MIEMBRO

TABLA DE CALIFICACIONES

APROBADO	Regular	: 13, 14
	Bueno	: 15, 16
	Sobresaliente	: 17, 18
	Sobresaliente Con mención	: 19, 20
DESAPROBADO	de	: 0 a 12

Mg. Rosario Victoria Lock De La Cruz
MIEMBRO ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Mg. ROSARIO VICTORIA LOCK DE LA CRUZ en mi condición de asesor acreditado con Dictamen N" 000011-2025-EPIO-FCM/UNMSM del trabajo de suficiencia profesional, cuyo título es: "OPTIMIZACIÓN DE BUSES PARA AMPLIAR LA COBERTURA DE USUARIOS EN LA RUTA JC BUS (EL RÁPIDO)", presentado por el bachiller SALDAÑA ANSELMO GIANMARCO ABRAHAN para optar el título profesional de Licenciado en Investigación Operativa, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 12% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título profesional de Licenciado en investigación Operativa.

Lima, *30* de septiembre de 2025.

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: Mg. Rosario Victoria Lock de la Cruz

DNI: 08670498

DEDICATORIA

Con profundo amor y gratitud, dedico este trabajo a las personas quienes han sido mi apoyo, mi inspiración y mi mayor motivo para seguir adelante.

A mi querida madre, por su amor incondicional, su sacrificio y por ser mi pilar más fuerte. Gracias por ser la fuente de mi inspiración y por enseñarme el valor de la perseverancia.

A mi tía Lidia, quien con su apoyo inquebrantable y sus consejos sabios ha sido un faro en momentos de incertidumbre, alentándome siempre a dar lo mejor de mí.

A mis hermanas, compañeras de vida, por su cariño, paciencia y por recordarme que la unión familiar es la mayor fortaleza que uno puede tener.

Y a mi pareja, por su amor, comprensión, apoyo constante y aliento en cada paso de este camino, convirtiendo los días difíciles en oportunidades para crecer y seguir adelante.

Este logro no es solo mío, sino de todos ustedes, que han creído en mí incluso cuando yo dudaba.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional. Por ser mi guía en los momentos de dificultad y mi inspiración en cada logro alcanzado.

Agradezco profundamente a la **UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS** institución que me brindó no solo los conocimientos académicos necesarios, sino también los valores y principios que guiaron mi crecimiento personal y profesional. Mi reconocimiento especial a los docentes de la Facultad de **INVESTIGACION OPERATIVA** por su dedicación, paciencia y compromiso en cada etapa de mi aprendizaje.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la culminación de este trabajo, motivándome a seguir adelante y demostrando que el esfuerzo y la perseverancia siempre dan frutos.

RESUMEN

"OPTIMIZACIÓN DE BUSES PARA AMPLIAR LA COBERTURA DE USUARIOS EN LA RUTA JC BUS (EL RÁPIDO)"

Saldaña Anselmo Gianmarco Abrahan

Julio 2025

Título obtenido: Licenciado en Investigación Operativa

La presente investigación tiene como objetivo optimizar la distribución de buses de la empresa JC BUS (El Rápido) en su ruta principal, con el fin de **ampliar la cobertura de usuarios** en Lima Norte. Ante el crecimiento poblacional y la demanda creciente de transporte urbano, se identificó que la actual asignación de flota no responde de forma eficiente a las necesidades por franja horaria, lo que afecta la calidad del servicio y limita el acceso de los usuarios.

El estudio se enmarca en un modelo de **programación lineal**, resuelto mediante el software **LINGO**, el cual permite distribuir la flota existente de manera óptima, considerando variables como la demanda horaria, la frecuencia mínima operativa, la duración de cada franja y la capacidad de los buses. No se utilizaron encuestas; el análisis es técnico y se basa en datos reales proporcionados por la empresa.

Los resultados muestran una mejora significativa en la cobertura de usuarios al redistribuir estratégicamente los buses disponibles, sin necesidad de aumentar la flota total. Además, se logró reducir tiempos de espera y evitar la subutilización de unidades en horarios de baja demanda.

Palabras clave: optimización, programación lineal, transporte urbano, cobertura de usuarios, JC BUS, LINGO

ABSTRACT

“OPTIMIZACIÓN DE BUSES PARA AMPLIAR LA COBERTURA DE USUARIOS EN LA RUTA JC BUS (EL RÁPIDO)”

Saldaña Anselmo Gianmarco Abrahan

July 2025

Degree obtained: Bachelor of Operations Research

This research aims to optimize the distribution of buses operated by the company **JC BUS (El Rápido)** on its main route in Lima Norte, in order to **expand user coverage**. Due to the increasing urban population and high demand for public transportation, the current fleet assignment fails to meet hourly demand efficiently, affecting service quality and limiting user accessibility.

The study is framed a **linear programming model**, solved using **LINGO** software. The model optimizes the allocation of buses based on real operational data, considering hourly demand, minimum frequency, time windows, and vehicle capacity. No surveys were used; the analysis is strictly technical.

Results show a significant improvement in user coverage through strategic reallocation of the existing fleet, without increasing the total number of buses. Additionally, waiting times are reduced, and underutilization during low-demand hours is avoided.

Keywords: optimization, linear programming, urban transport, user coverage, JC BUS, LINGO.

ÍNDICE

DEDICATORIA i
AGRADECIMIENTO ii
RESUMEN iii
ABSTRACT iv

CAPITULO I: INTRODUCCION 3

CAPITULO II: DESPCRICION DE LA ACTIVIDAD 5

DATOS DE LA EMPRESA 5
CONTROL DE FLOTA SATELITAL GPS 5
CONTROL DE FLOTA CON VALIDADOR 6
ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA 7
DESCRIPCION Y FUNCIONES DE LA ACTIVIDAD DEL AREA OPERATIVA 8
GERENTE DE OPERACIÓN 8
JEFE DE OPERACIONES 8
ASISTENTE DE OPERACIONES 10
JEFATURA DE CENTRO DE CONTROL Y DESPACHO 10
TECNICO DE CENTRO DE CONTROL 11
DESPACHO/RECAUDO 12
LUGAR DONDE SE DESARROLLO LA ACTIVIDAD. 13
RUTA JC BUS S.A.C 13
MISION 14
VISION 15
FINALIDAD DE LA EMPRESA 15
RAZÓN SOCIAL 16
PERIODO DE DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD 16
PROBLEMÁTICA 17
PREGUNTA PRINCIPAL 18
PROBLEMAS ESPECÍFICOS 18
FINALIDAD DEL ESTUDIO 18
OBJETIVOS 19
OBJETIVO GENERAL 19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 19
JUSTIFICACIÓN 20

CAPITULO III: MARCO TEORICO 21
ANTECEDENTES NACIONALES 21
ANTECEDENTES INTERNACIONALES 22
BASES TEORICAS 24
TRANSPORTE PÚBLICO URBANO 24
PROCESO DE PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO 24
OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO 28
MODELOS DE ASIGNACIÓN Y COBERTURA 29
ANÁLISIS DE LA DEMANDA HORARIA 29
VARIABLES RELEVANTES EN LA OPTIMIZACIÓN 29
MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN EN TRANSPORTE 30
PROGRAMACIÓN LINEAL 30
PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA (PLE) 32
PROGRAMACIÓN LINEAL EN EL TRANSPORTE 33
HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES DE OPTIMIZACIÓN 35
TRANSPORTE PÚBLICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE 36

CAPITULO IV: METODOLOGÍA 37
TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN 37
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 37
POBLACIÓN Y MUESTRA 37
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 38
TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS 38
PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO 38
DATOS USADOS PARA EL ESTUDIO 39
FORMULACIÓN DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL 45

CAPITULO V: RESULTADOS 49
RESULTADOS GENERADOS POR EL SOFTWARE LINGO. 49
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN 50
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS 52
CAPITULO VI: CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN 53

CONCLUSIÓN 53
RECOMENDACIÓN 54

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 55

CAPITULO I: INTRODUCCION

En las últimas décadas, el crecimiento urbano acelerado de Lima Metropolitana ha puesto a prueba la eficiencia de los sistemas de transporte público. Las zonas periféricas, como Lima Norte, concentran una alta densidad poblacional, lo que ha incrementado exponencialmente la demanda de transporte urbano en franjas horarias específicas. Sin embargo, dicha demanda no siempre es cubierta adecuadamente por las empresas operadoras, generando tiempos de espera excesivos, sobrecarga vehicular y deficiencia en la cobertura del servicio.

En este contexto, la empresa JC BUS (El Rápido), que opera una ruta importante en Lima Norte, enfrenta el reto de mejorar la distribución de su flota para atender a un mayor número de usuarios, utilizando los recursos existentes de forma eficiente. La asignación inadecuada de buses y la falta de herramientas matemáticas para planificar el servicio generan pérdidas operativas y reducen la calidad del transporte.

La presente investigación propone aplicar un modelo de **programación lineal**, resuelto mediante el software **LINGO**, con el objetivo de **optimizar la cantidad de buses asignados por franja horaria**, respetando las restricciones de flota, demanda, frecuencia y capacidad operativa. Este enfoque técnico permite simular escenarios más eficientes, mejorar la cobertura de usuarios y contribuir a la sostenibilidad del sistema de transporte urbano.

La optimización propuesta se basa en datos reales proporcionados por la empresa y se limita a un análisis técnico, sin recurrir a encuestas, lo que garantiza una propuesta objetiva y aplicable.

Finalmente, se espera que los resultados obtenidos sirvan como base para decisiones estratégicas dentro de la empresa, aportando además al desarrollo sostenible del transporte en zonas urbanas vulnerables.

CAPITULO II: DESPCRICION DE LA ACTIVIDAD

DATOS DE LA EMPRESA

La Empresa de Transportes y Servicios El Rápido S.A. es una compañía peruana fundada el 30 de abril de 1993, con sede en Lima, dedicada al transporte urbano de pasajeros. A lo largo de más de tres décadas, ha expandido sus operaciones, ofreciendo actualmente nueve rutas que conectan diversos distritos de la capital.

Comprometida con la innovación y la sostenibilidad, El Rápido S.A. ha incorporado vehículos a gas natural vehicular (GNV) en su flota desde hace aproximadamente una década. En abril de 2024, la empresa adquirió 25 nuevos buses a GNV, financiados en parte por el Bono Camisea, fortaleciendo su apuesta por un transporte más limpio y eficiente.

CONTROL DE FLOTA SATELITAL GPS

Contamos con un sistema que permite la gestión, seguimiento y monitoreo en tiempo real de nuestras unidades. Siendo una herramienta clave para mejorar la eficiencia, seguridad y experiencia del usuario.

Este sistema de monitoreo nos permite:

- ✓ **Seguridad:** Monitoreo en tiempo real, alerta de velocidad, alertas de emergencia.
- ✓ **Optimización de rutas:** Nos permite visualizar el tráfico y así generar desvíos para una mejor fluidez.
- ✓ **Reducción de costos:** Mejora en la logística, menos accidentes, menos robos y mayor eficiencia.

- ✓ **Mejora el servicio al usuario:** Supervisión del cumplimiento de rutas y horarios.

CONTROL DE FLOTA CON VALIDADOR

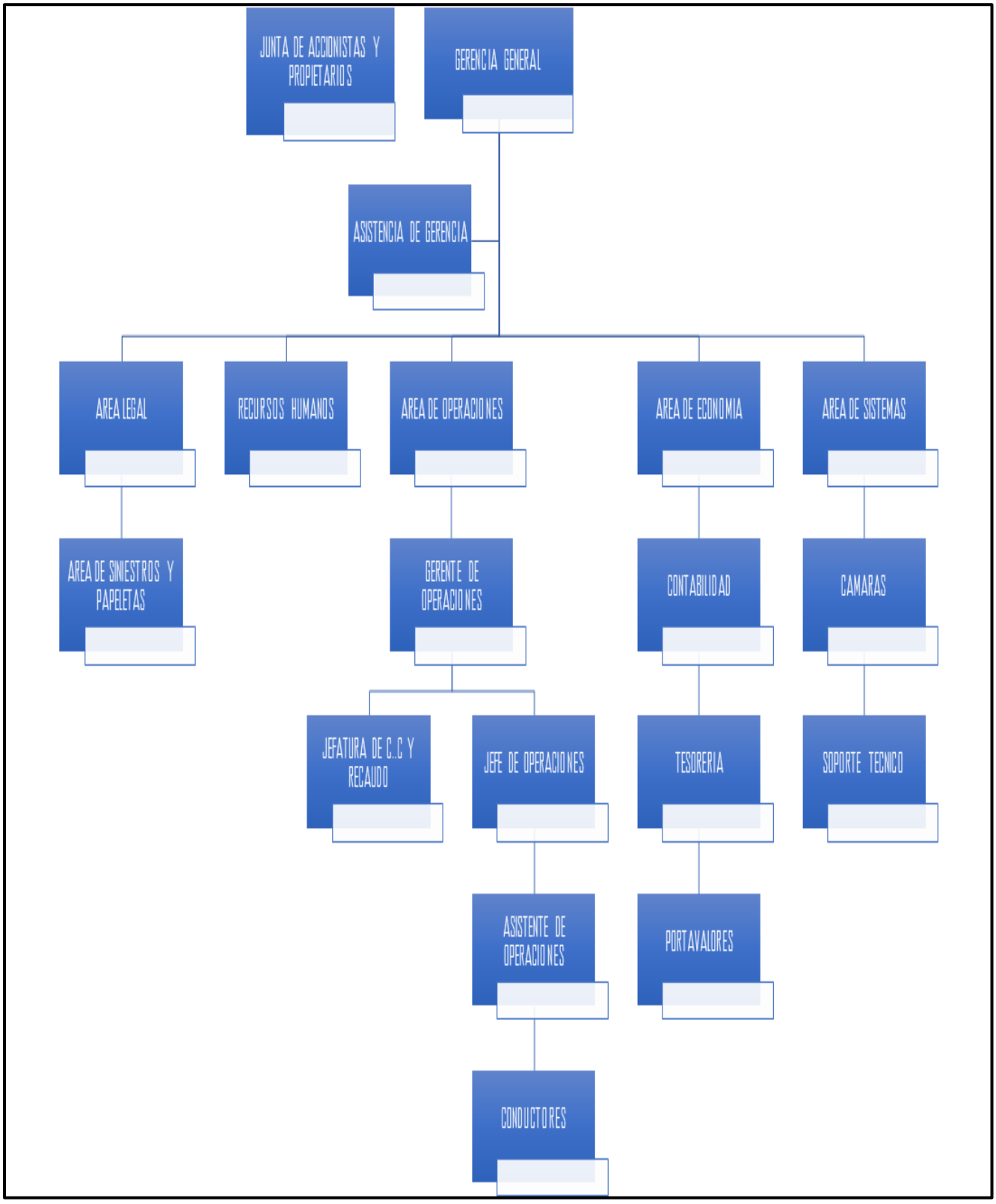
Contamos con un método de pago que permite una gestión integral de servicio, mejorando la eficiencia operativa, la experiencia del usuario y la transparencia financiera.

- ✓ **Transparencias y control de Ingresos**: Se sabe cuántos pasajeros pagaron, cuando y donde. Facilita auditorias.
- ✓ **Optimización Operativa:** Cruce de datos entre flotas, permite ajustar frecuencia de acuerdo a la carga de pasajeros.
- ✓ **Toma de decisiones basadas en datos reales:** Se puede identificar paraderos con más demanda, horarios pico, puntos de congestión.

Entre las rutas que opera se encuentran:

- **RUTA EL RAPIDO (8105): Villa El Salvador - Santo domingo (Carabayllo)**
- **RUTA 42 (2411): Chuquitanta (San martin de porres) - Huachipa**
- **RUTA TRANSURBANO (8112): Villa El Salvador - Santo domingo (Carabayllo)**
- **RUTA JC BUS (1514): San Benito (Carabayllo) - Av La Marina (San miguel)**
- **RUTA PALMARI (1611): Puente Piedra - Magdalena**
- **RUTA CKF (1615): Torre Blanca (Carabayllo) - Magdalena**
- **RUTA RAPIDO E INVERSIONES (1201): Puente Piedra - Av La Marina (San miguel)**

ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA



DESCRIPCION Y FUNCIONES DE LA ACTIVIDAD DEL AREA OPERATIVA

GERENTE DE OPERACIÓN

Es responsable de planificar, coordinar y supervisar todas las actividades relacionadas con el traslado de bienes y personas, asegurando eficiencia, seguridad y cumplimiento normativo.

FUNCIONES PRINCIPALES

a) Planificación y organización de rutas.
b) Gestión del personal.
c) Control de flota.
d) Seguridad y cumplimiento.
e) Gestión operativa y logística.
f) Control de costos y presupuestos.
g) Tecnología y mejora continua.
h) Atención al cliente.

JEFE DE OPERACIONES

a) Planificar, programar, supervisar, y evaluar las operaciones de transporte de la Empresa y la gestión de su flota, así como realizar las acciones que permita proponer acertadas modificaciones, ampliaciones, reducciones o creaciones de ruta.
b) Realizar las coordinaciones y acciones necesarias ante los organismos competentes de la administración del Transporte Urbano que le encargue su Jefatura en los cuales se vea involucrada la flota vehicular o alguna unidad de ella.

FUNCIONES ESPECIFICAS

- Mantener informado a Gerencia General sobre las disposiciones legales u otras que no hubieren sido materia de publicaciones en el diario oficial El Peruano y que estuvieran publicadas en las Oficinas Públicas que visita.
- Administrar, bajo responsabilidad, los expedientes que retire de la oficina de Registro Operativo, retornándolos al final de su jordana de trabajo.
- Realizar los estudios necesarios que sirvan de base para proponer la creación de nuevas rutas, así como las modificaciones y/o ajustes a las rutas actuales, cumpliendo con las exigencias de la G.T.U.
- Elaborar y proponer las normas y procedimientos del tráfico.
- Realizar los estudios necesarios para establecer las tarifas para cada una de las rutas regulares de la empresa.
- Mantener en custodia todos los documentos y planos de las rutas, teniendo el correspondiente registro de ellos.
- Planificar, dirigir y controlar los procesos de mantenimiento preventivo de la flota, así como el control de las unidades en la ruta.
- Supervisar el sistema operativo de la ruta en coordinación con los inspectores en ruta.
- Diseñar los comunicados, formatos, avisos, etc. Que sirvan de orientación al personal operativo y al público usuario de la Empresa.
- Informar diariamente a su Jefatura de los resultados de sus gestiones.
- Realizar toda función o encargo que le asigne la Gerencia de Operaciones.

ASISTENTE DE OPERACIONES

- Chequear el puntaje de licencia de los conductores que se encuentran prestando servicios en la ruta.
- Actualizar los documentos de la flota (SOAT, RC, RVT, tarjeta de propiedad, placa nueva, viales, credenciales y licencias)
- Revisar el correo del servicio al cliente, como también las llamadas de quejas y sugerencias (llevar un control diario)
- Control de la documentación de los operadores (certificados de antecedentes penales y policiales, cursos de seguridad vial, SISNOP, ATU)
- Tramitar la inscripción de operadores ante la ATU.
- Llevar la relación de avales de los operadores.
- Apoyo a las demás secciones del área de Operaciones.
- Publicar los documentos realizados por los jefes de Operaciones.
- Verificar el reporte de unidades.
- Reporte de las unidades que no liquidaron durante el día.
- Cumplir otras funciones que su jefe lo indique.

JEFATURA DE CENTRO DE CONTROL Y DESPACHO

- Supervisar en tiempo real la operación.
- Coordinar con los técnicos de monitoreo desvios, incidentes, emergencias o fallas mecánicas.
- Garantizar la continuidad y estabilizar los servicios tecnológicos (GPS y Validador)

- Monitorear la atención y respuestas a las alarmas emitidas a centro de control.
- Generar informes diarios, semanales y mensuales sobre la operatividad de flota e incidencias de siniestros.
- Participar en reuniones operativas.
- Reportar fallas técnicas y hacer seguimientos a las averías de los equipos de GPS y Validador.
- Supervisar el monitoreo del correcto uso de las cámaras en las unidades.
- Supervisar el área de boletaje.

TECNICO DE CENTRO DE CONTROL

- Controlar las funciones de los buses.
- Garantizar el cumplimiento de las horas programadas para cada servicio.
- Identificar los buses que están cercanos en la ruta.
- Registrar todas las incidencias, observaciones, novedades y hechos presentados durante la operación.
- Identificar los vehículos que se encuentran fuera de ruta.
- Garantizar que los tiempos de espera de los buses en los terminales sean los programados para evitar retrasos en el servicio.
- Garantizar que todos los buses estén operando con los validadores encendidos.
- Validar que todos los buses se encuentren despachados correctamente en el sistema.
- Gestionar los accidentes con el personal de operaciones y siniestros.
- Gestionar con el personal de operaciones la correcta ejecución de servicio.

- Reportar incidentes, accidentes y anomalías en su cargo.

DESPACHO/RECAUDO

- Realizar el reporte de unidades operativas y no operativas (enviar por WhatsApp a los grupos correspondientes)
- Preparar, revisar la producción diaria de todas las rutas enviarlos al grupo de propietarios o socios.
- Registro de operadores de acuerdo a la hora de llegada.
- Informar al aval cuando el bus no sale a su hora programado si ingresa a taller u otro evento.
- Despacho del vehículo según programación y calificación de tiempo de viaje o disposición de la jefatura.
- Enviar el cumplimiento de la programación y el cuaderno del registro de operadores en el grupo de socios.
- Realizar una adecuada frecuencia de acuerdo a la hora de mayor demanda o de acuerdo al orden del jefe inmediato.
- Validar el registro de operadores para que laboren en el bus de su aval.
- Control y verificación de la documentación de los operadores.
- Garantizar la buena presencia del operador.
- Garantizar que el operador se encuentre correctamente logueado en el GPS y Validador.
- Calificación de los tiempos de viaje de acuerdo a los puntos de control.
- Despachar a las unidades máximo con 30 minutos de adelanto.
- Ingresar o registrar los boletos manuales en caso hayan sido vendidos.

- Recaudar la producción de las unidades por vuelta en función a los gastos generados durante el recorrido bajo responsabilidad, salvo autorización de la jefatura.
- Registrar los gastos con boletas o facturas físicas (comprobantes de gastos), autorizado por la jefatura de economía o quien corresponda y el propietario.

LUGAR DONDE SE DESARROLLO LA ACTIVIDAD.
RUTA JC BUS S.A.C

J.C. BUS S.A.C. es una empresa con una trayectoria consolidada en el sector de transporte público en Lima, que ha demostrado un compromiso continuo con la mejora de su servicio y la adecuación a las normativas establecidas por la Municipalidad de Lima y la Autoridad de Transporte Urbano (ATU).En línea con este compromiso, la empresa ha emprendido un programa de reestructuración y modernización de su flota, incorporando unidades nuevas de 12 metros que operan con Gas Natural Vehicular (GNV) o DIESEL, lo que contribuye a la reducción de emisiones contaminantes y a una mayor sostenibilidad ambiental.

La Ruta JC BUS S.A.C. opera a lo largo de una longitud total autorizada de 68.99 kilómetros (considerando el viaje de ida y vuelta). Actualmente, la flota autorizada para esta ruta es de 57 vehículos, clasificados bajo la tipología de Microbús. Sin embargo, en la práctica, la empresa ha modernizado su operación y utiliza exclusivamente unidades tipo Ómnibus, que tienen una longitud de 12 metros y una capacidad teórica de 80 pasajeros (50 sentados y 30 de pie). Este cambio refleja el esfuerzo de la empresa por adaptarse a la creciente demanda y mejorar la capacidad de transporte.

La Ruta JC BUS S.A.C. es un caso emblemático de los desafíos que enfrenta el transporte convencional en Lima. La problemática principal radica en que la flota actual autorizada, compuesta por 41 vehículos (originalmente de tipología Microbús, aunque la empresa opera en su totalidad con Ómnibus de mayor capacidad), es insuficiente para atender la alta demanda de pasajeros, especialmente en los puntos de mayor afluencia. Esta insuficiencia se manifiesta en una sobrecarga constante de los vehículos, con porcentajes de ocupación que superan el 100% en secciones críticas, comprometiendo la comodidad y seguridad de los usuarios. Además, los intervalos de frecuencia en horas punta exceden los 5 minutos autorizados, lo que genera tiempos de espera excesivos y un malestar generalizado entre los pasajeros que no pueden ser atendidos por la falta de unidades disponibles.

Geográficamente, la Ruta 1514 es vital para los distritos del norte de Lima, incluyendo Carabayllo, Comas, Los Olivos, San Martín de Porres Y San Miguel. Esta ruta abarca aproximadamente 90 paradas y tiene una duración estimada de 226 minutos, conecta importantes centros generadores y atractores de viajes, como la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Pontificia Universidad Católica del Perú o como centros comerciales Plaza san miguel, lo que subraya su relevancia en la matriz de movilidad de la ciudad.

MISION

"Somos una empresa de servicios comprometida en brindar a nuestros clientes y usuarios de transporte terrestre de pasajeros, carga y mercadería con un nivel de alta calidad, puntualidad, seguridad y comodidad; satisfaciendo sus expectativas."

VISION

"Convertirnos en una de las empresas líderes de transporte terrestre de pasajeros, dando la comodidad pertinente al pasajero, con una seguridad de primer nivel, con una flota moderna y chóferes de alta capacidad; de manera que sus usuarios se sientan totalmente a gusto con nuestro servicio y seamos reconocidos por nuestros valores empresariales."

FINALIDAD DE LA EMPRESA

JC BUS S.A.C. es una empresa dedicada a la prestación de servicios de transporte de pasajeros. Su principal misión es ofrecer un sistema de movilidad integral que se distinga por su **comodidad, accesibilidad y respeto al medio ambiente**.

La empresa busca alcanzar sus metas a través de una serie de **objetivos estratégicos**:

- **Comodidad y accesibilidad:** La empresa se compromete a proporcionar una experiencia de viaje agradable y confortable para todos los usuarios.
- **Sostenibilidad ambiental:** Su sistema de transporte está diseñado para ser no contaminante, contribuyendo así a la calidad del aire y al cuidado del entorno urbano.
- **Eficiencia operativa:** JC BUS S.A.C. asegura que sus servicios de transporte cuenten con una **frecuencia regular y ajustada a la demanda**. Esto significa que las rutas y los horarios se optimizan para satisfacer las necesidades reales de los pasajeros.

- **Innovación tecnológica:** Para lograr una gestión de flota eficiente, la empresa se apoya en sistemas tecnológicos avanzados. Esto le permite monitorear y coordinar sus unidades en tiempo real, garantizando la puntualidad y la fluidez del servicio.

RAZÓN SOCIAL

- **RUC:** 20548090858
- **Razón social:** JC BUS S.A.C.
- **Dirección:** Av. Las lomas de Carabayllo MZ. A LT 1 AA. HH Santa Filomena - Carabayllo
- **Tipo Empresa**: Sociedad Anónima Cerrada
- **Condición:** Activo
- **Responsable:** Saldaña Anselmo Gianmarco Abrahan
- **Correo Institucional:** gsaldana@elrapido.com

PERIODO DE DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD

La información necesaria e importante del momento de la investigación fue recopilada de la base de datos de la empresa **Abexa Cloud Company S.A.C.** quien es una empresa peruana especializada en el desarrollo de software y equipos electrónicos para el sector del transporte urbano.

Inicio: 01 de enero del 2025

Fin: 31 de abril del 2025

Después de analizar los datos, queda el objetivo y las restricciones de la función, que ayudan en la creación del modelo de programación lineal.

PROBLEMÁTICA

El transporte público en Lima Norte, particularmente en la ruta operada por la empresa **JC Bus (El Rápido)**, presenta deficiencias en la cobertura de usuarios, especialmente en horarios de alta demanda y en zonas de expansión urbana. A pesar de contar con una flota activa, la asignación actual de buses no responde adecuadamente a los patrones de demanda, generando tiempos de espera elevados, saturación en algunas unidades y baja accesibilidad para usuarios potenciales en áreas menos atendidas.

Esta ineficiencia no solo afecta la calidad del servicio, sino que también disminuye la competitividad del transporte público frente a opciones informales o privadas, contribuyendo al aumento del tráfico vehicular y a problemas ambientales. La empresa enfrenta, además, limitaciones en cuanto al número de buses disponibles y la necesidad de operar de manera rentable, lo que hace crucial la correcta planificación de la flota.

Frente a este contexto, surge la necesidad de diseñar un modelo de **optimización** que permita asignar de manera más eficiente los buses a lo largo de la ruta y durante los diferentes horarios, buscando **ampliar la cobertura de usuarios** y mejorar la calidad del servicio.

Mediante el uso de técnicas de **programación lineal**, es posible encontrar soluciones que maximizan la atención de la demanda, respetando las restricciones operativas de la empresa y garantizando una mejor distribución del servicio a lo largo del día y en todo el recorrido.

PREGUNTA PRINCIPAL

¿Cómo optimizar la asignación de buses en la ruta JC Bus (El Rápido) mediante programación lineal para ampliar la cobertura de usuarios y mejorar la eficiencia del servicio de transporte público?

PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Qué factores influyen actualmente en la limitada cobertura de usuarios en la ruta JC Bus (El Rápido)?
2. ¿Cómo formular un modelo de programación lineal que permita mejorar la asignación de buses en función de la demanda y los recursos disponibles?
3. ¿Qué impacto tendría la implementación del modelo propuesto en la cobertura de usuarios y en la eficiencia operativa del servicio?
4. ¿Qué restricciones operativas y normativas deben incorporarse en el modelo de programación lineal para garantizar su viabilidad en la ruta JC Bus (El Rápido)?
5. ¿Qué estrategias pueden proponerse para facilitar la implementación del modelo de optimización en la empresa?

FINALIDAD DEL ESTUDIO

La finalidad de esta investigación es desarrollar y proponer un modelo de optimización basado en programación lineal que permita mejorar la asignación de buses en la ruta JC Bus (El Rápido), con el objetivo de ampliar la cobertura de usuarios, incrementar la eficiencia operativa y elevar la calidad del servicio de transporte público en Lima Norte.

De esta manera, se busca contribuir al fortalecimiento del sistema de transporte formal, promoviendo una movilidad urbana más eficiente, accesible y sostenible. Asimismo, la presente tesis pretende aportar al desarrollo académico y científico en el campo de la optimización de operaciones de transporte, sirviendo como base para futuras investigaciones.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Optimizar la asignación de buses en la ruta JC Bus (El Rápido) mediante programación lineal, con el fin de ampliar la cobertura de usuarios, mejorar el nivel de servicio y reducir los costos operativos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar los factores que limitan la cobertura actual de usuarios en la ruta JC Bus (El Rápido).
2. Diseñar un modelo de programación lineal que optimice la asignación de buses considerando la demanda de usuarios y las restricciones operativas.
3. Aplicar y validar el modelo propuesto para medir su impacto en la ampliación de la cobertura y en la eficiencia del servicio.
4. Determinar las restricciones operativas que deben considerarse en la programación de horarios y asignación de flota.

5. Proponer recomendaciones estratégicas para la implementación del modelo de optimización y su monitoreo continuo.

JUSTIFICACIÓN

La ruta operada por la empresa **JC Bus (El Rápido)** presenta deficiencias en la cobertura de usuarios debido a una inadecuada asignación de buses. Esto afecta la calidad del servicio, incrementa los tiempos de espera y limita el acceso al transporte público.

Aplicar un modelo de **programación lineal** permitirá optimizar la distribución de la flota, ampliar la cobertura de usuarios y mejorar la eficiencia operativa, beneficiando tanto a la empresa como a los usuarios. Además, esta investigación aportará conocimientos prácticos sobre la aplicación de técnicas de optimización en el transporte público urbano, sirviendo de referencia para futuras mejoras en Lima Norte.

La relevancia de este estudio radica en su impacto social, económico y académico, contribuyendo al fortalecimiento del transporte público en contextos urbanos de alta demanda.

CAPITULO III: MARCO TEORICO

ANTECEDENTES NACIONALES

- **Cribillero (2023) "DISEÑO DE UN MODELO DE TRANSPORTE, PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA ADMINISTRACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CIUDAD DE CHIMBOTE"**

  Este estudio tuvo como objetivo crear modelos de transporte público urbano que la municipalidad de Chimbote pueda usar como una herramienta clave para tomar decisiones más acertadas en la gestión del transporte de la ciudad.

  El estudio se realizó con una **metodología cuantitativa** y de **nivel explicativo**. Para recopilar la información, se aplicaron encuestas y entrevistas a un total de 383 hogares, lo que representa a 1,393 usuarios. El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo utilizando el **software SPSS**.

  Para esta investigación, se creó un **modelo de cuatro etapas** que sigue la estructura tradicional de planificación del transporte. Este modelo se diferencia por su capacidad de **analizar por separado los viajes realizados en transporte público y en vehículos privados**, a través de las fases de generación, distribución, elección del modo de transporte (partición modal) y asignación de viajes.

  Con Los modelos desarrollados, el autor ofrece una base técnica para planificar y optimizar el transporte urbano en Chimbote, siendo útiles para las autoridades locales.

- **Mantilla (2023) "MODELO MATEMÁTICO BASADO EN ALGORITMOS GENÉTICOS PARA OPTIMIZAR LAS UTILIDADES EN UNA EMPRESA DE TRANSPORTE INTERPROVINCIAL DE PASAJEROS"**

  Este estudio se centró en la creación de **modelos de optimización** para ayudar a una empresa de transporte interprovincial a **incrementar sus ganancias**.

  La meta era desarrollar herramientas que mejoraran la eficiencia y rentabilidad de la empresa.

  Para el presente trabajo de investigación se formuló un modelo de programación matemática y otro de algoritmos genéticos; donde la investigación fue de tipo aplicada, utilizando encuestas como técnica de recolección. Los resultados obtenidos evidenciaron que el modelo genético mejoró las ganancias de los diferentes tipos de buses, logrando tasas de ocupación del 58,33% (económico), 85,00% (cama), 58,33% (mixto) y 95,00% (súper cama). Con los resultados obtenidos, el autor concluyó que el uso de algoritmos genéticos resultó efectivo para optimizar los beneficios, mostrando su potencial en el sector del transporte interprovincial.

ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- **Li y Lu (2021) "STUDY ON THE OPTIMIZATION OF URBAN PASSENGER TRAFFIC STRUCTURE BASED ON MULTI-OBJECTIVE LINEAR PROGRAMMING A CASE STUDY OF BEIJING",**

  Esta investigación tuvo como objetivo proponer un modelo de optimización para estructurar el transporte urbano de manera sostenible, enfrentando el aumento de viajes en automóvil y sus consecuencias ambientales.

Para el presente trabajo de investigación se desarrolló un modelo de optimización multiobjetivo que maximiza la utilidad del transporte, minimiza el impacto ecológico y el costo generalizado, utilizando los métodos de punto ideal, ponderación lineal y secuencia jerárquica.

Los resultados evidenciaron que el método del punto ideal es el más adecuado para optimizar la estructura del tráfico en Beijing.

Con los resultados obtenidos, los autores concluyeron que el modelo propuesto demuestra ser eficaz, reduciendo emisiones, equilibrando la estructura del transporte y maximizando la eficiencia, lo que permite formular recomendaciones útiles para la planificación urbana sostenible.

- **Wu et al. (2021) "MITIGATING UNFAIRNESS IN URBAN RAIL TRANSIT OPERATION: A MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING APPROACH",**

  Esta investigación tuvo como objetivo reducir la desigualdad en los tiempos de espera de los pasajeros en sistemas de tren urbano saturados, mediante la optimización del patrón de parada y omisión de trenes.

  Para el presente trabajo de investigación se desarrolló un modelo aproximado general Los resultados obtenidos evidenciaron que el modelo mejora los tiempos promedio de espera y reduce la cantidad máxima de trenes perdidos.

  Con los resultados obtenidos , los autores concluyeron que el enfoque propuesto mejora significativamente la equidad y eficiencia del sistema ferroviario urbano, demostrando ser computacionalmente viable y adaptable a distintas configuraciones.

BASES TEORICAS

TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

El transporte público urbano constituye una de las principales soluciones de movilidad en las ciudades, buscando facilitar el traslado de personas de forma eficiente y accesible. En contextos de rápido crecimiento demográfico y urbano, como el de Lima, su rol es esencial para mitigar la congestión vehicular y minimizar la polución. Las características del transporte público en áreas urbanas se definen por:

- **Alta demanda en horarios pico**: Durante las horas de mayor demanda, como la mañana y la tarde, se producen congestiones en rutas específicas, lo que genera largos tiempos de espera.
- **Rutas definidas**: El transporte público generalmente sigue rutas específicas con paraderos establecidos, lo que facilita la planificación y la asignación de recursos.
- **Limitación de recursos**: Las empresas de transporte enfrentan el desafío de operar con un número limitado de unidades (buses), lo que obliga a optimizar su uso para garantizar el servicio adecuado.

PROCESO DE PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO

Según A. Ceder (2016), la planificación de las operaciones de una empresa de transporte público se lleva a cabo a través de **cuatro etapas que se realizan de forma secuencial**. Esto significa que

cada fase se construye sobre los resultados de la anterior para desarrollar un plan completo y funcional.

A continuación, se describen brevemente las etapas que se mencionan en los textos que proporcionaste:

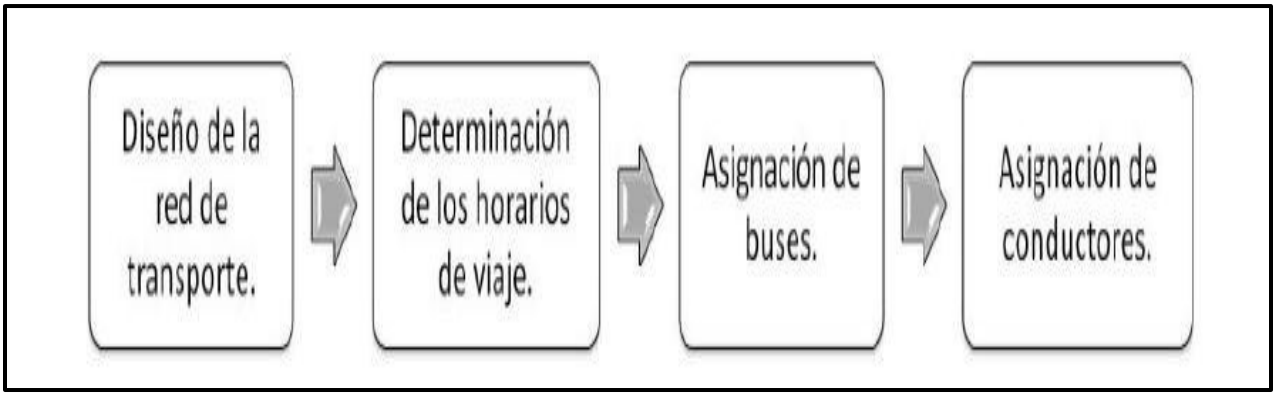


Figura 1: Proceso de planificación de las operaciones en una empresa de transporte.

A continuación, se detalla cada fase del proceso de planificación de las operaciones.

DISEÑO DE LOS RECORRIDOS DEL TRANSPORTE PÚBLICO

En esta etapa, se lleva a cabo el diseño de los recorridos. Esto implica definir la ruta que seguirán los vehículos, es decir, su trayectoria o camino de circulación. También se establecen los puntos específicos (paraderos) donde los buses pueden detenerse para subir o bajar pasajeros.



Ruta 1514 (Ex. EO50)

Distrito de Origen : CARABAYLLO

Distrito de Destino : SAN MIGUEL

ITINERARIO IDA	ITINERARIO VUELTA
AV. LOMAS DE CARABAYLLO	AV. UNIVERSITARIA
AV. SANTA MARIA	AV. RAMON HERRERA
AV. JOSE SACO ROJAS	AV. CARLOS GERMAN AMEZAGA
AV. CAMINO REAL	AV. GRAL. RAMON HERRERA
PTE. DE INTEGRACION	AV. UNIVERSITARIA
AV. CAMINO REAL	INTERC. VIAL NORTE
AV. TRAPICHE	AV. UNIVERSITARIA
AV. U	AV. ISABEL CHIMPU OCLLO
AV. MARIANO CONDOR CANQUI	AV. MARIANO CONDOR CANQUI
AV. ISABEL CHIMPU OCLLO	AV. U
AV. UNIVERSITARIA	AV. TRAPICHE
INTERC. VIAL NORTE	AV. CAMINO REAL
AV. UNIVERSITARIA	PTE. DE INTEGRACION
AV. OSCAR R. BENAVIDES	AV. CAMINO REAL
AV. A. GARCIA Y GARCIA	AV. JOSE SACO ROJAS
AV. VENEZUELA	AV. SANTA MARIA
AV. UNIVERSITARIA	AV. LOMAS DE CARABAYLLO

Figura 2: Recorrido de la ruta JC BUS.

Las rutas ya están definidas, lo que nos permite saber la distancia entre los puntos de inicio y final de cada servicio.

PROGRAMACIÓN DE LOS HORARIOS DE LOS VIAJES.

Durante esta etapa, se planifica el itinerario del Programa Operacional. Se establecen detalles clave como la hora de inicio de cada viaje, el terminal de salida y la ruta que se cubrirá. Además, se asigna un tipo de bus específico y se define su capacidad de asientos para cada viaje. El resultado final de este proceso es el itinerario completo.

DISTRIBUCIÓN DE BUSES

Esta etapa se centra en la distribución de buses a los viajes definidos previamente. El principal objetivo es minimizar los costos y otras variables, asegurando que todos los viajes se realicen. Para ello, se determina la flota mínima de buses necesaria para operar, prestando especial atención a los periodos de mayor demanda, como las "horas puntas" de la mañana y la tarde.

La empresa cuenta con un **software especializado** que automatiza la programación diaria de sus vehículos. Este sistema se encarga de determinar el itinerario de cada bus y la **cantidad exacta de vehículos** necesarios para cada servicio, ruta y franja horaria. El cálculo se basa en una fórmula sencilla: **la frecuencia de los viajes se multiplica por el tiempo total que dura cada uno**.

ASIGNACIÓN DE CONDUCTORES

Esta etapa se enfoca en **optimizar la asignación de conductores** a los viajes previamente definidos. El propósito es **minimizar los costos operativos** al mismo tiempo que se respetan todas las **restricciones contractuales y laborales**. Para lograrlo, se diseñan **jornadas de trabajo**

diarias que detallan la secuencia de viajes que cada conductor debe realizar. La meta final es cubrir la totalidad del servicio utilizando la **menor cantidad de conductores posible**.

Finalmente, estas jornadas diarias se planifican en un horizonte mayor, como una semana, para asegurar el cumplimiento de las normativas sobre la jornada laboral semanal y los días de descanso correspondientes.

OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO

La optimización en el transporte público tiene como objetivo mejorar la eficiencia operativa, reducir los costos y maximizar el nivel de servicio ofrecido a los usuarios. Esta mejora implica una asignación racional de los recursos disponibles (flota, tiempo, personal) para satisfacer la demanda de movilidad dentro de un sistema urbano o interurbano.

Según Ceder (2016), la planificación y optimización de sistemas de buses requiere analizar múltiples variables interrelacionadas, como la demanda de usuarios, las frecuencias, los costos de operación, las restricciones horarias y la cobertura geográfica. Optimizar un sistema de buses no significa únicamente reducir costos, sino también mejorar la accesibilidad al transporte, reducir el tiempo de espera de los pasajeros y aumentar la satisfacción de los usuarios.

En el caso específico de la empresa JC Bus (El Rápido), el objetivo se centra en maximizar la cobertura de usuarios atendidos a lo largo de una ruta determinada, ajustando de manera eficiente el número de unidades asignadas por franja horaria, de acuerdo con la demanda registrada.

MODELOS DE ASIGNACIÓN Y COBERTURA

En la planificación del transporte urbano, uno de los enfoques más importantes es el modelo de cobertura máxima, que busca maximizar el número de personas atendidas bajo ciertos límites de recursos. Este tipo de modelos son parte de la familia de problemas de localización y asignación. Según Church y ReVelle (1974), los modelos de cobertura son útiles cuando existe una población dispersa geográficamente que requiere atención, pero los recursos (en este caso, buses) son limitados. En el contexto de JC Bus, los nodos corresponden a franjas horarias con diferentes niveles de demanda.

ANÁLISIS DE LA DEMANDA HORARIA

La demanda de transporte público no es uniforme durante el día. Existen horas pico en las cuales la necesidad de movilidad se incrementa considerablemente, y otras franjas con demanda baja. Por esta razón, es fundamental desagregar la demanda por franjas horarias para poder planificar eficientemente.

Autores como Ortúzar y Willumsen (2011) destacan la importancia de la modelación de la demanda horaria en el transporte, ya que permite una mejor asignación de recursos y un dimensionamiento más preciso del servicio.

VARIABLES RELEVANTES EN LA OPTIMIZACIÓN

Las principales variables que se consideran en el modelo de optimización de esta investigación son:

- Número de buses asignados por franja horaria
- Demanda estimada de usuarios
- Capacidad por bus
- Duración de cada franja
- Frecuencia mínima y máxima
- Número total de buses disponibles

MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN EN TRANSPORTE

Existen varios métodos utilizados para optimizar el transporte público, entre los que se incluyen:

- **Programación Lineal (PL)**: Es uno de los métodos más utilizados para la optimización en el transporte. Permite encontrar la mejor asignación de recursos (buses) bajo un conjunto de restricciones (demanda de usuarios, disponibilidad de buses, capacidad máxima, etc.).
- **Simulación de Monte Carlo**: Técnica que permite modelar el comportamiento del sistema en situaciones inciertas, pero que generalmente requiere más complejidad en su implementación.
- **Algoritmos de Optimización Heurística**: Métodos como los algoritmos genéticos o de colonia de hormigas, que buscan soluciones óptimas mediante aproximaciones iterativas.

PROGRAMACIÓN LINEAL

La programación lineal (PL) es una técnica matemática utilizada en la investigación operativa que permite encontrar la mejor solución a un problema de decisión, dada una serie de restricciones y una función objetivo. Fue introducida por George Dantzig en 1947, y desde entonces ha sido aplicada en múltiples disciplinas, entre ellas el transporte.

De acuerdo con Hillier y Lieberman (2010), un problema de programación lineal se compone de tres elementos fundamentales: variables de decisión, función objetivo y restricciones.

La solución óptima es que satisface todas las restricciones y optimiza la función objetivo. En este caso, se busca asignar buses de manera que se maximice la cobertura de usuarios en una ruta determinada, cumpliendo con restricciones de capacidad, frecuencia y disponibilidad de buses.

Matemáticamente, un modelo de PL se representa como:

$$\text{Maximizar o Minimizar } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n$$

$$\text{Sujeto a: } a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \ (\leq, =, \geq)\ b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \ (\leq, =, \geq)\ b_2$$

$$\vdots$$

$$x_j \geq 0, \ \forall j$$

Donde:

- Z = función objetivo.
- x_j= variables de decisión.
- c_j = coeficientes asociados a cada variable en la función objetivo.
- a_{ij}= coeficientes técnicos que indican el consumo de recursos.
- b_i= recursos disponibles o límites.

TIPOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL RELACIONADOS

- **Programación Lineal Entera (PLE):** Las variables solo pueden tomar valores enteros. Muy útil cuando se asignan unidades físicas como buses (Winston, 2004).
- **Programación Lineal Entera Mixta (PLEM):** Algunas variables son enteras y otras continuas, adecuada para problemas de transporte que combinan asignaciones discretas y cálculos continuos.
- **Programación Multicriterio:** Considera más de un objetivo, por ejemplo, minimizar costos y maximizar cobertura al mismo tiempo.

PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA (PLE)

La Programación Lineal Entera (PLE) es una rama de la programación matemática en la que todas o algunas de las variables de decisión solo pueden tomar valores enteros. Según Hillier y Lieberman (2020), esta característica es indispensable en problemas donde los recursos se asignan en unidades indivisibles, como en el caso de vehículos, personas o paquetes.

A diferencia de la Programación Lineal (PL) clásica, que permite soluciones fraccionarias, la PLE se adapta a situaciones donde fracciones carecen de sentido práctico.

TIPOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA

Según Winston (2004), la PLE se clasifica en:

- Programación Entera Pura (PEP): todas las variables son enteras.

  Ejemplo: número de buses a asignar por franja horaria.

- Programación Entera Mixta (PEM): solo algunas variables son enteras y otras pueden ser continuas.

  Ejemplo: buses enteros y tiempo de espera promedio como variable continua.

- Programación Entera Binaria (PEB): las variables solo pueden tomar los valores 0 o 1, representando decisiones de tipo sí/no.

  Ejemplo: 1 si un bus opera en una franja determinada, 0 si no.

PROGRAMACIÓN LINEAL EN EL TRANSPORTE

La **programación lineal** es una herramienta de **optimización matemática** diseñada para encontrar la mejor solución posible (ya sea maximizar un beneficio o minimizar un gasto). Para ello, trabaja con una **función objetivo** y una serie de **restricciones lineales**.

En el ámbito del transporte público, esta técnica es muy útil para **optimizar la asignación de recursos**, como determinar cuántos buses son necesarios para cada ruta. De esta manera, se puede **satisfacer la demanda de pasajeros** y cumplir con las limitaciones de la operación, al mismo tiempo que se minimizan los costos o se reduce el tiempo de viaje.

- **MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL**

  Un modelo típico de programación lineal en el transporte público tiene los siguientes elementos:

- **Variables de decisión**: Representan la cantidad de buses que deben ser asignados a cada tramo o franja horaria.
- **Función objetivo**: En este caso, la función objetivo puede ser la maximización de la cobertura de usuarios o la minimización de los tiempos de espera o de los costos operativos.
- **Restricciones**: Son las limitaciones del sistema, como la capacidad de la flota, la demanda de pasajeros en cada tramo y los horarios de operación de los buses.

- **PLANTEAMIENTO DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL**

Para crear un modelo de programación lineal, se deben seguir estos tres pasos clave:

1 **Definir la función objetivo** Se trata de la fórmula matemática que se quiere **maximizar** (como las ganancias) o **minimizar** (como los costos). Esta función mide qué tan buena es la solución que se obtenga y siempre debe ser una ecuación lineal que dependa de las variables de decisión.

2. **Identificar las variables de decisión** Son los valores desconocidos que el modelo debe calcular. Representan las decisiones que se pueden tomar, como la cantidad de autobuses a asignar a una ruta o el número de turnos de trabajo.

3. **Establecer las restricciones** Son las limitaciones prácticas del problema, como los recursos disponibles o las reglas operativas. Estas se expresan como ecuaciones o inecuaciones lineales que las variables de decisión deben cumplir.

HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES DE OPTIMIZACIÓN

LINGO es un software especializado en resolver problemas de programación lineal, entera y no lineal. Fue desarrollado por LINDO Systems y permite construir modelos complejos mediante un lenguaje de modelado específico. LINGO ofrece ventajas como rapidez de solución, flexibilidad de modelado y reportes detallados.

Excel Solver es una herramienta integrada en Microsoft Excel que permite resolver problemas de optimización de forma más accesible. Aunque sus capacidades son limitadas comparadas con LINGO, es útil para validar soluciones o construir prototipos de modelos.

Cómo se obtienen resultados con LINGO

1. **Ingresar el modelo:** Primero, debes escribir tu modelo matemático (con la función objetivo y las restricciones) en el lenguaje de LINGO.
2. **Ejecutar el programa:** Una vez que el modelo está completo, le das la instrucción a LINGO de "resolver" el problema.
3. **Análisis de resultados:** LINGO procesa la información y te muestra una ventana con la solución óptima. Los resultados principales que obtendrás son:

- **El valor de la función objetivo:** el número que representa la mejor solución posible (por ejemplo, el costo mínimo o la ganancia máxima).
- **Los valores de las variables de decisión:** las cantidades exactas que el modelo calculó (por ejemplo, el número de buses a asignar a una ruta específica).

TRANSPORTE PÚBLICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE

El transporte público juega un rol crucial en la sostenibilidad de las ciudades. De acuerdo con la ONU (2020), el Objetivo de Desarrollo Sostenible N.º 11 (“Ciudades y comunidades sostenibles”) establece como meta el acceso universal a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles.

Optimizar el uso de buses en rutas específicas reduce el uso de transporte informal, disminuye las emisiones por pasajero y mejora la equidad en el acceso a oportunidades.

CAPITULO IV: METODOLOGÍA

TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo aplicada, ya que busca resolver un problema práctico relacionado con la optimización de las operaciones de transporte público en la ruta JC Bus (El Rápido). Utiliza técnicas de programación lineal para mejorar la asignación de buses, con el fin de ampliar la cobertura de usuarios y mejorar la eficiencia operativa.

Además, el nivel de esta investigación se enmarca dentro de un enfoque cuantitativo, debido a que se utilizarán herramientas matemáticas para modelar el problema y analizar los resultados obtenidos a partir de los datos recolectados.

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación será no experimental, ya que no se manipularán directamente las variables del sistema de transporte, sino que se aplicará un modelo de programación lineal a datos existentes, sacado de la base de datos de las trayectorias GPS de buses durante cuatro meses (enero–abril 2025). Procesamiento de datos en hojas de cálculo para caracterizar la demanda y la oferta.

POBLACIÓN Y MUESTRA

- **Población:** La población está conformada por todos los usuarios que utilizan la ruta de la empresa JC BUS (El Rápido) a lo largo de un día típico.

- **Muestra:** Se considerará como muestra los datos recogidos durante un día laboral promedio, desglosados por franjas horarias. Estos datos incluirán demanda de usuarios, frecuencia actual, capacidad de buses y costos operativos.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- **Instrumento principal:** Registro histórico operativo de la empresa JC BUS.
- **Técnicas:** Análisis de horarios, estimación de demanda por franja horaria, identificación de frecuencias y costos.
- **Unidad de análisis:** Franja horaria de operación.

TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS

Se utilizará **programación lineal** como técnica de optimización, y el **software LINGO** como herramienta de resolución. El análisis comparará la situación actual (sin optimización) frente al escenario propuesto (modelo optimizado), evaluando la cobertura alcanzada en cada franja horaria.

PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

1. Recolección de datos operativos
2. Análisis de la situación actual de cobertura y utilización de flota.
3. Formulación del modelo de Programación Lineal Entera con:
    - **Función objetivo**: Maximizar cobertura de usuarios.
    - **Restricciones**: Disponibilidad de buses, capacidad máxima de pasajeros por bus,

tiempos máximos de espera.

4. Resolución en software (Lingo).
5. Comparación de indicadores antes y después de la optimización.

DATOS USADOS PARA EL ESTUDIO

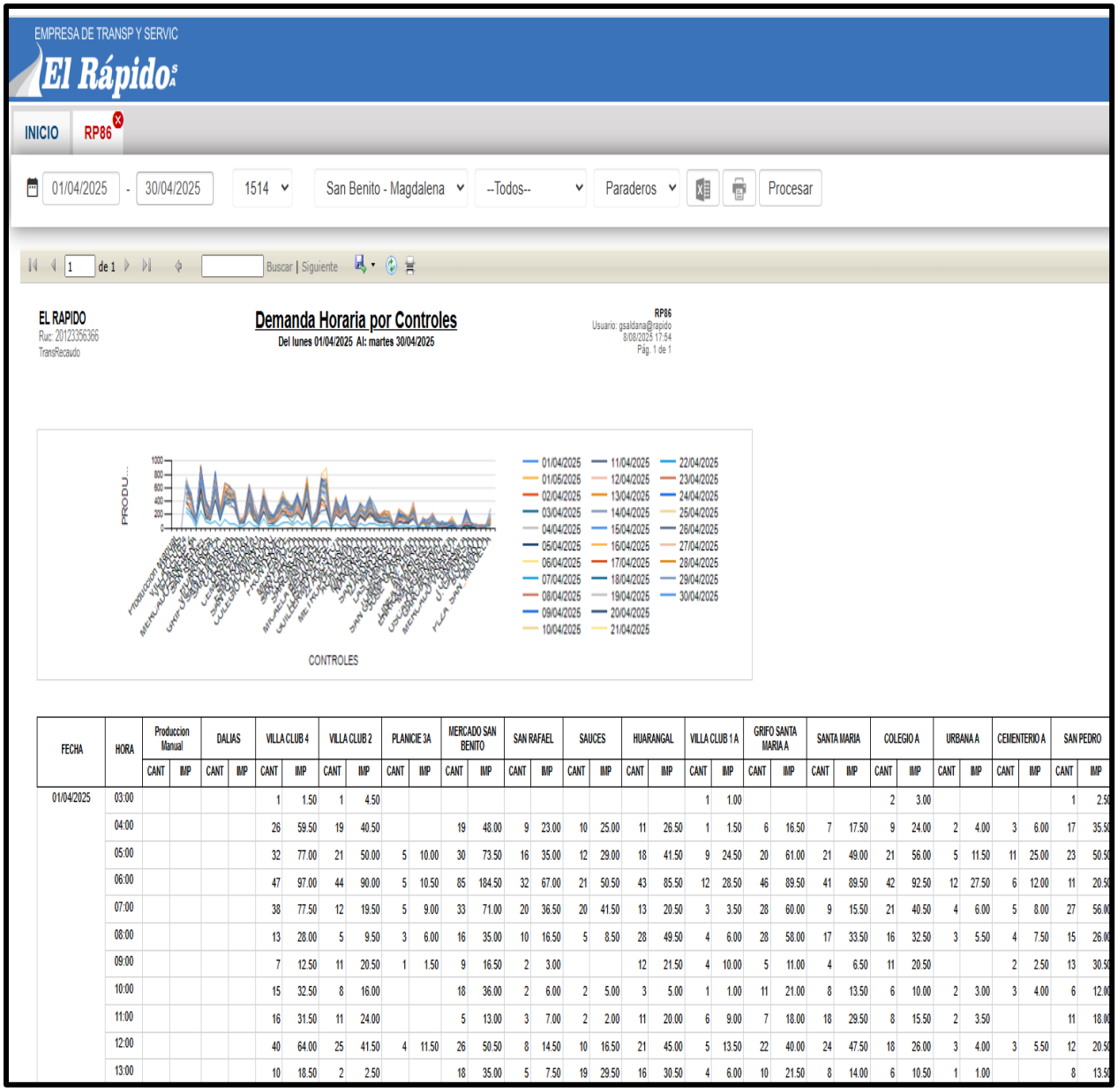
Los datos que se usaron para esta investigación fueron recopilados de la base de datos de la empresa. Ellos utilizan el sistema ABEXA para guardar su información diaria.

El periodo que se utilizó fue de la información de los 4 últimos meses.

Inicio: 01 de enero del 2025

Fin: 31 de abril del 2025

Después de analizar los datos, queda el objetivo y las restricciones de la función, que ayudan en la creación del modelo de programación lineal.



FECHA	HORA	Produccion Manual		DALIAS		VILLA CLUB 4		VILLA CLUB 2		PLANICIE 3A		MERCADO SAN BENITO		SAN RAFAEL		SAUCES		HUARANGAL		VILLA CLUB 1 A		GRIFO SANTA MARIA A		SANTA MARIA		COLEGIO A		URBANA A		CEMENTERIO A		SAN PEDRO	
		CANT	IMP	CANT	IMP	CANT	IMP	CANT	IMP	CANT	IMP	CANT	IMP	CANT	IMP	CANT	IMP	CANT	IMP	CANT	IMP	CANT	IMP	CANT	IMP	CANT	IMP	CANT	IMP	CANT	IMP	CANT	IMP
01/04/2025	03:00					1	1.50	1	4.50											1	1.00					2	3.00					1	2.50
	04:00					26	59.50	19	40.50			19	48.00	9	23.00	10	25.00	11	26.50	1	1.50	6	16.50	7	17.50	9	24.00	2	4.00	3	6.00	17	35.50
	05:00					32	77.00	21	50.00	5	10.00	30	73.50	16	35.00	12	29.00	18	41.50	9	24.50	20	61.00	21	49.00	21	56.00	5	11.50	11	25.00	23	50.50
	06:00					47	97.00	44	90.00	5	10.50	85	184.50	32	67.00	21	50.50	43	85.50	12	28.50	46	89.50	41	89.50	42	92.50	12	27.50	6	12.00	11	20.50
	07:00					38	77.50	12	19.50	5	9.00	33	71.00	20	36.50	20	41.50	13	20.50	3	3.50	28	60.00	9	15.50	21	40.50	4	6.00	5	8.00	27	56.00
	08:00					13	28.00	5	9.50	3	6.00	16	35.00	10	16.50	5	8.50	28	49.50	4	6.00	28	58.00	17	33.50	16	32.50	3	5.50	4	7.50	15	26.00
	09:00					7	12.50	11	20.50	1	1.50	9	16.50	2	3.00			12	21.50	4	10.00	5	11.00	4	6.50	11	20.50			2	2.50	13	30.50
	10:00					15	32.50	8	16.00			18	36.00	2	6.00	2	5.00	3	5.00	1	1.00	11	21.00	8	13.50	6	10.00	2	3.00	3	4.00	6	12.00
	11:00					16	31.50	11	24.00			5	13.00	3	7.00	2	2.00	11	20.00	6	9.00	7	18.00	18	29.50	8	15.50	2	3.50			11	18.00
	12:00					40	64.00	25	41.50	4	11.50	26	50.50	8	14.50	10	16.50	21	45.00	5	13.50	22	40.00	24	47.50	18	26.00	3	4.00	3	5.50	12	20.50
	13:00					10	18.50	2	2.50			18	35.00	5	7.50	19	29.50	16	30.50	4	6.00	10	21.50	8	14.00	6	10.50	1	1.00			8	13.50

Figura 3: Demanda horaria por paradero

Información obtenida del sistema ABEXA. El cuadro siguiente presenta información por hora de la flota de la demanda. Esta información recopila el promedio de cuatro meses de días hábiles. Con mencionada información podemos estimar la carga de pasajero por Franja horaria

N	PARADERO	03:00:00	04:00:00	05:00:00	06:00:00	07:00:00	08:00:00	09:00:00	10:00:00	11:00:00	12:00:00	13:00:00	14:00:00	15:00:00	16:00:00	17:00:00	18:00:00	19:00:00	20:00:00	21:00:00	22:00:00	23:00:00	00:00:00	TOTA
1	SAN PEDRO	4.5	13.5	42.5	33.5	103	8.5	16.5	20.5	8	5.5	48	29	11	19.5	70	25.5	9	7.5	0	0	0	0	475.5
2	SANTO DOMINGO	0	58.5	100	182.5	82.5	83	52.5	51.5	16.5	87.5	58.5	153	66.5	170.5	70.5	203.5	110.5	75.5	0	0	0	0	162
3	AVENIDA U	0	0	29.5	10	5	1.5	3	13	3	1	15.5	15	5	2.5	6	3	6	7	1.5	2	0	0	129.5
4	PARQUE	0	15	44	20	19.5	12.5	1.5	8	6.5	16	20	17.5	20	0	16.5	26.5	12	9	3	0	0	0	267.5
5	FRONTERA A	0	11.5	60	28.5	53.5	21	3	16	8	15.5	22	41.5	40	0	7	57.5	15.5	20.5	5	1	0	0	42
6	ENACE	0	9	52	39.5	22.5	1	10.5	9.5	6.5	9	21	24	20.5	6	14	42.5	11.5	3.5	9.5	0	0	0	31
7	SAN FELIPE A	0	19	99.5	18	50.5	20	14	26.5	2.5	34.5	23	10.5	21.5	5.5	22.5	28	13	7.5	6.5	0	0	0	422.5
8	SAN CARLOS A	0	2.5	19.5	19.5	23	20.5	10.5	3	4.5	14	5.5	26.5	10.5	0	16.5	18	4	20.5	4.5	0	0	0	22
9	LOS INCAS A	0	42.5	73	61	49.5	56.5	12	27	7.5	48	56.5	30.5	26	4.5	57.5	58.5	31	31.5	5	15	0	0	69
10	JAMAICA A	0	16.5	10	25.5	10	46.5	1	12	2	7	22	13.5	2.5	0	4	20.5	11.5	2.5	9.5	0	0	0	216.5
11	MICAELA BASTIDAS A	0	21	78	126	42.5	61.5	34	26.5	11.5	38.5	32.5	17.5	0	5.5	59.5	79	36	14	23	6	0	0	712.5
12	BELAUNDE A	0	14	49	68.5	55	58	10	10	8.5	34	36	31	24	5.5	45	58.5	24	22.5	18	12.5	0	0	58
13	GUILLERMO LA FUENTE AAv	0	11.5	51.5	45	44.5	26.5	8	15.5	17.5	40	37.5	31.5	16.5	8	37	35.5	11.5	21.5	11	10.5	0	0	480.5
14	22 AGOSTO A	0	10	32	47	15.5	16.5	7.5	7.5	12.5	16.5	9.5	10	10.5	14	6	9	12.5	6	6.5	1	0	0	250
15	MEXICO A	0	9	27.5	32.5	30	14	10	6.5	25	18	31	12.5	31.5	15.5	8	16	6.5	13	15.5	6	0	0	328
16	METROPOLITANA A	0	1	11.5	11	7	1.5	6.5	13	1.5	3.5	8	3.5	2	4.5	0	6	8	7	0	6.5	0	0	102

Figura 4: Producciones promedio por banda horaria

El cuadro siguiente presenta información por hora de la flota. Esta información recopila el promedio de cuatro meses de días hábiles. Con mencionada información podemos estimar la producción por Franja horaria

N	Fecha	Día	Flota			Recorrido			Producción				Indicadores						
			Total	Oper	% Oper	Vueltas	Kilometros	Pasajeros	Producción	Gastos	Neto	RO	PB	PV	PP	IPK	VB	IPB	IKB
10	10/03/2025	L	57	43	75.44	144	14155.02	29068	S/ 50,540.50	S/ 39,062.83	S/ 11,477.67	23 %	1175	351	1.74	2.05	3.35	676	329
11	11/03/2025	M	57	43	75.44	153	15039.71	30191	S/ 52,578.50	S/ 42,694.66	S/ 9,883.84	19 %	1223	344	1.74	2.01	3.56	702	350
12	12/03/2025	M	57	45	78.95	157	15432.91	31351	S/ 54,377.50	S/ 43,061.44	S/ 11,316.06	21 %	1208	346	1.73	2.03	3.49	697	343
13	13/03/2025	J	57	44	77.19	150	14744.82	29201	S/ 50,864.50	S/ 41,694.40	S/ 9,170.10	18 %	1156	339	1.74	1.98	3.41	664	335
14	14/03/2025	V	57	39	68.42	139	13663.53	29479	S/ 51,820.50	S/ 42,201.64	S/ 9,618.86	19 %	1329	373	1.76	2.16	3.56	756	350
15	15/03/2025	S	57	39	68.42	139	13663.53	27354	S/ 49,377.50	S/ 40,100.88	S/ 9,276.62	19 %	1266	355	1.81	2.00	3.56	701	350
16	16/03/2025	D	57	37	64.91	134	13172.04	22429	S/ 41,155.50	S/ 34,801.04	S/ 6,354.46	15 %	1112	307	1.83	1.70	3.62	606	356
17	17/03/2025	L	57	39	68.42	139	13663.53	29268	S/ 50,931.00	S/ 43,719.88	S/ 7,211.12	14 %	1306	366	1.74	2.14	3.56	750	350
18	18/03/2025	M	57	45	78.95	158	15531.21	30976	S/ 53,267.00	S/ 45,924.70	S/ 7,342.30	14 %	1184	337	1.72	1.99	3.51	688	345
19	19/03/2025	M	57	46	80.7	163	16022.70	31711	S/ 54,440.00	S/ 47,253.62	S/ 7,186.38	13 %	1183	334	1.72	1.98	3.54	689	348
20	20/03/2025	J	57	45	78.95	158	15531.21	30925	S/ 53,065.50	S/ 46,551.12	S/ 6,514.38	12 %	1179	336	1.72	1.99	3.51	687	345
21	21/03/2025	V	57	44	77.19	143	14056.73	30642	S/ 53,147.00	S/ 45,720.23	S/ 7,426.77	14 %	1208	372	1.73	2.18	3.25	696	319
22	22/03/2025	S	57	40	70.18	137	13466.93	26959	S/ 48,737.50	S/ 40,792.39	S/ 7,945.11	16 %	1218	356	1.81	2.00	3.43	674	337
23	23/03/2025	D	57	36	63.16	129	12680.54	21592	S/ 39,532.50	S/ 33,717.03	S/ 5,815.47	15 %	1098	306	1.83	1.70	3.58	600	352
24	24/03/2025	L	57	42	73.68	150	14744.82	32801	S/ 56,050.00	S/ 41,130.31	S/ 14,919.69	27 %	1335	374	1.71	2.22	3.57	781	351
25	25/03/2025	M	57	43	75.44	135	13270.34	30013	S/ 51,484.00	S/ 37,831.30	S/ 13,652.70	27 %	1197	381	1.72	2.26	3.14	698	309
26	26/03/2025	M	57	49	85.96	165	16219.30	36373	S/ 61,724.50	S/ 47,923.83	S/ 13,800.67	22 %	1260	374	1.7	2.24	3.37	742	331
27	27/03/2025	J	57	44	77.19	142	13958.43	31897	S/ 54,882.50	S/ 42,135.65	S/ 12,746.85	23 %	1247	386	1.72	2.29	3.23	725	317
28	28/03/2025	V	57	37	64.91	127	12483.95	27876	S/ 48,657.00	S/ 35,092.25	S/ 13,564.75	28 %	1315	383	1.75	2.23	3.43	753	337
29	29/03/2025	S	57	40	70.18	137	13466.93	29119	S/ 51,799.50	S/ 36,641.84	S/ 15,157.66	29 %	1295	378	1.78	2.16	3.43	728	337
30	30/03/2025	D	57	33	57.89	123	12090.75	21862	S/ 40,473.00	S/ 28,904.29	S/ 11,568.71	29 %	1226	329	1.85	1.81	3.73	662	366
	31/03/2025	L	57	41	71.93	147	14449.92	33623	S/ 57,527.00	S/ 40,671.56	S/ 16,855.44	29 %	1403	391	1.71	2.33	3.59	820	352
			1767	1265	71.59	4394	431924.87	890815	S/ 1,566,680.00	S/ 1,259,111.31	S/ 307,568.69	19.61 %	1239.16	356.77	1.76	2.06	3.48	703.35	341.87

Figura 5: Indicadores de producción

Tenemos los indicadores de producción para poder obtener la tarifa promedio, costos operativos y carga de pasajeros.

También tenemos tener en cuenta que la ruta **Jc bus** el máximo buses permitidos por la ATU es de 57 buses inscripto y que cada bus realiza 4 viajes diario.

Los datos obtenidos después de la recopilación son los siguientes:

- Carga de Pasajeros por Viaje es de 224 pasajeros.
- Promedio de tarifa estimada es de S/ 1.76
- Costo operativo estimado es de S/ 160.00
- Buses Total de buses: 57
- Viajes Totales de buses es de 228

También lo que se requiere es calcular el número de viajes por 6 diferentes franjas horarias

- Hora Madrugada: 04:00 a 06:00
- Hora Punta Mañana: 06:01 a 09:00
- Hora Valle Mañana: 09:01 a 13:00
- Hora Valle Tarde: 13:01 a 15:59
- Hora Punta Tarde: 16:00 a 21:00
- Hora Noche: 21:01 a 23:59

Después de estimar las producciones por franja horaria tenemos las siguientes producciones y carga de pasajeros en 6 franjas horarias

FRANJA	PRODUCCIÓN ESTIMADA POR FRANJA	CARGA DE PASAJERO
04:00 a 06:00	S/ 6,654.12	3780.75
06:01 a 09:00	S/ 12,507.12	7106.32
09:01 a 13:00	S/ 6,181.33	3512.12
13:01 a 16:00	S/ 7,073.93	4019.28
16:01 a 21:00	S/ 13,177.75	7487.36
21:01 a 00:00	S/ 4,961.88	2819.25

Figura 6: Producciones estimada por franja horaria

Después de estimar la carga de pasajeros, tenemos los tiempos de espera por las diferentes franjas horarias, donde las horas picos se requiere un ajuste en la frecuencia para poder cubrir la máxima cobertura y en las horas valles(muertas) se alarga la frecuencia para no tener una sobreutilización de buses,

FRANJA	Demanda (D_i)	Maximo tiempo de espera F(i)	Duración de franja horaria (min) H(i)
04:00 a 06:00	3780.75	5	120
06:01 a 09:00	7106.32	4	179
09:01 a 13:00	3512.12	7	239
13:01 a 16:00	4019.28	7	179
16:01 a 21:00	7487.36	5	299
21:01 a 00:00	2819.25	8	179

Figura 7: Demanda y tiempo de espera por franja horaria

FORMULACIÓN DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL

Este modelo busca **optimizar la asignación de buses** a lo largo de la ruta JC Bus (El Rápido) para **ampliar la cobertura de usuarios**, **reducir los tiempos de espera** y **mejorar la eficiencia operativa**. La programación lineal será utilizada para distribuir los buses de manera óptima según la demanda de pasajeros y las restricciones operativas.

ÍNDICES:

- i∈ {1,2, 3, …, n} representando los **horarios del día** (por ejemplo, mañana, tarde, noche o fracciones horarias más específicas).

PARÁMETROS:

- **D_i:** Demanda de pasajeros en la franja horaria i
- **H_i:** Duración de franja horaria i
- **F_i:** Tiempo de espera que frecuencia a los pasajeros en la franja horaria i
- **V_{MAX}:** Número máximo de viajes
- **P:** Carga de pasajeros por viaje
- **R:** Promedio tarifa estimada por viaje
- **C_{OP}:** Costo operativo por viaje
- **X_{max} :** Viajes máximos por franja horaria (H_i / F_i)
- **X_{min} :** Viajes mínimos requeridos por demanda (D_i /P)

- **VARIABLES DE DECISIÓN**

Las variables de decisión representan las cantidades de buses asignados a cada tramo de la ruta en diferentes horarios del día. Se definen de la siguiente manera:

- **X_i:** Número de Viajes asignados por franja horaria i
- **Z:** Rentabilidad del total de viajes

- **FUNCIÓN OBJETIVO**

El objetivo principal es **Maximizar Rentabilidad** que es el ingreso de la cobertura de usuarios atendida menos los costos operativa, mediante la optimización de la asignación de buses.

La **función objetivo** puede ser formulada como:

(Maximizar Rentabilidad) = (Ingresos Totales) − (Costos Totales)

Donde:

- **Ingreso Totales:** El ingreso total es la carga de pasajero por viaje por el promedio tarifa estimada por el número de viajes por cada franja horaria.

$$\sum_i (P*R) * X_i$$

- **Costo Totales:** El costo total es el costo operativo por el número de viajes por cada franja horaria.

$$\sum_i (C_{OP}) * X_i$$

Por lo tanto:

$$\text{Max } Z = \sum_i (P*R) * X_i - \sum_i (C_{OP}) * X_i$$

$$\text{Max } Z = \sum_i ((P*R) - C_{OP}) * x_i$$

- **RESTRICCIONES**

1. Cobertura mínima de demanda por franja: La cantidad de viajes mínimo requeridos que debe cubrir la demanda

$$X_i \geq X_i^{min} = D_i / P \quad \text{para } i=1, ...,6.$$

2. Frecuencia operativa máxima por franja: Asegura que el tiempo de espera promedio en cada franja horaria (Duración de la franja / Número de viajes en la franja) sea menor o igual al tiempo máximo de espera

$$X_i \geq X_i^{máx} = H_i / F_i \text{ para } i=1, ...,6.$$

3. Capacidad total de viajes de la flota: El número total de viajes de buses asignados no puede exceder el máximo de viajes disponibles.

$$\sum_i X_i \leq V_{MAX}$$

4. Restricción de enteros (no se pueden fraccionar los viajes): es una condición en la que las variables de un modelo de optimización, como los de programación lineal,

$$\mathbf{X_i \in Z+ \text{ para } } \boldsymbol{i}\mathbf{=1, \ldots,6}$$

$$\mathbf{D_i \in Z+ \text{ para } } \boldsymbol{i}\mathbf{=1, \ldots,6}$$

$$\mathbf{F_i \in Z+ \text{ para } } \boldsymbol{i}\mathbf{=1, \ldots,6}$$

$$\mathbf{H_i \in Z+ \text{ para } } \boldsymbol{i}\mathbf{=1, \ldots,6}$$

CAPITULO V: RESULTADOS

RESULTADOS GENERADOS POR EL SOFTWARE LINGO.

Para encontrar la solución, se logró procesarlo con el **software LINGO**. Con esta herramienta, pudimos determinar la **rentabilidad** y la cantidad específica de **vehículos** que se necesitan para cubrir cada franja horaria de manera eficiente.

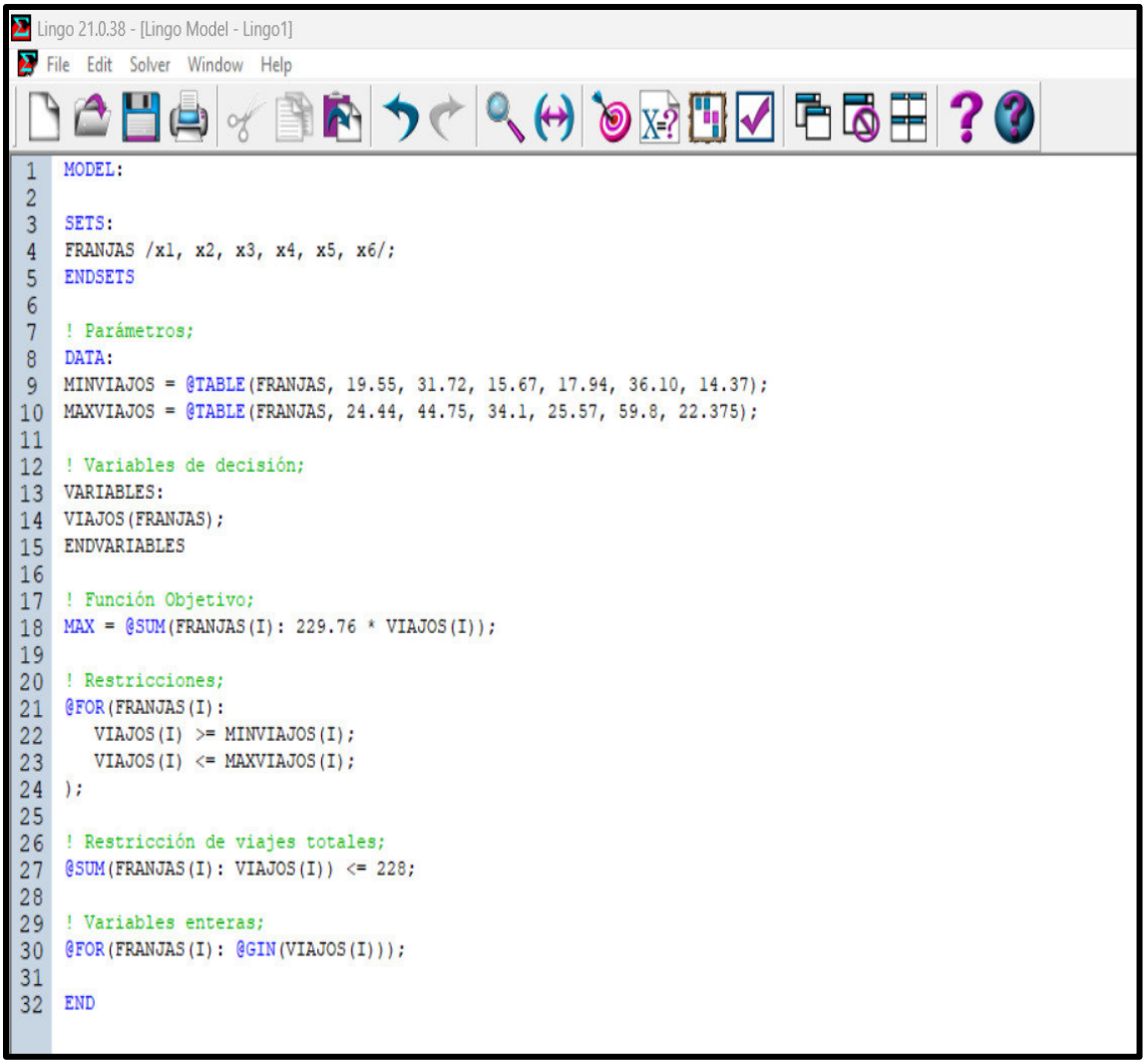


Figura 8: Software LINGO

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Los resultados obtenidos mediando el software Lingo:

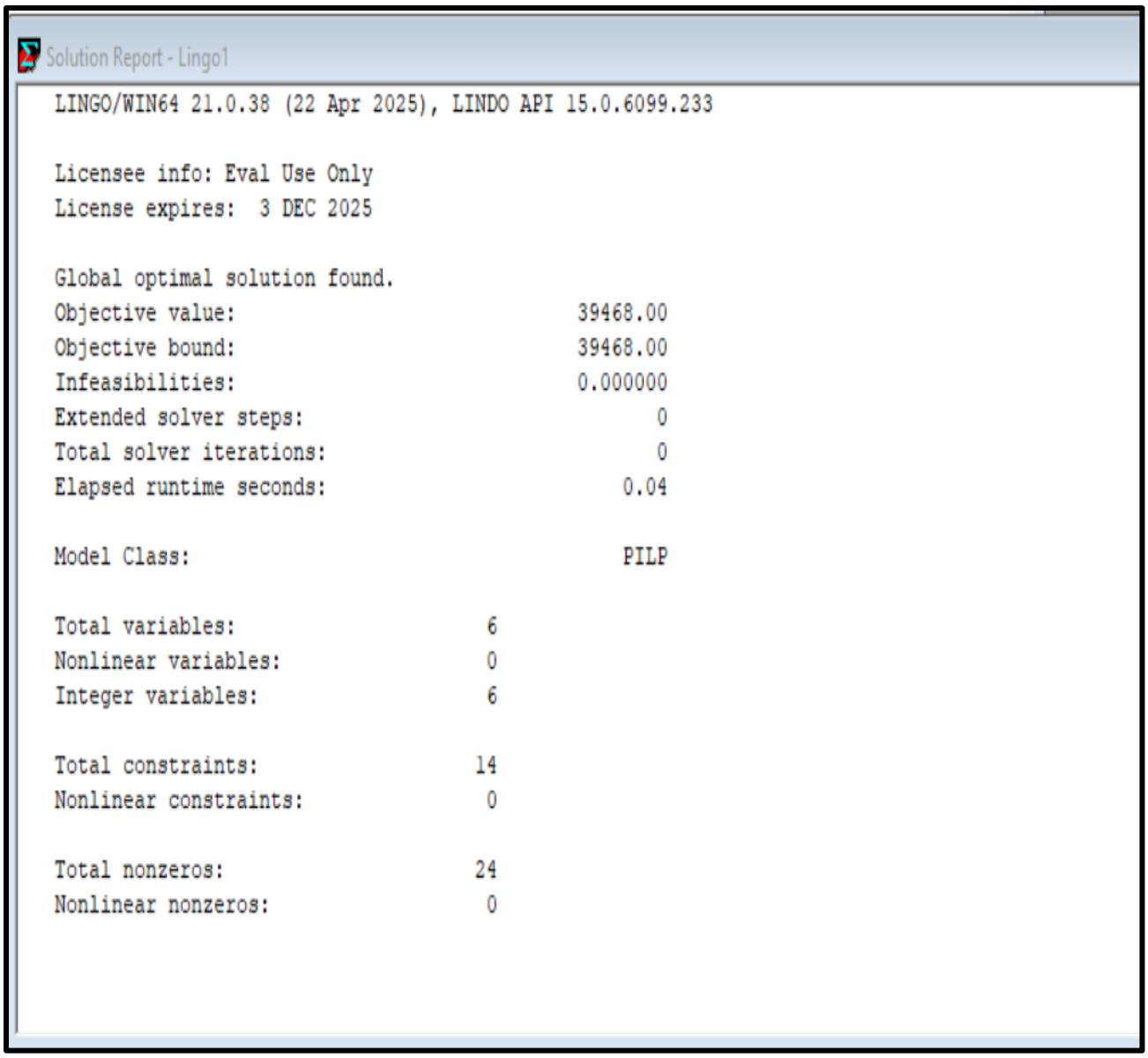
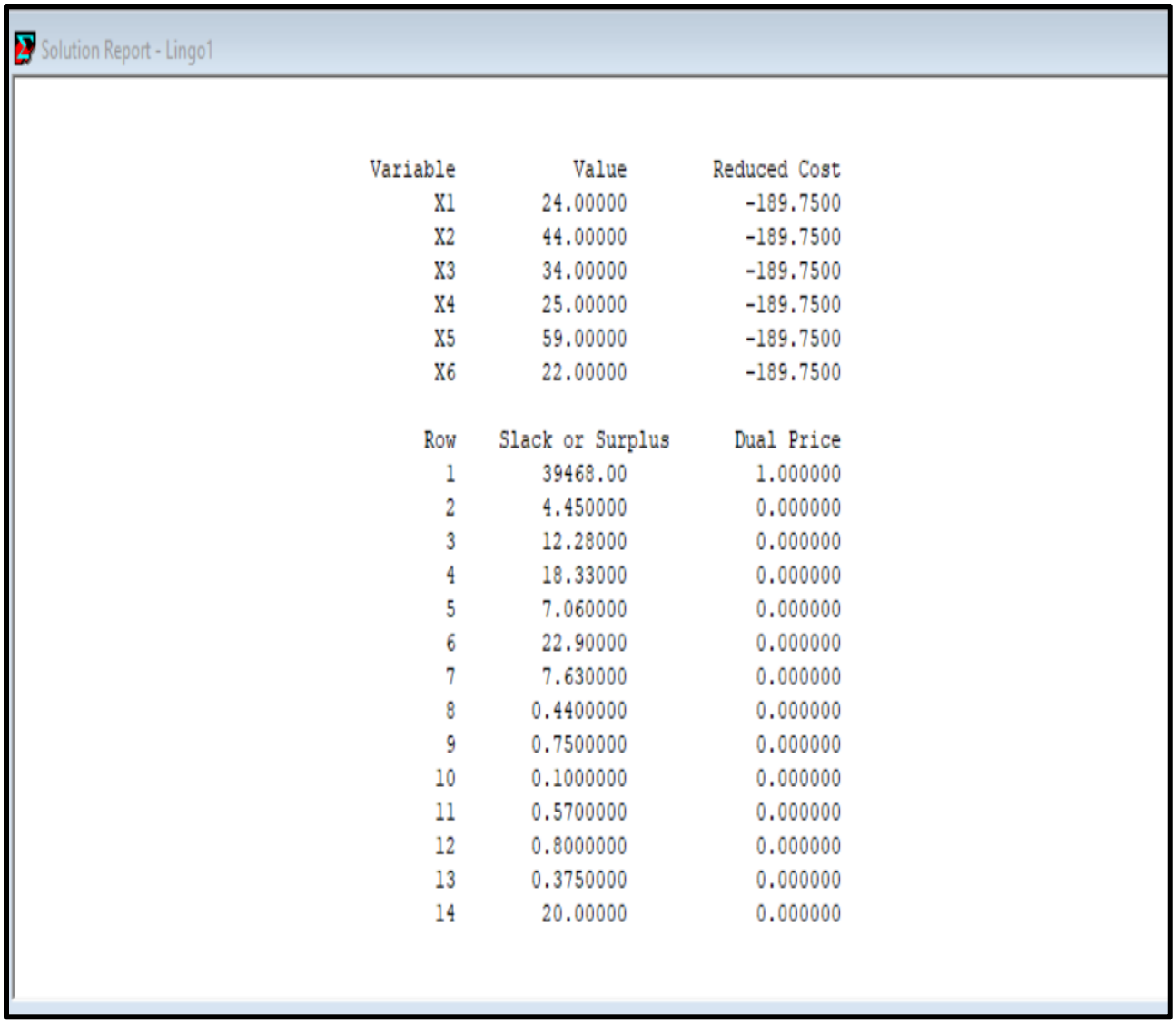


Figura 8: Resultados obtenido por Lingo

Se obtiene una rentabilidad de **S/ 39468.00** con un total de 208 viajes diario. Si un bus realiza 4 viajes por día. En total tenemos que diariamente circulan 52 buses.



Solution Report - Lingo1

Variable	Value	Reduced Cost
X1	24.00000	-189.7500
X2	44.00000	-189.7500
X3	34.00000	-189.7500
X4	25.00000	-189.7500
X5	59.00000	-189.7500
X6	22.00000	-189.7500

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	39468.00	1.000000
2	4.450000	0.000000
3	12.28000	0.000000
4	18.33000	0.000000
5	7.060000	0.000000
6	22.90000	0.000000
7	7.630000	0.000000
8	0.4400000	0.000000
9	0.7500000	0.000000
10	0.1000000	0.000000
11	0.5700000	0.000000
12	0.8000000	0.000000
13	0.3750000	0.000000
14	20.00000	0.000000

Figura 9: Resultados obtenido por Lingo

Asimismo, a través de Lingo obtenemos el número de viajes por franja horaria: 24 viajes en hora madrugada, 44 en hora punta mañana, 34 en hora valle mañana, 25 en hora valle tarde, 59 hora punta tarde y 22 en hora noche.

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

Posteriormente, se llevó a cabo una **comparación entre los resultados** obtenidos y los **ingresos reales** de la empresa.

ANÁLISIS DEL MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE VIAJES.

SITUACIÓN ACTUAL	**VIAJES PROGRAMADOS**	**BUSES**	**RENTABILIDAD**
	168	**45**	**S/ 28,985.00**
MODELO PL	**VIAJES PROGRAMADOS**	**BUSES**	**RENTABILIDAD**
	208	**52**	**S/ 39,468.00**
	ÍNDICE DE CRECIMIENTO		**26.43%**

La implementación de nuestro modelo en la empresa JC BUS S.A. **mejoró la distribución de viajes**, lo que se tradujo en una **disminución de los costos** operativos y un **incremento de la rentabilidad del 26.43%**.

En la actualidad, la cantidad promedio de buses que circulan durante la ruta es 45 buses, realizando un promedio de 168 viajes (No hay una distribución ni frecuencia que salen los buses) lo cual obtiene una rentabilidad de S/ 28 985.00 diario, a comparación con el modelo de programación lineal se tiene que circulan es de 52 buses, realizando un promedio de 208 viajes (una distribución más eficiente en las diferentes franjas horaria) lo cual obtiene una rentabilidad de S/ 38 468.00.

CAPITULO VI: CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

CONCLUSIÓN

1. La aplicación de programación lineal permitió optimizar la asignación de buses, logrando una mejor distribución del servicio en horarios y tramos de alta demanda, lo cual se tradujo en una mayor cobertura de usuarios sin necesidad de incrementar la flota actual.
2. La propuesta está alineada con la meta 11.2 del ODS 11, al ofrecer una solución técnica que mejora el acceso al transporte público, especialmente en sectores donde la cobertura era limitada, promoviendo así una movilidad urbana más inclusiva.
3. La implementación del modelo de programación lineal fomenta una cultura de gestión basada en datos, permitiendo a la empresa tomar decisiones estratégicas respaldadas por evidencia cuantitativa, lo cual fortalece su capacidad de adaptación ante cambios en la demanda y mejora la planificación a mediano y largo plazo.
4. El modelo permitió identificar cuellos de botella operativos, como horarios con exceso de unidades o rutas con baja ocupación, lo que ofrece a la empresa una base técnica para la toma de decisiones futuras.
5. Los usuarios se benefician directamente, con un servicio más predecible, accesible y acorde a sus necesidades, lo que podría incentivar una mayor preferencia por el transporte público.
6. El modelo respeta las restricciones operativas reales de la empresa, como la cantidad de unidades disponibles, los horarios de servicio y la demanda estimada, lo que garantiza su aplicabilidad práctica

RECOMENDACIÓN

1. Implementar progresivamente el modelo propuesto, iniciando con horarios y tramos críticos para evaluar su impacto antes de una aplicación total en toda la ruta.
2. Capacitar al personal operativo (despachadores y conductores) en el uso de herramientas de planificación y seguimiento para asegurar una ejecución eficiente del nuevo esquema de asignación.
3. Monitorear continuamente la demanda de usuarios y actualizar los parámetros del modelo de optimización al menos cada seis meses, para que refleje los cambios en los patrones de viaje.
4. Explorar la integración del modelo con herramientas digitales (como sistemas GPS o software de despacho) que permitan automatizar la toma de decisiones en tiempo real y mejorar aún más la eficiencia del servicio.
5. Promover alianzas con gobiernos locales o el Ministerio de Transporte, para replicar la metodología en otras zonas de Lima con problemas similares de cobertura.
6. Evaluar el impacto social del modelo en términos de satisfacción del usuario, tiempo de viaje y accesibilidad, mediante encuestas o análisis posteriores a su implementación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Ceder, A. (2016). *Public Transit Planning and Operation*. CRC Press.
2. Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introduction to Operations Research*. McGraw-Hill.
3. Taha, H. A. (2012). *Operations Research: An Introduction*. Pearson.
4. Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport*. Wiley.5
5. Church, R., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *Papers in Regional Science*, 32(1), 101–118.6
6. Naciones Unidas. (2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. https://sdgs.un.org/goals
7. Cribillero, D. (2023). Diseño de un modelo de transporte, para la toma de decisiones en la administración del transporte público en la ciudad de Chimbote. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villareal].
8. Mantilla, J. (2023). Modelo matemático basado en algoritmos genéticos para optimizar las utilidades en una empresa de transporte interprovincial de pasajeros. Rev. Cienc. Tecnol,19(2), 11-26.
9. Li, Y. y Lu, S. Study on the optimization of urban passenger traffic structure based on multi-objective linear programming—a case study of Beijing. Environ Sci Pollut Res 28, 10192–10206 (2021). https://doi.org/10.1007/s11356-020-11358-y
10. Wu, Y., Yang, H., Zhao, S., & Shang, P. (2021). Mitigating unfairness in urban rail transit operation: A mixed-integer linear programming approach. Transportation Research Part B: Methodological, 149, 418–442. https://doi.org/10.1016/j.trb.2021.05.009