

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

NADA HUMANO ME ES AJENO

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Licenciatura en Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano

ANÁLISIS DE LA DEMANDA Y TIEMPOS DE ESPERA EN LA LÍNEA 1 DEL CABLEBÚS: DIAGNÓSTICO ACTUAL Y PROYECCIÓN FUTURA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SERVICIO

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADA EN
INGENIERÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO**

PRESENTA:

BLANCA ESTEFANY SAVAGE FONSECA

DIRECTOR DE TESIS

MTRO. GERARDO ANTONIO OSEGUERA PEÑA

Ciudad de México, octubre de 2025

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Índice

Capítulo 1. Planteamiento del problema.....	5
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 Problemática	6
1.3 Hipótesis.....	7
1.4 Justificación	8
Capítulo 2. Marco Teórico.....	9
2.1 Estado del Arte.....	10
2.2. Sistemas de transporte eléctrico por cable	22
2.3. Clasificación y características técnicas de los teleféricos	23
2.4 Sistemas de transporte por cable a nivel internacional.....	29
2.4.1 Cable Aéreo Mariquita (Colombia)	30
2.4.2 Teleférico de Monte en Funchal	32
2.4.3 Metro cable de Medellín.....	33
2.4.4 TransMiCable (Bogotá).....	36
2.4.5 Cable vía-Mono cable fijo: Transporte agroindustrial de productos	37
2.4.6 Teleférico en Bolivia	38
2.4.7 Teleférico de Puebla.....	41
2.4.8 Mexicable Ecatepec.....	41
2.4.9 Cablebús línea 1 - Ciudad de México.....	43
2.4.10 Cablebús línea 2 - Ciudad de México.....	45
2.4.11 Cablebús línea 3- Ciudad de México.....	47
2.5 Proyecto de estudio: Cablebús Línea 1 de la Ciudad de México.....	52
2.5.1 Operación de Cablebús Línea 1.....	52
2.5.2 Diseño de Cablebús Línea 1	53
2.5.3 Sistema de frenado.....	54
2.5.4 Infraestructura: torres	54
2.5.5 Empresa constructora	54
2.5.6 Consideraciones geográficas y sísmicas	54
Capítulo 3. Marco metodológico	58
3.1 Economía del Transporte.....	58
Demanda de transporte de pasajeros.....	58
Oferta de transporte de pasajeros.....	60
Equilibrio entre oferta y demanda.....	61
Modelo de ARIMA	62
Metodología Box-Jenkins para Modelar ARIMA	64
3.2 Modelo de Transporte de Cuatro Etapas	67
1. Modelo de Generación de viajes	69
2. Modelo de Distribución zonal.....	70
3. Modelo de reparto modal	70
4. Asignación	71
3.3 Planificación y Operación del transporte Público	72

3.4 Análisis de información de Movilidad	74
Medidas de Tendencia Central.....	75
3.5 Métodos Cuantitativos Aplicados al Transporte	76
Modelos de colas y simulación	77
Colas de Poisson especializadas.....	79
Modelo M/M/1 : Sistema de colas con llegadas Poisson, servicios exponenciales y un solo servidor	80
Distribución de Poisson	81
Capítulo 4. Resultados y/o propuestas	84
Aplicación de encuesta	84
Características generales de los usuarios encuestados	86
Modelo de Transporte de Cuatro Etapas	93
Modelo de Generación de viajes	93
Modelos de Distribución zonal	95
Modelos de reparto modal	95
Asignación	95
Propuesta basada del Modelo de Transporte de Cuatro Etapas.....	96
Modelo de ARIMA	97
Propuesta basada del Modelo ARIMA	112
Modelo de colas y simulación.....	113
Propuesta basada del Modelo Colas y Simulación	117
Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones	118
Conclusiones	118
Recomendaciones.....	120
Referencias bibliográficas	122
Anexo.....	125

Titulo

Análisis de la demanda y tiempos de espera en la Línea 1 del Cablebús: diagnóstico actual y proyección futura para mejorar la eficiencia del servicio.

Problema central

La ineficiencia en la gestión de la demanda y los tiempos de espera en la Línea 1 del Cablebús, derivada de un diagnóstico incompleto sobre el comportamiento actual de los usuarios y la falta de proyecciones adecuadas, limita la capacidad del sistema para satisfacer las necesidades de movilidad de la población, lo que afecta su eficacia como solución de transporte público sostenible.

Descripción

Las limitantes e insuficiencias de la operación en el servicio del sistema Cablebús línea 1 se hacen evidentes durante las Horas de Máxima Demanda. En las terminales de Cuauhtepac, entre las 6:00 a.m. y las 9:30 a.m., así como en Indios Verdes, de 17:00 a 21:00 horas, se observa una notable aglomeración de usuarios. Esto genera diversos problemas que incluyen largas filas de espera en accesos y terminales, demoras en el abordaje de las cabinas para completar los viajes de origen a destino, y tiempos de espera superiores a los promedios de otros servicios de transporte público.

Además, los usuarios han tenido que ajustar sus horarios habituales de salida para llegar a tiempo a sus actividades, afectando sus planes de viaje. Esta situación se agrava debido a la gran población periférica que utiliza el servicio, un problema que podría intensificarse en el futuro, dado el crecimiento constante de la población. Este aumento contribuye significativamente a la saturación del sistema y altera el equilibrio entre la oferta y la demanda.

Capítulo 1. Planteamiento del problema

El acelerado crecimiento de la demanda de transporte en la zona norte de la Ciudad de México ha puesto en evidencia las limitaciones operativas de la Línea 1 del Cablebús. Este sistema, concebido como una alternativa de movilidad sustentable e innovadora, enfrenta actualmente retos significativos en su operación cotidiana. Entre los principales se encuentran la saturación durante las Horas de Máxima Demanda (HMD), los tiempos de espera prolongados y la carencia de modelos predictivos que permitan anticipar y mitigar dichas condiciones. Estas deficiencias afectan la calidad del servicio, reducen la confiabilidad percibida por los usuarios y limitan la eficiencia operativa.

En este contexto, resulta imprescindible contar con un diagnóstico técnico-operativo integral y con herramientas de predicción de demanda que respalden la toma de decisiones y la planificación estratégica. Este capítulo presenta los antecedentes, la problemática, la hipótesis, los objetivos y la justificación que sustentan la presente investigación.

1.1 Antecedentes

La Línea 1 del Cablebús, inaugurada en julio de 2021, es el primer sistema de teleférico urbano en la Ciudad de México. Su función principal es conectar la zona de Cuauhtémoc con Indios Verdes, integrando a sus usuarios con la Red de Transporte de Pasajeros de la Ciudad de México (RTP), Metro y el Metrobús, y ofreciendo una alternativa de movilidad segura, sustentable y eficiente. Este sistema se implementó con el objetivo de reducir los tiempos de traslado en áreas con alta densidad poblacional y limitada infraestructura vial.

A cuatro años de su puesta en marcha, el sistema ha registrado una demanda superior a la proyectada en su diseño original. La capacidad instalada de 5,000 pasajeros por hora-sentido ha

sido superada en determinados periodos, particularmente durante las Horas de Máxima Demanda (HMD), cuando la afluencia se aproxima al doble de lo estimado. Esta situación ha provocado cuellos de botella en las terminales, tiempos de espera que superan los 15 minutos y una disminución en la calidad del servicio.

Estos incrementos de demanda no solo responden al crecimiento natural de la población usuaria, sino también a la atracción de pasajeros provenientes de municipios conurbados del Estado de México, como Ecatepec, Coacalco, Tultitlán y Tlalnepantla, quienes utilizan el sistema como parte de sus desplazamientos diarios.

A pesar de su relevancia como infraestructura de transporte, el sistema carece de estudios técnicos recientes que permitan evaluar su desempeño real, y anticipar escenarios de saturación. La ausencia de modelos de predicción de demanda limita la capacidad de los operadores para implementar medidas preventivas y ajustar la operación conforme a las necesidades actuales.

1.2 Problemática

La Línea 1 del Cablebús enfrenta un desafío operativo derivado de la desalineación entre su capacidad instalada y la demanda real de pasajeros, particularmente en las Horas de Máxima Demanda. Este desajuste genera tiempos de espera prolongados, congestión en estaciones clave y disminución en la eficiencia del servicio.

A esta situación se suma la falta de herramientas analíticas de carácter predictivo y de diagnósticos técnicos actualizados que respalden la planificación operativa. Actualmente, las estrategias de gestión responden de manera reactiva ante los incrementos de demanda, lo que dificulta implementar acciones preventivas que optimicen el servicio.

Frente a este panorama, es necesario desarrollar un modelo que permita predecir la demanda futura y evaluar su impacto sobre los tiempos de espera y el nivel de servicio, de manera que se optimicen los recursos y se garantice una movilidad más eficiente, confiable y segura para los usuarios.

1.3 Hipótesis

Si la demanda de pasajeros de la Línea 1 del Cablebús mantiene la tendencia observada en los datos históricos, entonces la capacidad operativa actual podría ser suficiente para satisfacer la demanda proyectada en los próximos seis meses.

Objetivo general

- Desarrollar un algoritmo que permita predecir la demanda en la Línea 1 del Cablebús, con el fin de anticipar incrementos en los tiempos de espera y plantear estrategias operativas que mejoren la eficiencia del servicio y reduzcan los tiempos de recorrido de los usuarios.

Objetivos específicos:

- Incrementar la eficiencia del servicio para mejorar los tiempos de traslado de los usuarios, así como la percepción de la calidad del servicio.
- Identificar las estrategias que favorezcan el abordaje de usuarios en las HMD, aplicando teorías cualitativas y cuantitativas desde el enfoque de Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano (ISTU).
- Diagnosticar el comportamiento actual de la demanda y los tiempos de espera en la Línea 1 del Cablebús mediante trabajo de campo, encuestas y análisis de datos operativos.

- Proponer recomendaciones concretas para mejorar la eficiencia del servicio, especialmente en las HMD, basadas en los resultados del diagnóstico actual y las proyecciones futuras.

1.4 Justificación

El presente estudio busca aportar soluciones concretas para la mejora del servicio de la Línea 1 del Cablebús, mediante la generación de información técnica precisa que respalde decisiones operativas estratégicas. La implementación de un algoritmo de predicción de demanda permitirá anticipar escenarios de saturación, optimizar la asignación de recursos y diseñar estrategias que reduzcan los tiempos de espera.

La combinación de la teoría de colas y el modelo de las cuatro etapas del transporte, junto con el análisis de datos reales obtenidos mediante trabajo de campo y encuestas, ofrece un enfoque metodológico robusto. Esto no solo permitirá diagnosticar de manera detallada el estado actual del servicio, sino también proyectar escenarios futuros y plantear propuestas concretas para mejorar la eficiencia del sistema.

Asimismo, la presente investigación constituye un aporte técnico y social relevante al estudio del sistema de transporte Cablebús, al abordarlo desde una perspectiva profesional y formal que, en muchos casos, no se encuentra claramente desarrollada, documentada o disponible en este tipo de proyectos de movilidad. Este trabajo no solo ofrece un diagnóstico y proyecciones específicas para la Línea 1, sino que también genera un marco metodológico replicable para otros sistemas de teleférico y transporte masivo, contribuyendo así a la planeación integral de la movilidad urbana y a la mejora de la experiencia de los usuarios en sus distintas etapas evolutivas.

Capítulo 2. Marco Teórico

El presente capítulo tiene como propósito establecer las bases conceptuales y técnicas que sustentan el análisis de la demanda y los tiempos de espera en la Línea 1 del Cablebús. Para ello, se integran diversos ejes temáticos que permiten una aproximación sistemática al objeto de estudio, abordando desde aspectos generales del sistema de transporte por cable hasta la caracterización específica del sistema Cablebús implementado en la Ciudad de México.

2.1 Estado del arte. En esta sección se revisan antecedentes teóricos y empíricos sobre sistemas de transporte por cable utilizados para la movilidad urbana en contextos de difícil acceso topográfico. Se analizan estudios previos y publicaciones científicas que han abordado la planificación, operación y evaluación de teleféricos urbanos, así como modelos de análisis de demanda aplicados a este tipo de sistemas.

2.2 Sistemas de Transporte Eléctrico por Cable. Se describe la tipología de los sistemas de transporte por cable que operan mediante tracción eléctrica. Actualmente, se reconocen tres tipos principales de este tipo de transporte: los funiculares, los teleféricos y los telesquíes, cada uno con características técnicas y operativas particulares.

2.3 Clasificación y características técnicas de los teleféricos. En este apartado se detallan los elementos técnicos fundamentales del sistema teleférico, incluyendo el tipo de cable portante-tractor, diseño de las estaciones, vehículos (cabinas), mecanismos de control y dirección, así como los parámetros de operación. Esta información es esencial para comprender las condiciones de oferta del sistema en relación con la demanda de movilidad.

2.4 Sistemas de transporte por cable a nivel internacional. Se realiza una revisión comparativa de experiencias internacionales en la implementación de teleféricos urbanos, desde sus orígenes hasta su integración en sistemas de transporte multimodal contemporáneos. Este análisis permite

situar el caso del Cablebús en un contexto global, resaltando sus similitudes y diferencias en cuanto a objetivos, desempeño y adaptabilidad social.

2.5. Proyecto de estudio: Cablebús Línea 1 de la Ciudad de México. Este apartado presenta una caracterización integral del sistema de transporte por cable, la Línea 1 del Cablebús, objeto de estudio de la presente tesis. Se aborda su configuración física y operativa, así como los principales parámetros técnicos que definen su funcionamiento.

Además, se examinan los patrones de demanda actuales y los retos operativos que enfrenta el sistema, particularmente durante la Hora de Máxima Demanda (HMD). Este análisis permite evidenciar la necesidad de implementar estrategias de gestión dinámica de la oferta y optimización operativa, en respuesta al comportamiento variable de la demanda en zonas urbanas de alta densidad como la alcaldía Gustavo A. Madero, donde se ubica el sistema.

Al concluir este capítulo, se dispondrá de un marco conceptual y técnico sólido que permitirá contrastar los hallazgos obtenidos en el trabajo de campo con los principios teóricos y metodológicos propios de la ingeniería del transporte urbano. Esta base teórica no solo sustenta el análisis de la demanda y los tiempos de espera en el sistema Cablebús Línea 1, sino que también orienta el diseño de propuestas operativas y estratégicas enfocadas en mejorar su eficiencia y capacidad de respuesta ante variaciones en la demanda.

2.1 Estado del Arte

El estado del arte recoge las principales investigaciones y antecedentes relacionados con la implementación y análisis de los sistemas de transporte aéreo por cable, con especial atención a su eficiencia operativa, la gestión de la demanda y los tiempos de espera. Esta revisión tiene como propósito contextualizar el estudio de caso específico de la Línea 1 del Cablebús, un sistema que, si bien representa una solución innovadora y sostenible para mejorar la movilidad

urbana en zonas de difícil acceso, enfrenta retos en su operación cotidiana, especialmente relacionados con la eficiencia del servicio y la satisfacción de la demanda de los usuarios.

Para este apartado, se realizó una revisión exhaustiva de literatura nacional e internacional, identificando un total de 20 trabajos académicos relevantes al tema. De estos, 9 corresponden a artículos de revistas científicas y 11 son tesis académicas (6 de licenciatura, 4 de maestría y una de doctorado). Estos estudios fueron consultados a través de diversas plataformas como Tesis UNAM, Biblioteca Digital UACM, Dialnet, Conacyt, Scielo y Google Academic empleando palabras clave relacionadas con el objeto de estudio, tales como: Teleférico, movilidad, accesibilidad, Cablebús, Metrocable, Cable aéreo, sistema de transporte aéreo, sistemas guiados por cables, sistemas de transporte inteligente, electromecánica, infraestructura de transporte, electromovilidad, cabinas, entre otras.

Los trabajos recopilados abordan temáticas diversas, entre ellas:

- El papel del Cablebús como solución a la movilidad urbana en zonas marginadas o de topografía compleja.
- El impacto social y urbano derivado de la implementación del sistema.
- La interacción del sistema con las políticas públicas, sus limitaciones y alcances.
- Las percepciones de los usuarios sobre calidad, tiempos de espera y eficiencia.
- Las condiciones operativas que afectan el rendimiento del sistema, incluyendo la capacidad instalada y la demanda real.

Estas investigaciones provienen de distintos campos del conocimiento, tales como ingeniería, arquitectura, urbanismo, administración pública, geografía, planeación y sostenibilidad, y permiten establecer una base teórica sólida para el desarrollo de un diagnóstico actual de la Línea 1 del Cablebús y una proyección futura que contribuya a mejorar la eficiencia del servicio.

Como resultado del análisis de estos 20 documentos, fue posible identificar tres categorías clave que estructuran el conocimiento existente y que están directamente relacionadas con el problema central de esta investigación:

- A. El sistema Cablebús y su influencia en el desarrollo urbano.
- B. El Cablebús como respuesta a los problemas de movilidad en contextos urbanos específicos.
- C. Las ineficiencias operativas y desafíos en la gestión de la demanda y los tiempos de espera, que inciden directamente en la calidad del servicio.

Estas categorías sirven como base para comprender las fortalezas y limitaciones del sistema Cablebús, particularmente de su Línea 1, y permiten enfocar la presente investigación en la evaluación y mejora de los aspectos operativos del servicio, con énfasis en los tiempos de espera, la gestión de la demanda y la eficacia del sistema como medio de transporte público sostenible.

Comenzando con la categoría A, correspondiente a el sistema Cablebús y su influencia en el desarrollo urbano se encontraron 9 trabajos;

(Agudelo Velez et al., 2011)

El transporte urbano en cable incluyendo variables latentes - Caso Medellín – Colombia.

Análisis del impacto del sistema de cable aéreo.

Los sistemas de cable por lo limitado de su cobertura y por sus características, no alcanzan a cubrir la totalidad de las necesidades propias de la vida cotidiana de la población. Sólo atiende las necesidades de desplazamiento de una parte de la población, es complementario a los sistemas tradicionales terrestres.

Astorga & Villavicencio (2023)

Análisis socio técnico de los teleféricos como innovación en el servicio público de transporte. La tecnología de teleféricos es importada, su implementación ha implicado innovaciones organizacionales, institucionales y de infraestructura que se proponen analizar comparando las distintas líneas de la megalópolis mexicana. "El análisis socio técnico aplicado al caso de los teleféricos permitirá contar con un mapeo de actores, secuenciación de funcionamiento o no funcionamiento de artefactos y la identificación de factores ambientales, tecnológicos, legales, políticos, económicos y socioculturales involucrados, las reglas de juego y su contribución a la solución del problema de movilidad; y en enfoque de las capacidades estatales permitirá discernir la forma en que el gobierno local moviliza recursos y crea reglas institucionales para la puesta en marcha del nuevo sistema público de transporte. En la sustentabilidad ante las problemáticas derivadas del cambio climático, contribuir al desarrollo de marcos analíticos que expliquen los procesos de transiciones tecnológicas a mayor escala en contextos latinoamericanos, se torna necesario".

(Barrón Ortega, 2021)

Influencia de un sistema de Transporte Teleférico en la calidad de vida de las personas. Estudio de caso Mexicable Ecatepec.

De qué manera influyó el teleférico Mexicable en la calidad de vida urbana de los habitantes de las colonias aledañas a este sistema de transporte. Con la llegada del teleférico existieron cambios detallados como los espacios públicos, reducción en costos y tiempos de traslado, regeneración urbana, entre otros, en efecto, lograron elevar la percepción de la Calidad de Vida Urbana (CVU) de la población en general, a tal punto que de estar en un nivel 2 o "Malo", actualmente se encuentra en un nivel 4 o "Bueno".

(Medina de la Rosa, 2016)

Ejecución de la obra civil de la obra denominada "Proyecto Integral para la construcción del teleférico en la zona de los fuertes, municipio de Puebla".

La planeación y construcción de la obra denominada "PROYECTO INTEGRAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TELEFÉRICO EN LA ZONA DE LOS FUERTES, MUNICIPIO DE PUEBLA";

Se ejecutó conforme a las normas técnicas en vigor, sin embargo, se observan algunas limitaciones desde el punto de vista operativo. La hipótesis es positiva, porque se ejecutó conforme a las normativas en vigor; y en el caso de las limitaciones con el anterior teleférico que se iba a implementar no contaba con permisos de las instancias correspondientes para su construcción y tuvo impacto en cuestiones sociales y normativas que se pasaron por alto.

(Choquevillca Quispe, 2021)

Nivel de satisfacción del cliente respecto al servicio de transporte por cable "Mi Teleférico".

Calidad de servicio que brinda la empresa estatal "Mi Teleférico" a sus clientes mediante la valoración del nivel de satisfacción. (Percepciones y Expectativas de los clientes). Como resultado general de la investigación se identificó la valoración global de la calidad promedio que reciben los usuarios del "Teleférico" y se determina que es buena la satisfacción de los usuarios ante la calidad que brinda la empresa estatal de transporte por cable "Mi Teleférico".

(Julián Quintero et al., 2015)

El transporte por cables y su papel en la movilidad urbana sostenible.

Los conflictos de movilidad urbana representan una problemática creciente en aquellas ciudades que se ven inmersas en el desmedido aumento de sus parques automotores, así como de la cantidad de viajes que requieren los usuarios de los sistemas de transporte, aspectos que se derivan del desarrollo económico propio de ciudades, una constante de cualquier asentamiento

urbano en la actualidad. El transporte por cables son sistemas efectivos, seguros, cómodos, rápidos, y con importantes beneficios en el medio ambiente, una alternativa que podría aportar a mejorar las condiciones de la movilidad urbana en las ciudades de Latinoamérica.

(Morales Peña, 2023)

Cablebús línea 1 Indios Verdes- Cuauhtepac, Ciudad de México. Políticas de infraestructura y promesa de movilidad para la ciudadanía.

La Línea 1 del Cablebús es una infraestructura que surge de una política de gobierno enfocada a la movilidad o un instrumento político que promete movilidad. "Su dotación y mejora, desde nuestra perspectiva, bloquea la reflexión de temas tales como la irregularidad (en cuanto a la certeza jurídica y de riesgo de habitar en esta zona de la ciudad) y la atención que debiesen tener otras temáticas como las vialidades, el agua potable o energía eléctrica y servicios básicos como seguridad, educación y abastecimiento. En consecuencia, la aplicación del denominado urbanismo táctico ha demostrado que, sólo se trata de un embellecimiento y ocultamiento de la pobreza en la que habita la periferia de la Ciudad de México".

(Tinoco Fabila, 2022)

Análisis del Cablebús Línea 2 como transporte público urbano y su impacto en la percepción de bienestar de la población periférica de la Alcaldía Iztapalapa.

Identifica si existe un cambio en la percepción poblacional sobre su grado de bienestar en torno a la apertura Cablebús Iztapalapa. El sistema de transporte Cablebús Línea 2 (CBL2) contiene un elemento de sostenibilidad que beneficiará a la población actual y futura sobre su calidad de vida. Su nivel de bienestar se mantuvo igual después de la construcción del Cablebús en su localidad, el 45% de la población considera que su nivel de ingreso mejoró después del transporte urbano. La calidad de vida aumento.

(Jaramillo Zúniga, 2023)

Arquitectura para el sistema de transporte público aéreo por cable y su impacto en zonas periférica. El caso del Cablebús Línea 1 (Indios Verdes a Cuauhtépec) en la Ciudad de México. Condiciones de desigualdad dentro de la periferia norte de la Ciudad de México (Alcaldía Gustavo A. Madero). Mejora los tiempos de traslado, se producen impactos que se deben asumir por parte de la población y se deben adaptar a ellos.

En segundo lugar, la categoría B, relativa a el Cablebús como respuesta a los problemas de movilidad en contextos urbanos específicos se revisaron 7 documentos;

(Velásquez Villada, 2018)

Impacto del proyecto de transporte tipo cable aéreo en la accesibilidad de la Ciudad de Pereira. Disminuir los tiempos de viaje de diferentes barrios con el centro de la ciudad. Los resultados demuestran una disminución aproximada del 1.20 % en los tiempos de viaje para el 95.60 % de la población, lo que representa un impacto positivo, también por los beneficios secundarios que podrían generarse ya sea como atractivo turístico o como motor en la incidencia de los habitantes de Villa Santana en el ambiente laboral de la ciudad.

(Cañón Rubiano et al., 2020)

Teleféricos Urbanos como Sistemas de Transporte Público.

Problemas de accesibilidad y conectividad de los asentamientos en laderas, en su mayoría informales y con escasez de servicios. Ciudades como Medellín, Bogotá, La Paz, Ciudad de México o Santiago de Chile. 21 casos de estudio comprenden proyectos de teleféricos de referencia a nivel internacional. Fueron seleccionados como ejemplos de buenas prácticas con base a sus características generales. Se intenta otorgar dos miradas; una perspectiva aérea, mirando la infraestructura, y otra a escala del usuario, estudio de dos estaciones.

(Gómez Reyes, 2021)

El teleférico como sistema de transporte urbano en “La Paz- El Alto”.

Congestionamiento de carreteras principales y saturación al transporte público por carretera. La red de teleféricos ha favorecido a un funcionamiento adecuado de la infraestructura de la urbe dando un suspiro a las vías principales.

(Ortega González, 2018)

Teleférico de Santo Domingo.

Este proyecto estuvo determinado por la necesidad de una solución de movilidad integral segura y digna para más de 287,000 ciudadanos. Integración física y tarifaria representan un modelo de gestión sostenible desde un punto de vista social, económico. Solución factible para la interconexión de las comunidades marginadas del Gran Santo Domingo.

(Arguelles Toache, 2018)

Desarrollo de un concepto operativo sobre la innovación en servicios públicos. Un acercamiento desde los teleféricos para el transporte público implementados en América Latina.

Valor de uso y valor público del transporte público de América Latina. Se identificaron las principales razones por las que los teleféricos son un servicio público beneficioso para intereses comunes de la localidad. Las características técnicas de los teleféricos contribuyeron a la creación de valor de uso que fue entregado a los usuarios, a través de una mayor seguridad en la movilidad, menos tiempo de traslado, mayor accesibilidad al sistema y mayor comodidad.

(Zamora Valdez, 2023)

Movilidad urbana y exclusión social: La necesidad de una línea de Cablebús para la zona de barrancas en Álvaro Obregón.

¿Cuál es la relevancia de implementar un sistema de transporte eléctrico como el Cablebús, para generar procesos de inclusión social en la zona de barrancas (asentamientos humanos irregulares, colonias y pueblos originarios) en Álvaro Obregón?. Son varios los beneficios del transporte en su forma de teleférico como medio de inclusión a través de un mayor acceso a la movilidad de los asentamientos marginados. Teniendo un impacto positivo estos proyectos de teleféricos y medibles en la movilidad de las personas y acceso a las oportunidades de las ciudades.

(Duarte, 2021)

Modernización del transporte público en la periferia urbana: ¿el fin del transporte informal?
Caso de estudio: sistema de cable aéreo Transmicable en la localidad de Ciudad Bolívar, Bogotá – Colombia.

Analizar el comportamiento del transporte informal frente a la incursión del sistema Transmicable como parte del proceso de modernización en la oferta de transporte público en la periferia urbana. Los resultados muestran que la incursión del Sistema Transmicable (TMC) no tuvo mayores afectaciones en el servicio del Transporte informal, sino que, por el contrario, incentivó la aparición de una nueva ruta que conecta la zona rural de la localidad con el sistema TMC.

Para finalizar, la categoría C, correspondiente a las ineficiencias operativas y desafíos en la gestión de la demanda y los tiempos de espera, que inciden directamente en la calidad del servicio, se revisaron 4 documentos;

(A. Escobar et al., 2015)

Medición de Desempeño del Sistema de Transporte Cable Aéreo de la Ciudad de Manizales en Colombia, usando Tres Enfoques: Analítico, Simulado y de Accesibilidad Urbana.

Baja tasa de uso del sistema de transporte. 10.06%. de probabilidad de encontrar el sistema saturado en temporada alta entre estaciones. En promedio las cabinas del Cable Aéreo de Manizales tienen una tasa de uso del 49.6%, con un tiempo promedio de desplazamiento de 9.8 minutos y un tiempo de espera promedio de 2.4 minutos.

(Quintero González, 2018)

Transporte público mediante cables, desde lo ambiental, lo social y lo económico: análisis de la legislación y normativa en Colombia (1989-2015).

La política pública no es suficiente para la implementación y explotación de los sistemas de transporte mediante cables en las ciudades de Colombia. Se requiere de manera inmediata la intervención del Estado en la creación de leyes, normas, planes, programas y proyectos que cimiente las bases para una política pública favorable para la implementación y operación de sistemas de transporte público por medio de cables.

(Velarde Chuquimia, 2018)

Movilidad cotidiana: El caso de los teleféricos en los municipios de Medellín, La Paz, El Alto y Ecatepec.

La implementación de los sistemas de transporte por cable en los municipios de La Paz, El Alto, Medellín y Ecatepec ha mejorado la movilidad cotidiana de una fracción de los habitantes de estas ciudades, permitiéndoles movilizarse de una forma barata, rápida, segura y cómoda. Se ha mejorado la movilidad en términos de calidad y de seguridad, pero no así en cantidad. los sistemas por cable difieren de la realidad de los usuarios que día a día afrontan los problemas del servicio, como las enormes filas realizadas, la inseguridad saliendo de los cables, los transbordos, entre otros. Los tiempos de viaje en los teleféricos resultan ser cortos, sin embargo, lo que hace que los tiempos dentro del sistema se alarguen son las filas que los usuarios deben hacer sobre todo en horas pico.

(Ramírez Bautista, 2020)

Efectos en la movilidad a partir de la implementación del sistema de transporte público Mexicable, en la región de San Andrés de la Cañada, Ecatepec.

Conocer la dinámica de movilidad en la región de San Andrés de la Caña (Ecatepec), a partir de la implementación del Mexicable. El mexicable tiene pocas alternativas de conexión con otros medios de transporte, lo que implica que los usuarios recurran a taxis colectivos, provocando un gasto doble. Tiene una limitada intermodalidad, pero los viajes en Mexicable tienen menor tiempo de duración (reducción de tiempos de traslado de las personas).

A continuación, se analizan con mayor profundidad las tres categorías identificadas en la revisión bibliográfica, con el propósito de determinar cuáles de ellas aportan directamente al presente trabajo de investigación.

En primer lugar, las categorías A y B se centran principalmente en el papel del teleférico como herramienta de transformación urbana y solución a problemas generales de movilidad. Los estudios incluidos en estas categorías abordan una variedad de dimensiones: desde factores ambientales (como la baja emisión de gases contaminantes), aspectos territoriales y topográficos, hasta cuestiones legales, políticas, económicas, tecnológicas y socioculturales. Asimismo, destacan beneficios como la regeneración urbana, el atractivo turístico, la percepción de bienestar por parte de los usuarios y la mejora en la conectividad urbana.

No obstante, si bien estos enfoques son valiosos para comprender el impacto multidimensional de los sistemas de transporte por cable, no se alinean directamente con el enfoque de esta investigación, la cual se centra en el análisis técnico-operativo del servicio en la Línea 1 del Cablebús (CBL1), con el objetivo final de reducir los tiempos de recorrido de los usuarios y optimizar la capacidad del servicio en función de la demanda proyectada. Por ejemplo, en la

categoría A se examinan temas como la calidad de vida urbana, la planeación urbana y la satisfacción del usuario desde una perspectiva general, mientras que en la categoría B se destacan mejoras en la movilidad y la accesibilidad territorial. Si bien el proyecto CBL1 ha generado impactos positivos en estas dimensiones, tales beneficios no son el objeto de análisis en este estudio.

En cambio, la categoría C resulta particularmente relevante para esta investigación, ya que reúne estudios centrados en el análisis operativo del sistema de transporte por cable. Los trabajos incluidos en esta categoría abordan de forma específica temas como los tiempos de espera, la saturación en horas pico, la experiencia del usuario en el servicio, la capacidad del sistema, y otros aspectos técnicos relacionados con la gestión de la demanda. Estos elementos son fundamentales, pues se relacionan directamente con el problema central del presente estudio: la ineficiencia en la operación del sistema Cablebús Línea 1, ocasionada por una falta de diagnóstico detallado del comportamiento de los usuarios y la ausencia de herramientas predictivas.

Además, cabe resaltar que, aunque algunos documentos de esta categoría mencionan diagnósticos operativos satisfactorios en otros sistemas, hasta el momento no se ha documentado una evaluación operativa integral para la Línea 1 del Cablebús (CBL1). Por ello, esta investigación representa una oportunidad significativa para aportar conocimiento nuevo, mediante el desarrollo de un algoritmo que permita pronosticar la demanda en la Línea 1 del Cablebús (CBL1). Esto facilitará la identificación anticipada de posibles incrementos en los tiempos de espera y permitirá proponer mejoras concretas en los tiempos de recorrido, conforme al objetivo general planteado.

En síntesis, el estado del arte permite reconocer los principales enfoques y metodologías aplicados en el estudio de la movilidad urbana. Este panorama constituye la base conceptual para profundizar en sistemas específicos como el transporte por cable, cuyo análisis técnico se desarrolla en el siguiente apartado.

2.2. Sistemas de transporte eléctrico por cable

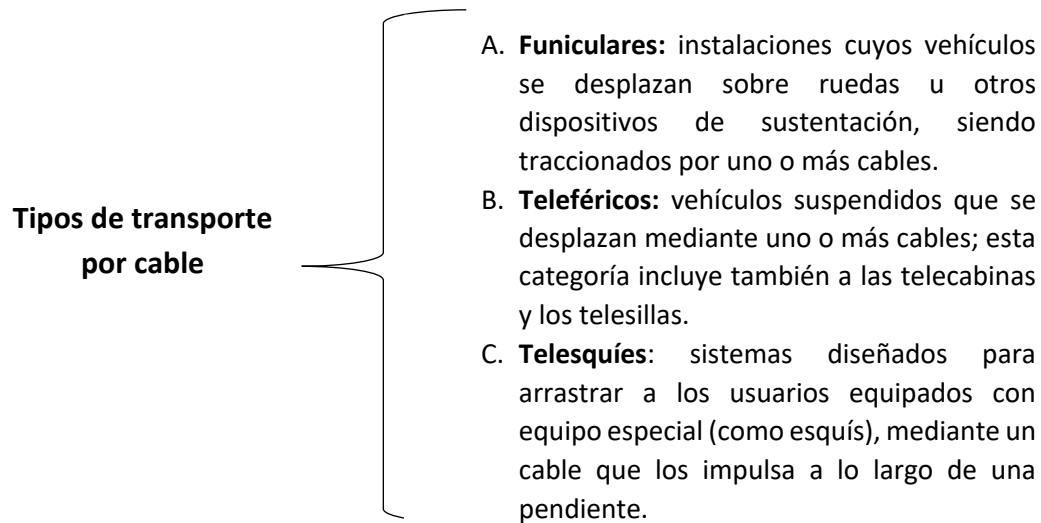
En segundo lugar, se aborda el tema de los sistemas de transporte eléctrico, haciendo énfasis en aquellos que operan por medio de cables, los cuales utilizan energía eléctrica como fuente de suministro.

En la Figura 1 se presenta una clasificación de los distintos tipos de transporte por cable. En la actualidad, estos sistemas se denominan de diferentes maneras según sus características técnicas y funcionales. Hasta el día de hoy, se reconocen tres principales tipos de transporte por cable: los funiculares, los teleféricos y los telesquíes.

Estos sistemas han sido implementados principalmente en zonas de difícil acceso, como áreas montañosas, con pendientes pronunciadas, lagos, calles angostas o regiones urbanas densamente pobladas. Su aplicación responde a la necesidad de dotar a estas zonas con un medio de transporte eficiente que atienda la creciente demanda de movilidad. Conforme las ciudades se expanden, especialmente en regiones geográficamente complejas, el transporte por cable se convierte en una alternativa viable y sustentable.

De manera general, el transporte de personas por cable se define como aquel que emplea cables metálicos a lo largo de su recorrido, ya sea para constituir la vía de circulación de los vehículos o para transmitirles el esfuerzo motriz o de frenado necesario (Arcay Orro, Ordax Novales, & Bugarin Rodríguez, 2003).

Figura 1.
Tipos de transporte por vía cable.



Fuente: Elaboración propia con información de (Transporte por cable, 2003, pág. 10).

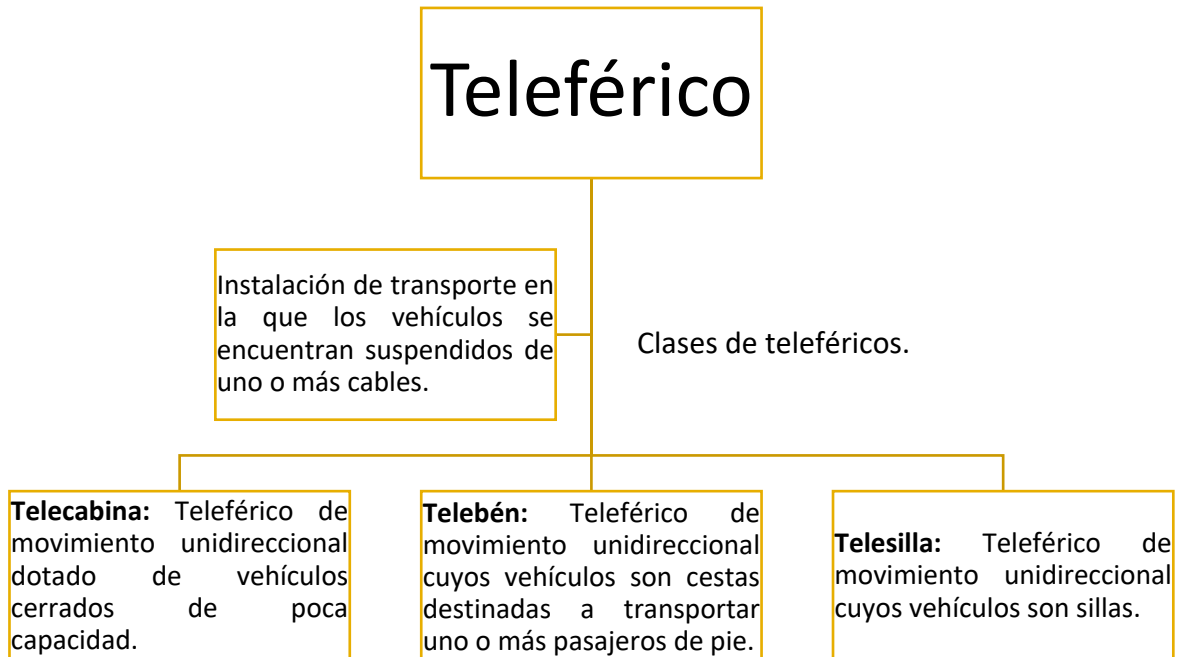
El estudio de los sistemas eléctricos por cable evidencia la versatilidad de esta tecnología y sus ventajas frente a modos tradicionales en contextos urbanos complejos. Comprender su tipología y funcionamiento resulta esencial para detallar las características técnicas de los teleféricos urbanos, que se presentan en el siguiente apartado.

2.3. Clasificación y características técnicas de los teleféricos

Dentro de los diferentes tipos de transporte por cable, el de mayor relevancia para este estudio es el teleférico, ya que corresponde al sistema actualmente implementado en la Línea 1 del Cablebús, objeto principal de esta investigación.

En la Figura 2 se presenta la clasificación de los teleféricos en tres categorías principales: telecabina, teleférico bicable (telebén) y telesilla. Asimismo, se incluye una breve descripción de las características y particularidades de cada uno de estos sistemas.

Figura 2.
Clases de Teleféricos.



Fuente: Elaboración propia con información de (Transporte por cable, 2003, pág. 10).

Después de analizar la clasificación general de los teleféricos y sus principales características, es pertinente profundizar en los elementos técnicos que conforman este sistema de transporte. En la Tabla 1 se detallan los componentes estructurales del teleférico, destacando la existencia de distintos tipos de cables cuya elección depende de factores como el peso de las cabinas, la distancia a recorrer y las condiciones del terreno.

Estos cables pueden clasificarse en tres tipos: cable portante, cable tractor y cable transportador. Su disposición puede variar, circulando por vías aéreas o terrestres, en función de las características topográficas y de diseño del sistema.

Asimismo, tanto la elección del tipo de cable como la modalidad de circulación están determinadas por variables técnicas como el peso total del sistema, la distancia entre estaciones, la tracción requerida, las condiciones del viento y la altura del recorrido. En este sentido, se distinguen dos configuraciones principales: teleféricos monocables y bicables.

Por otro lado, el movimiento de las cabinas puede realizarse bajo tres modalidades:

- Movimiento reversible (también conocido como vaivén),
- Movimiento unidireccional o circulante, y
- Movimiento continuo o intermitente.

Conocer estas características técnicas resulta fundamental para comprender los criterios de implementación en distintas regiones o ciudades, ya que cada sistema se adapta a las necesidades específicas de movilidad, geografía y demanda de los usuarios.

Tabla 1.

Elementos técnicos que conforman a los teleféricos.

Instalación de transporte por cable	Vía de Circulación	Tipo de cables	Según el tipo y sentido del movimiento
<p>Cable portante: constituye la vía de circulación y soporta la carga, también se conoce como cable carril o portador.</p>	<p>Aérea: cuando está constituida por un cable suspendido en el aire</p>	<p>Teleféricos bicables: (tienen cables tractores y cables portadores). Tiene uno o varios cables portantes sobre los que el vehículo rueda por medio de sus carretones. No se refiere al número de cables sino a que las dos funciones (Sustentar la carga y transmitir la tracción) están asignadas a dos tipos de cables diferentes. Este sistema es ampliamente utilizado por su resistencia relativamente alta al viento y la posibilidad de</p>	<p>Movimiento reversible o de vaivén: El movimiento presenta inversiones cíclicas (instalaciones de vaivén), los vehículos se mueven hacia delante y hacia atrás entre las estaciones en el mismo cable</p>

Instalación de transporte por cable	Vía de Circulación	Tipo de cables	Según el tipo y sentido del movimiento
		salvar grandes distancias sin soportes intermedios.	
Cable tractor: transmite la fuerza para el movimiento, también se conoce como cable de tracción.	Terrestre: si está formada por carriles o bien por una pista preparada sobre la nieve o directamente sobre el terreno.	Teleféricos monocables: solo existe el cable transportador. Es un teleférico o un telesquí donde el cable transportador realiza las funciones tanto del cable portante como del cable tractor. Los vehículos se conectan al anillo de cable mediante mordazas.	Movimiento unidireccional o circulante: Este tipo de movimiento se da tanto en teleféricos como en telesquís. La dirección del movimiento nunca cambia en condiciones normales.
Cable transportador: soporta la carga y transmite la fuerza para el movimiento, se conoce también como portador-tractor.		Teleféricos con vehículos automotores (únicamente existe cable portante el vehículo circula sobre uno o más cables portantes impulsado por sus propios medios. El disponer un vehículo autónomo permite que el equipo de las estaciones sea muy simple, pero la tracción por fricción está limitada a pendientes pequeñas. Casi se utiliza exclusivamente como vehículo de rescate para teleféricos bicables.	Movimiento continuo: la circulación del cable tractor o del transportador se realiza a velocidad constante. Los vehículos pueden estar unidos permanentemente al cable o acoplarse y desacoplarse durante las operaciones (vehículos desembragables). Movimiento intermitente: la velocidad de los cables cambia intermitentemente (los vehículos se detienen en las estaciones) o periódicamente (si los vehículos circulan más despacio al pasar sobre los soportes) dependiendo de la posición de los vehículos.

Fuente: Elaboración propia con información de (Transporte por cable, 2003, págs. 12-14).

En relación con lo anteriormente expuesto, el teleférico puede contar con dos tipos de vehículos: abiertos y cerrados. De acuerdo con las especificaciones presentadas en la Tabla 2, el sistema de transporte Cablebús emplea vehículos cerrados, específicamente góndolas, lo cual permite una mayor seguridad y confort para los usuarios, además de ofrecer protección contra las condiciones climáticas.

En cuanto al tipo de unión del vehículo al sistema de tracción, existen dos configuraciones principales: la unión permanente, conocida como instalación de pinza fija, y la unión temporal, correspondiente a las pinzas desembragables. Este último tipo permite desacoplar las cabinas del cable tractor en estaciones, facilitando el embarque y desembarque de pasajeros.

Cabe señalar que, como todo sistema de transporte, el teleférico cumple una función específica. En su mayoría, está diseñado para el traslado de personas; sin embargo, en algunos contextos también es utilizado para el transporte de mercancías. En ciertas regiones rurales o de difícil acceso, por ejemplo, los teleféricos permiten trasladar productos agrícolas como frutas y verduras desde zonas de cultivo hasta centros de acopio, reduciendo la carga física para los productores y aumentando la eficiencia en la logística.

En cuanto al sistema de control del movimiento, este puede ser manual o automático. En el caso del Cablebús Línea 1, el sistema de operación es principalmente manual, operado desde una sala de máquinas por personal técnico (maquinistas), quienes supervisan y regulan el funcionamiento del sistema. Su labor consiste en asegurar que las cabinas mantengan una frecuencia adecuada de paso, conservando siempre una distancia segura entre ellas para evitar incidentes y garantizar la operación eficiente del servicio.

Tabla 2.

Teleférico dependiendo el tipo de sus características y su funcionamiento.

El tipo de vehículos	Tipo de unión del vehículo al cable de tracción	Objeto del transporte	Mando del movimiento
<p>Los abiertos son las sillas y las góndolas abiertas (para utilización de pasajeros de pie).</p>	<p>Permanente: la unión se mantiene, además de en línea, durante la permanencia de los vehículos en las estaciones. Se conocen como instalaciones de pinza fija. En el caso de movimiento reversible</p>	<p>Transporta Personas: Personas conjuntamente con sus debidas mercancías.</p>	<p>Manual, en el que la marcha está regulada por un agente situado en la sala de máquinas o bien en los andenes o en los vehículos (telemando).</p>

El tipo de vehículos	Tipo de unión del vehículo al cable de tracción	Objeto del transporte	Mando del movimiento
	<p>los vehículos suelen estar fijados permanentemente al cable de tracción o al transportador.</p> <p>En el caso de sistemas monocables de circulación continua con sujeción permanente el vehículo circula alrededor de las poleas tensoras, la velocidad está limitada debido a que los viajeros deben subir y bajar con el vehículo en marcha.</p>		
<p>Los cerrados: son las góndolas y las cabinas, se suele hablar de góndolas cuando son cabinas de poca capacidad para circulación continua (Telecabinas) y en el caso de teleféricos se habla de cabinas.</p>	<p>Temporal: la unión se efectúa a la salida del vehículo de la estación y se libera a la llegada del vehículo a la otra estación. Son las instalaciones de pinza desembragable. En este caso, la conexión temporal de cada vehículo puede efectuarse directamente sobre el cable de tracción (instalaciones de cierre automático), o bien sobre dispositivos permanentemente fijos en el cable de tracción (instalaciones de enganche automático).</p>	<p>Mercancías: están comprendidas tanto las materias primas y demás productos de la naturaleza, como los materiales y, más en general, los productos industriales, así como determinados animales característicos de actividades forestales, pastorales y agrí- colas.</p>	<p>Automático, en el que la acción de un agente o de los mismos viajeros se limita a la puesta en marcha de la instalación, sin ninguna intervención posterior.</p>

Fuente: Elaboración propia con información de (Transporte por cable, 2003, págs. 15-16).

Las características técnicas y tipologías revisadas permiten identificar los factores que determinan la capacidad, eficiencia y seguridad de los teleféricos. Estos criterios sirven como marco de referencia para analizar experiencias internacionales, cuyo estudio ofrece insumos relevantes para valorar la aplicabilidad del sistema en distintos entornos metropolitanos.

2.4 Sistemas de transporte por cable a nivel internacional

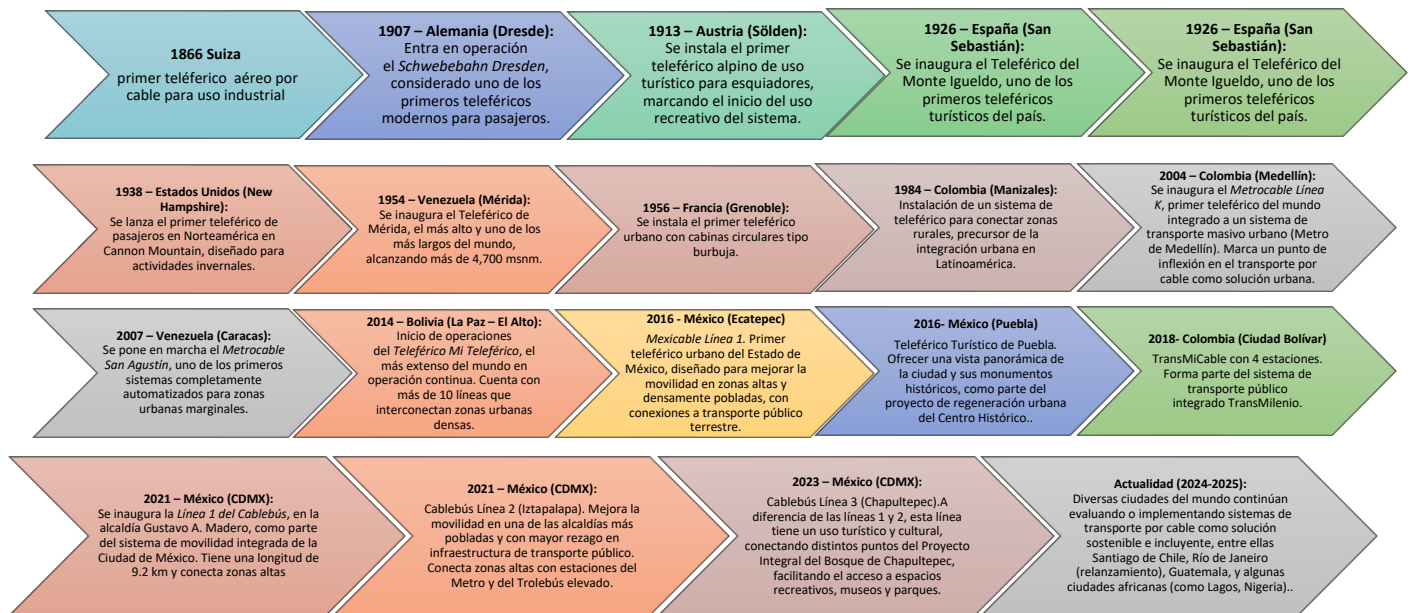
El transporte urbano puede clasificarse en distintos modos según su infraestructura y medio de operación: terrestre, aéreo, ferroviario y marítimo, cada uno diseñado para cumplir funciones específicas en el traslado de personas y mercancías. Dentro de estos modos, el transporte por cable constituye una categoría particular, que se distingue por operar de forma suspendida o apoyada, mediante sistemas de cables tensados.

Este tipo de transporte suele implementarse en zonas con distancias relativamente cortas, pero con condiciones topográficas adversas o desniveles pronunciados, donde otros modos resultan ineficientes o económicamente inviables. Su aplicación puede responder tanto a necesidades funcionales de movilidad urbana, como a fines turísticos o comerciales, facilitando el transporte de productos agrícolas, tal como frutas y verduras, desde áreas rurales hacia centros de distribución.

A lo largo de la historia, diversos sistemas de transporte por cable han sido desarrollados e implementados en distintos países, algunos de los cuales continúan operando en la actualidad, mientras que otros han sido desmantelados o sustituidos por nuevas tecnologías.

En la Figura 3 se presenta una cronología de los principales teleféricos construidos a nivel mundial, desde el primero documentado en 1866 hasta los sistemas contemporáneos. Esta evolución permite observar cómo, desde sus inicios, el transporte por cable ha demostrado ser una solución efectiva para la conectividad en zonas de difícil acceso, consolidándose como una alternativa viable y sostenible dentro de los sistemas de transporte urbano y regional.

Figura 3.
Evolución del transporte vía cable.



Fuente: Elaboración propia con información del Marco Internacional.

A partir de la información presentada en la línea del tiempo, se seleccionaron algunos sistemas de teleférico para analizarse con mayor profundidad. En los apartados siguientes se describen sus características operativas, técnicas y contextuales, con el objetivo de establecer un comparativo entre diferentes modelos de transporte por cable implementados a nivel internacional. Esta comparación permitirá identificar elementos clave que puedan ser considerados en el análisis del caso de estudio: la Línea 1 del Cablebús en la Ciudad de México.

2.4.1 Cable Aéreo Mariquita (Colombia)

Este sistema de transporte estuvo ubicado entre los municipios de Mariquita (Tolima) y Manizales (Caldas), en Colombia. Su construcción comenzó en 1914, tras una fase de exploración iniciada en 1912, y fue inaugurado oficialmente el 2 de febrero de 1922. Operó

hasta el año 1967. Actualmente, se analiza la posibilidad de restaurarlo como un atractivo turístico (véase Figura 4).

Durante la primera década del siglo XX, la empresa británica The Ropeway Extension Company obtuvo una concesión del Estado colombiano para desarrollar un sistema de cable aéreo con una longitud aproximada de 72 kilómetros, que conectaría ambas ciudades. El objetivo principal era establecer un medio moderno de transporte de carga y dinamizar el comercio de bienes y servicios entre las dos regiones (S/A, Auscultan posibilidad de revivir Cable Aéreo Mariquita-Manizales, 2021).

Figura 4.

Cable Aéreo Mariquita.



Fuente: https://caracol.com.co/emisora/2021/04/15/manizales/1618503715_676957.html

La Figura 5 presenta las especificaciones técnicas del sistema mencionado, proporcionando información detallada sobre su trayecto, características estructurales y aspectos operativos relevantes.

Figura 5.
Especificaciones técnicas, del actual Proyecto cable aéreo de Manizales.

Trayecto	Línea 1: Los Cábmulos - La Fuente - Fundadores. Línea 2: Los Cábmulos - Villamaría.
Características técnicas	Tecnología: Telecabina monocable desembragable
	Número de estaciones: L1: 3 L2: 2
	Potencia: L1: 2x250 kW L2: 250 kW
	Longitud: L1: 1870 m L2: 705 m
	Cabinas: 64 cabinas de 10 pasajeros (8 sentados + 2 de pie) Nº cabinas L1: 42 (58 capacidad final) Nº cabinas L2: 22 (29 capacidad final)
	Velocidad y Tiempos de viaje: Velocidad Máxima (L1 y L2): 5 m/s Duración: L1: 7 min 10s y L2: 2 min 20s
	Capacidad de transporte: L1 y L2 actual: 1400 pasajeros/hora/sentido L1 y L2 final: 2.100 pasajeros/hora/sentido
	Otros N/A
Horario: L1: 7 días/semana de 6:00 a 22:00	
Operación	Tarifa: <ul style="list-style-type: none"> • COP 2.000 (USD 0,53) • A partir de 2018, con tarjeta electrónica recargable inteligente. • 8.500 usuarios/día

Fuente: Tomada de internet (Banco Mundial, 2020)

2.4.2 Teleférico de Monte en Funchal

El teleférico de Funchal, en Portugal, conecta la ciudad con la población de Monte y fue inaugurado en el año 2000. El sistema recorre una distancia total de 3,173 metros (aproximadamente 4 kilómetros) en un tiempo estimado de 15 minutos, superando un desnivel de 560 metros. Opera a una velocidad promedio de 4 metros por segundo, lo que permite un desplazamiento lento y panorámico.

La separación máxima entre torres es de 540 metros (entre la tercera y la cuarta torre), mientras que la torre de mayor altura se eleva 39 metros sobre el nivel del suelo. Las cabinas, de diseño moderno, están adaptadas para personas con discapacidad y movilidad reducida, con una capacidad de hasta siete pasajeros por unidad.

El sistema cuenta con 39 cabinas en operación, lo que permite una capacidad de transporte de aproximadamente 800 pasajeros por hora en cada sentido (véase Figura 6). Su horario de funcionamiento es de lunes a domingo, de 09:00 a 17:45 horas (Maria, 2017).

Figura 6.

Teleférico de Monte en Funchal



Fuente: <https://www.islamadeira.es/telefericos-de-funchal/teleferico-de-monte-en-funchal/>

2.4.3 Metro cable de Medellín

El Metrocable es un sistema de transporte público ubicado en Medellín, Colombia, en el Valle de Aburrá. Funciona a través de un sistema de teleférico, con una operación de aproximadamente 20 horas diarias durante más de 350 días al año. Fue inaugurado el 7 de agosto de 2004 y actualmente cuenta con seis líneas de servicio comercial: J, K, H, L, M y P, que en conjunto suman una extensión total de 14.62 kilómetros. Este sistema es considerado una contribución significativa a la movilidad urbana sostenible de la región, ya que promueve el uso de tecnologías limpias y seguras para el transporte público (Ramirez Marquez, 2011-2012). Véase Figura 7.

Figura 7.
Metro cable Colombia.



Fuente: <https://josegenao.wordpress.com/2008/12/07/el-metrocable-de-medellin-el-teleferico-de-los-pobres/>

La Figura 8 muestra las especificaciones técnicas del sistema Metrocable, incluyendo datos clave como el costo de construcción, capacidad operativa, velocidad promedio y otros parámetros fundamentales para su análisis funcional.

Figura 8.
Especificaciones Técnicas del Metrocable (Medellín Colombia).

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Coste estimado de construcción	<ul style="list-style-type: none"> • Línea K: COP 68 mil millones (USD 26 millones) (2004). • Línea J: COP 96.900 mil millones (USD 53 millones) (2008). • Línea L: COP 50.500 mil millones (USD 26 millones) (2010) • Línea H: COP 85 mil millones (USD 28,3 millones) (2016). • Línea M: COP 118 mil millones (USD 38 millones) (2019).
Trayecto	<ul style="list-style-type: none"> • Línea K: Acevedo-Santo Domingo Savio. • Línea J: San Javier-La Aurora. • Línea L: Santo Domingo Savio-Arvl. • Línea H: Oriente-Villa Sierra. • Línea M: Miraflores-Trece de Noviembre.
Características técnicas	<p>Tecnología: Telecabina monocable desembragable</p> <p>Número de Estaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Línea H: 3 estaciones • Línea J: 4 estaciones • Línea K: 4 estaciones • Línea L: 2 estaciones • Línea M: 3 estaciones <p>Potencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Línea H: n/d • Línea J: n/d • Línea K: 2 de 456 kW • Línea L: n/d • Línea M: n/d <p>Longitud:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Línea H: 1,4 km • Línea J: 2,7 km • Línea K: 2,07 km • Línea L: 4,6 km • Línea M: 1,05 km
	<p>Cabinas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cabinas de 8/10 plazas • Línea H: 44 vehículos • Línea J: 115 vehículos • Línea K: 90 vehículos • Línea L: 170 vehículos • Línea M: 49 vehículos
Velocidad y Tiempos de viaje:	<p>Velocidad Máxima: 5 m/s, excepto en línea L: 5,8 m/s</p> <p>Duración:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Línea H: 5 min • Línea J: 12 min • Línea K: 9 min • Línea L: 13 min 20s • Línea M: 4 min

Fuente: Tomada de internet (Banco Mundial, 2020).

2.4.4 TransMiCable (Bogotá)

Ubicado en el cerro de Monserrate, en la ciudad de Bogotá, este sistema de teleférico conecta las zonas altas y populares de la localidad de Ciudad Bolívar. Fue inaugurado el 27 de diciembre de 2018, con la expectativa de beneficiar a aproximadamente 700,000 habitantes. El sistema cuenta con 163 cabinas, con una capacidad de transporte de hasta 3,600 pasajeros por hora y por sentido (véase Figura 9).

Este medio de transporte permite realizar un trayecto que anteriormente requería entre 60 y 90 minutos, en tan solo 10 minutos, con un costo aproximado de 2,300 pesos colombianos (equivalente a unos 70 centavos de dólar al momento de su apertura) (S/A, 2018); véase Figura 10).

Figura 9.
Transmicable (Bogotá).



Fuente: <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/transmicable-ajustara-su-horario-entre-el-31-de-marzo-y-3-de-abril>

Figura 10.
Especificaciones técnicas del Transmicable (Bogotá).

Coste estimado de construcción	<ul style="list-style-type: none"> • COP 240.000 millones (USD 73,7 millones 2020). • Este valor incluye el mantenimiento durante 12 meses a 1.623.205.783 COP por lo que el coste de construcción es de COP 220.000 millones (USD 70,8 millones en enero de 2019). 														
Coste estimado de O&M	Importe de COP 96.338 millones en 5,5 años (USD 29,5 millones) 2019														
Trayecto	4 estaciones: Mirador del Paraiso - Manitas - Juan Pablo II - Tunal														
Características técnicas	<table> <tr> <td>Tecnología:</td> <td>Telecable monocabla desembragable</td> </tr> <tr> <td>Número de estaciones:</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Potencia:</td> <td>2 x 852 kW</td> </tr> <tr> <td>Longitud:</td> <td>3,3 km</td> </tr> <tr> <td>Cabinas:</td> <td>163 unidades de 10 pasajeros</td> </tr> <tr> <td>Velocidad y Tiempos de viaje:</td> <td>Velocidad Máxima: 6 m/s Duración: 12 min aprox</td> </tr> <tr> <td>Capacidad de transporte (pphd):</td> <td>3.600 pasajeros/hora/sentido</td> </tr> </table>	Tecnología:	Telecable monocabla desembragable	Número de estaciones:	4	Potencia:	2 x 852 kW	Longitud:	3,3 km	Cabinas:	163 unidades de 10 pasajeros	Velocidad y Tiempos de viaje:	Velocidad Máxima: 6 m/s Duración: 12 min aprox	Capacidad de transporte (pphd):	3.600 pasajeros/hora/sentido
Tecnología:	Telecable monocabla desembragable														
Número de estaciones:	4														
Potencia:	2 x 852 kW														
Longitud:	3,3 km														
Cabinas:	163 unidades de 10 pasajeros														
Velocidad y Tiempos de viaje:	Velocidad Máxima: 6 m/s Duración: 12 min aprox														
Capacidad de transporte (pphd):	3.600 pasajeros/hora/sentido														
Constructor del equipo electromecánico	Consorcio formado por: <ul style="list-style-type: none"> • Doppelmayr Colombia S.A.S (50%). • Constructora Colpatría S.A. (25%). • ICEIN Ingenieros Constructores S.A.S. (25%). 														
Operador	Transmilenio S.A Operación y Mantenimiento a cargo del Consorcio Cable Móvil para una duración de 6 meses de pre-operación y 60 meses de operación (5,5 años). El contrato prevé una posible extensión de 30 meses más.														

Fuente: Tomada de internet (Banco Mundial, 2020).

2.4.5 Cable vía-Mono cable fijo: Transporte agroindustrial de productos

El sistema de cablevía monocabla fijo es una solución de transporte agroindustrial diseñada para terrenos con pendientes suaves (inferiores al 7%). Funciona mediante un cable de acero tensado tipo “rígido-fijo” y una serie de estructuras de soporte, permitiendo el traslado interno de productos agrícolas dentro de las plantaciones, tales como flores, plátano, palma, frutas, entre otros.

Este sistema facilita el transporte de los productos cosechados desde el campo hasta las áreas de clasificación, poscosecha, centros de acopio o empacadoras. Su uso es especialmente eficiente

en terrenos de grandes extensiones, espacios estrechos o topografías irregulares y onduladas (véase Figura 11).

Además de su aplicación en cultivos, también se emplea en actividades como la ceba intensiva de ganado (feedlot), así como en el transporte de camarones, café, frutas y diversos insumos agrícolas (Ingeniero, 2020).

Figura 11.

Cable vía-Mono cable fijo: Transporta frutas y verduras.



Fuente: <https://www.analpes.com/productos/cable-vias/>

2.4.6 Teleférico en Bolivia

El sistema de Teleféricos de La Paz comenzó con dos líneas y actualmente constituye un sistema de transporte por cable urbano que conecta las ciudades de La Paz y El Alto, además de contar con una línea turística en la ciudad de Oruro, Bolivia. Entre 2014 y 2018, el sistema ha transportado un total de 125 millones de pasajeros, lo que representa un promedio de 25 millones de personas anualmente. En 2019, el sistema alcanzó 10 líneas operativas, con una inversión total de 740 millones de dólares (véase Figura 12).

Las estaciones están estratégicamente ubicadas para facilitar el acceso de los usuarios a puntos clave de la ciudad, permitiendo además realizar conexiones con otras líneas que acercan a los usuarios a sus destinos finales (véase Figura 13). El sistema conecta dos áreas de la ciudad con

una diferencia de altura de 600 metros, transportando a los pasajeros desde los 4,000 metros de altitud en El Alto hasta los 3,400 metros en el centro de La Paz. Este sistema representa un avance significativo en la infraestructura de transporte de la ciudad (COPROFAM, 2019).




Figura 12.

Teleférico en Bolivia.



Fuente: <https://coprofam.org/2019/10/03/teleferico-en-la-paz-bolivia-gran-salto-tecnologico-para-acortar-distancias/>

Figura 13.
Especificaciones Técnicas del Teleférico (Bolivia).

Coste estimado de O&M	USD 13,7 millones para las líneas roja, amarilla y verde (2014).
Trayecto	<ul style="list-style-type: none"> • Línea Roja (3 estaciones), año 2014, Central - Cementerio- 16 de julio. • Línea Azul (5 estaciones), año 2017,16 de Julio - Plaza Libertad - La Paz - UPEA - Río Seco. • Línea Celeste (4 estaciones), año 2018, El Prado - Teatro al Aire Libre - Del Poeta - Libertador. • Línea Plateada (3 estaciones), año 2019, 16 de julio - Faro Murilo. • Línea Amarilla (4 estaciones), año 2014, Libertador - Sopocachi - Buenos Aires - Mirador. • Línea Naranja (4 estaciones), año 2017, Central - Armentia - Periférica - Héroes de la Revolución. • Línea Morada (3 estaciones), año 2018, 6 de marzo - Faro Murillo - Obelisco. • Línea Verde (4 estaciones), año 2014, Irpavi - 17 de Obrajes - Alto Obrajes - Libertador. • Línea Blanca (4 estaciones), año 2018, Héroes de la Revolución - Defensores del Chaco - Próceres de la Independencia - Del Poeta. • Línea Café (2 estaciones), año 2018, Defensores del Chaco - Las Villas.
Tecnología	Telecabinas monocable desembragable. 
Número de Estaciones y longitud	<p>Total: 36 estaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • L. Roja: 3 estaciones, 2,4 km • L. Amarilla: 4 estaciones, 3,9 km • L. Verde: 4 estaciones, 3,7 km • L. Azul: 5 estaciones, 4,7 km • L. Naranja: 4 estaciones, 2,6 km • L. Blanca: 4 estaciones, 2,9 km • L. Celeste: 4 estaciones, 2,7 km • L. Morada: 3 estaciones, 4,3 km • L. Café: 2 estaciones, 0,7 km • L. Plateada: 3 estaciones, 2,6 km
Potencia:	N/D
Longitud:	30,5 km en total
Cabinas:	Total: 1.400 vehículos de 10 personas sentadas
Velocidad y Tiempos de viaje:	<p>Velocidad Máxima: 5 m/s excepto líneas Celeste y Morada I (6 m/s).</p> <p>Duración:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Línea Roja: 10 min • Línea Amarilla: 13 min 30s • Línea Verde: 16 min 35 s • Línea Azul: 17 min • Línea Naranja: 10 min • Línea Blanca: 13 min 5s • Línea Celeste: 11 min 50s • Línea Morada: 16 min 10s • Línea Café: 3 min 50s • Línea Plateada: 11 min 40s
Constructor del equipo electromecánico	Doppelmayr 
Operador	Empresa estatal de Transporte por Cable "Mi Teleférico" 

Fuente: Tomada de internet (Banco Mundial, 2020)

2.4.7 Teleférico de Puebla

El Teleférico de Puebla es uno de los principales atractivos turísticos de la ciudad. Está ubicado en la zona de los Fuertes y fue inaugurado el 4 de enero de 2016. Su construcción representó una inversión total de 359.2 millones de pesos.

Este sistema de transporte aéreo cuenta con dos góndolas, cada una con capacidad para 35 personas. El recorrido completo tiene una duración aproximada de cinco minutos, aunque este tiempo puede variar dependiendo de la velocidad operativa del sistema. En cuanto al costo, el boleto para un viaje sencillo es de \$30 pesos, mientras que el viaje redondo tiene un precio de \$50 pesos.

El teleférico opera en un horario de lunes de 14:00 a 22:00 horas, y de martes a domingo de 10:00 a 22:00 horas. En la Figura 14 se presenta una vista panorámica del teleférico y de los principales atractivos de la ciudad de Puebla (Gobierno del Estado de Puebla, 2016).

Figura 14.
Teleférico de Puebla.



Fuente: <https://tiptours.mx/es/producto/teleferico-puebla/>

2.4.8 Mexicable Ecatepec

El Mexicable es un sistema de transporte público por teleférico que comenzó operaciones el 4 de octubre de 2016, siendo el primero en su tipo en el Estado de México. Este

sistema fue diseñado con el objetivo de mejorar la movilidad urbana en zonas de alta densidad poblacional y difícil acceso, así como impulsar el desarrollo social y económico en la región.

El recorrido del Mexicable cruza la autopista México–Pachuca y se interna en la colonia Hank González, siguiendo en paralelo a la avenida San Andrés hasta llegar a la zona de La Cañada. Su trayecto contempla 7 estaciones distribuidas a lo largo de la ruta, sostenidas por 36 torres. El sistema funciona con energía eléctrica, cuenta con dos motores, y dispone de un total de 186 cabinas con capacidad para transportar hasta 10 personas cada una, como se observa en la Figura 15. El viaje completo tiene una duración aproximada de 19 minutos.

El costo por viaje es de \$9 pesos, aunque el servicio es gratuito para personas mayores de 60 años, menores de 5 años y personas con discapacidad. El horario de operación es de lunes a viernes de 5:00 a 23:00 horas, los sábados de 6:00 a 23:00 horas, y los domingos de 7:00 a 22:00 horas (véase Figura 16).

Además, el Mexicable incorpora infraestructura complementaria como áreas para aparca bicicletas, con el propósito de fomentar el uso de medios de transporte sustentables. Este proyecto ha generado más de 200 empleos directos y ha contribuido a mejorar la calidad de vida de los habitantes, representando un parteaguas en el modelo de movilidad urbana del Estado de México (Mexicable , 2016).

Figura 15.

Mexicable, Ecatepec Edo.Mex.



Fuente: Tomada de internet (Guía de la Ciudad por travesías , 2019).

Figura 16.
Ficha Técnica de Mexicable Ecatepec de Morelos.

Trayecto	Sección 1: Santa Clara - Hank González - Fátima -Tablas del Pozo Sección 2: Tablas del Pozo - Los Bordos - Deportivo - La Cañada	
Características técnicas	Tecnología:	Telecabina monocable desembragable
	Número de estaciones:	7
	Potencia:	2 de 794 kW
	Longitud:	4.8 km
Operación	Cabinas:	185 unidades de 10 pasajeros
	Velocidad y Tiempos de viaje:	Velocidad Máxima: 6 m/s Duración: 11 min + 7 min 45 s = 19 min aprox.
	Capacidad de transporte (pphpd):	3.000
	Otros: Los viajeros tienen una vista privilegiada del entorno urbano, el cual ha sido enriquecido con 52 obras de arte realizadas por artistas de talla internacional como Farid Rueda, David Ortiz, Guido Van Helten y Jonh Pugh entre otros.	
	Horario:	L-V: 5:00 a 23:00 S: 6:00 a 23:00 D: 7:00 a 22:00
	Tarifa:	<ul style="list-style-type: none"> • MXN 9 (USD 0,40) viaje individual a través de una tarjeta inteligente prepago. • Gratuito para mayores de 60 años, menores de 5 años y personas con discapacidad.
	Pasajeros:	<ul style="list-style-type: none"> • Más de 17 millones de usuarios desde octubre de 2016. • Aprox. 17.000 pasajeros/día.
	<ul style="list-style-type: none"> • El Mexicable tiene conexión directa con el Mexibus (BRT) línea 4 en dirección Tecámac – Indios Verdes, siendo este último un punto destino importante. 	
Constructor del equipo electromecánico	Leitner	
Operador	La Concesionaria Mexiteleféricos. S.A (Privado)	

Fuente: Tomada de internet (Banco Mundial, 2020)

2.4.9 Cablebús línea 1 - Ciudad de México

La Línea 1 del Cablebús es un sistema de transporte teleférico urbano que conecta la alcaldía Gustavo A. Madero en la Ciudad de México. Inaugurada el 11 de julio de 2021, esta línea tiene una longitud de 9.2 kilómetros, convirtiéndola en una de las más largas del mundo. Cuenta con seis estaciones: Indios Verdes, Ticomán, La Pastora, Campos Revolución, Tlalpexco

y Cuauhtepac. El recorrido completo se realiza en aproximadamente 33 minutos, reduciendo significativamente el tiempo de traslado en comparación con otros medios de transporte en la zona.

Este sistema está compuesto por 377 cabinas, cada una con capacidad para 10 personas sentadas (Véase Figura 18). La Línea 1 del Cablebús tiene una capacidad de transporte de hasta 5,000 personas por hora en cada dirección. Además, permite la interconexión con diversas líneas del Sistema de Transporte Colectivo (STC) Metro, incluyendo las líneas 1, 2, 3, 5 y 6, así como con las líneas 1, 3 y 4 del Metrobús, el Mexibús y RTP.

La tarifa por viaje es de \$7.00 pesos mexicanos, y el acceso se realiza mediante la Tarjeta de Movilidad Integrada.

Este proyecto representa una inversión significativa en infraestructura urbana, con un costo total de \$2,925 millones de pesos. Además de mejorar la movilidad en la zona norte de la Ciudad de México, contribuye a la reducción de emisiones de CO₂, promoviendo una opción de transporte más sustentable y ecológica (Gobierno de la Ciudad de México, 2021).

Figura 17.
Cablebús línea 1 CDMX.



Fuente: <https://diariobasta.com/2021/07/08/concluyen-pruebas-de-la-l1-de-cablebus/>

Figura 18.

Ficha técnica de la Línea 1 del Cablebús.

Trayecto	S1- indios verdes – Cuauhtémoc S2- Campos Revolución - Tlalpexco
Estaciones	S1- E1-Indios Verdes E2Ticomán E3-La pastora E4- Campos Revolución E5 -Cuauhtémoc S2- Trasborde de Campos Revolución E6- Tlalpexco
Horario:	L – V : 5:00 a 23:00 /S- 6:00 a 23:00 / D- 7:00 a 23:00
Características técnicas	Tarifa: Tarjeta Única de Movilidad Integrada \$7 pesos Gratuito para mayores de 60 años con tarjeta INAPAM y niños menores de 5 años.
	Pasajeros: Cada cabina tiene una capacidad de 10 personas.
Aprox:	Tiempo de traslado 30 minutos
	Cabinas: 377 Cabinas total de ambas secciones
pasajeros:	Peso neto de cabinas por 750 kg
puerta:	Tipo de accionamiento de Sistema mecánico mediante una palanca de rodillos
	Sistema de seguridad: Pararrayos
	Kilómetros 9.2 km
	Inauguración 4 de marzo de 2021 primer tramo 11 de julio de 2021 segundo tramo
Sistema:	Sistema de transporte por cable de pinza desembragable circulante
Constructor del equipo electromecánico	Doppelmayr

Fuente: elaboración propia con información de (ORT, 2019).

2.4.10 Cablebús línea 2 - Ciudad de México

La Línea 2 del Cablebús fue inaugurada el 8 de agosto de 2021 y tiene como uno de sus principales objetivos mejorar la conectividad en la zona oriente de la Ciudad de México, así como reducir significativamente los tiempos de traslado. Esta línea establece conexión con el Sistema de Transporte Colectivo Metro, específicamente con la Línea 8 en la estación Constitución de 1917 y con la Línea A en la estación Santa Marta. Gracias a esta integración,

los trayectos que anteriormente tomaban más de una hora ahora pueden realizarse en aproximadamente 40 minutos.

Con una longitud total de 10.6 kilómetros, la Línea 2 del Cablebús ostenta el reconocimiento como la línea de teleférico de transporte público más larga del mundo. El recorrido incluye siete estaciones: Constitución de 1917, Quetzalcóatl, Las Torres Buenavista, Xalpa, Lomas de la Estancia, San Miguel Teotongo y Santa Marta. Esta línea opera con 305 cabinas, cada una diseñada para ofrecer seguridad y eficiencia en el traslado de pasajeros, y tiene la capacidad de transportar hasta 75 mil personas al día.

En la Figura 19 se muestra una de las estaciones de la Línea 2 del Cablebús, así como el tipo de cabina utilizada, fabricada por la empresa Leitner, responsable del desarrollo de la infraestructura técnica del sistema. Por su parte, la Figura 20 presenta la ficha técnica correspondiente a dicha línea (Gobierno de la Ciudad de México, 2021).

Figura 19.
Cablebús línea 2- CDMX.



Fuente: <https://www.ste.cdmx.gob.mx/cablebus/cb-linea2>

Figura 20.
Ficha técnica de la Línea 2 del Cablebús.

Trayecto	Santa Catarina – Ermita Iztapalapa
Estaciones	E1- Constitución de 1917 E2 –Quetzalcóatl E3- Las Torres Buenavista E4- Xalpa E5 –Lomas de la Estancia E6- San Miguel Teotongo E7- Santa Marta
Horario:	L – V : 5:00 a 23:00 /S- 6:00 a 23:00 / D- 7:00 a 23:00
Características técnicas	
Tarifa:	Tarjeta Única de Movilidad Integrada \$7 pesos Gratuito para mayores de 60 años con tarjeta INAPAM y niños menores de 5 años.
Pasajeros:	10 personas por cabina
Tiempo de traslado Aprox:	40 minutos
Cabinas:	305 cabinas
Tipo de accionamiento de puerta:	Mecánica
Kilómetros	10.2 km
Inauguración :	8 de agosto de 2021
Sistema:	
Constructor del equipo electromecánico	Leitner
Inversión	3 mil 168 millones de pesos

Fuente: elaboración propia con información de (México G. d., S/A)

2.4.11 Cablebús línea 3- Ciudad de México

La Línea 3 del Cablebús fue inaugurada el 24 de septiembre de 2024, y representa una extensión importante del sistema de transporte aéreo urbano en la Ciudad de México. Su trayecto conecta el Complejo Cultural Los Pinos con la zona de Vasco de Quiroga, ubicada en la alcaldía Cuajimalpa. Este proyecto forma parte del programa integral “Chapultepec: Naturaleza y Cultura”, impulsado por el Gobierno de la Ciudad de México para revitalizar y articular las

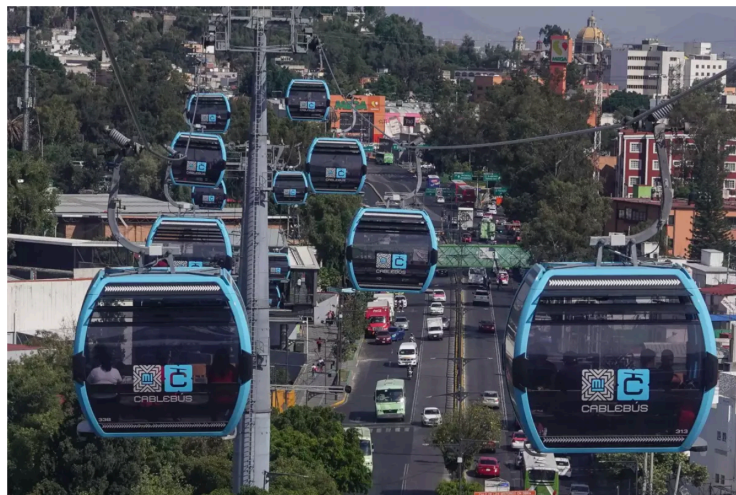
cuatro secciones del Bosque de Chapultepec, facilitando el acceso a espacios públicos y culturales mediante una movilidad sustentable.

Con una longitud total de 5.5 kilómetros, la Línea 3 del Cablebús cuenta con seis estaciones: Los Pinos/Constituyentes, Panteón de Dolores, Charrería, Colegio de Arquitectos, Cineteca Nacional/Bodega de Arte y Vasco de Quiroga. El recorrido completo permite una reducción considerable en los tiempos de traslado, pasando de 40 minutos a tan solo 21 minutos, y está diseñado para movilizar hasta 36,000 pasajeros diarios.

El servicio opera con un costo de \$7 pesos por viaje, y mantiene un horario de operación de lunes a viernes de 5:00 a 23:00 horas, sábados de 6:00 a 23:00 horas, y domingos y días festivos de 7:00 a 23:00 horas (Vease Figura 22). Asimismo, esta línea se ha convertido en una vía de acceso directo a recintos culturales de gran relevancia, como la Cineteca Nacional, la Bodega Nacional de Arte y el Parque de Cultura Urbana (PARCUR), fortaleciendo el vínculo entre la movilidad y el desarrollo cultural en la capital (Gobierno de la Ciudad de México, 2024).

Figura 21.

Tipo de Cabina de la Línea 3 del Cablebús de la CDMX.



Fuente: <https://politica.expansion.mx/cdmx/2022/11/01/linea-3-cablebus-cdmx-ruta-estaciones>

Figura 22.

Ficha técnica de la Línea 3 del Cablebús.

Trayecto	Los Pinos/Constituyentes
Estaciones	O- Los pinos/ Constituyentes E1-Panteón de Dolores E2- Charrería E3- Parcur /Colegio de Arquitectos E4- Cineteca Nacional/Bodega de Arte D- Vasco de Quiroga
Horario:	L – V : 5:00 a 23:00 /S- 6:00 a 23:00 / D- 7:00 a 23:00
Tarifa:	Tarjeta Única de Movilidad \$7 pesos Gratuidad para mayores de 60 años con tarjeta INAPAM y niños menores de 5 años.
Pasajeros:	Cada cabina tiene una capacidad de 10 pasajeros.
Tiempo de traslado Aprox:	21- 25 minutos
Cabinas:	71 Cabinas total de ambas secciones
Tipo de accionamiento de puerta:	Es sistema mecánico mediante una palanca de rodillos.
Sistema de seguridad:	Pararrayos
Kilómetros	5. 5 km
Inauguración	24 se septiembre 2024
Sistema:	Sistema de transporte por cable de pinza desembragable circulante
Constructor del equipo electromecánico	Doppelmayr

Fuente: elaboración propia con información de (México C. d., s.f.).

A partir del análisis de los casos de estudio previamente expuestos, se elaboró la Tabla 3, la cual presenta una comparativa técnica de distintos sistemas de transporte por cable implementados en contextos tanto nacionales como internacionales. Esta comparación permite identificar variaciones sustanciales en los costos de construcción, operación y capacidad instalada, las cuales responden a múltiples variables como la longitud total del recorrido, el número de estaciones intermedias, la capacidad de transporte por hora/sentido, el tipo de tecnología

electromecánica utilizada, y las especificaciones constructivas definidas por las empresas responsables de su implementación. Dichos elementos inciden directamente en el desempeño operativo de cada sistema, así como en su viabilidad técnica y económica dentro del entorno urbano en el que se insertan.

En el caso de la Ciudad de México, el Cablebús ha evolucionado rápidamente desde su primera línea en 2021. La Línea 1, con capacidad de 5,000 pasajeros por hora/sentido, fue diseñada para atender zonas marginadas del norte, aunque actualmente sufre saturación en horas pico. La Línea 2, con mayor extensión y capacidad, alcanza una demanda diaria de aproximadamente 63 mil pasajeros, consolidándose como la más utilizada. En contraste, la Línea 3, con 3,000 pax/h/sentido, tiene un enfoque turístico y cultural, reflejando una diversificación de objetivos y un costo significativamente menor (2,600 millones de pesos).

Comparativamente, sistemas como el Mi Teleférico en La Paz-El Alto, Bolivia, superan en extensión y número de líneas, pero también han enfrentado retos similares en la gestión de la demanda y eficiencia operativa. Mientras que allá se ha apostado por la interconexión de líneas y una red multimodal, en la Ciudad de México aún se está fortaleciendo la integración operativa del Cablebús con otros modos de transporte.

Esta comparativa evidencia tanto el avance como los desafíos del modelo mexicano, donde herramientas de análisis predictivo, como el algoritmo propuesto en esta tesis, son clave para mejorar la eficiencia y anticiparse a escenarios de saturación.

Tabla 3.
Sistemas de transporte por cable a nivel internacional.

Nombre	Coste estimado de construcción	constructor del equipo electromecánico	Capacidad de pax/hora/sentido	Recorrido	cab /pax
METROCABLE DE MEDELLIN COLOMBIA	181,3 millones (USD)	-	60 000 usuarios diarios	14.62 km	8 -10 pasajeros
CABLE AÉREO DE MANIZALES, VILLAMARIA Y CALDAS, COLOMBIA	L1: COP 55.000 millones (USD 27,6 millones; 2009).L2: COP 27.643 millones (USD 13,7 millones; 2014).	Leitner	8.500 usuarios/día	1870 m y 705m	10 pasajeros (8 sentados 2 de pie)
TRANSMICABLE BOGOTÁ, COLOMBIA	COP 240.000 millones (USD 73,7 millones 2020).	Doppelmayr Colombia S.A.S (50%). Constructora Colpatria S.A. (25%).ICEIN Ingenieros Constructores S.A.S. (25%).	3.600 px/hra/sentido	3.3 km	10 pasajeros
TELEFÉRICO DE MONTE EN FUNCHAL	-	-	800/px/hra/sentido	4 km	7 pasajeros
PROYECTO MITELEFÉRICO LA PAZ, BOLIVIA	USD 13,7 millones para las líneas roja, amarilla y verde (2014).	Doppelmayr	4000 px/hra/sentido	30.5 km	10 pasajeros
TELÉFERICO DE PUEBLA	359.2 mdp	-	199 usuarios/día	688 m	35 Pasajeros
Mexicable (Ecatepec)	1,700 mdp (USD 90 millones al cambio en Oct 2016), de los cuales 62,5% fueron inversión pública (Gobierno del Estado de México) y el otro 37,5% aportados por la Concesionaria.	Leitner	17000 pax al día	4.8 km	10 pasajeros
CABLEBÚS LÍNEA 1 (INDIOS VERDES- CUAUTEPEC)	2,925.5 mdp	Doppelmayr	4000 en cada sentido para el eje principal	7.58 km	10 pasajeros
CABLEBÚS LÍNEA 2. (IZTAPALAPA CDMX)	3,168 mdp	Leitner	200 mil pax por día	10.6 km	10 pasajeros
CABLEBÚS LÍNEA 3 (LOS PINOS- CONSTITUYENTES)	2,600 mdp	Doppelmayr	34,000 Pasajeros por día	5.5. KM	10 pasajeros

Nota. La tabla presenta una comparación de distintos sistemas de transporte por cable a nivel internacional, elaborada a partir de los casos citados. “mdp” corresponde a millones de pesos mexicanos.

Los casos internacionales demuestran que los teleféricos urbanos no solo son viables desde el punto de vista técnico, sino que también generan beneficios sociales y de integración territorial. Estos antecedentes constituyen un referente indispensable para comprender el desarrollo e implementación del Cablebús en la Ciudad de México, tema que se aborda a continuación.

2.5 Proyecto de estudio: Cablebús Línea 1 de la Ciudad de México

Considerando que el objetivo central de este estudio es analizar la demanda y los tiempos de espera en el sistema de transporte por cable Cablebús Línea 1, con el fin de proponer estrategias para mejorar su eficiencia operativa mediante un algoritmo predictivo, se realiza a continuación una caracterización detallada de dicho sistema. La Línea 1, ubicada en la alcaldía Gustavo A. Madero, constituye un caso emblemático por su papel en la movilidad urbana de zonas de alta densidad poblacional y por su integración funcional con otros modos de transporte público. Su diseño, operación y contexto territorial ofrecen un marco ideal para evaluar la viabilidad técnica y operativa de estrategias orientadas a la optimización del servicio.

El sistema está compuesto por seis estaciones: cinco correspondientes al tramo troncal y una adicional en el ramal antena a lo largo de un recorrido de 9.2 kilómetros (1.66 Kilómetros de antena). Su diseño contempla una integración multimodal con medios como el Metro, Metrobús, Mexibús y RTP, lo cual maximiza su conectividad y funcionalidad dentro de la red de transporte de la ciudad. La operación se realiza mediante 377 cabinas con capacidad para 10 pasajeros cada una, permitiendo una capacidad instalada de hasta 5,000 pasajeros por hora en cada sentido.

2.5.1 Operación de Cablebús Línea 1

De acuerdo con el trabajo de campo realizado, en la hora de máxima demanda (HMD) la velocidad de operación puede incrementarse hasta 6.0 m/s (21.6 Km/h), dependiendo de las condiciones climáticas, para agilizar el flujo de usuarios. El envío de cabinas desde la estación Indios Verdes (E1) se regula estratégicamente alternando entre cabinas llenas y vacías (e.g., 6 llenas y 2 vacías) con el objetivo de mantener el abastecimiento en estaciones intermedias como Ticomán (E2) y La Pastora (E3), donde también se presenta ascenso significativo, incluso con bicicletas.

2.5.2 Diseño de Cablebús Línea 1

Este sistema cuenta con los siguientes elementos de diseño:

- ✓ Cuenta con cabinas de 10 plazas sentadas, las cuales cada cabina es tropicalizada, con amplias aberturas de ventilación en la parte inferior y superior y ventanas abatibles en puertas y lateral.
- ✓ Protección de 2mm desechable al inferior de los policarbonatos.
- ✓ Ventilación en la parte inferior
- ✓ Comunicación radio
- ✓ Iluminación por LED'S
- ✓ Ventana deslizante en la parte superior de las puertas
- ✓ Rejilla de protección en las ventanas de las puertas
- ✓ 2 Ventanas amovible en las partes superiores de los policarbonatos trasero y delantero
- ✓ Panel solar con autonomía superior a 12 horas con 4 horas de exposición al sol.
- ✓ Piso tipo transporte urbano y no deslizante, intercambiable fácilmente.
- ✓ Los asientos son metálicos anti-vandálicos, sin tapicerías, El asiento es abatible.
- ✓ La altura interior de la cabina es de 1.90 m aproximadamente.
- ✓ Amplias puertas y de apertura automática. (transporte, 2019)
- ✓ Las cabinas, chasis, estructura y brazos son controlados por magnetoscopia y gammagrafia.
- ✓ Las cabinas están constituidas por perfiles tubulares estirados en frio, sin soldadura. Existe un sistema de sujeción del asiento al chasis.
- ✓ Las cabinas y sus elementos están calculados con condiciones climáticas de variaciones de temperatura, entre 40°C y 40° y viento de 120m/s, lluvia, sol etc. (transporte, 2019)

2.5.3 Sistema de frenado

El sistema de frenado está compuesto por tres mecanismos principales: frenado de servicio, de emergencia y adicional redundante, garantizando seguridad y continuidad operativa aún en condiciones críticas.

2.5.4 Infraestructura: torres

El trayecto está soportado por 63 torres tubulares galvanizadas, con alturas que oscilan entre los 5 y 40 metros, interconectadas mediante sistemas de puesta a tierra que aseguran equipotencialidad eléctrica. Este diseño garantiza estabilidad estructural incluso en condiciones geológicas complejas.

2.5.5 Empresa constructora

El consorcio Doppelmayr/Garaventa, reconocido a nivel internacional por su experiencia en la implementación de teleféricos urbanos, fue el encargado del diseño e instalación del sistema. Con más de 15,000 proyectos ejecutados en 96 países, su tecnología garantiza altos estándares de seguridad y eficiencia (Garaventa, 2019).

2.5.6 Consideraciones geográficas y sísmicas

El trazo de la línea fue seleccionado por su adecuación al terreno montañoso de la zona norte de la ciudad, lo que permite un servicio eficiente y rápido en zonas de difícil acceso. No obstante, se debe considerar que la Ciudad de México se encuentra en una zona sísmica activa (Cinturón de Fuego del Pacífico). Las estaciones E1, E2 y E3 se ubican sobre suelos de transición y lacustres, lo que incrementa su vulnerabilidad sísmica. Por ello, el diseño estructural consideró especificaciones reforzadas para resistir movimientos telúricos.

- **Zonificación del Valle de México.** Aunque la Ciudad de México se encuentra ubicada en la zona B, debido a las condiciones del subsuelo del Valle de México, se puede tratar como una zona sísmica en la que se distinguen tres zonas de acuerdo al tipo de suelo:
- **Zona I**, firme o de lomas: localizada en las partes más altas de la cuenca del valle, está formada por suelos de alta resistencia y poco compresibles.
- **Zona II** o de transición: presenta características intermedias entre la Zonas I y III.
- **Zona III** o de Lago: localizada en las regiones donde antiguamente se encontraban lagos (lago de Texcoco, Lago de Xochimilco). El tipo de suelo consiste en depósitos lacustres muy blandos y compresibles con altos contenidos de agua, lo que favorece la amplificación de las ondas sísmicas.

El sistema de transporte Cablebús Línea 1 está conformado por un total de seis estaciones, distribuidas a lo largo de su recorrido y localizadas estratégicamente en la alcaldía Gustavo A. Madero. A continuación, se detallan sus ubicaciones:

E1. Estación Indios Verdes

Ubicación: Calzada Ticomán 199, entre Av. Insurgentes y calle Cienfuegos, colonia Residencial Zacatenco, Demarcación Gustavo A. Madero, C.P. 07369, CDMX.

Superficie de terreno: 3,128.40 m²

Superficie de desplante: 791.30 m²

E2. Estación Instituto Politécnico Nacional

Ubicación: Calzada Ticomán 600, entre Av. Instituto Politécnico Nacional y Calle 1857, colonia San José Ticomán, Demarcación Gustavo A. Madero, C.P. 07340, CDMX.

Superficie de terreno: 8,460.00 m²

Superficie de desplante: 1,045.00 m²

E3. Estación la Pastora

Ubicación: Avenida Puerto Mazatlán aa, entre calles Luis Echeverría y José López Portillo, colonia La Pastora, Demarcación Gustavo A. Madero, C.P. 07290, CDMX.

Superficie de terreno: 12,439.00 m²

Superficie de desplante: 6,541.50 m²

E4. Estación Campos Revolución

Ubicación: Calle Emiliano Zapata s/n, entre Avenida Emiliana Zapata y calle Río Rivera, Colonia Zona Escolar Oriente, Demarcación Gustavo A. Madero C.P. 07239, CDMX

Superficie de terreno: 15. 217.50 m²

Superficie de desplante: 4.535.00 m²

E5. Estación Cuauhtepac

Ubicación: Avenida Juventino Rosas 43, entre calles Apango y 1ra. Cerrada de Juventino Rosas, colonia Cuauhtepac Barrio Alto, Demarcación Gustavo A: Madero, C.P. 07100, CDMX.

Superficie de terreno: 4,982.80 m²

Superficie de desplante: 2,220.70 m²

E4.1. Estación Chiquihuite

Ubicación: Calle Rubén Darío s/n, entre calles Camino Real y Amado Nervo, colonia Tlalpexco, Demarcación Gustavo A. Madero, C.P. 07188, CDMX.

Superficie de terreno: 2,987.60 m²

Superficie de desplante: 608.20 m² (STECMDX, 2019)

Las principales estaciones afectadas en cuestiones de zonas sísmicas con mayor riesgo son la E1, E2 y E3.

La revisión del Cablebús Línea 1 permite contextualizar su relevancia como caso de estudio en el ámbito de la movilidad urbana, destacando sus particularidades técnicas y operativas frente a

experiencias internacionales. Este análisis no solo confirma la pertinencia de evaluar su desempeño, sino que también fundamenta la selección de modelos de transporte adecuados para abordar el problema de investigación. En este sentido, el marco teórico constituye la base conceptual que guía el diseño metodológico, ya que aporta los criterios técnicos y las referencias empíricas necesarios para aplicar herramientas como el Modelo de Cuatro Etapas, los modelos ARIMA, la teoría de colas y la simulación. De esta manera, se establece un vínculo directo entre la teoría y la práctica, asegurando que el marco metodológico responda de manera coherente a los objetivos planteados y permita dar solidez técnica a los resultados de la investigación.

Capítulo 3. Marco metodológico

El presente capítulo expone el enfoque metodológico utilizado para analizar la eficiencia operativa de la Línea 1 del Cablebús, con énfasis en la gestión de la demanda y los tiempos de espera durante las Horas de Máxima Demanda. La metodología se fundamenta en la aplicación de herramientas analíticas y técnicas cuantitativas, tales como definiciones operativas, modelos matemáticos, fórmulas especializadas y representaciones tabulares. Estas herramientas permiten estructurar el diagnóstico actual del sistema, así como desarrollar proyecciones que contribuyan a plantear estrategias de mejora para la prestación del servicio.

3.1 Economía del Transporte

Demanda de transporte de pasajeros

En el contexto del transporte urbano, la demanda representa el nivel de necesidad o preferencia que tienen los usuarios por realizar viajes, dependiendo de diversos factores económicos y sociales. En términos generales, una función de demanda describe la relación entre la cantidad de un bien o servicio que los usuarios están dispuestos a consumir y los precios asociados a este, bajo condiciones específicas. Para el caso del transporte de pasajeros, esta relación está influida principalmente por el ingreso del usuario, los costos relativos del viaje, así como por el propósito del desplazamiento y la distancia a recorrer.

La elección del modo de transporte por parte de los usuarios no solo depende del precio, sino también de variables como la accesibilidad, el tiempo de recorrido, la comodidad y la frecuencia del servicio (Gines, Campos, & Nombela, 2003). Estos elementos forman parte de un sistema complejo de decisión que influye directamente en los patrones de movilidad urbana.

Desde el punto de vista analítico, la demanda de transporte puede representarse mediante una curva de demanda, la cual ilustra gráficamente la relación entre el costo del viaje (ya sea en

tiempo, dinero o ambos) y la cantidad de viajes demandados. En estudios de transporte, es común utilizar funciones de demanda específicas para un par origen-destino, en un intervalo de tiempo determinado y con un propósito definido del viaje. Estas funciones permiten modelar el comportamiento de los usuarios bajo diferentes condiciones del sistema, considerando variables como la distribución del ingreso, la densidad poblacional y las características socioeconómicas predominantes.

La demanda de transporte también puede representarse a través de una función matemática, como la función de demanda lineal:

$$Q(p) = a - bp \quad (1)$$

donde:

- **Q(p)** es la cantidad demandada del servicio de transporte,
- **p** representa el precio del servicio (monetario o en términos de tiempo),
- **a y b** son parámetros constantes que reflejan el nivel máximo de demanda y la sensibilidad de la demanda al precio, respectivamente.

Esta función presenta una pendiente negativa, lo que refleja la relación inversa entre el precio y la cantidad demandada: a medida que el precio percibido por el usuario disminuye, la demanda tiende a incrementarse. No obstante, es importante señalar que esta relación no siempre se cumple de forma estricta, ya que existen otros factores intervinientes como la elasticidad de la demanda, la existencia de modos de transporte alternativos, o restricciones propias del sistema (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2002).

Capacidad estática: Se refiere al número máximo de personas, carga o elementos que un vehículo puede transportar antes de comenzar a operar, es decir, antes de que entre en servicio.

Capacidad dinámica: Se evalúa durante la operación, es decir, cuando los vehículos ya están en circulación y el sistema de transporte está en funcionamiento durante un tiempo determinado.

Ambos tipos de capacidad son fundamentales para entender cómo el sistema de transporte maneja la demanda de usuarios en diferentes momentos, y cómo estos factores impactan la eficiencia y calidad del servicio proporcionado.

Oferta de transporte de pasajeros

La oferta, en términos económicos, se refiere a la cantidad de bienes o servicios que un productor o proveedor está dispuesto a ofrecer en el mercado a un determinado nivel de precios. En el ámbito del transporte público, esta oferta se traduce en la cantidad de servicios disponibles para los usuarios, los cuales pueden medirse en unidades como autobuses-kilómetro, trenes-kilómetro o cabinas-kilómetro, dependiendo del tipo de sistema analizado. En este estudio, se considera la oferta del sistema Cablebús en función de su capacidad operativa y frecuencia del servicio.

La cantidad de servicio ofrecido no depende exclusivamente del precio del viaje; también está influenciada por diversos factores como los costos de operación (energía, mantenimiento, personal), la tecnología utilizada, la infraestructura disponible y la capacidad instalada. Bajo el supuesto de mantener constantes todas las demás condiciones (*ceteris paribus*), un incremento en el precio tiende a incentivar a los proveedores a ofrecer una mayor cantidad de servicio. Este comportamiento se conoce como la Ley de la oferta.

Matemáticamente, esta relación puede representarse mediante una función de oferta lineal:

$$O(p) = c + dp \quad (2)$$

Como se observa en esta formulación, la función de oferta presenta una pendiente positiva, lo que indica que existe una relación directa entre el precio del servicio y la cantidad ofrecida (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2002). Esto implica que, en teoría, una mejora en las condiciones tarifarias o de ingresos puede motivar una expansión del servicio, siempre que el sistema tenga la capacidad de respuesta operativa para hacerlo.

Equilibrio entre oferta y demanda

El equilibrio entre la oferta y la demanda en los sistemas de transporte urbano se refiere al punto en el cual la cantidad de servicios disponibles satisface adecuadamente las necesidades de desplazamiento de los usuarios, considerando los costos percibidos por estos. En este contexto, el Primer Principio de Wardrop establece que, bajo condiciones de congestión, los usuarios de un sistema tienden a distribuirse entre las distintas rutas disponibles entre un par origen-destino (O/D) hasta alcanzar un punto en el que ninguno de ellos pueda mejorar su tiempo de viaje cambiando de recorrido. En otras palabras, el equilibrio se alcanza cuando todas las rutas utilizadas presentan el mismo costo mínimo generalizado, y aquellas rutas no utilizadas presentan un coste igual o superior (Wardrop, 1952).

En la práctica, sin embargo, las variaciones horarias y diarias en la demanda impiden alcanzar un equilibrio absoluto. Los flujos de viaje son dinámicos y responden a múltiples factores como la hora del día, el propósito del viaje, y las condiciones de operación del sistema.

Asimismo, el equilibrio modal puede verse afectado por la interacción entre distintos sistemas de transporte, como ocurre en los esquemas park-and-ride y kiss-and-ride¹, particularmente en corredores que integran autobuses y sistemas guiados con infraestructura dedicada, como carriles exclusivos o teleféricos urbanos. La eficacia de estas soluciones combinadas dependerá de factores como el nivel de congestión vial, la frecuencia del servicio, las tarifas del transporte público y de estacionamiento, así como de la conveniencia percibida por los usuarios. Cabe destacar que estos elementos están, en general, interrelacionados y su análisis conjunto es

¹ **Park and ride:** Sistema en el que los usuarios **conducen sus vehículos personales hasta un estacionamiento cercano a una estación de transporte público** (como trenes, metros o autobuses) y luego continúan su viaje utilizando el transporte público.

kiss-and-ride: Zonas designadas para que los pasajeros sean dejados (o recogidos) rápidamente por un vehículo particular en estaciones de transporte público, sin necesidad de estacionar el automóvil.

indispensable para comprender el comportamiento del sistema y formular estrategias de mejora operativa.

En el caso específico de la Línea 1 del Cablebús, el equilibrio entre oferta y demanda se ve condicionado por su capacidad operativa fija, determinada por el número de cabinas en circulación, la velocidad de desplazamiento y la frecuencia del servicio. Durante las Horas de Máxima Demanda, se observa que los usuarios tienden a concentrarse en ciertos horarios y estaciones de mayor afluencia, como Cuauhtepac o Indios Verdes, generando tiempos de espera prolongados y saturación en andenes. Esta situación sugiere que el sistema opera fuera de un equilibrio eficiente, ya que la infraestructura y frecuencia disponibles no logran adaptarse dinámicamente a la variabilidad de la demanda. Además, el hecho de que el Cablebús no cuenta con una integración tarifaria plena o conexiones ágiles con otros modos como el Metrobús o la Línea 3 del Metro, limita la posibilidad de una distribución más homogénea de los flujos, afectando el aprovechamiento total de la red intermodal y el confort del usuario.

Modelo de ARIMA

Los modelos autorregresivos integrados de medias móviles (ARIMA) constituyen una herramienta estadística fundamental para el análisis y pronóstico de series temporales. Estos modelos combinan tres componentes: autorregresivo (AR), de integración (I) y de media móvil (MA), permitiendo capturar tanto la dependencia temporal como las tendencias estructurales en los datos. La metodología empleada para su desarrollo es la propuesta por Box y Jenkins, ampliamente reconocida por su enfoque sistemático y riguroso.

Modelo ARIMA(p, d, q)

Componente Autorregresivo (AR):

Este componente modela la relación entre el valor actual de la serie y sus valores pasados. Su formulación general es:

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Donde:

- $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$: Coeficientes autorregresivos.
- c : Término constante.
- y_{t-k} : Valores pasados ($k=1, 2, \dots, p$).
- ε_t : Error aleatorio en el tiempo t .

Componente de Diferenciación (I):

La diferenciación elimina las tendencias para hacer la serie estacionaria. Si d es el orden de diferenciación, la fórmula es:

$$Y^d_t = \Delta^d y_t = y_t - y_{t-1}, \quad (\text{repetido } d \text{ veces}) \quad (4)$$

Componente de Media Móvil (MA):

La parte MA modela la relación entre el valor actual de la serie y los errores pasados. Su fórmula es:

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (5)$$

Donde:

- $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$: Coeficientes de media móvil.
- ε_{t-k} : Errores pasados ($k=1, 2, \dots, q$).

- μ : Promedio de la serie estacionaria.

Pronóstico con ARIMA

Una vez ajustado el modelo ARIMA, se utiliza para generar predicciones futuras y_{t+h} (donde h es el horizonte de predicción). La fórmula general para el pronóstico es:

$$\hat{y}_{t+h} = c + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t+h-i} - \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t+h-j} \quad (6)$$

Donde:

- y_{t+h-i} : Pronósticos anteriores.
- ε_{t+h-j} : Residuos pronosticados.

Evaluación del modelo

Para validar la calidad del modelo ARIMA se utilizan diversas métricas estadísticas, tales como:

- **Error cuadrático medio (MSE):**

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2$$

- **Raíz del error cuadrático medio (RMSE):**

$$RMSE = \sqrt{MSE}$$

- **Error absoluto medio (MAE):**

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|$$

Metodología Box-Jenkins para Modelar ARIMA

Paso 1: Verificación de Estacionariedad:

- Para que un modelo ARIMA sea aplicable, es fundamental que la serie temporal sea estacionaria, es decir, que mantenga una media y varianza constantes a lo largo del tiempo. La estacionariedad garantiza que las propiedades estadísticas de la serie no cambien,

permitiendo una modelación más precisa. En caso de que la serie no cumpla con esta condición, se procede a aplicar una o más diferenciaciones (de primer orden, segundo orden, etc.) hasta eliminar tendencias o patrones no estacionarios. Este proceso transforma la serie en una forma adecuada para el modelado ARIMA.

Paso 2: Identificación del modelo:

- Se utilizan gráficos de autocorrelación (ACF) y autocorrelación parcial (PACF) para identificar posibles valores de los parámetros p , d , y q . Los patrones observados en estos gráficos ayudan a sugerir el orden del modelo ARIMA adecuado para la serie.

Paso 3: Estimación de Parámetros:

- Una vez seleccionado un modelo tentativo, se estiman los parámetros (coeficientes de AR y MA) utilizando métodos estadísticos como los mínimos cuadrados o la máxima verosimilitud.

Paso 4: Evaluación del Modelo:

- Se verifican los residuales del modelo ajustado para asegurarse de que son ruido blanco, es decir, que son independientes y distribuidos aleatoriamente. Si existen correlaciones significativas en los residuales, se ajusta un nuevo modelo.

- Se evalúa la parsimonia, la significancia estadística de los coeficientes y la capacidad de inversibilidad para asegurar un modelo fiable.

Paso 5: Pronóstico:

- Se utiliza el modelo ajustado para realizar pronósticos de valores futuros, acompañados de intervalos de confianza que reflejan la incertidumbre en las predicciones (Box, Jenkins & Reinsel, 2008).

Conceptos clave:

Tasa media mensual de crecimiento de la demanda: La Tasa Media de Crecimiento de la Demanda (TMAC) es un indicador que cuantifica la variación proporcional promedio de la demanda de pasajeros en un horizonte temporal determinado. Se define como la tasa constante de crecimiento que, aplicada de manera compuesta mes a mes, transforma el valor inicial de la demanda en el valor final observado. Matemáticamente, si X_1 representa la demanda al inicio del período y X_2 la demanda al cierre, y n el número de meses transcurridos, la TMAC viene dada por:

$$\text{TMAC} = (X_2 / X_1)^{(1 / n)} - 1 \quad (7)$$

De esta forma, la TMAC permite expresar la dinámica de cambio de la demanda en términos de un porcentaje mensual promedio, facilitando la comparación de tendencias entre distintos intervalos de tiempo y la incorporación de esta tasa en modelos de proyección y simulación de flujos de pasajeros. Por su carácter compuesto, este criterio asume un crecimiento exponencial uniforme, representativo de la expansión sostenida del uso del servicio a lo largo del tiempo.

Estacionariedad: Concepto clave en el análisis de series temporales que describe la propiedad de una serie de datos cuyas características estadísticas permanecen inalterables a lo largo del tiempo. En términos específicos, una serie temporal es estacionaria si cumple con los siguientes criterios:

- **Media constante:** La media de la serie se mantiene estable con el paso del tiempo.
- **Varianza constante:** La varianza no varía a lo largo del tiempo, es decir, no presenta tendencias ni cambios en la magnitud de las fluctuaciones.

- **Covarianza constante:** La relación entre los valores de la serie en diferentes momentos (autocovarianza) depende únicamente del intervalo de tiempo (lag) entre ellos y no del momento en el que se evalúa.

Estacionalidad: En series de tiempo hace referencia a los patrones que se repiten de manera regular y predecible a lo largo de intervalos específicos, como años, meses o semanas. Estos patrones suelen estar influenciados por factores externos recurrentes, como las estaciones del año, el clima o eventos sociales y económicos periódicos. La estacionalidad puede manifestarse como aumentos o disminuciones predecibles en los valores de la serie temporal, y su identificación es crucial para modelar correctamente los datos y hacer pronósticos más precisos (Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

En el análisis de series temporales, la estacionalidad es un componente clave junto a otros como la tendencia y el ruido aleatorio. Existen diferentes métodos para abordar la estacionalidad, como la descomposición de series temporales y modelos como el SARIMA, que permiten detectar y ajustar estos patrones periódicos. Este tipo de análisis es esencial para eliminar los efectos estacionales y mejorar la fiabilidad de las predicciones, especialmente en áreas como la economía, la demanda de transporte, la climatología y las ventas.

3.2 Modelo de Transporte de Cuatro Etapas

El modelo de transporte de cuatro etapas es ampliamente utilizado en la planificación y modelación de sistemas de transporte urbano y regional. Este enfoque permite prever la demanda futura, planificar infraestructuras, evaluar políticas de movilidad y optimizar el uso de recursos, contribuyendo así a un desarrollo más sostenible (Ortúzar & Willumsen, 2011).

La figura 23 representa gráficamente este modelo, evidenciando la secuencia lógica y funcional de cada una de sus etapas.

Figura 23.
Modelo de Transporte.



Fuente: Elaboración propia con (Ortúzar & Willumsen, 2011).

Modelo clásico de transporte

El modelo clásico se presenta como una secuencia de cuatro etapas o submodelos: generación de viajes, distribución, reparto modal y asignación.

Una cuestión importante en el modelo clásico de cuatro etapas es la necesidad de verificar la utilización consistente de las variables que influyen sobre la demanda. El modelo clásico de transporte fue desarrollado originalmente como un enfoque normativo idealizado para la toma de decisiones. Su papel en la planificación del transporte puede ser descrito como una contribución a las fases clave de un proceso decisional de tipo "racional".

1. Modelo de Generación de viajes

Estima cuántos viajes se originan y se atraen en cada zona del área de estudio. Esta etapa se basa en variables socioeconómicas como población, empleo, educación y actividades comerciales. Se consideran tanto los viajes basados en el hogar (HB) como los no basados (NHB), y se clasifican según su propósito (trabajo, estudio, compras, recreación, etc.).

Generación de viajes: se entiende como el número total de viajes, sean HB sean NHB, generados por los hogares (familias) de cierta zona.

Por Propósito de Viaje: se consiguen mejores modelos de generación si se modelizan separadamente los viajes por motivo o propósito. En el caso de viajes HB, se utilizan generalmente las siguientes cinco categorías:

- ✓ Viajes al trabajo.
- ✓ Viajes de estudio (al colegio o universidad).
- ✓ Viajes de compras.
- ✓ Viajes sociales y recreacionales.
- ✓ Viajes por otros motivos.

Los dos primeros generalmente se denominan viajes obligados, mientras que todos los demás se llaman viajes discrecionales (u opcionales).

Según la hora del día: Los desplazamientos, usualmente, se clasifican en viajes efectuados en el período de hora punta o fuera de punta, ya que la proporción de viajes, con diferentes motivos, varía enormemente según la hora del día.

Por tipo de persona: Ésta es otra clasificación importante ya que las características socioeconómicas influyen fuertemente en el comportamiento de viaje de los individuos (Ortúzar, 2008).

2. Modelo de Distribución zonal

Determina cómo se distribuyen los viajes entre zonas origen-destino, generando una matriz O-D. Esta etapa emplea modelos gravitacionales o de fricción, que asignan probabilidades según el tiempo, distancia o costo de desplazamiento.

Generación-atracción, origen-destino

Los modelos sintéticos han sido desarrollados en la hipótesis de que cada viaje tuviera una generación y una atracción como fin. Los modelos, esencialmente, ligan o relacionan las generaciones a las atracciones. En el caso de los viajes HB, la generación siempre es el hogar. Sin embargo, el origen de dichos viajes, sólo es el hogar para los viajes hacia el lugar de trabajo (o el lugar de estudio o compras, etc.), pero en el viaje de regreso el hogar es ahora el destino del viaje.

3. Modelo de reparto modal

La representación de la elección del modo de transporte es uno de los modelos clásicos más importantes en la planificación del transporte, dado el papel tan relevante del transporte público en las políticas de transportes. De hecho, todos los modos de transporte público, casi sin excepción, utilizan el espacio vial de forma más eficiente que los vehículos privados; aún más, sistemas como el metro y el ferrocarril no ocupan la red vial (aunque ocupan espacios de otro tipo) y, por lo tanto, no contribuyen a la congestión.

El problema de la elección modal, por lo tanto, representa el elemento más importante en la planificación de los transportes y en la toma de decisiones. La elección modal influye en la eficiencia general del sistema del transporte, en la cantidad del espacio urbano dedicado a las funciones del transporte, así como en el conjunto de alternativas disponibles o no para los viajeros. Dicho problema es igualmente importante en los transportes interurbanos, visto que también los sistemas ferroviarios representan un sistema de transporte eficiente (en términos de

recursos consumidos, incluido el espacio) aunque existe una clara tendencia al aumento del transporte por carretera.

Factores que influyen en la elección modal

Los factores que influyen en la elección modal se pueden clasificar en tres grupos:

- ✓ Características de las personas individuales que realizan el viaje.
- ✓ Características del viaje
- ✓ Características del medio de transporte:
 - El tiempo relativo del viaje: tiempo de viaje a bordo del vehículo, de espera y a pie por cada modo;
 - Los respectivos costes monetarios (tarifas, combustible y costes directos).
 - La comodidad y/o conveniencia;
 - La confiabilidad y regularidad;
 - La protección y seguridad;

4. Asignación

Seleccionar (predecir) los caminos o rutas usadas por los viajeros para posteriormente “cargar” los flujos origen-destino sobre los arcos de la red. En este sentido, un recorrido o camino es la secuencia de arcos que los usuarios emplean para llegar del origen a su destino.

La oferta de transporte está constituida por la red vial $S(L,C)$, representada por L arcos (y sus nodos asociados), y por C sus costes.

El tiempo de viaje representa uno de los principales elementos que definen el nivel de servicio, aunque a menudo determinados costes monetarios (tarifas, carburante) y ciertas características como el confort percibido por el individuo también pueden ser relevantes en el proceso.

La red de servicios de transporte público se produce un fenómeno en donde los pasajeros pueden buscar los recorridos (es decir, combinaciones de servicios) que minimizan sus costes

generalizados de viaje teniendo en cuenta los problemas de congestión, tiempos de espera, tiempo andando hasta la parada y al punto de destino y tiempo de viaje a bordo del vehículo.

Asignación al transporte público

La oferta

En el transporte público, el concepto de capacidad del arco se asocia a la capacidad de cada unidad (autobús o tren) y a su correspondiente frecuencia. El tiempo de viaje tiene una componente pura a bordo del medio más otra relativa al tiempo de espera en las paradas y otra más debida al tiempo andando hacia y desde la parada para llegar al punto de destino.

Los pasajeros

En el transporte público la elección del recorrido se refiere a la elección de los pasajeros y no de los vehículos. Los pasajeros pueden caminar hasta la parada, hacer intercambio entre dos servicios y también efectuar parte del recorrido en coche y luego tomar el transporte público (Ortúzar & Willumsen, 2011).

3.3 Planificación y Operación del transporte Público

La operación del transporte es un componente clave en el análisis de sistemas de movilidad, ya que permite dimensionar adecuadamente la oferta con base en la demanda, considerando variables como el horario (Hora de Máxima Demanda - HMD y Hora Valle - HV), la velocidad del servicio y la capacidad del sistema.

Polígono de carga: Representa gráficamente la cantidad de pasajeros que permanecen en el vehículo en cada tramo de la ruta, permitiendo identificar los puntos de mayor ocupación.

Velocidad comercial: Es la media espacial de las velocidades instantáneas, calculada con la fórmula:

$$\text{Velocidad comercial} = \frac{120 \times \text{Longitud de la ruta}}{\text{Tiempo de ciclo}} \quad (8)$$

Tiempo de recorrido: Corresponde al tiempo transcurrido entre el inicio y el final del trayecto.

Velocidad de operación: Se refiere al percentil 85 de las velocidades observadas, lo cual proporciona una estimación realista del comportamiento del sistema.

Tiempo de demoras: Tiempo que el vehículo permanece detenido, ya sea por operación, tránsito o condiciones de abordaje.

Capacidad del vehículo: Número máximo de pasajeros que una unidad puede transportar en condiciones normales.

Ocupación crítica: Es la máxima cantidad de usuarios registrados dentro del vehículo en un tramo específico.

Demanda insatisfecha: Se define como la diferencia entre la demanda estimada y la capacidad real del sistema. Si la capacidad es insuficiente para cubrir la demanda observada, es necesario rediseñar el servicio o implementar nuevas rutas que respondan a las necesidades de los usuarios.

Planeamiento de rutas: Consiste en diseñar la oferta de transporte para satisfacer eficientemente la demanda, mediante parámetros como frecuencia, intervalo y capacidad.

Frecuencia requerida: Número de unidades necesarias por hora para cubrir la demanda, calculada mediante:

$$\text{Frecuencia requerida [veh/h]} = \frac{\text{Demanda por el servicio [pas/h]}}{\text{Capacidad ofrecida [pas/veh]}} \quad (9)$$

Intervalo: Tiempo entre el despacho de dos unidades consecutivas.

Capacidad transportadora: Número total de vehículos necesarios para cubrir la demanda prevista.

Capacidad mínima: Se refiere al número mínimo de unidades requeridas, determinado por:

$$\text{Vehículos necesarios [veh]} = \frac{\text{Tiempo total [min]}}{\text{Intervalo}} \quad (10)$$

Capacidad máxima: Se establece con un margen adicional (usualmente del 20%) respecto a la mínima, considerando contingencias y el mantenimiento de unidades (Posada Henao & Gonzalez Calderon, 2009).

3.4 Análisis de información de Movilidad

El análisis de datos es una herramienta fundamental dentro de los estudios de movilidad, ya que permite interpretar, cuantificar y modelar fenómenos asociados al comportamiento de los usuarios del transporte. En particular, resulta indispensable para definir el tamaño de muestra adecuado, determinar la cantidad de encuestas a aplicar en la zona de estudio, y obtener conclusiones representativas para la toma de decisiones.

A continuación, se presentan algunos conceptos clave asociados a esta disciplina:

Datos: Son la información recolectada a partir de observaciones, mediciones o encuestas, y constituyen la base del análisis estadístico.

Estadística: Ciencia que se encarga de la recolección, análisis, tratamiento e interpretación de datos, con el objetivo de extraer conclusiones útiles y apoyar la toma de decisiones bajo condiciones de incertidumbre.

Población de interés: Conjunto total de elementos (personas, hogares, vehículos, etc.) sobre los cuales se desea obtener información. Dado el tamaño usual de las poblaciones, se recurre a la selección de una muestra representativa.

Muestra: Subconjunto de unidades extraídas de la población, seleccionadas con base en criterios que aseguren su representatividad. Su determinación involucra tres aspectos fundamentales: a qué población representa, cuál debe ser su tamaño y cómo debe ser seleccionada.

Métodos de Muestreo

Muestreo aleatorio simple: Asigna un número a cada unidad de la población y selecciona al azar. Aunque sencillo, puede requerir muestras muy grandes para asegurar representatividad de subgrupos minoritarios.

Formula:

$$f(i, X|\theta) = P(i, X|\theta) \quad (11)$$

Muestreo aleatorio estratificado: Subdivide la población en estratos homogéneos según variables relevantes, y realiza un muestreo aleatorio simple en cada estrato. Mejora la precisión del muestreo en poblaciones heterogéneas (Ortúzar, 2008).

Formula:

$$f(i, X|\theta) = P(X) \cdot P(i|X, \theta) \quad (12)$$

Censo: Recolección de información de todos los elementos de la población. Es preciso pero costoso y poco práctico para poblaciones grandes.

Medidas de Tendencia Central

Media: La media (aritmética), por lo general, es la medida numérica más importante que se utiliza para describir datos; comúnmente se le conoce como promedio.

Media aritmética: Es la suma de todos los valores dividida entre el número total de datos.

$$\text{Media} = \frac{\sum x}{n} = \frac{\text{Suma de todos los datos}}{\text{numero de datos}} \quad (13)$$

Mediana: Valor central de un conjunto de datos ordenado. Si hay un número impar de observaciones, corresponde al valor medio; si es par, a la media de los dos valores centrales.

Moda: Valor que ocurre con mayor frecuencia en el conjunto de datos. Puede haber más de una moda (bimodal, multimodal) o ninguna.

Medidas de Dispersión

Diagrama de dispersión: Representación gráfica de datos emparejados (x, y), útil para identificar relaciones entre dos variables cuantitativas.

Estudios Origen-Destino (O-D)

Este tipo de estudio busca identificar los patrones de movilidad de los usuarios, determinando el punto de partida, el destino, y el propósito del viaje, mediante encuestas. Para su ejecución es necesario calcular el tamaño de muestra requerido utilizando niveles de confianza estadísticos.

Cálculo del tamaño de muestra para poblaciones finitas:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1-p)}{e^2 * (N-1) + Z^2 * p * (1-p)} \quad (14)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra requerido

N = Tamaño de la población (Usuarios diarios del Cablebús L1)

Z = Valor Z para el nivel de confianza deseado (1.96 para 95%)

p = Proporción esperada de la característica de estudio (0.5 en caso de no tener datos previos)

e = Margen de error permitido (generalmente 5%, es decir, 0.05)

Encuesta: Es el método principal de recolección de datos en los estudios O-D. Permite conocer comportamientos, opiniones y características de una muestra de individuos. Una metodología de encuesta eficaz debe estar sustentada en un diseño riguroso, criterios de muestreo bien definidos, y análisis técnico que garantice confiabilidad y eficiencia en la predicción a mediano y largo plazo (Ver Anexo: Encuesta aplicada a los usuarios del Cablebús Línea 1).

3.5 Métodos Cuantitativos Aplicados al Transporte

El uso de métodos cuantitativos en el análisis del transporte permite desarrollar modelos que optimizan la operación de los sistemas, proyectan soluciones a problemas operativos y

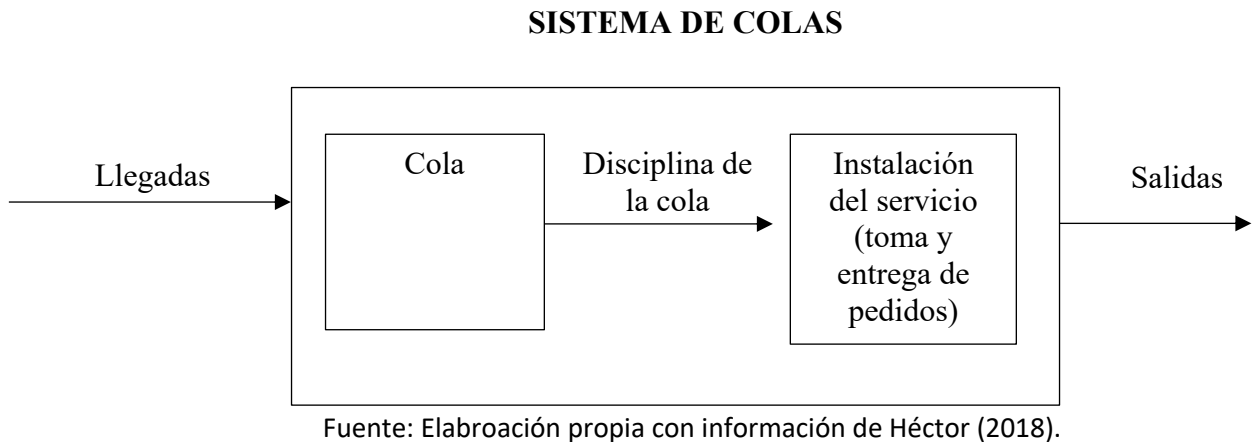
anticipan comportamientos ante escenarios de creciente demanda. Entre estas técnicas, destacan los modelos de colas y la simulación, herramientas fundamentales para el estudio del desempeño en sistemas con líneas de espera, como terminales, estaciones o sistemas de transporte público. Los modelos de colas y la simulación no son técnicas de optimización en sí mismas, sino herramientas que permiten estimar indicadores clave de desempeño, tales como el tiempo promedio de espera en la cola, el tiempo promedio total en el sistema y el nivel de utilización de los servidores o instalaciones de servicio.

Modelos de colas y simulación

Los modelos de colas se basan en teorías probabilísticas y procesos estocásticos que describen el comportamiento de los usuarios en condiciones idealizadas, como tasas de llegada constantes, tiempos de servicio determinados y disciplinas específicas de atención (por ejemplo, orden de llegada). Si bien estas formulaciones ofrecen soluciones analíticas útiles, están sujetas a supuestos que pueden limitar su aplicabilidad en escenarios reales complejos.

En contraste, la simulación permite modelar el comportamiento de sistemas reales sin necesidad de cumplir estrictamente con dichos supuestos. Mediante el uso de algoritmos computacionales, es posible representar diversas configuraciones del sistema y evaluar su desempeño bajo diferentes condiciones. Esta flexibilidad convierte a la simulación en una herramienta poderosa para el análisis del transporte. No obstante, su aplicación también conlleva desventajas, ya que la construcción de modelos de simulación requiere tiempo, experiencia y recursos, además de que su ejecución puede ser demandante en términos computacionales, incluso utilizando equipos modernos (Taha, 2012).

Figura 24.
Modelo General de Sistema de Colas.



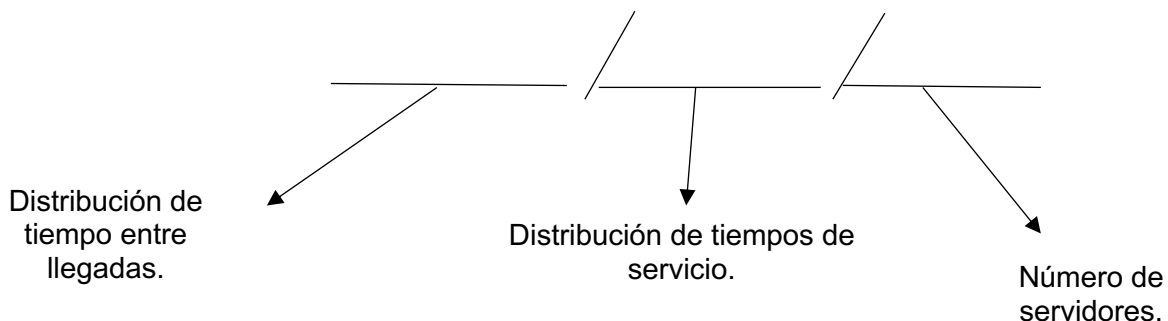
Elementos de un Modelo de Colas

Para representar adecuadamente un sistema de colas, es necesario especificar los siguientes elementos:

- Es necesario encontrar un balance.
- El objetivo es encontrar el estado estable del sistema y determinar una capacidad de servicio apropiada.
- Generalmente esto es primero en llegar, primero en ser servido.
- Último en llegar, primer atendido.
- Casos especiales.

Un modelo de sistema de colas debe especificar la distribución de probabilidad de los tiempos de servicio para cada servidor. (Vease figura 25).

Figura 25.
Modelo de Sistema de Colas.



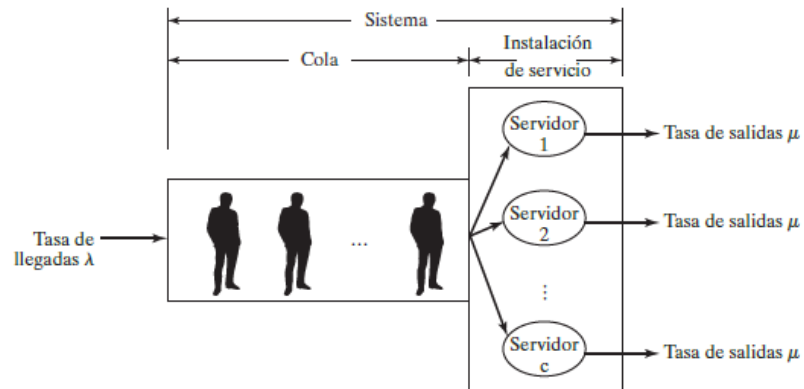
- ✓ Distribución de tiempos de llegada y servicio
- ✓ Número de servidores disponibles
- ✓ Disciplina de la cola (por ejemplo: FIFO, LIFO, prioridad, etc.)
- ✓ Capacidad máxima del sistema
- ✓ Tamaño de la población fuente (finita o infinita)

Colas de Poisson especializadas

La cantidad de clientes en el sistema se define para incluir los que están en el servicio y los que están en la cola (vease figura 26).

Figura 26.

Modelo de Sistema de Colas con C servidores paralelos (M/M/c).



Fuente: Tomado de (Taha, 2012).

Una notación común para representar los modelos de colas es:

$$(a/b/c) : (d/e/f) \quad (15)$$

Donde:

a = Distribución de las llegadas

b = Distribución de las salidas (tiempo de servicio)

c = Cantidad de servidores paralelos ($1, 2, \dots, q$)

d = Disciplina en las colas

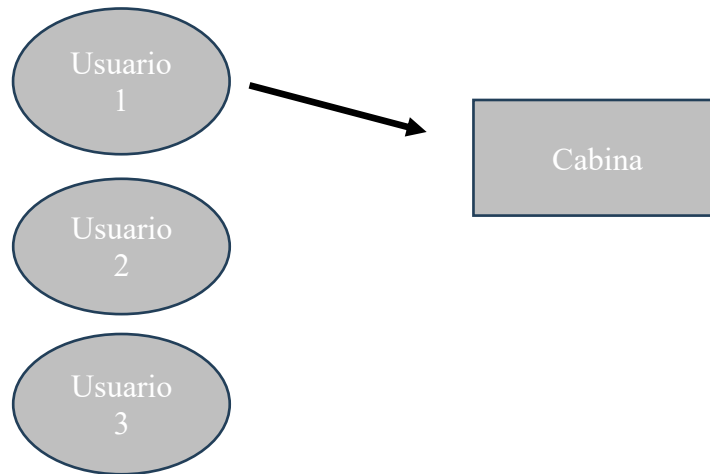
e = Número máximo (finito o infinito) permitido en el sistema (haciendo cola o en el servicio)

f = Tamaño de la fuente solicitante (finita o infinita) (Taha, 2012).

Modelo M/M/1 : Sistema de colas con llegadas Poisson, servicios exponenciales y un solo servidor

Figura 27.

Modelo de Sistema de Colas con 1 servidor paralelo (M/M/1).



Fuente: Elaboración propia.

Este modelo es uno de los más utilizados y se caracteriza por los siguientes indicadores:

Tasa de utilización del sistema

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (16)$$

Número promedio de pasajeros en el sistema:

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad (17)$$

Tiempo promedio en el sistema:

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (18)$$

Número promedio de pasajeros en la cola:

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (19)$$

Tiempo promedio en la cola:

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} \quad (20)$$

Distribución de Poisson

Cuando los clientes llegan de forma totalmente aleatoria, es decir, las horas de llegada no pueden predecirse con anticipación. La función de probabilidad (fdp) que describe el número de llegadas durante un lapso de tiempo específico es la distribución de Poisson.

La función de densidad de probabilidad de Poisson se define con la siguiente ecuación:

$$P\{x=k\} = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}, \quad \text{para } K=0,1,2,\dots \quad (21)$$

Donde:

λ = clientes por unidad de tiempo (tasa de llegada promedio)

k = número de eventos en un intervalo de tiempo

En este caso, la media y la varianza de la distribución son iguales:

$$E\{x\} = \lambda, \quad \text{Var}\{x\} = \lambda$$

La fórmula de la media revela que debe representar la tasa a que ocurren los eventos. La distribución de Poisson destaca en el estudio de colas.

Los tiempos aleatorios entre llegadas y de servicio se describen cuantitativamente por medio de una **distribución exponencial**, la cual se define como:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad t > 0 \quad (22)$$

donde:

$f(t)$ = probabilidad de que el tiempo entre eventos sea t

λ : tasa de ocurrencia de eventos por unidad de tiempo

Por lo que la ecuación quedaría de la siguiente forma:

$$= P\{T > t\} \quad (23)$$

Por lo tanto, probabilidad de que el tiempo entre eventos sea mayor a un valor dado (Taha, 2012)

Criterios de selección de metodologías

La elección de las metodologías empleadas en la presente investigación responde a la necesidad de abordar el análisis de la Línea 1 del Cablebús desde una perspectiva integral, considerando tanto la caracterización actual de la demanda como su proyección futura y el impacto operativo en los tiempos de espera.

En primer lugar, el Modelo de Transporte de Cuatro Etapas se seleccionó por su capacidad para representar de manera estructurada el comportamiento de la demanda de viajes, permitiendo estimar patrones espaciales y temporales de movilidad. Su uso es ampliamente reconocido en la Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano, ya que integra de forma secuencial las etapas de generación, distribución, asignación modal y asignación de rutas, proporcionando un marco robusto para el diagnóstico y la planificación.

Para la proyección de la demanda futura, se optó por el Modelo ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) debido a su eficacia en la modelación de series temporales y su capacidad para capturar patrones estacionales, tendencias y fluctuaciones en los datos históricos de afluencia de pasajeros. Este modelo estadístico permite realizar predicciones precisas a corto y mediano plazo, adaptándose a la naturaleza dinámica de la demanda de transporte.

En cuanto al análisis del desempeño operativo, se emplea la Teoría de Colas como herramienta para evaluar la relación entre la capacidad del sistema, el flujo de usuarios y los tiempos de

espera en Horas de Máxima Demanda. Este enfoque es idóneo para identificar cuellos de botella y dimensionar recursos, aportando indicadores clave para la toma de decisiones estratégicas.

Asimismo, la investigación integra la simulación como herramienta de análisis complementaria a los modelos empleados. En el caso de la teoría de colas, la simulación permite recrear escenarios operativos bajo diferentes niveles de demanda y configuraciones del servicio, evaluando su impacto en los tiempos de espera, la longitud de las filas y la ocupación de las cabinas, sin alterar la operación real del sistema. Por otro lado, en la proyección de la demanda futura mediante el modelo ARIMA, se emplea el software R para simular y visualizar el comportamiento esperado de los pasajeros en distintos horizontes temporales, lo que facilita anticipar picos de demanda y probar estrategias operativas en un entorno controlado. Esta integración metodológica garantiza que las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio estén respaldadas por análisis dinámicos y validados desde una perspectiva tanto teórica como práctica.

La combinación de estos enfoques metodológicos proporciona un marco de análisis completo, que no solo describe la situación actual del servicio, sino que también anticipa posibles escenarios futuros y plantea soluciones operativas fundamentadas, orientadas a mejorar la eficiencia y la experiencia de los usuarios.

Capítulo 4. Resultados y/o propuestas

Aplicación de encuesta

Para la recolección de información primaria se aplicó una encuesta Origen–Destino (O–D) a los usuarios de la Línea 1 del Cablebús, con el objetivo de caracterizar sus patrones de viaje, perfiles sociodemográficos y percepción del servicio (Ver Anexo: Encuesta aplicada a los usuarios del Cablebús Línea 1).

Cálculo del tamaño de la muestra:

El tamaño de la muestra se determinó mediante la fórmula para poblaciones finitas (definida como en la Ecuación 14), considerando un universo de 60,000 viajes diarios, un nivel de confianza del 95% ($Z=1.96$), un margen de error del 5% ($e=0.05$) y una proporción poblacional conservadora de $p=0.5$, al no contar con datos previos. El nivel de confianza del 95% se eligió por ser el estándar en investigaciones sociales y de transporte, ya que asegura un balance entre precisión y factibilidad. El margen de error del 5% corresponde a lo recomendado para estudios de este tipo y $p=0.5$ se empleó porque maximiza la variabilidad, generando así el tamaño de muestra más exigente y conservador. El tamaño ideal de muestra resultante fue de 382 encuestas.

$$n = \frac{60000 * 1.96^2 * 0.5 * (1-0.5)}{0.05^2 * (60000-1) + 1.96^2 * 0.5 * (1-0.5)} \approx 381.7$$

Sin embargo, debido a limitaciones logísticas y de tiempo, se aplicaron 180 encuestas válidas, lo que incrementa el margen de error a aproximadamente $\pm 7\%$, nivel aceptable para un estudio de carácter exploratorio y de diagnóstico. Este ajuste metodológico se justifica porque la

muestra captó los periodos de mayor afluencia y diversidad de usuarios, representando adecuadamente el fenómeno en estudio.

Diseño muestral y aleatoriedad:

Se utilizó un muestreo aleatorio simple, en el cual los usuarios fueron seleccionados de forma sistemática durante los periodos definidos: se aplicaba la encuesta al primer usuario disponible después de un intervalo de 3 a 5 personas en la fila de espera, garantizando que todos tuvieran la misma probabilidad de ser incluidos, y evitando sesgos de selección por conveniencia. Este método se eligió en lugar de un muestreo estratificado, conglomerado o por cuotas, ya que la heterogeneidad de la población podía captarse de forma adecuada con este diseño, además de que se ajustaba mejor a las limitaciones de tiempo y personal disponibles.

La aleatoriedad se reforzó al alternar entre usuarios de distintos grupos (hombres, mujeres, jóvenes, adultos) sin intervención de los encuestadores en la elección, más allá del criterio de sistematicidad.

Días y horarios de aplicación:

El levantamiento de información se realizó durante dos semanas consecutivas, únicamente en días hábiles (martes, miércoles y jueves). Estos días fueron seleccionados por representar el comportamiento más estable de la demanda, evitando sesgos generados por viajes atípicos de fin de semana, lunes con arranque de semana laboral o viernes con comportamiento recreativo.

Se definieron dos franjas horarias representativas de las Horas de Máxima Demanda (HMD):

- Matutina (7:30–9:30 h) en la terminal Cuauhtémoc, donde se concentra la salida de pasajeros hacia el nodo intermodal Indios Verdes.

- Vespertina (18:00–20:00 h) en la terminal Indios Verdes, donde se concentra el retorno hacia Cuautepec.

En cada jornada se levantaron 30 encuestas (15 por turno), lo que permitió cubrir sistemáticamente la variabilidad horaria y de usuarios en condiciones de máxima presión operativa. La elección de estos horarios respondió a que en ellos se concentra la mayor cantidad y diversidad de usuarios, lo que asegura que los datos sean más representativos del comportamiento real de la demanda. No se encuestó en horarios intermedios o de baja afluencia porque se habrían capturado viajes atípicos, reduciendo la validez de los resultados.

Depuración de encuestas:

De las 180 encuestas aplicadas, 173 se consideraron válidas, mientras que 7 fueron descartadas por información incompleta o inconsistente. Esta depuración buscó preservar la calidad de los datos y garantizar la confiabilidad estadística del análisis.

Con este diseño metodológico, la encuesta permitió recopilar información confiable y representativa de los usuarios durante los periodos de mayor afluencia, constituyendo una base sólida para la caracterización de la demanda, la calibración de modelos y la formulación de propuestas de mejora.

Características generales de los usuarios encuestados

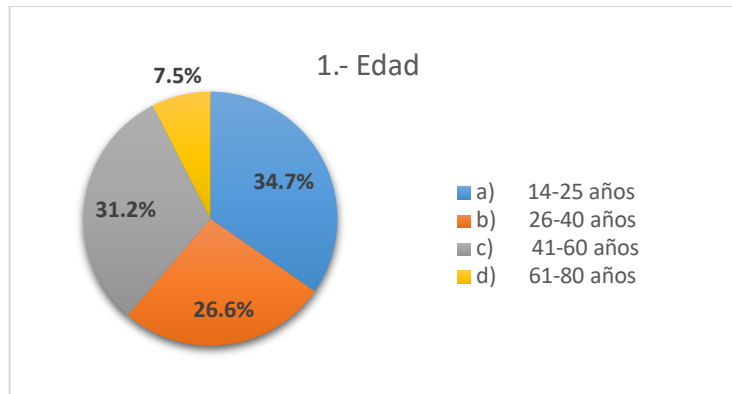
Es posible observar en la figura 28, que el rango de edad que utiliza más este sistema de transporte Cablebús Línea 1 es la población de **14 a 25 años** con el **34.7%** y el de menor es de **61 a 80 años con el 7.5%**, esto debido a que el índice poblacional con base en datos estadísticos del (INEGI, 2020), indica que la mayor cantidad de población de la Ciudad se ubica entre 14-

25 años, por ello es esperado que la mayor parte de las encuestas haya capturado este rango de edad.

Figura 28.

Edad de los usuarios que se trasladan en Cablebús Línea 1.

1.-Edad		
a) 14-25 años	60	34.7%
b) 26-40 años	46	26.6%
c) 41-60 años	54	31.2%
d) 61-80 años	13	7.5%
Total	173	100.0%



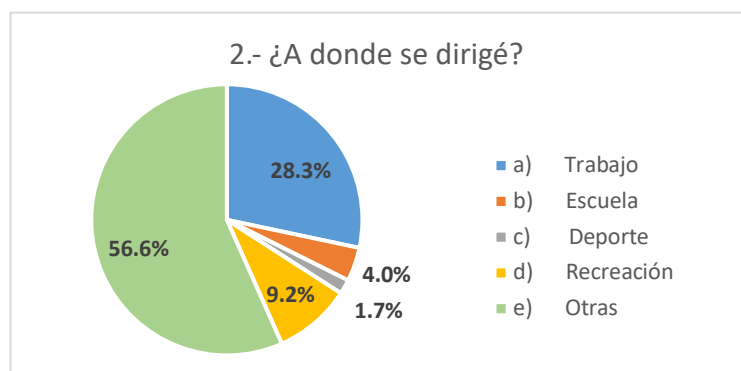
En la Figura 29 se puede observar que alrededor de 28.3% de los encuestados tenían como motivo del viaje “el trabajo”, seguido de la recreación con un 9.2%. Sin embargo, se puede percibir que la gran mayoría de los usuarios el 56.6% reportaron que el principal motivo de viaje es la categoría "otros" (turismo, casa, paseo y visita a familiares).

Estas categorías predominan por el horario que fueron realizadas las encuestas, en este caso en Hora de Máxima Demanda (HMD).

Figura 29.

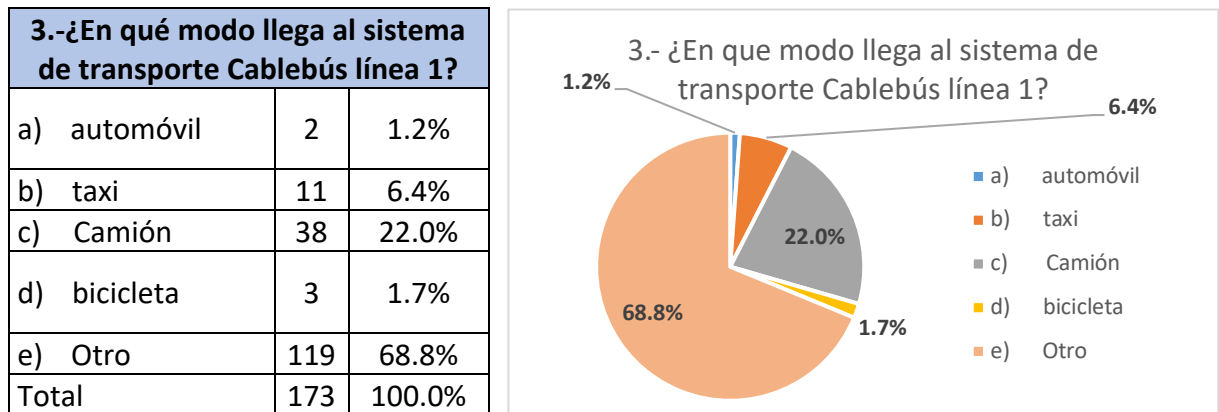
Destino de los usuarios de CBL1.

2.-¿A dónde se dirige?		
a) Trabajo	49	28.3%
b) Escuela	7	4.0%
c) Deporte	3	1.7%
d) Recreación	16	9.2%
e) Otras	98	56.6%
Total	173	100.0%

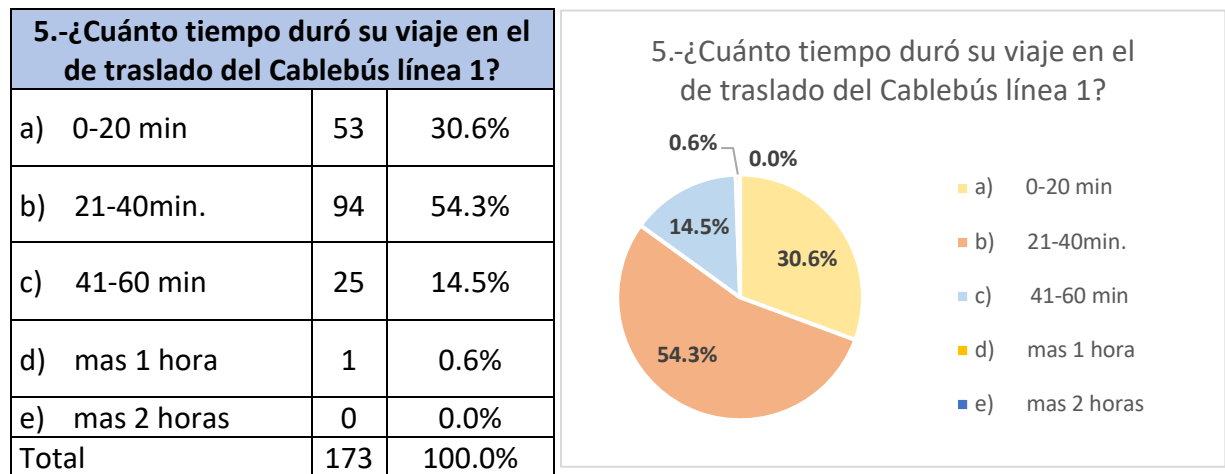


Como se observa en la figura 30, el modo de llegada al sistema que predomina es la opción "otro" (caminando, metro, metrobús, moto), con un 68.8%. Esto se debe a que la mayoría de los usuarios reside en la zona, lo que hace que estos medios de transporte sean accesibles. Sin embargo, aquellos que llegan en metro o metrobús suelen dirigirse a la alcaldía Gustavo A. Madero. Además, la opción "Camión" representa un 22% y también es una forma significativa de acercarse al sistema. Al utilizar este medio de transporte se observa que el vehículo se deja a un lado con el resultado de 1.2%.

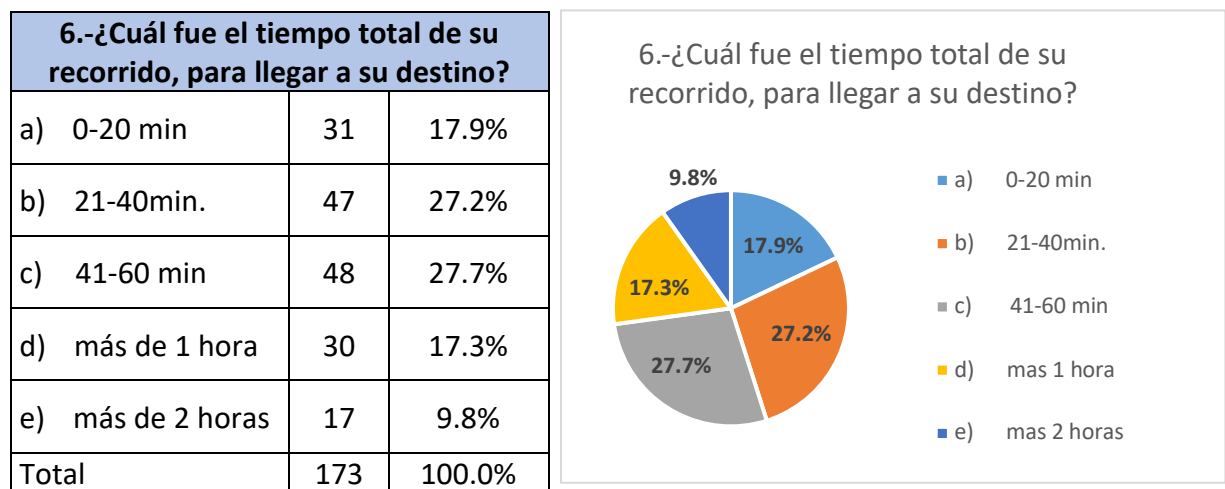
Figura 30.
Modo en el que llega al sistema de CBL1.



La figura 31 muestra como el 54.3% de los usuarios perciben que tardan de 21-40 minutos de tiempo de recorrido en el sistema Cablebús línea 1, seguido del 30.6% que aprecian el tiempo de recorrido de 0- 20 min, cabe señalar que estas personas no realizan todo el recorrido de la línea del sistema, es decir se transportaron de 2 a 4 estaciones. Se puede observar de igual forma que una persona calculo más de una hora por lo cual, no es común que suceda esta situación y podría deberse a alguna falla del sistema.

Figura 31.*Tiempo de traslado en CBL1.*

Ahora si bien en la Figura 32, se observa que, para llegar a su destino, es decir desde que el usuario sale de su hogar hasta que llega el 27.7% se hace de 41-60 min, siguiendo con el 27.2% de 21-40 min., el 19.9% de 0-20 min., estos usuarios teniendo trayectos cortos, el 17.3% realizan más de 1 hora y el 9.8% más de dos horas, estos usuarios son los que vienen del Estado de México o viceversa.

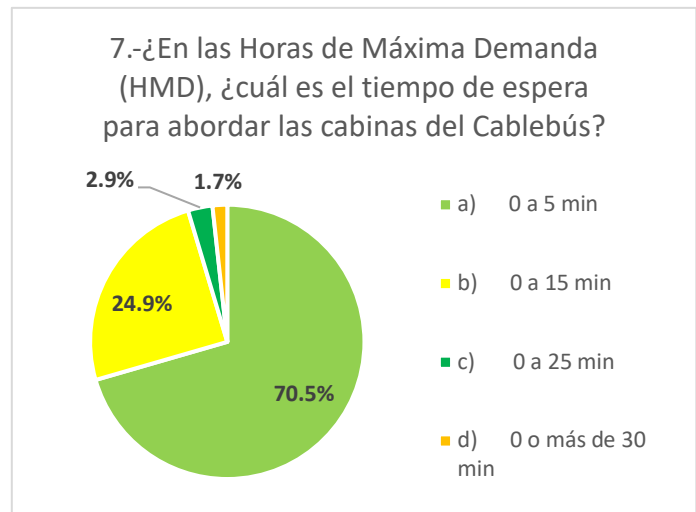
Figura 32.*Tiempo total de recorrido para llegar al destino.*

Se puede visualizar en la figura 33 que, el 70.5% de los usuarios esperan menos de 5 minutos para abordar a las góndolas de dicho sistema. Sin embargo, el 24.9% esperan un tiempo estimado de hasta 15 minutos, en algunos casos el 2.9% hasta 25 min., y el 1.7% han esperado hasta 30 min., es decir, pueden estar esperando más tiempo en abordar que lo que dura su trayecto en dicho sistema.

Figura 33.

Tiempo total de recorrido para llegar al destino.

7.-¿En las Horas de Máxima Demanda (HMD), ¿cuál es el tiempo de espera para abordar las cabinas del Cablebús?		
a) 0 a 5 min	122	70.5%
b) 0 a 15 min	43	24.9%
c) 0 a 25 min	5	2.9%
d) 0 o más de 30 min	3	1.7%
Total	173	100.0%

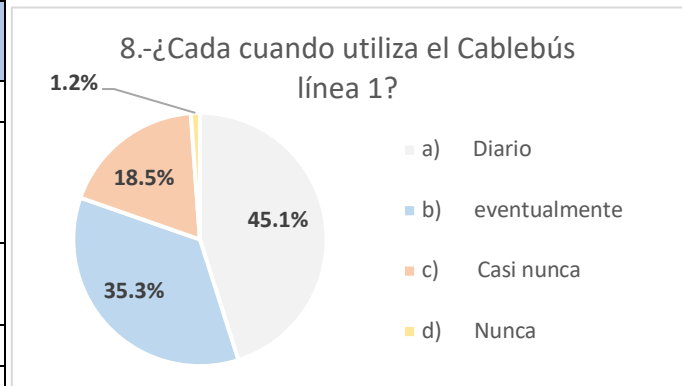


En la figura 34, se puede observar que el 45.1% de los usuarios entrevistados toman a diario el servicio de Cablebús línea 1, aunque el 35.3% lo hacen eventualmente, el 15.5% casi nunca lo utiliza y el 1.2% nunca lo toman, pero esta vez fue la excepción por el hecho de conocerlo.

Figura 34.

Cada cuando utiliza el CBL1 para trasladarse a su Destino.

8.-¿Cada cuando utiliza el Cablebús línea 1?		
A) Diario	78	45.1%
B) Eventualmente	61	35.3%
C) Casi Nunca	32	18.5%
D) Nunca	2	1.2%
Total	173	100.0%

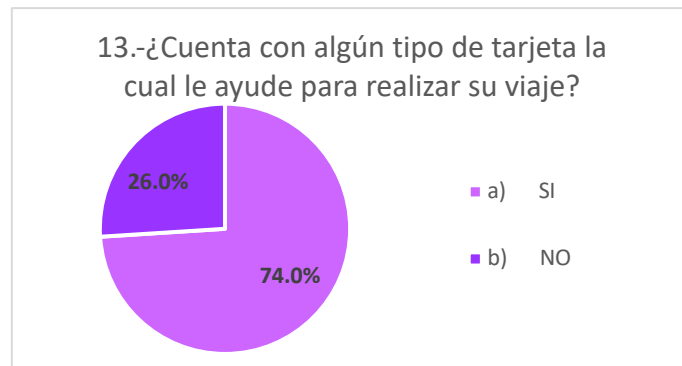


En la figura 35, se visualiza que el 74% de los usuarios cuentan con alguna tarjeta que les ayuda a realizar el viaje, es decir, tarjeta de gratuidad (adultos mayores, discapacidad, estudiantes, etc.) o tarjeta de movilidad integral, y el 26% no cuenta con algún tipo de tarjeta en mención.

Figura 35.

Cuenta con algún tipo de tarjeta que ayude a realizar el viaje.

13.-¿Cuenta con algún tipo de tarjeta la cual le ayude para realizar su viaje?		
A) Si	128	74.0%
B) No	45	26.0%
Total	173	100.0%

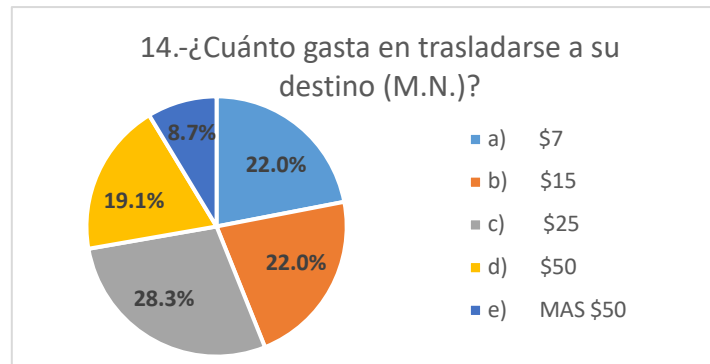


En la figura 36, se puede observar que el 28.3% de los usuarios gasta \$25 M.N., en trasladarse a su destino, siguiendo con el 22% que gasta de \$7 a \$15 pesos, continuando con el 19.3% de los pasajeros con \$50 pesos y finalizando con el 8.7% que gastan más de \$50 pesos, estos últimos el gasto mayor se debe a que su Origen o Destino es el Estado de México.

Figura 36.

Cuánto gasta para llegar a su Destino.

14.-¿Cuánto gasta en trasladarse a su destino (M.N.)?		
a) \$7	38	22.0%
b) \$15	38	22.0%
c) \$25	49	28.3%
d) \$50	33	19.1%
e) Más de \$50	15	8.7%
Total	173	100.0%

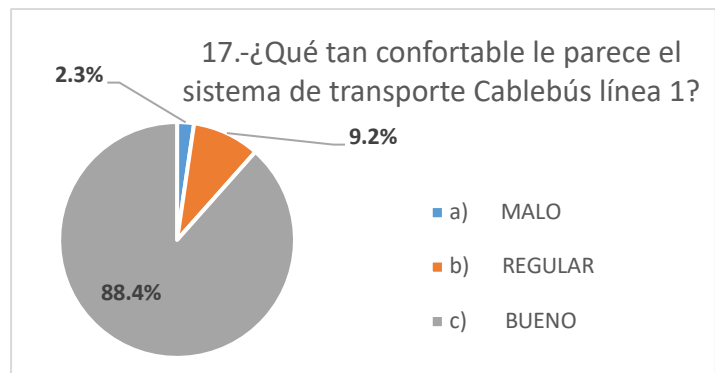


En la Figura 37, se observa que para el 88.4% de los usuarios de CBL1 tienen la percepción de que es bueno el servicio que ofrece, pero para el 9.2% les parece regular y para el 2.3% el servicio les parece malo por el hecho de no existir una coordinación por parte del personal que los aborda a las góndolas y por ende el tiempo que deben de esperar para ascender.

Figura 37.

Qué tan comfortable es el sistema CBL1.

17.-¿Qué tan comfortable le parece el sistema de transporte Cablebús línea 1?		
A) Malo	4	2.3%
B) Regular	16	9.2%
C) Bueno	153	88.4%
Total	173	100.0%



Conclusión parcial: El análisis de la encuesta permitió identificar el perfil sociodemográfico de los usuarios, sus patrones de viaje y la percepción sobre el servicio. Estos resultados muestran una dependencia significativa del Cablebús en sectores de bajos ingresos y con limitadas alternativas de transporte, lo que refuerza la necesidad de mejorar su eficiencia y accesibilidad.

Modelo de Transporte de Cuatro Etapas

En la aplicación del Modelo de Cuatro Etapas se empleó una combinación de datos reales y escenarios de simulación. Los insumos principales provinieron de la encuesta origen–destino aplicada en campo, así como de bases oficiales del Gobierno de la Ciudad de México, SEMOVI y CONAPO. Los datos reales sirvieron para caracterizar la situación actual (generación, distribución y elección modal), mientras que los supuestos de simulación, como el crecimiento poblacional proyectado, se utilizaron únicamente para estimar escenarios futuros en la generación y asignación de viajes.

Modelo de Generación de viajes

La generación de viajes está vinculada a las características demográficas y de movilidad de los usuarios. De acuerdo con datos oficiales del Gobierno de la Ciudad de México, la Línea 1 del Cablebús cuenta con una capacidad operativa de hasta 5,000 pasajeros por hora por sentido, a través de 377 cabinas con capacidad para 10 personas cada una (Gobierno de la CDMX; STE, 2021). Esto representa un potencial significativo para atender la demanda de movilidad en la zona oriente de la ciudad.

Para la simulación, se asume que la población en la zona de influencia del Cablebús crece a una tasa del 1% anual (CONAPO, 2021), lo que impactará la cantidad de viajes generados y atraídos por el sistema.

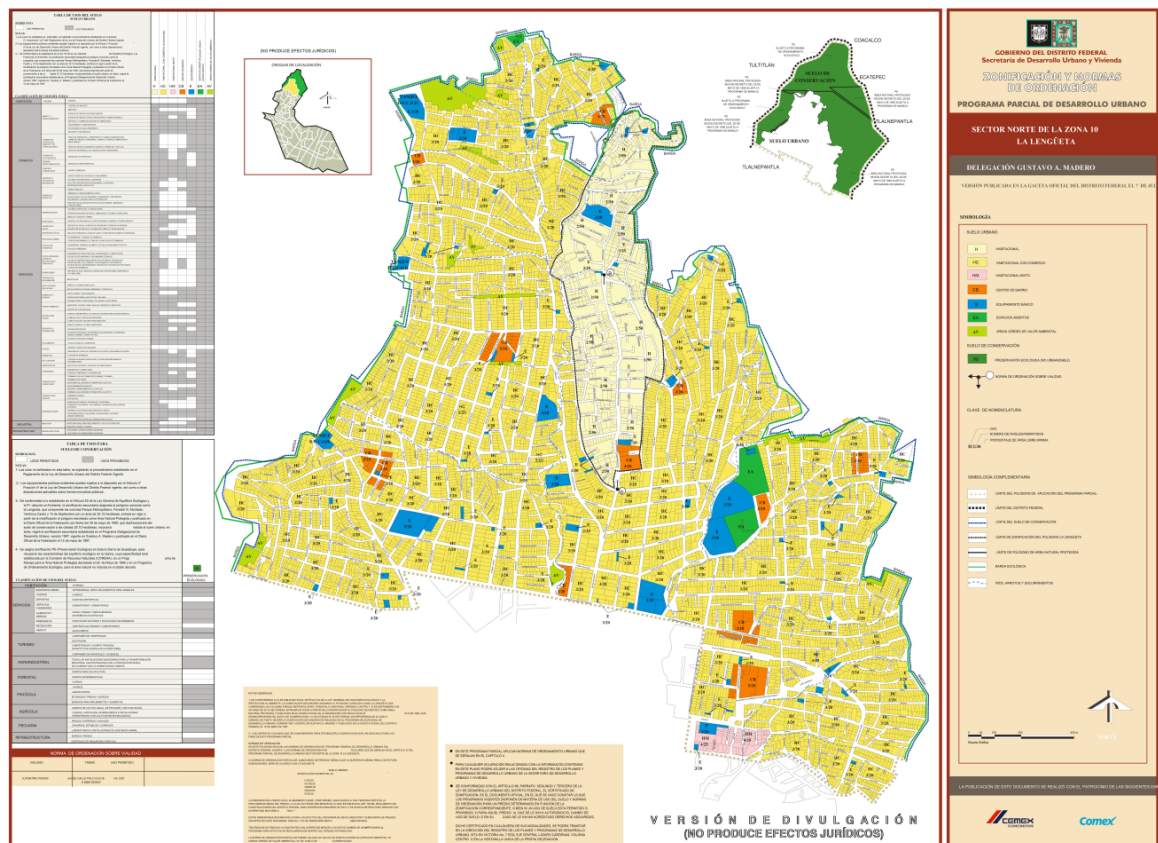
Por lo que se observa en la Figura 38, información de la Secretaria de Desarrollo Urbano y Vivienda de la zona de estudio, los usos de suelo que predominan en la Zona de estudio Cablebús línea 1;

- **H** = Habitacional: Este tipo de uso está diseñado para actividades residenciales, ya sea en la forma de viviendas unifamiliares, multifamiliares, conjuntos habitacionales o desarrollos residenciales con servicios complementarios.
- **HC** = Habitacional con Comercio: zonificación que permite la coexistencia de espacios destinados a vivienda con actividades comerciales en una misma área o inmueble. Este tipo de uso de suelo está diseñado para fomentar un entorno urbano mixto, promoviendo la accesibilidad a servicios básicos y la actividad económica sin comprometer la habitabilidad residencial.

Por lo anterior, la zona de estudio se determina como una zona de atracción y generación de viajes.

Figura 38.

Diagrama de los elementos que componen al sistema.



Fuente: Elaboración propia con información del Marco Internacional.

Modelos de Distribución zonal

La distribución de viajes refleja cómo los pasajeros se reparten entre las distintas estaciones a lo largo de la ruta. De acuerdo con los datos operativos de la SEMOVI, el 60% de los usuarios accede al servicio desde las estaciones terminales de Indios Verdes y Cuauhtepac, mientras que el 40% restante utiliza las estaciones intermedias (SEMOVI, 2020). Esta tendencia también fue corroborada en campo durante el levantamiento de encuestas, donde se observó que un gran número de usuarios iniciaba sus desplazamientos desde dichas estaciones terminales, confirmando así su papel como principales puntos de acceso al sistema.

- ✓ Indios Verdes
- ✓ Cuauhtepac

Modelos de reparto modal

La elección modal analiza la preferencia de los usuarios entre distintos modos de transporte disponibles. Según el Plan Integral de Movilidad (SEMOVI, 2019), aproximadamente el 70% de los pasajeros prefieren el Cablebús sobre otros modos de transporte debido a su rapidez, menor tiempo de espera y accesibilidad. Esta tendencia también fue confirmada mediante el levantamiento de encuestas en campo, donde los usuarios destacaron consistentemente estos atributos como las principales razones de su preferencia por el sistema. Este porcentaje es clave para modelar la demanda y ajustar la operación del sistema, ya que indica que una gran parte de los usuarios optará por el Cablebús si se mantienen condiciones óptimas de servicio.

Asignación

En el caso del Cablebús, la etapa de asignación se refiere al proceso mediante el cual se determina cómo se distribuyen los flujos de pasajeros a lo largo de la línea, considerando tanto

la capacidad instalada del sistema como la frecuencia de circulación de las cabinas. Dado que el Cablebús opera bajo un esquema de rutas fijas y con intervalos constantes entre cabinas, la asignación se basa principalmente en el análisis de la demanda observada en cada estación y su correspondencia con la oferta disponible. Esta etapa permite identificar posibles desequilibrios en la carga de pasajeros entre estaciones, así como evaluar el nivel de saturación en determinados tramos, contribuyendo a la optimización de la operación mediante ajustes en la frecuencia o la gestión del abordaje.

Conclusión parcial: El modelo de Cuatro Etapas permitió identificar que la generación de viajes en la zona de influencia del Cablebús Línea 1 está directamente vinculada a su carácter predominantemente habitacional y al crecimiento poblacional proyectado ($\approx 1\%$ anual). La distribución de viajes confirmó la concentración del 60% de los accesos en las terminales Cuauhtepac e Indios Verdes, lo que explica los cuellos de botella observados en horas de máxima demanda. En la elección modal, se corroboró que cerca del 70% de los usuarios prefieren el Cablebús por su rapidez y accesibilidad, aunque esta ventaja depende del mantenimiento de frecuencias regulares. Finalmente, la asignación de flujos evidenció desequilibrios operativos en terminales y saturación en andenes.

En síntesis, este modelo validó los patrones espaciales y modales de la demanda, y sustentó la necesidad de ajustar frecuencias y mejorar la gestión del abordaje en estaciones críticas.

Propuesta basada del Modelo de Transporte de Cuatro Etapas

A partir del análisis realizado mediante el modelo de transporte de cuatro etapas aplicado a la Línea 1 del Cablebús, se propone reforzar la planificación operativa mediante la implementación de estrategias diferenciadas por tipo de estación (terminal e intermedia) y por horario (pico y valle). La información obtenida en campo, junto con los datos institucionales,

sugiere una fuerte concentración de la demanda en las estaciones terminales, especialmente durante las horas pico. Ante esta situación, se recomienda:

- 1- Ajustar dinámicamente la frecuencia de cabinas en función del flujo esperado por tramo, priorizando una mayor frecuencia en los extremos de la línea durante los horarios críticos.
- 2- Establecer estrategias de gestión del abordaje, como mecanismos de control de acceso temporal en estaciones con alta demanda, a fin de mejorar la eficiencia del flujo de pasajeros y reducir tiempos de espera.
- 3- Fortalecer la integración modal en los puntos terminales, incentivando una mayor conectividad con otros modos de transporte (por ejemplo, transporte terrestre o bicicletas), considerando que el 70% de los usuarios eligen el Cablebús por sus ventajas en rapidez y accesibilidad.
- 4- Revisar periódicamente los patrones de asignación utilizando datos actualizados de operación y encuestas origen-destino, para garantizar que la oferta del sistema se mantenga alineada con la demanda real observada.

Estas acciones permitirían optimizar la operación del sistema desde una perspectiva sistémica, atendiendo no solo el volumen de usuarios sino también su distribución espacial y temporal, contribuyendo así a la sostenibilidad operativa y a la mejora continua del servicio.

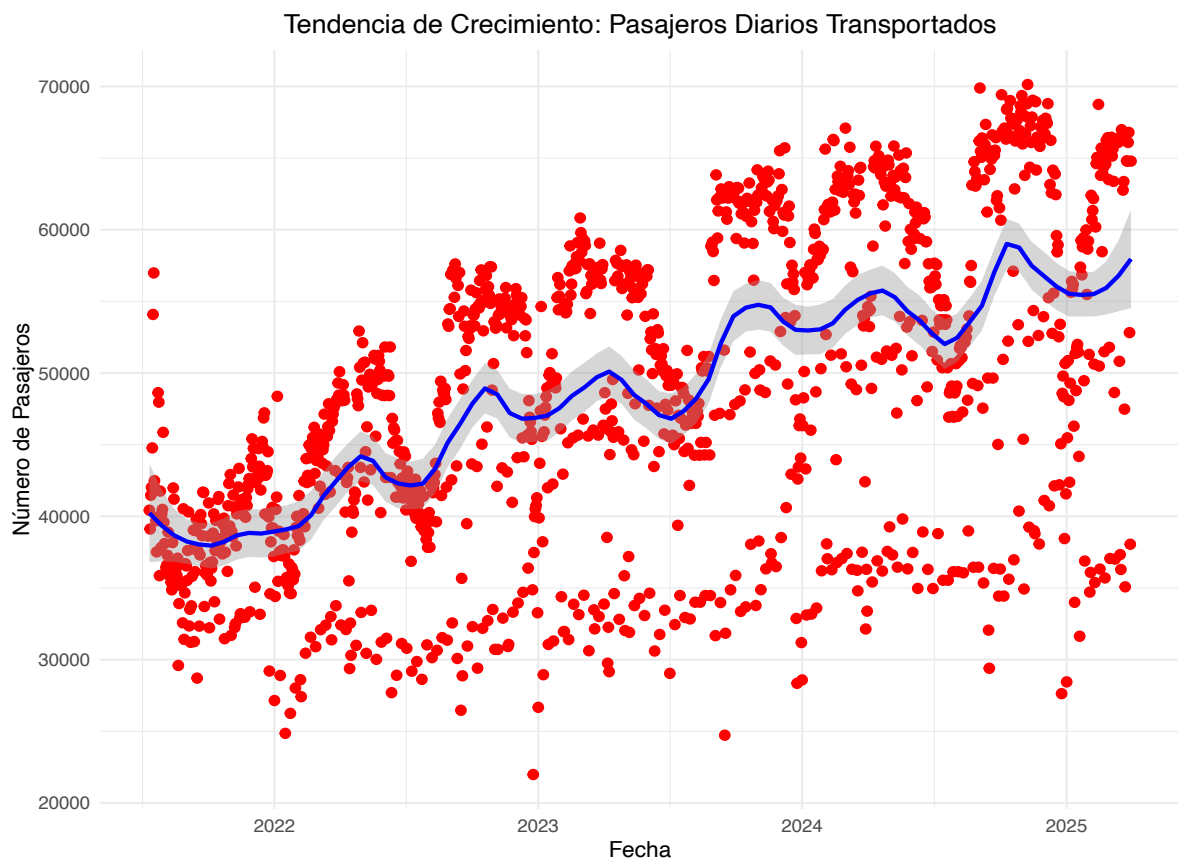
Modelo de ARIMA

Para estudiar la evolución y el pronóstico de la demanda diaria en la Línea 1 del Cablebús, se empleó un enfoque de series temporales mediante un modelo ARIMA estacional, siguiendo la metodología Box-Jenkins.

Se utilizó una base de datos que comprende el total de pasajeros transportados diariamente desde el inicio de operaciones de la Línea 1 en 2021 hasta marzo de 2025.

La Figura 39 muestra la tendencia de crecimiento de los pasajeros transportados durante dicho periodo, mostrando una clara tendencia ascendente, reflejada en un incremento gradual y sostenido en la cantidad de usuarios a lo largo del tiempo, posiblemente impulsado por la creciente adopción del servicio, el aumento de la población cercana o cambios en los patrones de movilidad. Además, se observan fluctuaciones que podrían indicar estacionalidad, con picos relacionados con periodos vacacionales y descensos en días laborales. La serie presenta una media en aumento y varianza constante, lo que sugiere una estructura no estacionaria en nivel pero estable en su dispersión. Por ello, se realizaron pruebas como la de Dickey-Fuller para confirmar estas características.

Figura 39.
Pasajeros Transportados en Cablebús Línea 1.



Fuente: Elaboración propia con *Software R*.

Nota: pasajeros transportados de la fecha 12 de julio de 2021 al 31 de marzo de 2025.

Como se observa en la Tabla 4, las principales estadísticas descriptivas del número de pasajeros transportados en la Línea 1 del Cablebús reflejan un comportamiento general de crecimiento en la utilización del servicio. La variable principal analizada fue el número total de pasajeros transportados por día. A continuación, se detallan los principales indicadores estadísticos obtenidos:

Tasa Media de Crecimiento de la Demanda

Para identificar la dinámica de evolución de la demanda a lo largo del tiempo, se calculó la Tasa Media de Crecimiento Mensual (TMAC), definida como en la (Ecuación 7).

$$\text{TMAC} = (X_2 / X_1)^{(1 / n)} - 1$$

Donde:

- X_1 es la demanda inicial (21,985 pasajeros),
- X_2 es la demanda final observada (valor máximo de 70,129 pasajeros),
- n representa el número de meses transcurridos entre ambas fechas (aproximadamente 48.3 meses).

El resultado de esta estimación arrojó una TMAC de 1.05%, lo que indica que la demanda ha experimentado un crecimiento promedio mensual desde el inicio del servicio hasta la fecha de corte del análisis. Este incremento constante y sostenido valida la necesidad de implementar herramientas de pronóstico que permitan anticipar el comportamiento futuro de la demanda y, en consecuencia, optimizar la capacidad operativa del sistema.

Valor mínimo (Min.): 21,985 pasajeros. Este valor representa el menor número de pasajeros registrado en un solo día durante el periodo observado, lo cual podría deberse a condiciones operativas atípicas, como mantenimiento, fallas técnicas o días festivos con baja demanda.

Primer cuartil (Q1): 39,757 pasajeros. El 25% de los días con menor afluencia de pasajeros registró valores por debajo de este umbral, indicando los niveles de demanda más bajos en condiciones normales.

Mediana: 48,581 pasajeros. El valor central de la distribución indica que la mitad de los días presentaron una demanda menor o igual a este valor, y la otra mitad una demanda superior.

Media aritmética: 48,593 pasajeros diarios. Este valor promedio está muy cercano a la mediana, lo cual sugiere una distribución de la demanda relativamente simétrica, sin una alta presencia de valores atípicos extremos.

Tercer cuartil (Q3): 57,188 pasajeros. El 25% de los días con mayor demanda superó este umbral, reflejando picos de operación más intensos, posiblemente asociados a días laborales o con eventos especiales.

Valor máximo: 70,129 pasajeros. Este valor representa el mayor número de pasajeros transportados en un solo día, evidenciando la capacidad máxima alcanzada por el sistema en condiciones de máxima demanda.

Desviación estándar: 10,765.62 pasajeros. Este indicador mide la dispersión de la demanda respecto a la media. Un valor relativamente alto como este indica variabilidad significativa en la operación diaria, lo que debe ser considerado al momento de implementar modelos predictivos o estrategias de gestión de la demanda.

Varianza (σ^2): La varianza calculada fue de aproximadamente 115,898,596 pasajeros. Este valor representa el cuadrado de la desviación estándar y es una medida clave de dispersión que se utiliza en modelados más avanzados, como los algoritmos de predicción.

Tabla 4.
Estadísticas descriptivas de los datos.

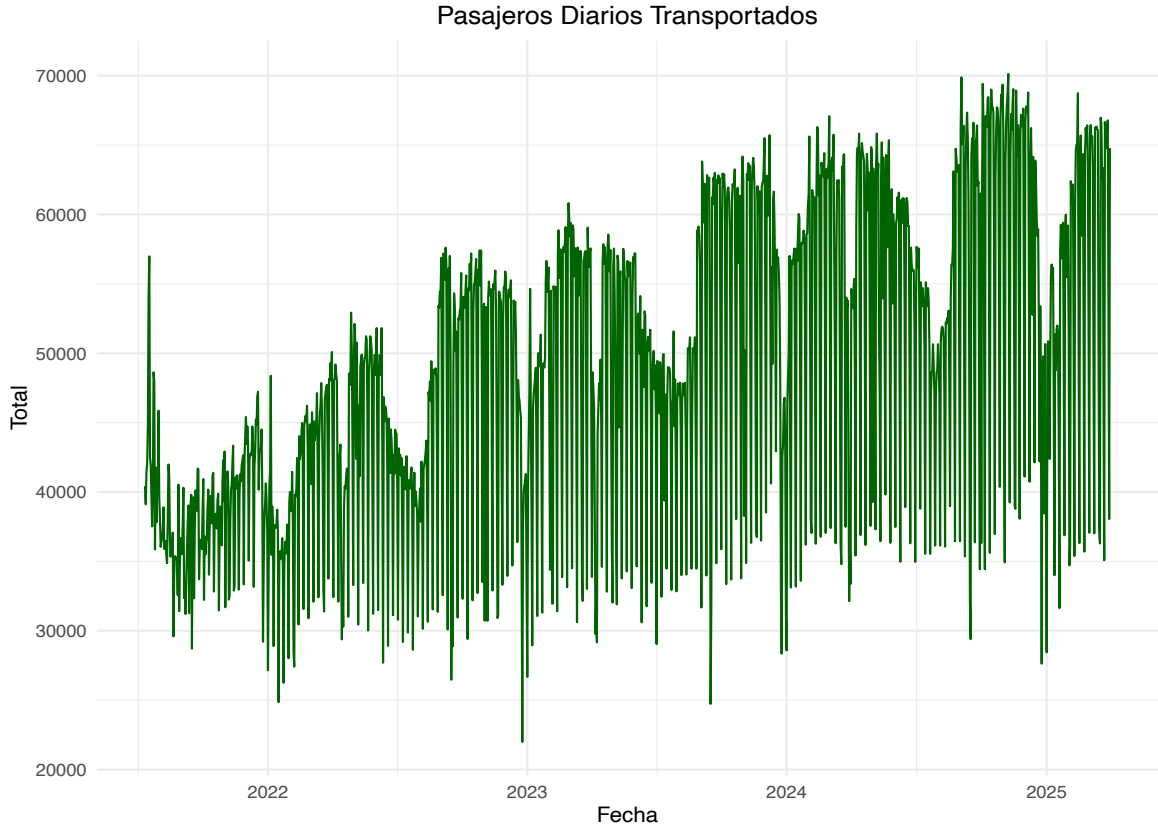
Estadístico	Valor
Tasa Media Mensual de Crecimiento (TMAC)	1.05 %
Mínimo	21,985
1er Cuartil	39,757
Mediana	48,581
Media	48,593.11
3er Cuartil	57,188
Máximo	70,129
Desviación estándar	10,765.62
Varianza	115,898,596

Nota: Estas estadísticas indican una alta dispersión en los datos, lo que sugiere fluctuaciones importantes en la demanda diaria.

Para analizar el comportamiento temporal de la demanda, se graficó la serie de pasajeros transportados diariamente en la Línea 1 del Cablebús (véase Figura 40). En la visualización se aprecia una tendencia general creciente, lo cual indica un incremento progresivo en el uso del servicio a lo largo del tiempo.

Asimismo, se observa un patrón de estacionalidad de tipo semanal, caracterizado por una caída notable en la demanda durante los fines de semana. Esta variación estacional se explica principalmente por la naturaleza de los viajes realizados, ya que, de acuerdo con los resultados obtenidos mediante la encuesta aplicada en campo, la mayoría de los usuarios utiliza el sistema para trasladarse a sus centros de trabajo. En consecuencia, la demanda disminuye los sábados y domingos, cuando la actividad laboral se reduce.

Figura 40.
Pasajeros Transportados en la línea 1 del Cablebús.

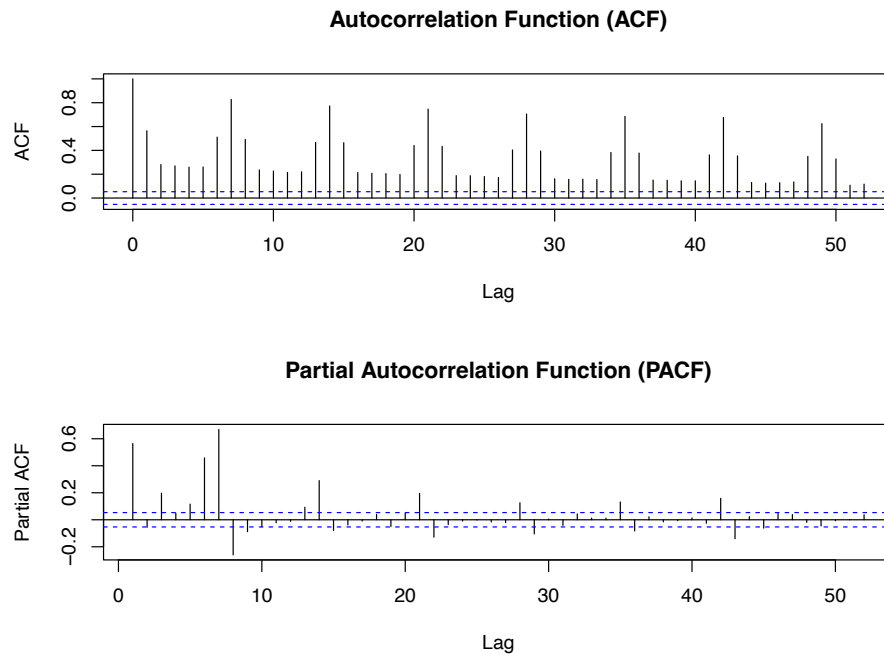


Fuente: Elaboración propia con *Software R*.

Identificación de Estacionalidad y Dependencia

Para identificar patrones temporales, se emplearon las funciones de autocorrelación (ACF) y autocorrelación parcial (PACF) con un retardo máximo de 52 lags, que representan 52 semanas de datos (un año) para identificar estructuras temporales. Las gráficas evidenciaron una marcada estacionalidad semanal, con picos significativos cada 7 días, consistente con el comportamiento típico del transporte público urbano (Vease Figura 41).

Figura 41.
Estacionalidad semana.



Fuente: Elaboración propia con *Software R*

Prueba de Estacionariedad: Test de Dickey-Fuller Aumentado (ADF)

La prueba de Dickey-Fuller Aumentada (ADF, por sus siglas en inglés). Esta prueba es fundamental dentro del enfoque Box-Jenkins, ya que la estacionariedad es un supuesto clave para la aplicación adecuada de modelos ARIMA.

Durante la ejecución del test ADF, se obtuvo un valor estadístico de Dickey-Fuller de -7.3149 con un orden de rezago (lag) de 11, arrojando un valor-p reportado como menor a 0.01. Esto indica una evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula de no estacionariedad. Por tanto, se concluye que la serie temporal ya se encuentra en estado estacionario y no requiere ser diferenciada para su modelado.

Modelo ARIMA ajustado y su interpretación

En el análisis realizado, el modelo ajustado fue un ARIMA estacional identificado como $ARIMA(3,0,2)(2,1,1)[7]$ con deriva. A continuación se describen sus componentes para facilitar su interpretación:

$ARIMA(3,0,2)$: Esta parte representa la componente no estacional del modelo. Indica que se utilizan tres términos autorregresivos ($AR(3)$), no se aplicaron diferencias (lo que implica que la serie ya era estacionaria en nivel) y se incluyen dos términos de medias móviles ($MA(2)$). En conjunto, estos elementos permiten capturar las dependencias lineales a corto plazo entre los valores pasados de la serie.

$(2,1,1)[7]$: Esta notación representa la componente estacional del modelo. El número 7 especifica que se trabaja con una estacionalidad de periodo semanal, es decir, patrones que se repiten cada siete unidades de tiempo. Se incluyen dos términos autorregresivos estacionales (AR estacional), una diferencia estacional ($d=1$) para eliminar la estacionalidad, y un término de media móvil estacional (MA estacional).

Drift (deriva): Se incorpora una constante al modelo que permite capturar una tendencia lineal no nula a lo largo del tiempo. Esto es especialmente útil si se detecta un crecimiento o decrecimiento sistemático en la serie de demanda, más allá de la componente estacional.

Este modelo fue seleccionado por ofrecer un buen ajuste a los datos históricos, evaluado mediante criterios estadísticos como AIC y BIC, así como mediante el análisis de los residuos, los cuales no mostraron autocorrelación significativa.

Generación del pronóstico y su interpretación

Con base en este modelo ARIMA, se generó un pronóstico de la demanda diaria para los siguientes 180 días (aproximadamente seis meses). Este pronóstico permite anticipar el

comportamiento futuro del sistema, considerando que cada unidad de tiempo representa un día. La proyección se basa en los patrones históricos observados, incorporando componentes estacionales y de tendencia identificados en la serie temporal.

El resultado incluye no solo la predicción puntual (es decir, el valor esperado en cada periodo futuro), sino también un intervalo de confianza al 95%. Este intervalo proporciona un rango dentro del cual se espera que se encuentre el valor real futuro con un 95% de probabilidad. El límite inferior del intervalo se denota como Lo 95, y el superior como Hi 95.

La inclusión de este intervalo es fundamental para la toma de decisiones operativas, ya que proporciona una medida de la incertidumbre asociada al pronóstico, permitiendo anticipar posibles variaciones en la demanda y planear escenarios con mayor robustez.

La Tabla 5 muestra una selección de días dentro del horizonte de 180 días pronosticados para la demanda diaria de pasajeros en la Línea 1 del Cablebús, comenzando a partir del 1 de abril, fecha desde la cual se proyecta debido a que se dispone de datos hasta el primer trimestre de 2025. Se incluyen tanto los valores estimados como los intervalos de confianza al 95% (Lo 95 y Hi 95), que permiten identificar el rango dentro del cual es probable que se encuentre la demanda real.

El pronóstico muestra una demanda estable en torno a los 65,000 pasajeros diarios. Por ejemplo, para el día 1 se estiman 66,447 pasajeros, y para el día 180, 65,888 pasajeros, con márgenes de confianza que reflejan una incertidumbre moderada y creciente en el tiempo. Estos resultados permiten anticipar el comportamiento esperado del sistema y respaldan la toma de decisiones operativas con base en la tendencia proyectada.

Tabla 5.

Pronostico de pasajeros transportados apartir del 1 de abril 2025.

Día Pronosticado	Pronóstico	Límite Inferior	Límite Superior
Día 1	66,447	57,260	75,633
Día 7	61,833	51,289	72,377
Día 14	61,000	49,461	72,539
Día 30	65,728	52,557	76,900
Día 90	65,390	52,260	78,520
Día 180	65,888	52,338	79,382

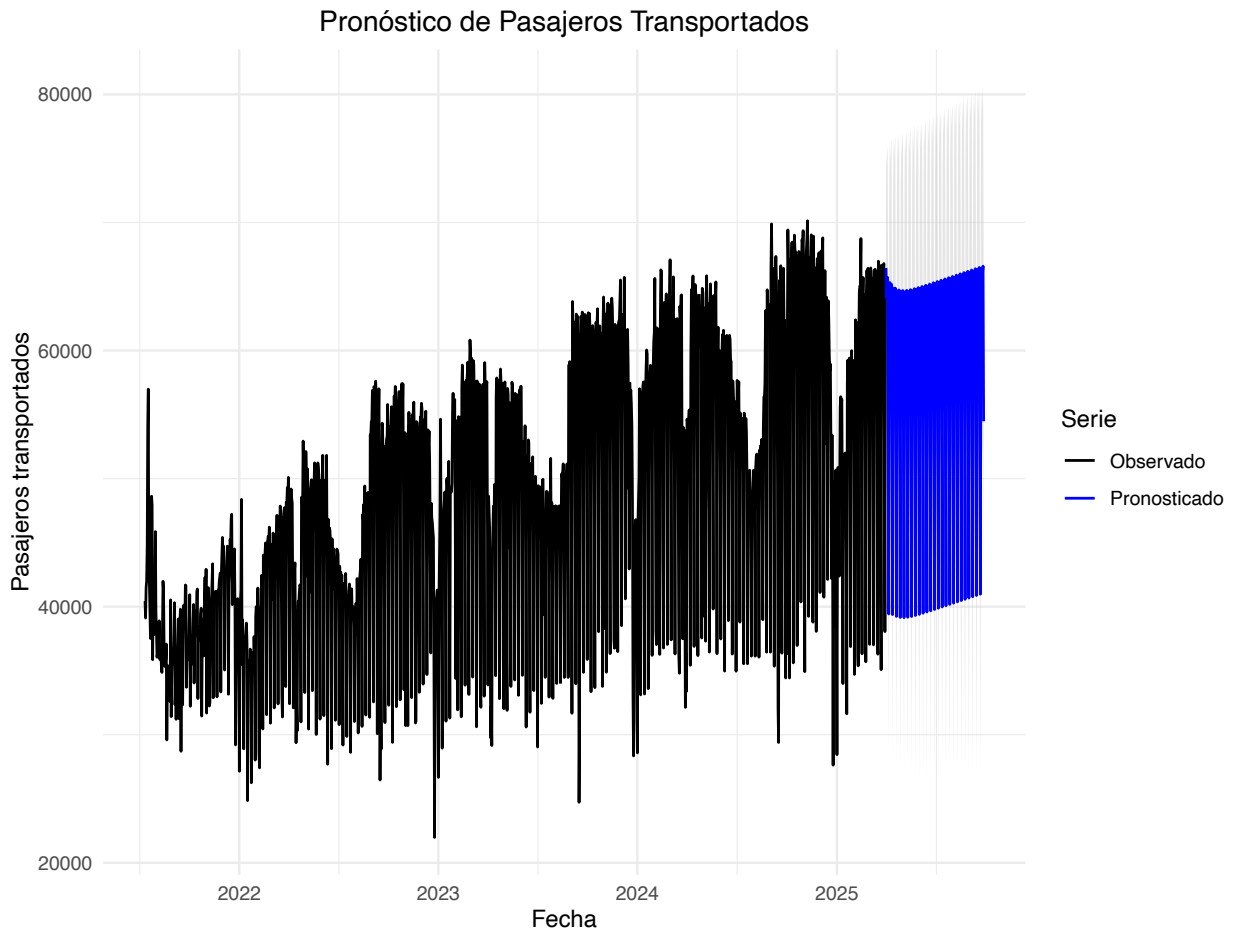
Fuente: Elaboración propia con *Software R*.

La Figura 42 muestra la evolución completa de la demanda histórica de pasajeros en la Línea 1 del Cablebús, así como su proyección futura, estimada mediante un modelo ARIMA(3,0,2)(2,1,1)[7] que incorpora estacionalidad semanal y un término de deriva. Esta representación permite visualizar la correspondencia entre los datos reales y el comportamiento esperado de la serie en el corto plazo.

La línea azul representa los valores esperados de la demanda para los siguientes 180 periodos. Se observa una tendencia general ligeramente creciente, con fluctuaciones semanales, lo que es coherente con los patrones estacionales detectados. La franja gris que rodea la predicción indica el intervalo de confianza del 95%, mostrando el rango de variabilidad esperada de las predicciones. A medida que se proyecta más hacia el futuro, estos intervalos se amplían, reflejando el aumento de la incertidumbre en las estimaciones conforme avanza el horizonte de pronóstico.

Figura 42.

Pronóstico de la serie de tiempo.



Fuente: Elaboración propia con *Software R*.

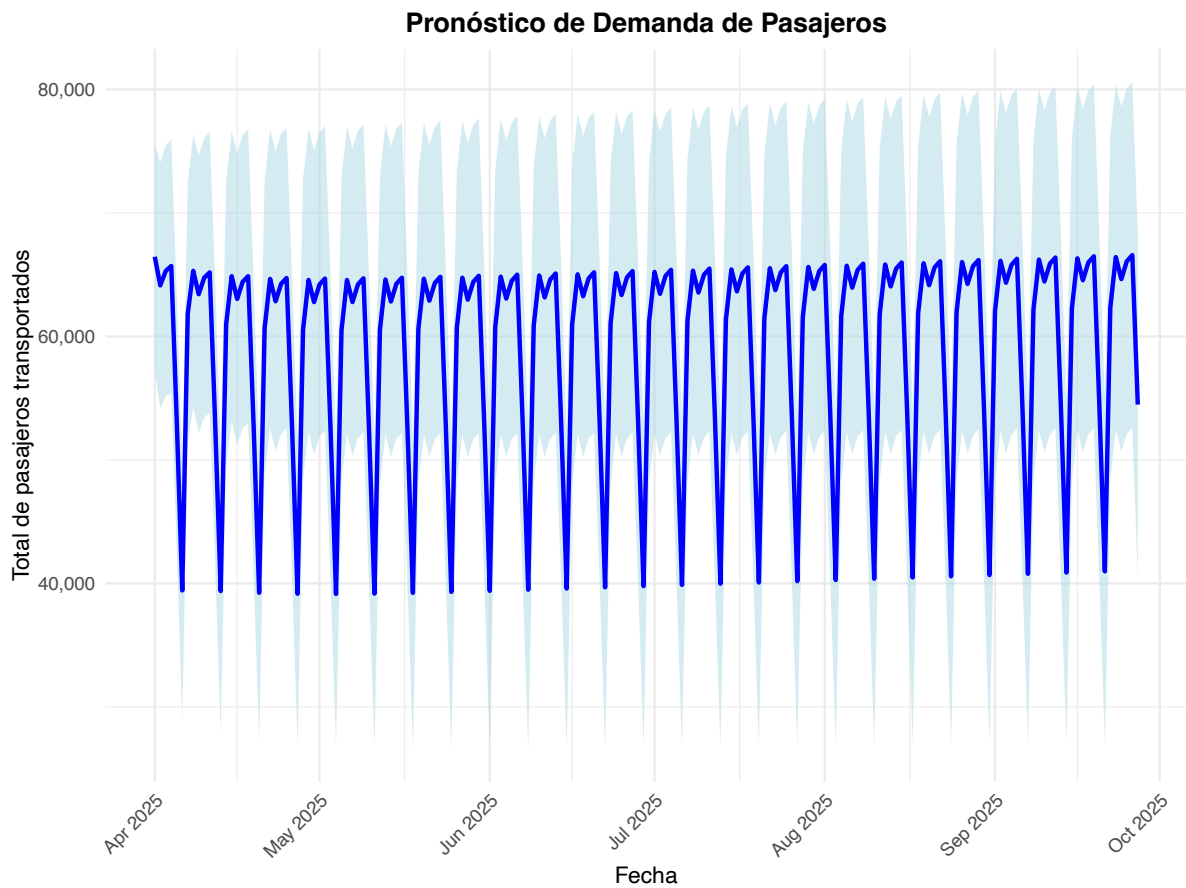
En la Figura 43 se presenta el pronóstico de la demanda diaria de pasajeros para la Línea 1 del Cablebús de la Ciudad de México, generado a partir de un modelo ARIMA con componente estacional. Este pronóstico abarca un horizonte de 180 días a partir del último registro observado en la serie original. La línea azul representa los valores estimados del número de pasajeros por día, mientras que las bandas sombreadas indican los intervalos de confianza al 95%, los cuales permiten visualizar la incertidumbre del modelo conforme avanza el tiempo.

Se puede observar que el modelo logra capturar adecuadamente el patrón estacional semanal característico del comportamiento de la demanda, con ciclos recurrentes de mayor afluencia

durante los días laborales y reducciones hacia el fin de semana. Asimismo, se aprecia una tendencia relativamente estable, sin variaciones abruptas hacia el alza o baja. Es importante señalar que las bandas de confianza se amplían progresivamente, lo que es consistente con la naturaleza de los modelos de predicción: a mayor horizonte de pronóstico, mayor incertidumbre asociada.

Figura 43.

Pronóstico de la serie de tiempo 180 días.



Fuente: Elaboración propia con *Software R*

La Tabla 6 resumen las estadísticas descriptivas del pronóstico obtenido. El valor medio estimado de la demanda diaria durante el horizonte de predicción (180 días) fue de 59,240.89 pasajeros, mientras que la mediana fue de 63,596.55, lo que indica una distribución ligeramante

sesgada hacia valores inferiores. La varianza fue de 77,054,361 y la desviación estándar alcanzó los 8,778.06 pasajeros, indicando una variabilidad moderada en los valores proyectados. Los extremos del pronóstico oscilan entre un mínimo de 39,142.20 y un máximo de 66,586.29 pasajeros diarios transportados.

Tabla 6.

Estadísticas descriptivas del pronóstico generado por el modelo ARIMA.

Estadístico	Valor
Media	59,240.89
Mediana	63,596.55
Varianza	77,054,361
Desviación estándar	8,778.06
Mínimo	39,142.20
Máximo	66,586.29

Fuente: Elaboración propia con *Software R*.

Para validar el ajuste del modelo, se aplicó la prueba de Ljung-Box sobre los residuos del modelo ARIMA, evaluando su independencia a distintos rezagos (lags). Se ejecutó la prueba para distintos rezagos (lags) entre 1 y 8, que representan desde una hasta ocho unidades temporales (días en este caso), en todos los casos, los valores p resultaron mayores a 0.05 (por ejemplo, $p = 0.9832$ para lag 1 y $p = 0.2647$ para lag 8), lo cual indica ausencia de autocorrelación significativa. Esto confirma que los residuos del modelo se comportan como ruido blanco, es decir, que no presentan autocorrelación significativa, por lo que el modelo ajustado representa adecuadamente la dinámica temporal observada y es confiable para fines de pronóstico (Vease Tabla 7).

Tabla 7.
Pruebad e Ljung-Box de 1 a 8 rezagos.

Rezago	Valor X²	Valor-p	Interpretación
Lag 1	0.0004	0.9832	No hay autocorrelación significativa
Lag 2	0.0005	0.9997	No hay autocorrelación significativa
Lag 3	0.0203	0.9992	No hay autocorrelación significativa
Lag 4	0.8983	0.9248	No hay autocorrelación significativa
Lag 5	0.9078	0.9697	No hay autocorrelación significativa
Lag 6	8.3988	0.2103	No hay autocorrelación significativa
Lag 7	8.4016	0.2985	No hay autocorrelación significativa
Lag 8	10.005	0.2647	No hay autocorrelación significativa

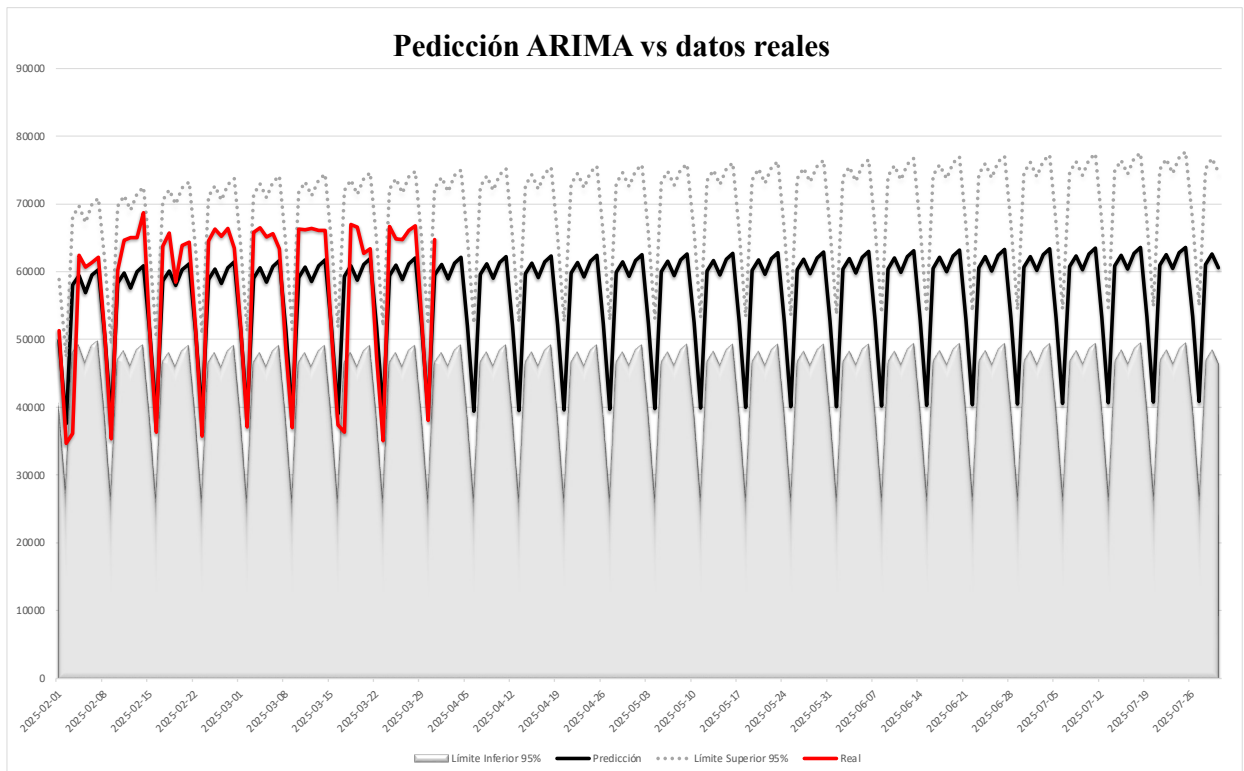
Fuente: Elaboración propia con *Software R*.

Adicionalmente, para evaluar la robustez del modelo ARIMA ajustado, se implementó una estrategia de validación retrospectiva. En primera instancia, se entrenó el modelo con la serie completa disponible hasta el 31 de marzo de 2025, generando un pronóstico de la demanda diaria de pasajeros en la Línea 1 del Cablebús a 180 días hacia el futuro.

Posteriormente, con el objetivo de comprobar la capacidad predictiva del modelo, se realizó una segunda estimación. En esta ocasión, el modelo ARIMA fue recalibrado utilizando únicamente los datos disponibles hasta el 31 de enero de 2025. A partir de esta versión del modelo, se generó una predicción que abarca del 1 de febrero al 31 de marzo de 2025, periodo para el cual ya se cuenta con datos reales observados. Esta predicción se comparó con los valores reales correspondientes, lo que permitió evaluar el desempeño del modelo en un entorno controlado, sin que los datos reales influenciaran su ajuste.

La comparación entre ambas series predicción y datos reales se muestra en la Figura 44. En dicha gráfica, se observa que el modelo logra capturar adecuadamente la estacionalidad semanal y las fluctuaciones de la demanda, manteniendo la mayoría de los valores reales dentro del intervalo de confianza del 95 %. Esto respalda la solidez del modelo ARIMA para anticipar la demanda futura de pasajeros en el sistema Cablebús.

Figura 44.
Predicción ARIMA contra datos reales.



Fuente: Elaboración propia con *Software R*.

Para complementar la evaluación visual mostrada en la Figura 44, se presenta la Tabla 8, en la cual se comparan algunos valores específicos entre la demanda real observada y los valores pronosticados por el modelo ARIMA, correspondientes al periodo de validación comprendido entre el 1 de febrero y el 31 de marzo de 2025. En esta tabla se incluyen días representativos a lo largo del horizonte de comparación, así como sus respectivos intervalos de confianza al 95 %.

La tabla 8 permite verificar cuantitativamente el grado de precisión del modelo, destacando que en la mayoría de los casos el valor real de la demanda se encuentra dentro del rango delimitado por los límites inferior y superior (Lo 95 y Hi 95). Este comportamiento valida la capacidad del modelo para replicar patrones reales de la demanda con un nivel aceptable de error, lo cual refuerza su utilidad para la toma de decisiones operativas y de planificación en el sistema Cablebús.

Tabla 8.

Predicción ARIMA contra datos reales para 59 días apartir del 1 de febrero 2025.

Día Pronosticado	Real	Pronóstico	Límite Inferior	Límite Superior
Día 1	51,299	49,817.01	40,776.17	58,857.85
Día 7	62,169	60,340.83	49,843.81	70,837.86
Día 14	68,743	60,868.09	49,282.17	72,454.01
Día 30	37,059	38,794.05	26,363.57	51,224.53
Día 59	64,785	59,497.79	46,607.81	72,387.77

Fuente: Elaboración propia con *Software R*.

Conclusión parcial: El modelo ARIMA permitió proyectar la demanda futura de pasajeros con base en series históricas. Los resultados muestran una tendencia creciente que, en escenarios de máxima demanda, puede superar la capacidad instalada del sistema. Esta proyección subraya la importancia de contar con herramientas predictivas para anticipar la saturación y planificar medidas operativas.

Propuesta basada en el Modelo ARIMA

A partir de la aplicación del modelo ARIMA estacional para el análisis y pronóstico de la demanda diaria de la Línea 1 del Cablebús, se propone la integración de un sistema de predicción operativa continua que permita anticipar con precisión los volúmenes de usuarios y, con ello, ajustar proactivamente la operación del sistema en función de la demanda proyectada.

La implementación de este modelo predictivo representa una herramienta estratégica para reducir los tiempos de espera, evitar la saturación de estaciones clave y optimizar la asignación de recursos (como el despacho de cabinas o personal en puntos críticos del recorrido). Esto es especialmente relevante considerando la alta estacionalidad semanal observada, así como las variaciones sistemáticas entre días laborables y fines de semana.

En ese sentido, se propone:

- 1- Adoptar un esquema de pronóstico automatizado, con base en los parámetros del modelo ARIMA calibrado, para predecir la demanda de corto y mediano plazo, y vincularlo con la programación operativa.
- 2- Diseñar umbrales operativos basados en los intervalos de confianza del 95%, que permitan activar respuestas preventivas cuando la demanda proyectada supere ciertos límites, como mayor frecuencia de cabinas o protocolos de gestión de usuarios en estaciones con mayor afluencia.
- 3- Monitorear continuamente la precisión del modelo mediante un esquema de retroalimentación basado en los datos reales observados, permitiendo su ajuste periódico y garantizando su vigencia ante cambios en los patrones de movilidad.

Esta propuesta no solo contribuye a mejorar los tiempos de recorrido y la calidad del servicio para los usuarios, sino que fortalece la toma de decisiones estratégicas y tácticas en la operación del sistema de transporte, alineándose con el objetivo general de esta investigación de favorecer la eficiencia del servicio de la Línea 1 del Cablebús mediante herramientas tecnológicas de análisis predictivo.

Modelo de colas y simulación

Derivado del pronóstico generado mediante el modelo ARIMA, que estima una demanda promedio de 59,240.89 pasajeros diarios en la Línea 1 del Cablebús en los próximos seis meses,

se considera necesario analizar el comportamiento del sistema frente a esta demanda proyectada. En este sentido, se emplea la aplicación del modelo M/M/1 de teoría de colas como herramienta de evaluación operativa, con el objetivo de estimar los tiempos de espera, niveles de saturación y dimensionamiento del servicio, permitiendo con ello una toma de decisiones más robusta para la gestión de abordajes y distribución de usuarios en estaciones clave.

En el caso del Cablebús Línea 1, se seleccionó el modelo M/M/1 en lugar del M/M/c debido a las características propias de operación del sistema. Aunque existen múltiples cabinas en circulación, en el andén de embarque únicamente una cabina se encuentra disponible para el abordaje en cada instante, lo que configura un servidor único y secuencial en vez de un conjunto de servidores paralelos. Bajo esta lógica, el flujo de usuarios se organiza en una sola fila que avanza conforme arriban las cabinas, reproduciendo fielmente la estructura de un modelo M/M/1. Además, este modelo permite simplificar el análisis y cuantificar de manera representativa la relación entre la tasa de llegada de pasajeros (λ) y la tasa de servicio de las cabinas (μ). Este enfoque simplifica el análisis matemático y asegura que las estimaciones de tiempos de espera y longitudes de fila representen adecuadamente la realidad operativa del sistema.

En contraste, si se aplicara un modelo M/M/c, se asumiría que varias cabinas están disponibles simultáneamente para el embarque en la misma estación, lo cual no ocurre en la práctica, pues el acceso se da de manera individual y secuencial conforme arriban las cabinas. Esta condición se acentúa en las horas de máxima demanda, cuando los flujos de usuarios se concentran en una sola fila bajo mayor presión operativa. Por lo tanto, el modelo M/M/1 no solo simplifica el análisis matemático, sino que refleja con mayor fidelidad la dinámica real del sistema, permitiendo obtener estimaciones representativas de los tiempos de espera y de las longitudes de fila en las condiciones más críticas de operación.

A continuación, se describen los componentes clave del modelo:

1. Llegadas de pasajeros

Las llegadas de pasajeros siguen una distribución de Poisson, donde los pasajeros llegan de manera aleatoria, pero con una tasa promedio constante (Ecuación 21). El número de llegadas por minuto es de 65.82 pasajeros.

Demanda diaria estimada: 59,240.89 pasajeros/día

Horas de operación: 15 horas/día

$$\lambda = \frac{59,240.89 \text{ pasajeros}}{15 \text{ horas} \times 60 \text{ min}} \approx 65.82 \text{ pasajeros/minuto}$$

2. Tasa de servicio

Cada cabina tiene una capacidad de 10 pasajeros y un intervalo de servicio de 12 segundos (frecuencia de cabinas de 5 cabinas por minuto). Esto da una tasa de servicio de 50 pasajeros por minuto.

$$\mu = 5 \text{ cabinas/minuto} \times 10 \text{ pasajeros/cabina} = 50 \text{ pasajeros/minuto}$$

En este escenario base, la tasa de llegada supera la capacidad de servicio, lo que sugiere congestión si no se ajustan los parámetros.

3. Modelo de cola

Utilizando las fórmulas estándar del modelo M/M/1 (ecuaciones 16.17, 18, 19 y 20):

Tasa de utilización del sistema (ρ):

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{65.82}{50} = 1.316$$

El sistema estaría sobrecargado, ya que $\rho > 1$ implica que la llegada de pasajeros excede la capacidad de atención.

Número promedio de pasajeros en el sistema (L):

Este valor solo se define cuando $\rho < 1$. En este caso, no es estable.

Para garantizar estabilidad, se propone un ajuste operativo:

Si se reduce el intervalo entre cabinas a 8 segundos, se tendría:

$$7.5 \text{ cabinas/minuto} \times 10 \text{ pasajeros} = 75 \text{ pasajeros/minuto}$$

$$\rho = \frac{65.82}{75} = 0.877 \text{ (Ahora } \rho < 1, \text{ sistema estable)}$$

Con este nuevo escenario, se calcula:

L (promedio de pasajeros en el sistema):

$$L = \frac{0.877}{1-0.877} = 7.12 \text{ pasajeros}$$

Se obtiene un número promedio de $L = 7.12$ pasajeros en el sistema, lo que incluye tanto a los que esperan en la cola como a los que están siendo transportados

El tiempo promedio que un pasajero permanece en el sistema, denotado como W , se calcula mediante:

$$W = \frac{1}{75-65.82} = 0.105 \text{ min} \approx 6.3 \text{ segundos}$$

El tiempo promedio que un pasajero pasa en el sistema es de 6.3 segundos.

Lq (número promedio de pasajeros en la cola):

$$Lq = \frac{(0.877)^2}{1-0.877} = 6.25 \text{ pasajeros}$$

En promedio, 6 pasajeros están esperando en la cola.

Wq (tiempo promedio de espera en la cola):

$$Wq = \frac{65.82}{75 \cdot (75-65.82)} = 5.3 \text{ segundos por pasajero}$$

De acuerdo con el modelo $M/M/1$, el tiempo promedio que un pasajero permanece en la cola (Wq) es de aproximadamente 5.3 segundos, considerando la tasa de llegada y la tasa de servicio ajustadas para garantizar la estabilidad del sistema.

Conclusión parcial: La simulación, aplicada como complemento a los modelos de colas y ARIMA, permitió evaluar diferentes escenarios operativos sin intervenir en el sistema real. Esto facilitó la prueba de estrategias como ajustes en la frecuencia de cabinas o la redistribución de flujos de pasajeros, confirmando que medidas específicas podrían reducir los tiempos de espera y mejorar la experiencia del usuario.

Propuesta basada del Modelo Colas y Simulación

- 1- Reducir el intervalo entre cabinas de 12 segundos a un rango de 8-10 segundos, lo que aumenta la tasa de servicio a aproximadamente 75 pasajeros por minuto, equilibrando así la demanda proyectada por ARIMA.
- 2- Implementar monitoreo dinámico de afluencia en estaciones clave (Indios Verdes y Cuauhtémoc), donde se concentra la mayor demanda.
- 3- Simular distintos escenarios de frecuencia y demanda por estación, como herramienta de planeación operativa, especialmente durante las horas pico.

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

La presente investigación permitió analizar, diagnosticar y proyectar el comportamiento de la demanda y los tiempos de espera en la Línea 1 del Cablebús, mediante la aplicación de metodologías reconocidas en la Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano: el Modelo de Cuatro Etapas, el modelo ARIMA, la Teoría de Colas y la simulación de estas metodologías. Estos enfoques garantizaron una evaluación integral que combina el diagnóstico actual con la proyección futura, en concordancia con los objetivos planteados desde el inicio de la investigación.

Los principales hallazgos se resumen a continuación:

Capacidad y Demanda: El diagnóstico técnico evidenció que la capacidad instalada de 5,000 pasajeros/hora-sentido resulta adecuada para la demanda promedio; sin embargo, durante las Horas de Máxima Demanda (HMD) se generan saturaciones críticas en estaciones terminales (Cuautepec e Indios Verdes), con tiempos de espera que superan los 15 minutos y afectan la calidad percibida del servicio.

Proyecciones de Demanda: El modelo ARIMA, validado con simulación, proyectó un crecimiento moderado de la demanda (aproximadamente 1% anual), impulsado por el crecimiento poblacional del área de influencia y la preferencia modal de usuarios jóvenes (14–25 años), quienes concentran el 34.7% de los viajes. Este crecimiento, aunque gradual, puede comprometer la capacidad operativa en escenarios de máxima carga.

Modelos Predictivos y Diagnostico Operativo: El uso combinado de ARIMA y la Teoría de Colas permitió anticipar que, de no implementarse ajustes, los tiempos de espera podrían

incrementarse hasta en un 15% en picos críticos. Este hallazgo confirma que el sistema responde de manera reactiva a la saturación y carece de herramientas de gestión predictiva.

Eficiencia Operativa: El análisis de la frecuencia, los intervalos de despacho y la tasa de ocupación mostró que, pese a la alta aceptación del servicio (88.4% de usuarios lo considera “bueno”), persisten ineficiencias en la gestión de flujos de abordaje y en la utilización plena de la capacidad instalada. Estas ineficiencias representan el principal factor de acumulación de demanda insatisfecha en horas pico.

Contribución Académica y Técnica: Este trabajo aporta un modelo replicable para la planificación y gestión de teleféricos urbanos, al demostrar cómo la integración de metodologías cuantitativas y cualitativas permite diagnosticar con precisión la demanda, proyectar escenarios futuros y formular propuestas operativas concretas. Su valor radica en el aporte técnico y social, al generar conocimiento aplicable para la toma de decisiones estratégicas en sistemas de transporte urbano de alta densidad.

En síntesis, los resultados responden al objetivo general de desarrollar un algoritmo de predicción de demanda que permita anticipar saturaciones y diseñar estrategias de optimización, confirmando que el Cablebús Línea 1 es un sistema eficiente en condiciones promedio, pero vulnerable a la saturación en HMD, lo que exige medidas proactivas de gestión.

Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos, se emiten las siguientes recomendaciones para la mejora operativa y estratégica de la Línea 1 del Cablebús:

Ajuste Dinámico de Frecuencias:

- Reducir el intervalo entre cabinas a 8–10 segundos durante las Horas de Máxima Demanda (HMD), con el propósito de incrementar la capacidad de atención y mitigar los tiempos de espera, priorizando las estaciones terminales donde se concentra el mayor volumen de pasajeros.
- Implementar un sistema de monitoreo en tiempo real del aforo y tiempos de espera para ajustar la frecuencia en función de la demanda observada.

Gestión de Flujos de Abordaje:

- Establecer líneas de espera organizadas con sistemas de control de acceso que reduzcan el tiempo de abordaje y favorezcan la ocupación completa de las cabinas.
- Incorporar personal operativo en horarios críticos para gestionar de manera eficiente los flujos de pasajeros en los andenes de embarque.

Planificación Multimodal:

- Integrar la operación del Cablebús con otros sistemas de transporte público (Metro, RTP, Metrobús, Mexibús, Mexicable, Trolebús) para sincronizar horarios y facilitar transbordos, reduciendo tiempos totales de viaje de los usuarios.
- Evaluar la implementación de tarifas integradas que fomenten el uso de sistemas complementarios al Cablebús (intermodalidad).

Monitoreo Continuo de la Demanda:

- Implementar un sistema permanente de captura y análisis de datos para actualizar de manera periódica los modelos predictivos.
- Realizar encuestas periódicas que midan la percepción de calidad del servicio y detecten cambios en los patrones de viaje de la población usuaria.

Optimización de Mantenimiento y Operación:

- Fortalecer las políticas de mantenimiento preventivo para asegurar la disponibilidad de cabinas y equipos, considerando la expansión de operaciones durante eventos de alta demanda.
- Evaluar la posibilidad de ampliación de horarios en función de eventos o periodos de alta demanda estacional.

Escalabilidad del Sistema:

- Considerar la expansión futura de la capacidad de transporte mediante el aumento del número de cabinas operativas o la implementación de nuevas líneas en zonas con alta demanda insatisfecha.

Con la implementación de estas acciones, se fortalecerá la eficiencia operativa del sistema Cablebús Línea 1, permitiendo la reducción de tiempos de espera, la optimización de la experiencia de viaje del usuario y una mejora integral en la confiabilidad del servicio. Este enfoque está alineado con los principios de la Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano, contribuyendo al desarrollo de sistemas de movilidad sostenible y resiliente en entornos urbanos de alta densidad, donde la eficiencia en la gestión de la demanda y la integración modal son fundamentales para garantizar el acceso equitativo y la calidad en la movilidad urbana.

Referencias bibliográficas

- Agudelo Vélez, L. F., Franco Valencia, A. M., & Quintero Cañola, A. (2011). El transporte urbano en cable incluyendo variables latentes - Caso Medellín – Colombia. Análisis del impacto del sistema de cable aéreo. Universidad Nacional de Colombia.
- Arcay Orro, A., Ordax Novales, M., & Bugarin Rodriguez, M. (2003). Transporte por cable. España: Universidad de Coruña.
- Arcay Orro, A., Ordax Novales, M., & Bugarin Rodriguez, M. (Septiembre de 2003). Transporte por cable. Obtenido de http://caminos.udc.es/grupos/ferroca/orro/documentos/Transporte_por_cable.pdf
- Arguelles Toache, J. A. (2018). Desarrollo de un concepto operativo sobre la innovación en servicios públicos: Un acercamiento desde los teleféricos para el transporte público implementados en América Latina [Tesis de maestría, El Colegio de México].
- Astorga, V., & Villavicencio, M. (2023). Análisis socio técnico de los teleféricos como innovación en el servicio público de transporte. [Institución o editorial, si aplica].
- Banco Mundial, P. m. (2020). Teleféricos Urbanos como sistema de transporte público. MOLO, 75.
- Barrón Ortega, R. (2021). Influencia de un sistema de Transporte Teleférico en la calidad de vida de las personas: Estudio de caso Mexicable Ecatepec [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México].
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. (2008). *Time series analysis: Forecasting and control* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Cañón Rubiano, Á. D., Hernández González, R. A., & Rojas Reyes, J. E. (2020). Teleféricos urbanos como sistemas de transporte público. Universidad Nacional de Colombia.
- Choquevillca Quispe, D. E. (2021). Nivel de satisfacción del cliente respecto al servicio de transporte por cable “Mi Teleférico” [Tesis de licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés].
- COPROFAM. (3 de octubre de 2019). Teleférico en La Paz, Bolivia: Gran salto tecnológico para acortar distancias. Bolivia.
- Duarte, C. (2021). Modernización del transporte público en la periferia urbana: ¿El fin del transporte informal? Caso de estudio: Sistema de cable aéreo TransMiCable en la localidad de Ciudad Bolívar, Bogotá – Colombia [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- El País. (2024, septiembre 25). Inauguración de la Línea 3 del Cablebús: estaciones, recorrido y costos. <https://elpais.com/mexico/2024-09-25/cablebus-linea-3-inauguracion-estaciones-recorrido-y-costos.html>
- Escobar, J. A., Quintero, M. J., & Agudelo, C. M. (2015). Medición de desempeño del sistema de transporte cable aéreo de la ciudad de Manizales en Colombia, usando tres enfoques: analítico, simulado y de accesibilidad urbana. *Revista Facultad de Ingeniería*, 24(41), 47–62. <https://doi.org/10.19053/01211129.3490>
- Garaventa, D. (19 de Septiembre de 2019). Obtenido de Doppelmayr: <https://www.doppelmayr.com/es/emphttps://newsroom.doppelmayr.com/es/doppelmayr/prensa/doppelmayr-se-adjudica-un-gran-proyecto-de-telef%C3%A9ricos-en-ciudad-de-m%C3%A9xico/esa/empresa/>
- Gines, R. d., Campos, J., & Nombela, G. (2003). *Economía del Transporte*. España: Antoni Bosch.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2021). Cablebús: Informe de Operaciones 2021. Secretaría de Movilidad de la CDMX.

- Gobierno de la Ciudad de México. (2021, julio 11). Inicia operaciones el Cablebús Línea 1: Indios Verdes – Cuauhtépec. <https://www.cdmx.gob.mx/>
- Gobierno de la Ciudad de México. (2024, septiembre 24). *Inauguración de la Línea 3 del Cablebús: estaciones, recorrido y beneficios del nuevo transporte*. <https://www.cdmx.gob.mx/>
- Gobierno de la Ciudad de México. (2021). Cablebús Línea 2: Santa Marta - Constitución de 1917. Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México. <https://www.semovi.cdmx.gob.mx/>
- Gobierno del Estado de Puebla. (2016). *Teleférico de Puebla*. <https://www.puebla.gob.mx>
- Gómez Reyes, G. (2021). El teleférico como sistema de transporte urbano en La Paz–El Alto [Tesis de licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés].
- Guía de la Ciudad por travesías . (14 de julio de 2019). Obtenido de <https://local.mx/ciudad-de-mexico/mexicable-teleferico-ecatepec/>
- Héctor, M. R. (2018). Investigación de operaciones 2. Obtenido de Modelos de Líneas de espera: <https://docplayer.es/70928580-Investigacion-de-operaciones-ii-modelos-de-lineas-de-espera.html>
- Hernandez, A. (1997). La operación de los transportes. México.
- INEGI. (2020). Pirámide poblacional CDMX. Obtenido de <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/poblacion/>
- Jaramillo Zúniga, M. A. (2023). Arquitectura para el sistema de transporte público aéreo por cable y su impacto en zonas periféricas: El caso del Cablebús Línea 1 (Indios Verdes a Cuauhtépec) en la Ciudad de México [Tesis de licenciatura, UNAM].
- Julián Quintero, M., Escobar, J. A., & Agudelo, C. M. (2015). El transporte por cables y su papel en la movilidad urbana sostenible. Universidad Nacional de Colombia.
- Maria, C. (16 de Febrero de 2017). Teleférico en Monte en Funchal. Obtenido de <https://www.islamadeira.es/telefericos-de-funchal/teleferico-de-monte-en-funchal/>
- Medina de la Rosa, J. A. (2016). Ejecución de la obra civil de la obra denominada "Proyecto Integral para la construcción del teleférico en la zona de los Fuertes, municipio de Puebla". [Institución o dependencia que publicó].
- Medina, J., Torres, L., & Pérez, R. (2021). Innovación en Transporte Público: Análisis del Impacto del Cablebús en la Movilidad de la CDMX. *Revista de Ingeniería de Transporte*, 12(3), 45-61.
- Mexicable . (2016). Obtenido de <https://www.mexicable.com/historia.php>
- México, C. d. (s.f.). CB-Línea3- Servicio de Transportes Eléctricos- CDMX. Obtenido de <https://www.ste.cdmx.gob.mx/cablebus/cb-13>
- México, G. d. (S/A). CABLEBÚS L2. Obtenido de <https://www.obras.cdmx.gob.mx/storage/app/media/disenocablebus-14-enero.pdf>
- Morales Peña, D. (2023). Cablebús línea 1 Indios Verdes–Cuauhtépec, Ciudad de México: Políticas de infraestructura y promesa de movilidad para la ciudadanía [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].
- ORT. (marzo de 2019). Línea 1 Cuauhtépec- indios verdes del sistema de transporte público Cablebús de la Ciudad de México. Obtenido de <https://www.ste.cdmx.gob.mx/storage/app/media/CB/concursos/M-L1/ANEXO%206.pdf>
- Ortega González, A. (2018). Teleférico de Santo Domingo [Informe].
- Ortúzar, J. d., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport*. Santiago, Chile: John Wiley & Sons.
- Ortúzar, W. &. (2008). *Modelos de transporte*. España: Universidad de Cantabria.

- Ortuño, F. A. (2005). Modelos de transporte: Planificación, Economía y Medio Ambiente. Chicago.
- Posada Henao, J. J., & Gonzalez Calderon, C. A. (2009). Metodología para estudio de demanda de transporte público de pasajeros en zonas rurales . Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Quintero González, H. M. (2018). Transporte público mediante cables, desde lo ambiental, lo social y lo económico: Análisis de la legislación y normativa en Colombia (1989-2015) [Tesis de maestría, Universidad del Rosario].
- Ramirez Marquez, R. (2011-2012). Sistema de transporte por cable Aereo. Metro, 2-10.
- Ramírez Bautista, S. (2020). Efectos en la movilidad a partir de la implementación del sistema de transporte público Mexicable, en la región de San Andrés de la Cañada, Ecatepec [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México].
- Rodríguez, P., & Gómez, C. (2022). Optimización del Transporte por Cable en Entornos Urbanos: Modelos de Capacidad y Demanda. *Journal of Urban Transport*, 29(1), 77-90.
- S/A. (27 de Diciembre de 2018). Inauguran un teleférico en Bogotá que conecta las zonas más altas de una popular localidad. Obtenido de <https://laprensa.peru.com/actualidad/noticia-colombia-inauguran-teleferico-bogota-que-conecta-zonas-altas-popular-barrio-83943>
- S/A. (26 de Junio de 2021). Auscultan posibilidad de revivir Cable Aéreo Mariquita-Manizales. *El cronista*, pág. 5.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, I. M. (2002). Estudio de la demanda de transporte. Qro: Sanfandila.
- STECMDX. (2019). La línea 1 Cuauhtepc- Indios verdes del sistema de transporte público Cablebús de la CDMX. Obtenido de <https://www.ste.cdmx.gob.mx/storage/app/media/CB/concursos/M-L1/ANEXO%206.pdf>
- Taha, H. A. (2012). Investigación de Operaciones. México: Pearson Education.
- transporte, O. r. (Julio de 2019). Sistema de transporte publico cablebus de la Ciudad de México. Anexo 3. Ciudad de México: Gobierno de la Ciudad de México.
- Tinoco Fabila, B. (2022). Análisis del Cablebús Línea 2 como transporte público urbano y su impacto en la percepción de bienestar de la población periférica de la Alcaldía Iztapalapa [Tesis de licenciatura, UAM Iztapalapa].
- UITP (Union Internationale des Transports Publics). (2019). Cable Cars as a Means of Public Transport: An International Perspective. UITP Report.
- Velarde Chuquimia, M. J. (2018). Movilidad cotidiana: El caso de los teleféricos en los municipios de Medellín, La Paz, El Alto y Ecatepec [Tesis de licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés].
- Velásquez Villada, J. D. (2018). Impacto del proyecto de transporte tipo cable aéreo en la accesibilidad de la ciudad de Pereira [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de Pereira].
- Villareal, D. f. (Septiembre de 2016). Introducción a los Modelos de Pronósticos. Obtenido de http://www.matematica.uns.edu.ar/uma2016/material/Introduccion_a_los_Modelos_de_Pronosticos.pdf
- Wardrop, J. G. (1952). *Some theoretical aspects of road traffic research*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part II, 1(36), 325–362.
- Zamora Valdez, J. M. (2023). Movilidad urbana y exclusión social: La necesidad de una línea de Cablebús para la zona de barrancas en Álvaro Obregón [Tesis de licenciatura, UAM Azcapotzalco].

Anexo
Encuesta aplicada a los usuarios del Cablebús Línea 1

Estudio Cablebús línea 1

1.-Edad

- a) 14-25 años
- b) 26-40 años
- c) 41-60 años
- d) 61-80 años

2.-¿A dónde se dirige?

- a) Trabajo
- b) Escuela
- c) Deporte
- d) Recreación
- e) Otras

3.-¿En qué modo llega al sistema de transporte Cablebús línea 1?

- a) Automóvil
- b) Taxi
- c) Camión
- d) Bicicleta
- e) Otro

4.-¿Cuántos sistemas de transporte utiliza para llegar a su destino?

- a) 1
- b) 2
- c) 3 o más

5.-¿Cuánto tiempo duró su viaje en el de traslado del Cablebús línea 1?

- a) 0-20 min
- b) 21-40min
- c) 41-60 min
- d) Más 1 hora
- e) Más 2 horas

11.-¿Cuántas personas estudian en su hogar?

- a) Ninguna
- b) 1 a 2
- c) 3 o más

12.-¿Cuánto gana aproximadamente mensualmente?

- a) 0 a 5,000
- b) 0 a 10,000
- c) 0 a 15,000
- d) Más de 20,000

13.-¿Cuenta con algún tipo de tarjeta la cual le ayude para realizar su viaje?

- a) Si
- b) No

14.-¿Cuánto gasta en trasladarse a su destino (M.N.)?

- a) \$7
- b) \$15
- c) \$25
- d) \$50
- e) Más \$50

15.-¿Cuenta con algún vehículo automotor con ruedas?

- a) Automóvil
- b) Motocicleta
- c) Scooter (patín eléctrico)
- d) Otro

6.-¿Cuál fue el tiempo total de su recorrido, para llegar a su destino?

- a) 0-20 min
- b) 21-40 min
- c) 41-60 min
- d) Más de 1 hora
- e) Más de 2 hora

7.-¿En HMD, cuál es el tiempo de espera para el ascenso de las cabinas del Cablebús?

- a) 0 a 5 min
- b) 0 a 15 min
- c) 0 a 25 min
- d) 0 a más de 30 min

8.-¿Cada cuando utiliza el Cablebús línea 1?

- a) Diario
- b) Eventualmente
- c) Casi nunca
- d) Nunca

9.-¿De cuántas personas se integra su familia?

- a) 1-2
- b) 3-4
- c) 5-6
- d) 7 o más

10.-¿Cuántas personas trabajan en su hogar?

- a) Ninguna
- b) 1 a 2
- c) 3 o más

16.-¿El camión a diferencia del Cablebús línea 1, a pesar de que es el mismo costo, es el mismo servicio?

- a) Si
- b) No

17.-¿Qué tan comfortable le parece el sistema de transporte Cablebús línea 1?

- a) Malo
- b) Regular
- c) Bueno

18.-¿El precio de la tarifa del Cablebús línea 1, va en correspondencia con el servicio que ofrece?

- a) Si
- b) No
- c) Tal vez

19.-¿De qué municipio o alcaldía comenzó tu viaje?

20.-¿A qué municipio o alcaldía te diriges?
