



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“TELEFERICOS: COMPLEMENTO A
LA RED DE TRANSPORTE PÚBLICO
EN MÉXICO”**

TESIS

Que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

DÍAZ SALGADO DANIEL

DIRECTOR DE TESIS

M.I. FRANCISCO JAVIER GRANADOS VILLAFUERTE

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/082/17

Señor
DANIEL DÍAZ SALGADO
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. FRANCISCO JAVIER GRANADOS VILLAFUERTE, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

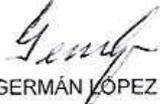
"TELEFÉRICOS: COMPLEMENTO A LA RED DE TRANSPORTE PÚBLICO EN MÉXICO"

- INTRODUCCIÓN
- I. TRANSPORTE PÚBLICO
- II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS TELEFÉRICOS
- III. ELEMENTOS DE UN TELEFÉRICO
- IV. ESTUDIOS PRELIMINARES
- V. EVALUACIÓN
- VI. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 5 de septiembre del 2017.
EL PRESIDENTE


M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH*gar.

A mis padres y hermanos.

A mi México, una nación que merece más de lo que tiene.

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que colaboraron directa o indirectamente en el desarrollo de este trabajo y en mi formación profesional. Quiero agradecer, en estas breves líneas, a algunas de ellas.

Al M.I. Francisco Javier Granados Villafuerte, incansable investigador y profesional comprometido con el futuro de México, que contribuyó con más que solo su tiempo para la culminación de este trabajo y a quien hoy considero un amigo.

Al Ing. Édgar O. Tungüí Rodríguez, por ser un ejemplo de trabajo duro y una fuente de inspiración para continuar forjando mi camino con ímpetu y dedicación. Le agradezco su compañía a lo largo de este proceso.

Al Mtro. Óscar Vega Roldán, por mostrarme que la calidad moral es la piedra angular de una buena práctica ingenieril y por introducirme en las actividades gremiales: juntos somos más.

Al Ing. Antonio Murrieta Necochea, un gran ejemplo de que la colaboración y las redes de trabajo enriquecen la labor profesional.

Al Ing. Marcos Trejo Hernández y a la Ing. Norma Legorreta Linares, mis tutores de carrera y pilares fundamentales en la conclusión de esta etapa. Gracias por sus atenciones y consejos.

Al Dr. Erick Y. Miranda Galindo, por prestar oídos atentos y dar opiniones certeras a las inquietudes y dudas que surgieron en esta investigación. Mil gracias, tío.

Al Ing. Mario Ponce Soria, mi querido amigo y compañero durante toda la carrera, por los inolvidables momentos que vivimos en la Universidad.

Al Ing. Manuel I. Salmerón Becerra, amigo entrañable, por su incondicional apoyo y por mostrarme que las mejores enseñanzas se transmiten desde el corazón. Gracias, Manolo.

A la Lic. Judith Rodríguez de Rueda por recordarme a diario que para llegar más alto, hay que superar los primeros peldaños: aquí está la tesis. Gracias.

Al Ing. Humberto Reyes Domínguez, quien me ha enseñado tanto en tan poco. Su comprensión y paciencia permitieron a este trabajo ver la luz. Gracias, Sensei.

A todo mi equipo de trabajo de la Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México, por su paciencia y grandes enseñanzas.

A la Facultad de Ingeniería de la UNAM, por cinco años de transmisión del saber.

Finalmente, agradezco a mi familia y amigos por escucharme paciente al hablar sobre los teleféricos y enriquecer este proyecto con sus opiniones. Sin ellos no hubiera podido concluir este trabajo; mi eterna gratitud.

PRÓLOGO

¿Se puede sobrevivir en un mundo que nos exige competir entre nosotros para triunfar?
¿Hay manera de construir entre todos una mejor sociedad?

La Facultad de Ingeniería de la UNAM me mostró desde el primer día de clases, que nuestro carácter humano tiende inevitablemente a la armonía. Conocer a mis compañeros de clase originarios de toda la nación, cultivó en mí el mejor sentimiento que se pueda tener en estos tiempos de duda y tribulación: la solidaridad, el apoyo mutuo y la tolerancia hacia el pensamiento diferente.

Me repitieron desde el inicio de esta bella etapa que la ingeniería no era carrera de velocidad, más bien de resistencia y un detalle que no muchos mencionan es que también es como un deporte en equipo: si todos estamos coordinados, si nos apoyamos mutuamente y si vencemos al egoísmo, todos lucen. La amistad en este momento es la mejor materia prima para crear individuos con conciencia y habilidades sociales. Si me preguntarán ahora: ¿Cuál es el mejor entorno para desarrollarlas? Sin dudar respondería: ¡Mi alma máter!

Las amistades requieren guías, tutores que orienten el camino impetuoso de aquellos que apenas comienzan a trazar sus propios senderos. Mi escuela nos regaló a todos múltiples padres y madres que nos recordaron semestre a semestre el valor de ciertas actitudes fundamentales. Jamás olvidaré al profesor que me enseñó la importancia del trabajo duro y constante, las ganas de superarnos en planos físicos e intelectuales o las gratificaciones que la empatía y la humildad traen con el paso del tiempo. Está también aquel maestro que con su pasión y entusiasmo, me contagió su vocación, su amor por cierta área o disciplina. Y claro, aquella figura que trasciende el concepto de profesor para convertirse en prototipo de ser humano: el que enseña con desinterés, por pasión y con cariño a la nación, por intentar desde su trinchera hacer brillar cada vez más al gremio.

Las pruebas que me colocaban eran duras: todos eran retos que me desafiaban y exigían el máximo de mis capacidades. A través de los numerosos proyectos y tareas que me delegaban, aprendí que el esfuerzo tiene múltiples recompensas, aunque estas no sean visibles de inmediato.

Así, la perseverancia pasa a formar parte del acervo de valores que esta casa de estudios me ha regalado.

¿Qué hacer ahora? ¿Qué hacer con semejante colección de virtudes y habilidades que he recogido en tantos semestres? El agua, cuando no circula se estanca. ¡Tengo la responsabilidad de salir a México a compartirlos!

Debemos sacar adelante a esta nación que merece más de lo que tiene.

DANIEL DÍAZ SALGADO

A B S T R A C T

This document presents the recommendations for the implementation of an aerial cableway as a complement to the urban transport network in Mexico, meeting the national standards and the current criteria for the use of cable transport.

It exposes the project as a potential solution to the large lag that exists in the country's mobility and the pollution problem from the combustion engine transportation. This document shows the description of the main types of aerial cableway, which could be used correctly in Mexico, as this country has not exploited this alternative that can be used as a complement to its current public transportation network of large cities.

Understanding the benefits and limitations of the cable cars as urban transportation, the feasibility of implementing them in the cities of Mexico that require an upgrade on their transport networks is evaluated. The study shows that cable car systems can reasonably connect the traffic network to several activity centers that have high demand.

This thesis considers some existing aerial cableway installed worldwide, evaluating each one by its unique characteristics. It also reviews the range of technologies available for use, with a feasibility analysis. In addition, some strategies were developed for the efficient planning of a cable car as a mode of urban passenger transport.

This is an informative document about the aerial cableway. The use of cable cars in Mexico will set precedent on the use of urban spaces throughout the region, allowing the efficient use of limited spaces. This doesn't only apply only to vehicular or pedestrian traffic spaces; it can also be expanded to cultural and historical sites, and places for social gathering or environmental interest, where conservation of heritage and resources is important.

RESUMEN

En este documento se presentan las recomendaciones para implementar un teleférico como complemento a la red de transporte urbano en México, de acuerdo a las normas nacionales y criterios actuales para el uso de transporte por cables.

Se expone el proyecto como una potencial alternativa al gran rezago que existe en la movilidad del país y los problemas que la contaminación de los modos de transporte a base de combustibles produce. En este documento se muestra la descripción de los principales tipos de teleféricos que hay, que podrían ser utilizados de manera correcta en México, siendo este un país que no ha explotado esta alternativa para ser utilizada como complemento a su actual red de transporte público de las grandes urbes.

Entendiendo los beneficios y limitaciones identificados sobre los teleféricos como modos de transporte público urbano, se evalúa la factibilidad de implementar estos en las ciudades de México que requieran complementar sus redes de transporte. El estudio presenta que los sistemas de teleféricos pueden conectar razonablemente la red de tránsito a varios centros de actividad que tienen altas demandas.

Esta tesis considera algunos teleféricos existentes y planificados en todo el mundo, evaluando cada uno por sus características únicas. También revisa la gama de tecnologías que existen disponibles para su uso, evaluando cada tecnología para su factibilidad. Además, se desarrollan algunas estrategias para la planificación eficiente de un teleférico como modo de transporte urbano de pasajeros.

Este es un documento informativo sobre el gran campo que cubren los teleféricos. El uso de los teleféricos en México sentará un precedente en el aprovechamiento de espacios urbanos en toda la región, permitirá utilizar de manera eficiente los espacios limitados. Que no solo aplica para salvaguardar espacios de tránsito vehicular o peatonal, también podría ser extrapolado a sitios de interés cultural, histórico, social e incluso ambiental, en donde la preservación del patrimonio y los recursos es importante.

CONTENIDO

PRÓLOGO.....	7
ABSTRACT.....	9
RESUMEN	11
1. INTRODUCCIÓN	19
1.1 Contexto General del Trabajo	285
1.2 Justificación	285
1.3 Objetivo.....	27
1.4 Alcance.....	27
2. TRANSPORTE PÚBLICO	29
2.1 Definición.....	33
2.2 Características	34
2.2.1 El significado de las categorías de derecho de vía	34
2.2.2 Tecnologías de los sistemas de tránsito	36
2.3 Clasificación.....	37
2.3.1 Clasificación por tipo de uso.....	38
2.3.2 Clasificación por modo de tránsito	40
3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS TELEFÉRICOS	45
3.1 Teleféricos Monocables	47
3.2 Teleféricos Bicables	48
3.3 Teleféricos Tricable	51
3.4 Teleféricos en el Mundo.....	52
4. ELEMENTOS DE UN TELEFÉRICO.....	65
4.1 Sistemas de Carga	67
4.2 Sistemas de Soporte	71
4.3 Sistemas de Tracción.....	73
4.4 Capacidad de las instalaciones	77
5. ESTUDIOS PRELIMINARES	81

5.1 Análisis de Demanda.....	83
5.2 Análisis de la Oferta.....	86
5.3 Integración del análisis de la demanda y oferta de un teleférico	88
5.4 Diagnóstico de Movilidad Urbana y el Sistema	91
5.5 Pronóstico.....	94
5.6 Desarrollo y Evaluación de Alternativas de Configuración del Sistema de Movilidad Urbana.....	95
5.7 Definición del Plan de Movilidad Urbana.....	97
5.8 Programa de Implementación.....	99
5.8 Trazado del Teleferico	99
6. EVALUACIÓN.....	103
6.1 Características Principales.....	105
6.2 Evaluación de Proyectos de Infraestructura para el Transporte	106
6.3 Descripción del Proyecto	107
6.4 Análisis de Costo-Beneficio y Criterios de Decisión	108
6.5 Análisis Económico y Esquema Financiero	109
6.6 Marco Jurídico	110
6.7 Organización Integral del Proyecto	111
6.8 Impacto Ambiental	111
6.9 Fortalezas y Debilidades	112
6.10 Evaluación Tipo de un Proyecto de Teleférico	115
7. CONCLUSIONES	117
REFERENCIAS	121

LISTA DE SIGLAS

CDMX	Ciudad de México
CETRAM	Centros de Transferencia Modal
SEMOVI	Secretaria de Movilidad
SOBSE	Secretaria de Obras y Servicios
EUA	Estados Unidos de América
ROW	Right-of-way
OHSU	Oregon Health Sciences University

LISTA DE TABLAS

2.1	Comparación de los modos de transporte público urbano con ROW categoría B y categoría C.
2.2	Comparación de los modos de transporte público urbano con ROW categoría A y categoría B.
2.3	Clasificación del transporte urbano de pasajeros por tipo de uso.
2.4	Clasificación de los modos de transporte público urbano por su derecho de vía y tecnología.
2.5	Definición, clasificación y características de los modos de tránsito.
3.1	Características de Operación: Teleféricos del Mundo.
4.1	Comparación de los tipos de teleféricos.
6.1	Análisis FODA: El Teleférico.

LISTA DE FIGURAS

- 1.1 Mexicable Ecatepec
- 3.1 GD8 Bursa I + II + III
- 3.2 Teleférico de Madrid
- 3.3 TD35 Ritten / Renon
- 3.4 Roosevelt Island Aerial Tramway
- 3.5 Oregon Health Sciences Cableway
- 3.6 Mountain Village Gondola
- 3.7 Metrocable de Medellín
- 3.8 Mi Teleférico de La Paz
- 3.9 Mexicable Ecatepec, México.
- 4.1 Sistema de góndolas ubicado en los Alpes Suizos que conecta una serie de pequeños cantones en Suiza.
- 4.2 Góndola que forma parte del teleférico de triple cable “Peak 2 Peak” en Whistler-Blackcomb, cerca de Vancouver en la provincia de la Columbia Británica, Canadá.
- 4.3 Sistema de soporte del “The Gondola Ride” en el Lago Tahoe, South Lake Tahoe, California.
- 4.4 Vista de la góndola y estación principal del sistema de teleférico “Funivia del Renon”, ubicado dentro del territorio de Bolzano, al noreste de Italia.
- 4.5 Vista interna de la sala de máquinas del teleférico “Como-Brunate”, provincia de Como, Italia.
- 4.6 Vista de la polea de retorno (rueda deflectora) y la sala de máquinas del sistema “Peak 2 Peak” en la Columbia Británica, Canadá.
- 4.7 Vista panorámica desde estación del “Langkawi Cable Car”, ubicado en Langkawi, Malasia.
- 5.1 Función de demanda lineal.

5.2 Función de oferta lineal

6.1 Skyrail Rainforest

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

C A P Í T U L O 1

INTRODUCCIÓN

La zona metropolitana de la Ciudad de México se ha visto afectada por un fenómeno muy característico de las grandes ciudades, que consiste en la centralización de oferta y demanda de bienes y servicios, que propicia el desarrollo de grandes zonas urbanas y por consiguiente un desmesurado crecimiento de la población, esto implícitamente trae consigo el problema del acceso a los servicios.

A nivel mundial, cada año surgen más ciudades y de mayor tamaño. Lo mismo sucede en México, ¹en el año de 2015 la población nacional fue de 121 millones de personas, se espera que para el 2030 exista una población de 137 millones, representa un crecimiento de casi 16 millones de personas, lo que implica que se enfrentaran grandes retos para garantizar el suministro de servicios para la población. Las grandes urbes del país sufren ya obstáculos para una movilidad urbana eficiente, esto producto de grandes problemas que han sido acumulados a lo largo del tiempo, pero el principal es la falta de planeación, es necesario una proyección de la infraestructura, que garantice el bienestar de las sociedades futuras.

Están cambiando los paradigmas sobre la movilidad, uno de los factores que han provocado estos cambios son el calentamiento global y el daño que los modos de transporte a base de combustibles fósiles producen al ambiente en general, los largos espacios de tiempo que se pierde en el tráfico o por la cultura del sedentario moderno que provoca daños a la salud.

En México, tenemos que apoyar políticas de cultura social que contribuyan a reducir el uso del automóvil. En las ciudades con mayor crecimiento el espacio para la circulación de los coches se reduce conforme el parque vehicular aumenta, lo que provoca un aumento en el tráfico y consecuentemente todos los problemas que arrastra este fenómeno.

¹ CONAPO. (2015, diciembre 23). *Proyecciones de la Población 2010-2050*. Datos de Proyecciones. 2016, abril 24, De RepublicaMexicana_pry Base de dat os.

En el mundo, para resolver los problemas de movilidad que enfrentan las grandes ciudades se han implementado variedad de políticas públicas. La Ciudad de México ha sido el referente de nuestro país en la implementación de estas estrategias, esto debido a que ya tiene saturados muchos de sus servicios de transporte; la sociedad le demanda una solución inmediata al estado, por esa razón, el resto de las ciudades del país deben prevenir esta situación mediante la implementación de políticas preventivas para evitar que sean superados los niveles de servicio de sus modos de transporte lo que entorpecería la movilidad y provocaría pérdidas; así mismo, se debe prescindir de imitar los proyectos implementados por la CDMX, sin antes hacer los estudios correspondientes para garantizar el funcionamiento correcto del tipo de infraestructura que se piense implementar, para generar estos sus propias soluciones a los problemas específicos que padecen, con base en las investigaciones pertinentes de cada zona.

Incluso las tendencias que siguen las ciudades es indispensable priorizarlas de acuerdo a las necesidades actuales y no siguiendo modas, una de las políticas públicas aplicadas en la CDMX es la ²*Vision Zero*, instrumentada por primera vez en Suecia, que se resume en la siguiente expresión: Ninguna pérdida de vida es aceptable. Se basa en el hecho de que los humanos por naturaleza cometen errores y los sistemas de las ciudades deben diseñarse orientados a proteger al peatón basada en 4 principios: la ética, la responsabilidad, seguridad y mecanismos de cambio. De reciente aplicación en la CDMX, con miras a fortalecer esta política a largo plazo, se comenzaron labores aplicando cambios normativos, con modificaciones al Reglamento de Tránsito del DF.

Existe un programa llamado “Cruces seguros”, que consiste en convertir las intersecciones que han registrado la mayor cantidad de accidentes en espacios seguros para el cruce del peatón, lo cual contribuye a la política de Visión Cero en la CDMX, con esto no solo favorecemos esa transición de usar el automóvil a hacer de uso más frecuente el transporte público, también ataca la seguridad del usuario y favorece la confianza en la infraestructura

² Government of Sweden. (1997). *Vision Zero*. 2016, abril, de Sweden Sverige Sitio web: <http://www.visionzeroinitiative.com/>

destinada para el transporte. La ley de movilidad de la CDMX coloca al peatón y al ciclista como principales actores, lo anterior expresado en el ³ artículo 6 de esta misma ley.

Según datos de la SEMOVI, ⁴ alrededor del 70% de los viajes realizados en la zona metropolitana se hacen en transporte público, el 30% restante se realiza en automóvil particular, donde en la mayoría de estos solo se encuentra un tripulante. Otra estrategia muy interesantes para fomentar el menor uso del automóvil es el ⁵ *carpooling*, que consiste en compartir un automóvil con otras personas para rutas periódicas o viajes puntuales, surge en EUA durante la Segunda Guerra Mundial, en aquellas fechas por el crecimiento desmedido de la empresa Ford y la producción en serie del vehículo, Estados Unidos tenía una gran cantidad de estos coches, por lo que algunos conductores decidieron prestar espacios en sus coches para solucionar este problema, luego refrendando su permanencia en 1973 durante la crisis de petróleo. Con esto se reducen las congestiones de tránsito y se facilitan los desplazamientos a las personas que no disponen de un automóvil particular, además de beneficiar a los usuarios con ahorros de costos, combustible y estrés al conducir. La Ciudad de México padece muchos casos críticos, que deben ser tratados en temas de movilidad e infraestructura.

Desde hace siglos, los problemas de transporte ya habían sido resueltos utilizando cuerdas. El transporte por cable, surge por la necesidad de salvar distancias con relieves complejos y grandes desniveles del terreno. Se empleó por necesidades particulares del terreno y acceso, con un enfoque turístico por la belleza de los paisajes que se vislumbran en él. Este modo de transporte se ha restringido su uso únicamente para labores turísticas o para salvar zonas de difícil acceso, desestimando el gran potencial para surgir como un complemento a los sistemas transporte público de las ciudades.

Comenzó en el siglo XIV en Europa y Asia, para uso militar, posteriormente se utilizaron en los campos forestal y minero, el auge que tienen los transportes por cable a

³ GDF. (2014). Artículo 6. En *Ley de movilidad del Distrito Federal* (p.3). CDMX: Gaceta Oficial.

⁴ SEMOVI. (2006). *Estadísticas*. abril, 2016, de GCDMX Sitio web:
<http://www.semovi.cdmx.gob.mx/wb/stv/estadisticas.html>

⁵ Estay Reyno, Jaime (2005). *La Economía Mundial y América Latina. Tendencias, Problemas y Desafíos*. CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales. p. 320.

mediados del siglo XX surge debido a las actividades recreativas sobre la nieve, donde era necesario subir grandes montañas con el equipo de descenso para practicar estos deportes, posteriormente fueron desarrollados para apreciar grandes paisajes con fines turísticos, dando acceso a lugares de gran atractivo visual, además, hubo importantes desarrollos para la milicia y el transporte por mercancías.

Las grandes emisiones de CO₂ al ambiente incrementan la contaminación del aire considerablemente, lo que produce grandes daños al ambiente, uno de los mayores emisores de CO₂ en el mundo es el sector del transporte, aunque existe una tendencia por utilizar vehículos eléctricos, esto no es una solución integral, porque no elimina el problema de la congestión, ni hace más eficiente el flujo, atacando con esto solo el problema de la contaminación, una solución real es rediseñar el transporte público y considerar nuevos métodos que sean sustentables.

Los teleféricos son más baratos para construir y operar en comparación a un metro o un tren suburbano. La primera línea del Metrocable de Medellín se pagó en un año, después de 7 millones de pasajeros en su primer año, esto hace al proyecto de teleférico un proyecto rentable.

Como la góndola de un teleférico opera en el aire, su construcción requiere poca adquisición de terrenos, con esto evitas problemas de invasión, demolición y adquisición de predios. Un teleférico es diseñado y desarrollado sin un daño considerable a los negocios o a los habitantes de la zona, lo que lo hace una infraestructura viable para la población, además la automatización de las operaciones dentro de las estaciones reduce los costos de operación, lo que permitirá beneficiar el proyecto con una amortización más rápida o reduciendo el precio del boleto.

En el mundo, existen grandes retos que las autoridades gubernamentales deben enfrentar a la hora de definir el modo de transporte ideal para la zona de inferencia, además de contemplar factores ambientales y de costos. Estos modos de transporte por cable están creciendo con un rol importante en las principales ciudades del mundo, que han incursionado en

utilizar este modo de transporte como complemento a su red de transporte urbano. Así como el resto de los tipos de transporte público el teleférico tiene sus ventajas y limitaciones.

1.1 Contexto General del Trabajo

En este documento se presentan las recomendaciones para implementar un teleférico como complemento a la red de transporte urbano en México, de acuerdo a las normas nacionales y criterios actuales para el uso de transporte por cables.

En la introducción se exponen algunas de las tendencias que tienen las grandes ciudades, que se encuentran con problemas de movilidad, al adoptar políticas correctivas que benefician el estado del transporte en dichas urbes.

Entendiendo los beneficios y limitaciones identificados sobre los teleféricos como modos de transporte público urbano, en este trabajo se evalúa la factibilidad de implementar estas en las ciudades de México que requieran complementar sus redes de transporte. El objetivo del estudio es entender si los sistemas de teleféricos podrían conectar razonablemente la red de tránsito a varios centros de actividad que tienen altas demandas.

Esta tesis considera algunos teleféricos existentes y planificados en todo el mundo, evaluando cada uno por sus características únicas. También revisa la gama de tecnologías que existen disponibles para su uso, evaluando cada tecnología para su factibilidad.

1.2 Justificación

La situación es crítica en las grandes ciudades respecto de su transporte público, existe un exceso de parque vehicular, debido al gran crecimiento de la población en estas urbes, lo que ha provocado largos tiempos de traslado. Debemos fomentar el uso del transporte público, pero para esto se debe garantizar una movilidad segura, rápida, confortable, conveniente, económica y compatible con el medio ambiente.

Las grandes ciudades tienen problemas ya de conectividad, por la escasez de vías de comunicación, con una saturación de vialidades ya excedida presentándose niveles de servicio deficientes, estas vías cuentan con capacidad reducida, además de que se encuentran en áreas urbanas consolidadas, por lo que, ya no es factible su ampliación.

Promover el teleférico como un acercamiento a un sistema de transporte masivo puede contribuir a las redes ya existentes de transporte en una ciudad, así como también desahogar el tráfico de una zona densa, activando un fuerte crecimiento en zonas donde el transporte público es deficiente, además de esto es una alternativa turística más en la ciudad que se plantee la propuesta, ya que permitiría vislumbrar la ciudad desde otro enfoque.

Respecto a la parte económica, aporta plusvalía a las zonas aledañas y ofrece un transporte de calidad para todos los niveles económicos.

La justificación de esta investigación sirve para atender la demanda de transporte público a través de medidas complementarias, con un modo de transporte adecuado a las necesidades de la ciudad.



Figura 1.1 Mexicable Ecatepec

1.3 Objetivo

El principal objetivo de esta tesis es promover un modo de transporte, que aún no ha sido explotado como transporte urbano, con esto contribuir a:

1. Mejorar la movilidad de las ciudades.
2. Beneficiar la articulación de sistemas de transporte.
3. La reducción de tiempos de traslado.
4. El mejoramiento del servicio de transporte público.
5. Mejorar la imagen urbana.
6. Alternativa turística.

Además, este trabajo desarrolla algunas estrategias para la planificación eficiente de un teleférico como modo de transporte urbano de pasajeros.

1.4 Alcance

Este es un documento informativo sobre el gran campo cubren los teleféricos, de uso exclusivo para complementar la red de transporte público de una ciudad en México.

Esta tesis tiene por propósito fundamental presentar los principales antecedentes técnicos y económicos para correcta evaluación sobre la viabilidad un teleférico.

Se busca exponer el proyecto como una potencial alternativa al gran rezago que existe en la movilidad del país y los problemas que la contaminación de los modos de transporte a base de combustibles produce. En este documento se muestra la descripción de los principales tipos de teleféricos que hay, que podrían ser utilizados de manera correcta en México, siendo este un país que no ha explotado esta alternativa para ser utilizada como complemento a su actual red de transporte público de las grandes urbes.

CAPÍTULO 2

TRANSPORTE PÚBLICO

C A P Í T U L O 2

TRANSPORTE PÚBLICO

El transporte urbano sustentable es una parte integral del concepto de ciudades inteligentes que implica proveer de servicios de movilidad con intercambios de información entre el usuario y el servidor, integrando otros servicios en un mismo espacio.

La movilidad en México se vuelve cada vez más compleja con la falta de planeación y sin un panorama de mantenimiento eficiente a los modos de transporte ya existentes. La tecnología no resuelve el problema; es necesario contribuir a reorganizar la movilidad en las zonas metropolitanas del país contemplando un panorama que se encuentre en constante evolución, tomando en cuenta factores como el crecimiento de la población en suburbios, sin implementar acciones que fomenten el crecimiento de las grandes ciudades; el objetivo debe estar orientado a diversificar los servicios a toda la población.

El nacimiento, desarrollo y crecimiento de una población a lo largo de la historia ha dependido de múltiples agentes. Uno de estos, definitivamente fue la movilidad. Un análisis en la historia del desarrollo de las civilizaciones mostrará que este factor ha determinado desde la localización de las ciudades hasta el tamaño de estas y sobre todo afecta en la forma urbana de la ciudad.

El intercambio de bienes es considerado como el primer factor de carácter de civilidad en la historia de la humanidad. El intercambio de productos comenzó cuando los productores comenzaron a tener un superávit en su producción o cuando tenían productos que no había en otras regiones, permitiéndoles comerciar entre las poblaciones vecinas efectuando trueques. Con la intensificación del intercambio de bienes, se origina el trabajo especializado, que permite incrementar la productividad y el intercambio de bienes tuvo un crecimiento muy significativo.

El crecimiento del intercambio de bienes, permitió que se formaran rutas de comercio y zonas de mercadeo. En las cercanías de estos lugares se empezaron a desarrollar otros servicios,

lo que propiciaba el crecimiento urbano en esas locaciones. Frecuentemente, estos lugares se encontraban donde los bienes o productos debían cambiar de un modo de transporte a otro, lugares donde cruzaban obstáculos naturales, como cuerpos de agua o donde las características del terreno demandaban otro modo.

El transporte seguirá siendo un factor fundamental para estimular el crecimiento de las ciudades, por la facilidad que genera el libre acceso a muchas áreas a través de diferentes modos. Con una buena movilidad las ciudades se ligan estrechamente al crecimiento. Este es el caso por el cual en muchas ciudades en el momento de construir un puente, túnel o en general una obra que permita conectar zonas de difícil acceso se desarrollaban zonas comerciales, industriales o incluso de actividades residenciales en las cercanías, permitiendo el crecimiento económico y poblacional en toda la área urbana.

Con las nuevas fuentes de energía, más potentes que las que estaban disponibles en el pasado, y el nacimiento de los procesos industriales, la productividad creció aún más. Crece la producción de la industria, agregando calidad a los productos y un aumento considerable en la cantidad de bienes que se tenían disponibles. El mercadeo se intensificó y las economías autónomas se transformaron gradualmente en economías basadas en suministrar y distribuir recursos a distancia.

Los nuevos empleos en las grandes ciudades atrajeron a los pobladores de la zona rural, con la expectativa de mejores oportunidades.

Sin la limitante de proveer de bienes a las ciudades, se fueron enfocando en resolver otros problemas relacionados a la movilidad de personas, lo que se convirtió en un importante motor para el crecimiento de las ciudades, que originó una inversión considerable en los modos de transporte urbano.

Específicamente, estudios previos realizados por importantes empresas, han identificado nuevos mercados y corredores de tránsito en las principales ciudades importantes del mundo. En muchas ciudades latinoamericanas, asiáticas, norteafricanas y europeas, los

sistemas de teleféricos han sido implementados para extender el servicio de tránsito sobre restricciones geográficas como el agua o las montañas.

En otras aplicaciones, esta tecnología se ha incorporado a la red de tránsito local, porque el teleférico ofrece el potencial de reducir los impactos de derecho de vía. Es decir, que el derecho de vía de un teleférico no es un corredor continuo, sino que se encuentra limitado a la huella de los postes de soporte de los cables y las áreas de la estación. Este tipo de operaciones elevadas permite que un teleférico evite obstáculos, evite el reequipamiento de calles, reduzca las adquisiciones de derechos de vía de alto valor y minimice los impactos potencialmente adversos a los activos públicos y privados. Como tal, algunas zonas urbanas densamente pobladas a nivel mundial han implementado a los teleféricos sobre otras infraestructuras de tránsito tradicionales.

2.1 Definición

Muchas ciudades y zonas metropolitanas encaran problemas de congestión de tráfico y los efectos severos que esto ocasiona, además de que esto reduce la movilidad y la sustentabilidad. Para resolver estos problemas, las ciudades están implementando sistemas de transporte intermodal que minimiza los efectos negativos, mejora el estado de la economía y la calidad de vida. El transporte público urbano es un elemento crítico en balancear el estado del sistema de transporte de una ciudad.

Las tendencias mundiales y la experiencia han permitido introducir políticas favorables para el óptimo desarrollo de la teoría del transporte público urbano. Los modos de transporte público urbano difieren en gran medida en la parte operacional, técnica y económica, así como el impacto de cada uno.

Para comprender las características inherentes de los diferentes modos de transporte público urbano, es necesario no contemplar factores que distorsionan el uso óptimo de estos modos. Estos incluyen la inversión, el precio y las normas regulatorias que favorecen a un modo

sobre otro; diferentes edades y prácticas de operación de los sistemas existentes; además de las condiciones que proveen las diferentes ciudades en las que son empleados; y muchas otras.

2.2 Características

La evaluación y selección de modos de transporte público urbano afecta el tipo de red y servicios de una ciudad. La mayor parte de los análisis para la selección del modo de transporte público urbano se enfoca en el medio y alto del sistema de tránsito, porque estos implican inversiones sustanciales y un compromiso real. Los elementos básicos considerados en un proceso como este, se pueden agrupar en tres categorías:

Nivel de servicio

Paquete del costo de rendimiento

Lo que debe pagar el tránsito

2.2.1 El significado de las categorías de derecho de vía

El derecho de vía o ROW, por sus siglas en inglés Right-of-way, está definido estrictamente como un espacio físico y legal que sirve como vía, exclusivo para vehículos de tránsito. Basado en lo anterior el derecho de vía se clasifica en tres categorías: A, B y C, las cuales serán explicadas más adelante.

En la mayor parte de los casos el derecho de vía, es elemento principal en una red de transporte público, por su gran influencia en cada uno de los costos del rendimiento de cualquier modo analizado que se relaciona con su parte física y las características básicas de operación. El derecho de vía interactúa con otros dos elementos: la tecnología empleada y el modo de servicio.

Los modos de transporte público urbano que operan bajo un derecho de vía categoría C, son los más comunes, estos representan el modelo básico de tránsito, algunos ejemplos de estos son: los autobuses, trolebuses y tranvías. Estos modos requieren una poca o moderada inversión, además de los autobuses, es necesaria una inversión en equipo para las paradas y en algunos casos señales particulares para para la infraestructura del transporte. Los trolebuses

adicionalmente requieren inversión para los cables que se encuentran en la parte superior, mientras que los vehículos necesitan inversiones sustanciales para las calles.

Tabla 2.1 Comparación de los modos de transporte público urbano con ROW categoría B y categoría C.

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Considerablemente mejor rendimiento: velocidad, confianza, capacidad, comodidad, seguridad, entre otros.	Requieren espacio para su derecho de vía.
Disponibilidad para operar trenes de dos a 4 vehículos.	Necesitan de una mayor inversión.
Identidad mas fuerte e imagen, que combinadas con un mejor rendimiento produce una mayor atracción del pasajero.	Podrían requerir señales especiales u otro control y medidas específicas.
Menores costos de operación por pasajero. Cuando la tecnología utilizada es por riel, los modos son electrificados proviendo de mayor rendimiento a los vehículos y sin contaminación del aire, por lo que pudieran operar en tuneles.	

Fuente: (Vuchi, 2007) Urban Transit Systems and Technology.

El rendimiento de un vehículo depende en gran medida de las condiciones de tráfico a lo largo de su línea de operación, por ejemplo si existe congestión, el servicio no es rentable. La velocidad de operación es siempre menor que la velocidad del resto del tráfico, porque el tiempo de tránsito se reduce en las paradas preestablecidas para el ascenso y descenso de pasajeros.

El balance entre dos modos puede ser sustentado con alguna adicional en favor de alguno, como puede ser el proveer de prioridades de tránsito en intersecciones y en algunas otras situaciones críticas.

Los modos de transporte público urbano con derecho de vía categoría B, incluyendo LRT y BRT, representan los modos de transporte semirápido. El rendimiento de un modo de transporte semirápido de tránsito es mejor que el tránsito de calle, por la mínima interferencia que existe con el resto del tráfico. Particularmente importante para el pasajero es el hecho de estos modos con derecho de vía categoría B cuentan con un carril exclusivo y un derecho de vía permanente, por lo tanto una mejor imagen que el transito regular categoría C.

En la Tabla 2.1 se muestra una comparación de ambas categorías.

La mayoría de los modos de transporte con ROW A son de tránsito rápido, sistemas guiados independientemente con alta capacidad en sus trenes, que son controlados usualmente por pequeñas cabeceras.

Un teleférico tiene un ROW categoría A, ya que cuenta con un carril exclusivo en su estructura aérea, que restringe de acceso ajeno al modo.

Los sistemas con ROW categoría A tienen diferencias similares con los ROW categoría B como las categorías B los tienen sobre los ROW C. La planeación varía alrededor de estas 3 categorías. Los sistemas de tránsito urbano son planeados a corto plazo y pueden ser relativamente fáciles de extenderlos o modificarlos. Los modos de transporte semirápido y rápido involucran planeación de la infraestructura y construcción, lo que implica que requiere financiamiento sustancial y tiempo. Estos sistemas son permanentes y pueden tener más impactos positivos en la ciudad. En la siguiente tabla (Tabla 2.2) se muestra una comparación entre los modos con ROW A y B.

Tabla 2.2 Comparación de los modos de transporte público urbano con ROW categoría A y categoría B.

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Son libres de cualquier obstáculo, los sistemas con categoría A son los que tienen el mejor rendimiento (velocidad, confiabilidad, capacidad) de cualquier otro modo.	Requieren por mucho una mayor inversión y exclusivas facilidades para su construcción u operación.
Todos los sistemas de tránsito rápido son propulsados eléctricamente, guiados con tecnologías con un rendimiento altamente dinámico.	El carril exclusivo generalmente requiere de túneles o estructuras aéreas en las grandes ciudades.
La ausencia de cualquier interacción con el resto del tránsito.	La adquisición podría requerir comprar terrenos e involucrar largos accesos a las estaciones.
El derecho de vía exclusivo permite la operación de largos trenes con múltiples puertas, lo que produce un rápido ascenso o descenso de pasajeros y un tiempo corto de permanencia.	<i>Fuente: (Vuchi, 2007) Urban Transit Systems and Technology.</i>

2.2.2 Tecnologías de los sistemas de tránsito

Existen 4 elementos técnicos básicos que influyen en el rendimiento e interactúan con las categorías del derecho de vía, estos son:

La guía del vehículo

Respecto de la guía del vehículo, los sistemas de tránsito se clasifican en dos categorías: vehículos guiados por un conductor y vehículos físicamente conducidos por la guía.

El apoyo

Mientras todos los vehículos de autopista se apoyan sobre neumáticos de caucho, la guía de los sistemas tiene muchos tipos posibles de soporte:

1. Ruedas de acero en riel de acero, que es por mucho la más dominante.
2. Neumáticos de goma para soporte.
3. Levitación magnética.

Propulsión

La mayoría de los sistemas son impulsados por diferentes tipos de motores de combustión interna, usualmente diésel o por motores eléctricos. El comienzo de motores de gas natural comprimido o gas natural líquido en autobuses ha ayudado a tener menores emisiones de contaminantes del aire.

Control de unidad de tránsito

Todos los modos de tránsito operan en alguna categoría de derecho de vía (A, B, C). Algunos modos guiados tienen la operación de sus trenes de manera automática, que se utiliza principalmente para optimizar el régimen de viaje con respecto a la propulsión, el frenado y el tiempo de viaje. Esta característica consiste básicamente en el modo de mando de los modos automatizados o semi-automatizados.

2.3 Clasificación

Los modos de transporte urbano pueden ser clasificados de acuerdo a muchas formas, siendo algunas de estas interdependientes.

2.3.1 Clasificación por tipo de uso

Existen tres categorías básicas por el tipo de uso: privado, de renta y público.

El transporte privado consiste en vehículos privados operados por dueños para su uso personal, particularmente para usos en calles de uso público. El auto es el modo más común, además la bicicleta, motocicleta y caminar, también pertenecen a este rubro.

El transporte de renta, es aquel en el que se utiliza un servicio que provee un operador y está disponible para las partes involucradas en el contrato para transporte, ejemplos de este rubro es el taxi.

Comúnmente llamado transporte público o transporte de masa, consiste en rutas y horarios trazados, disponibles para cualquier usuario que pague la tarifa establecida. Los modos más comunes de esta categoría son: el autobús, el metro, tren, pero existen muchos modos más.

Tabla 2.3 Clasificación del transporte urbano de pasajeros por tipo de uso.

	Privado	De renta	Público
<i>Denominación</i>	Transporte privado	Paratransito	Tránsito Público
<i>Disponibilidad del servicio</i>	Propietario	Individual o de grupos	Prestador de servicio
<i>Proveedor del servicio</i>	Usuario	Prestador de servicio	Prestador de servicio
<i>Determinación de la ruta</i>	Usuario	Usuario	Prestador de servicio
<i>Determinación del tiempo-horario</i>	Usuario	Usuario	Tarifa fija
<i>Costo-precio</i>	El dueño lo absorbe	Proporción fija	
Tipo de transporte	<i>Individual</i> Caminar Bicicleta Motocicleta Automóvil	<i>Individual</i> Rentar carro Auto compartido Taxi	<i>Grupo</i> Tránsito urbano (autobus, trolebus, tranvía) Tránsito semirapido (BRT, tren ligero) Tránsito rápido (metro, tren) Modos especializados (teleféricos)

Fuente: (Vuchi, 2007) Urban Transit Systems and Technology.

2.3.2 Clasificación por modo de tránsito

Un modo de tránsito es definido por sus tres características básicas:

- Derecho de vía (ROW)
- Sistema tecnológico
- Tipo de Servicio

Los modos de tránsito varían con cada una de estas características, contrario a la creencia común de que la tecnología utilizada define la característica modal, el derecho de vía (ROW) tiene mayor influencia en rendimiento y costo de los modos de transporte.

Derecho de vía:

El ROW, por sus siglas en inglés, es el camino o la franja de terreno en la cual el vehículo de tránsito opera. Existen tres categorías de ROW que se distinguen por su separación con el resto del tráfico.

Categoría A: Consiste en un control completo del ROW sin ninguna interferencia por cruce o cualquier acceso por vehículos o personas, carril exclusivo. Puede ser un túnel, estructura aérea o cualquier área restringida de acceso ajeno al modo.

*Los **teleféricos** cuentan con un ROW categoría A, porque la estructura que los suspende en el aire evita la interacción con el resto del tráfico del sistema, ya que esta les otorga un carril exclusivo por las características generales del modo.*

Categoría B: Incluye los tipos de ROW que se encuentran longitudinalmente separados físicamente por barreras, bordes, entre otros métodos de separación, pero que permiten los cruces por vehículos en intersecciones.

Categoría C: Representa el tipo de ROW con tráfico mixto.

Tecnología del sistema:

Hace referencia a las características mecánicas de los vehículos o los caminos.

Apoyo: Es el contacto vertical entre el vehículo y la superficie de contacto, que le transfiere al vehículo el peso y la fuerza de tracción.

Guía: Refiere a las guías por las que los vehículos circulan. Los vehículos en las autopistas son guiados por el conductor y la estabilidad lateral es provista por la adhesión de la llanta contra la superficie de rodamiento. Los vehículos de riel son guiados por las bridas y la forma cónica de la superficie de la llanta.

Propulsión: Se refiere a los tipos de propulsión y métodos de tracción o transferencia de aceleración de los modos.

Control: Es la manera en la que es regulado el viaje de uno o todos los vehículos en el sistema.

Tipo de servicio:

Existen muchos tipos de servicio, estos se pueden clasificar en grupos de tres características:

- Por el tipo de ruta y viajes
 - *Tránsito de corto tiempo*: Se define como un servicio de baja a media velocidad con pequeñas áreas de alta densidad de viajeros, como aeropuertos.
 - *Tránsito de ciudad*: Es el tipo más común y se refiere a las líneas que sirven a toda una ciudad, pueden operar en cualquier categoría de ROW.
 - *Tránsito regional*: Se refiere a los viajes largos y de alta velocidad con pocas paradas.

- Por el horario de paradas o el tipo de operación:

- *Servicio local:* Hace referencia a todas las unidades de tránsito que se detienen en todas las paradas.
 - *Servicio Acelerado:* Es cuando la unidad de tránsito tiene diferentes paradas en un predeterminado programa.
 - *Servicio Express:* Se define como el servicio en el cual las unidades de tránsito en una línea de paradas se detienen en las paradas amplias.
- Por tiempo de operación:
- *Servicio Regular:* Es el tránsito operado durante la mayor parte de las horas del día.
 - *Servicio de tránsito diario:* Refiere a las rutas que operan durante las horas pico. Es un complemento del tránsito regular, pero no un sustituto.
 - *Servicio especial:* Este tipo solo opera en eventos especiales.

Tabla 2.4 Clasificación de los modos de transporte público urbano por su derecho de vía y tecnología.

ROW	Tecnología		Neumático de rueda guiado		Especializado
	Autopista Conductor dirigido	Parcialmente guiado	Carril		
C	Paratransito Autobús de enlace Autobús regular	Trolebús	Tranvía Funicular	Ferry Hidroala	
B	Bus Rapid Transit (BRT)	Autobus guiado	Tren Ligero	Ferrocarril de cremallera	
A	Autobús en espacio exclusivo	Metro de neumáticos Monoriel de neumáticos Transporte Público Guiado PRT	Tren Ligero con carril confinado Metro Tren suburbano Monoriel SCHWEBEBAHN	Ferrocarril de cremallera Funicular Teleférico	

Fuente: (Vuchi, 2007) Urban Transit Systems and Technology.

Tabla 2.5 Definición, clasificación y características de los modos de tránsito.

Factores determinantes	Categorías/Tipos	Características Básicas	Modos Individuales	Clases genéricas
Separación del resto del tráfico	C B A	Categorías del derecho de vía (ROW)	Autobús de enlace Autobús regular Autobús express Trolebús Tanvía	Tránsito de calle
Apoyo Gua Propulsión Control	Autopista: conductor guiado De neumáticos: guiados, semiguidados Carril Especial	Tecnología	Bus Rapid Transit (BRT) Tren ligero AGT de enlace	Tránsito semirrápido
Longitud de línea Tipo de operación Tipos de viajes	Recorrido corto Ciudad Regional	Tipos de servicio	Tren ligero con carril confinado De neumáticos con carril confinado AGT Monoriel Metro	Tránsito rápido
			Funicular Teleférico Ferry Hidroala	Tránsito especializado

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS TELEFÉRICOS

C A P Í T U L O 3

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS TELEFÉRICOS

El siguiente capítulo se divide en los diferentes tipos de sistemas de teleféricos conocidos en todo el mundo, los cuales se distinguen por sus sistemas de soporte, carga y de tracción. A continuación, se presentan estos tipos de teleféricos.

3.1 Teleféricos Monocables

Los teleféricos utilizan un sistema de traslado a base de cables, lo que los clasifica como un modo transporte por cable, también comparten esta clasificación los funiculares, las telesillas, los telesquíes, las telecabinas, entre otros.

En un teleférico monocable, únicamente existe el cable transportador, este cable cubre las funciones de soportar la carga y mover las góndolas, simultáneamente. Las góndolas sostienen este cable a través de una mordaza la cual puede estar sujeta de manera permanente o temporal con un dispositivo automatizado. En el caso de que la góndola esté sujeta de manera permanente al cable portante-tractor, este será limitado al transporte de pasajeros, además de que el movimiento del cable será continuo, con el ascenso y descenso con la cabina en movimiento.

Dentro de esta clasificación existen los teleféricos monocables de doble anillo, los cuales poseen dos cables transportadores paralelos para sostener y mover a las cabinas, estos presentan gran estabilidad al presentarse la acción de los vientos cruzados, debido a los dos apoyos que tiene la cabina en los cables, también presenta una elevada capacidad de transporte.

Es un sistema ideal cuando es necesaria una alta capacidad de transporte. La desventaja latente en este tipo de teleféricos es que los claros deben ser más cortos, por lo que se necesitan más torres en menor distancia afectando el paisaje y presenta una deficiencia en la resistencia a vientos fuertes.



Figura 3.1 GD8 Bursa I + II + III

El GD8 Bursa I + II + III es el teleférico monocable más largo del mundo; une la ciudad de Bursa en Turquía con la zona montañosa de *Uludağ*.

3.2 Teleféricos Bicables

Un teleférico bicable tiene uno o varios cables portantes, que no está relacionado con la dualidad que define al prefijo, el vocablo “bi” refiere a las características de función de este teleférico, el cual utiliza un cable para soportar la carga y un segundo para transmitir movimiento a la cabina, con este tipo de configuración el teleférico adquiere características de alta estabilidad y la posibilidad de salvar grandes claros sin estructuras de soporte tan continuas entre sí, además de presentar resistencias considerables a la velocidad del viento.

El mecanismo de movimiento depende de un cable portante, también llamado transportador o tractor, el cual cumple la función de desplazar a la cabina a través del circuito que compone la estructura, donde regularmente se utiliza un contrapeso para garantizar la estabilidad del cuadro que transporta al usuario.

Estos tipos de teleféricos son de los más comunes, por la estabilidad que tienen en presencia de vientos fuertes. Los avances en los estándares de seguridad a nivel mundial en

teleféricos son fundamentales para transmitir confiabilidad y seguridad al usuario. En este contexto, la velocidad del viento, las inclinaciones de las torres y las distancias entre estas, son factores importantes a considerar en el diseño de un teleférico. Sin embargo, la propuesta de esta investigación es de un modo de transporte en línea, es decir, que las cotas de inicio y fin tienen una variación mínima despreciable respecto de su elevación, lo que reduce las velocidades de diseño del viento comparadas con un teleférico en el que las elevaciones son más drásticas, ya que en un teleférico convencional cuyo objetivo es el traslado sobre regiones montañosas la velocidad de los vientos es considerablemente mayor, por los cambios de alturas.

Para dar confianza al usuario, es necesario establecer altos estándares de seguridad que serán aplicados durante el diseño. Los aspectos de seguridad son criterios básicos durante la fase de planeación del proyecto y el inicio de las operaciones, además que requiere revisiones periódicas durante su operación. De igual modo, la estabilidad ocasionada por los vientos en un teleférico es de particular importancia para las empresas que construyen estos modos de transporte, las autoridades responsables y los operadores. Esta participación por parte de los actores debe asegurar la operación con una alta velocidad de viento cruzado, es decir el viento que tiene sentido perpendicular al eje por el que se desplaza la góndola, permitiendo así la seguridad del usuario.

Es elemental conocer el funcionamiento de un teleférico bicable para comprender algunas de las características que lo hacen dentro de su clasificación uno de los más estables. El funcionamiento se explica brevemente en los siguientes párrafos:

⁶En la estación, los carros son separados del cable portante, permitiendo así desacelerar las góndolas y ser guiadas hacia un monorriel de sobrecarga, lo que permite a la góndola bajar la velocidad, simultáneamente es dirigida al área de ascenso-descenso, donde pasa a baja velocidad permitiendo a los pasajeros entrar o salir fácilmente, según sea el caso. Antes de salir de la estación, la góndola es acelerada de nuevo, igualando la velocidad del cable portante, previo a

⁶ Petrova, R., Hoffmann, K. & Liehl, R. . (2007, enero). Modelling and simulation of bicable ropeways under cross-wind influence. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, 13, pp.63-81

hacer la transición, haciendo posible una alternancia de los cables sin un movimiento brusco en la cabina por el cambio de velocidad.

Fuera de la estación, los cables son guiados a través de las estructuras de soporte. En el área de circulación, existen dos cables tractores que pasan por la línea de soporte, estos cables se encuentran permanentemente anclados al final de la línea, que regularmente es el extremo superior, y se mantienen en constante tensión por el contra peso que se encuentra al otro extremo. Cada una de las secciones de los cables tractores tiene un sentido de movimiento y estos están unidas en monorriel de sobre carga. El cable tractor puede ser tensado por un contrapeso al final de la línea o con un tensor hidráulico. El movimiento en el cable portante es generado por un motor eléctrico en la estación.



Figura 3.2 Teleférico de Madrid

El teleférico de Madrid se inauguró el 20 de junio de 1969. Sobrevuela la rosaleta del Parque del Oeste, la estación de cercanías de Príncipe Pío, la ermita de San Antonio de la Florida y el río Manzanares y termina junto a la plaza de los Pasos Perdidos de la Casa de

Campo. Recorre una distancia de 2.457 metros y tiene una capacidad de 1 200 pasajeros por hora.

3.3 Teleféricos Tricable

⁷Los teleféricos tricable, también llamados 3S, cuentan con dos cables portantes y un cable tractor de movimiento continuo, lo que le da más estabilidad a la cabina, según registros de la empresa LEITNER, este tipo de teleféricos puede funcionar con vientos superiores a los 100km/h , otra de las características favorables de los teleféricos tricable es que pueden tener claros más grandes entre sus torres, estos claros superan los 2500m de longitud, lo que es ideal en trazos que intervienen a través de pasos muy concurridos de tránsito vehicular.

Al igual que en los teleféricos bicables, las pinzas en los sistemas de las cabinas son desembragables, lo que permite alcanzar una capacidad de transporte alta, es decir, cabinas con una capacidad hasta de 35 personas, que alcanzan velocidades entre 8 y 10 m/s.

Una ventaja concreta en un teleférico 3S, puede ligarse a una reducción considerable en los costos de operación, comparado con otro modo de transporte de pasajeros, ya que los teleféricos funcionan a base de una automatización completa de los procesos, lo que hace innecesaria la presencia de personal de operación en las estaciones.

El primer teleférico tricable en Italia es el *TD35 Ritten / Renon* que vuela desde el centro de Bolzano a la meseta de Renon en 12 minutos. Esta telecabina de movimiento continuo es utilizada por un millón de pasajeros al año, reduciendo significativamente el tráfico coches en esa zona, con esto Renon ha aumentado su atractivo turístico y abrió un nuevo mercado.

⁷ LEITNER. (2015). *Instalaciones Bicable y Tricable*. julio, 2016, de LEITNER AG Sitio web: <https://www.leitner-ropeways.com/es/productos/instalaciones-tricable-y-bicable-78/#>



Figura 3.3 TD35 Ritten / Renon

3.4 Teleféricos en el Mundo

El uso de teleféricos como complemento al transporte urbano empezó en el siglo IXX, pero no fue tomada con gran fuerza por el auge del automóvil y el desarrollo de los equipos a base de combustibles fósiles, cuando comienzan a presentarse problemas de tráfico pesado en las grandes ciudades, los especialistas toman un nuevo enfoque a través de los tranvías y metros en el subterráneo. El uso de teleféricos experimenta un renacimiento como transporte, que ya han aprovechado las principales ciudades del mundo:

- Puede amortizar costos de construcción en 8 meses, caso de Medellín, Colombia.
- Sus vehículos pueden operar cada pocos minutos, caso de Perugia, Italia.
- Ha transportado 8 000 pasajeros por hora, caso de Barcelona, España.
- Trasladando 9 millones de pasajeros en 5 meses, caso de Expo Hanover.

- En Genting, Malasya ha operado por 58 000 horas en 10 años, transportando 50 millones de pasajeros.
- Por la parte del diseño la estación de Innsbruck fue incluida en la revista Time in su edición “Design 100”.

Existen países, en los que la orografía del lugar los ha obligado a desarrollar este tipo de infraestructura para alimentar sus redes de transporte, como es el caso de **Italia**, un referente a nivel mundial sobre uso de teleféricos como modos de transporte urbano.

A nivel mundial se ha utilizado el teleférico como un modo de transporte ideal para zonas donde la limitante es el relieve del lugar y con la capacidad de fungir como un atractivo turístico más en la ciudad, en esta parte se enlistan los teleféricos más destacados usados en el mundo que cumplen la función de transporte de pasajeros, así como alguno de los proyectos futuros más destacados.

Existe una tendencia mundial por hacer las “ciudades inteligentes”, un concepto que ha sido utilizado para definir aquellas ciudades en las que varios sectores, en lo que incluimos a los servicios públicos ofrecen una interacción directa con el usuario, dotando a estos servicios de información. Maximizar el uso de información y las tecnologías impulsa el desarrollo de transportes sustentables, que además de cumplir con los parámetros ambientales proveen de información de diferentes tipos como son el tráfico, cantidad de usuarios, entre otros. Incluso, este concepto de ciudad inteligente, también puede implementar sensores para hacer uso de la información que genera un vehículo privado.

En Nueva York, **Estados Unidos** el teleférico de la Isla Roosevelt abrió en 1976 para comunicar la comunidad de dicha isla con el lado este de Manhattan. Ha transportado desde su apertura más de 35 millones de pasajeros. El teleférico de la Isla de Roosevelt fue el primer teleférico utilizado como modo de transporte urbano en Estados Unidos, cuenta con 41 años de operación exitosa. Este teleférico se extiende por el *East River* a través de 1 000 pies, fue construido como un modo temporal, con la función de conectar al metro de la ciudad hasta que

este se extendiera hasta Roosevelt en 1989. Antes de la construcción de este teleférico, los usuarios, tanto residentes y trabajadores, viajaban a Manhattan conduciendo o tomaban un tranvía que los llevaba a Queens y luego cruzaban a través del puente de Queensboro a Manhattan, un viaje que tomaba 20 minutos. Ahora, con el teleférico de Roosevelt, este trayecto es de 3 a 5 minutos.



Figura 3.4 Roosevelt Island Aerial Tramway

El *Roosevelt Island Aerial Tramway* tiene algunas atribuciones particulares que lo hacen atractivo para dar solución a una zona de la ciudad de Nueva York y sirve de ejemplo para el mundo: Se localiza en una zona con una alta densidad de población, en esta región existe un congestionamiento en el tráfico vehicular, su uso principal es para transporte público de pasajeros con un uso secundario para el turismo y además, conecta otros servicios de transporte en Manhattan con la ciudad de Nueva York.

En la universidad de Oregon, el departamento de Ciencias de la Salud cuenta con 36 edificios, que se encuentran distribuidos en 141 hectáreas de superficie en Marquam Hill. En Portland cuentan con un teleférico que conecta la *Oregon Health Sciences University* (OHSU)

con la estación del tranvía de Portland y la terminal de autobuses. El teleférico de la OHSU es el teleférico que se ha construido más reciente en una ciudad de gran tamaño en Estados Unidos. Su construcción empezó en 2006 y en 2007 fue la apertura, este modo de transporte ha transportado más de 10 millones de pasajeros desde ese año a la fecha.

Antes de la instalación del teleférico de la OHSU existía cogestión de tráfico, a raíz del movimiento de los trabajadores, estudiantes, cuerpo académico y pacientes que se desplazaban a la universidad y hospitales de la zona. En la universidad existen 15 000 trabajadores y un total de 8 000 estudiantes. Particularmente, este sistema fue seleccionado por ser un modo de transporte amigable con el ambiente, el trazado fue lo más ideal porque no interfería con el trazo de la carretera y la habilidad para ascender fácilmente a 150 metros de altura para conectar los servicios de transporte de la zona baja con el campus universitario.

Durante las fases de planeación y en proceso de acceso a los permisos, hubo manifestaciones por parte del grupo NIMBY, por sus siglas en inglés *Not In My Back Yard*, este es un grupo de oposición que se ha caracterizado por parte de los residentes de cierto lugar que se ven invadidos por los nuevos desarrollos en las cercanías de sus hogares. En este caso, los residentes vivían debajo de la vía del teleférico, pero con el proceso de participación pública estas participaciones se fueron mitigando poco a poco. Los beneficios al área en temas de contaminación del aire y congestión vehicular, permitieron que los residentes adoptaran esta solución de una mejor manera, además de que los gastos de traslado son más atractivos.

El teleférico de la universidad funciona como un sistema llamado *Jig-Back*, que funciona con dos cabinas en servicio, que se alternan en la primera y última estación; cuando una cabina se encuentra en la parte baja la otra se encuentra en la parte alta y viceversa. Este tipo de sistema cuenta con dos cables portantes y un cable tractor por cada línea. Las cabinas se conducen sobre los cables tractores, que son jalados continuamente por el cable portante acelerando y desacelerando únicamente en las estaciones por el cable de arrastre. Cada cabina mueve 78 pasajeros más 1 operador y realizan 90 viajes al día. La ciudad de Portland es dueña y administra este teleférico, lo opera bajo contrato con la OHSU. Las cabinas tienen un

operador que abre las puertas de la cabina hasta llegar a las estaciones, permitiendo a los pasajeros descender. El costo del viaje redondo es de 4.35 dolares.



Figura 3.5 Oregon Health Sciences Cableway

El *Mountain Village Gondola* en Telluride, Colorado es un teleférico con un sistema monocable, que fue construido en 1996, para conectar la ciudad de Telluride con Mountain Village. Desde su apertura este teleférico ha servido como único modo de transporte que tiene un recorrido de 13 minutos de un punto a otro, con elevaciones de 2 750 metros y 3 350, ofrece vistas de San Juan Mountains y entre los residentes es catalogado como “el mejor trayecto en el país”.

Este teleférico cuenta con 20 años de servicio exitoso; con el mantenimiento y operación necesaria este sistema puede durar de 40 a 60 años de servicio. El tiempo de construcción fue de 14 meses; la renovación completa de las góndolas se realizó en 2006 en un tiempo de 4 meses. Anualmente utilizan este servicio 2.4 millones cada año. Más de 35 millones de pasajeros han usado el servicio desde su apertura.

El costo de construir el *Mountain Village Gondola* fue de 18 millones de dólares en 1995, pero este costo no incluye los edificios de las estaciones, desde ese momento el costo de

la renovación de las unidades fue de 8 millones de dólares. El costo promedio de operación y mantenimiento anual de este teleférico es de 3.5 millones de dólares, que incluyen 82 000 horas laborables, el mantenimiento de 59 cabinas y 100 000 horas de operación de estas.



Figura 3.6 Mountain Village Gondola

En Medellín, **Colombia** cuentan con un teleférico de vanguardia en una zona donde la mancha urbana demandaba un modo de transporte que cumpliera con las características necesarias para dar un buen servicio a la zona. Esta ciudad cuenta con una población al 2017 de 2.2 millones; se ubica en un gran valle, con comunidades en las laderas. Una de las estrategias del gobierno de Colombia para reducir los problemas del narcotráfico y algunos relacionados, fue implementar una campaña de infraestructura pública y de transporte, uno de estos proyectos fue el Metrocable de Medellín. El metrerial y los autobuses fueron eficaces para mejorar la movilidad en el centro de la ciudad, pero lugares como Santo Domingo que son de alta densidad poblacional, ubicados en la periferia de la ciudad, con caminos inadecuados y alta congestión vehicular, requerían de otro tipo de transporte.

El metrocable de Medellín ya es un componente integral del sistema, con rutas definidas, horarios, tarifas y transferencias establecidas. Desde la instalación de esta línea de teleférico la delincuencia en zonas cercanas ha disminuido y la cantidad de trabajos y negocios ha aumentado un 300%, según reportes del gobierno de Colombia.

El sistema que utiliza el metrocable de Medellín es una góndola monocable con cabinas para 10 pasajeros cada una, con una frecuencia variable, que depende de la demanda que tenga el servicio a lo largo del día. Las góndolas se mueven a lo largo de 3 líneas en 10 estaciones que componen el metrocable de Medellín, estas son suspendidas por un cable tractor, que se encuentra siempre en movimiento. Para que las cabinas puedan bajar la velocidad en el área de ascenso y descenso se hace un cambio de cable a uno de menor velocidad que circula únicamente a en las estaciones, esto permite que la cabina se desplace más lento, lo que ayuda al fácil acceso de los pasajeros o de ser el caso, el descenso. La velocidad máxima de este sistema es de 19 km/h, la capacidad máxima es de 3 000 usuarios por hora por dirección. Antes del metrocable, el traslado de los residentes de Santo Domingo en algunas horas del día podía exceder las 2 horas de traslado, el teleférico reduce 30 minutos ese mismo trayecto, haciendo incluso más eficiente el flujo vehicular, por no ser invasivo.



Figura 3.7 Metrocable de Medellín

Mi Teleférico Gondola es el nombre del teleférico que se encuentra en la ciudad de La Paz en **Bolivia**. La Paz tiene una población de 2.3 millones de habitantes, tiene una elevación

sobre el nivel del mar de 3 660 m. Antes del teleférico, solo se utilizaba la red de transporte de autobús local. La Paz es la primera ciudad en el mundo que utiliza al teleférico como modo de transporte primario en su red de transporte público.

El teleférico de la Paz se compone de dos líneas interconectadas y una independiente que se construyó en 2013 y comenzó a operar en 2014. Esta línea conecta la ciudad de la Paz con el poblado de El Alto, que se encuentra ubicado en una meseta a lo alto de la ciudad. El sistema transporta 30 millones de pasajeros anuales. Con 11 estaciones en 10 km, estas solo corresponden a la primera etapa, para la segunda etapa se tiene contemplado agregar 23 estaciones más, que serán distribuidas en 19.4 km. Este sistema fue construido para resolver problemas de movilidad que incluían el alto costo de transporte de La Paz a El Alto, además del tráfico pesado, que generaba contaminación del aire y contaminación auditiva.

Mi Teleférico Gondola cuenta al igual que el teleférico de Medellín y el de Telluride, con un sistema monocable con cabinas de 10 pasajeros cada una, la velocidad máxima de las cabinas es de 18 km/h. Cada dirección puede dar servicio a 3 000 pasajeros cada hora, la cual es la misma capacidad que los teleféricos de Medellín, Caracas y Rio de Janeiro. La altura de la torre más alta es de 46 metros.

Existen 443 cabinas distribuidas a lo largo de toda la red. Las cabinas salen cada 12 segundos y funcionan 17 horas al día. Seis nuevas líneas que estarán interconectadas se construirán en los años próximos.



Figura 3.8 Mi Teleférico de La Paz

Argel en **Argelia** es considerada la cuna del transporte urbano de pasajeros por teleférico. Es el líder mundial en la adopción de esta tecnología como modo de transporte público. Argelia cuenta con 16 teleféricos operando y otros 9 en proceso de planeación o construcción.

La implementación de los teleféricos en Argelia va desde 1954 cuando se construyó el primer modo de transporte público utilizando esta tecnología. Los teleféricos de Argel están completamente integrados con los demás modos de transporte urbano, estos mueven millones de personas al año y necesitan adaptarse al rápido crecimiento de la ciudad. El gobierno de la ciudad es el propietario de este sistema y ha sido renovado por el gobierno de la nación. Cada una de las 16 rutas del teleférico provee de una alternativa a la congestión del tráfico en la ciudad. En Argel, los primeros teleféricos eran cortos, alrededor de 300 metros de longitud, y estaban dirigidos a pequeños cambios de elevaciones locales. Los nuevos teleféricos tienen una longitud hasta de 8 km de largo con múltiples líneas y estaciones, estos nuevos sistemas emplean el sistema de góndolas monocables. Las nuevas rutas están planeadas que terminen su construcción en 2015, estas conectarán el centro de la ciudad con Bekira y Sidi Mabrouk, estos

incluyen estacionamientos y conexiones con las redes de autobuses que conducen al Aeropuerto Internacional de Mohamed-Boudiaf.

Emirates Airway Gondola es el nombre del teleférico ubicado en la ciudad de Londres, **Inglaterra**. Esta ciudad fue la anfitriona de los Juegos Olímpicos del 2012, por lo que la movilidad en la ciudad fue muy demandada. El teleférico era parte del Plan Maestro Olímpico, que consistían en un plan de infraestructura para la ciudad de Londres por los Juegos Olímpicos de 2012. El sistema se implementó para cubrir la necesidad de llevar pasajeros al interior de la ciudad y conectar con el Metro.

El *Emirates Airway Gondola* es un teleférico de 1.1 km de longitud que cruza el río Támesis. La construcción comenzó en Agosto del 2011 con una fecha de término de Julio del 2012. Es el primer teleférico en Reino Unido. Cuando el proyecto fue anunciado, el presupuesto inicial de transporte para Londres fue de 40 millones de dólares, también se anunció que el teleférico sería financiado por inversión privada. Esta cifra se revisó y arrojó una segunda cantidad por 90 millones de dólares, porque no se contemplaron los costos suaves asociados a los servicios técnicos, administración de proyecto, adquisición de tierra y otros costos por el derecho de vía. Al final, Emirates Airways anunció que aportaría al proyecto 55 millones de dólares en diez años por la concesión del servicio de publicidad en el teleférico y el nombre del servicio.

⁸La montaña *Uludağ* en **Turquía** es un destino turístico muy representativo de este país, durante el verano recibe visitantes en el parque nacional, mientras que en invierno es sede de uno de los mejores espacios para practicar esquí y diversos deportes de sobre la nieve. La empresa LEITNER desarrolló un proyecto de la ciudad de Bursa a esta montaña, que hace el viaje considerablemente más corto y cómodo, con un tiempo de traslado de 22 minutos, en el teleférico monocabable más largo del mundo con 139 góndolas y 44 torres de soporte, cabe

⁸ LEITNER. (2015). *El teleférico monocabable más largo del mundo*. julio, 2016, de LEITNER AG
Sitio web: <https://www.leitner-ropeways.com/es/empresa/novedades/el-teleferico-monocable-mas-largo-del-mundo/>

resaltar que la distancia que se recorre sobre la tierra es de 35km y con este modo de transporte son 9km con un gran paisaje.

⁹En **México**, está el primer teleférico urbano en Ecatepec de Morelos del país. Son dos telecabinas independientes conectadas a través de una estación de intercambio, que conectan la Vía Morelos con San Andrés de la Caña. En este teleférico existen distribuidas siete estaciones para el ascenso-descenso de pasajeros distribuidas de manera estratégica para optimizar el traslado de la población de la región, cabe resaltar que en este proyecto se trasladaran 3 000 personas por hora y trabajara 17 horas cada día. Anteriormente, el tiempo de traslado para esta ruta sobre el suelo es de 45 minutos, con este teleférico el tiempo se reduce a 20 minutos, lo que además representa una solución para aliviar el flujo vehicular en esa zona y mejorar la apariencia del lugar.



Figura 3.9 Mexicable Ecatepec, México.

⁹ LEITNER. (2015). *Construye el primer teleférico urbano en México*. julio, 2016, de LEITNER AG Sitio web: <https://www.leitner-ropeways.com/es/empresa/novedades/leitner-ropeways-construye-el-primer-teleferico-urbano-en-mexico/>

En el mundo, se han construido alrededor de 1 500 teleféricos, de estos solo 50 son utilizados como modos de transporte urbano para transporte de pasajeros, esos 50 tienen capacidad promedio de más de 20 millones de pasajeros por día.

Evaluar la factibilidad de utilizar cualquier modo de transporte en un corredor de tránsito requiere de estudios previos particulares, que evalúen las necesidades típicas que tiene la población de la zona y para implementar un teleférico esta no es la excepción.

Tabla 3.1 Características de Operación: Teleféricos del Mundo.

Nombre del Sistema	Ubicación	Año de inicio	Pasajeros por góndola	Número de góndolas	Líneas	Estaciones	Velocidad del sistema (km/h)	Tiempo de un viaje completo (min)	Capacidad del sistema	Cantidad de abordajes	
										Al día	Al año
Roosevelt Island	Nueva York, USA	1976	110	2	1	2	29	3	1200	9000	2500000
OHSU Center	Portland, USA	2007	78	2	1	2	35.4	3	800	7000	1500000
Mountain Village	Telluride, USA	1996	8	59	3	6	18.3	20	900	19000	2400000
Metro Cable	Medellin, Colombia.	2004	10	300	3	10	17.7	Varias Líneas	3000	57000	20000000
Mi teleférico	La Paz, Bolivia.	2014	10	443	9	33	17.7	Varias Líneas	3000	75000	25000000
Emirates Airway	Londres, Inglaterra	2012	10	36	1	2	17.7	5	250	6000	1000000
Mexi-Cable	Ecatepec, México.	2016	10	190	2	7	13	18	3000	30000	

Fuente: (Tupper, 2009) Proposed Burnaby Mountain Gondola Transit Project

CAPÍTULO 4

ELEMENTOS DE UN TELEFÉRICO

C A P Í T U L O 4

ELEMENTOS DE UN TELEFÉRICO

Los teleféricos son un sistema de transporte complejo, coordinado y que depende del correcto funcionamiento de sus partes y elementos dentro de un sinfín de relaciones y conjuntos. En este capítulo del escrito se habla sobre los distintos elementos que componen a los transportes por cable, describiendo e identificando cada uno de sus componentes de manera general y breve en su aspecto electromecánico. Los elementos pueden ser clasificados de muchas maneras, y todas ellas correctas desde el punto de vista de su autor. Asimismo, el autor Antonio Miravete (2002) en su libro hace la clasificación en ocho conceptos clave para cualquier sistema de transporte industrial moderno, los cuales son: sistemas de suspensión, cables, poleas, aparejos, tambores, motorización, transmisión, ruedas, carriles y finalmente la estructura del vehículo. No obstante, para temas de este escrito y específicamente para el análisis de teleféricos, la clasificación más general e ideal la presentan a continuación en los siguientes subtemas del capítulo; sistema de carga, sistema de soporte y el sistema de tracción.

4.1 Sistemas de Carga

El sistema de carga dentro del sistema de transporte de teleféricos consiste en el uso de vagonetas o góndolas, las cuales pueden transportar tanto carga como pasajeros, dependiendo el tipo de proyecto, la demanda y el diseño de las cabinas. La trayectoria que siguen las góndolas es unidireccional dentro de un ciclo tipo sinfín, el cual está determinado por las estacionas y la velocidad controlada por los motores y el sistema de tracción general.

Se trata simplemente de una serie (definida por la demanda del proyecto) de “cajones” que se construyen con estructura metálica y fibra de vidrio, con ventanales de vidrio, generalmente, y puertas accionadas por sistema neumático (como las puertas de un autobús) para ofrecerle la máxima seguridad a los usuarios y/o pasajeros. Las sillas se instalan una frente de la otra, dejando un pasillo central para el acceso. Son sillas plegables que se pueden retraer para liberar más espacio interior en caso de requerirse cargar algún elemento que ocupe

espacio, o para el ingreso de una silla de ruedas, por ejemplo. Los materiales de las sillas son los que se usan en cualquier sistema de transporte: fibra de vidrio, plástico, lona, espuma, entre otros. El diseño tanto interno como externo de las vagonetas depende mucho la ubicación del proyecto, la cultura de la zona de estudio, el presupuesto de la obra, la demanda a futuro esperada, el tamaño de las estaciones de entrada y salida, la topografía de la zona y del acceso a los materiales para la construcción en masa de la serie de vagonetas.



Figura 4.1 Sistema de góndolas ubicado en los Alpes Suizos que conecta una serie de pequeños cantones en Suiza.

Cada una de las vagonetas cuenta con un gancho en el techo y éste con una polea doble (ruedas de acero) en su extremo y en forma de pinza; es decir, un par de poleas que se cierran una contra la otra agarrando el cable transportador.

En las décadas del siglo pasado, los primeros sistemas no contaban con vagonetas tan seguras y cómodas; consistían simplemente de un gancho muy grande, con unas tablas donde se sentaba la gente o se ponía la carga.

En el caso de las zonas para esquiadores, se empezaron a usar sillas más cómodas con una barra de seguridad para evitar que las personas cayeran. Actualmente las vagonetas, cuentan incluso con iluminación por electricidad, aire acondicionado, sistema de telecomunicaciones, un auto parlante, un botón para emergencias, entre muchas otras comodidades accesibles.

¹⁰El diseño interno es muy parecido al de un autobús público de pasajeros, en el que las orillas tienen sillas o bancas para que los pasajeros se sienten durante el proyecto y una zona central donde el resto de pasajeros pueden ir de pie, cómodamente agarrados de manijas de plástico colgadas desde el techo de la cabina. La capacidad máxima depende del grado de seguridad del proyecto, del espacio real dentro de la cabina y del límite máximo permisible de peso que las góndolas pueden cargar, pero el promedio de pasajeros por vehículo aéreo ronda en los 10 pasajeros. A diferencia de otros sistemas de transporte como los autobuses de pasajeros o el metro, aún en horas pico, las cabinas de teleférico no puede ser saturadas de usuarios porque siempre se debe cuidar y cumplir el límite máximo de pasajeros por viaje, no importa cuán alta sea la demanda a la hora pico del sistema.

¹⁰ CERTU & STRMTG (2012), *Aerial Cablewats as Urban Transportation*.



Figura 4.2 Góndola que forma parte del teleférico de triple cable “Peak 2 Peak” en Whistler-Blackcomb, cerca de Vancouver en la provincia de la Columbia Británica, Canadá.

No obstante, existe la posibilidad de ajustar la capacidad de estos sistemas a base de cables durante fluctuaciones periódicas en la demanda. La práctica internacional más común consiste en modificar la velocidad de tracción del cable, es decir, al reducir la velocidad del cable se incrementa el tiempo de recorrido, pero se ahorra significativamente el consumo de energía en el sistema. De igual forma, también es posible variar el número de góndolas en el servicio, aunque esta práctica incrementa de manera considerable los costos de operación. Finalmente, la mejor recomendación para mantener un nivel de servicio satisfactorio para la demanda es optimizar los planes de mantenimiento y chequeo, ya que éstos son esenciales para las operaciones anuales. Los planes deben estar cuidadosamente planificados desde el momento de diseño del sistema, dependiendo del tamaño de la demanda a futuro y lógicamente considerando el uso rudo de los equipos de servicio.

4.2 Sistemas de Soporte

Ningún otro elemento como la morfología del terreno es capaz de influir tan clara y directamente en las características de cualquier línea o trazo de un sistema de transporte. Precisamente por esa razón es que el teleférico sobresale del resto de las opciones para resolver los conflictos orográficos de la zona en estudio, además de que la zona entre estaciones puede ser usada para otros propósitos, reduciendo el espacio eficiente para el desarrollo del sistema de transporte. Pero, así como tiene interesantes ventajas, también el sistema de teleféricos se ve detenido por ciertas desventajas. Esta tecnología requiere de líneas rectas entre dos cualesquiera estaciones o pilonas (postes intermedios), lo cual puede ser bastante restrictivo, especialmente en zonas urbanas y dentro de metrópolis. A continuación, se describen los elementos que integran el sistema de soporte, el cual puede ser de gran beneficio o perjuicio para el transporte.

El sistema de soporte está conformado por las torres, también conocidos como poste, los cuales tienen la única función de sostener el cable transportador a lo largo del recorrido del viaje. Hay en el extremo superior de cada torre una especie de viga transversal que hace ver las torres como una T clavada en el terreno. La barra superior en esta T tiene en cada extremo un sistema de poleas por donde se desliza el cable transportador. Éste se mueve en direcciones contrarias en cada extremo de esta barra; es decir, por una va y por la otra viene. Y colgado de este cable, vienen las vagonetas.



Figura 4.3 Sistema de soporte del “The Gondola Ride” en el Lago Tahoe, South Lake Tahoe, California.

Las estructuras de soporte pasan por varias estaciones a lo largo de su recorrido, que a su vez son parte del sistema de soporte y conforman los edificios (en el caso de sistemas más modernos) donde la gente accede al sistema, compra su tiquete (si es el caso), y se ubica sobre zonas seguras de acceso (como ocurre en un sistema de metro), mientras las vagonetas transitan junto a andenes, lentamente, con las puertas abiertas para que la gente suba o baje. Una vez las vagonetas abandonan las estaciones, se cierran las puertas y toman velocidad hacia la estación siguiente.

Los sistemas de teleférico requieren como mínimo dos estaciones. Una estación se construye en el punto de inicio del teleférico y el otro en su punto final, en el intermedio se diseñan en función de la distancia, carga y costo periódico, el número de torres para subdividir la línea y redireccionar gradualmente la ruta de los cables guía. En cuanto a los aspectos técnicos de un teleférico, el motor, los frenos de servicio o el panel de mando no se sitúan en el vehículo sino directamente en la estación. Cada estación es un ejemplar único gracias a su integración individual con la naturaleza y a las diferentes características del terreno natural y de la propia instalación. Por estos motivos, existen diferentes tipos de estación, como por ejemplo las estaciones largas o cortas, las estaciones intermedias y la estación tipo HCL.



Figura 4.4 Vista de la góndola y estación principal del sistema de teleférico “Funivia del Renon”, ubicado dentro del territorio de Bolzano, al noreste de Italia.

4.3 Sistema de Tracción

Dependiendo de las necesidades específicas del proyecto, la fuente motriz se puede ubicar tanto en la estación inferior o superior, en configuración enterrada o aérea, en las variantes motriz fija o motriz tensora. Un grupo motor clásico está formado al menos por un motor, un freno de servicio, un freno de emergencia y el reductor principal de velocidad.



Figura 5.5 Vista interna de la sala de máquinas del teleférico “Como-Brunate”, provincia de Como, Italia.

El sistema de tracción está conformado por el cable transportador, todas las series de poleas que dan soporte en las torres intermedias a lo largo del recorrido y dentro de las estaciones y por dos fundamentales elementos ubicados en la estación de partida y estación de retorno: el motor impulsor y la polea de retorno, respectivamente.

El motor impulsor es un subsistema que se aloja en el cuarto de máquinas del sistema de teleférico y está conjuntado por una combinación compleja de poleas (discos metálicos) y engranajes mecánicos, atravesados por el cable de transportador y accionados por un motor (generalmente eléctrico) que le da el movimiento al sistema y produce la fuerza para accionar el cable transportador que lleva las vagonetas en el ciclo del sistema.



Figura 4.6 Vista de la polea de retorno (rueda deflectora) y la sala de máquinas del sistema “Peak 2 Peak” en la Columbia Británica, Canadá.

La polea de retorno está en la estación terminal, al extremo opuesto del motor impulsor, y junto con otros elementos menores como frenos y amortiguadores, permite que el cable transportador esté adecuadamente tensionado y pueda realizar su recorrido de regreso, en el extremo terminal del sistema de teleférico.

El sistema de tracción es simplemente un cable de acero cerrado que se tensiona colocando en un extremo el motor impulsor y en el otro la polea de retorno, de modo que éste atraviesa todo el recorrido apoyándose en las torres de soporte, como un par de cables paralelos, aunque en realidad es el mismo cable, de los cuales uno va en un sentido y el otro en sentido contrario, llevando ancladas vagonetas adecuadamente especiadas, en una dirección por un cable y regresando por el otro.

Hablando de maneral general, ese es el funcionamiento básico del sistema de teleféricos; pero existen otra cantidad de elementos menores que le dan funcionalidad al sistema y sobre todo, garantizan su comodidad y seguridad; como son: sistemas de amortiguación y frenado, controles de velocidad, estaciones eléctricas para la proveer la energía del sistema de tracción y sistemas de iluminación y comunicaciones; también hay estructuras de acceso, taquillas, pasillos, escalas, sistemas de emergencia e incendios, planta eléctrica, entre otros conceptos importantes.



Figura 4.7 Vista panorámica desde estación del “Langkawi Cable Car”, ubicado en Langkawi, Malasia.

Para el diseño de un sistema de teleférico se requieren varios diseños menores pero que definen al proyecto ejecutivo: uno de tránsito, para determinar el tamaño y características del sistema en cuanto al volumen de carga o de pasajeros requeridos; un diseño estructural para el sistema de soporte, que involucra cimentaciones, estructuras de concreto y acero, para las torres de carga y las estaciones; un diseño arquitectónico para enmarcar el sistema dentro del entorno urbano; un diseño eléctrico para el sistema de alimentación, transporte y utilización de la energía eléctrica en el sistema, y comunicaciones; un diseño hidrosanitario, para las redes de acueducto y alcantarillado, que se afecta por la construcción del sistema y por los requerimientos del mismo; un diseño mecánico, para el subsistema de tracción; y en fin todos los diseños adicionales para un sistema completo. Aunque los diseños básicos que juegan el papel principal dentro del sistema de transporte de teleférico son: el sistema de soporte, de carga y el de tracción.

4.4 Capacidad de las Instalaciones

Existen muchos factores de los que depende la capacidad de un teleférico, por mencionar algunos: las góndolas, el espacio entre cada una de ellas, la velocidad de tracción, que a su vez estos dependen de algunas particularidades físicas como: la velocidad del viento y el clima.

Tiene la ventaja de que operan de manera independiente al tráfico de vehículos, generalmente está limitada a 2 000 viajes cada hora en cada dirección, a pesar de que las góndolas son capaces de trabajar a niveles más altos, alrededor de 3 600 a 4 000 viajes por hora en cada dirección, dependiendo directamente en el tipo de sistema que se usa.

El rendimiento de algunos modos de transporte urbano pueden exceder su capacidad teórica, debido a que su nivel de servicio se encuentra excedido y saturan los vagones o los espacios disponibles, pero en un teleférico existe menos flexibilidad para aumentar la capacidad de las góndolas, ya que están limitadas a un peso máximo para que puedan trabajar, pero puede ser compensado con el tiempo en el que cada góndola arriba al lugar de embarque o desembarque para subir pasajeros, es decir que tengan un periodo menor en horas pico. La construcción de un teleférico ofrece muchos beneficios en áreas importantes de planeación urbana, porque implica un pequeño desplante para las torres.

Un indicador para estandarizar la capacidad de las instalaciones está definido por la cantidad de pasajeros que tiene cada hora, que puede ser expresado en el número de vehículos por hora entre una estación y otra.

Las góndolas convencionales tienen en promedio 10 pasajeros, con una velocidad entre 7 y 10 m/s, con estos datos podríamos obtener un estimado de acuerdo a la siguiente formula:

$$C_{max} = 3\,600u\frac{V_r}{e}$$

Donde:

u – Cantidad de pasajeros por vehículo

V_r – Velocidad del vehículo

e – Distancia entre un vehículo y otro

$$C_{max} = 3\,600(10 \text{ pasajeros}) \frac{7m/s}{50m} = 5\,040 \text{ pasajeros/hora}$$

La empresa LEITNER garantiza dentro de las especificaciones técnicas de sus teleféricos tricable 5 000 pasajeros cada hora.

La tecnología utilizada en un teleférico necesita que exista entre las dos estaciones de ascenso-descenso de pasajeros exista un camino recto, lo que es una restricción considerable para la construcción, aunque tiene la ventaja de superar las dificultades ligadas a los cambios de nivel en las cotas de inicio y fin, superar los obstáculos de la superficie y no obstruye el tráfico vehicular. Construir estaciones en zonas congestionadas representa un problema considerable, las dimensiones mínimas de estas estaciones rondan de los 10 metros de ancho por 25 metros de largo, pero la cantidad de gente que hará uso estas estaciones dependerá el espacio que necesite.

Tabla 4.1 Comparación de los tipos de teleféricos

	Monocable	Bicable (2S)	Tricable (3S)
<i>Capacidad máxima</i>	4000	3500	6000+
<i>Capacidad de cabina (pasajeros)</i>	4 a 15	15	35
<i>Velocidad máxima del viento</i>	60	80	110
<i>Separación entre las torres (m)</i>	100 a 300	1500	3000
<i>Tipo de torre</i>	Cilindro de acero	Cilindro de acero	Rejilla de acero
<i>Tamaño de la torre</i>	2 a 3 m diam.	0.6 a 1.5 m diam.	25 m en cuadrado

Fuente de Información: Aerial Cable Transit Feasibility Study, Jacobs 2016, consultada en 05/02/17

CAPÍTULO 5

ESTUDIOS PRELIMINARES

C A P Í T U L O 5

ESTUDIOS PRELIMINARES

5.1 Análisis de la Demanda

Al realizar cualquier proyecto de movilidad es necesario conocer de manera estimada el tránsito futuro que este servicio deberá cubrir, modelando de manera adecuada el flujo que corresponde a la área de estudio, así como evaluar la capacidad y los costos. En el caso específico de un teleférico, interesa esencialmente la cantidad de personas que demandarían sus servicios.

Un teleférico debe concebirse dentro de un plan de desarrollo de transporte urbano, que marque de manera integral cada una de las partes que lo conforman. El trazado deberá contemplar como un factor indispensable la cercanía de la estación terminal e inicial a los demás centros de promoción de la ciudad, cuidando cubrir el fin último del teleférico.

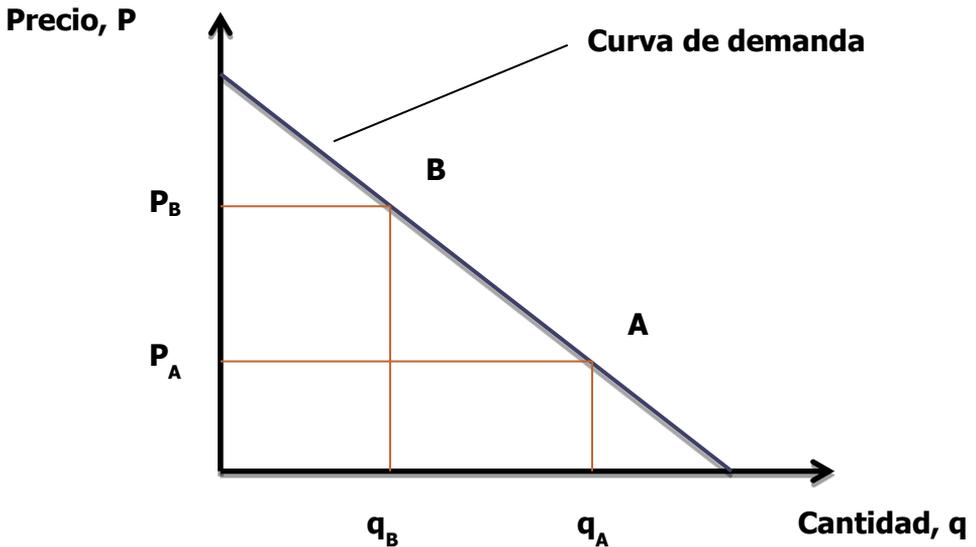
Se deberán plantear los objetivos que tendrá que cubrir el diseño del teleférico para ejecutar un correcto manejo del proyecto.

La demanda expresa el deseo o necesidad del usuario de utilizar el servicio de transporte a precios alternos. La demanda de un servicio de movilidad dependerá del ingreso de los consumidores y de la tarifa de abordaje relativo a otros precios de servicios que cubran la misma oferta. Entonces, la demanda del viaje dependerá del ingreso del usuario y la selección del modo de transporte queda restringida a: propósito del viaje, distancia y el ingreso del usuario.

La gráfica de la demanda (figura 5.1) de un servicio de transporte refleja la relación entre el precio de un bien y la cantidad de demanda. La necesidad de tener un producto en determinado lugar o el cambio de posición de un usuario, origina la necesidad del transporte

desde el punto origen a la posición final, partiendo de esto se origina un volumen de demanda que produce una demanda de transporte.

Figura 5.1 Función de demanda lineal



Fuente de Información: Estudio de la demanda de transporte, IMT. 2002

La función demanda de transporte expresa la cantidad de viajes que son demandados durante un periodo de tiempo acotado que se restringe por algunas variables. Cuando se considera la demanda del transporte público se deberán contemplar variables como: el costo por viaje, el ingreso de los pasajeros y el tiempo.

La demanda en ciertas regiones puede ser más o menos intensa por diversas razones. Los siguientes factores influyen en la determinación de la demanda.¹¹

1. Características físicas

¹¹ Stuart Cole. *Applied Transport Economics. Policy, Management and Decision Making*. Editorial Kogan Page Limited, 1998.

Depende principalmente de las características del producto, por ejemplo productos de alto valor y bajo volumen, son movidos por transporte aéreo y los productos de bajo valor y grande volumen son movidos por barco y ferrocarril.

2. Precio

A menor precio, mayor cantidad de usuarios demandarán el servicio de transporte, por otro lado el aumento del precio disminuirá la cantidad de usuarios.

3. Precios relativos de las diferentes modos de transporte o de servicios de transporte similar

Se refiere a la transferencia de usuarios entre los diferentes modos de transporte, la transferencia depende principalmente de las diferentes tarifas que hay en el mercado, elegir entre un transporte aéreo o terrestre.

4. Ingreso del pasajero

Si el ingreso de los usuarios de una región se incrementa de forma no ocasional, la demanda del transporte aumentará. Cuando la demanda aumenta hay más ingresos de tal manera que existe la posibilidad de adquirir más vehículos y continuar satisfaciendo la demanda.

5. Velocidad de servicio

Cuando se requiere de menos tiempo de traslado, la demanda aumenta.

6. Calidad del servicio

Actualmente los usuarios buscan mejor calidad de servicio que precios bajos, el usuario prefiere pagar un poco más si la calidad de servicio lo merece, las siguientes cualidades son las más buscadas al elegir el modo de transporte:

- Frecuencia del servicio
- Estándar del servicio

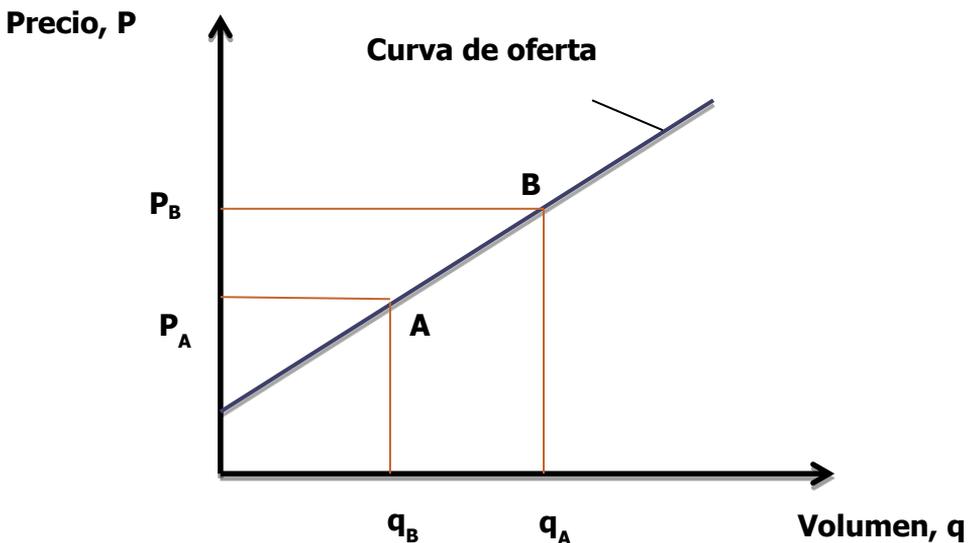
- Comodidad
- Confiabilidad
- Seguridad

5.2 Análisis de la Oferta

Otro punto a considerar en los estudios preliminares es la oferta, esta representa la cantidad de bienes o servicios que se ofrece a un precio determinado. En el caso de una empresa que ofrece el servicio de transporte de pasajeros con teleféricos, la función de este servicio estará determinada por la cantidad de góndolas por kilómetro que se ofrece a una tarifa ya determinada. Sin embargo, la oferta no dependerá exclusivamente de la cantidad de góndolas con las que el servicio cuenta, sino también de factores como el costo de mantenimiento, tecnología y los insumos.

Similar a la demanda, la oferta también puede representarse en un gráfico (figura 1.2), la cual muestra una relación entre el precio de un bien o servicio y la cantidad ofrecida al mercado.

Figura 5.2 Función de oferta lineal



Fuente de Información: Estudio de la demanda de transporte, IMT. 2002

Teniendo una demanda y oferta siempre se busca un equilibrio, es decir una situación en la cual una cantidad ofrecida es igual a la demandada. Regresando a la idea de la gráfica de demanda y oferta, el equilibrio de mercado se observa cuando dichas graficas se cruzan.

Cuando se toma un precio por debajo del precio de equilibrio, habrá un exceso de demanda y el precio se elevará. Por otro lado, teniendo un precio arriba del de equilibrio, tendremos un exceso de oferta y el precio tenderá a bajar. Cuando las funciones de demanda y de oferta para un sistema de transporte son conocidas podemos tratar el concepto de equilibrio.

Cuando se presenta un equilibrio de mercado se analizan otros factores que hagan posible un cambio en la demanda y en la oferta. Los factores de la demanda pueden ser gustos, precios de bienes relacionados y apertura para nuevos consumidores. En el caso de la oferta los factores pueden ser tecnología de los productores, costo de insumos y regulación del Gobierno.

Por lo tanto cuando se produzca un incremento en la demanda, aumenta el precio y cuando la demanda disminuya se reduce el precio y la cantidad de equilibrio todo lo anterior sucede cuando se busca el equilibrio de mercado.

En un análisis de la oferta, se realizan trabajos para caracterización de la zona de estudio, dentro de los cuales se analizan las características físicas y operativas de la oferta existente, que incluyen los sistemas de transporte público y vías, así como el comportamiento, preferencias y necesidades de la demanda actual del transporte público de la zona de estudio.

Según el estudio de Pre-Inversión para el Sistema de Transporte tipo Teleférico en la Delegación Magdalena Contreras, para tener los elementos necesarios para la elaboración de un diagnóstico de vialidad, fue necesario realizar inventarios de las condiciones físicas y del equipamiento con que cuenta las principales avenidas de la zona de estudio; para ello se identifican las vialidades donde se tomarían las características físicas con que cuentan, para

conocer los insumos necesarios para conocer los niveles de servicio con que se encuentran operando actualmente. Los puntos a analizar son:

- Sentidos de Circulación
- Número de Carriles
- Estado Físico de las Vialidades
- Estacionamiento en Vía Pública
- Intersecciones Semafóricas

Dentro de los estudios preliminares que contemplan parte de la oferta, incluye la oferta del transporte público, que analiza: el inventario de rutas de transporte público, los cuales deben describir el trazo de recorrido de ida y vuelta, la descripción del derrotero, nombre de la ruta, empresa o concesionario, longitud, tipo de unidad y la tarifa que se cobra por el servicio de la ruta 68 San Ángel – San Bernabé. Con toda la información recopilada de la operación, se elaboran tablas para su posterior estudio. De las terminales y bases, es necesario identificar la cobertura, la ubicación y la cantidad de las mismas, será necesario resaltar las bases o terminales con mayor número de despachos y llegadas.

5.3 Integración del Análisis de la Demanda y Oferta de un Teleférico.

La importancia de generar la implementación del desarrollo de un teleférico se centra en que sea compatible con el espacio urbano, que tenga contribución a la protección del medio ambiente y que mejore la movilidad urbana.

Para conocer de la importancia de un teleférico es necesario la elaboración de un Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable (PIMUS), el cual determinará los elementos requeridos para conocer la demanda del sistema de transporte.

Como segunda etapa tenemos el desarrollo del Estudio Integral de Factibilidad, estas dos acciones son requeridas por los Lineamientos del Programa de apoyo Federal al Transporte

Masivo (PROTRAM). Cuando la ciudad o región carezca de un Plan integral de Movilidad Urbana Sustentable, el PROTRAM indica que se presentará un Plan esquemático para el desarrollo del transporte público, que resuma la visión y estrategias para su reestructuración y modernización bajo un esquema de rutas troncales y alimentadoras, las cuales permitan satisfacer las demandas de transporte urbana existentes y futuras de una manera eficiente y sustentable a su vez mitigar las consecuencias ambientales.

La primera parte del estudio se centra con la formulación de un diagnóstico de la situación actual del transporte de la región, haciendo un mayor análisis en temas relacionados con el transporte y vialidad para poder determinar el crecimiento de la población y su relación con la movilidad en la zona de estudio.

Además se hará el análisis del marco constitucional y jurídico que reglamenta y regula la movilidad en la zona o en las zonas de estudio, el resultado de esta primera etapa es para detectar oportunidades que un proyecto puede generar en futuros proyectos en temas relacionados de transporte.

La segunda parte del estudio es determinar la demanda, su análisis se basa a través de la formulación de escenarios de crecimiento futuro posibles, determinando una serie de acciones para una posible reestructuración e implantación del sistema de transporte.

La tercera parte de dicho estudio consiste en la evaluación de alternativas de la modalidad de transporte público masivo utilizando elementos tanto cuantitativos como cualitativos.

La cuarta parte se define la parte del diseño y sus componentes del transporte como el centro de control, marco jurídico y el esquema financiero.

La última y quinta parte del estudio se basa en establecer los periodos de ejecución, los responsables y los recursos económicos, humanos y materiales requeridos.

La realización de estudios de pre-inversión permiten tomar decisiones sobre la inversión en materia técnica, económica, financiera y legal a nivel de anteproyecto con el único propósito de determinar la solución que genere mayores beneficios socio- económicos, con lo que es posible determinar la viabilidad de construir un sistema de transporte tipo Teleférico, con un servicio eficiente, seguro y confortable.

Para la elaboración de un tipo de proyecto como un Teleférico es importante tomar como referencia los manuales normativos en materia de transporte urbano emitidos por la Dirección General de Infraestructura y Equipamiento de la SEDESOL y otras normas y manuales como los de la SCT.

El estudio deberá cubrir las siguientes actividades:

1. Diagnóstico de movilidad urbana y el sistema
2. Pronóstico
3. Desarrollo y evaluación de alternativas de configuración del sistema de movilidad
4. Definición del plan de movilidad urbana
5. Programa de implementación
6. Características socioeconómicas de los usuarios
7. Características de los viajes
8. Percepción del usuario del servicio de transporte público
9. Líneas de deseo por motivo de viaje
10. Volúmenes de usuarios
11. Ocupación promedio al día
12. Aforo vehicular en la zona de estudio
13. Demanda al día en el sistema de rutas analizado en campo
14. Demanda en el horizonte de planeación

Una vez concluidos ambos estudios (oferta y demanda) se deberá hacer una interacción de ambos. Por lo que deberá analizarse varias características del transporte. Primero, los tiempos de recorrido en transporte privado, este estudio permite conocer el tiempo que emplea para recorrer determinados tramos viales, durante los periodos de mayor demanda.

Este tipo de estudio consiste en realizar recorridos en vías previamente establecidas, utilizando el método del vehículo flotante, que consiste en conducir un vehículo a la velocidad que el tránsito lo permita, tomando registros de tiempo de inicio, de las demoras por la luz roja de semáforo, por los congestionamientos, por las paradas del transporte público o cualquier otra demora que incremente el recorrido.

Posteriormente, se analizan los tiempos de recorrido en transporte público obtenidos en campo. Mediante el estudio de “tiempos de recorrido y demoras”, se obtienen los tiempos de viaje y las velocidades en campo, dicho estudio se lleva a cabo para recorridos AM y PM, con la finalidad de identificar las variaciones de velocidad y el comportamiento de las unidades de transporte público colectivo en ambas situaciones.

¹²Con respecto al tiempo de recorrido del transporte, existen diferentes factores que reducen la velocidad de operación como los ascensos y descensos de pasajeros, las detenciones por semáforo, congestión, cruce de peatones y tiempos muertos intencionales de los operadores; por tal motivo es necesario conocer el tipo de las demoras que presentan las rutas de transporte para identificar las posibles mejoras al sistema.

Una vez obtenidos los resultados de la evaluación de las vialidades estudiadas, se concluye es estado del funcionamiento de esa red vial y se identifican focos de trabajo, los cuales representan retos u oportunidades que definen al proyecto.

El nivel de servicio es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular y de su percepción por parte de los conductores, en un estudio se le pueden asignar valores numéricos para representar el estado de cada una de las vialidades. De esto se estiman los niveles de servicio probables, de acuerdo a parámetros establecidos, para el horizonte de evaluación.

¹² Estudios de Pre-Inversión para el Sistema de Transporte tipo Teleférico en la Delegación Magdalena Contreras, en el Distrito Federal, *Informe Final*, de Cal y Mayor y Asociados, Junio 2014.

5.4 Diagnóstico de Movilidad Urbana y el Sistema

Hace referencia al estado actual de la movilidad urbana, la operación del sistema urbano y del marco institucional que administra y opera la vialidad, el tránsito y el transporte con el fin de generar información actualizada sobre el proceso de crecimiento de la ciudad y su relación con la movilidad. Este diagnóstico será la base fundamental para el planteamiento de políticas y estrategias que mejoren la movilidad urbana, así como para la generación de las alternativas de configuración de la red vial estratégica, el funcionamiento vial y el transporte público.

Componente desplazamientos motorizados y no motorizados

Se debe realizar una encuesta Origen-destino por entrevista directa, se debe de garantizar que el tamaño de la muestra represente la movilidad urbana, con un nivel de confianza mínimo del 95% con error del 5%. Para definir trazos de las rutas de movilidad se requiere que la encuesta origen-destino se aplique en forma domiciliaria y en otros centros de atracción en la zona de estudio, también se consideran los viajes externos desde y hacia la zona de estudio, dicha encuesta aporta información sobre el nivel de efectividad que tanto la infraestructura vial como el servicio de transporte público, tienen en la satisfacción de las necesidades de viaje de la población.

Planeación de los estudios de campo

Se trata de elaborar la planeación de los estudios de campo y de gabinete, justificando técnicamente los componentes de estudio.

Inventario Físico Vial

Se deberá presentar los planos actualizados de la red vial que muestren los atributos físicos y operacionales, adicionalmente se deben mostrar en los planos características tales como: ramales que convergen a la intersección con sus respectivas secciones transversales, número y uso de carriles para circulación paradas de autobuses, estacionamiento en vía pública, señales verticales y horizontales, carriles auxiliares para vueltas, así como diversos

obstáculos. Se requiere anotar los tiempos de ciclo de semáforo, pendiente aproximada y otros factores que afectan al flujo de tránsito.

Inventario de tránsito

Para conocer este punto es necesario realizar los siguientes puntos:

- Aforos de los modos de transporte con estaciones maestras, con la instalación de estaciones con aforos automáticos, con estas se pretende determinar los periodos de máxima demanda, además se definirán los niveles de servicio en vialidades.
- Aforos de flujo en puntos ubicados en líneas cordón, con clasificación modal en las mismas categorías que para las estaciones maestras.
- Aforos de ocupación vehicular en 8 puntos, durante los periodos de máxima demanda vehicular matutino y vespertino.
- Además se debe de realizar el acopio de información para aquellos lugares donde se pueden desarrollar diseño de vías para ciclistas y peatones.
- Realizar un levantamiento de velocidades de recorrido, analizando tiempos y demoras, utilizando el método de “vehículo flotante”.

Como complemento se realizan investigaciones de accidentes de tránsito, manejo de reportes de accidentes y formulación de programas de seguridad vial.

Componente de tránsito público

Se realiza un diagnóstico técnico resumido de las condiciones actuales de operación del transporte público de pasajeros de la zona de estudio, siendo la base fundamental para el planteamiento de estrategias que mejoren el transporte público, así como las generación de las alternativas de configuración de la nueva red de transporte público.

El diagnóstico actual del transporte público deberá tener:

Información de la oferta

Para poder determinar este punto es necesario realizar los siguientes trabajos:

- Compilación, proceso y análisis de la zona de influencia del proyecto.
- Tiempos de recorrido y demora, este estudio pretende registrar el lugar y duración de cada una de las paradas así como su causa. Se pretende que el estudio se realice en aproximadamente 15 rutas más representativas que capturen por lo menos el 85% de la demanda.
- Frecuencia de paso y carga, el estudio tiene como objetivo determinar el número de unidades de una misma ruta de autobuses que pasan por un punto determinado a cada hora del día.

Información de la demanda

Para estimar la demanda se realizan las siguientes actividades:

- El estudio de ascenso-descenso de pasajeros para determinar los polígonos de carga por ruta y por sentido, secciones de carga máxima, pasajeros-kilómetro de cada ruta por sentido, distancia promedio de viaje por pasajero, por unidad, por ruta, volumen de pasajeros transportados, volúmenes de ocupación de las secciones de carga máxima por ruta, por sentido, índice de rotación por ruta, por unidad, por sentido y por último se determinan paradas importantes.
- Identificación de necesidades específicas de viaje de los usuarios con una encuesta de origen y destino.
- Opiniones del usuario sobre la ruta y red de transporte que utiliza con los sondeos de opinión y nivel socioeconómico

Sistema Urbano

Se deberán relacionar aquellos documentos rectores del desarrollo del lugar de estudio, como programas o Planes de Desarrollo Urbano o de ordenamiento territorial y el plan Maestro de Vialidad y transporte.

5.5 Pronóstico

Es necesario contemplar los escenarios de crecimiento futuro posibles para determinar la viabilidad de su establecimiento, es por ello que se sugiere tres escenarios.

Movilidad Urbana y su relación con el crecimiento en la zona de influencia del corredor

El pronóstico se lleva a cabo desarrollando modelos de crecimiento que involucren el comportamiento histórico de variables socioeconómicas (PIB-Población-PEA-Empleo), tasas de crecimiento del tránsito o de tenencia vehicular y uso de suelo.

Es necesario conocer el crecimiento futuro previsto para la ciudad y con base en ello determinar la infraestructura vial y de transporte público. Además se requiere de la estimación de volúmenes futuros en estaciones y ejes troncales mediante el cálculo del Nivel de Servicio Futuro para determinar conceptos como: razón, volumen-capacidad, tiempo de recorrido, velocidad por tramo.

En este punto se determinará un plan de trabajo que permita predecir los escenarios al corto, mediano y largo plazo. Los resultados de los aforos de viabilidad y tránsito determinan el comportamiento futuro del sistema.

5.6 Desarrollo y Evaluación de Alternativas de Configuración del Sistema de Movilidad Urbana

Con base en las diferentes componentes del diagnóstico y en los escenarios de crecimiento identificados se deberá desarrollar un conjunto de alternativas de configuración. Identificando el número de alternativas que se pueden desarrollar.

La evaluación de alternativas debe considerar:

Evaluación técnica

Se hará una selección del paquete de modelos de planeación del transporte que servirá de base para hacer la modelación y predicción de la demanda de viajes, con el fin de estimar la demanda actual de viajes por modo de transporte entre zonas en la red existente de rutas de

transporte público. Adicionalmente se generan escenarios de crecimiento de la demanda de viajes entre zonas en los diversos modos de transporte y el en transporte público.

Determinar la evaluación operacional de las alternativas de configuración de la red de transporte público usando el modelo de asignación de viajes para estimar la demanda futura en las rutas de cada uno de los escenarios y horizontes contemplados.

Evaluación urbana

Se evalúa que cada una de las alternativas que se propongan, reporten beneficios para la zona.

Evaluación económica

La evaluación urbana se hará en tres partes, cada una de ellas considerando el costo en infraestructura y afectaciones. La primera parte se hace con costos unitarios y que son los costos de Obra Civil Y Electromecánica. Se deberá realizar un estudio de mercado en el área de estudio para integrar un catálogo de precios unitarios de todos los conceptos.

También se estiman los volúmenes de obra relacionados con la construcción de los componentes de vialidad y tránsito, transporte público.

La segunda parte es el análisis y cálculo de indicadores económicos, se elaborarán una evaluación socioeconómica de las propuestas a fin de determinar indicadores de rentabilidad, siguiendo la metodología elaborada por la Unidad de Inversiones de la SHCP.

Finalmente la tercera parte es identificar las prioridades y selección de proyectos. A partir del análisis económico y de los resultados que arrojen los parámetros de evaluación económica, se planteará una jerarquización de las acciones por instrumentar. La evaluación económica debe incluir: ahorro en costos de operación por modalidad de transporte, ahorro en tiempos de viaje y ahorro de combustible.

Selección de la Alternativa Óptima

Para seleccionar la alternativa óptima se deberá de plantear una matriz de alternativas en la que se muestren los indicadores de las evaluaciones técnica, urbana, económica y ambiental, con el fin que se pueden establecer comparativos entre las alternativas de una manera rápida.

5.7 Definición del Plan de Movilidad Urbana

Plan de movilidad urbana sustentable

Debe de contener la propuesta de movilidad urbana que descongestionen los puntos conflictivos del tránsito. Con base en los estudios de tránsito se determinará la capacidad y los niveles de servicio

Diseño operacional del tránsito

Se deberán analizar los efectos de la implantación de la propuesta e identificar los tramos y sitios potencialmente conflictivos con el fin de proponer las medidas para solucionarlos o mitigarlos.

Ampliación de vialidades existentes

Se analizan los diseños de las vialidades ya existentes para permitir la implementación del proyecto.

Nuevas vialidades

Se presentan el diseño conceptual de la propuesta de vialidades de nueva creación que contengan sección transversal, buscando minimizar las afectaciones.

Intersecciones viales

Es necesario tener el diseño conceptual de la solución para las intersecciones.

Interconexión con rutas suburbanas

Se deberá considerar la incorporación a la red de transporte público del lugar. Determinado los paraderos y terminales oficiales que mejor convengan contemplando los servicios ya existentes como empresas y servicios cercanos.

Diseño funcional del transporte público

Se realizará el diseño funcional del sistema de Transporte público, considerará los tipos de servicio, diseño de las trayectorias de las rutas, localización de las paradas, diseño interno y externo de paradas, estaciones, terminales.

Diseño operacional de la red de transporte público

Se desarrollará el diseño operacional del sistema de transporte público considerando los servicios de transporte público y la operación del tránsito motorizado y no motorizado que conviva con el sistema. Una vez determinada la situación actual de cada ruta y con base en la propuesta que se elija se pasará a ajustar la red misma, así como la programación de la operación de las rutas.

Planeación analítica del transporte público

Se utilizará la información referente a características de empleo, de hogares, de uso de suelo, de oferta y demanda de transporte público entre otros, para desarrollar, calibrar y emplear modelos de simulación del sistema de transporte.

Estrategia de modernización del transporte público

Se analiza la estrategia de transformación del sistema de transporte público actual al sistema propuesto, adicionalmente se desarrolla una metodología que permita reorganizar las áreas de operación para que sobre esta base cada una de las empresas realice sus ajustes individuales de implantación.

Esquema presupuestal y análisis financiero

Se analizan y proponen los diferentes esquemas de inversión y participación. Se formula el esquema presupuestal del costo de la propuesta de transporte público. Se requieren

análisis financieros que incluyan un análisis de sensibilidad de la demanda, costos de operación del sistema, sensibilidad de la tarifa, caja de compensación y del sistema de remuneración a operadores, así como un análisis financiero para el organismo de gestión.

Se determina como la tarifa se relacionará con la distancia del viaje, revisando las posibles variaciones en la estructura como pueden ser: tarifas durante hora pico, abonos, tarifas estudiantiles, tarifas para la tercera edad.

Se calculará el valor presente neto del negocio (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), y la relación beneficio/costo.

5.8 Programa de Implementación.

Se debe considerar la inclusión de un programa de implementación y puesta en marcha del proyecto. Donde se establecen los periodos de ejecución, los responsables y los recursos económicos, humanos y materiales requeridos.

El programa de implementación debe considerar las siguientes actividades:

- Calendarización de actividades
- Programa de inversión
- Dependencias y transportistas participantes

5.9 Trazado del teleférico

Una vez de determinar la demanda y oferta de un teleférico el análisis siguiente es el trazado del mismo, hay factores determinantes para su construcción, es por ello que siempre se analizan la relación directa entre los aspectos técnicos y económicos de la inversión.

El trazado del teleférico debe presentar una forma regular, entre menos obstáculos y quiebres morfológicos el ahorro de tiempos es mayor. Entre las condiciones más buscadas en el trazado de un teleférico es tener pendientes bajas, esto es necesario para disminuir el número y la altura de las torres de apoyo que tienen como función servir de intermedias.

Otro punto que se debe de considerar es la ubicación de las estaciones terminales, se deben de ubicar en zonas preferenciales, contemplando las características de la zona para responder a las exigencias y necesidades del proyecto.

Además la ubicación de las estaciones deben estar en un lugar accesible desde los caminos ya existentes, el alejamiento de estaciones de los caminos aumentan los costos ya que se busca la construcción de nuevos. Es posible considerar el teleférico como un atractivo turístico completo, tratando de aumentar su demanda con ofrecer una gran variedad de oportunidades. Una adecuada ubicación estratégica nos puede dar la posibilidad de la construcción de hoteles, restaurantes, plazas comerciales, etc.

Las características de la región siempre van a influir en la decisión de la implementación de un teleférico como un modo de transporte, además de considerarse el terreno se analizan el impacto del viento sobre nuestros componentes, es recomendable por situaciones de seguridad que el viento no sobrepase los 80 km/h.

Se busca tener un trazado óptimo para disminuir costos cuidando todos los factores ya descritos, ya que no siempre un trazado más corto será el más económico y mucho menos será el óptimo.

Un proceso de decisión implica evaluar múltiples variables para seleccionar el trazado óptimo del teleférico. Esto implica definir criterios de comparación para establecer preferencias entre cada opción. Comúnmente es necesario construir una matriz multicriterio.

La matriz multicriterio permite orientar la toma de decisión a partir de varios criterios comunes. Este método se destina esencialmente a la comprensión y a la resolución de

problemas de decisión y se utiliza para emitir un juicio comparativo entre proyectos o propuestas, por lo que se emplea principalmente para evaluaciones. Para poder llevar a cabo un análisis multicriterio, es necesario disponer de un conjunto de características físicas y operativas de las alternativas del trazo del sistema de teleférico. Cada criterio deberá estar jerarquizado de acuerdo a su relevancia. Para poder establecer un patrón de comparación se tiene que buscar una unidad abstracta homogénea que sea válida en todas las escalas.

El método consiste en construir una matriz formada por cada uno de los criterios que conforman la evaluación del proyecto. Después de definir los criterios, y asignarles un valor por relevancia, se determinan los rangos de medición para cada variable, de tal forma que al determinar los valores correspondientes y colocarlos en la matriz multicriterio se obtenga el puntaje por variable, criterio y proyecto, que permita establecer el orden de ellos.

En el caso del proyecto ejemplo del teleférico en la delegación Magdalena Contreras, se identificaron los siguientes criterios:

1. Demanda
2. Ambiental
3. Legal y derecho de vía
4. Análisis Costo – Beneficio

Así, con los criterios de demanda y costos se vinculan directamente con temas tales como movilidad, aspectos operativos y físicos. En el ámbito ambiental, aspectos legales y el derecho de vía para este proyecto se evaluaron las restricciones que existen en la zona para una posible implementación de las alternativas de trazo. Con estos valores se analizan las alternativas de trazo.

Para el caso particular del costo – beneficio se evalúa el proyecto desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto, para esto se comparan los costos y los beneficios que un proyecto genera para la sociedad involucrada. Será fundamental que el proyecto elegido resuelva la problemática existente.

CAPÍTULO 6

EVALUACIÓN

C A P Í T U L O 6

EVALUACIÓN

6.1 Características Principales

Hay una demanda creciente en la oferta de servicios, que particularmente influye en la demanda de transporte de la población, relacionado directamente con el crecimiento demográfico y económico, además de factores como la expansión y patrón físico de la mancha urbana.

Una problemática muy marcada en la movilidad urbana, que necesita manejar un volumen alto de viajes de pasajeros elevado, con un desequilibrio considerable en la distribución modal, además de un crecimiento del parque vehicular y otros vehículos motorizados.

Existe una deficiencia en el transporte público urbano, que es un factor muy importante a considerar en razón a que la población no fomenta el uso de estos modos para la movilidad, ya que no cuenta con las características básicas, en resumen el transporte público urbano es ineficiente y riesgoso para los usuarios.

La evaluación socioeconómica de un proyecto de teleférico se realiza a partir de la aplicación de la metodología conocida como Análisis Costo Beneficio, con apego a *Los lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo beneficio de los programas y proyectos de inversión*, publicados por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), así como lo establecido por el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP) y del Programa Federal de Apoyo al Transporte Urbano Masivo (PROTRAM).

6.2 Evaluación de Proyectos de Infraestructura para el Transporte

La infraestructura de los sistemas de transporte es una condición imperante y necesaria para el correcto crecimiento económico de cualquier sociedad, pero una misma dotación agregada de capital público en infraestructuras puede estar asociada a distintas tasas de crecimiento y niveles de vida. Por lo que se concluye sencillamente que “no se trata solamente de invertir, sino de invertir acertadamente. Decidir qué infraestructuras se les da prioridad, si se invierte en una nueva construcción o mejor en el mantenimiento de una ya existente, en ferrocarriles o teleféricos, en qué zona geográfica y en qué momento del tiempo; son elecciones vitales para el futuro socioeconómico de un país.

El objetivo general de una Evaluación es dotar a los tomadores de decisiones o desarrolladores de programas de infraestructura de una útil herramienta de análisis de factibilidad de proyectos de transporte que sea consistente con los avances actuales, esperados y reales de la economía, aprovechando las lecciones aprendidas en casos internacionales y con la necesidad de elegir entre proyectos alternativos, siendo éstos diseñados dentro de las típicas limitaciones de recursos materiales, monetarios y humanos y de la incertidumbre, que en conjunto caracterizan a los procesos de evaluación y selección para cualquier proyecto de infraestructura.

Una Evaluación de Proyectos de Infraestructura para Transporte se subdivide en los siguientes temas principales, los cuales son las ramas principales del documento final para la elección de un sistema de transporte cualquiera. Un proyecto de inversión estándar en infraestructuras de transporte reúne varias características: alto coste de la inversión inicial, indivisibilidades, irreversibilidad de la inversión, riesgo alto en la demanda y, por tanto, de la incertidumbre asociada al resultado esperado del proyecto; y finalmente, posibilidad de posponer la inversión. En el caso específico de los teleféricos, el costo inicial del proyecto puede variar en gran medida porque cada estación (intermedia o base) tiene un costo elevado de construcción y mantenimiento, por lo que, al aumentar el número de estaciones, el costo

final del proyecto incrementa drásticamente. Lo anterior se resume en que el sistema de teleféricos no es una opción apropiada para salvar tramos con paradas cercanas.

Para evaluar la situación actual y la problemática de los sistemas de transporte de la capital, en específico los de índole masiva, se requiere un importante énfasis en estudiar los puntos mencionados a continuación para poder ofrecer una evaluación completa e integral.

- Características del crecimiento de la urbanización.
- Problemática de la movilidad en la capital.
- Deficiencias en la red de transporte público urbano.
- Externalidades negativas y factores secundarios.
- Planificación, control y administración del transporte público urbano.

6.3 Descripción del Proyecto

La descripción debe de estar acompañada de las principales características físicas, técnicas y administrativas del proyecto, tales como: estimación de la demanda, vida útil del proyecto, selección de ruta y alternativas, elección del uso de tecnologías, diseño conceptual, interacción y relación con otros modelos de transporte, costos iniciales, operativos, de inversión, de afectaciones, obras inducidas, entre otros factores.

Se debe describir claramente el dimensionamiento propuesto del proyecto (obras, instalaciones, equipos, derecho de vía, señalamiento, sistemas de control) y la definición, tamaño y número de estaciones; características y cantidad de vehículos (cabinas o góndolas para el caso de sistemas por cable) y que todo lo anterior guarde una óptima relación con la demanda a la que se le servirá.

Asimismo, se debe incluir información relacionada con el tipo de servicio a prestar, las características generales de la calidad del servicio, los tiempos de viaje y de espera, las tarifas y sistemas de prepago, los niveles de accesibilidad universal en vehículos, estaciones y terminales. Debe existir un pronóstico aprobado de la demanda esperada de usuarios y una

proyección para horizonte económico de mínimo 20 años (valor general) acompañada de un modelo de simulación entendible para todo tipo de público.

6.4 Análisis Costo-Beneficio y Criterios de Decisión

El análisis costo beneficio no debe limitarse a la cuantificación de los beneficios y costos sociales, con independencia de sus resultados financieros. Un proyecto puede producir el mayor beneficio social neto cuando el precio es cero y, sin embargo, ser financieramente inviable cuando la situación presupuestaría aconseja que el usuario pague. Evaluar distintas alternativas tarifarias y comparar su impacto sobre el valor presente neto social y financiero arroja información muy útil sobre la relación costo beneficio entre rentabilidad económica y viabilidad financiera, que raramente el agente decisor puede ignorar.

Se deben analizar, en forma resumida, los costos y beneficios directos, dentro de su horizonte de proyecto, así como las externalidades y beneficios indirectos medibles. El éxito del análisis coste-beneficio está ligado a su función como ayuda a la toma de decisiones. Es un instrumento de análisis, no un requisito administrativo que hay que superar para que el proyecto se apruebe. Cuando el análisis coste-beneficio se convierte en un requisito administrativo pierde todo su potencial como herramienta de decisión pública. Por ello, el reto consiste en que el sistema de incentivos asociado al proceso de evaluación de inversiones favorezca la utilización del análisis coste-beneficio en su concepción original, es decir, como ayuda a la toma de decisiones en beneficio del interés general de la sociedad.

En términos generales, con el análisis costo beneficio es posible calcular los beneficios y costos sociales que genera un proyecto. Si los beneficios de realizar el proyecto son mayores que los costos, se considera que el proyecto es viable desde el punto de vista socioeconómico. Si por el contrario, se generan más costos que beneficios, se considera que el proyecto no es viable. Los criterios de decisión para la definición de sí el proyecto es social y económicamente rentable es a partir del cálculo de los indicadores de rentabilidad del Valor

Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR), la Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI) y la relación Beneficio-Costo (B/C).

6.5 Análisis Económico y Esquema Financiero

La Evaluación Financiera es aquella que permite determinar si el proyecto es capaz de generar un flujo de recursos positivos para hacer frente a todas las obligaciones del proyecto y alcanzar una cierta tasa de rentabilidad esperada. La Evaluación Financiera deberá incluir las proyecciones de flujos, con su correspondiente memoria de cálculo, que permitirán visualizar, a través del tiempo, la entrada de fondos y las fuentes de repago, incluyendo los intereses correspondientes, demostrando su solvencia. Éstas deberán incluir: los costos de inversión del proyecto, costos de operación y mantenimiento, ingresos propios por explotación del servicio, definición de fuentes de financiamiento de la inversión del proyecto, la definición del esquema propuesto de recuperación de la inversión, subsidios requeridos, indicadores de rentabilidad financiera del proyecto y finalmente la identificación de los principales riesgos del proyecto.

Los modelos de evaluación socioeconómica y financiera de proyectos de transporte generalmente se extienden abarcando cinco áreas de desarrollo, las cuales se enuncian a continuación.

- El análisis de los elementos relacionados con la predicción de la demanda de infraestructuras y servicios de transporte, así como la influencia de dicha predicción sobre la evaluación de los proyectos.
- El estudio de los problemas asociados a la estimación de costos en el transporte, incluyendo tanto a los operadores como a los usuarios del mismo.
- La identificación y medición de los efectos externos asociados a proyectos de transporte, así como su influencia en la evaluación de los mismos.
- El análisis comparativo de distintos escenarios posibles de diseño institucional, así como su evaluación antes y después del proyecto, con el fin de evitar limitaciones actuales impuestas por la metodología convencional de evaluación y decisión.

- La medición y cuantificación, en su caso, del impacto socioeconómico de los proyectos de transporte sobre la equidad, la renta y su distribución territorial, teniendo en cuenta la heterogeneidad de las situaciones de partida.

6.6 Marco Jurídico

Es necesario que se describa el marco jurídico que soporta la ejecución del proyecto propuesto identificando las principales leyes y reglamentos vigentes que inciden en el desarrollo del proyecto, jerarquizadas por su carácter federal, estatal y local. Asimismo, se deberán citar los ordenamientos que regirán durante la etapa de planeación, en su caso, otorgamiento de la concesión, construcción del proyecto, cobro del servicio y supervisión de la operación, entre otros. Se identificarán, si existen, cambios propuestos a los ordenamientos legales y jurídicos, la fundamentación para la creación de nuevas agencias y, en su caso, los cambios jurídicos necesarios a realizar, indicando si éstos implicarán cambio en leyes, reglamentos, normas u otras disposiciones legales.

Dentro de la legislación de la Ciudad de México y controlado por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI), existe el Programa General de Desarrollo Urbano, el cual es un instrumento para orientar el desarrollo urbano y el ordenamiento territorial, como expresión de la voluntad de la ciudadanía para la aplicación transparente de los recursos públicos disponibles, en un marco de acción coordinada entre las distintas instancias a quienes corresponde operarlo. Asimismo, se convierte en factor fundamental para promover y estimular la participación de todos los agentes sociales interesados en mejorar la capacidad productiva de todos los sectores de la Ciudad de México¹³.

¹³ Definición de PGDU, dentro de su sitio oficial, <http://www.seduvi.cdmx.gob.mx/programas/programa/programa-general-de-desarrollo-urbano>.

6.7 Organización Institucional del Proyecto

Es importante tener definida la estructura organizacional sobre la cual un proyecto va a ser manejado para que ésta también pueda ser analizada, mejorado y comparada. Se debe considerar la situación actual de la organización de la autoridad competente que tenga la responsabilidad de revisar y autorizar el proyecto de transporte, incluyendo la atribuciones, roles, actividades y obligaciones de dichas instituciones que tengan a su cargo lo relacionado con la planeación de la movilidad urbana y el transporte.

Esta fase concluye si la propuesta de proyecto cuenta con la suficiente capacidad institucional para responder a desafíos de: gestión, técnicos, financieros, sociales y ambientales en cualquiera de sus etapas; para coordinar adecuadamente las diferentes instancias administrativas, gubernamentales y de organización presentes en el proyecto. Finalmente, se analiza si también tiene la capacidad para implementar de manera exitosa la reconversión de servicios de transporte presentes en el área de estudio (generalmente saturados e ineficientes), aspecto clave en las posibilidades de que proyectos nuevos puedan captar las demandas proyectadas para los mismos.

6.8 Impacto Ambiental

Los teleféricos tienen un impacto ambiental mínimo para la ecología circundante debido a la ubicación aislada de las torres. Los mayores impactos que puede producir suelen estar asociados con la construcción en lugar de con la operación, y éstos pueden minimizarse con medidas cuidadosas de manejo y mitigación.

La construcción del teleférico *Skyrail Rainforest* en Australia, que se extiende 7,5 km con cuatro estaciones terminales, preservó todo el Parque Nacional de Barron Gorge, un bosque húmedo tropical Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO. Las estaciones y las cabinas están por encima de la copa de los árboles. En casos como este, a menudo se utilizan

helicópteros para la instalación de las torres como un medio para reducir la necesidad de construcción de carreteras.



Figura 6.1 Skyrail Rainforest

En comparación con otros modos de tránsito, especialmente los modos que son alimentados por combustibles fósiles, el funcionamiento de los teleféricos aéreos son ambientalmente benignos.

En terreno montañoso, el peso de las cabinas descendentes puede complementar la potencia eléctrica necesaria para conducir las cabinas ascendentes, lo que resulta en una excelente eficiencia energética.

6.9 Fortalezas y Debilidades

Un análisis FODA o DAFO, es una herramienta que permite el estudio de un proyecto o empresa, que muestra de manera concreta las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del tema que se analice; se revisa paralelamente las características internas y la situación externa del proyecto a tratar, para posteriormente generar estrategias de mejora de este. En este trabajo se realizó un análisis FODA del teleférico como modo de transporte urbano de pasajeros, para resumir lo que se ha trabajado a lo largo de esta tesis y esclarecer

futuras estrategias que beneficien y promuevan el uso de este modo de transporte en el país. El análisis arroja el siguiente ejercicio:

Tabla 6.1 Análisis FODA: El Teleférico.

	<i>FORTALEZAS</i>	<i>DEBILIDADES</i>
	<ul style="list-style-type: none"> - La orografía de La zona no es problema. - Fácil implementación. - no genera emisiones contaminantes. - Condiciones de accesibilidad universal. - Velocidad de desplazamiento óptima. 	<ul style="list-style-type: none"> - Trazado en línea recta. - Escasez de proyectos como modos de transporte público urbano. - Solución no estandarizada. - Condiciones urbanas específicas. - Solución asociada uso turístico.
<i>OPORTUNIDADES</i>	<i>FO</i>	<i>DO</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Ideal para circunstancias en ciudades de relieve regular. - Modo de transporte complementario a la red de transporte público. - Permite ofrecer alternativas turísticas para la ciudad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aptos para situaciones particulares. - Complemento a la red de transporte público. - Atractivo turístico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Consolidarse como modo de transporte público.
<i>AMENAZAS</i>	<i>FA</i>	<i>DA</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Alta concentración de la industria. - Implantación del sistema sin análisis previo de la zona. - Falta de integración de este sistema de transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> - Que la alta demanda no justifique una elevada inversión. - Aumento del costo del proyecto. - Aumento en el costo de operación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Acotado a bajos niveles de demanda. - Acotado a tramos de baja longitud.

De este análisis son rescatables las fortalezas y oportunidades que presenta este modo de transporte, que puede ser utilizado como un sólido complemento a la red de transporte público de una gran ciudad, además de cubrir con necesidades particulares, tomando como ventaja clave sobre cualquier otro modo la facilidad de atravesar tramos de cualquier relieve, al ser completamente independiente del mismo.

Un teleférico está clasificado como un modo de transporte semimasivo, lo que significa que se encuentra acotado a bajos niveles de demanda, por otro lado para poder superar este obstáculo se puede modificar la frecuencia con la que las góndolas circulan en el sistema y así mejorar la capacidad del mismo.

El teleférico tiene una oportunidad de consolidarse como un modo de transporte sólido, pero para esto será necesaria una correcta planeación e implementación del recurso. Existen ejemplos importantes a nivel mundial, que utilizan a este modo de transporte como el principal en su red, que ha producido grandes beneficios y satisfacciones para la población en la que este se implementa.

Este diagnóstico sirve como parámetro a considerar si se planea implementar un teleférico en una ciudad como modo de transporte público urbano. Y así como ya se ha mencionado en párrafos anteriores, uno de los aspectos críticos para la elección de sistemas de transporte de teleféricos es que éste no puede ser considerado para rutas con paradas cercanas, debido al alto incremento de costo por cada estación extra al sistema. Adicionalmente, la definición del trazo de teleféricos es siempre en tangentes, limitando la trayectoria de la ruta y ofreciendo cambios de dirección únicamente en las estaciones. Los cables que soportan el sistema de góndolas deben estar monitoreados para que ofrezcas siempre los mismos factores de seguridad y dependiendo de los proyectos, éstos deben ser reemplazados aproximadamente cada 5 años. El mantenimiento en cables, góndolas y el sistema de tracción requiere un alto nivel de calidad, equipo y mano de obra especializada y que sea constante para ofrecer condiciones óptimas y seguras de transporte a todos los usuarios.

Dejando a un lado las limitantes técnicas de los teleféricos y sus consideraciones restrictivas para la evaluación de proyectos, se deben analizar también los aspectos de índole financiera de este tipo de proyectos. Entre las principales dificultades que los proyectos de cable han encontrado es el valor de la inversión inicial, ya que es prácticamente inviable que con tarifas bajas un operador privado pueda lograr una rentabilidad positiva para cubrir la inversión inicial, ya que la capacidad de transporte del sistema es baja comparada a los otros sistemas conocidos generalmente. Esto ha fomentado que el sector público sea quien realice la inversión inicial y de forma posterior se realice una concesión para que sea operado por compañías privadas, ya que el mantenimiento y la operación requieren alta especialización y control de calidad exigente.

No obstante, los sistemas de transporte por teleférico ofrecen ventajas y beneficios a largo plazo superiores a los de otros modos de transporte más invasivos o que dependen de combustibles fósiles para seguir trabajando. A continuación, se enlistan globalmente las ventajas más importantes de los teleféricos respecto a otros sistemas de transporte.

- Ahorros significativos en tiempos de viaje para poblaciones que usualmente realizan actividades fuera de la zona de estudio.
- Provee de un servicio más confiable a la población, en cuanto a duración de viaje (muy pocas veces cambia) y la frecuencia de los vehículos de transporte.
- Tiene un mayor dinamismo económico y social que resulta en una mejora importante en el acceso de la zona, librando barreras físicas, urbanas y naturales.
- Mejora la movilidad de los habitantes al tener conexión directa con un sistema de transporte masivo.
- Ofrece mayor seguridad al contar con estaciones y vehículos monitoreados, iluminados y con vigilancia durante todo el trayecto.
- Es considerado un proyecto de transporte innovador, eficiente y amigable con el ambiente, lo que propicia la revaloración positiva de la zona de estudio.
- La emisión de contaminantes a la atmósfera es mínima, ya que el sistema tractor es abastecido por energía eléctrica.
- Regeneración urbana generado una integración adecuada con el paisaje y una apropiación de las instalaciones por parte de la población.

6.10 Evaluación Tipo de un Proyecto de Teleférico

Una vez es elegido el sistema de teleféricos gracias a un análisis costo-beneficio y por los resultados arrojados por el FODA, el siguiente paso es la definición del anteproyecto, su trazado, alcances y características físicas del sistema. A continuación, se presenta una lista de obstáculos comunes a la hora del diseño y la mejor selección de rutas para teleféricos.

- Acceso de vialidades, ya sea porque no existan caminos o porque éstos estén sobresaturados, mal definidos o en mal estado.
- No deben interferir con ningún sitio o monumento arqueológico.
- Se debe de ganar el apoyo de la comunidad que va a ser afectada.
- El proyecto debe ser ambientalmente sustentable para ofrecer una verdadera ventaja.
- El terreno natural debe ser óptimo para la bajada de cargas de torres y pilonas dentro del sistema, el proyecto debe estar validado por un exhaustivo estudio geotécnico de la zona.
- No debe de haber conflicto ni interferencias no deseadas con otro tipo de sistema de transporte ni uso dentro de la zona de estudio.
- Por cuestiones de turismo, la ruta ideal debe ofrecer la mejor vista panorámica de la zona de estudio, la orografía presente y de la población en cuestión.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

C A P Í T U L O 7

CONCLUSIONES

Es necesario fomentar el uso del transporte público, sin desestimar la aplicación de medidas complementarias para la seguridad peatonal a través de estrategias como carriles confinados para el uso de bicicletas o cualquier estrategia que contribuya a disminuir el uso del automóvil en la sociedad. El transporte público debe garantizar cobertura, rapidez, seguridad y comodidad, lo cual en muchas ciudades del país no se cuenta con la suficiente infraestructura de transporte urbano masivo, los cuales además de esto deben ser congruentes con el desarrollo urbano sustentable y con esto mitigar daños progresivos al ambiente.

Cubrir con las demandas de transporte que exige una ciudad es de carácter indispensable para garantizar el crecimiento permanente, para esto será necesario que se apliquen políticas preventivas a las problemáticas de movilidad, para disminuir las políticas correctivas que encarecen los costos de aplicación. Será necesario reestructurar las políticas de transporte de acuerdo a las necesidades de cada ciudad del país, garantizando así las soluciones correctas. El uso de la información es indispensable para tomar una decisión asertiva, es necesario actualizar los bancos de información para reformar la movilidad urbana, enfocándose en un panorama que garantice mayores beneficios a las sociedades futuras.

Los teleféricos son capaces de igualar los niveles de capacidad de otros modos de transporte urbano como el BRT o los tranvías, estos ofrecen una solución a la demanda, complementando la red de transporte público existente, esto por las particularidades que definen a este modo de transporte, que aventaja a los demás modos.

Un teleférico genera impactos positivos, si se encuentra bien planeado. En el mundo estos proyectos generan bienestar, mejoran las condiciones de vida de los habitantes, lo que se refleja en una mejor accesibilidad, confort, seguridad, ahorro en tiempo de viaje y costos para movilizarse, al igual que una mejoría en materia de renovación urbana, demostrando ser de esta manera un proyecto socialmente incluyente. Toda obra de infraestructura conlleva afectación

temporal de las actividades cotidianas en la zona de ejecución; el reto yace en minimizar el impacto que la construcción pueda tener en ellas. Algunas de las magnas obras que han tenido como objetivo el mejoramiento de las condiciones de vida en la metrópoli han tenido como efecto secundario largas temporadas de inhabilitación de servicios o afectaciones en zonas habitacionales; tal es el caso de la construcción del segundo piso del Periférico o de la Línea 12 del metro, que paralizaron por meses importantes vialidades de la ciudad.

Hablando en términos monetarios, un proyecto de infraestructura aporta plusvalía a las zonas aledañas y ofrece un transporte de calidad para todos los niveles económicos. Múltiples colonias serán beneficiadas con este incremento en el valor de sus propiedades y en la asequibilidad a los servicios de transporte.

Se expone el proyecto como una potencial alternativa al gran rezago que existe en la movilidad del país y los problemas que la contaminación de los modos de transporte a base de combustibles produce. En este documento se muestra la descripción de los principales tipos de teleféricos que hay, que podrían ser utilizados de manera correcta en México, siendo este un país que no ha explotado esta alternativa para ser utilizada como complemento a su actual red de transporte público de las grandes urbes.

El uso de los teleféricos en México sentará un precedente en el aprovechamiento de espacios urbanos en toda la región. La construcción de un modo de transporte como este permitirá utilizar de manera eficiente los espacios limitados. Que no solo aplica para salvaguardar espacios de tránsito vehicular o peatonal, también podría ser extrapolado a sitios de interés cultural, histórico, social e incluso ambiental, en donde la preservación del patrimonio y los recursos es importante.

R E F E R E N C I A S

Dickey, J, & Watts, T. (1978). *Analytic Techniques in Urban and Regional Planning*. New York: McGraw-Hill.

Sánchez, G. (1993). *Técnicas para el análisis de sistemas*. Cuadernos de planeación y sistemas. México: Departamento de Ingeniería de Sistemas, DEPMI, UNAM.

Aparicio, F, & Arenas, B. (2008). *Ingeniería del transporte*. Madrid: CIE Dossat.

CERTU. (2011). *Aerial cableways as urban transport systems*, Francia: CETE Méditerranée.

CERTU. (2009). *Cableways As Urban Public Transport Systems*, Francia: CETE Méditerranée.

Perló, M.. (2015). *Presente y Futuro de las Ciudades de México*. 2017, de CICM Sitio web: <http://cicm.org.mx/dialogo-con-ingenieros/>

B. Alshalalfah. (2016). *Improvements and Innovations in Aerial Ropeway Transportation Technologies: Observations from Recent Implementations*. 2017, de Journal of Transportation Engineering Sitio web: <https://www.researchgate.net/publication/273619789>

Alshalalfah, B., A. Shalaby, S. Dale, and F. Othman. *Aerial Ropeway Transportation Systems in the Urban Environment: State of the Art*. 2017, de Journal of Transportation Engineering.

Banks, J. (2001). *Introduction to Transportation Engineering*. Boston: Mc Graw-Hill.

Papacostas, C. (2007). *Transportation Engineering & Planning*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Alshalalfah, B., and A. Shalaby. *Aerial Ropeway Transit: State of the ART*. (2011). CD Proceedings of the 90th Annual Transportation Research Board Meeting, Washington D.C., U.S.

American National Standards Institute (ANSI B77.1). (2006). *Passenger Ropeways-Aerial Tramways, Aerial Lifts, Surface Lifts, Tows and Conveyors-Safety Requirements*. 2017, de American National Standards Institute, Inc. New York, NY.

Beha, Rudolf. (2007). *The Safe Coupling Process at Detachable Lifts*. O.I.T.A.F. Seminar: Safety of Ropeway Installations.

- Colorado School of Mines. (2011). *About Ropeways*. 2017, Sitio web: http://library.mines.edu/About_Ropeways
- Dale, S. (2011). *The Gondola Project*. 2017, Sitio web: <http://www.gondolaproject.com>
- Dwyer, C. (1975). *Aerial Tramways, Ski Lifts, and Tows: Description and Terminology*. De US Forest Service, U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C. eCO2data 2017, sitio web: <http://eco2data.com>
- Meyer, Fritz; Schweiz, Suva. (2007). *Beginn der Sicherheit – Gefährdungsbilder*. O.I.T.A.F. Seminar: Safety of Ropeway Installations.
- Leitner Technologies. (2011). *Leitner Products*. 2017, sitio web: <http://www.leitner-lifts.com>.
- Neumann, E. (1992). *Cable Propelled People Movers in Urban Environments*. De Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1349, 125-132.
- Neumann, E. (1999). *The Past, Present, and Future of Urban Cable-Propelled People Movers*. De Journal of Advanced Transportation, No. 31, 51-82
- Poma Group. (2011). 2017, sitio web: <http://www.poma.net>
- Portland State University Website. (2011). 2017, sitio web: <http://web.pdx.edu/~>.
- The Doppelmayr/Garaventa Group. (2011). *Doppelmayr/Garaventa Products*. 2017, sitio web: <http://www.doppelmayr.com>.
- Vuchic, V. (2007). *Urban Transit Systems and Technology*, de John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey.
- Günther, E. (2015). *Aerial ropeways for urban mass transportation*. International Transportation, 67, 40-42.
- Ley de Movilidad del Distrito Federal (2017)
- Fuentes, A, & Sánchez, G. (1990). *Metodología de la planeación normativa*. Cuadernos de planeación y sistemas. México: Departamento de Ingeniería de Sistemas, DEPMI, UNAM.
- Goodman, A, & Hastak, M. (2006). *Infrastructure Planning Handbook: Planning, Engineering and Economics*. New York: McGraw Hill.

- OMS. (2013). *Informe Sobre la Situación Mundial de la Seguridad Vial 2013*. Suiza: Departamento de Prevención de la Violencia y los Traumatismos y Discapacidad .
- B. Alshalalfah. (2016). *Improvements and Innovations in Aerial Ropeway Transportation Technologies: Observations from Recent Implementations*. 2017, de Journal of Transportation Engineering Sitio web: <https://www.researchgate.net/publication/273619789>
- Sever, D. (2016). *Real capacity of ropeway transportation subsystem*. 2017, de Journal of Transportation Engineering Sitio web: <https://www.researchgate.net/publication/274716188>.
- Orro, A. (2003). *Transporte por Cable*. Argentina: Tórtulo artes gráficas.
- Pérez, M. (2007). *TMB: experiences in the leisure transport niche in: Public Transport International*. 2017, de PTI.
- Cecil J. A., (1968). *So reist man in der Schweiz mit Bahn, Seilbahn, Schiff und Postauto*. 2017, Zurich.
- Burton, V. (1996). *Maybelle the Cable Car*, first edition 1952. 2017, Boston.
- Dean, F. (1958). *Famous cableways of the world*. 2017, London.
- Frommer, G. *Embedding and Implementing Sustainability at the Mass Transit Railway Corporation, Hong Kong*, en Public Transport International.
- Hilton, G. (1997). *The Cable Car in America. A New Treatise upon Cable or Rope Traction as Applied to the Working of Street and other Railways*, Palo Alto.
- Hoffmann, K. (2005). *Cable-drawn urban transport systems*, en: Urban Transport and the Environment in the 21st Century, p 25-36.
- Neumann, E. (1992) *Cable Propelled People Movers in Urban Environments*. En Transportation Research Record: Journal, the Transportation Research Board, No. 1349, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 125-132.
- Neumann, E. (1999) *The Past, Present, and Future of Urban Cable-Propelled People Movers*. Journal of Advanced Transportation, Vol. 31, pp. 51-82.
- Roosevelt Island Operating Corporation. <http://www.rioc.com>. 2017
- Gmuender, J. (2004) *The Marquam Hill – OSU Project. Portland Oregon*. En the Ninth Symposium of the International Organization for Transportation by Rope, 2017.

Portland Aerial Tram. (2017) <http://www.portlandtram.org>. Accessed May 11, 2011.

Telluride. Gondola. <http://www.telluride.com/telluride/summer-activities/gondola>. 2017

Clifford, H. (2004) *Inside the True Telluride*. <http://articles.cnn.com/2004-02-3405/travel/ski.telluride>. 2017.

Medellín. <http://www.medellininfo.com>. 2017.

Acosta, J. (2008). *Planeación integral prospectiva y participativa*. México: CIDEM, Centro de Investigación y Desarrollo del estado de Michoacán.

Ortuzar, S. (2002). *Modelos de demanda de transporte*. México: Alfaomega.