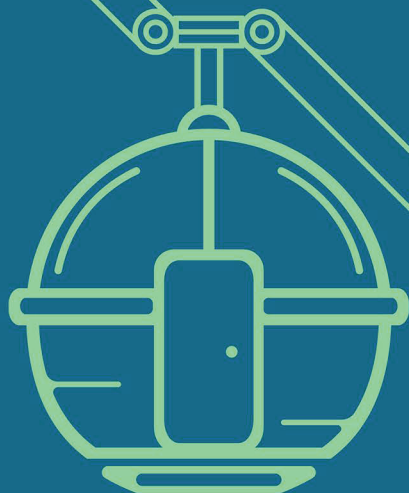
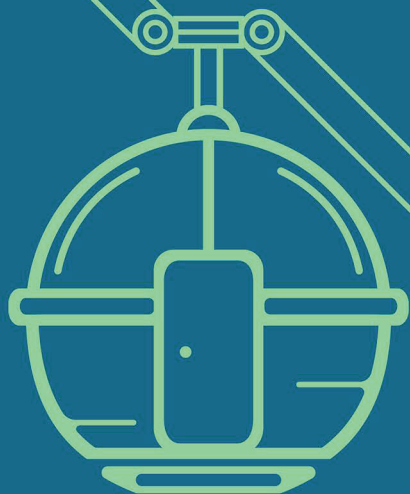


ESTUDIO PARA LA VIABILIDAD TÉCNICA DE SISTEMAS DE

TRANSPORTE POR CABLE AÉREO

Nelson Antonio Vanegas-Molina
Universidad Nacional de Colombia

Claudia Patricia Serna-Giraldo
Universidad de Antioquia



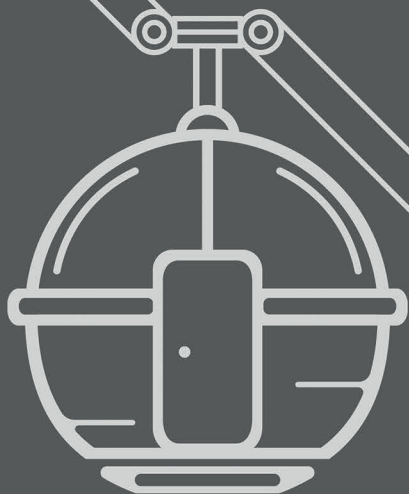
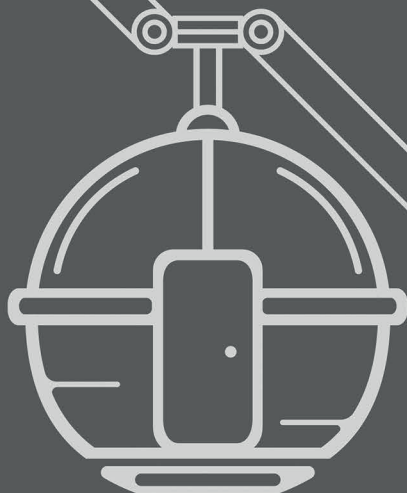
Atena
Editora
Año 2025

ESTUDIO PARA LA VIABILIDAD TÉCNICA DE SISTEMAS DE

TRANSPORTE POR CABLE AÉREO

Nelson Antonio Vanegas-Molina
Universidad Nacional de Colombia

Claudia Patricia Serna-Giraldo
Universidad de Antioquia



Atena
Editora
Año 2025

2025 por Atena Editora

Copyright© 2025 Atena Editora

Copyright del texto © 2025, el autor Copyright
de la edición© 2025, Atena Editora

Los derechos de esta edición han sido cedidos a Atena Editora por el autor.

Publicación de acceso abierto por Atena Editora

Editora jefe

Prof. Dr. Antonella Carvalho de Oliveira

Editora ejecutiva

Natalia Oliveira Scheffer

Imágenes de la portada

iStock

Edición artística

Yago Raphael Massuqueto Rocha



Todo el contenido de este libro está licenciado bajo la licencia
Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Atena Editorial mantiene un firme compromiso con la transparencia y la calidad en todo el proceso de publicación. Trabajamos para garantizar que todo se realice de manera ética, evitando problemas como plagio, manipulación de información o cualquier interferencia externa que pueda comprometer la obra.

Si surge alguna sospecha de irregularidad, será analizada con atención y tratada con responsabilidad.

El contenido del libro, textos, datos e informaciones, es de total responsabilidad del autor y no representa necesariamente la opinión de Atena Editorial. La obra puede descargarse, compartirse, adaptarse o reutilizarse libremente, siempre que se mencionen el autor y la editorial, de acuerdo con la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Cada trabajo recibió la atención de especialistas antes de su publicación.

El equipo editorial de Atena evaluó las producciones nacionales, y revisores externos analizaron los materiales de autores internacionales.

Todos los textos fueron aprobados con base en criterios de imparcialidad y responsabilidad.

Estudio para la viabilidad técnica de sistemas de transporte por cable aéreo

| Autores:

Nelson Antonio Vanegas-Molina
Claudia Patricia Serna-Giraldo

| Revisión:

Los autores

| Diseño:

Nataly Gayde

| Portada:

Santiago Vanegas Serna

Datos de catalogación en publicación internacional (CIP)

V252 Vanegas-Molina, Nelson Antonio
Estudio para la viabilidad técnica de sistemas de
transporte por cable aéreo / Nelson Antonio
Vanegas-Molina, Claudia Patricia Serna-Giraldo. –
Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.

Formato: PDF

Requisitos del sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acceso: World Wide Web

Incluye bibliografía

ISBN 978-65-258-3795-6

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.956251812>

1. Transporte por cable. 2. Teleféricos. I. Vanegas-Molina, Nelson Antonio. II. Serna-Giraldo, Claudia Patricia. III. Título.

CDD 388.46

Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

☎ +55 (42) 3323-5493

☎ +55 (42) 99955-2866

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

CONSEJO EDITORIAL

CONSEJO EDITORIAL

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dra. Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidad Federal de Lavras
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontificia Universidad Católica de Goiás
Prof. Dra. Ariadna Faria Vieira – Universidad Estatal de Piauí
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidad Federal del Sur y Sudeste de Pará
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidad Federal de Goiás
Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidad Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Cláudio José de Souza – Universidad Federal Fluminense
Prof. Dra. Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidad Federal de Piauí
Prof. Dra. Dayane de Melo Barros – Universidad Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidad Tecnológica Federal de Paraná
Prof. Dra. Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal de Río de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal de Pará
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidad Federal de Rondônia
Prof. Dra. Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidad Estatal de Maringá
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidad Federal de Paraná
Prof. Dr. Joachin de Melo Azevedo Sobrinho Neto – Universidad de Pernambuco
Prof. Dr. João Paulo Roberti Junior – Universidad Federal de Santa Catarina
Prof. Dra. Juliana Abonizio – Universidad Federal de Mato Grosso
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidad Federal Fluminense
Prof. Dra. Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Paraná
Prof. Dra. Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educación, Ciencia y Tecnología de Pará
Prof. Dr. Sérgio Nunes de Jesus – Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología
Prof. Dra. Talita de Santos Matos – Universidad Federal Rural de Río de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidad Federal Rural del Semiárido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidad Federal de Alfenas

RESUMEN

RESUMEN

El sistema de transporte por cable aéreo se ha tornado en un medio de transporte viable tecnológicamente en el mundo, siendo una alternativa para el transporte de personas y diferentes tipos de cargas, y más ampliamente usado en actividades deportivas. Como también, tiene innumerables aplicaciones en turismo, recreación y más recientemente como transporte público masivo. Este medio de transporte procura dar soluciones a las diferentes necesidades individuales y colectivas por medio de la construcción de sistemas técnicos simples y con bajo costo. Entre los diferentes tipos de proyectos de sistemas de transporte por cable aéreo se pueden citar las telesillas, telecabinas, teleféricos y funiculares; los cuales presentan características y conceptos técnicos similares; además de fundamentos teóricos como: estructuras, principios de proyecto conceptual, análisis de sistemas dinámicos, resistencia de materiales, análisis de los materiales, fundaciones civiles, sistemas de control, instalaciones eléctricas, métodos de evaluación y confiabilidad entre otras; y en cada uno de los componentes del sistema según sea el proyecto posee marcos teóricos bien estructurados. Este libro vislumbra obtener un estudio para la viabilidad de la implementación de diferentes sistemas de transporte por cable aéreo en el Departamento de Antioquia en Colombia, el cual permite establecer los criterios del proyecto, especificaciones y recomendaciones en los diferentes sistemas de transporte por cable aéreo que se planean instalar en las próximas décadas. El estudio posibilita vislumbrar el campo de acción de la ingeniería mecánica y la ingeniería de materiales en esta área; además, que se enmarca en las condiciones geográficas, sociales, culturales, técnicas y científicas del territorio de Antioquia, todos estos son elementos claves para implementar con éxito un proyecto de esta envergadura.

CONTENIDO

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. SISTEMAS DE TRANSPORTE POR CABLE AÉREO EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA Y EN COLOMBIA.....	5
2. TRANSPORTE POR CABLE AÉREO.....	10
2.1 Breve reseña histórica del transporte por cable aéreo	10
2.2 Avances tecnológicos	11
2.3 Conceptos generales y clasificación	12
2.3.1 Telesquí.....	12
2.3.2 Telesillas	13
2.3.3 Telecabina.....	13
2.3.4 Teleférico.....	14
2.4 Conceptos generales, fabricantes e inventores	15
2.4.1 <i>Caretti y Tanfani-Italia</i>	15
2.4.2 <i>Von Roll-Suiza</i>	16
2.4.3 <i>Pomagalski-Francia</i>	17
2.4.4 <i>Doppelmayr-Austria</i>	17
2.4.5 Grupo <i>Doppelmayr/Garaventa</i>	18
2.4.6 Empresa italiana <i>Leitner</i>	19
2.5 Sistemas de transporte por cable aéreo en el Departamento de Antioquia	19
2.5.1 Teleférico de Guatocó	21
2.5.2 Teleférico de Jardín	21
2.5.3 Teleférico de Jericó.....	22
2.5.4 Metrocable en la zona nororiental.....	23
2.5.5 Metrocable de la zona occidental.....	24

CONTENIDO

CONTENIDO

2.6 Necesidades de sistemas de transporte por cable aéreo, para algunos municipios del Departamento de Antioquia	25
2.6.1 Antecedentes.....	26
2.7 Marco teórico de los sistemas de transporte por cable aéreo	28

3. TECNOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE POR CABLE AÉREO Y REFLEXIONES A NIVEL DEPARTAMENTAL Y NACIONAL..... 32

3.1. Componentes tecnológicos para desarrollar en los sistemas de transporte por cable aéreo	35
3.1.1 Ingeniería de producto.....	35
3.1.2 Ingeniería de procesos	35
3.1.3 Ingeniería de materiales	36
3.1.4 Control de la calidad.....	37
3.1.5 Prototipado	38
3.1.6 Gestión tecnológica	38
3.2. Cables en proceso de ejecución y/o operación en Antioquia-Colombia.....	39

4. MODELO DE VIABILIDAD DEL SISTEMAS DE TRANSPORTE POR CABLE AÉREO EN EL MUNICIPIO DE JERICÓ 43

4.1 Ubicación geográfica cable aéreo municipio de Jericó.....	43
4.2 Análisis socioeconómico zona de influencia cable aéreo municipio de Jericó	43
4.3 Análisis de mercados y demanda de viajeros cable aéreo municipio de Jericó	44
4.4 Descripción del sistema tecnológico cable aéreo municipio de Jericó	44
4.5 Aspectos financieros cable aéreo municipio de Jericó	44
4.6 Análisis de aspectos ambientales cable aéreo municipio de Jericó.....	44
4.7 Manual de usuario cable aéreo municipio de Jericó	45

CONTENIDO

CONTENIDO

4.8 Manual de operación cable aéreo municipio de Jericó	45
4.9 Manual de mantenimiento cable aéreo municipio de Jericó.....	46
4.10 Manual de seguridad cable aéreo municipio de Jericó.....	46

5. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN STCA, EN MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA- COLOMBIA..... 49

5.1 Ingeniería de requisitos.....	49
5.2 Proceso <i>Volere</i>	51
5.3 Implementación del proceso <i>Volere</i> en los sistemas de transporte por cable aéreo en el Departamento de Antioquia	51
5.3.1 El propósito del proyecto.....	52
5.3.2 Los interesados en el sistema	53
5.3.3 Los usuarios finales	53
5.3.4 Las restricciones al funcionamiento del sistema	53
5.3.5 Nombres especiales que surgen del funcionamiento o de la propia existencia del sistema.....	54
5.3.6 Hechos relevantes que distinguen el sistema	55
5.3.7 Metas del equipo de trabajo.....	55
5.3.8 El contexto de funcionamiento del sistema	56
5.3.9 Requisitos funcionales y datos requeridos.....	56
5.3.10 Apariencia del producto.....	57
5.3.11 Requisitos de usabilidad	57
5.3.12 Requisitos de desempeño	57
5.3.13 Requisitos operacionales	58
5.3.14 Requisitos de mantenimiento y portabilidad	58
5.3.15 Requisitos de seguridad	58
5.3.16 Requisitos de orden político y cultural	59

CONTENIDO

CONTENIDO

5.3.17 Requisitos legales.....	59
5.3.18 Problemas en abierto que pueden comprometer el proyecto	59
5.3.19 Soluciones que serán utilizadas o reutilizadas	59
5.3.20 Nuevos problemas causados por la introducción o implantación del sistema	60
5.3.21 Tareas que deben realizarse para que el sistema atienda el estado de régimen	60
5.3.22 Legado que debe ser heredado de sistemas existentes	61
5.3.23 Riesgos	61
5.3.24 Costo estimado de las fases y del sistema final	62
6. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LOS STCA, EN LOS MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA-COLOMBIA	63
6.1 Fase I. Guías del proyecto	64
6.1.1 I-1. El propósito del proyecto.....	65
6.1.2 I-2. El cliente, el comprador y otras partes involucradas	66
6.1.3 I-3. Usuarios del proyecto.....	67
6.2 Fase II. Restricciones del proyecto.....	67
6.2.1 II-4. Restricciones obligatorias.....	68
6.2.2 II-5. Denominación de acuerdos y definiciones	68
6.2.3 II- 6. Hechos relevantes y suposiciones	72
6.3 Fase III. Requisitos funcionales.....	73
6.3.1 III-7. El alcance del trabajo.....	73
6.3.2 III-8. El alcance del proyecto.....	74
6.3.3 III-9. Requisitos funcionales y datos	74
6.4 Fase IV. Requisitos no funcionales	75
6.4.1 IV-10. Requisitos de percepción.....	75

CONTENIDO

CONTENIDO

6.4.2 IV-11. Requisitos capacidad de uso y humanidad.....	76
6.4.3 IV-12. Requisitos de desempeño	76
6.4.4 IV-13. Requisitos operacionales y ambientales	77
6.4.5 IV-14. Requisitos de preservación y soporte.....	77
6.4.6 IV-15. Requisitos de seguridad	78
6.4.7 IV-16. Requisitos culturales y políticos	78
6.4.8 IV-17. Requisitos legales	79
6.5 Fase V. Aspectos del proyecto.....	79
6.5.1 V-18. Aspectos abiertos	79
6.5.2 V-19. Soluciones disponibles.....	79
6.5.3 V-20. Nuevos problemas.....	80
6.5.4 V-21. Tareas	80
6.5.5 V-22. Migración al nuevo proyecto	81
6.5.6 V-23. Riesgos.....	82
6.5.7 V-24. Costos	82
6.5.8 V-25. Documentación del usuario y entrenamiento.....	83
6.5.9 V-26. Sala de espera.....	83
6.5.10 V-27. Ideas para soluciones.....	83
6.6 Herramienta desarrollada para aplicar el modelo a los STCA en los municipios de Departamento de Antioquia	84
CONCLUSIONES	87
REFERENCIAS	90
SOBRE LOS AUTORES.....	97



INTRODUCCIÓN

Las diferentes soluciones existentes de sistemas de transporte por cable aéreo han realizado sustanciales contribuciones a las necesidades individuales y colectivas para el transporte de personas y materiales, adecuándose principalmente a las características geomorfológicas propias de zonas montañosas, generando aportes importantes en economías rurales y urbanas, lo cual ha posibilitado que este campo sea asunto de interés científico y tecnológico.

En el marco de las alternativas de Sistemas de Transporte por Cable Aéreo (STCA) se tienen principalmente los funiculares, teleféricos de vaivén, telecabinas, teleférico pulsado, teleférico mono cable de doble anillo, teleférico tricable de movimiento continuo entre otras soluciones para aplicaciones específicas. Los usos y aplicaciones tienen cada vez más campos de acción, empleándose para fines deportivos, turísticos, recreativos, para el transporte de personas como transporte público masivo, por ejemplo el sistema de transporte por cable aéreo de Medellín-Colombia.

Existen innumerables aplicaciones para el transporte de materiales, de animales, de productos agrícolas, de minerales y procesos de manufactura. Es una alternativa de transporte que, como las otras alternativas tiene sus ventajas y sus desventajas. Por lo tanto, se requieren estudios específicos que permitan que su construcción sea una buena solución, viable y confiable; para tal efecto cada día se realizan interesantes contribuciones científicas que han permitido el suceso de los STCA.

Los STCA de carácter deportivo tipo telesillas, debido a su facilidad de construcción y su bajo costo es uno de los STCA con mayor número de instalaciones en el mundo. En un segundo plano están los sistemas de cable en usos turísticos los cuales han permitido recorrer paisajes naturales de forma maravillosa; por ejemplo, el cable o *bondinho* del *Pão de Açúcar* en Río de Janeiro-Brasil. En la tercera línea, en cuanto al número de proyectos existentes se citan los sistemas de cable para el movimiento de materiales, de mercancías y productos de manufactura.

Un ejemplo clásico de esta aplicación fue el tricable *Dúrcal-Motril* en Granada-España el cual transporto durante 25 años: harina, caña de azúcar, cemento y nitrato de Chile. Otra de las finalidades atendidas por los STCA en el mundo son los enlaces de tipo rural y urbano con pequeños recorridos. Pero en los nuevos proyectos, los

funiculares y los teleféricos ganan cada vez más usuarios. Finalmente se tienen los sistemas de cable en actividades recreativas, centros de convenciones, ferias, estadios deportivos y parques de atracción; en los cuales se han desarrollado modelos innovadores que se adecuan a las características físicas y necesidades específicas.

En general, las características técnicas de los STCA son similares, así como las componentes básicas de los sistemas. Esto ha permitido avances en los detalles de los proyectos y en su construcción, con el objetivo de bajar los costos de producción. Aunque los STCA son considerados como un medio con buena seguridad, debido al creciente uso de este para transporte de personas, actualmente se avanza en estudios específicos a fin de aumentar su confiabilidad y de esta forma minimizar cualquier tipo de modo de falla o riesgo que podría tener efectos letales en los usuarios.

Diferentes campos de la ingeniería ya han efectuado avances considerables de forma general en las distintas alternativas de los STCA, entre ellos se tienen: las estructuras, los materiales, la resistencia, el impacto ambiental, la seguridad y el riesgo, los modelos matemáticos, los métodos de evaluación para su desempeño, la confiabilidad, el mantenimiento, la logística, los proyectos mecánicos, los procesos de manufactura, la calidad, entre otras. En cada uno de estos campos se vislumbra la realización de aportes que, de una u otra forma permitirán que los STCA sean una muy buena alternativa al servicio del hombre.

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio para la viabilidad técnica, que permita contribuir en los diversos proyectos de STCA en el Departamento de Antioquia en Colombia.

- I **Justificación.** En el Departamento de Antioquia en Colombia se tiene interés por parte del gobierno de Antioquia de instalar alrededor de 44 STCA, como se puede observar en la Tabla 1. Las características geográficas propias del territorio y las poblaciones a los alrededores de las montañas posibilitan su prefactibilidad, de esta forma se requiere contribuir con un estudio que contribuya a la viabilidad técnica que posibilite la instalación de los STCA, y así de manera sistemática pueda ser implementado en cada uno de los proyectos, en cada una de las regiones del territorio antioqueño.

Tabla 1. Posibles STCA en Antioquia-Colombia. Proyectos que algunos se encuentran en estudio o en ejecución u operación*

Ítem	Nombre del municipio del Departamento de Antioquia	Nombre del proyecto
1	Abejorral	Alto El Higuerón, El Higuerón, Escuela El Carmelo
2	Abriaquí	Casco Urbano, El Cedral
3	Amalfi	Porce III
4	Angelópolis	El Barro, El Nudillo, El Alto de la Virgen
5	Angostura	Santa Teresa Abajo, El Socorro
6	Anorí	Las Nieves, El Cedro (Yarumal)
7	Argelia	El Zancudo, San Luis, La Plata (El Brillante)
8	Argelia	La Plata, El Pajui
9	Betania	Vía de Acceso, El Contento
10	Briceño	El Valle, Alto El Chirí
11	Buriticá	Llanogrande, Sincierco
12	Campamento	Casco Urbano, Manzanillo
13	Caracolí	Cavernas del Nus
14	Caramanta	Alegrías, La Unión, El Balso
15	Cocorná	Chagualá, Alto Palmira, Ciprés
16	El Peñol	Los Embalses: Casco Urbano, Piedra El Marial
17	Entrerriós	Entrerriós
18	Frontino	Casco Urbano, El Cejen
19	Giraldo	Giraldo
20	Gómez Plata	La Primavera, Quebradoncita, Escuela Quebradota
21	Guadalupe	El Salto
22	Guatapé	Los Embalses: Casco Urbano, Piedra de Guatapé
23	Ituango	El Bajo Inglés, El Cidral
24	Jardín	Casco Urbano, Cerro de la Cruz
25	Jericó	El Salvador, Cerro Las Nubes
26	Liborina	La Palma, La Ceja, Los Peñoles
27	Medellín	Metro Cable
28	Montebello	El Encenillo, El Tablazo
29	Nariño	Guamito, El Condor, San Andrés, El Limón, Las Mangas, Rio Arriba
30	Peque	Llamadas
31	Pueblorrico	El Gogota
32	Sabanalarga	El Junco, El Madero, El Placer

33	San Andrés De Cuerquia	Los Naranjos, El Peñol, La Cordillera
34	San Andrés De Cuerquia	La Cordillera, La Zorra, Corregimiento Ocholí
35	San Jerónimo	La Peña, La Quiebra, Alto Colorado
36	San Luis	El Coliseo
37	San Vicente	Los Embalses: Piedra El Marial, Piedra Peñolcito
38	Santa Fe de Antioquia	Las Azules, El Carmen, San Antonio, Milagrosa, Coloradas
39	Sopetrán	Santa Rita, Guatocó
40	Támesis	Támesis
41	Toledo	Toledo
42	Valdivia	Chorrillos, El Aguacate, Buenos Aires
43	Venecia	Venecia
44	Yarumal	El Llano, La Loma

* Información obtenida de los informes de gestión y actas de reuniones de la Secretaría de Infraestructura Física del Departamento de Antioquia-Colombia.

Los estudios de viabilidad reportan que este tipo de proyectos son considerados en Antioquia como de gran cuantía de dinero y deben enmarcar estudios que contemplen aspectos técnicos, ambientales, económicos, financieros, culturales y sociales entre otros aspectos; algunas empresas extranjeras realizan este tipo de estudios, pero estos estudios de viabilidad son muy básicos, con poco fundamento y conocimiento técnico. Basándose básicamente en estudios de observación y movilidad de las personas y lo cual no permite servir de referencia para el gran número de proyectos de STCA que quieren ser instalados en los municipios del Departamento de Antioquia; Además, de que cada región requiere de especificaciones particulares; se procura de un estudio que facilite y haga viable el mayor número de los proyectos a ser desarrollados, centrando la atención en los aspectos técnicos y de manera profunda, bien fundamentada y estructurada.

Diferentes proyectos de ley, planeamientos territoriales y decretos gubernamentales ya aprobados o en proceso de aprobación, tienen interés de hacer de este tipo de sistemas una realidad en el territorio de Antioquia, de esta forma se justifica realizar estudios e investigaciones en esta temática, en beneficio de las comunidades citadas; en un proceso de mejorar su calidad de vida.



1. SISTEMAS DE TRANSPORTE POR CABLE AÉREO EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA Y EN COLOMBIA

Ni para Colombia, ni para Antioquia los STCA son sistemas de transporte desconocidos, pues anteriormente existieron este tipo de sistemas de transporte por cable (muchas veces se definirán solo de esta forma, sin incluir la palabra aéreo) en funcionamiento y demostraron ser una solución a los problemas de comunicación y movilidad entre las regiones montañosas de Colombia, debido a que la red nacional de vías terrestres era una utopía.

En la Figura 1 se muestran dos ejemplos de sistemas actuales de STCA del Departamento de Antioquia. Estos sistemas representan una alternativa viable de construcción frente a las costosas y lentas obras de vías terrestres y ferroviarias. También demostraron ser proyectos operativos, rentables y beneficiosos para las regiones colombianas generando desarrollo agrícola y comercial, en donde los STCA eran bien implementados, operados y administrados.



Figura 1. Ejemplos de dos STCA, que operan actualmente en el Departamento de Antioquia: izquierda cable en Medellín. Fuente: <https://getvico.com/blog/es/metrocable-medellin-transportes-guia/> ; derecha cable en Guadalupe. Fuente: <https://mapio.net/pic/p-12863515/>

Como otro ejemplo se cita la ciudad de Manizales-Colombia donde cuatro trayectos de sistemas de transporte por cable estuvieron en funcionamiento: El primero, entre las ciudades de Manizales y Mariquita (ambas en Colombia) con una extensión de 71,8 km el cual inicio sus operaciones en el año 1915 y prestó sus

servicios durante 53 años; el segundo trayecto fue entre las ciudades de Manizales y Aránzazu, con una extensión de 22,8 km, inicio sus operaciones en el año 1928 y prestó servicios por 14 años; un tercer proyecto de sistemas de transporte por cable fue entre la ciudad de Manizales a la región del Pacífico (Colombia), el cual tuvo un recorrido de 9,7 km, funcionó por siete años entre los años de 1928 a 1935; el cuarto proyecto fue entre las ciudades de Manizales y Villamaría con una extensión de 2 km, inicio sus operaciones en el año 1927 y prestó servicios por tres años.

Las tendencias demográficas mundiales manifiestan una fuerte concentración de población en los centros urbanos. A nivel mundial, cerca del 50% de la población reside actualmente en las ciudades. En América latina, este porcentaje asciende al 76%, en Colombia es del orden del 75%. Dicha tendencia es el resultado de procesos migratorios, que resultan de cambios en las economías, de la concentración de las inversiones públicas, y de numerosos aspectos políticos, sociales y culturales.

Dentro del marco legal, el transporte público urbano está definido como un servicio público planeado, regulado y controlado por el Estado. Este servicio está principalmente en manos de operadores privados dentro de una economía de mercado, y la infraestructura necesaria para su operación es suministrada por el Estado. En el mundo, predomina el uso del transporte público urbano de pasajeros (entre el 65% y el 85% de los viajes son motorizados), a pesar de todo lo anterior no han sido suficientes los cambios realizados en los medios y en los sistemas de transporte, ya que existe una fuerte tendencia al deterioro de la calidad del servicio de transporte prestado en las últimas décadas.

El crecimiento de las ciudades y la expansión del área urbana han generado crecientes desafíos al sistema de transporte, al punto que las soluciones se adapten a las ciudades y su dinámica. Y que, además, puedan acondicionar su competitividad futura en un sistema económico creciente y globalizado.

El transporte de pasajeros según el decreto colombiano 1072 del año 2004, es aquel que se presta sobre la responsabilidad de una empresa pública o privada de transporte, legalmente constituida y debidamente habilitada en esta modalidad; define el mismo decreto que el sistema de transporte por cable aéreo es un sistema compuesto por cables aéreos, en los cuales los vehículos están siendo soportados por uno o más cables, dependiendo del tipo de mecanismo a emplearse. Los vehículos son propulsados por un cable tractor o simultáneamente por un sistema de cable sustentador y de cable tractor.

La autoridad competente en Colombia para todos los efectos que tengan relación con el servicio público de transporte por cable aéreo es el Ministerio de Transporte, quien establece las normas y las especificaciones técnicas requeridas para este servicio. El control y la vigilancia de la prestación del servicio de los STCA están sobre la responsabilidad de la Superintendencia de Puertos y Transporte, a través de la Superintendencia Delegada de Tránsito y Transporte.

El Gobierno Nacional de Colombia tiene propuestas estrategias orientadas a la articulación entre el transporte público colectivo, el transporte urbano masivo y los medios alternativos de transporte, en tal sentido se pueden mencionar los siguientes:

- Iniciar la implementación de programas de asistencia técnica, que cuenta con los siguientes componentes: la implementación de los sistemas integrados de transporte masivo, como macroproyectos urbanos; el desarrollo de operaciones urbanas asociadas a los sistemas integrados de transporte masivo, y la articulación de diversos modos de transporte urbano.
- Continuar los procesos de acompañamiento de las ciudades con menos de 600000 habitantes, con el objetivo de ajustar el plan vial y la conformación de sus planes integrales de movilidad que incluyen la generación de infraestructura para los medios alternativos de transporte como aspectos definidos en el control de emisiones.

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo (ley 812 del año 2003), se destaca que el gobierno promoverá la construcción de STCA, consecuentemente en el mismo plan se establece que, para favorecer la competitividad y desarrollo se trabajará primero en la escala regional y en la identificación y desarrollo de *clúster* en ecoturismo, negocios, congresos y convenciones, entre otros.

Entre los años de 1997 y 1998, el consorcio API asesor de proyectos de infraestructura, presenta un estudio titulado "Proyecto de prefactibilidad para un cable aéreo entre las ciudades de Manizales y Villamaría", que contempla dos estaciones centrales y once estaciones de embarque y desembarque. El proyecto de cable es una clara opción para permitir a la ciudad una alternativa complementaria para su desarrollo urbano. La idea es generar un sistema de transporte urbano basado en un sistema de líneas de cable aéreo, el cual surge de la necesidad de salvar la difícil topografía de nuestras regiones.

En el año 1998, fue entregado un estudio, promovido por la Fundación Europa América, y realizado por la firma *Guillen Associats S.L.* de Barcelona, denominado "Estudio de viabilidad técnica de la implementación del transporte público mediante cable-vía", en el cual se resaltó que, debido a las dificultades de la región para conseguir una gestión coherente de transporte público terrestre convencional, surge la opción de proyectar un transporte público mediante STCA.

Las conclusiones iniciales del citado estudio fueron que la topografía es totalmente adecuada para la realización de un sistema de transporte con las características que se proponen; que existe una conciencia histórica y un conocimiento social de la tecnología del cable aéreo y que la implementación de un sistema de transporte público integrado por cable en la ciudad de Manizales, la convertiría en una ciudad pionera a nivel mundial, con la implementación de este tipo de sistemas de transporte.

Un estudio del caso de la ciudad de Manizales fue realizado, por la firma Metro de Medellín-Colombia, el cual entrega un diagnóstico general de la viabilidad preliminar para la construcción de un STCA en la ciudad de Manizales, en el estudio se destacaron cuatro posibles trayectos, toda la propuesta está sustentado según el estudio de movilidad adelantado en la ciudad de Manizales, por la Universidad Nacional de Colombia.

Se puede concluir por las anotaciones anteriores, del ejemplo del STCA para la ciudad de Manizales, que no es la primera vez que en Colombia se aborda un proyecto con STCA, el cual no solo se convierte en una alternativa de transporte, como también en una gran oportunidad de promoción turística. Además, de que este tipo de proyectos resulta pertinente y está acorde con la visión del plan de ordenamiento territorial nacional, que contiene expresamente el desarrollo de un sistema integrado de transporte.

Los diferentes proyectos de STCA que se planean construir en el Departamento de Antioquia-Colombia buscan aprovechar adecuadamente las ventajas comparativas existentes en territorio, convirtiéndolas en ventajas competitivas, facilitando el florecimiento de las diversas actividades económicas y productivas que se están desarrollando en el territorio antioqueño.

La actual situación del transporte y movilidad en determinadas regiones del Departamento de Antioquia-Colombia indica, que la difícil topografía ha generado muchas limitaciones en la construcción de vías y avenidas capaces de permitir la movilización y el transporte de ciertas poblaciones, que demanda un adecuado sistema de transporte masivo y que se convierta en un elemento integrador entre el urbano y los proyectos en desarrollo.

El sistema de transporte existente y convencional en el Departamento de Antioquia, como en las demás regiones de Colombia, ha tenido tradicionalmente su foco en las vías terrestres. Estudios existentes sobre esta problemática indican que la fuerte densidad de circulación genera congestión, a pesar de la baja tasa de parque automotor y de la significativa utilización del transporte público local, y que se presagian grandes dificultades en los próximos años, considerando también que el crecimiento de la red vial básica terrestre es baja, con relación al crecimiento del parque automotor.

En términos generales, la geografía en las distintas regiones del Departamento de Antioquia es de difícil topografía y cuenta frecuentemente con vías sobre las laderas, lo que dificulta la movilidad rural y urbana, haciéndolas además riesgosas y difíciles de mantener. Las condiciones naturales, especialmente de los suelos y topografía del territorio antioqueño, tiene condicionado un adecuado desarrollo vial terrestre de las regiones; de esta forma el STCA es considerada actualmente

una alternativa complementaria en la solución a las dificultades actuales y futuras del sistema de transporte, para el Departamento de Antioquia-Colombia. Pero hay urgencia de realizar estudios profundos, mejor estructurados y fundamentados que permitan hacer realidad los más de 44 proyectos de STCA, que se vislumbran en el territorio antioqueño, de los cuales gran porcentaje de ellos ya están en una mejor etapa de identificación, pero solo eso identificados.



2. TRANSPORTE POR CABLE AÉREO

2.1 Breve reseña histórica del transporte por cable aéreo

La fecha más antigua sobre la existencia de un sistema de transporte por cable aéreo data del siglo XIV usado por un emperador japonés el sistema “Yen”; pero existen referencias más claras en el siglo XV donde los sistemas de transporte por cable son empleados para el transporte de piezas de artillería, ya en el siglo XVI se tienen reportes de sistemas de transporte por cable empleando fibras vegetales en las ciudades de *Gdansk* y Moscú (Revista de tiempos modernos, 2006). En la Figura 2 se muestra una obra (denominada *Mezzi di trasporto*) del inventor italiano *Fausto Veranzio* (1551-1617) presentada en Venecia en el año 1616, en esta se ilustra por primera vez un teleférico bicable, aplicado para el transporte de personas.



Figura 2. Obra de *Fausto Veranzio*. Fuente: <https://www.anitif.org/storia-delle-funivie/>

Se tienen reportes de cables aéreos fabricados con filamentos de metal en las minas alemanas para el transporte de materiales en el año 1830; en el año 1862 en *Lyon*-Francia aparecen algunos funiculares para el transporte de personas. Según fuentes históricas el primer sistema de transporte por cable aéreo que empleó criterios de seguridad fue presentando al público e inició operaciones en el año 1893 en *Knoxville*-EE.UU para poder cruzar el río *Tennessee*. Se pueden citar algunas

importantes construcciones de teleféricos así: en el año 1896 en Ginebra, en el año 1898 en *Turin* y *Viena*, en el año 1909 en Italia, en el año 1912 en *Osaka*-Japón y en el año 1918 en Suiza.

En la primera guerra mundial las armadas italianas, austríacas, suizas y alemanas construyeron alrededor de 2700 STCA, para el transporte de materiales y personas. Y entre las dos guerras mundiales nace una gama considerable de medios de elevación y transporte para prácticas deportivas; las telesillas principalmente en Suiza, las cuales fueron difundidas por todo el mundo debido a su bajo costo y rapidez en la construcción.

2.2 Avances tecnológicos

El desarrollo tecnológico en estos sistemas puede considerarse extraordinario, de esta forma se pueden citar algunos ejemplos: el teleférico *Courchevel*-Francia, con capacidad de transportar 160 personas por cabina, instalado en el famoso dominio esquiable "*Les Trois Vallées*". La cabina que cruza el río *Misisipi*-EE.UU con capacidad de 8000 personas/h.

En el año 1930 aparecen los primeros STCA con pinzas fijas; en el año 1934 son proyectados los primeros telesquís con perchas; en el año 1942 se emplearon los primeros cables simples en lugar de los cables dobles, en una instalación del Valle de *Ródano*-Francia. En el período entre los años 1950-1960 en Europa y los EE.UU los avances tecnológicos se centran en los desarrollos de telesillas, este tipo de sistemas de monocable, de movimiento unidireccional continúa y conexión permanente de los vehículos al cable, facilitó el ascenso de muchos esquiadores a cimas y sierras.

A partir del año 1966 surgen importantes avances en los diferentes STCA como los teleféricos con grandes o pequeñas cabinas, los sistemas con movimiento unidireccional continuo o movimiento vaivén, los monocables, los sistemas con acoplamiento o desacoplamiento de las cabinas, las cabinas con pinzas fijas. Se generó en esta época una gran difusión de los sistemas por cable aéreo en muchos de los países del mundo, todo ello debido a la seguridad que presentaba su funcionamiento y a la flexibilidad de estos medios de transporte, para ser instalados en ciertas topologías geográficas, hoy día existen millares y súper modernas instalaciones que han generado beneficios técnicos, económicos y sociales, apoyados en los avances industriales de los STCA, con proyectos innovadores, eficiente servicio y que cumplen las normas internacionales que rigen estos sistemas de elevación y transporte.

2.3 Conceptos generales y clasificación

El sistema de transporte por cable aéreo, también conocido solo como sistema de transporte por cable o transporte por cable aéreo, es un medio de transporte independiente, que difiere de los sistemas convencionales, es un sistema proyectado principalmente para ciertas condiciones geográficas, pero que se han ampliado sus aplicaciones y adecuado a las necesidades específicas de cada región; su tecnología se encuentra en rápida y constante renovación e innovación. Es oportuno abordar los aspectos y conceptos generales de este tipo de sistema, para de esta forma clasificar sus aplicaciones según sus principios y especificaciones.

El termino teleférico es ampliamente usado para todo tipo de STCA, pero también debe destacarse el funicular como un sistema de cable el cual no será abordado en el presente estudio.

2.3.1 Telesquí

Son sistemas constituidos por un cable sin-fin que se mueve continuamente y del cual son proyectados barras con travesaños que permite a los esquiadores o turistas subir a las pistas de lanzamiento o a los complejos turísticos, se destacan los telesquí con manijas para una persona y las perchas en T para dos personas; los usuarios son deslizados por el sistema con sus esquís sobre el piso, mientras que el cable los transporta y al llegar a la cima el usuario abandona su telesquí, el sistema de forma telescópica retorna al punto de partida. Existe una serie de modelos con diferentes sistemas y características para facilitar la enseñanza y su utilización por parte de los principiantes, con velocidades de marcha entre 2-2,5 m/s y que atienden capacidades de transporte de hasta 1500 personas/h



Figura 3. Telesquí en una estación de esquí en Italia. Fuente: https://es.123rf.com/photo_2150650_telesqu%C3%AD-de-una-estaci%C3%B3n-de-esqu%C3%AD-italiano-cervinia-.html

2.3.2 Telesillas

En este tipo de sistema un cable portante tractor sin-fin se mueve de manera continua, alimentado por una rueda motriz el cual es accionada por un subsistema de motoreductor, al cable tractor van sujetas las sillas también denominadas aerosillas, el número de sillas es variable según la capacidad deseada y el trayecto a seguir. Permite transportar todo tipo de público con velocidades promedio de 3 m/s para fines deportivos, recreativos o turísticos, los últimos proyectos de este tipo presentan interesantes modelos de telesillas biplazas, triplazas, cuatriplazas y hasta para ocho personas, existen sistemas con las sillas fijas al cable e innovadores proyectos con sillas que pueden ser desacopladas en las estaciones, para facilitar el ascenso y el descenso a los usuarios. Según la magnitud del sistema se alcanzan capacidades de transporte de hasta 3500 personas/h.



Figura 4. Telesilla en las montañas de Sierra Nevada en España. Fuente: <https://www.alamy.es/pistas-de-esqui-y-telesillas-de-pradollano-ski-resort-en-las-montanas-de-sierra-nevada-en-espana-image6929406.html>

2.3.3 Telecabina

Este es un sistema de transporte por cable en mayor escala que los telesquíes y las telesillas, con principios técnicos similares empleando generalmente monocable, este actúa como portante y tractor. Las cabinas de movimiento circular continuo se fijan o desembragan al cable; este tipo de teleférico también es conocido como "góndola", permite transportar en cada cabina entre 4-15 personas, el medio opera simultáneamente con varias cabinas dependiendo de las características del sistema, se alcanzan velocidades de hasta 6 m/s y con capacidades de 4000 personas/h. Este tipo de sistema es empleado principalmente como medio de enlace entre los centros de esquí y turismo, pero recientemente se ha aumentado su aplicación como medio de transporte urbano, característica relevante en este estudio.



Figura 5. Telecabina del centro de esquí *Chapelco* de San Martín de los Andes, en Argentina.
Fuente: <https://www.patagonia-argentina.com/viajes/excursion.php/Cerro-Chapelco/115/>

2.3.4 Teleférico

Es el medio de elevación con mayor capacidad individual en las cabinas de 20-200 personas, además de ser empleado en las instalaciones que requieren mayor distancia. Consiste en una o dos cabinas que circula mediante los cables, un mecanismo para translación y otro para sustentación, complementada por las correspondientes estaciones de envío y reenvío, y las estructuras de sustentación.

Alcanzan velocidades de hasta 12 m/s y con capacidad de 1000-2000 personas/h. En su clasificación se destacan tres tipos así: el teleférico tipo vaivén los cuales son generalmente bicables también conocidos como teleféricos pesados, en el cual dos cabinas parten simultáneamente de las estaciones, cruzándose estas en la mitad del trayecto, son denominadas vaivén porque sobre la misma línea del cable la cabina sube o baja alternativamente con la otra cabina. En el segundo tipo se tienen los teleféricos grupales los cuales poseen un movimiento circular unidireccional pulsado, los sistemas tienen grupos de 3-6 cabinas con capacidad para 4-6 personas. Por último, se tienen los teleféricos con 2 o 3 cables los cuales son una buena combinación de las telecabinas y los teleféricos, buscando alcanzar mayores velocidades de desplazamiento con un aumento en la capacidad de usuarios que atiende, son sistemas altamente estables frente a grandes vientos e instalados para el recorrido de grandes distancias.

Hoy en día otros tipos de STCA, se han construido, pero todos estos nuevos tipos de sistemas de transporte por cable tienen los conceptos básicos de los teleféricos y las telecabinas, buscando combinar las ventajas de cada uno de estos sistemas de transporte, y de esta forma atender los requerimientos de las diversas necesidades. En la Tabla 2 se resumen la clasificación abordada en este estudio, con características generales de los sistemas estudiados.



Figura 6. Teleférico Zugspitze, en Alemania. Fuente: <https://www.nevasport.com/noticias/art/50230/El-nuevo-teleferico-al-Zugspitze-que-rompe-tres-records-del-mundo/>

Tabla 2. Clasificación y características generales de los STCA

Tipo de sistema	Capacidad de transporte (personas/h)	Velocidad (m/s)	Tipo de cable
Telesquí	1000-1500	2-2,5	Monocable
Telesilla	3000-3500	2-3	Monocable
Telecabina	4000-5000	5-6	Monocable
Teleférico	1000-6000	7-12	Bicable

2.4 Conceptos generales, fabricantes e inventores

A lo largo de la historia se han constituido importantes empresas en el sector de los sistemas de transporte por cable, y que estas a la vez, han contribuido en los avances tecnológicos de las distintas alternativas que se han extendido en el mundo, no se pretende enumerar todas estas empresas, ni su orden de importancia, solo mencionar algunas de interés histórico y otras de reconocida trayectoria internacional y algunos de sus aportes.

2.4.1 Caretti y Tanfani-Italia

En la época del año 1890 la compañía *Caretti y Tanfani* proyecto los primeros estudios para el transporte de cable aéreo para personas, construyendo la instalación de Milán en el año 1894. En el año 1912 construye en Italia el primer teleférico con torres intermedias, cabinas y algunos dispositivos de seguridad.



Figura 7. Sistema de transporte por cable aéreo construido por la compañía *Caretti* y *Tanfani*-Italia. Fuente: https://aerosilla.tripod.com/medios_de_elevacion.htm

2.4.2 Von Roll-Suiza

Alrededor del año de 1913, esta empresa construye en Suiza el primer teleférico para el transporte público de personas.



Figura 8. Teleférico de Madrid, construido por la empresa *Von Roll* en el año 1967. Fuente: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/38/Teleferico-madrid-020910.jpg>

2.4.3 Pomagalski-Francia

En el año 1935 es proyectado el primer telesquí con manijas por *J. Pomagalski* y en el año 1937 proyecta tres alternativas de manijas para los sistemas de telesquí.

Estos entre otros miles de STCA han sido diseñados por la empresa *Pomagalski*: *Kuelap*-Perú, *Turu Ba Ri*-Costa Rica, Cerro San Cristóbal-Chile, *Oruro*-Bolivia, Quito-Ecuador), Medellín o Chicamocha-Colombia, Río de Janeiro o Barroso-Brasil, Chapelco-Argentina.

En las ciudades, en los complejos turísticos o, por supuesto, en las estaciones de esquí, ya son incontables los sistemas de transporte por cable instalados en el continente sur americano. Toda una historia que debe mucho a la empresa *Pomagalski*, también conocida como *Poma*, cuyas hazañas comenzaron gracias al genio y a la voluntad de fundador *Jean Pomagalski*. En el año 2025, Poma está celebrando sus 88 años de creación.

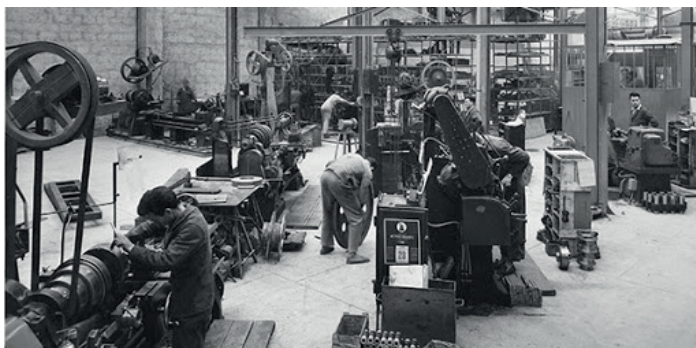


Figura 9. Instalaciones de fabricación y montaje de la empresa *Pomagalski*. Fuente: <https://www.poma.net/es/>

2.4.4 Doppelmayr-Austria

Doppelmayr es una empresa de teleféricos que opera a nivel mundial hace ya varias décadas. Este grupo empresarial exporta sus productos a más de 45 países y ha conseguido crear una considerable red internacional de filiales y empresas comunes en unos 25 países. Para el conocimiento, el grupo *Doppelmayr* se encuentra representado entre otros en los Estados Unidos de América, Canadá, Australia, Nueva Zelanda, Turquía, Rusia, Chile, Japón, Corea y China.

La empresa-madre de *Doppelmayr*, tiene sede en *Wolfurth*, en Austria, opera a nivel mundial y participa en Europa con una cuota del mercado de los STCA de cerca del 20%. La principal competencia de la empresa *Doppelmayr* en Europa son la empresa suiza *Garaventa AG*, la empresa italiana *Leitner* y la empresa francesa *Pomagalski S.A.*

Conjuntamente, estas empresas citadas tienen en el mercado de STCA en Europa una cuota de casi el 90%, dominando igualmente el mercado mundial. En lo que respecta al volumen de negocios, el mercado europeo era y continúa siendo el mayor mercado regional en STCA.



Figura 10. Proyecto futurista de la empresa *Doppelmayr*.
Fuente: <https://www.doppelmayr.com/es/>

2.4.5 Grupo *Doppelmayr/Garaventa*

Este grupo desarrolla sistemas de transporte de personas de alto rendimiento para centros de turismo estival e invernal, así como modernos sistemas de transporte urbano, para aeropuertos, grandes almacenes, polideportivos, parques de atracciones, ferias y otras instalaciones con una demanda análoga de transporte. Además, el grupo también ofrece teleféricos para el transporte de carga general y de productos a granel.

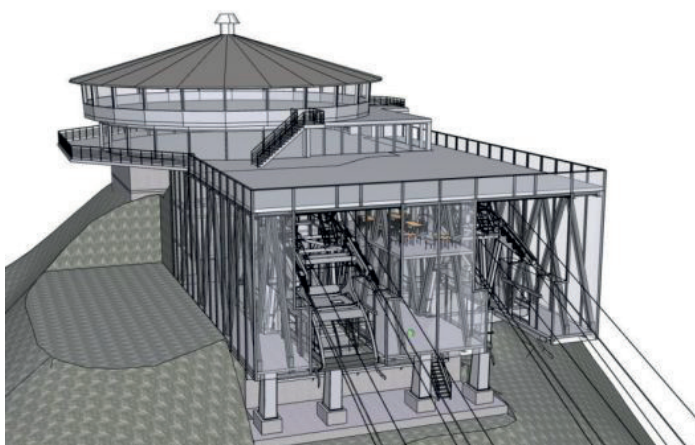


Figura 11. Diseño de una estación realizada por grupo *Doppelmayr/Garaventa*. Fuente: <https://www.doppelmayr.com/es/empresa/hitos/>

2.4.6 Empresa italiana *Leitner*

Las soluciones de tecnología avanzada y el diseño innovador de *Leitner ropeways* crean las condiciones necesarias para lograr un transporte de personas confortable y respetuoso con el medio ambiente. La empresa lleva fabricando teleféricos desde el año de 1888. Hoy, *Leitner ropeways* se ha convertido en uno de los principales fabricantes de instalaciones por cable del mundo. La marca *Leitner ropeways* es sinónimo de telecabinas y telesillas desembragables.



Figura 12. Diseño de estación realizado por la empresa *Leitner*. Fuente: <https://www.leitner.com/es/empresa/informaciones-utiles/construccion-de-un-teleferico/>

Finalmente, en lo que se refiere a la competitividad internacional de las industrias europeas relevantes, la comisión de sistemas de transporte por cable del mundo, verifico que todas las empresas del sector activas en el mercado mundial de STCA son europeas, lo que muestra su potencial y participación a nivel mundial.

2.5 Sistemas de transporte por cable aéreo en el Departamento de Antioquia

Por STCA se entiende todos aquellos medios de transporte de material o personas, cuyo mecanismo se basa en el arrastre de un cable portador asociado a una cabina para personas, o vagonetas para material, que permite enlazar rápidamente dos puntos que sería difícil de conectar por carretera o por otros medios de transporte convencionales.

Los sistemas de transporte por cable han sido mundialmente usados para el transporte de personas en las prácticas de esquí, pero también su uso se ha extendido al transporte de material en los sectores mineros, obras públicas y la industria pesada en general.

Las características topográficas de las regiones antioqueñas permiten que este tipo de soluciones de transporte sean viables en primera instancia, pero hay que profundizar en investigaciones que avalúen entre otros aspectos, los funcionales, tecnológicos, operacionales, económicos para cada situación específica.

En el tema de STCA se debe tener claridad de todos los conceptos y definiciones ingenieriles que esta gran área ocupa como: la clasificación, las velocidades de marcha, intervalos entre vehículos, solicitudes y condiciones de apoyo, cables y elementos auxiliares, características constructivas, equipo auxiliar, entre otros.

Además, el tema de STCA, abarca otras áreas de igual importancia como: ambiental, seguridad, jurídica, legal, política, cultural, educativa, administrativa, riesgos, costos, étnica, entre otras.

De esta forma la implementación de un sistema de transporte por cable aéreo, para un óptimo y completo desempeño, requiere un adecuado plan en su etapa de ingeniería de requisitos, para realizar inversiones exitosas, que superan los miles de millones de pesos colombianos en cada obra.

El desarrollo tecnológico en los STCA en el mundo durante más de un siglo y en Colombia desde la época precolombina, llegó a territorio antioqueño alrededor del año 1930, cuando una empresa de energía instaló un “malacate” en la construcción de la Central Eléctrica de Guadalupe, este sistema fue perfeccionado como un teleférico y actualmente está en funcionamiento.



Figura 13. Malacate de Guadalupe en el Departamento de Antioquia-Colombia. Fuente: <http://www.fotocolombia.com/Banco.aspx?q=gomez&p=1&o=&u=&w=1024&pid=0.1824128630105406>

En el Departamento de Antioquia existen en funcionamiento alrededor de 20 STCA con fines recreativos principalmente para la práctica de deportes extremos, turísticos, para el transporte de personas y de materiales.

Dentro de los STCA en el Departamento de Antioquia, más recientes o que se destaca, se consideran:

2.5.1 Teleférico de Guatocó

Este sistema se originó a partir de un convenio realizado en el año de 1998 entre la antigua Secretaría de Obras de la Gobernación de Antioquia y la Universidad de Antioquia para diseñar, construir, montar y poner en funcionamiento un prototipo experimental de un STCA para carga y pasajeros en el municipio de Sopetrán, entre las veredas Santa Rita y Guatocó.

El sistema beneficia a los habitantes de la vereda Guatocó que deben trasladarse a la cabecera municipal por razones de estudio y comercio, recorrido que caminando o en mula tiene una duración de una hora aproximadamente, y con la construcción del STCA se realiza en 10 minutos.

El sistema tiene una longitud de 740 m, una altura máxima sobre el nivel del piso de 125 m. La capacidad de carga es de 6 personas sentadas y 6 personas de pie o carga hasta de 800 kg. La velocidad máxima es de 1,2 m/s.



Figura 14. Teleférico de Guatocó, ubicado en el municipio de Sopetrán-Antioquia. Fuente: <https://jacguatoco.blogspot.com/2018/11/guatocable-el-teleférico-de-la-vereda.html>

2.5.2 Teleférico de Jardín

Este proyecto se inicia con el convenio celebrado entre la Gobernación de Antioquia (GA) y La Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA) en el año 2006, donde se establece como objeto realizar una investigación que permita la adaptación tecnológica de un sistema de transporte por cable a las condiciones específicas, tanto

topográficas como económicas y funcionales de los municipios del Departamento de Antioquia, con base en la evaluación de alternativas existentes en el mundo y gestionar la construcción en el municipio de Jardín.

Este prototipo se convierte en una nueva atracción turística local, la cual es también una solución al transporte, auto sostenible y de menor costo que las vías.

Es un sistema tipo vaivén de una sola cabina, tiene una longitud de 408 m, una altura máxima sobre el nivel del piso de 109 m. La capacidad de carga es de 10 personas o carga hasta 800 kg. La velocidad máxima es de 3 m/s.



Figura 15. Teleférico del municipio de Jardín, en el Departamento de Antioquia.

Fuente: https://www.tripadvisor.co/LocationPhotoDirectLink-g2035190-d8837524-i166846701-Teleferico-Jardin_Antioquia_Department.html

2.5.3 Teleférico de Jericó

Con las mismas características del convenio celebrado entre la GA y la EIA en el año 2006, para el teleférico de Jardín.

Este es un sistema con fines turísticos y que ha permitido atraer a turistas locales, nacionales y extranjeros para disfrutar de las riquezas geográficas de la región.

Es un sistema tipo vaivén de dos cabinas, tiene una longitud de 709 m, una altura máxima sobre el nivel del piso de 210 m. La capacidad de carga es de 10 personas por cabina o carga hasta 800 kg. La velocidad máxima es de 3 m/s.



Figura 16. Teleférico del municipio de Jericó en el Departamento de Antioquia. Fuente: <https://elturismoencolombia.com/a-donde-ir/jerico-turismo-colombia/teleferico-jerico-antioquia-colombia/>

Hay que destacar además seis líneas de servicio comercial de STCA: J, K, H, L, M y P, que suman una extensión total de 14,62 kilómetros; que se encuentran en el municipio de Medellín (capital del Departamento de Antioquia), conocidos como metrocables, los cuales se integran al sistema de transporte masivo del Metro de Medellín; a continuación, se destacan dos líneas de este sistema de los denominados metrocables.

2.5.4 Metrocable en la zona nororiental

El proyecto fue ejecutado con recursos del municipio de Medellín (55%) y de la empresa Metro-Medellín (45%), en el año 2004, sobre la premisa de aportar desarrollo social a los habitantes de una de las regiones más deprimidas de la ciudad de Medellín.

Es un sistema tipo góndola monocable desenganchable, puede operarse hasta con 93 cabinas, con capacidad para 10 usuarios por cabina, tiene una longitud de 2072 m, una altura máxima sobre el nivel del piso de 399 m. La velocidad máxima es de 5 m/s.



Figura 17. Metrocable en la zona nororiental, instalado en la ciudad de Medellín, capital del Departamento de Antioquia. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Metrocable_de_Medell%C3%ADn

2.5.5 Metrocable de la zona occidental

Construido por la alianza entre el municipio de Medellín y la empresa Metro-Medellín en el año 2008. Es un sistema de transporte desarrollado acorde con las condiciones topográficas de la zona centro y noroccidental de la ciudad de Medellín.

Es un sistema tipo góndola monocable desenganchable, puede operarse hasta con 119 cabinas, con capacidad para 10 usuarios por cabina, tiene una longitud de 2700 m, la velocidad máxima es de 5 m/s.

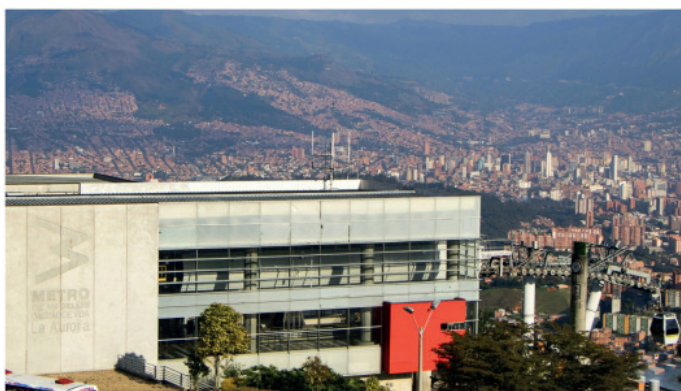


Figura 18. Estación del Metrocable de la zona occidental, ubicada en el municipio de Medellín-Colombia. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Metrocable_de_Medell%C3%ADn

Entre la información más relevante de las demás líneas de servicio del metrocable se tiene: Santo Domingo Savio - Arví, construida en el año 2010, con 55 cabinas y una longitud de 4600 m; Oriente - Villa Sierra, construida en el año 2016, con 44 cabinas y una longitud de 1400 m; Miraflores - Trece de Noviembre, construida en el año 2019, con 51 cabinas y una longitud de 1050 m, y Acevedo - El Progreso, construida en el año 2021, con 138 cabinas y 2700 m.

Tabla 3. Consolidado de datos relevantes de algunos importantes STCA del Departamento de Antioquia

Nombre del proyecto o ubicación	Longitud del trayecto (m)	Altura máxima sobre el nivel del piso (m)	Capacidad de carga	Carga (kg) y otros datos de carga	Velocidad (m/s)	Otros datos
Teleférico de Guatocó	740	125	6 personas sentadas y 6 personas de pie	800	1,2	Tiempo de recorrido 10 minutos
Teleférico de Jardín	408	109	10 personas por cabina	800	3	Sistema tipo vaivén de una sola cabina
Teleférico de Jericó	709	210	10 personas por cabina	800	3	Tipo vaivén de dos cabinas
Metrocable en la zona nororiental	2072	399	10 usuarios por cabina	Puede operarse hasta con 93 cabinas	5	Tipo góndola monocable desenganchable
Metrocable de la zona occidental	2700	-	10 usuarios por cabina	Puede operarse hasta con 119 cabinas	5	Tipo góndola monocable desenganchable

Hay que resaltar que los STCA que actualmente se proyectan en los municipios de Antioquia operaran con una o dos cabinas, soportados en los estudios de mercadeo y demanda previamente realizados.

2.6 Necesidades de sistemas de transporte por cable aéreo, para algunos municipios del Departamento de Antioquia

Los STCA para algunos municipios del Departamento de Antioquia (DA), son un gran proyecto de expansión que adelanta la GA, a través de la Secretaría de Infraestructura Física (SIF), para desarrollar sistemas de transporte, acorde con las condiciones topográficas de estos municipios antioqueños.

Es objeto de estos proyectos entregar a los municipios alternativas de solución a los problemas de transporte público de forma adecuada y ágil, que promuevan nuevos espacios de convivencia y dinamicen la economía de los sectores.

Entre los STCA que están siendo implementados por parte de la GA se encuentran los municipios de San Andrés de Cuerquia, Yarumal, Támesis y Nariño, y ya se han identificado otros municipios con potencial para desarrollar sistemas similares.

Los sistemas de transporte propuestos en estos municipios deben generar un gran aporte de economía en tiempo y en dinero entre los usuarios, facilitar la movilidad de los habitantes, de animales y diferentes cargas producidas por cada región.

Los sistemas de transporte también deben permitir integrar diferentes proyectos como parques y viviendas de interés social. Las estaciones que sean proyectadas en los nuevos sistemas de transporte deben formar parte integral del espacio público, respetando el entorno y creando espacios de recreación.

Los proyectos de STCA están direccionados al mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones de menores recursos, otorgando atributos como agilidad, economía, seguridad y confort. Y expandiendo el respecto a la convivencia y a la calidad de vida, que es fundamental para todos los ciudadanos del DA.

2.6.1 Antecedentes

La problemática de la movilidad en todo el DA está intentando ser solucionada mediante la implementación de sistemas de transporte masivo y semi-masivo, a través de medidas en la operación del transporte público colectivo, mediante medidas de restricción a el transporte privado, por medio del mejoramiento de redes para los peatones y mediante medidas de reorganización y construcción de nuevas calles, avenidas y carreteras.

Sin embargo, la SIF de la GA ha identificado las deficiencias existentes en algunos municipios antioqueños en materia de desarrollo de vías de transporte, debido a la difícil topografía y compleja accesibilidad que existen en algunas regiones antioqueñas.

En los últimos años algunas regiones antioqueñas han experimentado un crecimiento acelerado de sus poblaciones, como también de los productos derivados de su economía. Por otro lado, otros municipios atraen considerable número de turistas, es por esto por lo que se requiere mejorar todos los actores y centrarse en mejorar la movilidad en estos municipios.

Todo esto ha obligado a la construcción de planes maestros, en la que participan diferentes entidades gubernamentales y la reestructuración de cada municipio, con miras a satisfacer las necesidades en la oferta de tierras urbanizables, infraestructura básica de transporte, espacio público, posibilidades de empleo y disponibilidad de vivienda. Además, de los requerimientos de interconexión con otras regiones próximas.

Es necesario lograr una integración, no solo de los sistemas de transporte existentes y que van a existir en un futuro, como también una integración de los barrios, veredas, comunas y municipios, y de toda su población, buscando una mayor integración de los cascos rurales con los urbanos. Que todo ello permita generar nuevos espacios de recreación, turísticos y educativos.

Es indispensable que se proyecten sistemas de transporte eficientes, que visionen los crecimientos económicos y poblacionales, considerando las nuevas urbanizaciones, sectores comerciales, hospitales, parques, escuelas.

Los proyectos de STCA para algunos municipios de Antioquia, nacen desde políticas claras de la GA, que en sus planes de desarrollo han buscado expandir este tipo de sistemas y de esta forma atender y solucionar problemas actuales y futuros de movilidad, con la implementación de estos sistemas de transporte se beneficiaran muchos habitantes de regiones antioqueñas, como los visitantes.

Existe la necesidad de brindar a los ciudadanos, desarrollos con la aplicación de nuevas tecnologías y es la oportunidad de planificar correctamente desarrollos urbanísticos, comerciales, recreativos a través de STCA en estas regiones.

Estos proyectos deben permitir la interconexión de las cascadas urbanas y rurales, buscando atender principalmente las necesidades de movilización actuales y futuras de los usuarios de estas regiones, optimizando la infraestructura existente, posibilitando la integración entre los diversos sistemas de transporte, reduciendo los costos de operación, mejorando los tiempos de viaje, reduciendo los índices de accidentalidad y la contaminación ambiental.

Los logros esperados con estos proyectos deben finalmente repercutir en la calidad de vida de los ciudadanos, debido a los fenómenos de expansión y consecuente aumento de productividad y desarrollo de las regiones antioqueñas.

Los proyectos de STCA y sus inversiones tienen un gran ingrediente social y de beneficio común, ya que están dirigidos al mejoramiento de las condiciones de vida de las poblaciones de menores ingresos.

Los proyectos serán ejecutados con recursos de la GA y de los municipios beneficiados, sobre la premisa de aportar desarrollo social a los municipios del DA.

Todo lo citado anteriormente, sobre los STCA a proyectar, muestran el asunto abordado como un problema complejo donde actúan muchos y diversos agentes, de esta forma se tiene el desafío de realizar aportes claros, empleando estudios de viabilidad de los STCA en beneficio de la sociedad.

2.7 Marco teórico de los sistemas de transporte por cable aéreo

El transporte por cable aéreo tiene como ejes teóricos estructurantes, múltiples principios conceptuales como el análisis de sistemas dinámicos, la resistencia de materiales, el análisis de propiedades mecánicas de los materiales, fundaciones civiles, sistemas de control, instalaciones eléctricas y otras; es decir, en cada uno de los componentes del sistema subyacen marcos teóricos en los que se soportan los diseños de estos, dado que ellos son aplicaciones de ingeniería. Se ilustra, a modo de ejemplo, el modelo matemático de cálculo simple, para un cable con dos puntos A y B ubicados en desnivel (A. Gutiérrez O., 1995; J. Arango L. y E. Fresneda B., 1998); así, las tensiones en cable portante y el tractor serán:

T_A Reacción en el punto A, dirigida según la tangente a la curva.

T_B Reacción en el punto B, dirigida según la tangente a la curva.

α Angulo de pendiente medida con la horizontal.

θ, W Ángulos en los apoyos, de la elástica con la horizontal.

$T_x = T_0$ Componente horizontal de la tracción en un punto.

L Longitud del cable.

C, L Longitud de la cuerda = $\sqrt{a^2 + h^2}$

a Longitud del vano.

h Diferencia de altura entre torres.

f_{\max} Flecha máxima.

f_x Flecha a una distancia x del origen.

(x_1, y_1) Coordenadas cartesianas del punto más alto del tramo.

(x_2, y_2) Coordenadas cartesianas del punto más bajo del tramo.

Q Peso del carro, más carga útil, más componente vertical de la fuerza del viento (kg).

P_{portante} Peso unitario del cable portante, incluyendo efecto del viento.

P_{tractor} Peso unitario del cable tractor incluyendo efecto del viento.

Luego:

$$T_A = \frac{P.L.a + 2Q(x_1 - x)}{2a} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin(\alpha - \gamma)}; x_2 < x < x_1$$

$$T_B = \frac{P.L.a + 2Q(x - x_2)}{2a} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin(\omega - \alpha)}; x_2 < x < x_1$$

$$T_A = \frac{T_x}{\cos \gamma}$$

$$T_B = \frac{T_x}{\cos \omega}$$

Según criterio de que:

$$f_{max} = \frac{a}{15} \text{ o } f_{max} = \frac{a}{30}$$

$$T_0 = \frac{Q_a}{4f_{max}} + \frac{(P_{portante} + P_{tractor})}{8f_{max} \cos \alpha} \cdot a^2$$

De otra parte, las coordenadas para un punto (x, y) sobre el cable están dadas por:

$$x = \frac{a}{2} \pm \frac{T_0 h}{p \cdot a}; y = \frac{(p \cdot a^2 \pm 2T_0 h)^2}{8T_0 p \cdot a^2}$$

$$\text{Para } L_{AB} = (x_1 + \frac{x_1^3}{6m^2}) - (x_2 + \frac{x_2^3}{6m^2})$$

Los ángulos

$$\omega = \arctg \left[\frac{2(y_2 + h)}{x_2 + a} \right]^o$$

$$\gamma = \arctg \left[\frac{2y_2}{x_2} \right]$$

En este sentido los modelos matemáticos de cálculo o selección de los componentes que conforman este tipo de infraestructura como torres, cabinas, grupos electrógenos, transferencias, entre otros, han sido formulados durante el tiempo del desarrollo de estas aplicaciones, por lo que encuentra de alguna forma bastante ilustrado en la literatura especializada (A. Gutiérrez O., 1995; J. Arango L. y E. Fresneda B., 1998; H. Ernest., 1969; y Universidad Nacional de Colombia y Gobernación de Antioquia, 1996).

Las empresas más grandes de Europa Occidental están dedicadas hace muchos años a la fabricación y montaje de telesillas, telecabinas, teleféricos y funiculares. Son grandes consorcios con una infraestructura enorme tanto en estudio, diseño, como en fabricación y en ventas. Todas ellas tienen sucursales o empresas filiales en Europa, EE.UU, Japón y China y denotan una explícita competencia entre sí; diseñan y construyen basadas en el estricto cumplimiento de las normas del país de origen de la instalación.

De esta manera lo que determina el éxito de la instalación es la elevada seguridad que se implementa, siempre pensando en elementos auxiliares duplicados y a veces triplicados para asegurar la vida de los pasajeros. Por esta razón, las instalaciones se pueden catalogar como costosas. De la misma manera, todas compiten por soluciones modernas y de avanzada y no les interesa regresar a soluciones anteriores quizás más simples, por esa misma razón.

Las empresas constructoras, se puede decir, que presentan similares diseños entre sí; solo existen pequeñas diferencias en los detalles constructivos, igualmente se puede afirmar que cualquier novedad lanzada por una determinada empresa es rápidamente asimilada por las empresas competidoras. La tendencia en el mundo, en lo que respecta a la industria de las telesillas y teleféricos es que las grandes empresas están aliándose con las pequeñas, para finalmente quedar muy pocas empresas de este sector en el mercado.

Todas las empresas tienen el conocimiento y la experiencia acumulada durante largo tiempo, se requieren muchos años de evolución y de conocimiento para llegar a competir con estas empresas que producen elementos estandarizados y en un volumen considerable para de esta manera puedan reducir los costos. Todas las instalaciones de cables aéreos modernos para la industria de las telesillas y telecabinas hasta una capacidad de 12 personas están basadas en un diseño de monocable. Existen soluciones con sistemas fijos para velocidades relativamente bajas de hasta 2 m/s y para sistemas pulsados; y para velocidades de 6 m/s solo se puede pensar en cabinas desenganchables, por el problema que representa el embrague.

Los desarrollos de transporte por cables se reconfiguran en dos estadios a saber:

- Aquellos proyectos que se realizaron a través de compañías extranjeras y en los cuales no se desarrolla una apropiación de tecnología por parte de nacionales, y datan de los inicios del siglo XX, ellos han sido desmontados en su mayoría y otros más recientes, aplicados al sector turístico y transporte integrado de pasajeros.
- Otros proyectos que tienen su génesis en los grupos interdisciplinarios de STCA en las Universidades de los países andinos, las cuales se han orientado a los estudios e investigaciones a la prefactibilidad técnica y socioeconómica, y las construcciones e implementaciones de sus diseños o propuestas han sido realizadas por parte de agentes privados, con el apoyo estatal de las administraciones gubernamentales y estatales, caso el DA.

Es importante anotar que se tienen plataformas incipientes o de aprendizaje en varios estadios, así:

Las universidades nacionales (caso Colombia) han desarrollado una base conceptual de los STCA, mediante la realización de trabajos dirigidos de grado, que corresponden a estudios a nivel profesional con estudiantes de pregrado (J. Cervera C., 1991; D. Ceballos R., R. Henao Z., 1999; C. Berrio M., 2000; y J. Ramírez G., S. Rúa N., 1998) y otros, que les posibilita el abordaje conceptual a niveles más elaborados de los desarrollos en el diseño, los materiales y los procesos de fabricación, de gran parte de los componentes de los STCA, posibilitando brindar a los agentes privados asistencia técnica más fundamentada y acertada.

Las pequeñas empresas de los STCA han logrado el concurso de otras empresas en el desarrollo de sus aplicaciones, mediante procesos de asistencia técnica, amén de sus propios procesos de apropiación tecnológica.

Los entes territoriales como agentes impulsores de estas dinámicas, en sus perspectivas y expectativas han potenciado el desarrollo de tecnologías en esta área, la investigación aplicada, el desarrollo de componentes nacionales, y el establecimiento de empresas dedicadas a la implementación de estas infraestructuras, en los países andinos, caso Colombia.

No obstante en el DA, no se han podido consolidar procesos que permitan desarrollar apropiaciones tecnológicas en esta área en forma sistémica, de modo tal, que se pueda integrar y consolidar una plataforma de desarrollo tecnológico fuerte entre Universidad, Estado y Empresa Privada, para que la ingeniería nacional pueda participar con mayores porcentajes en los megaproyectos que se deben desarrollar en el DA, en Colombia y en los países andinos; y así realizar actuaciones más confiables en este campo.



3. TECNOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE POR CABLE AÉREO Y REFLEXIONES A NIVEL DEPARTAMENTAL Y NACIONAL

La viabilidad tecnológica de los STCA se fundamenta metodológicamente en tres planos:

- I Se hace necesaria la adquisición de los conocimientos técnicos y científicos para la comprensión y el desarrollo de la tecnología de los STCA.
- I Estos conocimientos técnicos y científicos se convalidan, si se aplican al análisis de los componentes tecnológicos existentes, a su posible manipulación y transformación, teniendo en cuenta que el análisis se enmarca trascendiendo al propio componente, para así poder integrarlos al contexto local; es decir, en nuestro ámbito social, cultural y económico.
- I El objeto de esta apropiación tecnológica en los STCA es de emular procesos de resolución de problemas para este tipo de aplicaciones en el DA, en el país y en nuestros países andinos.

No obstante, la convergencia de distintas áreas disciplinares en las que se enmarcan los STCA, por ser éste un campo de aplicación de estas se requiere ahondar en conocimientos y destrezas técnicas contextualizadas en nuestro medio, las cuales se fortalecerán mediante el trabajo interdisciplinario de los varios grupos temáticos que se circunscriben en los STCA. En este sentido se requiere una descripción, diagnóstico y evaluación de los desarrollos tecnológicos realizados por industriales nacionales y universidades; pretendiendo con ello identificar componentes tecnológicos y permitiendo generar el plan de acción para la investigación y el desarrollo de los STCA.

El plan de acción determina aquellos componentes que se deben adquirir para realizar sobre ellos ingeniería inversa de un lado; y del otro, la identificación de áreas temáticas de profundización conceptual, que posibilite la fase de diseño y fabricación de los STCA con altos niveles de calidad en nuestro medio.

La fase de ingeniería del diseño mecánico se estructura en forma convencional mediante la metodología de viabilidad del proyecto, de diseño conceptual, diseño preliminar, ingeniería de diseño, diseño de detalle y diseño constructivo, entendido que la confiabilidad del diseño y la fabricación de los componentes, dependen en

gran parte del nivel de uso de herramientas modernas, siendo necesario adquirir paquetes de *software* y equipos que lo posibiliten para las distintas fases de desarrollo del proyecto.

El diseño mecánico de los componentes se convierte en un foco de análisis importante para realizar ensayos de confiabilidad minimizando la probabilidad de falla. Se analizan los componentes en forma independiente para determinar la prioridad de desarrollo, teniendo en cuenta los más críticos desde el punto de seguridad en funcionamiento, así como también las variables relevantes en dicha criticidad, e identificando los posibles modos de falla. Con dicha identificación se busca prevenir las fallas que dependen del diseño de los componentes.

El desarrollo de esta etapa busca contestar preguntas básicas, sobre los componentes:

- ¿Cuáles son los modos de falla?
- ¿Cuáles son las consecuencias sobre el sistema, de estas fallas?
- ¿Qué tan críticos son estas consecuencias?
- ¿Cómo detectar la falla?
- ¿Cuáles son las medidas contra estas fallas, que evitan o minimizan las consecuencias?

En esta etapa se obtendrá una documentación de los posibles modos de falla de los componentes que se analizan y la selección de aquellos componentes críticos, como aquellos que tienen mayores consecuencias sobre el sistema. Una vez se identifican los componentes críticos y los modos de falla para estos, se planea la adquisición de los tiempos de falla cuando están sometido a las condiciones de servicio y se analizan las variables críticas; lo anterior incluye la planeación de algún tipo de ensayo que permita medir la variable crítica ya sea por ensayos acelerados o por simulación, garantizando que tanto las variables no aceleradas o simuladas para las condiciones ambientales y de operación sean lo más similar a las reales.

Para llevar a cabo esta fase se recurren a los servicios de laboratorios especializados, donde se puedan evaluar las variables determinadas como críticas y se realizan los ensayos que permitan determinar el tiempo que cada componente se tarda en llegar, lo que se ha definido previamente como estado de falla mediante regresiones estadísticas y en caso tal que no sea posible ajustar los datos a una distribución estadística, se requiere un análisis no paramétrico para obtener los momentos asociados a los tiempos de falla y así determinar la confiabilidad y la probabilidad de falla.

Al finalizar esta etapa se obtiene un valor numérico asociado a la probabilidad de que los componentes críticos funcionen con éxito durante un tiempo predefinido y en las condiciones específicas de utilización; información fundamental para tomar decisiones acerca de materiales y diseños que minimicen la probabilidad de falla del sistema de transporte por cable.

Con los resultados obtenidos en la fase anterior se establecen políticas de mantenimiento y de operación que permitan optimizar el funcionamiento del STCA. Se debe aprovechar la infraestructura existente en las universidades e instituciones de investigación, además de adquirir equipos de ensayo no disponibles en el medio y que son necesarios para evaluar propiedades importantes para el desempeño de los STCA.

El diseño como área disciplinar donde se integran múltiples conocimientos en la solución de problemas tendientes a la satisfacción de necesidades específicas, interactúa en forma directa con la ingeniería de los materiales, se requiere por parte de las universidades una evaluación de los materiales de proyectos en funcionamiento, que direccionan las actividades a desarrollar como es la realización de un inventario de materiales de componentes sometidos a desgaste; y así detectar las componentes más importantes para la sostenibilidad del STCA, en lo que concierne a los materiales de los repuestos, y el desarrollo de piezas con solicitudes importantes por parte de proveedores del medio o de la industria local.

Una vez se ha minimizado la probabilidad de falla que está asociada al diseño es importante conocer el comportamiento del sistema como un todo y funcionando, por tal motivo construir un prototipo o varios prototipos, y analizarlo bajo el enfoque de la confiabilidad, permite conocer nuevos modos de falla derivados de la interacción entre los componentes del STCA entre sí y la interacción con otras variables propias del STCA; por lo que se hace necesario profundizar en las variables del proceso de fabricación y en sus procesos de manufactura, que tienen incidencia en las propiedades mecánicas de aquellos componentes identificados como críticos en la operación de los STCA y evaluar las diferentes alternativas que oferta el medio industrial para la fabricación.

De tal forma se requiere realizar un plan de la fabricación para identificar las variables de control y realizar un seguimiento documentado durante este proceso a fin de que el mismo pueda replicarse en múltiples aplicaciones de los diferentes STCA. Además, es indispensable identificar y caracterizar aquellas industrias que concurren en los procesos de fabricación de componentes de STCA dispuestas a desarrollar tecnologías en este campo.

3.1. Componentes tecnológicos para desarrollar en los sistemas de transporte por cable aéreo

Las tecnologías apropiadas por los distintos actores que han venido incursionando en los STCA, posibilita identificar bloques temáticos en los cuales se hace necesario desarrollar tecnologías e investigaciones aplicadas, a fin de fortalecer el desarrollo competitivo y sostenible de las empresas nacionales y departamentales de este sector así:

3.1.1 Ingeniería de producto

La ingeniería de producto debe responder a las exigencias de diseñar productos con mínimo costo, máximo valor desde el punto de vista del cliente y calidad de fabricación y uso; asegurado desde el punto de vista del proveedor mediante el desarrollo de principios metodológicos y procedimientos sistemáticos adecuados, por lo que se requiere:

- Desarrollar y aplicar técnicas informáticas para el diseño de los STCA y sus componentes individuales.
- Desarrollar ingeniería inversa a componentes de los sistemas de transporte por cables aéreos disponibles y existentes en el mercado.
- Realizar simulación dinámica de sistemas y componentes.
- Realizar análisis de modos y efecto de fallas de los componentes.
- Realizar modelado rápido de prototipos empleando técnicas de impresión en manufactura aditiva 3D.
- Aplicar ingeniería concurrente a los STCA.
- Estandarizar especificaciones de componentes.
- Documentar metodologías para el montaje y desmontaje de los STCA.
- Desarrollar sistemas de ayuda para el diseño personalizado, o para aplicaciones específicas.

3.1.2 Ingeniería de procesos

En los procesos de fabricación es necesario incorporar tecnología en los puntos adecuados, considerando la optimización de factores de calidad, plazo y costo de fabricación. También es necesario identificar los sistemas con los que se realizan los procesos de fabricación de los STCA, que se han abordado en los últimos años de forma poco sistemática, por lo que se requiere un esfuerzo importante en su formalización y aplicación en las empresas comprometidas, y así posibilitar el desarrollo de las industrias proveedoras de servicios y/o componentes, siendo necesario:

- Desarrollar una correcta planificación de los procesos de Manufactura Asistida por Computador (CAM) de componentes individuales de los STCA en sistemas de mecanizado integral.
- Desarrollar y documentar los sistemas de tecnología de grupos de componentes, en la fabricación de estos en los STCA.
- Desarrollar los métodos de seguimiento y control de calidad para la fabricación de componentes.
- Mejorar y profundizar en los procesos mecánicos, para la fabricación de componentes.
- Desarrollar análisis y evaluación de procesos de manufactura en el forjado de piezas de los STCA.
- Analizar el efecto de las condiciones de maquinado, en el desempeño de las piezas de los STCA.

3.1.3 Ingeniería de materiales

Sobre los materiales más empleados, se han detectado algunos aspectos como lo más importantes para la sostenibilidad de los STCA, por lo que se requiere evaluar todo lo que concierne a los materiales de los componentes y sus repuestos, así; control de calidad, las materias primas y procesos de fabricación, los métodos de evaluación de desempeño tribológico que permitan el establecimiento de criterios de diseño y de control de calidad.

Algunas dificultades asociadas a la confiabilidad, de los sistemas y sus componentes, que direccionan el establecimiento de los siguientes objetivos para la ingeniería de materiales:

- Establecer protocolos que permitan la evaluación de materiales para ser aplicados en las componentes y piezas de los STCA.
- Identificar materiales compuestos de matriz metálica de alta aplicabilidad en los STCA por su bajo peso y costo.
- Implementar sistemas de evaluación y desarrollo de materiales para los componentes de los STCA.
- Desarrollo de tratamientos térmicos y recubrimientos superficiales en los materiales que permitan un mejor comportamiento en servicio, de los componentes metálicos de los STCA.
- Evaluar el desempeño tribológico de los componentes de los STCA.
- Establecer normativas y procedimientos que permitan evaluar el desempeño tribológico de los componentes de los STCA.

- Establecer modelamiento numérico del comportamiento en servicio de materiales en los STCA.
- Evaluar materiales plásticos, cauchos y compuestos de matriz polimérica aplicables en situaciones específicas para diferentes subsistemas o componentes del sistema de transporte por cable aéreo.

3.1.4 Control de la calidad

Es un tema de fundamental importancia en los sistemas de fabricación, aunque en gran parte está relacionado con los métodos de gestión y control de cada empresa proveedora de servicios al proyecto; donde el desarrollo de sistemas de ayuda a la garantía de calidad resulta totalmente necesario para la incorporación de estos métodos en la industria fabricante de los componentes del STCA.

La técnica de confiabilidad es empleada para evaluar la probabilidad de un componente, que este siendo sometido a condiciones específicas de uso y que opere con éxito durante un período predeterminado; es decir, la aplicación de técnicas de confiabilidad permite la evaluación de la probabilidad de que un equipo, proceso o producto falle. De esta forma las técnicas de confiabilidad pueden utilizarse para modelar los distintos modos de falla posibles de los STCA o de componentes de dicho sistema y así prever la probabilidad de que este falle, durante el tiempo de uso; por lo tanto, para un adecuado control de calidad se requiere realizar:

- Ensayos para componentes críticos.
- Sistematización de los modos de falla y frecuencia de estos, presentados durante el desarrollo de los ensayos.
- Determinación de la confiabilidad y probabilidad de falla para componentes críticos.
- Análisis del sistema de transporte por cable aéreo en servicio.
- Determinación de la confiabilidad y probabilidad de falla para el STCA.
- Análisis de resultados y establecimiento de políticas de mantenimiento.
- Diseñar procedimientos de apoyo al sector productivo, por medio de la prestación de servicios que sean requeridos para el proyecto.
- Desarrollar políticas de calidad de materiales y procesos de las empresas del sector metalmecánico, de plásticos y cauchos, como proveedoras de servicios para aplicar en este tipo de proyectos.

3.1.5 Prototipado

A partir de las consideraciones obtenidas en la etapa de diseño, se debe concluir con la construcción de un prototipo de un STCA que cumpla con todas las especificaciones definidas en el contexto de la aplicación, previa evaluación de la viabilidad de ubicación en una espacialidad definida.

Los ensayos con el prototipo permitirán la evaluación y retroalimentación de lo realizado en la fase de diseño; además buscan prevenir las fallas que dependen del funcionamiento y de la interacción de los diferentes sistemas que intervienen directa o indirectamente en el STCA y que no necesariamente dependen del diseño, para lo cual se requiere:

- Definir las funciones conceptuales para el diseño.
- Realizar el planteamiento de las alternativas, su evaluación y su selección.
- Realizar los planos de diseño constructivos y de ensamble.
- Realizar la planeación de ensayos acelerados.
- Diseñar las hojas de verificación.
- Planeación y programación de la construcción.
- Planeación y programación del montaje.
- Fabricación y montaje.
- Realizar rediseños y ajuste del prototipo del STCA.
- Realizar pruebas de verificación y puesta a punto del prototipo del STCA.

3.1.6 Gestión tecnológica

La gestión tecnológica, se entiende como el proceso de administrar el desarrollo de la tecnología, su implementación y difusión en los sectores industrial, público y privado y en la sociedad en general; implica el manejo del proceso de innovación a través de la Investigación y Desarrollo (I+D), lo cual incluye la introducción y uso de tecnología en productos, en procesos industriales; así como también la utilización de este conocimiento en la solución de los diferentes problemas de la sociedad, del ser humano y del medio ambiente.

Se requiere en este sentido visualizar la estructura jurídica administrativa de una organización empresarial que posibilite:

- Diseñar las estrategias de *marketing* para los productos del grupo de I+D.
- Implementar estrategias orientadas al conocimiento buscando el apoyo de los estamentos influyentes para la empresa.
- Promover el mejoramiento continuo de los procesos de negocio.

- Hay que asegurar que el conocimiento esté disponible en el sitio donde es más útil y necesario para la toma de decisiones en los procesos de negocio.
- Monitorear y evaluar los logros obtenidos.
- Divulgación y promoción del desarrollo tecnológico logrado.
- Apoyar la adquisición de conocimiento de fuentes externas y desarrollar la capacidad de asimilarlo y emplearlo.
- Asegurarse que el nuevo conocimiento esté disponible y donde se encuentra para aquellas personas en la organización.

3.2. Cables en proceso de ejecución y/o operación en Antioquia-Colombia

Varios municipios antioqueños, pasarán del sistema tradicional de mula, al implementar un moderno sistema de transporte por cable aéreo, esa es la proyección de la GA, así:

El sistema de transporte por cable aéreo en el municipio de Jericó (DA), es el proyecto que se espera tenga los mayores resultados económicos de los sistemas instalados debido a la actividad turística que tiene este municipio. Otro de los STCA que se considera podrá ser rentable es el del municipio de Guatapé, ya que es un proyecto turístico, para este proyecto ya se tiene firmada el acta para los diseños. Los cables de los municipios de Olaya y Urrao también tendrán aplicación principalmente turística.

Los STCA que se proyectan en los municipios de Yarumal, Nariño, Támesis y San Andrés de Cuerquia tendrán literalmente qué volar, debido a las geografías empinadas de estas regiones Antioqueñas. En estos municipios se proyectan las obras para tender los cables aéreos que unirán las veredas y los corregimientos más alejados de estas localidades.



Figura 19. Topografía del municipio de Yarumal, donde se proyecta la instalación de un sistema de transporte por cable. Fuente: https://www.datos.gov.co/browse?Informaci%C3%B3n-de-la-Entidad_Nombre-de-la-Entidad=Alcald%C3%ADa+Municipal+de+Yarumal

Ya las alcaldías de varios de estos municipios han adelantado con la GA y la empresa de cables de Antioquia los estudios de viabilidad para estas obras, que tendrán una primera proyección de entrega para los cables de Yarumal, Nariño, Támesis y por posteriormente se entregara el sistema de transporte por cable aéreo de municipio de San Andrés de Cuerquia.

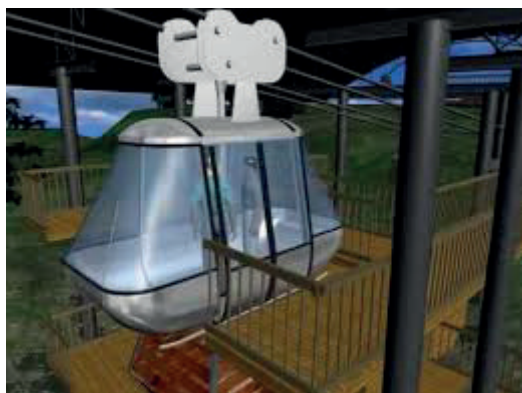


Figura 20. Diseño previo del sistema de transporte por cable aéreo para ser instalado en el municipio de San Andrés de Cuerquia en el Departamento de Antioquia. Fuente: <http://www.sanandresdecuerquia-antioquia.gov.co/>

También se han adelantado los diseños para los sistemas de transporte por cables aéreos mixtos de los municipios de Guatapé, Urrao y Olaya. Estos proyectos tienen el compromiso de trabajar en unos sistemas de transporte por cable, que además permitan la integración y la equidad.

En los diferentes municipios antioqueños beneficiados por estos proyectos de STCA, se calcula que se reducirá el tiempo de viaje de 3 horas a lomo de mula a 10 o 15 minutos movilizándose en el sistema de transporte por cable aéreo.

Estructuras como la del municipio de Yarumal, con 2100 m de longitud y 460 metros de altura harán sentir la sensación de vuelo y permitirán tener un ambiente natural y amigable con los usuarios.

Debido a las condiciones geográficas de los municipios donde se instalarán los STCA, se tendrán en algunas varias estaciones, así: En el del municipio de Nariño tendrá cuatro estaciones de apoyo, donde los nuevos diseños de las cabinas serán más livianos, tendrán 700 kg menos que las primeras cabinas fabricadas en Antioquia y están diseñados para el transporte de ocho pasajeros y para cuatro cuando se transporte carga. Además, se cuentan con todos los sistemas de seguridad.

Una de las lecciones aprendidas con los proyectos piloto de los municipios de Jericó y Jardín es que las piezas de las cabinas serán intercambiables en los demás sistemas proyectados.

En los nuevos STCA se viajará a una velocidad de 2,3 metros por segundo, lo que permitirá por ejemplo que en el municipio de Yarumal el recorrido se haga mediante el sistema de transporte por cable aéreo en 15 minutos; en el del municipio de Támesis se realice en 10 minutos, en el municipio de Nariño en 21 minutos y en 15 minutos en el del municipio de San Andrés de Cuerquia.

Según lineamientos del DA, a los municipios que se beneficiaran con los STCA, se les entrega toda la estructura de las estaciones, pero el urbanismo y la operación de estos, queda a cargo de las administraciones locales.

El Gobierno del DA le está apostando a un total de 44 STCA y con ello está visualizando mejorar las condiciones de movilidad de personas, cargas y animales en estas regiones del DA.

El tema de STCA es de gran importancia no sólo para el DA y Colombia, sino también para América Latina.

De cuatro de los cables que se proyectaron, el del municipio de Támesis será para el transporte de personas y de turismo; mientras que el de los municipios de Yarumal, Nariño y San Andrés de Cuerquia estarán destinados al transporte de personas. Otros tres sistemas de transporte: Guatapé, Urrao y Olaya, para los cuales se firmaron los diseños, tendrán una función mixta.

Los STCA de los municipios de Jericó y Jardín fueron los proyectos piloto realizados en el DA. El primero ha dado rentabilidad mientras que el segundo aún está en proceso de consolidarse. El municipio de Jardín ya tiene un atractivo más para convocar turistas.

Con estas apuestas administrativas se espera que, en las próximas décadas, en varios municipios antioqueños, se cambiarán la mula por el sistema de transporte por cable aéreo y sus habitantes podrán volar.

Con estos proyectos se busca la integración de las veredas y los corregimientos alejados del casco urbano. Para el caso del municipio de Yarumal y sus habitantes, esta es una noticia muy buena, para esa zona este proyecto beneficiará alrededor de 3000 personas que antes debían atravesar una vía que está en muy malas condiciones.

Este proyecto es también muy importante para el desarrollo de las veredas Las Mangas y El Guamito (municipio de Nariño). Al beneficiarlos, porque podrán transportar la carga empleando estos medios de transporte, ya que se demoran entre dos horas a lomo de mula por caminos en muy malas condiciones para llegar al casco urbano.

Esta es la propuesta de las administraciones municipales y gubernamentales del DA-Colombia, en términos de proyectos y alcances, esperemos a ver cómo avanzan en realidad en el tiempo, dado que son proyectos de gran complejidad y donde intervienen muchos agentes externos al mismo proyecto.



4. MODELO DE VIABILIDAD DEL SISTEMAS DE TRANSPORTE POR CABLE AÉREO EN EL MUNICIPIO DE JERICÓ

En el DA, ya se han realizado estudios para dos proyectos piloto de STCA en los municipios de Jericó y Jardín, en investigación realizada, se denota que estos fueron abordados a partir de este modelo de estudio aplicable y que se puede replicar en algunos aspectos en proyectos similares, el cual se explica con el caso del municipio de Jericó en el DA.

Proyecto denominado adaptación tecnológica de un sistema de transporte por cable a las condiciones específicas, tanto topográficas como económicas y funcionales de los municipios de Antioquia, municipio de Jericó, realizado en convenio con la Universidad EIA, el modelo comprende el estudio de:

4.1 Ubicación geográfica cable aéreo municipio de Jericó

Donde se amplía la localización del municipio de Jericó dentro del DA, el número de estaciones, la localización de las estaciones y esquemas gráficos donde puede apreciarse el trazado del corredor para el municipio de Jericó.

4.2 Análisis socioeconómico zona de influencia cable aéreo municipio de Jericó

Aquí se evalúa el análisis y caracterización de la zona de influencia del proyecto STCA del municipio de Jericó; las caracterizaciones socioeconómicas; las generalidades del municipio, entre ellas: geografía, historia; la dinámica social, entre ellas: demografía, salud, educación, recreación, cultura y deporte, organización e integración comunitaria; la economía, entre ellas: actividades económicas, empleo, infraestructura, servicios públicos, turismo, sitios de interés, épocas de interés turístico, alojamientos, restaurantes, transporte público, actividades que se realizan, proyectos que se encuentran en etapa de ejecución; los programas a implementar.

4.3 Análisis de mercados y demanda de viajeros cable aéreo municipio de Jericó

Donde se estudian proyectos con énfasis en lo social, proyectos con vocación turística, potencialidad del sector turístico en el suroeste antioqueño, debilidades y amenazas de los municipios del suroeste antioqueño, tendencia ecológico-ambiental, variable social, variable económica, gustos y preferencias del turismo en Antioquia, mercado de referencia; también se realizan encuestas para estudios de mercado y análisis de la demanda, entre ellas: encuesta para personas naturales y turistas, encuesta para establecimientos comerciales y empresas de transporte, modelo de las encuestas, resultados de las encuestas; el análisis de demanda del municipio de Jericó, que comprende: demografía, actividades económicas, épocas de interés turístico, proyectos que se encuentran en etapa de ejecución, mercado objetivo, comportamiento del mercado objetivo, turismo generado por el proyecto.

4.4 Descripción del sistema tecnológico cable aéreo municipio de Jericó

Que comprende la descripción del sistema tecnológico; ficha técnica, que incluye: prescripciones generales, vehículo, cabina, portacarga, sistema de sujeción, cable, cables portantes, cable tractor, unidad motriz, motor, reductor, polea motriz, polea de reenvío, motor de socorro, sistemas de frenado, estaciones, características del vuelo, control, composición del sistema de control y la descripción técnica del grupo electromecánico.

4.5 Aspectos financieros cable aéreo municipio de Jericó

Este comprende el perfil financiero, análisis de costos y flujo de caja del proyecto, que incluye: hoja información de soporte, ingresos del proyecto, costos y gastos, depreciaciones, flujo de caja de las inversiones, flujo de caja de la operación.

4.6 Análisis de aspectos ambientales cable aéreo municipio de Jericó

Toma en consideración factores ambientales para asegurar un desarrollo económico en armonía con la naturaleza. Por medio de la evaluación ambiental se logra predecir los impactos de toda acción de desarrollo con el objetivo de identificar y evaluar cuáles serán las consecuencias ambientales de los proyectos y así poder preparar planes, programas y políticas orientados a disminuir o mitigar el impacto que podría ocasionar un deterioro del medio ambiente.

4.7 Manual de usuario cable aéreo municipio de Jericó

Que incluye generalidades; información al público; normas relativas al uso de las instalaciones de los STCA; admisión de viajeros y preferencias en el uso de las instalaciones; libro de reclamaciones; normas del usuario, estas evalúan: generalidades, derechos de los usuarios, deberes de los usuarios, responsabilidades de los usuarios; normas para el personal operativo del cable aéreo, que evalúan: deberes de la empresa operadora del STCA; normas para el transporte de carga, y estas profundizan en: normas generales, normas especiales para carga muerta y normas especiales para carga viva.

4.8 Manual de operación cable aéreo municipio de Jericó

Aquí se estudia al personal operativo y requisitos para la operación, que incluye: organigrama; funciones del personal de operación, esta además evalúan: responsable técnico, conductores encargados de la explotación, personal de explotación en general, personal de rescate, personal de mantenimiento; la cualificación y nombramiento del personal; formalidades a que debe ajustarse el relevo del personal a fin de garantizar la transmisión de las consignas e instrucciones oportunas; registros de la explotación del servicio que debe incluir: registro de explotación, registro de reclamaciones; pruebas para la puesta en funcionamiento.

Descripción técnica de componentes, que incluye: descripción del funcionamiento del sistema de tracción y control que comprende: chasis de tracción, gabinete de control y potencia; consolas de mando y ratificación; equipos de realimentación; sensor de viento.

Equipos de seguridad, que deben evaluarse: freno de cuña del carretillo, freno de campana del eje motriz; instrucciones de operación, que comprende: instrucciones de encendido y apagado del sistema en operación principal; instrucciones de operación en modo manual; instrucciones de operación en modo automático; instrucciones para operar el equipo de emergencia; instrucciones de operación de la cabina, que a su vez comprende: accionamiento de las puertas de las cabinas, accionamiento de las puertas portacarga.

Solución de problemas e inconvenientes, que evalúan a su vez: ¿qué hacer cuando falla la comunicación del personal entre estaciones?, ¿cuál es el procedimiento a seguir cuando ocurre un corte de suministro eléctrico?, ¿qué se debe hacer en caso de que se presente una rotura del cable tractor?, ¿qué se debe hacer en caso de que ocurra el descarrilamiento del cable tractor?, ¿cuál es el procedimiento en caso de que falle el freno electromagnético del motor (primer freno de seguridad)?, ¿se puede operar el sistema si la visibilidad es insuficiente?, ¿qué pasa si el viento incrementa

su fuerza y velocidad?, ¿qué se debe hacer si se presenta una falla en el sistema de control que permita operar normalmente el sistema?, ¿qué se hace en caso de falla en los equipos electromecánicos?, ¿qué pasa si hay fallas en cualquiera de los sensores?, ¿qué pasa si se observa la cabina por debajo del nivel de la plataforma de abordaje aun estando vacías?, ¿qué se debe hacer en un sistema de dos cabinas, cuando una cabina llega perfectamente hasta el punto máximo de parada en la estación (activando el sensor de parada), y la otra cabina no ha llegado hasta su respectivo punto de parada para que los pasajeros puedan descender?.

4.9 Manual de mantenimiento cable aéreo municipio de Jericó

Este requisito incluye el personal y requisitos para el mantenimiento, y esta se compone de: organigrama de operación y mantenimiento y las funciones del personal de mantenimiento. Manual de mantenimiento del grupo electromecánico, que incluye: chasis de tracción, motor principal, freno electromagnético, reductor principal, acople flexible tipo rejilla, motorreductor, piñones, cadena de emergencia y generador trifásico. Mantenimiento de equipos mecánicos y otros elementos, que evalúan: cables, rodamientos del eje motriz, recubrimiento del caucho de las poleas, carretillo, poleas portantes, ejes y bujes, cabinas.

4.10 Manual de seguridad cable aéreo municipio de Jericó

Este manual comprende responsabilidades, que incluye: funciones del personal encargado. Seguridad del sistema en general, que a su vez evalúa: pruebas de verificación del buen estado del sistema, elementos esenciales en la seguridad de la instalación, normas de funcionamiento de las instalaciones. Controles de seguridad de la calidad de los componentes de la instalación, que incluye: generalidades, revisiones de las instalaciones, revisiones y mantenimiento de los cables. Plan de rescate, que abarca: objetivos de la operación de rescate, descripción de situaciones que ameritan un rescate, organigrama del grupo de rescate, funciones de los integrantes del grupo de rescate, elementos necesarios para el rescate, procedimiento de rescate, formación y entrenamiento del personal de rescate, ensayos de rescate. Relaciones de la administración y los usuarios, que comprende: medidas preventivas en el uso de los STCA y procedimientos en caso de emergencia.

A continuación, en la Tabla 4 se realiza una relación de los más importantes aspectos, elementos, componentes o piezas que tienen unas inversiones en activos fijos y activos diferidos, del sistema de transporte por cable aéreo del municipio de Jericó-Antioquia.

Tabla 4. Descripción detallada de inversiones en activos fijos y activos diferidos, del sistema de transporte por cable aéreo en el municipio de Jericó-Antioquia

Descripción
Obras preliminares
Levantamiento topográfico
Estudio de vientos
Estudio de suelos
Diseños y planos
Instalaciones provisionales
Obras civiles
Cubiertas aluminio y acrílico unidad motriz y reenvío
Estructuras plataformas de abordaje y desabordaje
Estructura metálica estación motriz
Estructura metálica estación reenvío
Escaleras de acceso a plataforma
Senderos
Casetas (taquillas, cuartos de máquina)
Servicios sanitarios, pozo séptico
Fundaciones estructuras
Suministro de equipo
Equipo de línea
Cable portante (Ø1-1/4, alma de acero)
Cable tractor (Ø1/2, pre-estirado, alma de fibra)
Alquiler herramienta y equipos
Cabinas y sistemas rodantes
Cabina de pasajeros (10 pasajeros)
Sistema rodante cabina
Sistema antigiro
Juego rodamientos unidad motriz reenvío
Juego rodamientos cabina y antigiro
Sistema mecánico
Polea motriz
Polea reenvío
Poleas desvío
Poleas guía
Ejes unidad motriz - reenvío
Unión cardánica
Sistemas de tracción, control y emergencia
- Sistema de tracción:
Reductor 50 HP
Motor trifásico Siemens 50 HP + freno 1800 rpm
Acople motorreductor
Acople reductor - eje motriz
Tablero eléctrico 220 x 140 x 40 cm
Interruptor de potencia Siemens (termomagnético)
Contactador de potencia Siemens
Reactancia de línea trifásica Siemens
Variador de velocidad electrónico Siemens 50 HP
Unidad de freno para variador 50 HP
Resistencias de frenado
<i>Encoder</i> para posicionamiento de motor
Chasis beso para soporte vertical de equipos

- Sistemas de control y automatización:
 CPU 224 XP
 Módulo 8DI 24 DC
 TP 177 Pantalla monocromático
 Tarjeta *ethernet*
 Anemómetro
Microswitches
 Hongo emergencia
 Muletilla llave manual/automático
 Pulsadores
 Radio *wireless* con antenas 5 Km
 Consola a piso
 Protección transientes
 Para rayos
 UPS
 - *Kit* de emergencia:
 Piñones de tracción entre motorreductor y eje tractor
 Cadena tracción motorreductor emergencia
 Motorreductor *Sumitomo*
 Planta eléctrica 2500 KVA
 Arrancador directo 11-16 A + pulsadores

Manuales	
Manual y curso de operación y mantenimiento	
Transportes	
Transporte de materiales y personal	
Manutención personal	
Viáticos del personal	
Honorarios profesionales	
Honorarios del personal	
Seguros	
Seguros	
Constitución	
Constitución	
Zona de comercio	
Compra de terrenos	
Área por construir (locales comerciales y zonas de recreación)	
Muebles y enseres	
Dotación oficina gerente	
Dotación oficina secretaría	
Dotación puestos de venta tiquetes	
Dotación operadores	
Dotación cafetería, oficios varios	



5. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN STCA, EN MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA-COLOMBIA

5.1 Ingeniería de requisitos

Existe un considerable número de autores que abordan la ingeniería de requisitos empleándola de manera sistemática, siendo un proceso que se ha llevado con suceso en la solución de múltiples problemas y de esta forma es cada vez más empleada en diferentes sistemas (Silva J.R., 2007).

La ingeniería de requisitos se puede definir como el proceso que engloba todas las averiguaciones necesarias acerca de lo que el sistema debe hacer según las necesidades, inclusive en circunstancias difíciles. Tiene por objetivo guiar el desarrollo hasta un sistema correcto mediante una descripción adecuada de los requisitos del sistema (Jacobson I., Booch G., Rumbaugh J., 1999).

La ingeniería de requisitos, en su propuesta contempla: problemas, requisitos, información, conocimiento del problema, especificaciones (Jarke M. *et al*); es una fase con definiciones generales. Y aunque cada vez está siendo muy difundida, son muchos los proyectos que pasan por la fase de requisitos de forma rápida centrándose más en las fases de diseño final y en la implementación. Y es a partir del uso de la ingeniería de requisitos que se ha demostrado su validez, aplicabilidad e importancia para continuar con las demás fases.

La ingeniería de requisitos presenta diferentes definiciones, algunos autores incluyen en la ingeniería de requisitos solo el proceso de captura de información (Jacobson I., Booch G., Rumbaugh J., 1999 y Rossi G., 1996). Otros incluyen otra etapa de validación (Koch N., 2001 y Lowe D., Eklund J., 2002). Incluso existen autores (Durán A., 1999; Bieber M., Galnares R., Lu Q. 1998; y Bieber M., 1999) que dentro de la ingeniería de requisitos generan modelos funcionales.

A título de ejemplo se cita como la ingeniería de requisitos es implementada en la tesis de doctorado de Escalona (Escalona M.J., 2004). Donde se plantea la propuesta de Lowe y Eklund (Lowe D., Eklund J., 2002), en la cual el proceso de ingeniería de requisitos está compuesto por tres actividades:

- I Captura de requisitos.

- Definición de los requisitos.
- Validación de los requisitos.

En la tesis de Escalona, el proceso inicia con la realización de la captura de requisitos. Se comienza con la información suministrada por los usuarios y clientes, la cual puede provenir de diversas fuentes: documentos, aplicaciones existentes, a través de entrevistas, entre otras fuentes. A partir de las investigaciones realizadas, se elabora el documento de requisitos, en el cual se definen los objetivos y necesidades del sistema.

Dicho documento puede ser realizado según diferentes técnicas, pero después de su realización debe ser validado por el grupo de usuarios. Con la validación de los requisitos se realiza la valoración de estos, comprobando la existencia de inconsistencias, errores o falta de requisitos por definir.

El proceso de tratamiento de los requisitos es iterativo y en algunos proyectos complejos, resulta necesario ejecutarlos varias veces. El proceso de ingeniería de requisitos empleado por Escalona (Escalona M.J., 2004), es representado en la Figura 21.

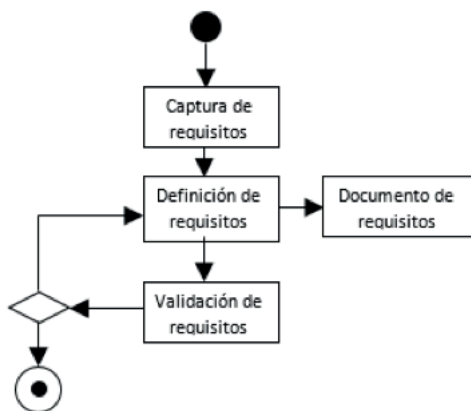


Figura 21. Proceso de ingeniería de requisitos, según Escalona (Escalona M.J., 2004)

Finalmente es formulada la necesidad de modelos que permiten realizar un proceso formal de los requisitos de ingeniería en un problema. En este estudio se presenta los aspectos generales del proceso *Volere* el cual posteriormente será implementado, para los STCA en el DA.

5.2 Proceso *Volere*

De todas las técnicas existentes en el mercado para el levantamiento de requisitos, se optó por profundizar en el método *Volere*. Conforme citado por los autores James y Suzanne Robertson (Robertson J., Robertson S., 2003), este es un método que ya fue adoptado por miles de organizaciones en el mundo, su modelo parte del principio de la sumatoria de experiencias en desarrollos de *software* para montar modelos simples y completos (Da Silva S.M, Bonin M. R., Paludo, M.A.).

El proceso *Volere* es un método completo para la obtención de requisitos, se basa en los casos de uso (Fischer M. C. B. O., 2001). Tal modelo está disponible en el *site*: www.volere.co.uk donde se encuentra la fundamentación de todo el proceso de especificaciones de requisitos, según los autores Robertson & Robertson (Robertson J., Robertson S., 2006).

El proceso *Volere* aquí presentado sigue las siguientes fases:

- Limitaciones del producto.
- Requisitos funcionales.
- Requisitos no funcionales.
- Características del proyecto.

Cada uno de los pasos del proceso *Volere* son explicados en el documento: *Volere requirements specification template* (Robertson J., Robertson S., 2006) el cual incluye para cada paso la definición, consideraciones, motivaciones y algunos ejemplos.

5.3 Implementación del proceso *Volere* en los sistemas de transporte por cable aéreo en el Departamento de Antioquia

A continuación, el proceso *Volere* es implementado en los proyectos en estudio, lo cual vislumbra la viabilidad de su uso en este proyecto, el cual consiste en utilizar el modelo con todos los pasos que el sugiere, pero centrando la atención en aquellos pasos que son aplicables a varios de los proyectos de STCA.

De esta forma la aplicación del proceso *Volere* busca explorar detalladamente en los requisitos del proyecto y obtener un documento en esta fase que permita la evolución del sistema estudiado y que es vital para las próximas fases del proyecto.

En primera instancia se aplica el proceso de manera general a los STCA y luego se replicará el mismo proceso para el proyecto del STCA del municipio de Jardín, el lector observará que se repiten los conceptos y definiciones en muchos de los requisitos, pero eso es necesario en la explicación de como implementar la metodología y es precisamente lo que se busca demostrar que el modelo puede ser aplicable a varios STCA del DA.

Es así como el proceso planteado busca resolver los siguientes cuestionamientos, que aquí se abordan de manera breve y que requieren ser evaluadas en detalle:

5.3.1 El propósito del proyecto

Los STCA a implementar por la GA y la SIF, a través de proyectos sociales, buscan mejorar la movilidad de los ciudadanos de los municipios de Antioquia y facilitar el acceso a sus diferentes destinos.

De esta forma, se requieren implementar sistemas de transporte que permita a las personas de las diferentes regiones antioqueñas integrar los cascos rurales con los urbanos en el menor tiempo posible.

El DA tiene una de las topografías más abruptas de Colombia y sus mejores tierras están ubicadas en sus zonas montañosas, por tanto, debe superar el obstáculo que representa su geografía para su crecimiento económico.

En la Figura 22 se muestra un mapa de las regiones montañosas del DA.

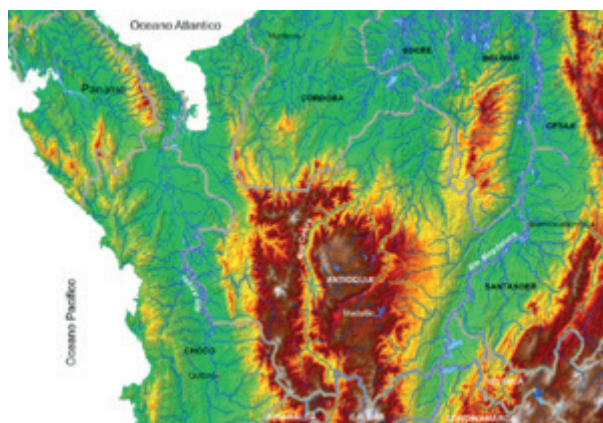


Figura 22. Mapa físico de las montañas del Departamento de Antioquia. Fuente: https://www.wikiwand.com/es/Geograf%C3%ADa_de_Antioquia

Actualmente para que muchos habitantes de los municipios antioqueños lleguen de los cascos rurales a los urbanos deben caminar largas jornadas o montar en mula incluso por horas, para desplazarse a sus lugares de trabajo o estudio,

De esta forma los STCA a desarrollar deben permitir la interconexión fácil entre los sistemas de transporte existentes en el menor tiempo posible y no generar costos mayores para los usuarios.

5.3.2 Los interesados en el sistema

El sistema de transporte a desarrollar será empleado principalmente por los habitantes de las regiones montañosas de los municipios del DA. En su mayoría campesinos.

El 90% de los pobladores antioqueños de los más de 6 millones de habitantes antioqueños viven en las regiones montañosas, en un área que es 80% montañosa. El sistema de transporte será empleado como medio para transportarse a sus lugares de trabajo, estudio, recreación, para transportar materiales, animales o productos derivados de su economía.

Entre las organizaciones más interesadas en el desarrollo del sistema se incluye: La GA, y los municipios antioqueños.

Se considera la posibilidad de que el sistema de transporte a desarrollar pueda ser un atractivo para turistas, debido a que la topografía montañosa de las regiones antioqueñas permite ver panoramas muy interesantes, de las riquezas naturales de Antioquia.

5.3.3 Los usuarios finales

- **Campeños.** Quienes requieren desplazarse desde sus viviendas hasta sus lugares de trabajo localizados en cascos rurales, para desplazarse muchos viajan alrededor de una hora a pie. Son estos los usuarios que en mayor número emplearían el servicio todos los días. Y son estos los usuarios a quienes se les debe dar prioridad.
- **Estudiantes.** Jóvenes y niños que requieren desplazarse hasta sus establecimientos educativos, entre los días de lunes a viernes.
- **Ciudadanos de las diferentes regiones.** Personas que requieren desplazarse de sus sitios de vivienda hasta diferentes puntos, para actividades diversas.

5.3.4 Las restricciones al funcionamiento del sistema

El sistema debe funcionar en una región de topografía montañosa. Las montañas antioqueñas son conformadas por las cordilleras occidental y central, las cuales conforman las dos terceras partes del DA.

Antioquia se caracteriza por su difícil geografía abruptamente quebrada y montañosa y considerada una de las más montañosas del mundo.

Las calles y avenidas existentes en los municipios son en su mayoría estrechas con una geografía bastante variada donde conjugan todos los elementos de la geografía, llanuras, altiplanos, paramos, ríos, ciénagas y bosques.

Debe ser una solución viable tecnológicamente y que se pueda adecuar fácilmente a las características físicas montañosas de las regiones de los municipios antioqueños, y que para su implementación no se requieran realizar grandes cambios ambientales en los diversos hábitats actuales.

5.3.5 Nombres especiales que surgen del funcionamiento o de la propia existencia del sistema

A continuación, se definen algunos términos que serán usados en el desarrollo del proyecto, y básicamente son empleados en los requisitos:

- I **STCA.** Sistema de Transporte por Cable Aéreo.
- I **Monocable.** Este término se refiere a que en el transporte por cable la función de portar la carga y la tracción se realizan a través de un único cable.
- I **Movimiento de vaivén.** El movimiento presenta inversiones cíclicas; es decir, que los vehículos presentan dos movimientos, uno de ida y otro de vuelta entre las estaciones en el mismo cable.
- I **Sistema de transporte por cable aéreo.** Aquella instalación en la que se emplean cables metálicos situados a lo largo del recorrido que se quiere cubrir, bien para definir la vía misma de circulación de los vehículos o bien para transmitir a éstos un esfuerzo motor o frenante. Hacen parte del sistema, los cables, los vehículos o cabinas, las estructuras de soporte y las edificaciones de embarque y desembarque.
- I **Sistema de transporte por cable aéreo para producción industrial.** Cuando se movilizan materiales o productos dentro de un lugar de trabajo o entre varios puestos de trabajo que hacen parte de un mismo proceso productivo.
- I **Sistema de transporte por cable aéreo para movilización de mercancías con intercambio e integración modal de la carga.** Son los que permiten movilizar mercancías que van a comercializarse, usando varios modos de transporte con estaciones integradas.
- I **Sistema de transporte por cable aéreo para movilización urbana.** Es cuando se movilizan personas cuyos viajes son por motivo de estudio, trabajo, salud o adquisición de bienes y servicios. Se conectan diferentes barrios o sectores de un mismo núcleo urbano.
- I **Sistema de transporte por cable aéreo turísticos.** Se utilizan para potenciar la actividad turística de ciertos lugares y en consecuencia para activar la economía en este sector.
- I **Sistema de transporte por cable aéreo deportivos.** Son los que se utilizan básicamente para el traslado de deportistas.

- I **Teleférico.** Es un medio de transporte que consiste en cabinas con capacidad para llevar un grupo de personas. Las cabinas viajan suspendidas de un cable portador y son accionadas por un segundo cable tractor o por el mismo cable portador, que en este caso sería el denominado portador tractor.
- I **Teleféricos bicable.** Son un sistema en el que circulan una o dos cabinas compuestas por un mecanismo de traslación, dispositivo de suspensión y cabina en servicio vaivén entre las estaciones. Los vehículos son movidos por un cable tractor sobre uno o dos cables portantes.
- I **Teleféricos bicables con doble cable transportador.** Son sistemas compuestos por dos cables portadores ubicados a gran distancia uno del otro y por un cable tractor.
- I **Teleférico de grupo.** Es un sistema monocable con pinzas fijas y movimiento circulatorio pulsado, se destaca por su simple y clara técnica y atractivo aspecto. Consta de dos o cuatro grupos de cabinas y se detiene en las estaciones para que los viajeros suban o bajen.
- I **Teleféricos monocables de doble cable transportador.** Son aquellos teleféricos monocables en los que se disponen dos cables transportadores paralelos a una distancia de 3,2 m; que se mueven sincrónicamente, formando una vía.
- I **Teleférico de vehículo automotor.** Son aquellos STCA en los que únicamente existe el cable portante porque el vehículo es automotor, en este sistema el vehículo circula sobre uno a o más cables portantes impulsándose por sus propios medios.

5.3.6 Hechos relevantes que distinguen el sistema

El sistema de transporte a desarrollar debe cumplir con las normas de transporte público establecidas en el DA, y con sus planes de ordenamiento territorial. El sistema se debe distinguir por ser un sistema de transporte que sea ejemplo en organización y estructura para todo el DA e incluso para el país (Colombia).

5.3.7 Metas del equipo de trabajo

El sistema de transporte a desarrollar debe ser orientado a ser empleado por todos los habitantes de las distintas regiones del DA, pero el sistema puede ser empleado por cualquier otra persona que requiera emplear el servicio de transporte.

Es un proyecto que requiere realizar cambios en las actuales vías, calles y avenidas existentes en la búsqueda de mejores trayectos.

Se requieren realizar planes estratégicos educativos y culturales para el adecuado uso del sistema de transporte a implementar.

5.3.8 El contexto de funcionamiento del sistema

El sistema de transporte a desarrollar debe funcionar en un trayecto óptimo que abarque las principales vías de la región hasta una estación que sea de beneficio social.

El sistema por desarrollar funcionará acorde al horario de cada una de las regiones. Debe contemplar operar todos los días incluso en los días festivos.

5.3.9 Requisitos funcionales y datos requeridos

Los principales requisitos funcionales del sistema de transporte por cable aéreo son:

- El sistema debe permitir el desplazamiento de personas, animales o materiales de las regiones antioqueñas.
- El sistema debe permitir fácil y ágilmente la interconexión con otros medios de transporte, si existen o que se proyecten en la región.
- El sistema debe recorrer la distancia en el menor tiempo posible.
- Debe ser un sistema de transporte que pueda ser empleado por todo tipo de usuarios.
- El sistema de transporte debe contemplar la geografía montañosa de las distintas regiones.

Los datos principales e iniciales, requeridos para proyectar el sistema de transporte por cable aéreo en Antioquia son:

- Se requiere datos confiables del número de habitantes actual de cada región.
- Se requiere realizar proyecciones futuras del crecimiento de la población de cada región.
- Se debe considerar los datos geográficos de cada región y la forma de establecimiento de sus habitantes.
- Se debe estudiar los datos de trayectos actuales, que los habitantes de cada región emplean para llegar hasta los destinos de mayor importancia.
- Se debe estudiar los datos de la infraestructura física, de los distintos municipios y proyectar las estaciones que podrán servir como puntos de conexión.

5.3.10 Apariencia del producto

Los usuarios del sistema de transporte tienen preferencia por un sistema que sea cómodo, que pueda tener un formato similar a los vehículos de transporte público modernos, con sillas confortables; si el usuario se encuentra de pie, el sistema debe permitir sujetarse fácilmente y de forma segura independiente de su altura. Que el sistema tenga una apariencia limpia.

5.3.11 Requisitos de usabilidad

El sistema debe contemplar los requisitos de usabilidad, de tal forma que facilite el uso de:

- Deben asegurar la localización de todo tipo de usuarios incluso aquellos con alguna limitación física.
- Los usuarios deben poder hacer uso del sistema de transporte de forma fácil.
- Que cuando los usuarios estén dentro del vehículo (cabinas) el sistema de transporte pueda interactuar de forma adecuada con los elementos internos existentes, como por ejemplo: sillas, puertas, ventanas, iluminación, aire acondicionado, señalización y mapas, sillas para uso especial.

5.3.12 Requisitos de desempeño

El sistema de transporte de transporte por cable aéreo debe permitir un desplazamiento de los usuarios en el trayecto trazado en un tiempo estimado por ejemplo de 15 minutos, reduciendo en una tercera parte el tiempo actual estimado, para el ejemplo de 45 minutos.

La capacidad de respuesta del sistema debe ser inmediata, debido a su implementación con el hombre, debe ser confiable y segura.

Debe permitir el ingreso y salida de los usuarios con seguridad y cerrar las puertas después de una señal previa, que indique que el sistema se va a desplazar.

El sistema podría presentar posibles paradas en su trayecto, por algunos defectos del sistema o por algún otro factor externo, por tanto, se debe contemplar la forma de evacuar a los pasajeros con seguridad.

El sistema se debe adaptar a los cambios tecnológicos de tal forma que se puedan implementar mejoras tecnológicas; por ejemplo, el uso de energías alternativas, mejoras en el confort, aumento de la velocidad.

5.3.13 Requisitos operacionales

El sistema desarrollado operará exclusivamente en los municipios del DA, se debe considerar la temperatura media de cada zona específica, que son regiones montañosas y cómo se comportan los vientos.

El sistema operará a la intemperie; es decir, que estará expuesto a los agentes externos normales del medio ambiente de cada región específica como son: lluvia, sol, polvo, entre otros.

El sistema operará a través de vías o rutas actuales o nuevas que se proyecten, interactuando en lo mínimo con algún otro sistema de transporte existente, o con otro tipo de señal de tránsito. De esta forma se procura que tenga una ruta exclusiva para su desplazamiento.

Lo más importante es que el sistema se pueda integrar con algunas de las actuales estaciones existentes, cuando sea el caso.

El sistema de transporte debe poseer características de desempeño propias del sistema seleccionado, sin ultrapasarse las normas de velocidad establecidas.

5.3.14 Requisitos de mantenimiento y portabilidad

Según los propios cambios de las condiciones del sistema a desarrollar se deben implementar fácil y rápidamente cambios en los requisitos del sistema, como por ejemplo: cantidad de usuarios, velocidades de desplazamiento, número de paradas en el trayecto trazado, rutas específicas, capacidad de los vehículos.

El sistema de transporte por cable aéreo podrá tener nuevas versiones de vehículos (cabinas), en los tiempos que el DA determine por ley por la vida útil de este tipo de sistemas. Actualmente la vida de un vehículo para el servicio de transporte público es de 15 años.

5.3.15 Requisitos de seguridad

El sistema operará considerando todas las medidas de seguridad que son necesarias y obligatorias para el transporte de personas.

El sistema será proyectado de tal forma que sea confiable, minimizando cualquier nivel de riesgo existente.

Será realizado un adecuado plan de mantenimiento que garantice la seguridad del sistema.

Se preverán y tomarán todas las medidas de seguridad por agentes externos posibles a los sistemas.

El sistema se desplazará siempre con puertas y ventanas cerradas, en el caso de que estas se encuentren abiertas por cualquier razón el sistema quedará bloqueado como medida de seguridad.

5.3.16 Requisitos de orden político y cultural

El sistema por desarrollar operará en los municipios del DA en Colombia, se debe dar importancia a todos los aspectos sociales, políticos y culturales existentes en estas regiones, si darle menor importancia a ninguno de estos aspectos.

El proyecto se destaca por ser un proyecto social cuyos beneficiarios finales son personas de bajos recursos económicos. El proyecto procura mejorar el servicio de transporte e implementar planes de educación, recreación y cultura a través del STCA.

5.3.17 Requisitos legales

El transporte de pasajeros según el decreto colombiano 1072 del año 2004, es aquel que se presta bajo la responsabilidad de una empresa pública o privada de transporte, legalmente constituida y debidamente habilitada en esta modalidad.

La autoridad competente, para todos los efectos que tiene relación con el servicio público de transporte es el Ministerio de Transporte, que establece las normas y las especificaciones técnicas requeridas para este servicio. El control y la vigilancia de la prestación del sistema de transporte estarán bajo la responsabilidad de la Superintendencia de Puertos y Transporte, a través de la Superintendencia Delegada de Tránsito y Transporte.

5.3.18 Problemas en abierto que pueden comprometer el proyecto

Una serie de asuntos se debe mantener en abierto en este proyecto, caso los problemas de seguridad pública lo cual compromete y mantiene el proyecto en incertezas sobre el control de este. Algunos tipos de atentados terrorista en los sistemas de transporte son una cuestión en abierto, son difíciles de contemplar todas las posibles alternativas y sus soluciones.

5.3.19 Soluciones que serán utilizadas o reutilizadas

A continuación, se listan algunas soluciones existentes y que podrían ser aprovechadas:

- **Sistema de transporte por flotas de bus.** Aprovechar el actual parque automotor de buses existentes en cada región para fortalecer el proyecto.

- **Sistema de transporte por carros pequeños, mototaxis y otros.** Emplear los sistemas alternativos de transportes existentes y específicos en cada región, como son los mototaxis, las motocicletas, las bicicletas, los camiones, carros de carga, entre otros, para el transporte de pasajeros.
- **Sistema de transporte con taxis.** Actualmente se emplean flotas de taxis como servicio público en estas regiones.
- **Tren.** Aunque este sistema no exista (pero se tiene la visión de retomarlos) ya en muchas de las regiones antioqueñas, es una alternativa viable y conocida por las comunidades antioqueñas, ya que el tren fue un servicio que se integró al territorio en décadas pasadas.
- **Línea de metro.** El actual sistema de metro ha presentado una solución de líneas de metro para mejorar o ampliar el servicio de transporte en otras regiones de Medellín, velar por esta proyección y su conexión con las regiones de interés en los STCA.

5.3.20 Nuevos problemas causados por la introducción o implantación del sistema

El nuevo sistema de transporte público a implementar requiere del diseño de nuevos trayectos, que muy posiblemente afectará a las personas de la región y a personas de los municipios aledaños al proyecto, por el impacto que el nuevo sistema pueda ejercer en el ambiente o posibles efectos como ruido o tráfico permanente del sistema.

No se descarta la posibilidad de relocalizar residencias, tiendas, casa fincas, galpones, o algún tipo de entidad comercial para poder realizar el nuevo trayecto, este con seguridad será un problema causado por la implementación del nuevo sistema, que debe ser evaluado y solucionado por las vías legales, en beneficio de todas las partes.

El nuevo sistema requiere tener características únicas de operación, cada sistema de transporte será único, sin dudas existirá resistencia por parte de algunos ciudadanos que se oponen y opondrán a este tipo de desarrollo.

5.3.21 Tareas que deben realizarse para que el sistema atienda el estado de régimen

A continuación, se citan algunas tareas que deben ser consideradas para el adecuado desarrollo del proyecto:

- **Tareas administrativas.** Establecer la estructura organizacional que debe ser implementada para el desarrollo de todo el proyecto y la posibilidad de creación de unas empresas particulares o del DA que administrará el STCA en cada uno de los municipios donde se instalaran los sistemas.

- ❑ **Tareas financieras.** Deben ser consideradas esencialmente la forma de composición del capital, los financiamientos necesarios y el capital de giro. Es una tarea importante evaluar las alternativas de subsidios o incentivos de la alcaldía de Medellín, de la alcaldía de cada municipio y del DA.
- ❑ **Tareas jurídico-legales.** Asignar contratos, formalización de entrega de materia prima, compra de tecnología y/o patentes, impuestos, incentivos fiscales proporcionados por los gobiernos.
- ❑ **Tareas económicas.** Análisis de mercado, demanda del sistema de transporte, precios de los billetes o boletos, valor por trayecto, canales de distribución de los billetes, estudio del valor de la mano de obra disponible en cada municipio, según las especificaciones y funciones de los cargos a desempeñar.
- ❑ **Tareas de medio ambiente.** Estudios de medio ambiente, impacto del proyecto en el medio ambiente, paisajismo, reforestación.
- ❑ **Tareas técnicas.** Evaluación de alternativas de STCA, selección de materiales, procesos de producción, procesos de montaje, ensayos y pruebas de los equipos, subsistemas y partes.

5.3.22 Legado que debe ser heredado de sistemas existentes

El principal sistema de transporte existente en el medio donde el proyecto va a ser desarrollado es el Metro-Medellín, de este se pueden destacar los siguientes legados:

- ❑ Que el sistema tenga mucha visión social.
- ❑ Que tenga una excelente organización y estructura administrativa.
- ❑ La correcta forma de integrar el STCA, con otros medios de transporte.
- ❑ La modernidad de los distintos elementos que conforman el sistema de transporte.
- ❑ La visión para ser un sistema que pueda tener durabilidad en el tiempo.
- ❑ La estructura flexible y bien pensada, para que el sistema de transporte sea usado por personas con alguna limitación física.
- ❑ Seguridad técnica y planes de emergencia.

5.3.23 Riesgos

- ❑ Problemas con la comunidad para aceptar el proyecto.
- ❑ Riesgos con personas dueñas de residencias, fincas, entidades comerciales y otros, por donde será trazado el nuevo trayecto o ruta.

- Riesgos administrativos que pueden generar atrasos en el proyecto, por la cantidad de trámites que un proyecto de esta complejidad conlleva.
- Riesgos en las construcciones civiles que podrían aumentar los costos del proyecto.
- Riesgos en la compra de insumos del exterior, equipos o subsistemas necesarios.
- Riesgos en el cálculo de costos iniciales, por experiencia en otros proyectos en el municipio o en el DA, o porque los proyectos se ultrapasaran en los costos y tiempo de ejecución.

5.3.24 Costo estimado de las fases y del sistema final

A seguir se mencionan algunos aspectos importantes que son determinantes en las distintas fases del proyecto:

- Costos de aprobación del proyecto.
- Costos de estudios geológicos.
- Costos por obras eléctricas.
- Costos de obras civiles.
- Costos de planes de educación y sensibilización para la comunidad y para la ciudad de Medellín o para cada región donde se implementará el sistema.
- Costos por la compra de equipos especiales, para la construcción de la obra.
- Costos del STCA o la solución implementada.
- Costos por la compra de tierras y pago de impuestos.
- Costos del gerenciamiento del proyecto, honorarios de la ingeniería del proyecto.
- Costos de mano de obra operativa y especializada en todo tipo de actividad.
- Costos de contratación y capacitación para los empleados.



6. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LOS STCA, EN LOS MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA-COLOMBIA

A seguir los resultados de la implementación de la metodología desarrollada para los STCA, para los municipios de DA en Colombia, que comprende cinco fases a saber:

- I **Fase I. Guías del proyecto.** Son las fuerzas relacionadas con el proyecto. Por ejemplo: el propósito del proyecto es una guía del proyecto, como lo son todas las partes involucradas, cada una por diferentes razones, está compuesta por:
 - I I-1. El propósito del proyecto.
 - I I-2. El cliente, el comprador y otras partes involucradas.
 - I I-3. Usuarios del proyecto.
- I **Fase II. Restricciones del proyecto.** Son restricciones sobre el proyecto debido al presupuesto o tiempo disponibles para construir el proyecto, está compuesta por:
 - I II-4. Restricciones obligatorias.
 - I II-5. Denominación de acuerdos y definiciones.
 - I II-6. Hechos relevantes y suposiciones.
- I **Fase III. Requisitos funcionales.** Son los sujetos fundamentales o esenciales que constituyen la médula del proyecto. Ellos describen lo que el proyecto tiene que hacer o cuáles acciones de procesamiento debe tomar, está compuesta por:
 - I III-7. El alcance del trabajo.
 - I III-8. El alcance del proyecto.
 - I III-9. Requisitos funcionales y datos.
- I **Fase IV. Requisitos no funcionales.** Son las propiedades que las funciones deben tener, tales como desempeño y capacidad de uso. El término no funcionales es utilizado porque es la forma más común de referirse a este tipo de requisitos. Estos requisitos son tan importantes como los requisitos funcionales para el éxito del proyecto, está compuesta por:

- IV-10. Requisitos de percepción.
 - IV-11. Requisitos capacidad de uso y humanidad.
 - IV-12. Requisitos de desempeño.
 - IV-13. Requisitos operacionales y ambientales.
 - IV-14. Requisitos de preservación y soporte.
 - IV-15. Requisitos de seguridad.
 - IV-16. Requisitos culturales y políticos.
 - IV-17. Requisitos legales.
- **Fase V. Aspectos del proyecto.** Definen las condiciones bajo las cuáles se hará el proyecto. La razón para incluirlos como parte del proyecto es presentar un cuadro coherente de todos los factores que contribuyen al éxito o la falla de este e ilustrar cómo los gerentes pueden usar los requisitos como información al dirigir un proyecto, está compuesta por:
 - V-18. Aspectos abiertos.
 - V-19. Soluciones disponibles.
 - V-20. Nuevos problemas.
 - V-21. Tareas.
 - V-22. Migración al nuevo proyecto.
 - V-23. Riesgos.
 - V-24. Costos.
 - V-25. Documentación del usuario y entrenamiento.
 - V-26. Sala de espera.
 - V-27. Ideas para soluciones.

Los resultados y el desarrollo detallado de todas las fases del modelo implementado para los STCA en los municipios de Antioquia, se presenta aquí a manera de ejemplo con el proyecto piloto del municipio de Jardín, lo cual también puede ser implementado y replicado en otros proyectos de los municipios del DA. Aquí se verán empleadas la gran mayoría de los conceptos y definiciones utilizadas en el capítulo anterior, y es esto lo que se busca, orientar paso a paso que se puede replicar a varios proyectos específicos en diferentes municipios del DA, pero por medio de esta metodología estructurada y organizada.

6.1 Fase I. Guías del proyecto

- I-1. El propósito del proyecto.
- I-2. El cliente, el comprador y otras partes involucradas.
- I-3. Usuarios del proyecto.

6.1.1 I-1. El propósito del proyecto

- I **Descripción del requisito.** Se establece como objeto realizar una investigación que permita la adaptación tecnológica de un STCA, a las condiciones específicas, tanto topográficas como económicas y funcionales del municipio, con base en la evaluación de alternativas existentes en el mundo y gestionar la construcción en el municipio de Jardín.

Jardín se destaca por ser uno de los municipios de Antioquia con mayor desarrollo turístico, se espera que con el STCA se fortalezca este desarrollo promoviendo las visitas al cerro Cristo Rey, ya que para los habitantes de la población se destaca como uno de los sitios más lindos de Jardín, desde donde se puede apreciar una agradable panorámica del pueblo y sus alrededores.

Para los mismos habitantes el STCA, representará una opción de transporte hacia el cerro Cristo Rey, ya que la población que más concurre a este sitio lo hace en época de la semana santa como sacrificio o realiza la subida para hacer una actividad deportiva, pero muchos habitantes han dejado de subir por la edad y por las exigencias físicas que representa el camino.

- I **Proyectos con énfasis en lo social.** Es indiscutible el requerimiento de mejores medios de comunicación entre las diferentes regiones de Antioquia por la urgencia de desarrollar medios de transporte que le faciliten a los pobladores de zonas apartadas sacar sus productos para la comercialización, y la necesidad de diversificar los ingresos en las regiones que mejoren la calidad de vida de los habitantes.

Frente a la problemática del subdesarrollo vial y a los costos sociales que ello implica para el DA, es imprescindible la evaluación de nuevas alternativas de transporte, entre las cuales se encuentran los STCA, que pueden sortear las difíciles condiciones topográficas, técnicas y económicas de nuestras regiones para que sean generadoras y promotoras de desarrollo.

Si bien es cierto que los proyectos requieren un análisis de mercados, es importante considerar que los proyectos con énfasis en lo social deberán mirarse desde otra perspectiva y específicamente el impacto social generado y aunque no se pretende que un sistema bajo esta orientación arroje ingresos significativos, sí deben ser auto sostenibles por tanto el análisis para la demanda estará orientado a definir las características de economía, funcionalidad y seguridad que cumpla con las definiciones enunciadas anteriormente.

6.1.2 I-2. El cliente, el comprador y otras partes involucradas

Descripción del requisito:

- I **El cliente.** El DA, a través de la SIF, está desarrollando el programa de Cables Aéreos en Antioquia, los cuales consideran que tienen gran trascendencia no solo como promotores del turismo, sino por su componente social especialmente para la Antioquia campesina; con el proyecto de nuevos cables serán fundamentales estos dos factores: turismo, social; al tomar la decisión de las nuevas obras.
- I **El comprador.** El municipio de Jardín tiene en la actualidad 15133 habitantes aproximadamente, distribuidos de la siguiente forma: el área rural con 6389, el área urbana con 7244, y las comunidades indígenas con 1500 personas aproximadamente.

Los pobladores de la vereda La Salada y La Selva llegan alrededor de 107 personas, los cuales habitan 22 viviendas.

Se identifican dos mercados, siendo el primero un cliente interno, correspondiente a las personas que habitan el municipio de Jardín, representado en 2100 personas con capacidad económica y que pueden destinar un ingreso a recreación y un mercado generado representado en 13450 personas que ingresan al municipio, ya sea por turismo religioso, turismo en general que dedica su tiempo de esparcimiento en las fiestas organizadas a lo largo del año.

Existe un mercado alternativo que puede estar representado por los 107 pobladores que habitan las 22 viviendas de las veredas La Salada y La Selva (sectores que comprenden el cerro Cristo Rey) que circundan el proyecto. En la vereda La Selva no hay escuela, por lo tanto, la población escolar tiene que acudir a la escuela de la vereda La Salada o desplazarse hacia la cabecera municipal, lo que implica transitar la vía del cerro Cristo Rey.

En general los segmentos están orientados a familias, culto religioso, grupos de jóvenes, grupos de amigos, turistas y habitantes del municipio de Jardín.

- I **Otras partes involucradas.** A manera de ejemplo la Empresa de Cables Aéreos S.A. (ECA). Es una empresa contratista, que tiene como misión aportar una solución a los problemas de movilidad de carga liviana y pasajeros, tanto en sitios de interés turístico como en comunidades de difícil acceso, debido a su topografía quebrada; incorporando activamente a la población en la construcción de las obras y en la operación de los STCA, cuidando siempre el medio ambiente.

6.1.3 I-3. Usuarios del proyecto

Descripción del requisito:

- I **Habitantes del municipio.** El municipio de Jardín tiene en la actualidad 15133 habitantes aproximadamente, distribuidos de la siguiente forma: el área rural con 6389, el área urbana con 7244, y las comunidades indígenas con 1500 personas aproximadamente. Los pobladores de la vereda La Salada y La Selva llegan a 107 personas, los cuales habitan 22 viviendas.
- I **Municipio de Jardín.** Alcaldía Municipal de Jardín, la Oficina de Catastro del municipio, establecimientos de comercio y empresas prestadores del servicio de transporte en la zona de influencia del proyecto.
- I **Turistas y visitantes.** El origen de los visitantes es variado y va desde los municipios como Andes, Jericó, Támesis hasta ciudades como Medellín, Pereira, Armenia, Manizales, Cali y se registran algunos visitantes de EE.UU y Suiza. La mayor parte de los turistas provienen de las ciudades de Medellín, Pereira, Armenia, Bogotá, y en una mínima proporción de extranjeros.
- I **Agencias de turismo.** Entre los lugares de compra de programas turísticos con destinos regionales sobresalen *Realturs* y Comfenalco que cuenta con una excelente infraestructura y calidad en servicios.
- I **Departamento de Antioquia, grupo de Cables en la Secretaría de Infraestructura Física.** Profesional especializado la SIF, ingenieros de la SIF, Centro Administrativo Departamental José María Córdova - La Alpujarra.
- I **Empresa de Cables Aéreos ECA S.A.** Es una empresa de economía mixta colombiana creada para ayudar a la integración de las comunidades y al desarrollo económico de las regiones. Construyendo equidad y mejorando las oportunidades de la población menos favorecida. El grupo ECA es la sumatoria de empresas con amplia experiencia en cada una de las áreas que integran los sistemas de transporte por cable.
- I **Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia "Corantioquia".** Para la inspección del sitio de las obras y la determinación de las afectaciones ambientales que se pueden generar. Una vez se realicen las visitas, el personal técnico de Corantioquia emitirá un concepto con los requerimientos ambientales específicos.

6.2 Fase II. Restricciones del proyecto

- I II-4. Restricciones obligatorias.
- I II-5. Denominación de acuerdos y definiciones.
- I II-6. Hechos relevantes y suposiciones.

6.2.1 II-4. Restricciones obligatorias

Descripción del requisito:

- I **Restricciones de solución.** La normatividad colombiana y específicamente el decreto 1072 de 2004, exige una serie de requisitos y estudios que deben soportar la construcción, montaje y puesta en marcha de un STCA.
- I **Ambiente de implementación del sistema.** Con el objetivo de tener una idea clara y concreta de los diseños y sus componentes se debe hacer una caracterización del sistema tecnológico empleado en el proyecto, tomando como referencia la economía, funcionalidad, seguridad del sistema y teniendo como referente el concepto inicial que define proyectos escalables, reproducibles y de fácil operación y mantenimiento.
- I **Ambiente anticipado del lugar de trabajo.** Los estudios de soporte técnico son fundamentales para el diseño de los sistemas a implementar, para ello es importante conocer las características topográficas, medio ambientales, la calidad del suelo que soportará las estructuras, estudios del entorno y de la zona de influencia del cable, entre otros.
- I **Restricciones presupuestarias.** Presupuesto necesario e indispensable para llevar a cabo todas las fases del proyecto.

6.2.2 II-5. Denominación de acuerdos y definiciones

Descripción del requisito:

A continuación, se presenta la definición de todos los términos, incluyendo acrónimos, usados en el proyecto del municipio de Jardín.

- I **Aeroriel.** Es un sistema de rieles colgantes por péndolas de cables portantes sostenidos por torres.
- I **Bicable.** Este término se refiere a que en el transporte por cable existen uno o varios cables destinados a soportar la carga, y otros diferentes destinados a transmitir la tracción.
- I **Cableducto.** Consiste en un sistema de cables que soportan una cabina capaz de transportar un vehículo automotor, el cual, al estar sobre la plataforma impulsa con el movimiento de sus ruedas unos rodillos encargados de transmitir esta fuerza a la cabina, de forma que la hace mover a lo largo de los cables.
- I **Cable portante.** Es aquel que constituye la vía de circulación y soporta la carga; también se conoce como cable carril o cable portador.

- I **Cable tractor.** Es el que transmite la fuerza para el movimiento, también se conoce como cable de tracción.
- I **Cable transportador.** Es aquel que a la vez soporta carga y transmite la fuerza para el movimiento; se conoce también como portador-tractor.
- I **Cablevías.** Son sistemas utilizados para el transporte de productos agrícolas como frutos y flores. En lugar de cables, utilizan varillas que sirven como elementos portadores. La mercancía se cuelga de ganchos que se mueven generalmente a partir de tracción humana o animal por medio de una cuerda cabestrante.
- I **De movimiento continuo.** Se mueven a una velocidad constante.
- I **Embrague y desembrague.** Permite un acceso y descenso confortable a una velocidad lenta en las estaciones y una velocidad de hasta 6 m/s sobre la línea.
- I **Funiculares.** Se entiende por funicular toda instalación en la que uno o más cables tiran de los vehículos que se desplazan sobre una vía colocada por el suelo o soportada por obras fijas, se asocia a los sistemas de transporte ferroviario.
- I **Hidrogravi.** Consiste en un teleférico con dos cabinas que trabajan en vaivén, las cuales están dotadas de un tanque, que al ser llenado de agua, arrastra su propio peso y el de la cabina ascendente.
- I **Instalaciones de pinza desembragable o temporal.** En estos sistemas el elemento de acoplamiento permite desacoplar los vehículos del cable. En este tipo de instalaciones la unión del vehículo al cable se efectúa a la salida de la estación y se libera a la llegada del vehículo a la estación siguiente.
- I **Instalaciones de pinza fija o permanente.** En estos sistemas el elemento de acoplamiento queda unido al cable de forma permanente. La unión del vehículo al cable se mantiene tanto en el recorrido de la línea como en las estaciones.
- I **Monocable.** Este término se refiere a que en el transporte por cable la función de portar la carga y la tracción se realizan a través de un único cable.
- I **Movimiento de vaivén.** El movimiento presenta inversiones cíclicas; es decir, que los vehículos presentan dos movimientos, uno de ida y otro de vuelta entre las estaciones en el mismo cable.
- I **Movimiento unidireccional o circulante.** En este tipo de sistema de transporte por cable aéreo los vehículos se mueven siempre en el mismo sentido, bajo condiciones normales.

- I **Pulsantes.** Los cables se mueven de manera intermitente o a una velocidad que varía periódicamente según la posición de los vehículos.
- I **Sistemas de 2 y 3 cables.** Los sistemas de 2 o 3 cables son la combinación de una telecabina con un teleférico vaivén. Son teleféricos desembragables de circulación continua con una cabina de 30 personas y una capacidad de transporte de hasta 6000 personas/hora.
- I **Sistema autopropulsado.** Puede describirse como un microbús que viaja colgado de dos cables portantes y se tracciona por medio de triadas sobre dos cables tractores fijos.
- I **Sistema de mando que controla el movimiento automático.** Es el STCA en la cual la acción de movimiento es automática y el desplazamiento de los viajeros queda limitada solo a la puesta en marcha del sistema, sin que sea necesaria ninguna intervención posterior durante la operación.
- I **Sistema de mando que controla el movimiento manual.** Es el STCA en el que durante todo el tiempo de operación la marcha está regulada por un agente técnico situado en la sala de máquinas, o bien en los andenes o en los vehículos.
- I **Sistema de transporte por cable aéreo.** Aquella instalación en la que se emplean cables metálicos situados a lo largo del recorrido que se quiere cubrir, bien para definir la vía misma de circulación de los vehículos o bien para transmitir a éstos un esfuerzo motor o frenante. Hacen parte del sistema, los cables, los vehículos o cabinas, las estructuras de soporte y las edificaciones de embarque y desembarque.
- I **Sistema de transporte por cable aéreo para producción industrial.** Cuando se movilizan materiales o productos dentro de un lugar de trabajo o entre varios puestos de trabajo que hacen parte de un mismo proceso productivo.
- I **Sistema de transporte por cable aéreo para movilización de mercancías con intercambio e integración modal de la carga.** Son los que permiten movilizar mercancías que van a comercializarse, usando varios modos de transporte con estaciones integradas.
- I **Sistema de transporte por cable aéreo para movilización urbana.** Es cuando se movilizan personas cuyos viajes son por motivo de estudio, trabajo, salud o adquisición de bienes y servicios. Se conectan a diferentes veredas, barrios o sectores de un mismo núcleo urbano.
- I **Sistema de transporte por cable aéreo turísticos.** Se utilizan para potenciar la actividad turística de ciertos lugares y en consecuencia para activar la economía en este sector.

- I **Sistema de transporte por cable aéreo deportivos.** Son los que se utilizan básicamente para el traslado de deportistas.
- I **Teleférico.** Es un medio de transporte que consiste en cabinas con capacidad para llevar un grupo de personas. Las cabinas viajan suspendidas de un cable tensor (portador) y son accionadas por un segundo cable (tractor) o por el mismo cable portador, que en este caso sería el denominado portador tractor.
- I **Teleféricos bicable.** Son un sistema en el que circulan una o dos cabinas compuestas por un mecanismo de traslación, dispositivo de suspensión y cabina en servicio vaivén entre las estaciones. Los vehículos son movidos por un cable tractor sobre uno o dos cables portantes.
- I **Teleféricos bicables con doble cable transportador.** Son sistemas compuestos por dos cables portadores ubicados a gran distancia uno del otro y por un cable tractor.
- I **Teleférico de grupo.** Es un sistema monocable con pinzas fijas y movimiento circulatorio pulsado. Consta de dos o cuatro grupos de cabinas y se detiene en las estaciones para que los viajeros suban o bajen.
- I **Teleféricos monocables de doble cable transportador.** Son aquellos teleféricos monocables en los que se disponen dos cables transportadores paralelos a una distancia de 3,2 m; que se mueven sincrónicamente, formando una vía.
- I **Teleférico de vehículo automotor.** Son aquellos STCA en los que únicamente existe el cable portante porque el vehículo es automotor, en este sistema el vehículo circula sobre uno a o más cables portantes impulsándose por sus propios medios.
- I **Telesillas fijas.** Pertenecen a los STCA de sujeción permanente. Se utilizan tanto para el turismo de verano como para el turismo de invierno. Las sillas de 2, 4 y 6 puestos están unidas fijamente al cable.
- I **Telesquí.** Son aparatos diseñados específicamente para que los esquiadores puedan subir hasta las pistas mediante un sistema de arrastre, montados en sus esquís, sin necesidad de una cabina o una silla.
- I **Corantioquia.** Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia.
- I **ECA.** Empresa de Cables Aéreos S.A.
- I **STCA.** Sistema de Transporte por Cable Aéreo.

6.2.3 II- 6. Hechos relevantes y suposiciones

Descripción del requisito:

En Colombia existe el decreto 1072 de 2004 que orienta sobre la normatividad para la construcción, montaje y puesta en marcha de proyectos STCA; sin embargo, en cuanto a especificaciones técnicas no existen criterios definitivos por lo que se deberá, hasta tanto no haya un estudio a profundidad, referirse a la aplicabilidad de las normas técnicas europeas como las adoptadas por España y Francia.

Es importante mencionar que las especificaciones técnicas de acuerdo con los estándares europeos involucran eventos y condiciones que no aplican al entorno de nuestras regiones, y tratar de adaptar tecnologías bajo esos eventos no hace factible un proyecto cuya pretensión es beneficiar comunidades rurales, dado que los costos de construcción y operación son elevados para nuestras economías.

Es necesario entonces retomar estudios regionales respecto a los estándares internacionales y hacerlos parte integral de las adaptaciones tecnológicas a los STCA para los municipios antioqueños, para evaluar su comportamiento y definir los parámetros que sean punto de partida para nuevas adaptaciones a las condiciones topográficas, climáticas y económicas de nuestras regiones.

- **Normatividad Colombiana.** Decreto 1072 de 2004 (abril 13), “por el cual se reglamenta el Servicio Público de Transporte por Cable de Pasajeros y Carga”.

Ley 105 de 1993. (diciembre 30), “por la cual se dictan disposiciones básicas sobre el transporte, se redistribuyen competencias y recursos entre la Nación y las Entidades Territoriales, se reglamenta la planeación en el sector transporte y se dictan otras disposiciones”.

Ley 336 de 1996. (diciembre 20), “por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Transporte”.

Decreto número 1220 de 2005, “por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales”.

- **Estudios relevantes.** “Términos de referencia técnico-ambientales para la construcción, montaje y operación de transporte aéreo por cable”, realizado para la Secretaría de Obras Públicas del DA.
- **Normatividad extranjera.** Real decreto 596/2002, de 28 de junio, “por el cual se regulan los requisitos que deben cumplirse para la proyección, construcción, puesta en servicio y explotación de las instalaciones de transporte de personas por cable”.

Orden de 14 de enero de 1998, “por la que se aprueba el pliego de condiciones técnicas para la construcción y explotación de las instalaciones de teleféricos y funiculares para transporte de viajeros”.

6.3 Fase III. Requisitos funcionales

- I III-7. El alcance del trabajo.
- I III-8. El alcance del proyecto.
- I III-9. Requisitos funcionales y datos.

6.3.1 III-7. El alcance del trabajo

Descripción del requisito:

- I **La situación actual.** Es indiscutible el requerimiento de mejores medios de comunicación entre las diferentes regiones de Antioquia por la urgencia de desarrollar medios de transporte que le faciliten a los pobladores de zonas apartadas sacar sus productos para la comercialización, y la necesidad de diversificar los ingresos en las regiones que mejoren la calidad de vida de los habitantes.

Frente a la problemática del subdesarrollo vial y a los costos sociales que ello implica para el DA, es imprescindible la evaluación de nuevas alternativas de transporte, entre las cuales se encuentran los STCA, que pueden sortear las difíciles condiciones topográficas, técnicas y económicas de nuestras regiones para que sean generadoras y promotoras de desarrollo.

- I **Aspectos generales.** La dimensión turística es uno de los componentes esenciales de los sectores productivos y culturales del municipio de Jardín, considerándolo el centro turístico de la región del Suroeste.

El STCA, no es nuevo para los Jardineños, la utilización del teleférico se ha llevado a cabo durante varios años, con una orientación al transporte de pasajeros entre veredas y como recreación. En la actualidad el proyecto del STCA de Jardín, se plantea como una inmensa posibilidad para estimular la economía del municipio.

- I **Justificación social.** Jardín se destaca por ser uno de los municipios de Antioquia con mayor desarrollo turístico, se espera que, con el STCA, se fortalezca este desarrollo promoviendo las visitas al cerro Cristo Rey, que para los habitantes de la población se destaca como uno de los sitios más lindos de Jardín, desde donde se puede apreciar una agradable panorámica del pueblo y sus alrededores.

Para los mismos habitantes este STCA representará una opción de transporte hacia el cerro, ya que la población que más concurre a este sitio lo hace en época de semana santa como sacrificio o realiza la subida en razón de hacer una actividad deportiva, pero muchos habitantes han dejado de subir por la edad y por las exigencias físicas que representa el camino.

- **El contexto del trabajo.** El diagrama de contexto del trabajo identifica el trabajo que tiene que investigarse para ser capaz de desarrollar el sistema de transporte por cable, para tal efecto se evalúan los aspectos globales para la implementación y desarrollo del proyecto.

6.3.2 III-8. El alcance del proyecto

El sistema de transporte a desarrollar debe funcionar en un trayecto óptimo que cubra las principales vías de la región hasta una estación del actual trayecto del sistema de transporte que esté operando en el municipio.

El sistema por desarrollar funcionará acorde al actual horario del municipio, por ejemplo, desde las 5:00 a.m. hasta 11:00 p.m.

Debe contemplar operarse todos los días incluso los días festivos.

El sistema debe ser óptimo en los horarios de mayor uso: 6:00 a.m., 8:00 a.m., 12:00 m., 2:00 p.m., 6:00 p.m., 8:00 p.m. y 10:00 p.m.

6.3.3 III-9. Requisitos funcionales y datos

Los principales requisitos funcionales del STCA son:

- El sistema debe permitir el desplazamiento de personas desde las cabeceras municipales hasta una estación del sistema y viceversa.
- El sistema debe permitir fácil y ágilmente la interconexión con las estaciones de otros servicios de transporte.
- El sistema debe recorrer la distancia en el menor tiempo posible.
- Debe ser un sistema de transporte que pueda ser empleado por todo tipo de usuarios: edad y limitaciones físicas.
- El sistema de transporte debe operar continuamente entre las 5:00 a.m. y as 11:00 p.m.
- El sistema de transporte debe contemplar la geografía montañosa de la región, los usuarios se encuentran en la parte alta de la montaña y algunas cabeceras municipales en el valle.
- El sistema debe funcionar con seguridad sin afectar el medio ambiente.

Los principales datos requeridos para llevar a cabo el sistema de transporte son:

- Se requieren datos del número de habitantes actuales de la región y el municipio de Jardín.
- Se requiere realizar proyecciones futuras del crecimiento de la población de la región.
- Se deben considerar los datos geográficos y topográficos de la región y la forma de establecimiento de sus habitantes.
- Se debe estudiar los datos de trayectos actuales que los habitantes de la región emplean para llegar hasta las estaciones de otros servicios de transporte.
- Se debe obtener datos de los trayectos viables que la nueva alternativa de sistema de transporte realizará.
- Se debe estudiar los datos de la infraestructura física de las estaciones de los servicios de transporte existente, que podrían servir como punto de conexión.
- Se requieren los datos de los proyectos de construcción: vías, puentes, edificios, obras civiles y eléctricas; que se están desarrollando o se llevaran a cabo en la región y en los municipios cercanos.

6.4 Fase IV. Requisitos no funcionales

- IV-10. Requisitos de percepción.
- IV-11. Requisitos capacidad de uso y humanidad.
- IV-12. Requisitos de desempeño.
- IV-13. Requisitos operacionales y ambientales.
- IV-14. Requisitos de preservación y soporte.
- IV-15. Requisitos de seguridad.
- IV-16. Requisitos culturales y políticos.
- IV-17. Requisitos legales.

6.4.1 IV-10. Requisitos de percepción

Los usuarios del sistema de transporte tienen preferencia por un sistema que sea cómodo, que pueda tener un formato similar a los vehículos de transporte público modernos, con sillas confortables, que si están de pie el sistema permita sujetarse fácilmente y de forma segura independiente de su altura. Que el sistema tenga una apariencia limpia.

El usuario desea que el sistema de pago y la tarifa para usar el sistema sea similar al empleado en el sistema de cable Metro-Medellín con tiquetes o tarjeta cívica.

6.4.2 IV-11. Requisitos capacidad de uso y humanidad

El sistema debe contemplar los requisitos de usabilidad de tal forma que facilite el uso:

- Debe asegurar la ubicación de todo tipo de usuarios incluso aquellos con alguna limitación física.
- Los usuarios deben poder hacer uso del sistema de forma fácil.
- Que los usuarios puedan ingresar y salir del sistema sin ninguna dificultad.
- Que pueda usar fácilmente el mecanismo de tiquetes u otra forma implementada para hacer uso del sistema de transporte.
- Que estando dentro del vehículo o sistema de transporte pueda interactuar de forma adecuada con los elementos internos existentes, sillas, puertas, ventanas, iluminación, aire acondicionado, señalización y mapas, sillas para uso especial.
- Que sean implementadas señalizaciones escritas, incluso sonoras, para permitir el uso del sistema para todo tipo de usuarios del mundo, contemplando otros idiomas, mínimo español e inglés.
- Que existan señalizaciones de alerta y alarma debidamente marcados.

6.4.3 IV-12. Requisitos de desempeño

En este requisito podemos definir:

- El sistema de transporte debe permitir un desplazamiento de los usuarios en el trayecto trazado en un tiempo estimado de 15 minutos, reduciendo en una tercera parte el tiempo actual estimado de 45 minutos.
- El sistema de transporte debe poseer características de desempeño propias del sistema seleccionado, sin ultrapasar las normas de velocidad establecidas.
- La capacidad de respuesta del sistema debe ser inmediata, debido a su implementación con el hombre debe ser confiable y seguro.
- Debe permitir el ingreso y salida de los usuarios con seguridad y cerrar la puerta después de una señal previa y que indique que el sistema se va a desplazar.
- El sistema podría presentar posibles paradas en el trayecto, por algunos defectos del sistema o algún otro factor externo, caso una emergencia y por tanto se debe contemplar la forma de evacuar los pasajeros con seguridad.

- Los puntos de parada del sistema para el ingreso o salida de los pasajeros deben estar dentro de un intervalo mínimo de distancia.
- El sistema debe ser estable, minimizando posibles movimientos abruptos debidos al movimiento del sistema.
- El sistema debe poseer forma de identificar posibles sobre pesos que sean generados, determinando la cantidad de usuarios y su peso para unas condiciones óptimas de desplazamiento.
- El sistema debe ser inteligente de tal forma que identifique bloqueos inadecuados en puertas o ventanas por alguna persona o agente externo.
- El sistema se debe adaptar, debe ser flexible a los cambios tecnológicos de tal forma que se puedan implementar mejoras tecnológicas.

6.4.4 IV-13. Requisitos operacionales y ambientales

En este requisito podemos definir:

- El sistema por desarrollar operará exclusivamente en el municipio de Jardín, contemplando su temperatura media, es una región montañosa, considerar la velocidad de sus vientos.
- El sistema operará a la intemperie; es decir, que estará expuesto a los agentes externos normales del medio ambiente de la región como son: lluvia, sol, polvo, entre otros.
- Operará sobre condiciones normales de uso, no será empleado para otro uso que no sea el transporte de personas, animales, cargas o mercancías, definir muy bien su uso y no modificarlo.
- Se implementarán los subsistemas que garanticen una operación en las condiciones para el cual el sistema fue proyectado.
- El sistema operará a través de las vías o rutas actuales o nuevas, interactuando en lo mínimo con algún otro sistema de transporte existente o con otra señal de tránsito. De esta forma se busca que posea una ruta exclusiva para su desplazamiento.
- Lo más importante es que el sistema pueda ser interconectado con alguna de las actuales estaciones de otros sistemas de transporte existentes.

6.4.5 IV-14. Requisitos de preservación y soporte

En este requisito podemos definir:

- Según los propios cambios de las condiciones del sistema a desarrollar se debe implementar fácil y rápidamente cambios en los requisitos del sistema, como por ejemplo: cantidad de usuarios, velocidades de desplazamiento, número de paradas en el trayecto trazado, rutas específicas, capacidad de los vehículos.

- El sistema de transporte podrá tener nuevas versiones de vehículos en los tiempos que el DA, determine por ley por la vida útil de este tipo de sistemas.
- El sistema poseerá un documento de soporte que apoyara a los usuarios en caso de falla, existirá un equipo técnico que conozcan todos los posibles modos de falla del sistema y la forma de solucionar estos.

6.4.6 IV-15. Requisitos de seguridad

En este requisito podemos definir:

- El sistema operará considerando todas las medidas de seguridad que son necesarias y obligatorias para el transporte de personas.
- Se desplazará respetando las normas y señales de tránsito vigentes.
- El sistema será proyectado de tal forma que sea confiable, minimizando cualquier nivel de riesgo existente.
- Será realizado un adecuado plan de mantenimiento que garantice la seguridad del sistema.
- Se proveerán y tomarán las medidas de seguridad por agentes externos al sistema.
- El sistema se desplazará siempre con puertas y ventanas cerradas, en el caso de que estas estén abiertas antes de iniciar el desplazamiento el sistema se bloqueará como medida de seguridad.
- El sistema de tiquetes o tarjetas implementado permitirá tener un control completo y seguro con las debidas medidas para evitar falsificaciones.

6.4.7 IV-16. Requisitos culturales y políticos

En este requisito podemos definir:

- El sistema por desarrollar operará en el municipio de Jardín, se debe dar importancia a todos los aspectos sociales, políticos y culturales existentes en cada región.
- El proyecto se destaca por ser un proyecto social cuyos beneficiarios finales son personas de bajos recursos económicos. El proyecto busca mejorar el servicio de transporte e implementar planes de educación, recreación y cultura a través del sistema de transporte.
- Es vital conocer en detalle a la comunidad directa, sus costumbres y actividades. Su estilo de vida, para que a través del proyecto sea mejorada la calidad de vida de la comunidad.
- Serán la Alcaldía de Medellín y la GA las entidades que reglamentan todos los aspectos políticos del proyecto los cuales serán ejecutadas por la SIF.

6.4.8 IV-17. Requisitos legales

En este requisito podemos definir:

El transporte de pasajeros segundo decreto colombiano 1072 del año 2004, es aquel que se presta sobre la responsabilidad de una empresa pública o privada de transporte legalmente constituida y debidamente habilitada en esta modalidad.

La autoridad competente, para todos los efectos que tienen relación con el servicio público de transporte es el Ministerio de Transporte, que establece las normas y las especificaciones técnicas requeridas para este servicio. El control y la vigilancia de la prestación del sistema de transporte estarán sobre la responsabilidad de la Superintendencia de Puertos y Transporte, a través de la Superintendencia Delegada de Tránsito y Transporte.

6.5 Fase V. Aspectos del proyecto

- I V-18. Aspectos abiertos.
- I V-19. Soluciones disponibles.
- I V-20. Nuevos problemas.
- I V-21. Tareas.
- I V-22. Migración al nuevo proyecto.
- I V-23. Riesgos.
- I V-24. Costos.
- I V-25. Documentación del usuario y entrenamiento.
- I V-26. Sala de espera.
- I V-27. Ideas para soluciones.

6.5.1 V-18. Aspectos abiertos

En este requisito podemos definir:

Una serie de asuntos se deben mantener en abierto en estos proyectos, como por ejemplo: los problemas de seguridad pública los cuales comprometen y mantienen dudas sobre el control del proyecto; algún tipo de atentado terrorista en el sistema es una cuestión en abierto, y es difícil contemplar todas las posibles alternativas y sus soluciones.

6.5.2 V-19. Soluciones disponibles

A continuación, se lista algunas soluciones existentes y que podrían ser aprovechadas:

- I **Sistema de transporte por bus.** Aprovechar el actual parque automotor de buses existentes en el municipio de Jardín.

- **Sistema de transporte por microbús.** Se emplean los microbuses para el transporte de pasajeros.
- **Sistema de transporte con taxis.** Actualmente se emplean flotas de taxis como servicio público en esta región.
- **Tren.** Aunque este sistema no existe en la región Nordeste es una alternativa viable y conocida en la ciudad y los municipios antioqueños.
- **Línea de Metro.** El actual sistema de Metro ha presentado la solución de líneas de Metro para mejorar el servicio de transporte en otras regiones de Medellín.

6.5.3 V-20. Nuevos problemas

En este requisito podemos definir:

El nuevo sistema de transporte público a implementar requiere de un nuevo trayecto que afectara a personas de la región y personas de los municipios cercanos, por el impacto que el nuevo sistema puede ejercer en el ambiente o posibles efectos como ruido, el tráfico permanente del sistema.

No se descarta la posibilidad de reubicar residencias, tiendas o algún tipo de entidad comercial para realizar el nuevo trayecto, este con seguridad será un problema causado por la implementación del nuevo sistema que debe ser evaluado y solucionado por las vías legales.

En el proceso de implementación del nuevo sistema se generarán efectos negativos para el normal funcionamiento del parque automotor existente.

El nuevo sistema requiere tener características únicas de operación, sin duda existirá resistencia por parte de algunos ciudadanos que se opondrán a este tipo de desarrollo.

El actual sistema de transporte público empleado por las personas de la región, algunos de carácter público formal y otros de carácter informal, serán afectados directamente al perder estos pasajeros.

6.5.4 V-21. Tareas

A continuación, se citan algunas tareas que deben ser consideradas para el adecuado desarrollo del proyecto:

- **Tareas administrativas.** Establecer la estructura organizacional que debe ser implementada para el desarrollo de todo el proyecto y la posible creación de una empresa particular o del DA que administrará el sistema.

- **Tareas financieras.** Deben ser consideradas esencialmente la forma de composición del capital, los financiamientos necesarios y el capital de giro.
- **Tareas jurídico-legales.** Firma de contratos, suministro de materia prima, compra de tecnología y/o patentes, impuestos, incentivos fiscales suministrados por las administraciones de: Jardín, Medellín, Antioquia, Colombia.
- **Tareas económicas.** Análisis del mercado, demanda del sistema de transporte, precios de los tiquetes, canales de distribución de los tiquetes, estudio del valor de la mano de obra disponible.
- **Tareas del medio ambiente.** Estudios de medio ambiente, impacto del proyecto en el medio ambiente, paisajismo, reforestación.
- **Tareas técnicas.** Evaluación de alternativas de STCA, selección de materiales, procesos de producción, procesos de montaje, ensayos de los equipos.

Un oportuno plan de educación debe ser desarrollado y dirigido a toda la comunidad del municipio de Jardín.

Seminarios, charlas, informes y los diversos medios de comunicación existentes deben ser empleados para sensibilizar a los ciudadanos del municipio de la importancia del proyecto.

Las tareas comprenden también visitas a las escuelas, a los colegios, a las veredas, los barrios; realizando actividades recreativas y culturales con las personas de la región.

6.5.5 V-22. Migración al nuevo proyecto

En este requisito podemos definir:

Uno de los sistemas de transporte existentes en el medio donde el proyecto va a ser desarrollado es el Metro-Medellín, de este se pueden destacar y resaltar los siguientes aspectos:

Que el sistema tenga mucha visión social; que posea excelente organización y estructura administrativa; la forma de integrar el sistema de transporte con otros medios de transporte; la modernidad de los distintos elementos que conforman el sistema de transporte; el confort dentro del sistema de transporte; la visión para ser un sistema que pueda tener durabilidad en el tiempo; que el sistema se permita integrar a planes de empresas y escuelas para su amplio uso; la estructura para que el sistema de transporte sea usado por personas con alguna limitación física; seguridad técnica y planes de emergencia; adecuada señalización durante todos los trayectos e información para todos los usuarios.

6.5.6 V-23. Riesgos

Una serie de riesgos pueden surgir en el proyecto, a seguir se citan los más importantes:

- Problemas con la comunidad por la no aceptación del proyecto.
- Riesgos con personas propietarios de residencias, lotes o entidades comerciales por donde será trazado el nuevo trayecto.
- Riesgos administrativos que pueden generar atrasos en el proyecto, por la cantidad de trámites.
- Riesgos en las construcciones civiles que podrían aumentar los costos del proyecto.
- Riesgos de negociación en la compra de tierras, casas, edificios o empresas.
- Riesgos de continuidad en las políticas gerenciales, el proyecto probablemente pase por varias gerencias debido a que estas obedecen a políticas del municipio de Jardín y del DA.
- Riesgos en la compra de insumos del exterior, equipos o subsistemas necesarios.
- Problemas que puedan surgir con otras obras civiles o viales en construcción en la ciudad.
- Errores en los datos empleados para estimar el número de usuarios que pueden hacer uso del sistema, lo cual lleva a riesgos en la magnitud del sistema.
- Riesgos en el cálculo de costos iniciales, los proyectos podrían ultrapasar en costos y tiempo de ejecución.

6.5.7 V-24. Costos

A seguir se mencionan algunos aspectos importantes que son determinantes en las distintas fases del proyecto: costos de aprobación del proyecto; costos de estudios geológicos; costos por obras eléctricas; costos de obras civiles; costos de planes de educación y sensibilidad para la comunidad y la región; costos de fabricación de prototipos y maquetas para mostrar a los usuarios; costos para pago de abogados y documentos legales; costos por la compra de equipos especiales para la construcción de la obra; costos del sistema de transporte o solución implementada; costos por la compra de terrenos y pago de impuestos; costos de estudios ambientales; costos por el gerenciamiento del proyecto, pagos por la ingeniería del proyecto; costos de pruebas y ensayos de los sistemas; costos de importación de equipos o insumos; costos de mano de obra operativa y especializada en todo tipo de actividad; costos de arquitectura y paisajismo; costos de contratación y capacitación para los empleados; costos por imprevistos.

6.5.8 V-25. Documentación del usuario y entrenamiento

Es importante planear la documentación y entrenamiento para los usuarios, entre los aspectos de este documento se deben considerar:

- Uso de los tiquetes o tarjetas y cuidados.
- Ingreso en el sistema de transporte.
- Documento de rutas y estaciones.
- Documento con planes de emergencia.
- Documento con normas de seguridad.
- Normas y reglas de comportamiento e higiene dentro del sistema de transporte.
- Documento de uso del sistema para personas con deficiencias físicas.
- Documento de usabilidad del sistema.
- Documento con el organigrama de operación.
- Diseño de página *web* con información general: técnica, social, cultural, educativa.

6.5.9 V-26. Sala de espera

En este requisito podemos definir:

Realizar un paro en el proyecto para reflexionar y analizar el proyecto en todas sus fases de manera macro, si se están cumpliendo los objetivos trazados, realizar una reprogramación de actividades del cronograma inicial y reformulación del proyecto.

En la sala de espera es importante realizar una revisión de todo tipo de documentos que se hayan generado y estudiar estos en detalle.

Es importante realizar reuniones de todos los grupos de trabajo y comités conformados y que de igual forma se presenten los reportes de cambios realizados o problemas presentados a la fecha.

6.5.10 V-27. Ideas para soluciones

En este requisito podemos definir:

Algunos asuntos que no sean tratados en este sistema de transporte pueden ser incluidos en versiones futuras, todas esas buenas ideas deben ser documentadas y guardadas de tal forma que puedan ser usadas posteriormente.

Tal vez algunas soluciones tecnológicas de sistemas de transporte puedan ser interesantes, pero que los recursos actuales descarten estas alternativas, toda la información de requisitos levantada del asunto es una anticipación para proyectos futuros de características similares.

6.6 Herramienta desarrollada para aplicar el modelo a los STCA en los municipios de Departamento de Antioquia

A continuación, se presenta el desarrollo de una herramienta (desarrollada por los autores de este estudio) para aplicar la metodología a los STCA, en los municipios del DA y que los diferentes proyectos de STCA pueden replicar.

En las Figuras 23 al 29 se muestran imágenes, resultado de las páginas más importantes de la herramienta desarrollada, que destacan cada una de las fases del modelo, en el cual se implementaron todas las fases anteriormente descritas.

De la misma forma que se presenta en este estudio, cada uno de los proyectos en sus estudios de viabilidad puede implementar esta metodología, siguiendo de forma estructurada, ordenada y secuencial cada una de las fases, y se lograran resultados satisfactorios que vislumbrarán la viabilidad o no del proyecto.

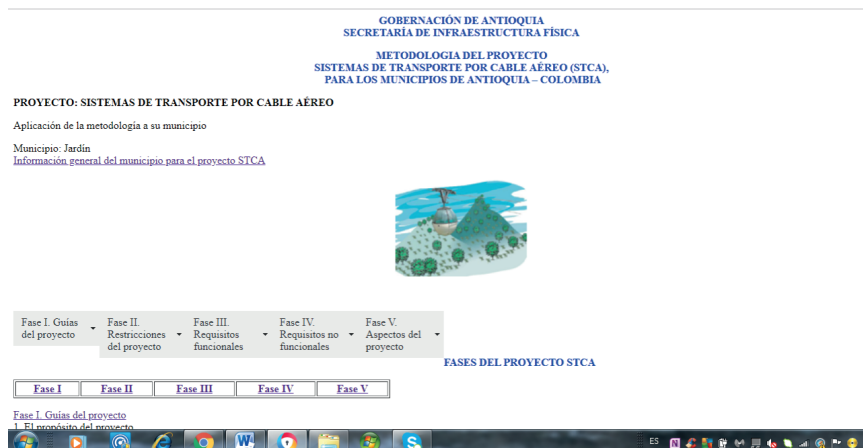


Figura 23. Página principal de la herramienta desarrollada con todas las fases de la metodología. Fuente: propia

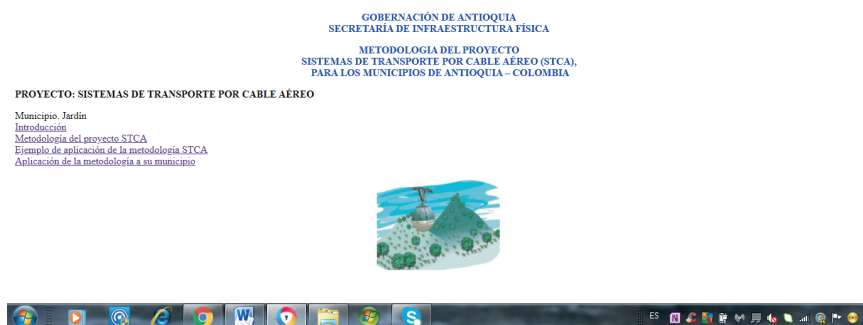


Figura 24. Página principal de la herramienta desarrollada con información base del proyecto para aplicar la metodología. Fuente: propia

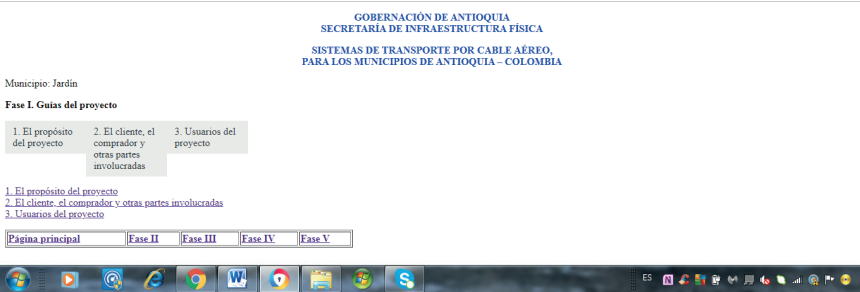


Figura 25. Herramienta desarrollada de la metodología, página de la Fase I. Guías del proyecto. Fuente: propia

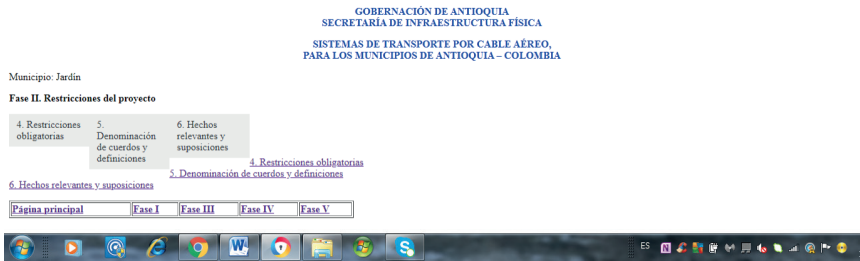


Figura 26. Herramienta desarrollada de la metodología, página de la Fase II. Restricciones del proyecto. Fuente: propia

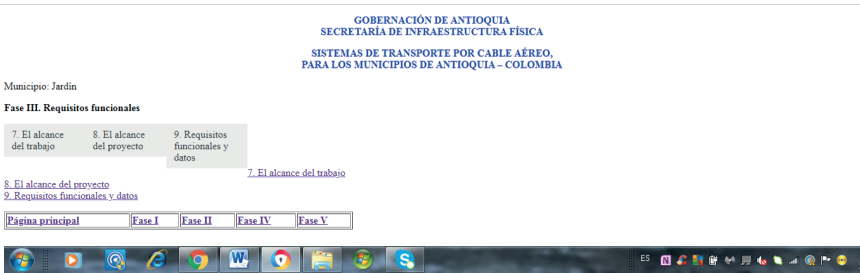


Figura 27. Herramienta desarrollada de la metodología, página de la Fase III. Requisitos funcionales del proyecto. Fuente: propia

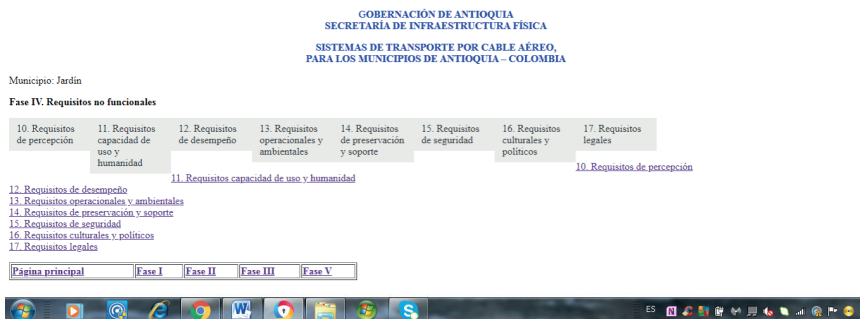


Figura 28. Herramienta desarrollada de la metodología, página de la Fase IV. Requisitos no funcionales. Fuente: propia

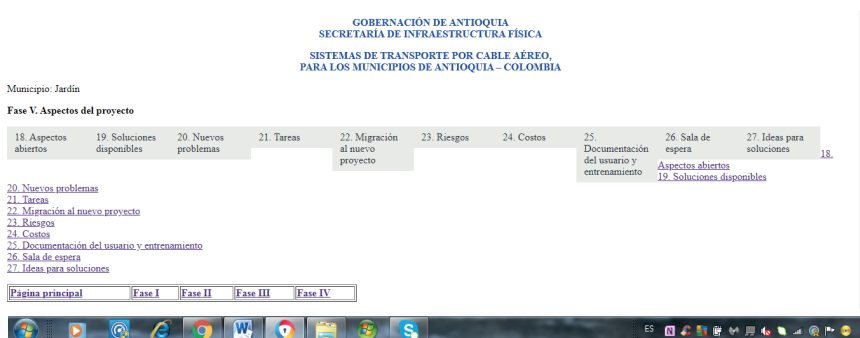


Figura 29. Herramienta desarrollada de la metodología, página de la Fase V. Aspectos del proyecto. Fuente: propia

La herramienta desarrollada es de fácil uso e implementación, ella contiene ayudas y ejemplos que les permite a los usuarios entender todos los conceptos, definiciones y orientan en el diligenciamiento de cada uno de ellos. La herramienta es aplicable para todos y cada uno de los STCA que se están proyectando en el Departamento de Antioquia.



CONCLUSIONES

Los municipios del DA en Colombia, con las características propias de su relieve, la distribución de su población rural y su economía, propician un ámbito ideal para el desarrollo de tecnologías de STCA.

La mayoría de las aplicaciones han sido desarrolladas por compañías extranjeras, desde los inicios de este tipo de transporte, con escaso aporte de la ingeniería nacional del país (Colombia) donde se realiza el proyecto, luego se hace necesario fortalecer grupos de investigación aplicada al desarrollo tecnológico de ésta área, para instalar técnicamente proyectos de transporte por cable aéreo, que atiendan las necesidades de conectividad de la población rural en los municipios de DA, en una primera fase de diseño; como también la aplicación de éstos conocimientos, en proyectos de construcción.

Los STCA, tienen un gran potencial para cargar productos y personas en la geografía montañosa de algunas regiones de las zonas antioqueñas, no en todas; sus instalaciones son armónicas con el medio ambiente y menos susceptibles a riesgos, posibilitando a las poblaciones tener un mayor control económico sobre el comercio y el transporte, que el que tienen con las carreteras actuales.

La tecnología de los STCA, se enmarca en dinámicas sociales, económicas, ambientales, de productividad y competitividad, en la medida que está orientado a fortalecer una industria nacional, regional y local, que requiere de desarrollo tecnológico a fin de ofertar soluciones de bajo costo a comunidades que tienen deficiencias sustanciales en su desarrollo social y conectividad a la economía nacional; de desarrollo turístico en diversas modalidades, de desarrollo de proveedores nacionales para las infraestructuras de STCA ya instaladas y futuras, así mismo consolida la presencia del estado colombiano en las zonas de actuación con este tipo de infraestructura.

Los municipios del DA, deben de considerar el STCA, como una alternativa viable que puede combinarse con los otros medios y vías de transporte; dicha solución permite el transporte público o turístico ya que existen invaluable riqueza naturales que este sistema protege, sirve para el transporte de animales y para innumerables productos agrícolas, minerales y de procesos de manufactura que se generan en cada

municipio específico. Las soluciones de diseño con los STCA son simples y viables económica y tecnológicamente, la apropiación de tecnología para el desarrollo de los STCA está en nuestras manos.

La implementación del proceso *Volere*, en la procura de los requisitos para mejorar la movilidad de las personas en los municipios del DA en Colombia, permite obtener una serie de especificaciones de requisitos que esclarecen el problema en estudio.

El tema de estudio es muy complejo debido a su magnitud y a los diversos agentes existentes en el proyecto, pero la implementación del proceso *Volere* paso a paso, con sus diagramas y fases, permite considerar todas las fases del proyecto de forma rigurosa.

Los requisitos aquí presentados no son los requisitos finales del proyecto, pero si se obtiene información con criterio para avanzar con éxito en los proyectos de STCA. Se requiere estudiar todas las fases propuestas, pero muchas fases requieren estudios mucho más profundos y detallados.

En la medida en que se estudian cada uno de los pasos del proceso *Volere* y se obtienen los diagramas, los requisitos del proyecto quedan más consistentes y el proyecto mejor formulado.

Por la magnitud y complejidad del proyecto presentado, una implementación completa y juiciosa del modelo, permitirá avanzar con suceso en las demás fases del proyecto.

La implementación de los requisitos en el proyecto permite definir diferentes actividades y tareas que deben ser estudiadas con mayor cuidado para el éxito del proyecto.

Los usuarios finales del proyecto son un agente importantísimo, que deben ser considerados durante todas las fases del proyecto, deben considerarse sus aspectos sociales, culturales, económicos y políticos con mucha atención.

La implementación rigurosa del modelo y la herramienta presentada permite obtener una serie de requisitos y especificaciones a través de mecanismos formales; la implementación que se obtiene en este trabajo es un avance muy importante, para demostrar la viabilidad o no de su uso y aplicación en los proyectos de STCA, pero se requiere dar especial atención a una serie de detalles que forman parte del problema de los STCA, para obtener las relaciones óptimas en la solución.

La alternativa de solución mediante un STCA representa una buena solución que debe ser analizada cuidadosamente en las otras fases del proyecto.

Los temas estudiados e implementados permiten obtener los requisitos formales del sistema de transporte y es una herramienta muy valiosa en este tipo de problemas complejos como es la alternativa del STCA para los municipios del DA en Colombia.

Se recomienda considerar y emplear para un adecuado estudio para la viabilidad técnica de los sistemas de transporte aéreo, tres tipos de metodologías:

Una primera es como se desarrolló en el estudio para el municipio de Jericó que comprende los siguientes aspectos: ubicación geográfica, análisis socioeconómico de la zona de influencia, análisis de mercados y demanda de viajeros, descripción del sistema tecnológico del cable aéreo, aspectos financieros, análisis de aspectos ambientales, manual de usuario, manual de operación, manual de mantenimiento, manual de seguridad.

Una segunda metodología como la estructurada por el proceso *Volere*, que incluye principalmente: el propósito del proyecto, los interesados en el sistema, los usuarios finales, las restricciones al funcionamiento del sistema, nombres especiales que surgen del funcionamiento o de la propia existencia del sistema, hechos relevantes que distinguen el sistema, metas del equipo de trabajo, el contexto de funcionamiento del sistema, requisitos funcionales y datos requeridos, apariencia del producto, requisitos de usabilidad, requisitos de desempeño, requisitos operacionales, requisitos de mantenimiento y portabilidad, requisitos de seguridad, requisitos de orden político y cultural, requisitos legales, problemas en abierto que pueden comprometer el proyecto, soluciones que serán utilizadas o reutilizadas, nuevos problemas causados por la introducción o implementación del sistema, tareas que deben realizarse para que el sistema atienda el estado de régimen, legado que debe ser heredado de sistemas existentes, riesgos y costo estimado de las fases y del sistema final.

Y por último considerar una forma estructura y organizada de implementar una metodología con ayuda de una herramienta como la desarrollada, que incluya cinco fases a saber: Fase I. Guías del proyecto, que comprende: el propósito del proyecto; el cliente, el comprador y otras partes involucradas; usuarios del proyecto. Fase II. Restricciones del proyecto, compuesta por: restricciones obligatorias, denominación de acuerdos y definiciones, hechos relevantes y suposiciones. Fase III. Requisitos funcionales, compuesta por: el alcance del trabajo, el alcance del proyecto, requisitos funcionales y datos. Fase IV. Requisitos no funcionales, está compuesta por: requisitos de percepción, requisitos capacidad de uso y humanidad, requisitos de desempeño, requisitos operacionales y ambientales, requisitos de preservación y soporte, requisitos de seguridad, requisitos culturales y políticos, requisitos legales y por último la Fase V. Aspectos del proyecto, está compuesta por: aspectos abiertos, soluciones disponibles, nuevos problemas, tareas, migración al nuevo proyecto, riesgos, costos, documentación del usuario y entrenamiento, sala de espera, ideas para soluciones.

Este libro es el resultado del estudio de viabilidad en el tema y su objetivo es lograr contribuir en los estudios de viabilidad técnica de los sistemas de transporte por cable aéreo que se visionan construir en el Departamento de Antioquia.

REFERENCIAS

A.C.I. Proyectos S.A. (2007). Interventoría la construcción y puesta en marcha de los sistemas de transporte por cable aéreo en los municipios de Támesis, Yarumal, Nariño y San Andrés de Cuerquia. Propuesta técnica. Gobernación de Antioquia. Secretaría de infraestructura física para la integración y desarrollo de Antioquia. Solicitud de propuesta SP N°. Con 20-48-2007-BID. Bogotá D.C, pp. 104.

A. Gutiérrez O. (1995). Diseño de *software* para el cálculo de cables portantes en sistemas de transporte teleférico. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

A. Andreu A., L. Gil, P. Roca. (2006). *A new deformable catenary element for the analysis of cable net structures*.

Adaptación tecnológica de un sistema de transporte por cable a las condiciones específicas, tanto topográficas como económicas y funcionales de los municipios de Antioquia (2008). Catálogo de precios. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Gobernación de Antioquia. Cables para la integración y la equidad, pp. 21.

Adaptación tecnológica de un sistema de transporte por cable a las condiciones específicas, tanto topográficas como económicas y funcionales de los municipios de Antioquia. Informe final (2008). Recomendaciones. Escuela de Ingeniería de Antioquia, pp. 52.

Asimov M. (1962). *Introduction to design*, Prentice Hall.

Bieber M., Galnares R., Lu Q. (1998). *Web engineering and flexible hypermedia. 2nd Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia (Hypertext)*.

Bieber M. (1999). *Hypermedia: A design philosophy*. *ACM Computing Surveys*. ACM 12.

Catálogo. Doppelmayr (2005). General *information*. Austria. *Doppelmayr seilbahnen GMBH. Rickenbacherstra Be 8-10, Postfach 20*, pp. 137.

Catálogo: *Central Parking System*, pp. 12.

Catálogo Erico. *Facility electrical protection solutions*, pp. 20.

C. Arias A., J. Posada G. (2003). Diseño conceptual de una transmisión mecánica y selección de una fuente de potencia para un sistema de transporte autónomo de carga por cable con mecanismo de triada". Universidad Nacional de Colombia.

C. Berrio M. (2000). Diseño de una estación tensora motriz por sistema de monocable para transporte de pasajeros. Universidad Nacional de Colombia.

C. Seidel, D. Dinkler. (2006). *Rain-wind induced vibrations - phenomenology, mechanical modelling and numerical analysis*.

Chen Nan, H.R. Meyer-Piening, C. Decking. (1998). *Dynamic behaviour of cable supporting roller batteries: basic model*.

Chorapas D. M. (2002). *Interprize architecture and new generation information systems*.

D. Bruno, A. Leonardi. (1998). *Nonlinear structural models in cableway transport systems*.

D. Ceballos R., R. Henao Z. (1999). Diseño de un teleférico autopropulsado para transporte de carga. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Da Silva S.M, Bonin M. R., Paludo M.A.; *The requirements elicitation according to the Volere Method*.

Directive europeenne de transports a cable et normalisation. (1998). *Directeur du Service Technique des Remontées Mécaniques - St-Martin d'Hères France*.

Doppelmayr A. (1997). *Conceptual inputs for optimizing the functional efficiency of circulating monocable ropeways*. Wolfurt.

Doppelmayr. *Documentação técnica da empresa Doppelmayr, Garaventa e CWA*.

Durán A. (1999). Un entorno metodológico de ingeniería de requisitos para sistemas de información. Ph. Tesis. Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos. Universidad de Sevilla. Sevilla.

Elementos iniciales para la elaboración de un parque temático en la zona de influencia del área urbana del municipio de El Peñol e inmediaciones del Embalse. (2007). Municipio de El Peñol. Oficina de Planeación., pp. 36.

Estudio de prefactibilidad teleférico Los Embalses. (2008). Convenio interadministrativo 97-CI-20-1750. Departamento de Antioquia. Secretaría de obras públicas, división de cables. ECA. Empresa de cables aéreos S.A. Experiencia del personal del proponente en diseño y fabricación de sistemas de transporte por cable aéreo, pp. 131.

Ertas A.; Jones J. C. (1993). *The engineering design process*, Wiley, New York.

Escalona M.J. (2004). Modelos y técnicas para la especificación y el análisis de la navegación en sistemas software. Tesis Doctoral. Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática. Universidad de Sevilla. Sevilla.

Evaluación técnica del teleférico El Zancudo - San Luís - La Plata (2005). Municipio de Argelia. Contrato 2005-CC-20-031. S.T. Funitel Ltda. Gobernación de Antioquia. Secretaría de Infraestructura Física, pp. 75.

Evbuomwan N.F.O., Sivaloganathan S., Jebb A. (1996). *A survey of design philosophies, models, methods and systems. Proceedings Institution of Mechanical Engineers, part B: Journal of Engineering Manufacture*, vol 210, pp. 301-320.

Fausto Veranzio. *Mezzi di trasporto*. Obra de FaustoVeranzio <https://www.anitif.org/storia-delle-funivie/>

Fischer M.C.B.O. (2001). *Estudo de requisitos para um software educativo de apoio ao ensino da introdução à computação*. Dissertação de mestrado. Local: USP - Universidade de São Paulo.

G. Pérez. (1997). Colgado de las nubes. Historia de los cables aéreos en Colombia. Editorial Nomos S.A. Santa Fe de Bogotá.

Greco G. (1971). Teleféricos de vaivén. Teleféricos de movimiento continuo. *Curso de transporte por cabo Conselho Superior de Transportes Terrestres*, Ministerio de Obras Públicas, Madrid, pp. 57-93.

H. Ernest. (1969). Aparatos de elevación y transporte. Tomos I, III. Editorial Blume. Barcelona.

Hill P.H. (1970). *The science of engineering design*, Holt, Rinehart and Winston, Inc., USA.

Informe de actividades de avance. Contrato No. 2007-CO-20-119. (2007). Mejoramiento y mantenimiento del sistema de transporte por cable aéreo entre las veredas El Zancudo, San Luís y El Brillante en el municipio de Argelia. Unión temporal S.T Funitel Ltda., pp. 21.

Investigación & Desarrollo del prototipo experimental de un sistema de transporte por cable aéreo y la puesta en marcha del proyecto piloto. (2005). Alianza Empresa - Universidad - Estado. Estrategia para el desarrollo regional. Escuela de Ingeniería de Antioquia, pp. 30.

J. Arango L. y E. Fresneda B. (1998). Construcción y operación de teleféricos para pasajeros: *Ministere de l'équipement, du logement, des transports et de la mer republique francaise*. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

J. Cervera C. (1991). Diseño del cabrestante para un sistema de transporte por cable aéreo. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

J. Ramírez G., S. Rúa N. (1998). Diseño de silla y cabeza de torres para sistema de telesilla. Universidad Nacional de Colombia.

Jacobson I., Booch G., Rumbaugh J. (1999). *The unified software development process*. Ed. Addison-Wesley.

James M. W. Brown John. (1997). *Dynamics of an aerial cableway system*.

Jarke M., Bubenko J., Rolland C., Sutcliffe A., Vassilious Y. *Theories underlying requirements engineering: An Overview of Nature at Gênesis*.

K. Ko owrocki. (2001). *Asymptotic approach to reliability evaluation of rope transportation system*. *Reliability Engineering & System Safety*, volume 71, issue 1, pages 57-64.

Kaminski P.A. (2000). *Desenvolviendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade*. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

Koch N. (2001). *Software engineering for adaptative hypermedia applications*. Ph. Thesis, *Fast Reihe Softwaretechnik Vol (12)*, Uni-Druck Publishing Company, Munich. Germany.

Kontoy A C.; Somerville, I. (2002). *Requirements engineering: John Wille & Sons*.

Kusiak A. (1999). *Engineering design: Product, process and automation; Academic Press*.

Lowe D., Eklund J. (2002). *Client needs and the design process in web projects*. *Web Engineering Track of the www2002 Conference*.

M. Abejón. (1985). El Transporte en la sociedad actual. Aula Salvat. Barcelona.

M. D. Kuruppu, A. Tytko and T. S. Golosinski. (2000). *Loss of metallic area in winder ropes subject to external wear. Engineering Failure Analysis, volume 7, issue 3, pages 199-207.*

M. Giglio and A. Manes. (2005). *Life prediction of a wire rope subjected to axial and bending loads. Engineering Failure Analysis, volume 12, issue 4, pages 549-568.*

Maffin D. (1998). *Engineering design models: context, theory and practice, Journal of Engineering Design, vol.9, n. 4, pp. 315-327.*

Mejoramiento y mantenimiento del sistema de transporte por cable aéreo entre las veredas El Zancudo, San Luís, y El Brillante, en el municipio de Argelia. (2007). Departamento de Antioquia. Secretaría de Infraestructura Física para la integración y el desarrollo de Antioquia. Contratación directa N°. CD.20-37-2007. S.T Funitel Ltda., pp. 130.

Mistree F. et al. (1990). *Decision-based design: A contemporary paradigm for ship design, Sname Transactions, vol. 98, pp. 565-597, New York.*

Pahl G., Beitz W. (1996). *Engineering desing: a system approach. Edited by Ken Wallace. 2nd ed. London: Springer.*

Parque temático viejo Peñol. Municipio de El Peñol. (2006). Dirección de Planeación, pp. 95.

Plan de trabajo y evaluación preliminar. Diseño construcción y puesta en marcha del sistema de transporte por cable aéreo del municipio de San Andrés de Cuerquia. (2007). Empresa de cables aéreos S.A. E.C.A, pp. 42.

Propuesta económica Teleférico casco urbano Municipio de Montebello, vereda El Encenillo, vereda Sabaletas. (2008). Sistema de transporte por cable. Sistrac S.A., pp. 17.

Proyecto adaptación tecnológica en el municipio de San Andrés de Cuerquia. (2007). Informe de investigación sistema de transporte por cable con vehículo autopropulsado. Escuela de Ingeniería de Antioquia, pp. 54.

Proyecto cable teleférico - Municipios de Guatapé y El Peñol. (1997). Determinación de las coordenadas definitivas para puntos de control. Memoria técnica de los trabajos ejecutados por Aeroestudios Ltda., para la Secretaría de Obras Públicas de Antioquia, pp. 66.

Proyecto de investigación. Adaptación tecnológica de un sistema de transporte por cable a las condiciones específicas, tanto topográficas como económicas y funcionales de los municipios de Antioquia. (2007). Tabla de potencias, pendientes y catenarias. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín.

Proyecto Teleférico. El Zancudo, San Luís, El Brillante. Municipio de Argelia. (2007). Departamento de Antioquia. Contrato N°. CD. 20-37-2007. Mejoramiento y mantenimiento. Volumen 1/2. Directrices de mantenimiento del sistema mecánico, eléctrico, de potencia, control y planos mecánicos. S.T. Funitel Ltda., pp. 95.

Proyecto Teleférico. El Zancudo, San Luís, El Brillante. Municipio de Argelia. (2007). Departamento de Antioquia. Contrato N°. CD. 20-37-2007. Mejoramiento y mantenimiento. Volumen 2/2. Catálogos, hojas técnicas, manuales de servicio, instalación, operación de equipos y certificados de pruebas. S.T. Funitel Ltda., pp. 267.

Raghuathana, S.C. Hiremathb, K.R. Paknikarc. *Failure of locked coil wire rope of coal handling system. P. Parameswarana, V.S.*

R. Rautioaho, J. Kivimaa and M. Moilanen. (1994). *Stress response of Barkhausen noise in high carbon steel cables and ropes. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, volume 129, issues 2-3, pages 217-225.*

Robertson J., Robertson S. (2003). *Volere - requirements specification template. Londres: Atlantic Systems Guild. 9ª Edição, 59 p.*

Robertson J., Robertson S. (2006). *Principals of the atlantic systems guild. Volere requirements specification template, edition 11.*

Rossi G. (1996). *An object oriented method for designing hipermedia applications. PHD Thesis, Departamento de Informática, PUC-Rio, Brazil.*

Ruiz Requena A. (1995). *Sistemas de transporte. Universidad de Granada, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid.*

S. Beretta and M. Boniardi. (1999). *Fatigue strength and surface quality of eutectoid steel wires. International Journal of Fatigue, volume 21, issue 4, pages 329-335.*

S. Kmet, M. Tomko and J. Brda. (2006). *Time-dependent analysis and simulation-based reliability assessment of suspended cables with rheological properties. Advances in Engineering Software, In Press, Corrected Proof, available online.*

Sarjoughian H. and Gerrier F. *Discrete event modeling and simulation technologies.*

Silva J.R. (2007). *Metodologia do projeto de sistemas. Curso PMR-5009. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica. São Paulo.*

Stefan Margreth. (2006). *Snow pressure on cableway masts: Analysis of damages and design approach*.

Sociedad franco-española de alambres, cables, y transportes aéreos. (1966). España.

Suministro, transporte, construcción, montaje y puesta en marcha de un sistema de cables para el transporte de personas a la parte superior de una montaña, sistema tipo telesilla. (1996). Departamento de Antioquia. Secretaría de Obras Públicas. Licitación pública N°. 04-96. Sistema llave en mano. Reserva ecológica - Cerro Quitasol. Municipio de Bello, pp. 38.

Teleférico San Dieguito - Sauces - Peñoles. (2007). Corregimiento de San Dieguito. Municipio de Liborina. Departamento de Antioquia. Alcance: Evaluación y diagnóstico socioeconómico, factibilidad ambiental, componente técnico y aspecto financiero. Volumen 1 de 2. Elabora S.T. Funitel Ltda., pp. 141.

Tiempos modernos. (2006). Revista electrónica de tiempos modernos. Volumen 5, número 14. www.tiemposmodernos.org/viewarticle.php?id=120&layout=html

Tremey G. (1971). Planteamiento general del transporte por cable. *Curso de transporte por cable*, Consejo Superior de Transportes Terrestres, M.O.P., Madrid, pp.25-55.

Universidad Nacional de Colombia y Gobernación de Antioquia. (1996). Estudio de prefactibilidad cable para transporte mixto Argelia - Aquitania. Colombia.

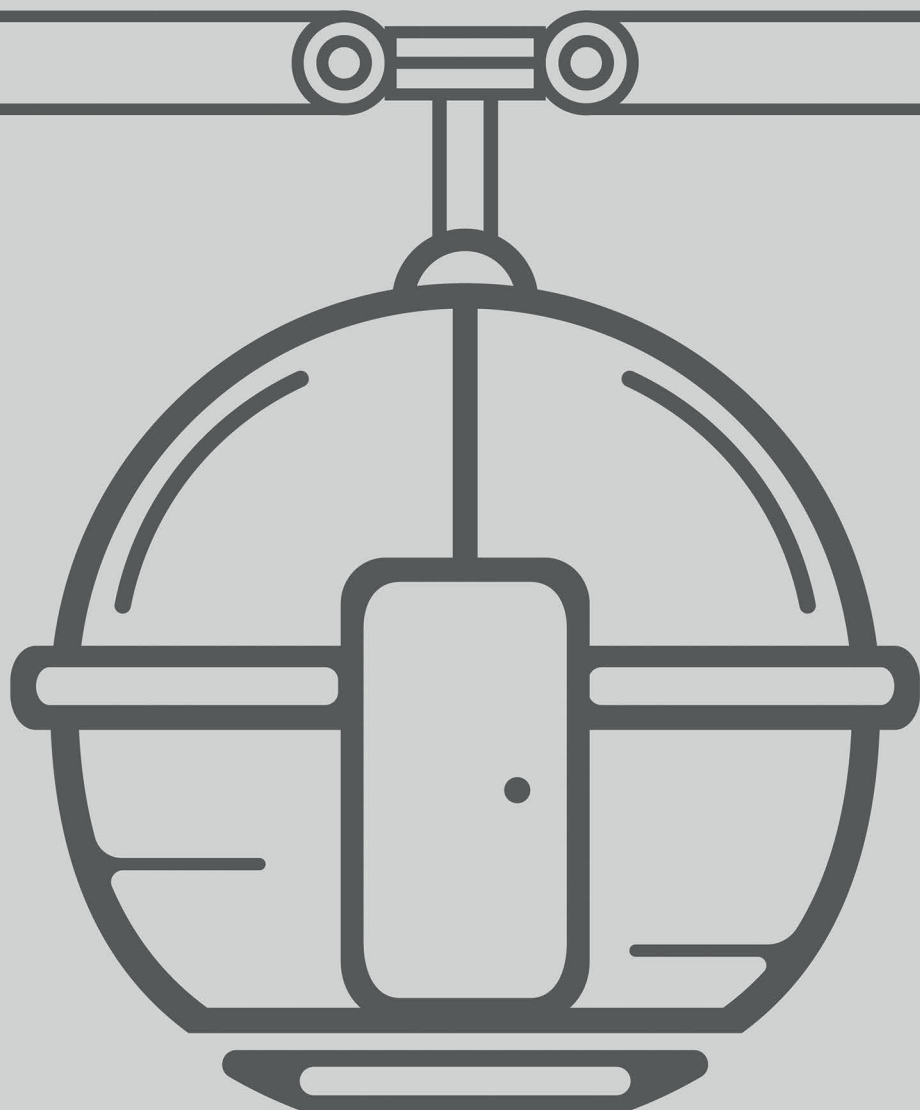
Universidad Nacional Sede Medellín. (1998). Grupo interdisciplinario de estudio de transporte por cable GIETC, pp. 252.





Vernadat F. (1996). *Enterprise, modeling and integration: Principles and applications*. Chapman & Hall.

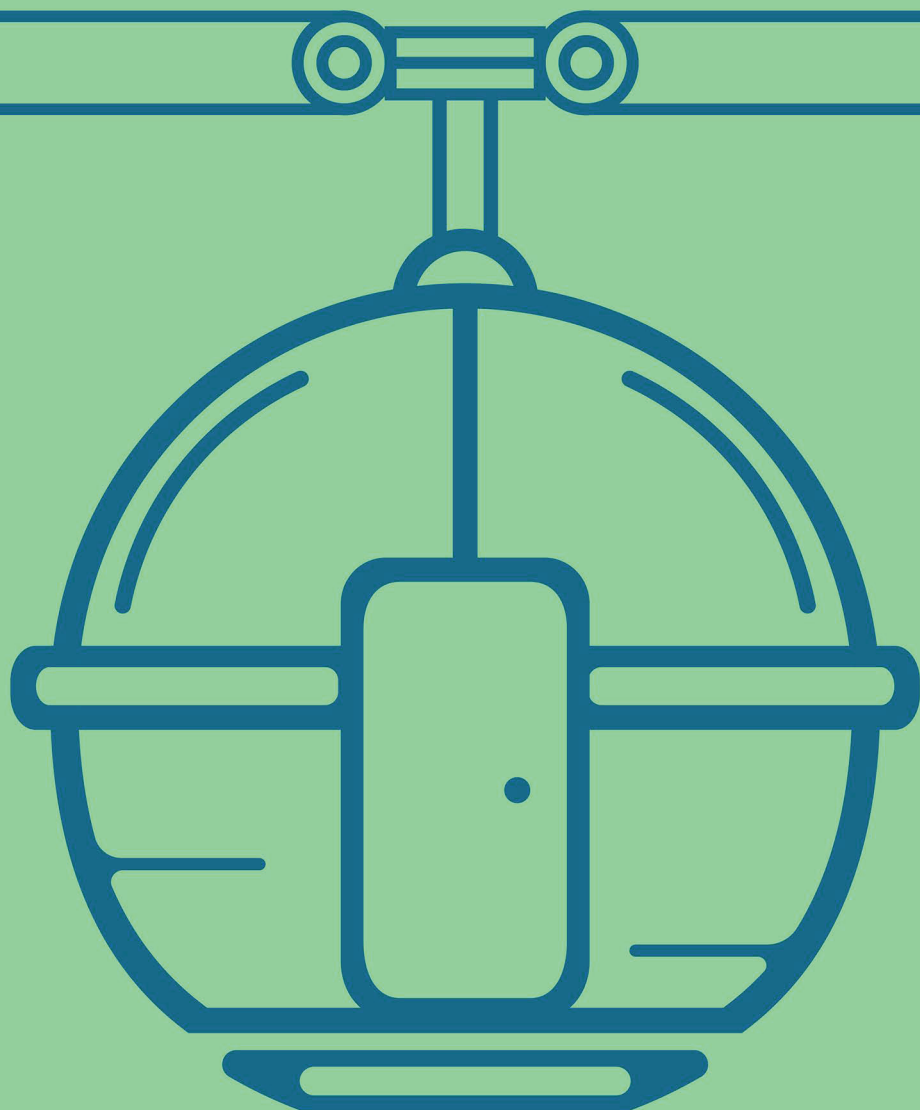
SOBRE LOS AUTORES

NELSON ANTONIO VANEGAS-MOLINA - Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de Colombia. Magister en Ingeniería Mecánica de la Universidad de São Paulo-Brasil. Profesor/investigador en categoría de profesor asociado en dedicación exclusiva del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín desde el año 2003, en el área de diseño mecánico. Se ha desempeñado como: coordinador del Laboratorio de Procesos de Manufactura, Laboratorio de Diagnóstico de Maquinaria y de la Sala Gráfica de Ingeniería Mecánica, miembro del Comité Asesor del pregrado y posgrado del Área Curricular de Ingeniería Mecánica, director del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Director del Área Curricular de Desarrollo Tecnológico; es Miembro del Grupo de Investigación de Diseño Mecánico Computacional (DIMEC). Posee experiencia en la industria metalmeccánica en la cual se desempeñó como director de proyectos.

CLAUDIA PATRICIA SERNA-GIRALDO - Ingeniera Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia. Magister en Ingeniería de Materiales de la Universidad de São Paulo-Brasil. Doctora en Ingeniería Mecánica de la Universidad de São Paulo-Brasil. Profesora/investigadora en categoría de profesora titular del Departamento de Ingeniería de Materiales de la Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia desde el año 2005, en el área de materiales metálicos. Se ha desempeñado como: coordinadora de la Maestría y el Doctorado en Ingeniería de Materiales, miembro de Comité de Maestría y Doctorado de la Facultad de Ingeniería, miembro del Comité de Currículo de Ingeniería de Materiales, coordinadora del Laboratorio de Materialografía y Directora del Grupo de Investigaciones Pirometalúrgicas y de Materiales - Gipimme. Actualmente es la Jefa del Departamento de Ingeniería de Materiales y miembro del Consejo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia. Posee experiencia en la industria metalmeccánica en la cual se desempeñó como directora de planta, diseñadora de detalle y gerente de calidad.



 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br