

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE TIPO CABLE AÉREO DEL CORREGIMIENTO DE SAN SEBASTIÁN DE PALMITAS DEL DISTRITO DE MEDELLÍN

CONTRATO:
No 18-2025

INFORME DE MATRIZ DE ALTERNATIVAS
DE DISEÑO BASADAS EN LA RELACIÓN
COSTO-BENEFICIO, PRIORIZANDO LA
SEGURIDAD Y CONFIABILIDAD DEL
SISTEMA

ELABORADO POR:
INTECKNO S.A.S
MEDELLIN

CONTENIDO

1. CONTROL DE CAMBIOS.....	9
2. OBJETIVO	10
3. INTRODUCCIÓN.	10
4. DEFINICIONES	11
5. ESTADO DEL ARTE.....	12
5.1. MONOCABLE UNIDIRECCIONAL DE PINZA DESEMBRAGABLE	12
5.2. MONOCABLE UNIDIRECCIONAL DE PINZA FIJA	14
5.3. MONOCABLE REVERSIBLE	16
5.4. BICABLE UNIDIRECCIONAL DE PINZA DESEMBRAGABLE	19
5.5. BICABLE 2S REVERSIBLE	21
5.6. BICABLE 3S REVERSIBLE	23
5.7. TABLA COMPARATIVA	26
5.8. ALTERNATIVAS A EVALUAR	27
6. METODOLOGÍA DE SELECCIÓN.....	28
6.1. INTEGRACIÓN DEL ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO EN LA METODOLOGÍA AHP	28
6.1.1. El costo como criterio o subcriterio cuantitativo:.....	28
6.1.2. Los beneficios como criterios ponderados:	29
6.2. CRITERIOS PRINCIPALES	29
6.3. SUBCRITERIOS	30
6.3.1. SUBCRITERIOS SUBJETIVOS	32
6.3.2. SUBCRITERIOS OBJETIVOS.....	34

6.4.	MATRICES	35
6.4.1.	Ponderación de subcriterios.....	35
6.4.2.	Ponderación de criterios principales.....	35
6.4.3.	Evaluación de alternativas por cada subcriterio	36
6.4.4.	Conglomeración de resultados.....	36
6.5.	RELACIÓN DE CONSISTENCIA (CR)	36
6.5.1.	Interpretación de resultados	37
6.6.	CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS	37
7.	RESULTADOS	37
7.1.	MATRICES DE COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS DE CRITERIOS	37
7.1.1.	Relación de consistencia.....	40
7.2.	MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS PRINCIPALES.....	40
7.2.1.	Relación de consistencia.....	41
7.3.	RESUMEN DE PONDERACIONES DE CRITERIOS Y SUBCRITERIOS	41
7.4.	MATRICES DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA CADA SUBCRITERIO SUBJETIVO	42
7.4.1.	Relación de consistencia.....	58
7.5.	NORMALIZACIÓN DE DATOS PARA CADA SUBCRITERIO OBJETIVO	59
7.5.1.	Capacidad:.....	59
7.5.2.	Adquisición de equipos:	60
7.5.3.	Mantenimiento preventivo y correctivo, €:.....	61
	Referencias Académicas y Notas de Clase.....	61
	Experiencia Empírica y Práctica Profesional.....	61

7.5.4.	Resultados.....	62
7.6.	CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS	62
8.	COSTO-BENEFICIO	63
8.1.	BENEFICIOS	63
8.2.	ANÁLISIS De Costo-BENEFICIO.....	65
8.2.1.	Beneficios directos.....	65
8.2.1.1.	beneficio de tiempo ahorrado.....	65
8.2.1.2.	BENEFICIO de costos de transporte ahorrado.....	67
8.2.2.	beneficios potenciales.....	68
8.2.2.1.	Beneficio potencial por aumento del turismo	68
8.2.2.2.	BENEFICIO potencial por valorizacion de predios.....	69
8.2.3.	Costos de operación del sistema.	70
8.2.4.	Calculo del costo-beneficio	70
9.	ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	72
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	75

ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Teleférico monocable unidireccional desembragable de Arvi, Medellín, Colombia.	13
Ilustración 2. Teleférico monocable unidireccional desembragable Disney Skyliner TIG – Walt Disney World, FL, USA.	13
Ilustración 3. Teleférico monocable unidireccional de pinza fija en Babonneau, Santa Lucía. .	15
Ilustración 4. Teleférico tipo telesilla monocable unidireccional de pinza fija en Campo Felice, Italia.	15
Ilustración 5. Teleférico monocable reversible de Shimla, India.	17
Ilustración 6. Teleférico monocable reversible de Sanetsch, Suiza.	17
Ilustración 7. Teleférico bicable 2S unidireccional de Sacheon, Corea del sur.	19
Ilustración 8. Teleférico bicable 2S unidireccional en Seis/Siusi, Italia.	20
Ilustración 9. Teleférico bicable 2S reversible en Chiatura Georgia.	22
Ilustración 10. Teleférico bicable 2S reversible en Innsbruck.	22
Ilustración 11. Teleférico de vaivén de Durango, México.	24
Ilustración 12. Teleférico de vaivén Grutas García, Monterrey, México.	24

TABLAS

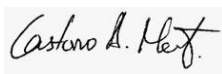
Tabla 1. Control de cambios.	9
Tabla 2. Datos técnicos de teleférico monocable unidireccional de pinza desembragable.	12
Tabla 3. Datos técnicos de teleférico monocable unidireccional de pinza fija.	14
Tabla 4. Datos técnicos de teleférico monocable reversible.	17
Tabla 5. Datos técnicos de teleférico bicable unidireccional de pinza desembragable.	19
Tabla 6. Datos técnicos de teleférico bicable 2S reversible.	21
Tabla 7. Datos técnicos de teleférico bicable 3S reversible.	23
Tabla 8. Comparación de tecnologías.	26
Tabla 9. Comparación de alternativas.	26
Tabla 10. Descripción de Criterios de Selección	29
Tabla 11. Subcriterios y su definición.	31
Tabla 12. Escala de valores de Thomas Saaty.	33
Tabla 13. Criterios y subcriterio a implementar.	33
Tabla 14. Subcriterios que no utilizan la escala de Thomas Saaty.	34
Tabla 15. Matriz de comparación de subcriterios de un mismo criterio.	35
Tabla 16. Matriz de comparación de criterios principales	35
Tabla 17. Matriz de comparación de alternativas para cada subcriterio	36
Tabla 18. Interpretación de resultados de la relación de consistencia.	37
Tabla 19. Matriz de comparación de subcriterios de desempeño técnico.	38
Tabla 20. Matriz de comparación de subcriterios de costo de inversión	38
Tabla 21. Matriz de comparación de subcriterios de costos de operación y mantenimientos ..	38
Tabla 22. Matriz de comparación de subcriterios de sostenibilidad e impacto social.	39

Tabla 23. Matriz de comparación de subcriterios de seguridad y riesgos	39
Tabla 24. Matriz de comparación de subcriterios de facilidad de implementación.	40
Tabla 25. Relación de consistencia de comparación de criterios	40
Tabla 26. Matriz de comparación de criterios diligenciada.	41
Tabla 27. Relación de consistencia de matriz de comparación de criterios.....	41
Tabla 28. Resumen de ponderación de criterios principales y subcriterios.	42
Tabla 29. Matriz de comparación de alternativas con adaptabilidad del terreno.	43
Tabla 30. Matriz de comparación de alternativas con disponibilidad y confiabilidad.	44
Tabla 31. Matriz de comparación de alternativas con construcción e infraestructura.	45
Tabla 32. Matriz de comparación de alternativas con consumo de energía.	46
Tabla 33. Matriz de comparación de alternativas con personal de operación.	47
Tabla 34. Matriz de comparación de alternativas con impacto ambiental.	48
Tabla 35. Matriz de comparación de alternativas con eficiencia energética.....	49
Tabla 36. Matriz de comparación de alternativas con beneficios sociales.....	50
Tabla 37. Matriz de comparación de alternativas con aceptación comunitaria.	51
Tabla 38. Matriz de comparación de alternativas con seguridad para usuarios y operarios.	52
Tabla 39. Matriz de comparación de alternativas con resiliencia ante desastres.....	53
Tabla 40. Matriz de comparación de alternativas con fallas técnicas.	54
Tabla 41. Matriz de comparación de alternativas con riesgos financieros.	55
Tabla 42. Matriz de comparación de alternativas con tiempo de construcción.....	56
Tabla 43. Matriz de comparación de alternativas con disponibilidad de proveedores.	57
Tabla 44. Matriz de comparación de alternativas con cumplimiento de regulaciones.	58
Tabla 45. Relaciones de consistencia para evaluación de alternativas en subcriterios.	59

Tabla 46. Valores de capacidad medio usados en normalización.	60
Tabla 47. Valores de adquisición de equipos normalizados.	60
Tabla 48. Valores de mantenimiento preventivo y correctivo normalizados	62
Tabla 49. Valores normalizados de subcriterios objetivos.	62
Tabla 50. Consolidación de resultados para las alternativas.	63
Tabla 51. Costo CAPEX de las alternativas.	65
Tabla 52. Beneficio de tiempo para El Morrón y Teresitas	67
Tabla 53. Ahorro por beneficio por estación.	68
Tabla 54. Calculo del beneficio potencial por aumento del turismo	69
Tabla 55. Beneficios potenciales en la implementación del teleférico.	70
Tabla 56. Costos de operación para cada alternativa	70
Tabla 57. Análisis costo-beneficio A1	71
Tabla 58. Análisis costo-beneficio A2	71
Tabla 59 Análisis costo-beneficio A3	71
Tabla 60 Análisis costo-beneficio A4	72
Tabla 61. Tabla resumen de VPN, TIR y B/C	72

1. CONTROL DE CAMBIOS

Tabla 1. Control de cambios.

Edición	Control	Nombre y Cargo	Entidad.	Firma	Fecha (Día/Mes/Año)
01	Elaboró	Sebastian Ruiz Agudelo Coordinador de proyectos	INTECKNO S.A.S.	Sebastian Ruiz A	30/4/2025
01	Revisó	José Leonel Hernández Gerente de proyectos	INTECKNO S.A.S.		2/5/2025
01	Aprobó	Gustavo Alberto Mejía Gerente general	INTECKNO S.A.S.		2/5/2025
01	Revisó	Rodrigo Toro Vallejo Profesional de interventoría	UNIVERSIDAD EAFIT		
01	Revisó	Diego Alonso Araque Coordinador de la interventoría	UNIVERSIDAD EAFIT		
01	Aprobó	Leonel Francisco Castañeda Director de la interventoría	UNIVERSIDAD EAFIT		

2. OBJETIVO

Desarrollar un análisis comparativo de alternativas para la implementación de un sistema de transporte por cable en San Sebastián de Palmitas, mediante la aplicación de la metodología Analytic Hierarchy Process (AHP), considerando los contextos operativo, locativo, social y ambiental del territorio, con el fin de identificar la solución más adecuada en términos de viabilidad técnica, pertinencia territorial y sostenibilidad integral.

3. INTRODUCCIÓN.

Actualmente la empresa INTECKNO S.A.S está desarrollando el contrato No 18-2025, el cual tiene como fin realizar los estudios y diseños para la modernización del sistema de transporte tipo cable aéreo del corregimiento de San Sebastián de Palmitas del distrito de Medellín, para esto se han definido un conjunto de actividades para garantizar el oportuno desarrollo del proyecto, en este documento se relacionan el desarrollo de la metodología para la selección de la tecnología, acompañado de un estado del arte, fundamentado de los sistemas de transporte por cable que se pueden implementar en el corregimiento de San Sebastian de Palmitas.

4. DEFINICIONES

Teleféricos de movimiento unidireccional: Teleférico cuyos vehículos se mueven siempre en el mismo sentido. (UNE-EN 1907. Requisitos de Seguridad de Las Instalaciones de Transporte de Personas Por Cable. Terminología., 2018).

Teleféricos de movimiento continuo: Teleféricos de movimiento unidireccional cuyo cable o cables tractores o portadores-tractores se mueven a una velocidad constante. (UNE-EN 1907. Requisitos de Seguridad de Las Instalaciones de Transporte de Personas Por Cable. Terminología., 2018).

Teleférico de vaivén: Teleférico cuyos vehículos presentan un movimiento de vaivén entre las cabinas. (UNE-EN 1907. Requisitos de Seguridad de Las Instalaciones de Transporte de Personas Por Cable. Terminología., 2018).

Pinza fija: Pinza que queda unida al cable de manera permanente durante la explotación. (UNE-EN 1907. Requisitos de Seguridad de Las Instalaciones de Transporte de Personas Por Cable. Terminología., 2018).

Pinza desembragable: Pinza que se separa del cable cuando pasa por una estación. (UNE-EN 1907. Requisitos de Seguridad de Las Instalaciones de Transporte de Personas Por Cable. Terminología., 2018).

Teleférico monocable: Teleférico en el cual la sustentación y la tracción de los vehículos las realiza a la vez un mismo cable. (UNE-EN 1907. Requisitos de Seguridad de Las Instalaciones de Transporte de Personas Por Cable. Terminología., 2018).

Teleférico bicable: Teleférico en el cual la sustentación y la tracción de los vehículos las realizan cables o grupos de cables distintos. (UNE-EN 1907. Requisitos de Seguridad de Las Instalaciones de Transporte de Personas Por Cable. Terminología., 2018).

Teleférico 2S: Teleférico bicable en el cual la sustentación del vehículo la realiza un único cable y la tracción otro cable independiente.

Teleférico 3S: Teleférico bicable en el cual la sustentación del vehículo la realiza por dos cables y la tracción otro cable independiente.

Cable portador: Cable fijo colocado de modo que sólo asegura la sustentación de vehículos que poseen un carro que rueda por él.

Cable tractor: Cable destinado al movimiento de vehículos, pero no a su sustentación.

Cable portador-tractor: Cable móvil destinado al movimiento de vehículos y, al mismo tiempo, a su sustentación.

5. ESTADO DEL ARTE

Se realiza el estado del arte de los diferentes sistemas de transporte por cable aéreo que se pueden encontrar en la actualidad:

5.1. MONOCABLE UNIDIRECCIONAL DE PINZA DESEMBRAGABLE

El teleférico monocable unidireccional de pinza desembagable es un sistema aéreo de transporte por cable en el cual las cabinas son soportadas y traccionadas por un único cable portador-tractor. Su configuración unidireccional implica que las cabinas se desplazan en una sola dirección por cada línea, utilizando generalmente un sistema paralelo para el retorno.

La tecnología de pinza desembagable permite que cada cabina se desacople del cable dentro de las estaciones, lo que permite reducir la velocidad o incluso detener la cabina para facilitar el embarque y desembarque sin interrumpir el movimiento continuo del cable. Esto mejora notablemente la accesibilidad y la seguridad del sistema y está asociado a grandes capacidades de transporte de personas. A continuación, se presentan algunos datos técnicos de este tipo de sistemas:

Tabla 2. Datos técnicos de teleférico monocable unidireccional de pinza desembagable.

Parámetro	Valor típico
Capacidad por cabina	8 a 20 pasajeros
Número de cabinas por línea	80 a 150 (según longitud del tramo)
Capacidad de transporte	1.000 a 4.000 pasajeros/hora/sentido
Velocidad de operación	4 a 7 m/s (14 a 25,2 km/h)
Distancia entre torres	100 a 200 metros (promedio)
Pendiente máxima superable	45° (aprox. según fabricante)
Longitud típica del sistema	Hasta 5 km (por sección)



Ilustración 1. Teleférico monocable unidireccional desembragable de Arvi, Medellín, Colombia.



Ilustración 2. Teleférico monocable unidireccional desembragable Disney Skyliner TIG – Walt Disney World, FL, USA.

- Ventajas:
 - **Alto confort para pasajeros:** El desacople en estaciones permite embarque y desembarque a baja velocidad o incluso con cabina detenida.
 - **Alta capacidad de transporte:** Puede movilizar entre 2.000 y 4.000 pasajeros/hora/sentido, dependiendo del número de cabinas.
 - **Operación continua:** El sistema no necesita detenerse para el ascenso/descenso de usuarios, mejorando la eficiencia.
 - **Flexibilidad de diseño:** Se pueden añadir estaciones intermedias y curvas en el trazado si el sistema lo permite.
 - **Costos moderados:** Más económico que los sistemas bicable o tricable, especialmente en tramos urbanos de longitud moderada.
 - **Bajo impacto ambiental:** Se requiere una infraestructura relativamente ligera comparada con carreteras o trenes.

- Desventajas:
 - **Menor estabilidad al viento:** Al tener un solo cable portante-tractor, es más sensible a vientos fuertes comparado con sistemas bicable o tricable.
 - **Limitación en la capacidad de carga por cabina:** Generalmente cabinas para 8–12 personas (no para grandes grupos en una sola cabina).
 - **Distancias entre torres relativamente cortas:** Necesita torres cada 100 a 200 metros, lo que puede aumentar los costos y tiempos de obra en terrenos complicados.
 - **Mayor complejidad mecánica en estaciones:** El mecanismo de pinza desembragable requiere mantenimiento riguroso en estaciones para asegurar el correcto acoplamiento/desacoplamiento.
 - **Costos de operación más altos que un sistema de pinza fija:** Por la complejidad de componentes móviles y la necesidad de monitoreo constante.
 - **Limitación en tramos muy largos:** No es ideal para tramos superiores a 5 km sin estaciones intermedias o sin modificaciones especiales.

Este tipo de sistema es común en los fabricantes Doppelmayr, Leitner, POMA, Bartholet, MND.

5.2. MONOCABLE UNIDIRECCIONAL DE PINZA FIJA

El teleférico monocable unidireccional de pinza fija es un sistema de transporte por cable donde las cabinas fijadas al cable portador-tractor mediante pinzas fijas, lo que significa que no se desacoplan en las estaciones. La cabina se mueve a una velocidad constante a lo largo del recorrido, incluyendo las estaciones, lo que exige que los pasajeros suban y bajen con el sistema en movimiento lento y continuo.

El diseño monocable implica que un solo cable cumple las funciones de soporte y tracción, simplificando la infraestructura y reduciendo costos de mantenimiento. Este tipo de sistema se utiliza frecuentemente en instalaciones con menor flujo de pasajeros o tramos más cortos, donde no es necesario desacoplar las cabinas para mejorar el embarque.

Debido a que las cabinas no desacoplan, la velocidad de operación es más limitada en comparación con sistemas de pinza desembragable, y suele tener una capacidad de transporte inferior. A continuación, se presentan algunos datos técnicos de este tipo de sistemas:

Tabla 3. Datos técnicos de teleférico monocable unidireccional de pinza fija.

Parámetro	Valor típico
Capacidad por cabina	4 a 9 pasajeros
Número de cabinas por línea	30 a 80 (según longitud y demanda)
Capacidad de transporte	228 a 1.200 pasajeros/hora/sentido
Velocidad de operación	1 a 3 m/s (3,6 a 10,8 km/h)

Distancia entre torres	80 a 150 metros (dependiendo del terreno)
Longitud típica del sistema	Hasta 2,5 km

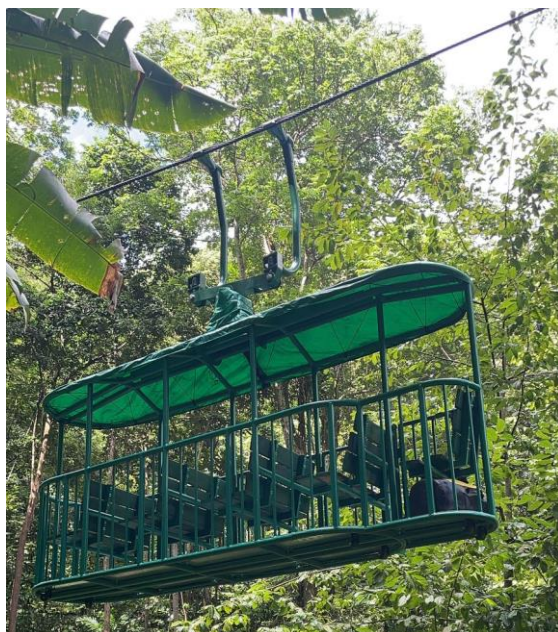


Ilustración 3. Teleférico monocable unidireccional de pinza fija en Babonneau, Santa Lucía.



Ilustración 4. Teleférico tipo telesilla monocable unidireccional de pinza fija en Campo Felice, Italia.

A continuación, se presentan ventajas y desventajas de este tipo de sistema:

- Ventajas:

- **Sistema simple y robusto:** La pinza fija, al no abrirse ni cerrarse, reduce la complejidad mecánica en estaciones y a lo largo del recorrido.
- **Bajo costo de inversión (CAPEX):** Generalmente más económico que los sistemas de pinza desembagable en términos de construcción y adquisición.
- **Menor costo operativo (OPEX):** Requiere menos mantenimiento en estaciones, ya que no hay mecanismos de desacople/acople de pinzas.
- **Mayor confiabilidad:** Menos componentes móviles significa menor riesgo de fallas durante la operación.
- **Ideal para recorridos cortos y constantes:** Excelente opción para distancias pequeñas o moderadas con flujos constantes de pasajeros.
- **Tiempo de instalación más rápido:** La menor cantidad de sistemas mecánicos especiales acelera la construcción.
- **Operación continua:** Movimiento constante del cable y las cabinas, lo que simplifica la gestión del flujo de usuarios.
- **Desventajas:**
 - **Dificultad en el embarque/desembarque:** Como las cabinas no desacoplan, los pasajeros deben subir y bajar en movimiento, lo que puede ser incómodo o riesgoso para personas con movilidad reducida o niños.
 - **Menor flexibilidad operativa:** No es posible detener individualmente una cabina en estaciones.
 - **Menor capacidad de transporte:** Generalmente transporta menos pasajeros por hora comparado con sistemas de pinza desembagable.
 - **Limitación en el tamaño de cabinas:** Normalmente cabinas pequeñas, para 4 a 9 personas máximo.
 - **Mayor número de cabinas necesario:** Para alcanzar capacidades similares a sistemas desembagables, se requiere muchas más cabinas, lo que complica la logística en líneas más largas.
 - **Sensibilidad al viento:** Al igual que otros monocables, la estabilidad frente a vientos fuertes es menor en comparación con sistemas bicable o tricable.

Este tipo de sistema es común en los fabricantes Doppelmayr, Leitner, POMA, Bartholet.

5.3. MONOCABLE REVERSIBLE

El teleférico monocable reversible es un sistema aéreo en el cual dos cabinas (una por sentido) están unidas de forma permanente a un único cable portador-tractor. A diferencia de los sistemas de movimiento continuo, aquí las cabinas se alternan en sentido de marcha, es decir, cuando una sube, la otra baja, compartiendo el mismo cable y movimiento. No hay cabinas intermedias en circulación.

Su capacidad de transporte es más baja en comparación con los sistemas de cabinas múltiples, pero permite transportar un gran volumen por cabina, lo que lo hace adecuado para aplicaciones turísticas, montañosas o de bajo flujo frecuente. A continuación, se presentan algunos datos técnicos de este tipo de sistemas:

Tabla 4. Datos técnicos de teleférico monocable reversible.

Parámetro	Valor típico
Capacidad por cabina	8 a 100 pasajeros
Número de cabinas	2 (una por sentido)
Capacidad de transporte	40 a 1.000 pasajeros/hora/sentido
Velocidad de operación	4 a 12 m/s (14,4 a 43,2 km/h)
Distancia entre torres	Hasta 500 metros (incluso más, según terreno)
Longitud típica del sistema	1 a 3,5 km (puede superar los 4 km)
Pendiente máxima superable	Hasta 60% (según diseño específico)



Ilustración 5. Teleférico monocable reversible de Shimla, India.



Ilustración 6. Teleférico monocable reversible de Sanetsch, Suiza.

A continuación, se presentan ventajas y desventajas de este tipo de sistema:

- **Ventajas:**
 - **Menor número de torres:** Gracias a que funciona con solo dos cabinas (una subiendo y otra bajando), puede salvar grandes distancias entre torres, reduciendo obra civil.
 - **Ideal para grandes pendientes o terrenos difíciles:** Funciona muy bien en zonas montañosas, sobre ríos, valles o barrancos, donde colocar torres sería costoso o imposible.
 - **Alta estabilidad:** Aunque es monocable, al ser un sistema reversible con cables de tracción controlada, ofrece mayor estabilidad que un monocable unidireccional convencional.
 - **Menor consumo energético:** Sólo dos cabinas en operación simultánea requieren menos potencia que docenas de cabinas en movimiento continuo.
 - **Menores costos de mantenimiento:** Menos partes móviles y menos desgaste al tener pocas cabinas.
 - **Instalación más rápida:** Menos infraestructura (torres, cabinas, cableado) facilita una fase constructiva más ágil.
 - **Accesibilidad:** La cabina puede detenerse completamente en las estaciones para permitir embarque y desembarque seguro y cómodo
 - **Cantidad de vías:** Existe la posibilidad de implementar una sola vía en lugar de dos.
- **Desventajas:**
 - **Baja capacidad de transporte:** Su capacidad máxima es limitada (300 a 1.000 pasajeros/hora/sentido), por lo que no es adecuado para sistemas de alta demanda.
 - **Esperas más largas:** Los usuarios deben esperar a que la cabina llegue, ya que no hay flujo continuo de cabinas como en los sistemas unidireccionales.
 - **Impacto en la operación si una cabina falla:** Como sólo hay dos cabinas, una falla técnica puede detener completamente el sistema.
 - **Velocidad operacional moderada:** Aunque las cabinas pueden moverse rápido (hasta 12 m/s), deben desacelerar para el embarque, lo que puede afectar el flujo si la distancia no es suficiente.
 - **Complejidad en estaciones:** El sistema de tracción y frenado en estaciones debe ser robusto y bien mantenido para garantizar la sincronización segura de las cabinas.
 - **Limitaciones en longitud total:** Aunque puede cubrir distancias largas, para tramos muy largos o urbanos no es el sistema más eficiente en frecuencia de servicio.
- Este tipo de sistema es común en los fabricantes Bartholet y Conveyor & Ropeway Services Pvt. Ltd.

5.4. BICABLE UNIDIRECCIONAL DE PINZA DESEMBRAGABLE

El teleférico bicable unidireccional de pinza desembagable es un sistema avanzado en el que las cabinas están suspendidas sobre un cable portante y son impulsadas por un cable tractor en movimiento. A diferencia del sistema monocable, esta configuración separa las funciones de soportar y traccionar, ofreciendo una mayor estabilidad, especialmente en condiciones de viento o largos tramos sin soportes.

El sistema es unidireccional, lo que significa que las cabinas circulan en una sola dirección por línea, y el retorno se realiza por una línea paralela. Gracias a las pinzas desembagables, las cabinas se desacoplan del cable tractor al llegar a las estaciones, lo que permite un abordaje seguro y sin interrupción del sistema principal.

Este tipo de teleférico combina la ventaja operativa del desembague con la robustez estructural del bicable, siendo ideal para tramos largos, terrenos montañosos, vientos laterales fuertes y demandas medias-altas de pasajeros. A continuación, se presentan algunos datos técnicos de este tipo de sistemas:

Tabla 5. Datos técnicos de teleférico bicable unidireccional de pinza desembagable.

Parámetro	Valor típico
Capacidad por cabina	8 a 15 pasajeros
Número de cabinas por línea	60 a 120 (según longitud y demanda)
Capacidad de transporte	2.500 a 5.000 pasajeros/hora/sentido
Velocidad de operación	5 a 7 m/s (18 a 25 km/h)
Distancia entre torres	150 a 300 metros (mayor que en monocable)
Longitud típica del sistema	2 a 6 km (según diseño)
Estabilidad al viento	Alta (mejor que sistemas monocable)



Ilustración 7. Teleférico bicable 2S unidireccional de Sacheon, Corea del sur.



Ilustración 8. Teleférico bicable 2S unidireccional en Seis/Siusi, Italia.

A continuación, se presentan ventajas y desventajas de este tipo de sistema:

- **Ventajas:**
 - **Alta estabilidad frente al viento:** El sistema de cable portante fijo + cable tractor ofrece mayor rigidez que un monocable, permitiendo operar en condiciones climáticas más adversas (vientos más fuertes).
 - **Mayor capacidad de carga por cabina:** Al tener un cable dedicado exclusivamente a sostener el peso, se pueden usar cabinas más grandes y transportar más pasajeros por cabina en comparación con sistemas monocables.
 - **Mayor distancia entre torres:** Se pueden lograr vanos más largos (mayores a 200–300 metros) reduciendo la cantidad de torres necesarias.
 - **Sistema simple y confiable:** La pinza fija elimina mecanismos complejos de desembrague, haciendo el sistema más robusto y de mantenimiento más sencillo.
 - **Menor riesgo de descarrilamiento:** Los sistemas bicable, por su configuración, tienen mayor seguridad estructural en la suspensión de las cabinas.
 - **Costos de operación relativamente bajos:** Al no tener sistemas complejos de pinzas desembragables en estaciones, el mantenimiento es más sencillo y económico.
- **Desventajas:**
 - **Dificultad en el embarque/desembarque:** Como en todos los sistemas de pinza fija, las cabinas no desacoplan y el embarque debe hacerse con la cabina en movimiento, lo que puede ser complicado para personas mayores, niños o usuarios con movilidad reducida.

- **Velocidad limitada:** Para garantizar la seguridad en el embarque/desembarque, la velocidad de operación es moderada (generalmente 2,5 a 3 m/s).
- **Capacidad de transporte moderada:** Aunque superior a un monocable fijo, no alcanza los niveles de capacidad de sistemas desembragables (se limita a entre 800 y 1.500 pasajeros/hora/sentido).
- **Mayor CAPEX inicial que un monocable fijo:** Aunque no es tan costoso como un bicable desembragable o un tricable, la necesidad de dos sistemas de cableado y torres reforzadas eleva la inversión inicial respecto a un sistema monocable simple.
- **Poca flexibilidad en el trazado:** Por las características estructurales, no se pueden diseñar curvas pronunciadas o estaciones intermedias con facilidad como en un monocable desembragable.

Este tipo de sistema es común en los fabricantes Doppelmayr, Leitner y POMA.

5.5. BICABLE 2S REVERSIBLE

El teleférico bicable reversible (2S) es un sistema en el que una cabina viaja en cada sentido (subida y bajada) compartiendo el mismo cable tractor, mientras que la suspensión se realiza sobre dos cables portadores. Es un sistema reversible, es decir, las cabinas alternan el movimiento: cuando una sube, la otra baja, movidas por un único cable tractor.

El uso de dos cables portantes proporciona mayor capacidad de carga y estabilidad, permitiendo longitudes de vano más largas y mejor comportamiento frente a condiciones climáticas adversas (como viento o nieve). Estos sistemas se usan habitualmente en zonas montañosas, estaciones de esquí o cruces de valles y pueden transportar un número elevado de personas por cabina.

La principal característica del sistema 2S reversible es su estructura robusta y eficiente para grandes distancias, aunque con frecuencia operativa limitada por el número reducido de cabinas (normalmente dos). A continuación, se presentan algunos datos técnicos de este tipo de sistemas:

Tabla 6. Datos técnicos de teleférico bicable 2S reversible.

Parámetro	Valor típico
Capacidad por cabina	10 a 125 pasajeros
Número de cabinas	2 (una por sentido)
Capacidad de transporte	500 a 1.500 pasajeros/hora/sentido
Velocidad de operación	6 a 12 m/s (21,6 a 43,2 km/h)
Distancia entre torres	Hasta 600 metros
Longitud típica del sistema	1 a 4,5 km (dependiendo del terreno)
Estabilidad frente al viento	Muy alta (mejor que monocable y 1S)



Ilustración 9. Teleférico bicable 2S reversible en Chiatura Georgia.



Ilustración 10. Teleférico bicable 2S reversible en Innsbruck.

A continuación, se presentan ventajas y desventajas de este tipo de sistema:

- Ventajas:
 - **Alta estabilidad estructural:** Con dos cables portantes y un cable tractor, este sistema es muy estable frente a viento fuerte y vibraciones, ideal para condiciones meteorológicas severas.
 - **Grandes vanos posibles:** Puede cruzar distancias de 500 metros o más entre torres, reduciendo significativamente la cantidad de apoyos y la obra civil necesaria.
 - **Alta capacidad por cabina:** Permite el transporte de 60 a 125 pasajeros por cabina, optimizando el traslado de grandes grupos en un solo viaje.
 - **Alta seguridad operacional:** La separación entre los cables portantes y el tractor brinda redundancia estructural y mayor seguridad.
 - **Menor impacto ambiental:** Al necesitar menos torres, se reduce la alteración del terreno en tramos largos y complicados.

- **Ideal para terrenos extremos:** Perfecto para cruzar valles, ríos anchos, montañas empinadas o zonas protegidas.
- **Alta eficiencia energética:** Con pocas cabinas (normalmente dos), el consumo energético por pasajero transportado es bastante eficiente.
- **Cantidad de vías:** Existe la posibilidad de implementar una sola vía en lugar de dos.
- **Desventajas:**
 - **Capacidad de transporte limitada en flujo continuo:** Aunque cada cabina es grande, solo hay dos cabinas en operación (una sube y otra baja), por lo que la frecuencia de servicio es baja comparada con sistemas de cabinas múltiples.
 - **Costos de inversión elevados (CAPEX):** Mayor que en sistemas monocable reversibles, debido a la infraestructura robusta requerida para soportar los dos cables portantes y sistemas de anclaje reforzados.
 - **Costos operativos (OPEX) relativamente altos:** Las estaciones y mecanismos de tracción son complejos y requieren mantenimiento especializado.
 - **Mayor complejidad constructiva:** Las estaciones de anclaje, el tendido de cables múltiples y los sistemas de tensionamiento aumentan el tiempo y costo de construcción frente a un monocable.
 - **Tiempo de espera para usuarios:** El flujo depende del ciclo de ida y vuelta de las cabinas, generando tiempos de espera mayores si la demanda se incrementa.
 - **Requiere grandes estructuras en estaciones:** Las estaciones deben ser robustas y de mayor tamaño, para soportar el anclaje y manejo de múltiples cables.

Este tipo de sistema es común en los fabricantes Doppelmayr, Leitner, POMA, Bartholet.

5.6. BICABLE 3S REVERSIBLE

El teleférico 3S reversible combina lo mejor de los sistemas de cable: dos cables portantes que sostienen las cabinas y un cable tractor que las mueve. En configuración reversible, el sistema funciona con una cabina por sentido, que se alternan en el movimiento, lo que permite transportar grandes volúmenes por cabina con alta estabilidad y eficiencia energética.

Gracias a su rigidez lateral y capacidad para salvar grandes vanos (hasta 3 km entre torres en algunos casos), es ideal para terrenos extremos, largos tramos sin soportes, o condiciones climáticas exigentes. Se destaca por ser el sistema más robusto entre los teleféricos aéreos actuales. A continuación, se presentan algunos datos técnicos de este tipo de sistemas:

Tabla 7. Datos técnicos de teleférico bicable 3S reversible.

Parámetro	Valor típico
Capacidad por cabina	30 a 230 pasajeros

Número de cabinas	2 (una por sentido)
Capacidad de transporte	1.000 a 2.000 pasajeros/hora/sentido
Velocidad de operación	7 a 13,5 m/s (25 a 48,6 km/h)
Distancia entre torres	Hasta 3.000 metros (en condiciones óptimas)
Longitud típica del sistema	1,5 a 6 km (o más en proyectos especiales)
Estabilidad frente al viento	Extremadamente alta (>100 km/h)



Ilustración 11. Teleférico de vaivén de Durango, México.



Ilustración 12. Teleférico de vaivén Grutas García, Monterrey, México.

A continuación, se presentan ventajas y desventajas de este tipo de sistema:

- Ventajas:

- **Alta estabilidad frente a viento y clima adverso:** Gracias a sus dos cables portantes más el cable tractor, ofrece mayor resistencia a vientos fuertes y vibraciones que los monocables.
- **Capacidad elevada por cabina:** Cada cabina puede transportar entre 60 y 125 pasajeros, permitiendo trasladar grandes grupos de manera eficiente en un solo viaje.
- **Grandes vanos entre torres:** Puede salvar distancias de hasta 600 metros o más entre apoyos, reduciendo significativamente el número de torres y minimizando la obra civil.
- **Ideal para terrenos difíciles:** Es muy adecuado para valles, cañones, ríos anchos, montañas empinadas o áreas protegidas, donde construir torres sería complicado o costoso.
- **Alta seguridad estructural:** La combinación de cables portantes y cable tractor proporciona redundancia mecánica, aumentando la seguridad global del sistema.
- **Accesibilidad cómoda:** Como es reversible, las cabinas se pueden detener completamente en las estaciones para permitir un embarque/desembarque seguro y cómodo.
- **Menor impacto ambiental:** Al requerir menos torres, reduce la intervención sobre el terreno natural, protegiendo áreas sensibles.
- **Cantidad de vías:** Existe la posibilidad de implementar una sola vía en lugar de dos.
- **Desventajas:**
 - **Baja frecuencia de servicio:** Solo hay dos cabinas (una por sentido), por lo que los pasajeros deben esperar a que regrese la cabina, afectando la frecuencia de traslado.
 - **Costos de operación moderadamente altos:** Aunque opera pocas cabinas, las estaciones y el sistema de tracción son complejos y requieren mantenimiento especializado.
 - **Tiempo de construcción más largo:** Requiere mayor precisión en el tendido de cables y construcción de estaciones, lo que aumenta el tiempo de ejecución respecto a sistemas más simples.
 - **Demanda limitada:** No es adecuado para tráfico masivo o alta demanda continua, ya que la capacidad está limitada por el tamaño y frecuencia de las cabinas.
 - **Infraestructura de estaciones robusta y costosa:** Necesita estaciones grandes y reforzadas para soportar el peso y tensiones de múltiples cables, aumentando los costos urbanos o en espacios reducidos.

Este tipo de sistema es común en los fabricantes Doppelmayr, Leitner, POMA, Bartholet.

5.7. TABLA COMPARATIVA

A continuación, presentamos una tabla comparativa de todos los sistemas:

Tabla 8. Comparación de tecnologías.

Sistema	Capacidad por cabina	Capacidad pphpd	Velocidad (m/s)	Distancia entre torres	Longitud típica	Cabinas activas	Adquisición de equipos, €
Monocable unidireccional de pinza desembragable	8–20	1.000–4.000	4–7 (14–25,2 km/h)	100–200 m	Hasta 5 km	80–150	€ 5.000.000
Monocable unidireccional de pinza fija	4–9	240–1.200	1–3 (3,6–10,8 km/h)	80–150 m	Hasta 2,5 km	16–80	€ 3.400.000
Monocable reversible	8–100	40–1.000	4–12 (14,4–43,2 km/h)	Hasta 500 m	1–3,5 km	2 (1 por sentido)	€ 3.700.000
Bicable unidireccional de pinza desembragable	8–15	2.500–5.000	5–7 (18–25 km/h)	150–300 m	2–6 km	60–120	€ 7.000.000
Bicable (2S) reversible	60–125	500–1.500	6–12 (21,6–43,2 km/h)	Hasta 600 m	1–4,5 km	2	€ 2.475.000
Tricable (3S) reversible	30–230	1.000–2.000	7–13,5 (25–48,6 km/h)	Hasta 3.000 m	1,5–6 km	2	€ 2.575.000

NOTA: Los valores presentados en la anterior tabla hacen referencia a proyectos estándar, para proyectos puntuales los valores pueden cambiar.

Cabe resaltar que las tecnologías reversibles presentadas pueden tener una versión mono vía, por lo tanto, la versión final de la tabla con alternativas a evaluar en este documento quedaría así:

Tabla 9. Comparación de alternativas.

Sistema	Capacidad	Capacidad	Velocidad	Distancia	Cabinas	Longitud	Adquisición
---------	-----------	-----------	-----------	-----------	---------	----------	-------------

	por cabina	pphpd	(m/s)	entre torres	activas	típica	de equipos, €
Monocable unidireccional de pinza desembragable	8–20	1.000–4.000	4–7 (14–25,2 km/h)	100–200 m	80–150	Hasta 5 km	€ 5.000.000
Monocable unidireccional de pinza fija	4–9	240–1.200	1–3 (3,6–10,8 km/h)	80–150 m	16–80	Hasta 2,5 km	€ 3.400.000
Monocable reversible doble vía	8–100	40–1.000	4–12 (14,4–43,2 km/h)	Hasta 500 m	2 (1 por sentido)	1–3,5 km	€ 3.700.000
Monocable reversible mono vía	8–100	20–500	4–12 (14,4–43,2 km/h)	Hasta 500 m	1	1–3,5 km	€ 3.900.000
Bicable unidireccional de pinza desembragable	8–15	2.500–5.000	5–7 (18–25 km/h)	150–300 m	60–120	2–6 km	€ 7.000.000
Bicable (2S) reversible doble vía	15–125	500–1.500	6–12 (21,6–43,2 km/h)	Hasta 600 m	2	1–4,5 km	€ 2.475.000
Bicable (2S) reversible mono vía	15–125	250–750	6–12 (21,6–43,2 km/h)	Hasta 600 m	1	1–4,5 km	€ 3.150.000
Tricable (3S) reversible doble vía	30–230	1.000–2.000	7–13,5 (25–48,6 km/h)	Hasta 3.000 m	2	1,5–6 km	€ 2.575.000
Tricable (3S) reversible mono vía	30–230	500–1.000	7–13,5 (25–48,6 km/h)	Hasta 3.000 m	1	1,5–6 km	€ 3.250.000

5.8. ALTERNATIVAS A EVALUAR

Teniendo en cuenta la información presentada anteriormente, las tecnologías que se van a considerar para la selección del tipo de sistema se presentan a continuación:

- Monocable unidireccional de pinza desembagable
- Monocable unidireccional de pinza fija
- Monocable reversible doble vía
- Monocable reversible mono vía
- Bicable unidireccional de pinza desembagable
- Bicable (2S) reversible doble vía
- Bicable (2S) reversible mono vía
- Tricable (3S) reversible doble vía
- Tricable (3S) reversible mono vía

6. METODOLOGÍA DE SELECCIÓN

Para seleccionar la alternativa tecnológica más adecuada para la implementación de un sistema de transporte por cable de personas, se utiliza la metodología AHP (Analytic Hierarchy Process). El AHP es una herramienta de toma de decisiones multicriterio que permite evaluar y comparar diferentes opciones de manera estructurada y objetiva, considerando criterios técnicos, económicos, ambientales, sociales y de implementación.

El AHP es un método que organiza los criterios de decisión en una estructura jerárquica, asignando pesos relativos a cada criterio y subcriterio mediante comparaciones pareadas. Luego, se evalúan las alternativas tecnológicas en función de estos criterios, lo que permite calcular una puntuación global para cada opción. Finalmente, se selecciona la alternativa con la mayor puntuación, asegurando una decisión equilibrada y justificada.

6.1. INTEGRACIÓN DEL ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO EN LA METODOLOGÍA AHP

Aunque la metodología AHP (Analytic Hierarchy Process) no calcula directamente indicadores financieros clásicos como la TIR o el VPN, permite integrar de forma estructurada la lógica de costo-beneficio mediante la ponderación relativa de criterios económicos frente a beneficios técnicos, sociales o ambientales, ya sean cuantificables o subjetivos.

En este sentido, la relación costo-beneficio se encuentra inmersa en el desarrollo del modelo AHP en dos niveles clave:

6.1.1. El costo como criterio o subcriterio cuantitativo:

El componente económico se incorpora explícitamente como un subcriterio dentro de la jerarquía de decisión, utilizando valores reales de inversión (CAPEX) y operación (OPEX), que son normalizados e integrados con el resto de los criterios. Esto asegura que las alternativas más costosas no sean seleccionadas a menos que generen beneficios proporcionalmente mayores.

6.1.2. Los beneficios como criterios ponderados:

Los beneficios del proyecto —aunque no necesariamente expresados en términos monetarios— son representados por criterios como impacto social, cobertura, accesibilidad, aceptación ciudadana o sostenibilidad ambiental, que son comparados entre alternativas mediante juicios de expertos y ponderaciones estructuradas.

Al combinar ambos elementos, el AHP no sólo considera los beneficios de forma cualitativa, sino que también los contrapone directamente al costo, permitiendo una forma de evaluación multicriterio que refleja la lógica de costo-beneficio de manera integral, aunque no exclusivamente financiera.

Por lo tanto, la metodología AHP, aplicada correctamente, constituye una herramienta válida y transparente para sustentar decisiones que requieren evaluar el equilibrio entre costo y beneficio, especialmente en contextos complejos donde muchos de los impactos esperados no son monetarios, pero sí relevantes para la toma de decisiones.

6.2. CRITERIOS PRINCIPALES

Los criterios principales son los factores principales que afectan la decisión y representan los factores claves a evaluar. En la siguiente tabla se presentan los criterios a implementar y sus beneficios:

Tabla 10. Descripción de Criterios de Selección

CRITERIO	DESCRIPCION
Desempeño Técnico	Evalúa la capacidad y eficiencia del sistema de teleférico
Costo de Inversión	Analiza los costos asociados a la construcción e implementación inicial del sistema
Costos de Operación y Mantenimiento	Evalúa los gastos recurrentes necesarios para mantener el sistema en funcionamiento
Sostenibilidad e Impacto Social	Combina aspectos ambientales y sociales para evaluar el impacto positivo y negativo del proyecto
Seguridad y Riesgos	Evalúa la seguridad del sistema y los riesgos asociados a su operación

Facilidad de Implementación	Analiza la viabilidad y complejidad de construir y poner en marcha el sistema
-----------------------------	---

Para estos criterios se debe realizar una ponderación para establecer cuál es el peso de cada uno en la metodología de selección.

6.3. SUBCRITERIOS

Los subcriterios son componentes específicos dentro del criterio y ayudan a desglosar y precisar de manera más clara cada criterio. En la siguiente tabla se presentan los subcriterios a implementar y sus beneficios:

Tabla 11. Subcriterios y su definición.

CRITERIO	SUBCRITERIO	DEFINICIÓN
Desempeño Técnico	Capacidad de transporte	Número de pasajeros que puede mover el sistema por hora en una dirección (pphpd o phs), considerando velocidad, tamaño y cantidad de cabinas.
	Adaptabilidad al terreno	Capacidad del sistema para ajustarse a condiciones geográficas del trazado (pendientes, vegetación, obstáculos, etc.), minimizando impacto constructivo.
	Disponibilidad y confiabilidad	Porcentaje de tiempo que el sistema está operativo sin fallas y la probabilidad de que opere correctamente sin interrupciones.
Costo de Inversión	Construcción de infraestructura	Costos asociados a estaciones, cimentaciones, obras civiles y líneas de acceso.
	Adquisición de equipos	Costo de compra e instalación de cabinas, cables, motores, poleas, sistemas de control y demás equipos electromecánicos.
Costos de Operación y Mantenimiento	Mantenimiento preventivo y correctivo	Costos recurrentes por inspecciones preventivas (Seguimiento del plan de mantenimiento), lubricación, cambio de piezas, reparaciones por desgaste o fallas.
	Consumo de energía	Energía eléctrica necesaria para operar el sistema, especialmente motores tractores.
	Personal de operación	Costos laborales por operadores, técnicos, supervisores, vigilantes, incluyendo turnos y capacitación.
Sostenibilidad e Impacto Social	Impacto ambiental	Alteraciones al ecosistema por ruido, emisiones (directas o por fuente energética), afectación de fauna/flora y paisaje.
	Eficiencia energética	Energía desperdiciada debido a fricción entre componentes de línea como poleas en torres o ruedas de carro en cable portador, también se considera contrapeso de cabinas por vías.
	Beneficios sociales	Aportes al bienestar comunitario como reducción de tiempos de viaje, acceso a servicios y fomento económico local.
	Aceptación comunitaria	Nivel de apoyo, confianza y aprobación de la comunidad local hacia el proyecto.
Seguridad y Riesgos	Seguridad para usuarios y operarios	Grado de protección frente a accidentes o fallos (caída de cabina, incendio, desprendimiento de cable, etc.).

	Resiliencia ante desastres	Capacidad del sistema para operar o recuperarse ante eventos extremos como terremotos, lluvias intensas, deslizamientos o vientos fuertes.
	Fallas técnicas	Probabilidad y gravedad de incidentes mecánicos, eléctricos o electrónicos que afecten la operación.
	Riesgos financieros	Riesgo de sobrecostos, pérdidas operativas, baja demanda o fallos contractuales que afecten la sostenibilidad económica.
Facilidad de Implementación	Tiempo de construcción	Duración estimada desde inicio de obras hasta puesta en marcha, incluyendo permisos y pruebas.
	Disponibilidad de proveedores	Existencia de componentes en empresas con experiencia en el suministro e instalación del tipo de sistema propuesto.
	Cumplimiento de regulaciones	Facilidad para cumplir normativas técnicas, ambientales y de seguridad del país o región donde se construye.

Para estos subcriterios se debe realizar una ponderación para establecer cuál es el peso de cada uno en la metodología de selección.

6.3.1. SUBCRITERIOS SUBJETIVOS

Para los criterios subjetivos se implementará la escala de Thomas Saaty, la cual, es una escala ordinal de 1 a 9 que permite expresar cuánto más importante o preferible es un elemento respecto a otro cuando los comparamos dos a dos, esta escala se usa para realizar comparaciones subjetivas cuando no se tiene datos para realizar comparaciones.

Tabla 12. Escala de valores de Thomas Saaty.

Escala de comparación de Thomas Saaty			
Valor numérico	Escala verbal	Explicación	Inverso numérico
1	Igualmente importante	Dos elementos contribuyen en igual medida al objetivo	1
3	Moderadamente importante	Preferencia leve de un elemento sobre otro	1/3
5	Fuertemente importante	Preferencia fuerte de un elemento sobre el otro	1/5
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Mucha más preferencia de un elemento sobre otro. Predominancia demostrada.	1/7
9	Importancia extremadamente fuerte	Preferencia clara y absoluta de un elemento sobre el otro	1/9
2, 4, 6, 8	Intermedios		1/2, 1/4, 1/6, 1/8

Los criterios que se evaluarán mediante esta escala son:

Tabla 13. Criterios y subcriterio a implementar.

CRITERIO	SUBCRITERIO
Desempeño Técnico	Adaptabilidad al terreno
	Disponibilidad y Confiabilidad
Costo de Inversión	Construcción de Infraestructura
Costos de Operación y Mantenimiento	Consumo de energía
	Personal de operación
Sostenibilidad e Impacto Social	Impacto ambiental (emisiones, ruido, ecosistema)
	Eficiencia energética
	Beneficios sociales
	Aceptación comunitaria
Seguridad y Riesgos	Seguridad para usuarios y operarios
	Resiliencia ante desastres
	Fallas técnicas
	Riesgos financieros

NOTA: El subcriterio "Construcción e infraestructura" ha sido evaluado mediante una metodología subjetiva basada en juicio experto, y no con valores cuantitativos directos. Esta decisión se fundamenta en los siguientes aspectos técnicos:

- **Limitación de información específica disponible:**

Durante la fase de recolección de datos, se identificó que no existe información suficientemente detallada, confiable y comparable respecto a los costos y condiciones particulares de construcción e infraestructura de los sistemas considerados, especialmente en contextos similares al del proyecto como aprovechar una infraestructura ya existente. Las fuentes consultadas ofrecen valores generales de proyectos estándar.

- **Naturaleza del proyecto actual:**

El objetivo principal del proyecto en curso es precisamente elaborar los estudios de ingeniería y necesarios para determinar de manera precisa y contextualizada los costos y requerimientos de construcción e infraestructura. En este sentido, sería impropio asignar en esta etapa un valor objetivo sin haber desarrollado el alcance técnico completo del diseño, razón por la cual se recurre a una evaluación experta, basada en criterios relativos de complejidad constructiva, adaptación al terreno y experiencia acumulada en proyectos similares.

Por lo tanto, la elección de una evaluación subjetiva en este subcriterio se encuentra técnicamente justificada y alineada con el nivel de información disponible, así como con el propósito metodológico del proyecto.

6.3.2. SUBCRITERIOS OBJETIVOS

Debido a la naturaleza de estos subcriterios no se utilizará la escala de Saaty debido a que presentan valores para comparar.

Tabla 14. Subcriterios que no utilizan la escala de Thomas Saaty.

CRITERIO	SUB-CRITERIO	UNIDAD DE MEDIDA
Desempeño Técnico	Capacidad de transporte	pphpd o phs (Personas/hora/sentido)
Costo de Inversión	Adquisición de Equipos	USD
Costos de Operación y Mantenimiento	Mantenimiento preventivo y correctivo	USD

Para estos criterios se implementará la normalización a minimizar debido a la naturaleza de los datos, donde para el objetivo del proyecto se debe favorecer o es más apropiado favorecer los valores bajos de inversión y de capacidad. Para la normalización de dichos datos se usará la siguiente fórmula:

$$Puntaje_i = \frac{\min(x)}{x_i}$$

Donde:

- x_i es el valor de la alternativa
- $\min(x)$ es el menor valor del conjunto

6.4. MATRICES

A continuación, se presentan los formatos de las matrices para realizar la ponderación de subcriterios, criterios y para evaluar las alternativas en cada subcriterio.

6.4.1. Ponderación de subcriterios.

Inicialmente se realiza la comparación de los subcriterios de cada criterio para obtener una ponderación que permita estimar la relevancia de cada subcriterio, a continuación, se presenta la matriz base:

Tabla 15. Matriz de comparación de subcriterios de un mismo criterio.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS							
CRITERIO # (DESDE EL 1 HASTA EL 6)							
SUBCRITERIOS	Subcriterio 1	Subcriterio 2	Subcriterio 3	MATRIZ NORMALIZADA			PONDERACIÓN
Subcriterio 1	1						
Subcriterio 2		1					
Subcriterio 3			1				
TOTAL							

6.4.2. Ponderación de criterios principales

Luego se realiza la comparación entre los criterios para obtener una ponderación que permita estimar la relevancia de cada criterio, a continuación, se presenta la matriz base:

Tabla 16. Matriz de comparación de criterios principales

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS												
CRITERIOS	Desempeño Técnico	Costo de Inversión	Costos de Operación y Mantenimiento	Sostenibilidad e Impacto Social	Seguridad y Riesgos	Facilidad de Implementación	MATRIZ NORMALIZADA					PONDERACIÓN
Desempeño Técnico	1											
Costo de Inversión		1										
Costos de Operación y Mantenimiento			1									
Sostenibilidad e Impacto Social				1								
Seguridad y Riesgos					1							
Facilidad de Implementación						1						
TOTAL												

6.4.3. Evaluación de alternativas por cada subcriterio

Luego se realizan las comparaciones entre cada alternativa considerando el subcriterio, es decir, se enfoca la comparación a concepto del subcriterio.

Tabla 17. Matriz de comparación de alternativas para cada subcriterio

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS																	
SUBCRITERIO DE CRITERIO # (DESDE EL 1 HASTA EL 6)																	
ALTERNATIVAS	Monocable unidireccional de pinza desembragable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembragable	Bicable 25 reversible mono vía	Bicable 35 reversible mono vía	Bicable 25 reversible doble vía	Bicable 35 reversible doble vía	MATRIZ NORMALIZADA							
Monocable unidireccional de pinza desembragable	1																
Monocable unidireccional de pinza fija		1															
Monocable reversible mono vía			1														
Monocable reversible doble vía				1													
Bicable unidireccional de pinza desembragable					1												
Bicable 25 reversible mono vía						1											
Bicable 35 reversible mono vía							1										
Bicable 25 reversible doble vía								1									
Bicable 35 reversible doble vía									1								
TOTAL																	

6.4.4. Conglomeración de resultados

Para finalizar, los resultados obtenidos en la comparación de las alternativas con cada subcriterio se deben relacionar con las ponderaciones de cada subcriterio y de cada criterio, dichos datos se deben sumar para cada alternativa y estos son los resultados, a partir de este punto se debe buscar el valor más alto, el cual, corresponde a la alternativa más apropiada.

6.5. RELACIÓN DE CONSISTENCIA (CR)

La relación de consistencia (CR) es un concepto fundamental dentro del método AHP, ya que evalúa la coherencia lógica de las comparaciones que haces entre criterios o alternativas. En otras palabras, sirve para evaluar si se presentan contradicciones. Se expresa entre un valor de 0 a 1 o porcentualmente.

Se calcula de la siguiente manera:

- Índice de consistencia (CI):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Donde:

- λ_{max} es el valor propio máximo de la matriz de comparación.
- n: Número de elementos comparados

2. Índice aleatorio (RI):

$$RI = \frac{1,98 (n - 2)}{n}$$

3. Relación de consistencia (CR):

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

6.5.1. Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos posterior al cálculo matemáticos se deben interpretar según la siguiente tabla:

Tabla 18. Interpretación de resultados de la relación de consistencia.

CR	Interpretación
≤ 0.10 (10%)	Comparaciones aceptablemente consistentes
> 0.10	Hay contradicciones importantes; se recomienda revisar los juicios
$= 0.00$	Comparaciones perfectamente consistentes (ideal, pero poco común)

6.6. CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

Para obtener el resultado final se debe realizar la sumatoria de todos los puntajes obtenidos considerando las ponderaciones de los subcriterios y de los criterios, así:

$$P_{Total} = \sum (Peso\ subcriterio \times Peso\ criterio \times Puntaje\ de\ alternativa)$$

Una vez obtenida dicha suma se deben comparar los valores obtenidos entre las alternativas y se selecciona la o las que presente mayor valor.

7. RESULTADOS

A continuación, se relacionan los resultados después de evaluar la matriz

7.1. MATRICES DE COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS DE CRITERIOS

- **Desempeño técnico:** Los resultados obtenidos para este criterio están acordes a lo esperado para el proyecto debido a que la capacidad de transporte no es un factor relevante debido al bajo movimiento de personas que presenta el sistema.

Tabla 19. Matriz de comparación de subcriterios de desempeño técnico.

Desempeño técnico				
SUBCRITERIOS	Capacidad de transporte	Adaptabilidad al terreno	Disponibilidad y Confiabilidad	PROMEDIO
Capacidad de transporte	1	1/8	1/5	0,07
Adaptabilidad al terreno	8	1	1	0,50
Disponibilidad y Confiabilidad	5	1	1	0,43
TOTAL	14,00	2,13	2,20	

- **Costo de inversión:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde con un presupuesto tan corto, los sistemas que representen una gran inversión en obras civiles como torres o grandes estaciones con grandes grupos de componentes en movimientos no deberían ser tan viables.

Tabla 20. Matriz de comparación de subcriterios de costo de inversión

Costo de inversión			
SUBCRITERIOS	Construcción de Infraestructura	Adquisición de Equipos	PROMEDIO
Construcción de Infraestructura	1	2	0,67
Adquisición de Equipos	1/2	1	0,33
TOTAL	1,50	3,00	

- **Costos de operación y mantenimiento:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado donde sistemas con gran capacidad por hora requieren mucho más mantenimiento, lo cual, no está acorde a la necesidad del proyecto.

Tabla 21. Matriz de comparación de subcriterios de costos de operación y mantenimientos

Costos de operación y mantenimiento				
SUBCRITERIOS	Mantenimiento preventivo y correctivo	Consumo de energía	Personal de operación	PROMEDIO
Mantenimiento preventivo y correctivo	1	7	2	0,57
Consumo de energía	1/7	1	1/7	0,07
Personal de operación	1/2	7	1	0,36
TOTAL	1,64	15,00	3,14	

- **Sostenibilidad e impacto social:** Como resultado se presenta un mayor porcentaje del impacto ambiental, seguido de beneficios sociales, eficiencia energética y aceptación comunitaria.

Tabla 22. Matriz de comparación de subcriterios de sostenibilidad e impacto social.

Sostenibilidad e impacto social					
SUBCRITERIOS	Impacto ambiental (emisiones, ruido, ecosistema)	Eficiencia energética	Beneficios sociales	Aceptación comunitaria	PROMEDIO
Impacto ambiental (emisiones, ruido, ecosistema)	1	1	2	2	0,34
Eficiencia energética	1	1	1/2	1	0,21
Beneficios sociales	1/2	2	1	2	0,29
Aceptación comunitaria	1/2	1	1/2	1	0,16
TOTAL	3,00	5,00	4,00	6,00	

- **Seguridad y riesgos:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde lo primordial es la seguridad de las personas involucradas en el contexto operacional del sistema incluyendo el contexto ambiental que lo puede afectar.

Tabla 23. Matriz de comparación de subcriterios de seguridad y riesgos

Seguridad y riesgos					
SUBCRITERIOS	Seguridad para usuarios y operarios	Resiliencia ante desastres	Fallas técnicas	Riesgos financieros	PROMEDIO
Seguridad para usuarios y operarios	1	1	5	3	0,40
Resiliencia ante desastres	1	1	3	4	0,37
Fallas técnicas	1/5	1/3	1	2	0,13
Riesgos financieros	1/3	1/4	1/2	1	0,10
TOTAL	2,53	2,58	9,50	10,00	

- **Facilidad de implementación:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde el cumplimiento regulatorio es obligatoriedad.

Tabla 24. Matriz de comparación de subcriterios de facilidad de implementación.

Facilidad de implementación				
SUBCRITERIOS	Tiempo de construcción	Disponibilidad de proveedores	Cumplimiento de regulaciones	PROMEDIO
Tiempo de construcción	1	1/3	1/6	0,10
Disponibilidad de proveedores	3	1	1/2	0,30
Cumplimiento de regulaciones	6	2	1	0,60
TOTAL	10,00	3,33	1,67	

7.1.1. Relación de consistencia

Como regla general la relación de consistencia debe ser menor a 0.1, dicho valor, asegura que no existan inconsistencias entre las comparaciones realizadas, a continuación, se presentan los valores calculados para los resultados obtenidos:

Tabla 25. Relación de consistencia de comparación de criterios

Criterio	Relación de consistencia	Cumple
Desempeño Técnico	0,025	Si
Costo de Inversión	--	Si
Costos de Operación y Mantenimiento	0,056	Si
Sostenibilidad e Impacto Social	0,065	Si
Seguridad y Riesgos	0,053	Si
Facilidad de Implementación	0,000	Si

NOTA: La relación de consistencia para el costo de inversión no se calcula debido a que da como resultado un resultado indefinido al presentarse una división entre ceros, sin embargo, se da por cumplido debido a que se puede apreciar de manera visual que no se presentan inconsistencias al diligenciar la matriz debido a que solo se diligencia un campo y el otro es solo el opuesto.

7.2. MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS PRINCIPALES

A continuación, se presentan los resultados de ponderación obtenidos para los criterios:

Tabla 26. Matriz de comparación de criterios diligenciada.

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS							
CRITERIOS	Desempeño Técnico	Costo de Inversión	Costos de Operación y Mantenimiento	Sostenibilidad e Impacto Social	Seguridad y Riesgos	Facilidad de Implementación	PROMEDIO
Desempeño Técnico	1	1/4	1/4	3	1	1/5	0,089
Costo de Inversión	4	1	3	3	1/3	1/5	0,171
Costos de Operación y Mantenimiento	4	1/3	1	2	1/3	1/5	0,112
Sostenibilidad e Impacto Social	1/3	1/3	1/2	1	1/2	1/5	0,057
Seguridad y Riesgos	1	1/3	1/3	2	1	1/5	0,082
Facilidad de Implementación	5	5	5	5	5	1	0,489
TOTAL	15,33	7,25	10,08	16,00	8,17	2,00	

Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde se está buscando adaptar en la medida de lo posible la adaptación de las estaciones actuales al nuevo sistema, por lo que un sistema que se pueda implementar fácilmente en dichas estaciones sería el más idóneo.

7.2.1. Relación de consistencia

Como regla general la relación de consistencia debe ser menor a 0.1, dicho valor, asegura que no existan inconsistencias entre las comparaciones realizadas, a continuación, se presentan los valores calculados para los resultados obtenidos:

Tabla 27. Relación de consistencia de matriz de comparación de criterios

Matriz	Relación de consistencia	Cumple
Comparación de criterios	0,044	Si

7.3. RESUMEN DE PONDERACIONES DE CRITERIOS Y SUBCRITERIOS

A continuación, se presenta un resumen de los resultados de las ponderaciones de los criterios y subcriterios:

Tabla 28. Resumen de ponderación de criterios principales y subcriterios.

CRITERIO PRINCIPAL	PONDERACIÓN	SUB-CRITERIO	PONDERACIÓN
Facilidad de Implementación	0,49	Cumplimiento de regulaciones	0,60
		Disponibilidad de proveedores	0,30
		Tiempo de construcción	0,10
Costo de Inversión	0,17	Construcción de Infraestructura	0,67
		Adquisición de Equipos	0,33
Costos de Operación y Mantenimiento	0,11	Mantenimiento preventivo y correctivo	0,57
		Personal de operación	0,36
		Consumo de energía	0,07
Desempeño Técnico	0,09	Capacidad de transporte	0,07
		Adaptabilidad al terreno	0,50
		Disponibilidad y Confiabilidad	0,43
Seguridad y Riesgos	0,08	Seguridad para usuarios y operarios	0,40
		Resiliencia ante desastres	0,37
		Fallas técnicas	0,13
		Riesgos financieros	0,10
Sostenibilidad e Impacto Social	0,06	Impacto ambiental (emisiones, ruido, ecosistema)	0,34
		Beneficios sociales	0,29
		Eficiencia energética	0,21
		Aceptación comunitaria	0,16

7.4. MATRICES DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA CADA SUBCRITERIO SUBJETIVO

A continuación, se presentan los resultados de evaluar las alternativas en cada subcriterio:

- **Adaptabilidad al terreno:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado donde los sistemas bicable se adaptarían mejor al terreno debido a no necesitar tantas torres.

Tabla 29. Matriz de comparación de alternativas con adaptabilidad del terreno.

ALTERNATIVAS	Adaptabilidad al terreno									PONDERACIÓN
	Monocable unidireccional de pinza desembagable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembagable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	
Monocable unidireccional de pinza desembagable	1	1	1	1	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	0,02
Monocable unidireccional de pinza fija	1	1	1	1	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	0,02
Monocable reversible mono vía	1	1	1	1	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	0,02
Monocable reversible doble vía	1	1	1	1	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	0,02
Bicable unidireccional de pinza desembagable	7	7	7	7	1	1	1/3	1	1/3	0,14
Bicable 2S reversible mono vía	7	7	7	7	1	1	1/3	1	1/3	0,14
Bicable 3S reversible mono vía	7	7	7	7	3	3	1	1	1	0,22
Bicable 2S reversible doble vía	7	7	7	7	1	1	1	1	1/3	0,15
Bicable 3S reversible doble vía	7	7	7	7	3	3	1	3	1	0,25
TOTAL	39,0	39,0	39,0	39,0	9,6	9,6	4,2	7,6	3,6	

- **Disponibilidad y confiabilidad:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado debido a que los sistemas reversibles presentan son los que presentan los resultados más altos debido a que presentan menos componentes móviles en estaciones y también tienen menor cantidad de cabinas.

Tabla 30. Matriz de comparación de alternativas con disponibilidad y confiabilidad.

Disponibilidad y Confiabilidad										
ALTERNATIVAS	Monocable unidireccional de pinza desembragable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembragable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	PONDERACIÓN
Monocable unidireccional de pinza desembragable	1	1	1	1	1/3	1/3	1/4	1/3	1/4	0,05
Monocable unidireccional de pinza fija	1	1	1	1	1/3	1/3	1/4	1/3	1/4	0,05
Monocable reversible mono vía	1	1	1	1	1/3	1/3	1/4	1/3	1/4	0,05
Monocable reversible doble vía	1	1	1	1	1/3	1/3	1/4	1/3	1/4	0,05
Bicable unidireccional de pinza desembragable	3	3	3	3	1	1	1/2	1	1/2	0,13
Bicable 2S reversible mono vía	3	3	3	3	1	1	1/2	1	1/2	0,13
Bicable 3S reversible mono vía	4	4	4	4	2	2	1	2	1	0,21
Bicable 2S reversible doble vía	3	3	3	3	1	1	1/2	1	1/2	0,13
Bicable 3S reversible doble vía	4	4	4	4	2	2	1	2	1	0,21
TOTAL	21,0	21,0	21,0	21,0	8,3	8,3	4,5	8,3	4,5	

- **Construcción e infraestructura:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto donde es más económico construir sistemas bicables porque por lo general presentan una menor cantidad de torres intermedias y estaciones menos robustas.

Tabla 31. Matriz de comparación de alternativas con construcción e infraestructura.

ALTERNATIVAS	Construcción de Infraestructura									
	Monocable unidireccional de pinza desembagable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembagable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	PONDERACIÓN
Monocable unidireccional de pinza desembagable	1	1/3	1/5	1/5	2	1/4	1/2	1/4	1/2	0,05
Monocable unidireccional de pinza fija	3	1	1/5	1/5	2	1/2	1/2	1/2	1/2	0,06
Monocable reversible mono vía	5	5	1	1	2	2	1/2	1	1/2	0,14
Monocable reversible doble vía	5	5	1	1	2	2	1/2	1	1/2	0,14
Bicable unidireccional de pinza desembagable	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/3	1/2	1/3	1/2	0,05
Bicable 2S reversible mono vía	4	2	1/2	1/2	3	1	1/2	1	1/2	0,10
Bicable 3S reversible mono vía	2	2	2	2	2	2	1	1/3	1	0,14
Bicable 2S reversible doble vía	4	2	1	1	3	1	3	1	1/2	0,15
Bicable 3S reversible doble vía	3	2	2	2	2	2	1	2	1	0,17
TOTAL	27,5	19,8	8,4	8,4	19,0	11,1	8,0	7,4	5,5	

- Consumo de energía:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde, sistemas bicables presentan un menor consumo energético debido a que las funciones de soportar y desplazar los vehículos se encuentran separadas en grupos de cables diferentes, por lo que el grupo motriz no debe cargar con el peso adicional que representa transportar los cables en sistemas monocables, adicional a esto, los sistemas reversibles presentan una compensación de carga debido a que generalmente se cumple la regla de que el vehículo que va descendiendo ayuda el ascenso del otro.

Tabla 32. Matriz de comparación de alternativas con consumo de energía.

ALTERNATIVAS	Consumo de energía									PONDERACIÓN
	Monocable unidireccional de pinza desembagable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembagable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	
Monocable unidireccional de pinza desembagable	1	1/5	1/7	1/7	1/3	1/4	1/4	1/4	1/4	0,03
Monocable unidireccional de pinza fija	5	1	1/6	1/5	2	1/3	1/2	1/3	1/2	0,06
Monocable reversible mono vía	7	6	1	2	4	1/3	1/2	1/3	1/2	0,12
Monocable reversible doble vía	7	5	1/2	1	5	1/3	1/2	1/3	1/2	0,10
Bicable unidireccional de pinza desembagable	3	1/2	1/4	1/5	1	1/6	1/6	1/6	1/6	0,03
Bicable 2S reversible mono vía	4	3	3	3	6	1	2	1	2	0,20
Bicable 3S reversible mono vía	4	2	2	2	6	1/2	1	1/3	1	0,12
Bicable 2S reversible doble vía	4	3	3	3	6	1	3	1	2	0,21
Bicable 3S reversible doble vía	4	2	2	2	6	1/2	1	1/2	1	0,13
TOTAL	39,0	22,7	12,1	13,5	36,3	4,4	8,9	4,3	7,9	

- **Personal de operación:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde, los sistemas con mayor complejidad como los desembagables requieren de una mayor cantidad de personal.

Tabla 33. Matriz de comparación de alternativas con personal de operación.

ALTERNATIVAS	Personal de operación									PONDERACIÓN
	Monocable unidireccional de pinza desembagable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembagable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	
Monocable unidireccional de pinza desembagable	1	1/4	1/6	1/6	1	1/6	1/6	1/6	1/6	0,02
Monocable unidireccional de pinza fija	4	1	1/5	1/5	4	1/5	1/5	1/5	1/5	0,05
Monocable reversible mono vía	6	5	1	1	7	1	1	1	1	0,16
Monocable reversible doble vía	6	5	1	1	7	1	1	1	1	0,16
Bicable unidireccional de pinza desembagable	1	1/4	1/7	1/7	1	1/4	1/4	1/4	1/4	0,03
Bicable 2S reversible mono vía	6	5	1	1	4	1	1	1	1	0,15
Bicable 3S reversible mono vía	6	5	1	1	4	1	1	1	1	0,15
Bicable 2S reversible doble vía	6	5	1	1	4	1	1	1	1	0,15
Bicable 3S reversible doble vía	6	5	1	1	4	1	1	1	1	0,15
TOTAL	42,0	31,5	6,5	6,5	36,0	6,6	6,6	6,6	6,6	

- Impacto ambiental:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde, los sistemas reversibles presentan menor impacto ambiental debido a que al ser sistemas menos complejos requieren de menos consumibles como aceites, grasas, guarniciones, etc.... adicional a esto, al no requerir tantas torres como los sistemas monocable los sistemas bicables presentan los mayores porcentajes.

Tabla 34. Matriz de comparación de alternativas con impacto ambiental.

ALTERNATIVAS	Impacto ambiental (emisiones, ruido, ecosistema)									PONDERACIÓN
	Monocable unidireccional de pinza desembagable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembagable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	
Monocable unidireccional de pinza desembagable	1	1/3	1/4	1/4	2	1/3	1/3	1/3	1/3	0,04
Monocable unidireccional de pinza fija	3	1	1/3	1/3	2	1/2	1/2	1/2	1/2	0,07
Monocable reversible mono vía	4	3	1	1	3	1/2	1/2	1/2	1/2	0,11
Monocable reversible doble vía	4	3	1	1	3	1/2	1/2	1/2	1/2	0,11
Bicable unidireccional de pinza desembagable	2	2	1/3	1/3	1	1/4	1/4	1/4	1/4	0,05
Bicable 2S reversible mono vía	3	2	2	2	4	1	1/2	1/2	1/2	0,13
Bicable 3S reversible mono vía	3	2	2	2	4	2	1	1/2	1/2	0,15
Bicable 2S reversible doble vía	3	2	2	2	4	2	1	1	1	0,17
Bicable 3S reversible doble vía	3	2	2	2	4	2	2	1	1	0,18
TOTAL	26,0	17,3	10,9	10,9	27,0	9,1	6,6	5,1	5,1	

- Eficiencia energética:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde, los sistemas bicables reversibles presentan algunos de los mayores porcentajes debido a que presentan una compensación de cargas al operar el sistema debido al peso de la cabina que se encuentra descendiendo y al presentar menor cantidad de torres presentan menos cantidad de poleas en contacto con el cable.

Tabla 35. Matriz de comparación de alternativas con eficiencia energética.

ALTERNATIVAS	Eficiencia energética									PONDERACIÓN
	Monocable unidireccional de pinza desembagable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembagable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	
Monocable unidireccional de pinza desembagable	1	1/3	3	2	3	3	4	1/2	1/2	0,13
Monocable unidireccional de pinza fija	3	1	3	2	3	3	4	1/2	1/2	0,16
Monocable reversible mono vía	1/3	1/3	1	1/2	1/2	1	1	1/4	1/4	0,04
Monocable reversible doble vía	1/2	1/2	2	1	2	3	4	1/2	1/2	0,10
Bicable unidireccional de pinza desembagable	1/3	1/3	2	1/2	1	3	4	1/2	1/2	0,09
Bicable 2S reversible mono vía	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	4	1/4	1/4	0,05
Bicable 3S reversible mono vía	1/4	1/4	1	1/4	1/4	1/4	1	1/2	1/2	0,04
Bicable 2S reversible doble vía	3	2	4	2	2	4	2	1	1/2	0,18
Bicable 3S reversible doble vía	3	2	4	2	2	4	2	2	1	0,21
TOTAL	11,8	7,1	21,0	10,6	14,1	22,3	26,0	6,0	4,5	

- **Beneficios sociales:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde, los sistemas bicables presentan mayores porcentajes debido a que generalmente presentan mayores velocidades de operación, lo que representa menores tiempos de desplazamiento entre estaciones. Adicional a esto, al no contar con gran cantidad de torres afectaría en menor medida los predios de la comunidad.

Tabla 36. Matriz de comparación de alternativas con beneficios sociales.

ALTERNATIVAS	Beneficios sociales									PONDERACIÓN
	Monocable unidireccional de pinza desembagable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembagable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	
Monocable unidireccional de pinza desembagable	1	1	1/2	1/2	1/2	1/5	1/5	1/5	1/5	0,03
Monocable unidireccional de pinza fija	1	1	1	1	1	1/5	1/5	1/5	1/5	0,04
Monocable reversible mono vía	2	1	1	1	1/2	1/5	1/5	1/5	1/5	0,04
Monocable reversible doble vía	2	1	1	1	1/2	1/3	1/3	1/3	1/3	0,05
Bicable unidireccional de pinza desembagable	2	1	2	2	1	1/8	1/8	1/8	1/8	0,05
Bicable 2S reversible mono vía	5	5	5	3	8	1	1	1	1	0,19
Bicable 3S reversible mono vía	5	5	5	3	8	1	1	1	2	0,20
Bicable 2S reversible doble vía	5	5	5	3	8	1	1	1	4	0,23
Bicable 3S reversible doble vía	5	5	5	3	8	1	1/2	1/4	1	0,16
TOTAL	28,0	25,0	25,5	17,5	35,5	5,1	4,6	4,3	9,1	

- **Aceptación comunitaria:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde los sistemas más similares al antiguo teleférico de San Sebastian de Palmitas sería el más aceptado por la comunidad.

Tabla 37. Matriz de comparación de alternativas con aceptación comunitaria.

ALTERNATIVAS	Aceptación comunitaria									PONDERACIÓN
	Monocable unidireccional de pinza desembagable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembagable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	
Monocable unidireccional de pinza desembagable	1	1	1	1/4	1	3	3	1/4	1/4	0,07
Monocable unidireccional de pinza fija	1	1	1	1/4	1	3	3	1/4	1/4	0,07
Monocable reversible mono vía	1	1	1	1/4	1/2	1	1	1/4	1/4	0,05
Monocable reversible doble vía	4	4	4	1	3	4	4	1/4	1/4	0,16
Bicable unidireccional de pinza desembagable	1	1	2	1/3	1	3	3	1/4	1/4	0,08
Bicable 2S reversible mono vía	1/3	1/3	1	1/4	1/3	1	1	1/4	1/4	0,04
Bicable 3S reversible mono vía	1/3	1/3	1	1/4	1/3	1	1	1/4	1/4	0,04
Bicable 2S reversible doble vía	4	4	4	4	4	4	4	1	1	0,24
Bicable 3S reversible doble vía	4	4	4	4	5	4	4	1	1	0,25
TOTAL	16,7	16,7	19,0	10,6	16,2	24,0	24,0	3,8	3,8	

- **Seguridad para usuarios y operarios:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde todas las alternativas presentan altos estándares de seguridad para usuarios y operarios.

Tabla 38. Matriz de comparación de alternativas con seguridad para usuarios y operarios.

Seguridad para usuarios y operarios										
ALTERNATIVAS	Monocable unidireccional de pinza desembagable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembagable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	PONDERACIÓN
Monocable unidireccional de pinza desembagable	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Monocable unidireccional de pinza fija	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Monocable reversible mono vía	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Monocable reversible doble vía	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Bicable unidireccional de pinza desembagable	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Bicable 2S reversible mono vía	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Bicable 3S reversible mono vía	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Bicable 2S reversible doble vía	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Bicable 3S reversible doble vía	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
TOTAL	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	

- **Resiliencia ante desastres:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde los sistemas bicables presentan mayores porcentajes debido a que ante condiciones climáticas adversas como viento presentan mayor resistencia.

Tabla 39. Matriz de comparación de alternativas con resiliencia ante desastres.

Resiliencia ante desastres										
ALTERNATIVAS	Monocable unidireccional de pinza desembagable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembagable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	PONDERACIÓN
Monocable unidireccional de pinza desembagable	1	1	1	1	1/4	1/4	1/6	1/4	1/6	0,03
Monocable unidireccional de pinza fija	1	1	1	1	1/4	1/4	1/6	1/4	1/6	0,03
Monocable reversible mono vía	1	1	1	1	1/4	1/4	1/6	1/4	1/6	0,03
Monocable reversible doble vía	1	1	1	1	1/4	1/4	1/6	1/4	1/6	0,03
Bicable unidireccional de pinza desembagable	4	4	4	4	1	1	1/3	1	1/3	0,12
Bicable 2S reversible mono vía	4	4	4	4	1	1	1/3	1	1/3	0,12
Bicable 3S reversible mono vía	6	6	6	6	3	3	1	2	1	0,25
Bicable 2S reversible doble vía	4	4	4	4	1	1	1/2	1	2	0,16
Bicable 3S reversible doble vía	6	6	6	6	3	3	1	1/2	1	0,22
TOTAL	28,0	28,0	28,0	28,0	10,0	10,0	3,8	6,5	5,3	

- Fallas técnicas:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde los sistemas desembagables tienden a presentar más fallos por presentar más componentes como cadenciadores, tomas de movimiento, baterías de poleas. Los sistemas monocable presentan más torres, lo que corresponde a más componentes con probabilidad de fallo.

Tabla 40. Matriz de comparación de alternativas con fallas técnicas.

ALTERNATIVAS	Fallas técnicas									PONDERACIÓN
	Monocable unidireccional de pinza desembagable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembagable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	
Monocable unidireccional de pinza desembagable	1	1/2	1/4	1/4	2	1/4	1/3	1/4	1/4	0,04
Monocable unidireccional de pinza fija	2	1	1/4	1/4	2	1/2	1/2	1/2	1/2	0,06
Monocable reversible mono vía	4	4	1	1	2	2	1/2	2	1/2	0,14
Monocable reversible doble vía	4	4	1	1	2	2	1/2	2	1/2	0,14
Bicable unidireccional de pinza desembagable	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/4	1/3	1/4	1/4	0,04
Bicable 2S reversible mono vía	4	2	1/2	1/2	4	1	1/2	1	1/2	0,10
Bicable 3S reversible mono vía	3	2	2	2	3	2	1	1/3	1	0,16
Bicable 2S reversible doble vía	4	2	1/2	1/2	4	1	3	1	1/2	0,14
Bicable 3S reversible doble vía	4	2	2	2	4	2	1	2	1	0,18
TOTAL	26,5	18,0	8,0	8,0	24,0	11,0	7,7	9,3	5,0	

- **Riesgos financieros:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde los sistemas desembagables presentan mayores porcentajes debido a que son sistemas más comerciales, por lo que los precios presentan menos riesgo de variación.

Tabla 41. Matriz de comparación de alternativas con riesgos financieros.

ALTERNATIVAS	Riesgos financieros									PONDERACIÓN
	Monocable unidireccional de pinza desembagable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembagable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	
Monocable unidireccional de pinza desembagable	1	1	5	5	1	4	5	4	5	0,23
Monocable unidireccional de pinza fija	1	1	5	5	1	3	4	3	4	0,21
Monocable reversible mono vía	1/5	1/5	1	1	1/5	1/2	1	1/2	1	0,04
Monocable reversible doble vía	1/5	1/5	1	1	1/5	1/2	1	1/2	1	0,04
Bicable unidireccional de pinza desembagable	1	1	5	5	1	5	5	5	5	0,25
Bicable 2S reversible mono vía	1/4	1/3	2	2	1/5	1	2	1	2	0,07
Bicable 3S reversible mono vía	1/5	1/4	1	1	1/5	1/2	1	1	1	0,05
Bicable 2S reversible doble vía	1/4	1/3	2	2	1/5	1	1	1	2	0,07
Bicable 3S reversible doble vía	1/5	1/4	1	1	1/5	1/2	1	1/2	1	0,04
TOTAL	4,3	4,6	23,0	23,0	4,2	16,0	21,0	16,5	22,0	

- **Tiempo de construcción:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde los sistemas monocables al adaptarse en mayor medida a la geografía del área requieren mayor cantidad de torres, lo que conlleva mayor tiempo de fabricación, obra civil, montajes, etc....

Tabla 42. Matriz de comparación de alternativas con tiempo de construcción

ALTERNATIVAS	Tiempo de construcción									PONDERACIÓN
	Monocable unidireccional de pinza desembagable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembagable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	
Monocable unidireccional de pinza desembagable	1	1/4	1/3	1/3	2	1/6	1/5	1/5	1/4	0,03
Monocable unidireccional de pinza fija	4	1	1/3	1/3	2	1/5	1/4	1/4	1/3	0,05
Monocable reversible mono vía	3	3	1	1	4	1/4	1/3	1/3	1/2	0,08
Monocable reversible doble vía	3	3	1	1	4	1/4	1/3	1/2	1/2	0,08
Bicable unidireccional de pinza desembagable	1/2	1/2	1/4	1/4	1	1/8	1/8	1/7	1/7	0,02
Bicable 2S reversible mono vía	6	5	4	4	8	1	2	2	2	0,27
Bicable 3S reversible mono vía	5	4	3	3	8	1/2	1	0	2	0,16
Bicable 2S reversible doble vía	5	4	3	2	7	1/2	1	1	2	0,18
Bicable 3S reversible doble vía	4	3	2	2	7	1/2	1/2	1/2	1	0,13
TOTAL	31,5	23,8	14,9	13,9	43,0	3,5	5,7	4,9	8,7	

- **Disponibilidad de proveedores:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde los sistemas desembagables presentan mayores porcentajes debido a que son sistemas más comerciales, por lo que la disponibilidad de componentes como cables, cabinas, ménsulas, caballetes puede ser mayor.

Tabla 43. Matriz de comparación de alternativas con disponibilidad de proveedores.

ALTERNATIVAS	Disponibilidad de proveedores									PONDERACIÓN
	Monocable unidireccional de pinza desembagable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembagable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	
Monocable unidireccional de pinza desembagable	1	1	5	5	1	4	5	4	5	0,23
Monocable unidireccional de pinza fija	1	1	5	5	1	3	4	3	4	0,21
Monocable reversible mono vía	1/5	1/5	1	1	1/5	1/2	1	1/2	1	0,04
Monocable reversible doble vía	1/5	1/5	1	1	1/5	1/2	1	1/2	1	0,04
Bicable unidireccional de pinza desembagable	1	1	5	5	1	5	5	5	5	0,25
Bicable 2S reversible mono vía	1/4	1/3	2	2	1/5	1	2	1	2	0,07
Bicable 3S reversible mono vía	1/5	1/4	1	1	1/5	1/2	1	1	1	0,05
Bicable 2S reversible doble vía	1/4	1/3	2	2	1/5	1	1	1	2	0,07
Bicable 3S reversible doble vía	1/5	1/4	1	1	1/5	1/2	1	1/2	1	0,04
TOTAL	4,3	4,6	23,0	23,0	4,2	16,0	21,0	16,5	22,0	

- **Cumplimiento de regulaciones:** Los resultados obtenidos para este proyecto están acordes a lo esperado en el proyecto, donde todas las alternativas presentan cumplimiento a regulaciones.

Tabla 44. Matriz de comparación de alternativas con cumplimiento de regulaciones.

ALTERNATIVAS	Cumplimiento de regulaciones									PONDERACIÓN
	Monocable unidireccional de pinza desembagable	Monocable unidireccional de pinza fija	Monocable reversible mono vía	Monocable reversible doble vía	Bicable unidireccional de pinza desembagable	Bicable 2S reversible mono vía	Bicable 3S reversible mono vía	Bicable 2S reversible doble vía	Bicable 3S reversible doble vía	
Monocable unidireccional de pinza desembagable	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Monocable unidireccional de pinza fija	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Monocable reversible mono vía	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Monocable reversible doble vía	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Bicable unidireccional de pinza desembagable	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Bicable 2S reversible mono vía	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Bicable 3S reversible mono vía	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Bicable 2S reversible doble vía	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
Bicable 3S reversible doble vía	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,11
TOTAL	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	

7.4.1. Relación de consistencia

Como regla general la relación de consistencia debe ser menor o igual a 0.1, dicho valor, asegura que no existan inconsistencias entre las comparaciones realizadas, a continuación, se presentan los valores calculados para los resultados obtenidos:

Tabla 45. Relaciones de consistencia para evaluación de alternativas en subcriterios.

Subcriterio	Relación de consistencia	Cumple
Adaptabilidad al terreno	0,04	Si
Disponibilidad y Confiabilidad	0,01	Si
Construcción de Infraestructura	0,09	Si
Consumo de energía	0,10	Si
Personal de operación	0,03	Si
Impacto ambiental (emisiones, ruido, ecosistema)	0,08	Si
Eficiencia energética	0,09	Si
Beneficios sociales	0,07	Si
Aceptación comunitaria	0,08	Si
Seguridad para usuarios y operarios	0,00	Si
Resiliencia ante desastres	0,03	Si
Fallas técnicas	0,07	Si
Riesgos financieros	0,01	Si
Tiempo de construcción	0,03	Si
Disponibilidad de proveedores	0,01	Si
Cumplimiento de regulaciones	0,00	Si

7.5. NORMALIZACIÓN DE DATOS PARA CADA SUBCRITERIO OBJETIVO

7.5.1. Capacidad:

En la Tabla 9 se presentan los valores de capacidad extraídos del estado del arte, pero estos valores presentan un máximo y un mínimo, debido a esto se utilizará el valor medio como referencia, a continuación, se presentan los valores medios y el valor normalizado:

Tabla 46. Valores de capacidad medio usados en normalización.

ALTERNATIVA	Capacidad, pphpd	Valor medio, pphpd	Capacidad normalizada
Monocable unidireccional de pinza desembragable	1.000-4.000	2.500	0.2
Monocable unidireccional de pinza fija	240-1.200	720	0.69
Monocable reversible mono vía	40-1.000	520	0.96
Monocable reversible doble vía	2-500	2.760	0.18
Bicable unidireccional de pinza desembragable	2.500-5.000	3.750	0.13
Bicable 2S reversible mono vía	500-1.500	1.000	0.5
Bicable 3S reversible mono vía	250-750	500	1
Bicable 2S reversible doble vía	1.000-2.000	1.500	0.33
Bicable 3S reversible doble vía	500-1.000	750	0.67

7.5.2. Adquisición de equipos:

A continuación, se presentan los valores de la adquisición de equipos y los valores normalizados:

Tabla 47. Valores de adquisición de equipos normalizados.

ALTERNATIVA	Monto, €	Adquisición de equipos normalizada
Monocable unidireccional de pinza desembragable	€ 5.000.000	0,50
Monocable unidireccional de pinza fija	€ 3.400.000	0,73
Monocable reversible mono vía	€ 3.700.000	0,67
Monocable reversible doble vía	€ 3.900.000	0,63
Bicable unidireccional de pinza desembragable	€ 7.000.000	0,35
Bicable 2S reversible mono vía	€ 2.475.000	1,00
Bicable 3S reversible mono vía	€ 3.150.000	0,79
Bicable 2S reversible doble vía	€ 2.575.000	0,96
Bicable 3S reversible doble vía	€ 3.250.000	0,76

7.5.3. Mantenimiento preventivo y correctivo, €:

En la fase de selección de alternativas para el proyecto del sistema de transporte por cable, se ha estimado que el costo anual de mantenimiento equivale aproximadamente entre 1.5% al 2% del CAPEX (Costo de Capital Inicial). Este valor será ajustado en etapas posteriores del proyecto, una vez se obtengan datos operativos reales y cotizaciones de proveedores.

Esta aproximación se considera válida en la fase actual como base de comparación de alternativas y está respaldada por la experiencia profesional de INTECKNO, basándose en los siguientes fundamentos:

Referencias Académicas y Notas de Clase

Diversos estudios y material docente en ingeniería de transporte por cable (incluyendo las Notas de Clase del Máster en Instalaciones de Transporte por Cable de la Universidad de Zaragoza) indican que los costos de mantenimiento en relación con el CAPEX suelen oscilar entre:

- 1.5% para sistemas de pinza fija o sistemas tipo vaivén de baja capacidad.
- 2% para sistemas de pinza desembragable [4].

Experiencia Empírica y Práctica Profesional

Consultas realizadas a profesionales con experiencia en proyectos comparables —en los cuales INTECKNO ha participado en actividades de mantenimiento o ha tenido acceso a datos internos confirman que los costos de mantenimiento preventivo y correctivo en sistemas implementados se alinean con los porcentajes mencionados. Algunos casos de referencia incluyen:

- Teleférico de Puerto Plata (República Dominicana).
- Telesilla Princesita (Cerro Catedral, Argentina).
- Teleférico Alemão (Brasil) [5].
- Teleférico de Monserrate (Bogotá, Colombia).
- Teleférico de Rainforest Adventure Costa Rica (JACO).
- Teleférico de Rainforest Adventure Costa Rica (BRAULIO CARRILLO).
- Teleférico de Rainforest Adventure Saint Marteen.
- Teleférico de Rainforest Adventure skyrides Costa Rica Saint Lucia.

Estos costos cubren partidas como inspecciones periódicas, lubricación, reemplazo de componentes menores y mano de obra especializada. A continuación, se presentan los valores normalizados:

Tabla 48. Valores de mantenimiento preventivo y correctivo normalizados

Alternativa	Monto, €	Mantenimiento preventivo y correctivo normalizado
Monocable unidireccional de pinza desembragable	€ 100.000	0,37
Monocable unidireccional de pinza fija	€ 51.000	0,73
Monocable reversible mono vía	€ 55.500	0,67
Monocable reversible doble vía	€ 58.500	0,63
Bicable unidireccional de pinza desembragable	€ 140.000	0,27
Bicable 2S reversible mono vía	€ 37.125	1,00
Bicable 3S reversible mono vía	€ 47.250	0,79
Bicable 2S reversible doble vía	€ 38.625	0,96
Bicable 3S reversible doble vía	€ 48.750	0,76

7.5.4. Resultados

A continuación, se presentan todos los valores normalizados a modo de resumen:

Tabla 49. Valores normalizados de subcriterios objetivos.

Valores normalizados			
ALTERNATIVA	Adquisición de equipos, €	Mantenimiento preventivo y correctivo, €	Capacidad, pphpd
Monocable unidireccional de pinza desembragable	0,50	0,37	0,20
Monocable unidireccional de pinza fija	0,73	0,73	0,69
Monocable reversible mono vía	0,67	0,67	0,96
Monocable reversible doble vía	0,63	0,63	0,18
Bicable unidireccional de pinza desembragable	0,35	0,27	0,13
Bicable 2S reversible mono vía	1,00	1,00	0,50
Bicable 3S reversible mono vía	0,79	0,79	1,00
Bicable 2S reversible doble vía	0,96	0,96	0,33
Bicable 3S reversible doble vía	0,76	0,76	0,67

7.6. CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de relacionar las ponderaciones de los criterios, las ponderaciones de los subcriterios y los puntajes de las alternativas con los subcriterios:

Tabla 50. Consolidación de resultados para las alternativas.

Alternativas	Suma
Bicable 2S reversible doble vía	23%
Bicable 2S reversible mono vía	23%
Bicable 3S reversible doble vía	21%
Bicable 3S reversible mono vía	21%
Monocable unidireccional de pinza fija	18%
Monocable reversible mono vía	17%
Monocable reversible doble vía	16%
Monocable unidireccional de pinza desembagable	14%
Bicable unidireccional de pinza desembagable	14%

Como se puede apreciar en la tabla anterior, se evidencia que las alternativas más idóneas corresponden a teleférico bicable 2S reversible doble vía en primer lugar y teleférico bicable 2S reversible mono vía en segundo lugar.

8. COSTO-BENEFICIO

8.1. BENEFICIOS

Social

La implementación del sistema de transporte por cable en San Sebastián de Palmitas representa un cambio sustancial en la calidad de vida de las comunidades de El Morrón y Teresitas, al ofrecer una solución eficiente y segura frente a las limitaciones de accesibilidad que históricamente han enfrentado. Sin el teleférico, los habitantes de estos sectores deben recorrer trayectos prolongados a pie, en condiciones topográficas complejas, lo que puede implicar tiempos de desplazamiento de hasta una hora solo para tener acceso a una vía principal para disponer del transporte público y así acceder a servicios esenciales como salud, educación, comercio o trámites administrativos. Esta situación ha generado un aislamiento relativo que limita el desarrollo social y económico de la población. El teleférico, al reducir significativamente los tiempos de viaje —de horas a minutos—, no solo mejora la movilidad cotidiana, sino que también fortalece el acceso equitativo a oportunidades, promueve la integración territorial y reduce la inequidad entre zonas urbanas y rurales. Además, su operación constante y segura contribuye a una mayor inclusión social, especialmente para niños, personas mayores y familias con dificultades de movilidad.

Económico

Desde el punto de vista económico, el teleférico de San Sebastián de Palmitas tiene un impacto directo y transformador sobre las comunidades de El Morrón y Teresitas. Al ser un sistema de transporte gratuito para los usuarios, se eliminan los costos recurrentes de desplazamiento que actualmente representan una carga económica significativa para las familias. Adicionalmente, el sistema ha sido concebido para permitir el transporte de carga agrícola, lo que facilita la movilización de productos cultivados en estas zonas rurales hacia puntos de venta o intercambio, sin depender de medios tradicionales costosos, ineficientes o limitados por las condiciones del terreno. Esta mejora en la logística reduce pérdidas por deterioro, mejora la frecuencia de comercialización y amplía el acceso a mercados, generando así un aumento en los ingresos de los productores locales. En conjunto, el teleférico no solo representa una infraestructura de movilidad, sino un instrumento de desarrollo económico rural, que dinamiza la economía local, incentiva la productividad agrícola y fortalece la sostenibilidad financiera de las comunidades beneficiarias.

Proyección turística

El teleférico también posee un alto potencial como motor de desarrollo turístico para las veredas de San Sebastián de Palmitas. Su implementación no solo mejora la conectividad para los residentes, sino que también facilita el acceso de visitantes a un entorno rural con un paisaje privilegiado, tradiciones culturales vivas y una vocación agroecológica que puede ser integrada en experiencias de turismo comunitario. Al posicionarse como un sistema de transporte moderno, eficiente y escénico, el teleférico puede convertirse en un atractivo en sí mismo, incentivando el turismo de naturaleza, educativo y experiencial. Esto representa una oportunidad estratégica para diversificar la economía local, generar empleo y fortalecer iniciativas productivas complementarias como hospedajes rurales, gastronomía típica y rutas agroturísticas, contribuyendo así a la valorización del territorio y al arraigo de sus comunidades.

Impacto ambiental

La implementación del teleférico en San Sebastián de Palmitas representa una alternativa de movilidad ambientalmente sostenible frente a la construcción de infraestructura vial tradicional. Al tratarse de un sistema aéreo, su huella ecológica es mínima, ya que requiere una intervención reducida sobre el terreno, evitando afectaciones significativas a los ecosistemas locales, la deforestación y la fragmentación del hábitat. Además, el teleférico opera con energía eléctrica, lo que contribuye a la reducción de emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero, en contraste con vehículos de transporte terrestre que dependen de combustibles fósiles. Esta característica convierte al sistema en una solución alineada con las políticas de mitigación del cambio climático y preservación del entorno natural, fortaleciendo el equilibrio entre desarrollo territorial y conservación ambiental.

Los beneficios integrados del proyecto del teleférico de San Sebastián de Palmitas impactarán de manera directa y positiva a las 142 familias de los sectores de El Morrón (22) y Teresitas

(120), quienes históricamente han enfrentado barreras de movilidad y acceso a oportunidades básicas. La mejora en la conectividad reducirá significativamente los tiempos y costos de desplazamiento, fortaleciendo el acceso a servicios de salud, educación y comercialización de productos agrícolas. Al ser un sistema sostenible y de baja huella ambiental, garantiza un desarrollo armónico con el entorno natural, protegiendo el ecosistema que rodea a estas comunidades. Además, la posibilidad de integrar el transporte de carga agrícola y el potencial turístico del teleférico generará nuevas dinámicas económicas locales, ampliando las fuentes de ingreso familiar y promoviendo iniciativas de turismo rural y economía comunitaria. En conjunto, este proyecto no solo resuelve una necesidad de transporte, sino que se convierte en una herramienta integral de desarrollo territorial y mejoramiento de la calidad de vida para las familias beneficiarias.

8.2. ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO

Con el objetivo de evaluar las alternativas tecnológicas más viables para la implementación de un sistema de transporte por cable en San Sebastián de Palmitas, se realizó un análisis comparativo basado en los costos de inversión (CAPEX) referencial de las cuatro alternativas con mejor puntuación obtenida durante la implementación de la metodología AHP (Ver Tabla 51).

Alternativa	CAPEX (€)
Bicable 2S reversible mono vía	€ 2.475.000
Bicable 2S reversible doble vía	€ 2.575.000
Bicable 3S reversible mono vía	€ 3.150.000
Bicable 3S reversible doble vía	€ 3.250.000

Tabla 51. Costo CAPEX de las alternativas.

La evaluación incluyó el cálculo del costo-beneficio (B/C), la tasa interna de retorno (TIR) y el valor presente neto (VPN) para determinar la viabilidad de las alternativas a considerar. Los resultados obtenidos permiten visualizar con claridad las diferencias económicas entre las alternativas, facilitando una toma de decisiones fundamentada en criterios de eficiencia social y financiera.

Cabe aclarar que, al ser dos tramos que se van a construir, el CAPEX mostrado se duplicará ya que se construirán dos teleféricos en total, lo cual supone uno por cada tramo.

8.2.1. BENEFICIOS DIRECTOS

8.2.1.1. BENEFICIO DE TIEMPO AHORRADO

Dentro de los beneficios directos de la implementación del teleférico, se contempla el ahorro de tiempo en la movilización. Se toma el tiempo total del trayecto desde la estación

correspondiente (sea Morrón o Teresitas) como punto de partida, hasta la estación La Aldea, además se considera el tiempo que se tarda en bajar una carga de 100 kg en mula desde la estación El Morrón hasta la vía La sucia. Estos tiempos se restan con el tiempo estimado de transporte tanto de movilización como de transporte de carga teniendo el sistema habilitado, para el cual se estima un trayecto de 12 minutos.

Se calcula para cada estación el tiempo total ahorrado, el cual, se multiplica con el número de usos estimado para el sistema. Finalmente se transforma esto a horas, las cuales se procederá a cuantificar en un valor monetario a partir de la hora del salario mínimo legal vigente (COP 6.128). Finalmente, con este valor dinero del tiempo ahorrado, se multiplica por los días de operación estimados del sistema (310 días) y se obtiene un beneficio anual, el cual se ve reflejado en la Tabla 52

El Morrón			Teresitas		
Tiempo			Tiempo		
Tiempo para llegar a la estación la aldea actual	85	min	Tiempo para llegar a la estación la aldea actual	45	min
Tiempo para llegar a la estación la aldea teleférico	12	min	Tiempo para llegar a la estación la aldea teleférico	8	min
Tiempo de transporte de carga (100 Kg) por mula	60	min	Usuarios diarios	101	Perso nas/d ía
Tiempo de transporte de carga (100 Kg) teleférico	12	min	Cantidad de usos	62	
Usuarios diarios	31	Perso nas/d ía	Ahorro de tiempo por trayecto	37	min
Cantidad de usos	39		Tiempo ahorrado total	2294	min
Ahorro de tiempo por trayecto	121	min	Tiempo ahorrado total	38.23333333	hora
Tiempo ahorrado total	4719	min	Dinero	COP 234,293.87	
Tiempo ahorrado total	78.65	hora	días operativos	310	
Dinero	COP 481,967.20		Beneficio anual	COP 72,631,098.67	
días operativos	310				
Beneficio anual	COP 149,409,832.00				

Tabla 52. Beneficio de tiempo para El Morrón y Teresitas

8.2.1.2. BENEFICIO DE COSTOS DE TRANSPORTE AHORRADO

Se cuantifican los costos del transporte teniendo en cuenta la disponibilidad de transporte que hay en cada sector:

- Para la estación El Morrón, el transporte hacia Medellín se toma desde la vía a Ebéjico en la sucia, donde en cada hora par del día pasa un bus de la entidad de transporte COOTRASANA.
- En teresitas, se requiere de un transporte que llegue hasta el túnel, esto se logra a partir de los servicios particulares de mototaxis que hay en Palmitas. Una vez allí se toma cualquier bus que viaje hasta Medellín.

Además de esto, se cuantifica el costo de transporte cuando hay una urgencia médica, donde para El Morrón se cobra de manera particular desde la sucia y en Teresitas desde el Filo. También se cuantifica el transporte de la carga, excepto en Teresitas debido a que estos poseen intermediarios directos que viajan desde Medellín y adquieren allá la carga.

En la siguiente tabla se realiza el cálculo del ahorro, teniendo en cuenta que el teleférico disminuye el número de intermediarios y solo se posee el valor tanto del transporte hacia Medellín como del transporte de carga desde la carretera (ver Tabla 53)

El Morrón		Teresitas	
Economía		Economía	
Precio Llegar hasta Medellín actual	COP 11,500.00	Precio moto hasta el túnel	COP 8,000.00
Precio Llegar hasta Medellín teleférico	COP 6,000.00	Precio desde el túnel hasta Medellín	COP 8,000.00
Ahorro	COP 5,500.00	Precio Llegar hasta Medellín teleférico	COP 6,000.00
Precio Llegar hasta Medellín Urgencias actual	COP 70,000.00	Ahorro	COP 10,000.00
Precio Llegar hasta Medellín Urgencias teleférico	COP 6,000.00	Precio motocarro hasta Medellín urgencias	COP 40,000.00
Ahorro casos de urgencia medica	COP 64,000.00	Precio urgencias desde el túnel	COP 6,000.00

El Morrón		Teresitas	
Economía		Economía	
Precio transporte de carga (100 kg) hasta la sucia	COP 25,000.00	Ahorro casos de urgencia medica	COP 34,000.00
Precio transporte de carga (100 kg) chiva hasta Medellín	COP 10,000.00	Usuarios diarios	101
Costo transporte de carga actual	COP 35,000.00	Cantidad de usos	62
Precio transporte de carga (100 kg) chiva hasta Medellín	COP 10,000.00	Ahorro total diario	COP 1,300,000.00
Costo transporte de carga teleférico	COP 10,000.00	días operativos	310
Ahorro transporte de carga	COP 25,000.00	Ahorro anual	COP 403,000,000.000
Usuarios diarios	31	Ahorro anual ida y vuelta	COP 806,000,000.00
Cantidad de usos	39		
Ahorro total diario	COP 1,007,500.00	Ahorro Total	COP 1,652,690,930.67
Días operativos	310		
Ahorro anual	COP 312,325,000.00		
Ahorro anual (ida y vuelta)	COP 624,650,000.00		

Tabla 53. Ahorro por beneficio por estación.

8.2.2. BENEFICIOS POTENCIALES

8.2.2.1. BENEFICIO POTENCIAL POR AUMENTO DEL TURISMO

Uno de los beneficios potenciales de la implementación del sistema es el aumento del turismo debido al atractivo turístico que poseen estos sistemas, además de que el corregimiento en su gran mayoría es rural lo cual lo hace un destino turístico no solo para los extranjeros sino para visitantes nacionales.

Se asume un valor inicial, a partir de los precios de los tours que hay en la localidad como punto de inicio para la proyección del cálculo del beneficio por turismo. Se asume, además, un valor

de retorno a la comunidad del 40% ya que la mayoría de estos tours son realizados por los mismos habitantes. En la Tabla 54 se realiza el cálculo de beneficio.

Beneficio potencial de incremento del turismo		
Precio del tour	COP	350,000.00
Porcentaje retención en comunidad		40%
Valor de retención en comunidad	COP	140,000.00
Extranjeros semanales		50.00
Semana del año		52.00
Ingreso semanal	COP	7,000,000.00
Ingreso anual	COP	364,000,000.00

Tabla 54. Cálculo del beneficio potencial por aumento del turismo

8.2.2.2. BENEFICIO POTENCIAL POR VALORIZACION DE PREDIOS

Para este beneficio, se tomaron en cuenta las familias aledañas a las estaciones Teresitas y El Morrón, de los cuales se estiman que son 31 predios que serán beneficiados. El motivo de la valorización de estos predios radica en el atractivo de los sistemas de transporte por cable aéreo, los cuales traen facilidad de movilización y reducción de tiempo de transporte entre puntos, sobre todo en estos puntos de interés del estudio de costo beneficio (Morrón, Teresitas) y más cuando están conectados a la carretera por medio del sistema. Se estiman por medio del sector inmobiliario la valorización promedio del lote y del m² construido, en la Tabla 55 se refleja el cálculo realizado para la valorización de los predios.

Beneficio potencial de valorización predial	
Concepto	Valor estimado
Valorización promedio actual del m ² (Lote/Terreno)	COP 150,000.00
Valorización promedio actual del m ² construido (Finca/Casa Campestre)	COP 20,000.00
Área promedio por predio (Lote/Terreno) [m ²]	500.00
Área promedio del m ² construido (Finca/Casa campestre)	150.00
Número de predios beneficiados	31
Valor promedio por predio (Lote/Terreno)	COP 75,000,000.00
Valor promedio por predio (Finca/Casa campestre)	COP 3,000,000.00
Porcentaje de valorización estimado	10%
Incremento por predio	COP 7,800,000.00
Total, valorización	COP 241,800,000.00

Tabla 55. Beneficios potenciales en la implementación del teleférico.

8.2.3. COSTOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.

Para el costo de la operación del teleférico, se toma el CAPEX de las alternativas anteriormente expuestas en la Tabla 51 y para cada una de estas se toma un porcentaje de operación, el cual se refleja en la siguiente tabla

Costos de operación (5% CAPEX) A1	COP 1,193,247,000.00
Costos de operación (6% CAPEX) A2	COP 1,489,750,800.00
Costos de operación (6.5% CAPEX) A3	COP 1,974,281,400.00
Costos de operación (7% CAPEX) A4	COP 2,193,646,000.00

Tabla 56. Costos de operación para cada alternativa

8.2.4. CALCULO DEL COSTO-BENEFICIO

Finalmente, y con base en lo anteriormente mencionado, se realiza la proyección de los beneficios directos, indirectos y los costos desde el año 0 hasta el año 20. Para esta proyección, se calcula la variación anual de los beneficios y el costos según el IPC, teniendo en cuenta que, para el presente año el DANE entregó el valor del IPC en un **4.8%** Además, al implementarse el IPC anual para la proyección del aumento por inflación, se debe realizar el cálculo de la tasa de descuento nominal, el cual se calcula con la Ecuación 1

$$i = (1 + r)(1 + \pi) - 1$$

Ecuación 1. Tasa de descuento nominal

Donde:

- r : Tasa real (6%) Tomado del DPN para proyectos de inversión social
- π : inflación (IPC) (4.8%)

Reemplazando los valores considerados anteriormente en la ecuación 1, se obtiene una tasa de descuento nominal del 11%

Las tablas 57 a la 60 muestran el cálculo del costo-beneficio (B/C), la tasa interna de retorno (TIR) y el valor presente neto (VPN) para cada una de las alternativas proyectadas a 20 años.

Año	IPC Acumulado	Beneficios Directos Tiempo (COP)	Beneficios Directos transporte (COP)	Beneficio Potencial Turismo (COP)	Beneficio Potencial Valorización predios (COP)	Costo de implementación (COP)	Costo de operación (COP)	Flujo Neto (COP)	Valor presente Beneficios	Valor presente Costos
0	1	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -23.864.940.000,00	\$ -	\$ -23.864.940.000,00	\$ -	\$ 23.864.940.000,00
1	1.048	\$ 232.698.895,34	\$ 1.499.321.200,00	\$ 381.472.000,00	\$ 241.800.000,00	\$ -	\$ -1.250.522.856,00	\$ 1.104.769.239,34	\$ 2.120.203.888,21	\$ 1.125.704.716,98
2	1.098	\$ 243.868.442,31	\$ 1.571.288.617,60	\$ 399.782.656,00	\$ -	\$ -	\$ -1.310.547.953,09	\$ 904.391.762,83	\$ 1.794.847.748,90	\$ 1.061.985.582,06
3	1.151	\$ 255.574.127,55	\$ 1.646.710.471,24	\$ 418.972.223,49	\$ -	\$ -	\$ -1.373.454.254,84	\$ 947.802.567,44	\$ 1.693.252.593,30	\$ 1.001.873.190,62
4	1.206	\$ 267.841.685,67	\$ 1.725.752.573,86	\$ 439.082.890,22	\$ -	\$ -	\$ -1.439.380.059,07	\$ 993.297.090,68	\$ 1.597.408.106,89	\$ 945.163.387,38
5	1.264	\$ 280.698.086,58	\$ 1.808.588.697,41	\$ 460.158.868,95	\$ -	\$ -	\$ -1.508.470.301,90	\$ 1.040.975.351,03	\$ 1.506.988.780,09	\$ 891.663.573,00
6	1.325	\$ 294.171.594,74	\$ 1.895.400.954,89	\$ 482.246.494,66	\$ -	\$ -	\$ -1.580.876.876,40	\$ 1.090.942.167,88	\$ 1.421.687.528,38	\$ 841.192.050,00
7	1.388	\$ 308.291.831,28	\$ 1.986.380.200,72	\$ 505.394.326,40	\$ -	\$ -	\$ -1.656.758.966,46	\$ 1.143.307.391,94	\$ 1.341.214.649,42	\$ 793.577.405,66
8	1.455	\$ 323.089.839,19	\$ 2.081.726.450,35	\$ 529.653.254,07	\$ -	\$ -	\$ -1.736.283.396,85	\$ 1.198.186.146,75	\$ 1.285.296.839,07	\$ 748.657.929,87
9	1.525	\$ 338.598.151,47	\$ 2.181.649.319,97	\$ 555.076.610,26	\$ -	\$ -	\$ -1.819.624.999,90	\$ 1.256.699.081,80	\$ 1.193.676.263,28	\$ 706.281.065,91
10	1.598	\$ 354.850.862,74	\$ 2.286.368.487,33	\$ 581.720.287,55	\$ -	\$ -	\$ -1.906.968.998,90	\$ 1.315.972.637,72	\$ 1.126.109.862,34	\$ 666.302.892,37
11	1.675	\$ 371.883.704,15	\$ 2.396.114.174,72	\$ 609.642.861,36	\$ -	\$ -	\$ -1.998.501.415,89	\$ 1.379.139.324,33	\$ 1.062.367.624,85	\$ 628.587.634,31
12	1.755	\$ 389.734.121,95	\$ 2.511.127.655,11	\$ 638.905.718,70	\$ -	\$ -	\$ -2.094.429.483,85	\$ 1.445.338.011,90	\$ 1.002.233.808,34	\$ 593.007.202,18
13	1.839	\$ 408.441.359,80	\$ 2.631.661.782,55	\$ 669.573.193,20	\$ -	\$ -	\$ -2.194.962.098,08	\$ 1.514.714.236,47	\$ 945.503.404,10	\$ 559.440.756,77
14	1.928	\$ 428.046.545,07	\$ 2.757.981.548,12	\$ 701.712.706,47	\$ -	\$ -	\$ -2.300.320.279,83	\$ 1.587.420.519,82	\$ 891.984.343,49	\$ 527.774.298,84
15	2.020	\$ 448.592.779,23	\$ 2.890.364.662,43	\$ 735.394.916,38	\$ -	\$ -	\$ -2.410.735.653,27	\$ 1.663.616.704,78	\$ 841.494.863,67	\$ 497.900.281,93
16	2.117	\$ 470.125.232,64	\$ 3.029.102.166,22	\$ 770.693.872,37	\$ -	\$ -	\$ -2.526.450.964,62	\$ 1.743.470.306,61	\$ 793.862.890,25	\$ 469.717.247,10
17	2.219	\$ 492.691.243,80	\$ 3.174.499.070,20	\$ 807.687.178,24	\$ -	\$ -	\$ -2.647.720.610,93	\$ 1.827.156.881,32	\$ 748.927.254,96	\$ 443.129.478,40
18	2.325	\$ 516.340.423,51	\$ 3.326.875.025,57	\$ 846.456.162,80	\$ -	\$ -	\$ -2.774.811.200,25	\$ 1.914.860.411,63	\$ 706.535.146,19	\$ 418.046.677,73
19	2.437	\$ 541.124.763,83	\$ 3.486.565.026,80	\$ 887.086.058,61	\$ -	\$ -	\$ -2.908.002.137,86	\$ 2.006.773.711,38	\$ 666.542.590,74	\$ 394.383.658,24
20	2.554	\$ 567.098.752,50	\$ 3.653.920.148,09	\$ 929.666.189,43	\$ -	\$ -	\$ -3.047.586.240,48	\$ 2.103.098.849,53	\$ 628.813.764,85	\$ 372.060.054,94

Tabla 57. Análisis costo-beneficio A1

Año	IPC Acumulado	Beneficios Directos Tiempo (COP)	Beneficios Directos transporte (COP)	Beneficio Potencial Turismo (COP)	Beneficio Potencial Valorización predios (COP)	Costo de implementación (COP)	Costo de operación (COP)	Flujo Neto (COP)	Valor presente Beneficios	Valor presente Costos
0	1	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -24.829.180.000,00	\$ -	\$ -24.829.180.000,00	\$ -	\$ 24.829.180.000,00
1	1.048	\$ 232.698.895,34	\$ 1.499.321.200,00	\$ 381.472.000,00	\$ 241.800.000,00	\$ -	\$ -1.561.258.838,40	\$ 794.033.258,94	\$ 2.120.203.888,21	\$ 1.405.425.282,02
2	1.098	\$ 243.868.442,31	\$ 1.571.288.617,60	\$ 399.782.656,00	\$ -	\$ -	\$ -1.636.198.262,64	\$ 578.740.453,27	\$ 1.794.847.748,90	\$ 1.325.672.908,51
3	1.151	\$ 255.574.127,55	\$ 1.646.710.471,24	\$ 418.972.223,49	\$ -	\$ -	\$ -1.714.736.827,25	\$ 606.519.995,03	\$ 1.693.252.593,30	\$ 1.250.823.498,59
4	1.206	\$ 267.841.685,67	\$ 1.725.752.573,86	\$ 439.082.890,22	\$ -	\$ -	\$ -1.797.044.194,96	\$ 635.632.954,79	\$ 1.597.408.106,89	\$ 1.180.022.168,48
5	1.264	\$ 280.698.086,58	\$ 1.808.588.697,41	\$ 460.158.868,95	\$ -	\$ -	\$ -1.883.302.316,32	\$ 666.143.336,62	\$ 1.506.988.780,09	\$ 1.113.228.480,83
6	1.325	\$ 294.171.594,74	\$ 1.895.400.954,89	\$ 482.246.494,66	\$ -	\$ -	\$ -1.973.700.827,50	\$ 698.118.216,78	\$ 1.421.687.528,38	\$ 1.050.215.529,09
7	1.388	\$ 308.291.831,28	\$ 1.986.380.200,72	\$ 505.394.326,40	\$ -	\$ -	\$ -2.068.438.487,22	\$ 731.627.891,18	\$ 1.341.214.649,42	\$ 990.789.367,06
8	1.455	\$ 323.089.839,19	\$ 2.081.726.450,35	\$ 529.653.254,07	\$ -	\$ -	\$ -2.167.723.513,65	\$ 766.746.029,96	\$ 1.285.296.839,07	\$ 934.688.082,14
9	1.525	\$ 338.598.151,47	\$ 2.181.649.319,97	\$ 555.076.610,26	\$ -	\$ -	\$ -2.271.774.242,30	\$ 803.549.839,40	\$ 1.193.676.263,28	\$ 881.781.209,56
10	1.598	\$ 354.850.862,74	\$ 2.286.368.487,33	\$ 581.720.287,55	\$ -	\$ -	\$ -2.380.819.405,93	\$ 842.120.231,69	\$ 1.126.109.862,34	\$ 831.889.065,63
11	1.675	\$ 371.883.704,15	\$ 2.396.114.174,72	\$ 609.642.861,36	\$ -	\$ -	\$ -2.495.098.737,42	\$ 882.542.002,81	\$ 1.062.367.624,85	\$ 784.782.137,38
12	1.755	\$ 389.734.121,95	\$ 2.511.127.655,11	\$ 638.905.718,70	\$ -	\$ -	\$ -2.614.863.476,81	\$ 924.904.018,95	\$ 1.002.233.808,34	\$ 740.360.506,96
13	1.839	\$ 408.441.359,80	\$ 2.631.661.782,55	\$ 669.573.193,20	\$ -	\$ -	\$ -2.740.376.923,70	\$ 969.299.411,85	\$ 945.503.404,10	\$ 698.453.308,46
14	1.928	\$ 428.046.545,07	\$ 2.757.981.548,12	\$ 701.712.706,47	\$ -	\$ -	\$ -2.871.915.016,04	\$ 1.015.825.783,82	\$ 891.984.343,49	\$ 658.918.215,53
15	2.020	\$ 448.592.779,23	\$ 2.890.364.662,43	\$ 735.394.916,38	\$ -	\$ -	\$ -3.009.766.936,81	\$ 1.064.585.421,24	\$ 841.494.863,67	\$ 621.620.958,04
16	2.117	\$ 470.125.232,64	\$ 3.029.102.166,22	\$ 770.693.872,37	\$ -	\$ -	\$ -3.154.235.749,77	\$ 1.115.685.521,46	\$ 793.862.890,25	\$ 586.434.866,08
17	2.219	\$ 492.691.243,80	\$ 3.174.499.070,20	\$ 807.687.178,24	\$ -	\$ -	\$ -3.305.639.065,76	\$ 1.169.238.426,49	\$ 748.927.254,96	\$ 552.240.439,70
18	2.325	\$ 516.340.423,51	\$ 3.326.875.025,57	\$ 846.456.162,80	\$ -	\$ -	\$ -3.464.309.740,92	\$ 1.225.361.870,96	\$ 706.535.146,19	\$ 521.924.943,11
19	2.437	\$ 541.124.763,83	\$ 3.486.565.026,80	\$ 887.086.058,61	\$ -	\$ -	\$ -3.630.596.608,48	\$ 1.284.179.240,76	\$ 666.542.590,74	\$ 492.382.021,80
20	2.554	\$ 567.098.752,50	\$ 3.653.920.148,09	\$ 929.666.189,43	\$ -	\$ -	\$ -3.804.865.245,68	\$ 1.345.818.844,32	\$ 628.813.764,85	\$ 464.511.341,32

Tabla 58. Análisis costo-beneficio A2

Año	IPC Acumulado	Beneficios Directos Tiempo (COP)	Beneficios Directos transporte (COP)	Beneficio Potencial Turismo (COP)	Beneficio Potencial Valorización predios (COP)	Costo de implementación (COP)	Costo de operación (COP)	Flujo Neto (COP)	Valor presente Beneficios	Valor presente Costos
0	1	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -30.373.560.000,00	\$ -	\$ -30.373.560.000,00	\$ -	\$ 30.373.560.000,00
1	1.048	\$ 232.698.895,34	\$ 1.499.321.200,00	\$ 381.472.000,00	\$ 241.800.000,00	\$ -	\$ -2.069.046.907,20	\$ 286.245.188,14	\$ 2.120.203.888,21	\$ 1.862.529.622,64
2	1.098	\$ 243.868.442,31	\$ 1.571.288.617,60	\$ 399.782.656,00	\$ -	\$ -	\$ -2.168.361.158,75	\$ 46.578.557,17	\$ 1.794.847.748,90	\$ 1.757.103.417,59
3	1.151	\$ 255.574.127,55	\$ 1.646.710.471,24	\$ 418.972.223,49	\$ -	\$ -	\$ -2.272.442.494,37	\$ 48.814.327,91	\$ 1.693.252.593,30	\$ 1.657.644.733,57
4	1.206	\$ 267.841.685,67	\$ 1.725.752.573,86	\$ 439.082.890,22	\$ -	\$ -	\$ -2.381.519.734,09	\$ 51.157.415,85	\$ 1.597.408.106,89	\$ 1.563.815.786,39
5	1.264	\$ 280.698.086,58	\$ 1.808.588.697,41	\$ 460.158.868,95	\$ -	\$ -	\$ -2.495.832.681,33	\$ 53.612.971,60	\$ 1.506.988.780,09	\$ 1.475.297.911,69
6	1.325	\$ 294.171.594,74	\$ 1.895.400.954,89	\$ 482.246.494,66	\$ -	\$ -	\$ -2.615.632.690,04	\$ 56.186.394,24	\$ 1.421.687.528,38	\$ 1.391.790.482,72
7	1.388	\$ 308.291.831,28	\$ 1.986.380.200,72	\$ 505.394.326,40	\$ -	\$ -	\$ -2.741.183.017,24	\$ 58.883.341,17	\$ 1.341.214.649,42	\$ 1.313.009.889,36
8	1.455	\$ 323.089.839,19	\$ 2.081.726.450,35	\$ 529.653.254,07	\$ -	\$ -	\$ -2.872.759.802,06	\$ 61.709.741,54	\$ 1.285.296.839,07	\$ 1.238.688.574,87
9	1.525	\$ 338.598.151,47	\$ 2.181.649.319,97	\$ 555.076.610,26	\$ -	\$ -	\$ -3.010.652.272,56	\$ 64.671.809,14	\$ 1.193.676.263,28	\$ 1.168.574.127,24
10	1.598	\$ 354.850.862,74	\$ 2.286.368.487,33	\$ 581.720.287,55	\$ -	\$ -	\$ -3.155.163.581,65	\$ 67.776.055,97	\$ 1.126.109.862,34	\$ 1.102.428.421,92
11	1.675	\$ 371.883.704,15	\$ 2.396.114.174,72	\$ 609.642.861,36	\$ -	\$ -	\$ -3.306.611.433,57	\$ 71.029.306,66	\$ 1.062.367.624,85	\$ 1.040.026.813,13
12	1.755	\$ 389.734.121,95	\$ 2.511.127.655,11	\$ 638.905.718,70	\$ -	\$ -	\$ -3.465.328.782,38	\$ 74.438.713,38	\$ 1.002.233.808,34	\$ 981.157.370,88
13	1.839	\$ 408.441.359,80	\$ 2.631.661.782,55	\$ 669.573.193,20	\$ -	\$ -	\$ -3.631.664.563,93	\$ 78.011.771,62	\$ 945.503.404,10	\$ 925.620.161,21
14	1.928	\$ 428.046.545,07	\$ 2.757.981.548,12	\$ 701.712.706,47	\$ -	\$ -	\$ -3.805.984.463,00	\$ 81.756.336,66	\$ 891.984.343,49	\$ 873.226.567,18
15	2.020	\$ 448.592.779,23	\$ 2.890.364.662,43	\$ 735.394.916,38	\$ -	\$ -	\$ -3.989.671.717,22	\$ 85.680.840,82	\$ 841.494.863,67	\$ 823.798.648,28
16	2.117	\$ 470.125.232,64	\$ 3.029.102.166,22	\$ 770.693.872,37	\$ -	\$ -	\$ -4.180.127.959,65	\$ 89.793.311,58	\$ 793.862.890,25	\$ 777.168.536,11
17	2.219	\$ 492.691.243,80	\$ 3.174.499.070,20	\$ 807.687.178,24	\$ -	\$ -	\$ -4.380.774.101,71	\$ 94.103.390,54	\$ 748.927.254,96	\$ 733.177.864,28
18	2.325	\$ 516.340.423,51	\$ 3.326.875.025,57	\$ 846.456.162,80	\$ -	\$ -	\$ -4.591.051.258,60	\$ 98.620.393,28	\$ 706.535.146,19	\$ 691.677.230,43
19	2.437	\$ 541.124.763,83	\$ 3.486.565.026,80	\$ 887.086.058,61	\$ -	\$ -	\$ -4.811.421.719,01	\$ 103.354.130,24	\$ 666.542.590,74	\$ 652.525.689,09
20	2.554	\$ 567.098.752,50	\$ 3.653.920.148,09	\$ 929.666.189,43	\$ -	\$ -	\$ -5.042.369.961,52	\$ 108.315.128,49	\$ 628.813.764,85	\$ 615.590.272,72

Tabla 59 Análisis costo-beneficio A3

Año	IPC Acumulado	Beneficios Directos Tiempo (COP)	Beneficios Directos transporte (COP)	Beneficio Potencial Turismo (COP)	Beneficio Potencial Valorización predios (COP)	Costo de implementación (COP)	Costo de operación (COP)	Flujo Neto (COP)	Valor presente Beneficios	Valor presente Costos
0	1	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -31.337.800.000,00	\$ -	\$ -31.337.800.000,00	\$ -	\$ 31.337.800.000,00
1	1,048	\$ 232.698.895,34	\$ 1.499.321.200,00	\$ 381.472.000,00	\$ 241.800.000,00	\$ -	\$ -2.298.941.008,00	\$ 56.351.087,34	\$ 2.120.203.888,21	\$ 2.069.477.358,49
2	1,098	\$ 243.888.442,31	\$ 1.571.288.617,60	\$ 399.782.656,00	\$ -	\$ -	\$ -2.409.290.176,38	\$ -194.350.480,47	\$ 1.794.847.748,90	\$ 1.952.337.130,65
3	1,151	\$ 255.574.127,55	\$ 1.646.710.471,24	\$ 418.972.223,49	\$ -	\$ -	\$ -2.524.936.104,85	\$ -203.679.282,57	\$ 1.693.252.593,30	\$ 1.841.827.481,75
4	1,206	\$ 267.841.685,67	\$ 1.725.752.573,86	\$ 439.082.890,22	\$ -	\$ -	\$ -2.646.133.037,88	\$ -213.455.888,14	\$ 1.597.408.106,89	\$ 1.737.573.095,99
5	1,264	\$ 280.698.086,58	\$ 1.808.588.697,41	\$ 460.158.868,95	\$ -	\$ -	\$ -2.773.147.423,70	\$ -223.701.770,77	\$ 1.506.988.780,09	\$ 1.639.219.901,87
6	1,325	\$ 294.171.594,74	\$ 1.895.400.954,89	\$ 482.246.494,66	\$ -	\$ -	\$ -2.908.258.500,04	\$ -234.439.456,76	\$ 1.421.687.528,38	\$ 1.546.433.869,69
7	1,388	\$ 308.291.831,28	\$ 1.986.380.200,72	\$ 505.394.326,40	\$ -	\$ -	\$ -3.045.758.908,04	\$ -245.692.549,64	\$ 1.341.214.649,42	\$ 1.458.999.877,07
8	1,455	\$ 323.089.839,19	\$ 2.081.726.450,35	\$ 529.653.254,07	\$ -	\$ -	\$ -3.191.955.335,63	\$ -257.485.792,02	\$ 1.265.296.839,07	\$ 1.376.320.638,74
9	1,525	\$ 338.598.151,47	\$ 2.181.649.319,97	\$ 555.076.610,26	\$ -	\$ -	\$ -3.345.168.191,74	\$ -269.845.110,04	\$ 1.193.676.263,28	\$ 1.298.415.696,93
10	1,598	\$ 354.850.862,74	\$ 2.286.368.487,33	\$ 581.720.287,55	\$ -	\$ -	\$ -3.505.737.312,94	\$ -282.797.675,32	\$ 1.126.109.682,34	\$ 1.224.920.468,80
11	1,675	\$ 371.883.704,15	\$ 2.396.114.174,72	\$ 609.842.861,36	\$ -	\$ -	\$ -3.674.012.703,96	\$ -296.371.963,74	\$ 1.062.367.624,85	\$ 1.155.595.347,93
12	1,755	\$ 389.734.121,95	\$ 2.511.127.655,11	\$ 638.905.718,70	\$ -	\$ -	\$ -3.850.365.313,75	\$ -310.597.818,00	\$ 1.002.233.608,34	\$ 1.080.174.856,53
13	1,839	\$ 408.441.359,80	\$ 2.631.661.782,55	\$ 669.573.193,20	\$ -	\$ -	\$ -4.035.182.848,81	\$ -325.508.513,28	\$ 945.503.404,10	\$ 1.028.466.845,79
14	1,928	\$ 428.046.545,07	\$ 2.757.981.548,12	\$ 701.712.706,47	\$ -	\$ -	\$ -4.228.871.625,58	\$ -341.130.825,90	\$ 881.984.343,49	\$ 970.251.741,31
15	2,020	\$ 448.592.779,23	\$ 2.890.364.862,43	\$ 735.394.916,38	\$ -	\$ -	\$ -4.431.857.463,58	\$ -357.505.105,54	\$ 841.494.663,67	\$ 915.331.831,42
16	2,117	\$ 470.125.232,64	\$ 3.029.102.166,22	\$ 770.693.872,37	\$ -	\$ -	\$ -4.644.586.621,83	\$ -374.665.350,60	\$ 793.862.890,25	\$ 863.520.595,68
17	2,219	\$ 492.691.243,80	\$ 3.174.499.070,20	\$ 807.687.178,24	\$ -	\$ -	\$ -4.867.526.779,68	\$ -392.649.287,43	\$ 748.927.254,96	\$ 814.642.071,40
18	2,325	\$ 516.340.423,51	\$ 3.326.875.025,57	\$ 846.456.162,80	\$ -	\$ -	\$ -5.101.168.065,11	\$ -411.496.453,23	\$ 706.535.146,19	\$ 768.530.256,04
19	2,437	\$ 541.124.763,83	\$ 3.486.565.028,80	\$ 887.086.058,61	\$ -	\$ -	\$ -5.348.024.132,23	\$ -431.248.282,98	\$ 666.542.590,74	\$ 725.028.543,43
20	2,554	\$ 567.098.752,50	\$ 3.653.920.148,09	\$ 929.866.189,43	\$ -	\$ -	\$ -5.602.633.290,58	\$ -451.948.200,57	\$ 628.813.764,85	\$ 683.989.191,91

Tabla 60 Análisis costo-beneficio A4

De las anteriores tablas se obtuvieron sus respectivos VPN, TIR y B/C los cuales se resumen en la tabla 61. Cabe aclarar que para la alternativa 4, se debió realizar el análisis de TIR modificada debido a que presentaba un flujo neto mayoritariamente negativo, lo cual ocasionaba que el modelo, al calcular la TIR, este no convergiera. Con la TIR modificada, el modelo converge a -27,31%.

Alternativa	A1	A2	A3	A4
VPN	-COP 14,202,437,712.97	-COP 41,543,454,215.01	-COP 57,081,629,953.51	-COP 61,178,822,819.84
TIR	1.43%	-2.53%	-18.69%	-27.31%
B/C	0.62	0.56	0.44	0.41

Tabla 61. Tabla resumen de VPN, TIR y B/C

9. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Una de las fortalezas clave del enfoque AHP fue su capacidad para integrar criterios de naturaleza tanto cuantitativa como cualitativa, permitiendo que la relación costo-beneficio se exprese dentro del modelo multicriterio. Aunque el análisis no se basó en indicadores financieros tradicionales, el criterio de costos (incluyendo inversión y operación) se incorporó objetivamente y fue ponderado frente a beneficios técnicos, sociales y ambientales expresados subjetivamente, pero de forma estructurada y trazable. Esta integración garantizó una selección balanceada que considera no solo la eficiencia económica, sino también la pertinencia territorial y el impacto a largo plazo del sistema.

Como resultado, las alternativas bicable 2S reversible doble vía y bicable 2S reversible mono vía obtuvieron la mayor puntuación, ambas con un 23%. Estas tecnologías se posicionan como las opciones más compatibles con las necesidades y condiciones actuales del proyecto.

Les siguen en orden de preferencia:

- Bicable 3S reversible doble vía (21%)
- Bicable 3S reversible mono vía (21%)
- Monocable unidireccional de pinza fija (18%)
- Monocable reversible mono vía (17%)
- Monocable reversible doble vía (16%)
- Monocable unidireccional de pinza desembragable (14%)
- Bicable unidireccional de pinza desembragable (14%)

Dentro del análisis de costo beneficio se deducen las siguientes observaciones:

- **VPNs negativos:** Los cuales, indican que el valor presente de los flujos de caja futuros del proyecto es menor que la inversión inicial. En términos sencillos, el proyecto no generaría suficientes ganancias para cubrir la inversión inicial a lo largo de su vida útil.
- **El TIR es negativo,** lo cual indica que, en términos de rentabilidad y retorno de la inversión inicial del proyecto, este no sería viable en términos económicos.
- **El B/C es menor a 1,** indicando que, por cada peso invertido en el proyecto, solo se estaría recuperado \$0.62, \$0.56, \$0.44 y \$0.41 pesos de la inversión inicial respectiva a cada una de las alternativas evaluadas.

Además, como se mencionó anteriormente, se realizó un análisis de TIR modificado para la alternativa 4, esto debido a que, según el IPC anual, los costos de operación aumentaban significativamente más rápido que los valores de beneficio, lo que hacía que el flujo neto, diera mucho más negativo y que al implementar un análisis de TIR simple, este no convergiera, denotando así que, de las tres alternativas, esta fuera la más inviable de todas.

Adicionalmente, este análisis permitió identificar que la alternativa viable 2S reversible mono vía no solo encabeza la evaluación técnica, sino que también representa una viabilidad y rentabilidad mayor que las demás alternativas al estar más cercano a un TIR de 0 y un valor de costo beneficio mayor

La implementación del teleférico traerá un aumento en la calidad de vida de los habitantes del sector debido a la disminución de los tiempos no solo de desplazamiento, sino también en la reducción de costos en el transporte de la carga agrícola generada en San Sebastian de Palmitas y la facilidad de poseer el sistema al momento de presentarse una urgencia médica, el cual supondría un ahorro en el costo de movilidad de las personas, sobre todo, las familias que

habitan el sector de la estación del Morrón. Además de considerar las visitas de extranjeros los cuales aumentarían las visitas de estos al sector, lo cual influiría en la economía local y en resurgimiento de negocios afectados por la inhabilitación del sistema.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. CAF. (2018). Diseño e implementación de sistemas de transporte por cable para comunidades de difícil acceso. Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1382>
2. Comité Europeo de Normalización (CEN). (2005). UNE-EN 1907: Transporte por cable. Instalaciones para personas. Terminología. Asociación Española de Normalización (UNE).
3. Comité Europeo de Normalización (CEN). (2004). UNE-EN 12929-1: Transporte por cable. Instalaciones para personas. Requisitos de seguridad. Parte 1: Requisitos generales. Asociación Española de Normalización (UNE).
4. Tellería Cebrián, J. (s.f.). *Proyecto de diseño, planificación de instalaciones por transporte por cable* [Manuscrito sin publicar]. Máster en Instalaciones de Transporte por Cable.
5. Grupo del Banco Mundial. (2020). *Teleféricos urbanos como sistemas de transporte público: Estudios de caso, especificaciones técnicas y modelos de negocio*. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial. <https://www.bancomundial.org>
6. Doppelmayr Seilbahnen GmbH. (2022). Ropeway Technology & Facts. Doppelmayr Group. <https://www.doppelmayr.com/en/products/ropeway-systems/>
7. Leitner Ropeways. (2022). Technology and advantages of the 2S and 3S ropeway systems. Leitner S.p.A. <https://www.leitner.com/en/products/ropeways/>
8. POMA. (s.f.). *POMA worldwide*. <https://www.poma.net/en/poma-group/poma-worldwide/>
9. CRSPL – Conveyor & Ropeway Services Pvt. Ltd. (s.f.). *Jigback monocable system*. Recuperado el 1 de mayo de 2025, de <https://www.crspl.com/types-of-ropeway-systems/jigback-monocable-system>
10. Bartholet Maschinenbau AG. (s.f.). *Bartholet Ropeways*. Recuperado el 1 de mayo de 2025, de <https://www.bartholet.swiss/en>
11. Remontees-mecaniques.net. (s.f.). *Base de données des remontées mécaniques*. Consultado en abril de 2025, de <https://www.remontees-mecaniques.net/bdd/>
12. Metro de Bogotá S.A.S. (2019). Documento de costos y análisis del proyecto TransMiCable. <https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/150517/transmicable-costos/>
13. Rodríguez, D. (2019). Diseño de herramienta financiera para inversión en transporte por cable aéreo urbano [Tesis de Maestría, Universidad del Valle]. Redalyc. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5713/571360738007/html/>
14. Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*. John Wiley & Sons.