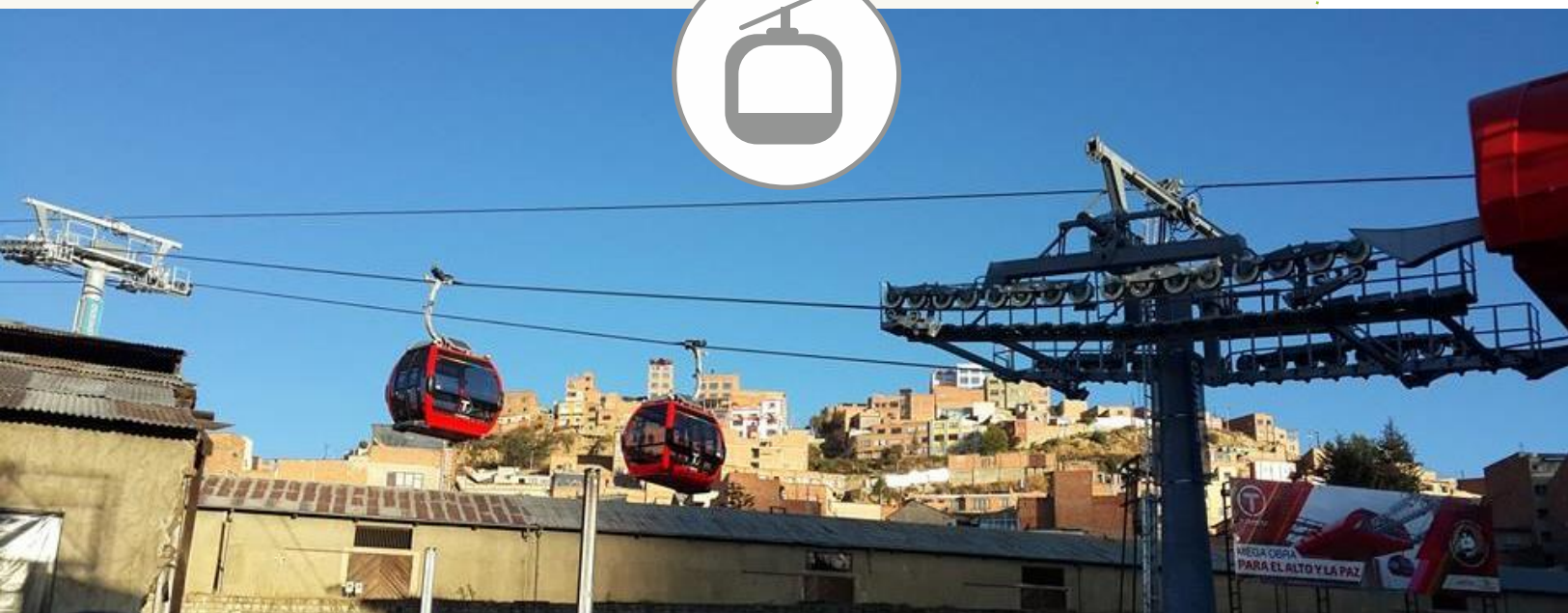


# «Evaluación de continuidad tecnológica en los sistemas de transporte por cable de La Paz El Alto»

Evaluación para selección de tecnología para la Línea Plateada de Mi Teleférico



Fuente: <http://comunicacion.gob.bo>



**Documento elaborado por:**

**Angélica Castro.**

Con la colaboración de:

Andrés López B.

Julio de 2017



## Tabla de contenido

<b>1</b>	<b>CONTEXTO GENERAL .....</b>	<b>7</b>
1.1	La Paz - El Alto.....	7
1.1.1	Condiciones geográficas .....	8
1.1.2	Desarrollo urbano .....	10
1.1.3	Infraestructura vial .....	10
1.2	Sistema Mi Teleférico.....	13
1.3	Potencial mejoramiento urbano en torno a los sistemas de cable .....	18
1.3.1	Caso Metro cable – Medellín Colombia .....	19
<b>2</b>	<b>GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE CABLE AÉREO .....</b>	<b>22</b>
2.1	Sistemas de transporte por cable .....	22
2.2	Principales elementos del sistema de cable aéreo .....	27
2.2.1	Estaciones .....	27
2.2.2	Estacionamiento de cabinas .....	29
2.2.3	Cabinas o góndolas .....	30
2.2.4	Cable de acero .....	31
2.2.5	Torres o pilonas .....	32
2.2.6	Balancines.....	33
<b>3</b>	<b>SISTEMAS DE CABLE AÉREO EN TRANSPORTE URBANO .....</b>	<b>34</b>
3.1	Sistemas de cable aéreo: de lo turístico a lo urbano .....	35
3.2	Experiencias de sistemas de cable aéreo urbano .....	37
3.2.1	Medellín – Colombia .....	38
3.2.2	Constantina – Argelia .....	40
3.2.3	Río de Janeiro – Brasil .....	41
3.2.4	Manizales – Colombia .....	42
3.2.5	Caracas – Venezuela.....	43
3.2.6	Santiago de Cali – Colombia .....	44



3.2.7	La Paz El Alto – Bolivia.....	45
3.2.8	Bogotá – Colombia .....	46
3.3	Principales impactos de los sistemas de cable aéreo .....	47
3.3.1	Mejoramiento de los tiempos de viaje .....	48
3.3.2	Mejoramiento en la economía local .....	52
3.3.3	Mitigación de impactos ambientales .....	53
3.4	Sistemas de cable aéreo urbano y sistemas BRT .....	54
4	ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS .....	57
4.1	Proveedores existentes .....	57
4.2	Características generales de cada proveedor .....	58
4.2.1	Teleférico 3S .....	58
4.2.2	Cables desembragables .....	59
4.2.3	Cables Funifor .....	60
4.2.4	Cables Funitel.....	60
4.2.5	Cables vaivenes.....	61
4.2.6	Cables combinados o telemix .....	61
4.3	Ventajas de la homogeneidad tecnológica .....	62
5	ANÁLISIS DE COSTOS .....	63
5.1	Costos de inversión .....	63
5.1.1	Sistema electromecánico .....	68
5.1.2	Obra civil.....	68
5.2	Costos de operación y mantenimiento .....	69
5.2.1	Energía eléctrica.....	69
5.2.2	Personal de operación.....	70
5.2.3	Repuestos .....	71
5.2.4	Personal de mantenimiento .....	71
5.3	Análisis asociado a un cambio de tecnología en la Línea Plateada .....	72
5.4	Estimación de un orden de magnitud del sobre costo por tecnologías heterogéneas .....	74
5.4.1	Costos de operación asociados a una línea con tecnología diferente .....	74



5.4.2	Costos de operación asociados a una línea con la misma tecnología .....	78
5.4.3	Ahorro estimado para una línea con la misma tecnología .....	83
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	83



## Índice de Figuras

Figura 1.	La Paz – El Alto, Bolivia.....	7
Figura 2.	Localización y topografía de los municipios de La Paz y El Alto .....	9
Figura 3.	Diferencia de altitud entre La Paz y El Alto.....	9
Figura 4.	Red vial principal de la metrópoli paceña y topografía .....	11
Figura 5.	Conexiones más importantes y grandes corredores de transporte colectivo.....	11
Figura 6.	Líneas de teleféricos propuestas para el Plan Maestro 2015 – 2030 .....	13
Figura 7.	Líneas fase 1 .....	14
Figura 8.	Total de viajes por año .....	15
Figura 9.	Total de viajes por Línea (2014 – 2016) .....	15
Figura 10.	Línea Fase 2.....	17
Figura 11.	Movilización de las líneas en operación. ....	17
Figura 12.	Pasajeros transportados por día y mes en cada línea.....	17
Figura 13.	Propuesta de Línea Plateada para el sistema Mi Teleférico.....	18
Figura 14.	Sistema Metro con líneas de cable, Medellín .....	20
Figura 15.	Funicular en Vallvidrera Barcelona.....	23
Figura 16.	Teleférico del Parque Chicamocha (Colombia) .....	23
Figura 17.	Telesquí localizado en Zauchensee, Austria .....	23
Figura 18.	Teleférico Bicable de Portland.....	24
Figura 19.	Teleférico Monocable de Río de Janeiro .....	25
Figura 20.	Teleférico circulante CGD Kombibahn Penken, Mayrhofen, AUT .....	26
Figura 21.	Teleférico de vaivén entre la isla de Manhattan y la isla Roosevelt.....	26
Figura 22.	Estación Terminal Santo Domingo del Metrocable de Medellín .....	28
Figura 23.	Estación intermedia del Cable de Aéreo de Manizales.....	28
Figura 24.	Estación intermedia en ángulo – Línea Roja Mi Teleférico.....	28
Figura 25.	Estación Cañaveralejo y parking del Miocable – Santiago de Cali .....	30
Figura 26.	Partes de un cable helicoidal .....	32
Figura 27.	Pilonas del Metrocable en Medellín.....	33
Figura 28.	Balancines de un sistema de telesillas .....	34
Figura 29.	Esquema del Metro de Medellín y su integración con el Metrocable .....	40
Figura 30.	Sistema de cable aéreo de Constantina .....	41
Figura 31.	Sistema de cable aéreo de Río de Janeiro.....	42
Figura 32.	Sistema de cable aéreo de Manizales.....	43
Figura 33.	Sistema de cable aéreo de Caracas.....	44
Figura 34.	Sistema de cable aéreo de Santiago de Cali.....	45
Figura 35.	Sistema de cable aéreo de La Paz – El Alto.....	46
Figura 36.	Ahorro de tiempo de viaje por cada línea de la primera fase.....	49
Figura 37.	Comparación de recorridos entre el sistema de cable aéreo (Línea Roja) y vehículo.....	50
Figura 38.	Comparación de recorridos entre el sistema de cable aéreo (Línea Amarilla) y vehículo .....	50
Figura 39.	Comparación de recorridos entre el sistema de cable aéreo (Línea Verde) y vehículo.....	51
Figura 40.	Distribución de empleo y estratificación socioeconómica de Bogotá.....	53
Figura 41.	Comparación de sistemas de transporte – Velocidad operacional .....	56
Figura 42.	Comparación de sistemas de transporte – Capacidad. ....	56
Figura 43.	Ejemplo de administración de oferta y demanda en teleféricos en días hábiles.....	70



## Índice de tablas

Tabla 1.	Priorización de líneas de cable aéreo según resultados de análisis multicriterio .....	16
Tabla 2.	Comparación de cables aéreos turísticos y urbanos .....	37
Tabla 3.	Ahorro de tiempo por uso del sistema de cable aéreo (Línea Roja) .....	50
Tabla 4.	Ahorro de tiempo por uso del sistema de cable aéreo (Línea Amarilla) .....	51
Tabla 5.	Ahorro de tiempo por uso del sistema de cable aéreo (Línea Verde).....	51
Tabla 6.	Experiencia de los proveedores de cables aéreos .....	57
Tabla 7.	Datos de costos por Km de diferentes sistemas de cable aéreo urbanos .....	64
Tabla 8.	Costos de inversión en sistemas BRT .....	67
Tabla 9.	Peso de los costos anuales estimados para la operación y el mantenimiento en sistema de cable aéreo de Pereira .....	73
Tabla 10.	Costos asociados con la compatibilidad tecnológica para una línea de cable aéreo con tecnología diferente .....	75
Tabla 11.	Costos asociados con los servicios especializados para una línea de cable aéreo con tecnología diferente .....	75
Tabla 12.	Costos asociados con los protocolos de operación para una línea de cable aéreo con tecnología diferente .....	76
Tabla 13.	Costos asociados con el personal calificado para una línea de cable aéreo con tecnología diferente .....	76
Tabla 14.	Costos asociados a la operación y mantenimiento para una tecnología del sistema de cable aéreo diferente .....	77
Tabla 15.	Análisis de costos por compatibilidad tecnológica asumidos para una línea de cable aéreo con tecnología igual.....	80
Tabla 16.	Análisis de costos por protocolos de operación asumidos para una línea de cable aéreo con tecnología igual.....	80
Tabla 17.	Análisis de costos por protocolos de operación asumidos para una línea de cable aéreo con tecnología igual.....	81
Tabla 18.	Comparación de costos de operación y mantenimiento en 40 años de vida útil de los sistemas bajo los dos escenarios analizados.....	82
Tabla 19.	Estimación del ahorro en el escenario de mantener homogeneidad tecnológica .....	83

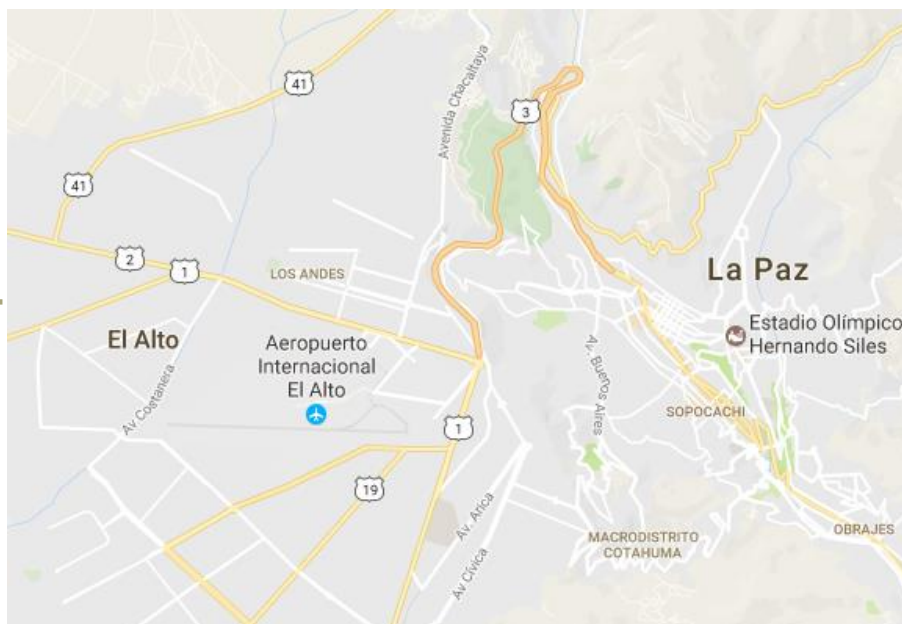


## 1 CONTEXTO GENERAL

### 1.1 La Paz - El Alto

Nuestra Señora de La Paz es la capital del departamento de igual nombre en Bolivia y para el año 2017 tiene una población aproximada de 799.000<sup>1</sup> habitantes. En conjunto con el municipio de El Alto constituyen el asentamiento urbano más importante país, en el cual se concentran buena parte de las actividades financieras y económicas, al igual que la mayoría de la administración pública de Bolivia. La población del municipio de El Alto es de aproximadamente 912.000 habitantes<sup>2</sup>, para una población conjunta de 1.711.000 habitantes aproximadamente.

Figura 1. La Paz – El Alto, Bolivia



Fuente: Google Maps

Como sede de gobierno de Bolivia, La Paz alberga el Palacio Quemado<sup>3</sup>, el Palacio de la Asamblea Legislativa Plurinacional y la mayoría de las embajadas diplomáticas y misiones extranjeras que llegan a Bolivia por lo cual, se ha convertido en un importante centro político, administrativo y económico financiero de América Latina que genera el 24 % del PIB del país.

La Paz es una ciudad multicultural donde conviven tanto aimaras, quechuas y mestizos como personas procedentes de otras partes del mundo.

<sup>1</sup> Fuente: Instituto Nacional de Estadística.

<sup>2</sup> Ibídem.

<sup>3</sup> Sede del poder ejecutivo boliviano.





El municipio de El Alto está localizado al occidente de La Paz, manteniendo una continuidad territorial y urbana que los hace un solo conglomerado urbano.

Las ciudades de La Paz y El Alto se caracterizan por tener perfiles sociodemográficos diferentes y complementarios. La ciudad de La Paz concentra la mayor parte de los empleos y la ciudad de El Alto, más industrial, la mayor parte de la mano de obra. Esta condición, además de la localización de aeropuerto en El Alto, hace que existan fuertes relaciones entre ambas ciudades, las cuales se evidencian a través de los movimientos de vehículos y personas que se dan entre ellas<sup>4</sup>. Se estima que al menos 200.000 personas de El Alto desarrollan sus actividades económicas en La Paz<sup>5</sup>.

Esta condición hace que los viajes que se realizan entre ambas ciudades sea un aspecto relevante frente a la movilidad, más aún cuando las alternativas viales entre ellas son muy pocas. Para el año 2010 los viajes que se realizan desde El Alto hacia La Paz eran alrededor de 20.000 en hora pico de la mañana, para el sentido contrario se tenían alrededor de 7.000 viajes en el mismo periodo<sup>6</sup>. Sobre estos viajes, para la hora pico de la tarde se mantienen las proporciones, pero se invierten los sentidos de desplazamiento.

### 1.1.1 Condiciones geográficas

La Paz se encuentra en el valle del río Choqueyapu, el cual cruza la ciudad de norte a sur. Está emplazada en un cañón rodeado por montes y montañas de gran altitud, razón por la cual tiene muchas pendientes. El Sur de la ciudad tiene una topografía más plana y se encuentra a menor altitud que el resto del área urbana. Esto puede observarse en la Figura 2.

El municipio de El Alto está ubicado en una meseta de superficie plana y ondulada, al pie de la cordillera de La Paz (meseta del Altiplano Norte) y de la cordillera Oriental. El Alto se ubica sobre los 4.050 msnm, siendo la parte más alta del área metropolitana de La Paz. Tal como puede observarse en la Figura 2.

Siendo ciudades contiguas, cuyos límites funcionales y morfológicos son imperceptibles por la cercanía de las mismas y la alta interacción existente entre ellas, la diferencia de alturas representa una barrera geográfica que dificulta los desplazamientos de las personas entre uno y otro municipio. El desnivel entre ambas ciudades puede observarse en la Figura 3.

---

<sup>4</sup> Fuente: El conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial como herramienta de comprensión y reducción de la vulnerabilidad territorial: el caso de La Paz (Bolivia) - Javier Núñez Villalba y Florent Demoraes 2009.

<sup>5</sup> Fuente: El transporte público en la ciudad de La Paz – Ing. Gonzalo Vargas Fernandez (Gobierno Municipal de La Paz), Ing. René Chavez Justiniano (Unidad de Tráfico y Transporte).

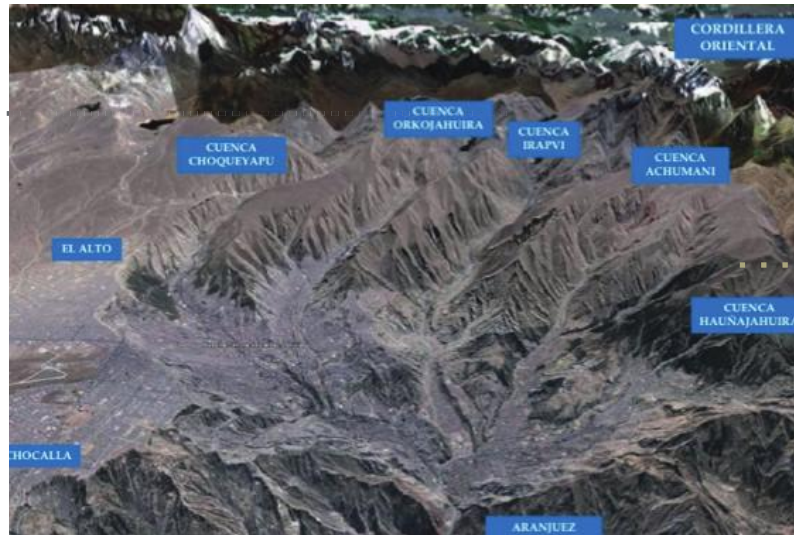
<sup>6</sup> Fuente: Evaluación económica de la Línea Plateada del teleférico - Documento del Banco Inter-Americano de Desarrollo. Javier Campos Méndez (consultor).





Figura 2. Localización y topografía de los municipios de La Paz y El Alto

Figura 3. Diferencia de altitud entre La Paz y El Alto



Fuente: Presentación de mapa de riesgos 2011 - Dirección especial de gestión integral de riesgos, Unidad especial de prevención de riesgos, Gobierno autónomo municipal de La Paz – GAMLP

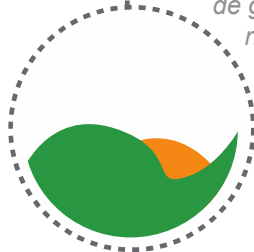


Figura 3



Fuente: Informe de justificación de tecnología – Proyecto “Diseño, construcción y puesta en marcha del sistema de transporte por cable (teleférico) en la ciudad de El Alto – Línea plateada” – Mi Teleférico 2017

Angélica Castro

Consultora en Transporte  
Correo. angelcastro65@yahoo.com  
Cel. +573002717441



### 1.1.2 Desarrollo urbano

Las características propias de la topografía de La Paz llevaron a que su crecimiento fuera generado en tres sectores: la ladera este, la ladera oeste y la zona sur de la ciudad. Los sectores de ladera se caracterizan por tener medianas y altas pendientes, estando algunas de sus áreas en alturas de hasta 4.000 msnm. La zona sur está localizada en la zona más baja y con menos pendiente.

El centro de La Paz está rodeado por barrios que fueron construidos en las laderas periféricas, los cuales surgieron a finales de los años 60 y principios de los 70 por la emigración interna que hubo en los últimos años de la dictadura boliviana.

En el caso de El Alto, su rápido crecimiento económico, lo ha llevado a ser un lugar de asentamiento de inmigrantes de otras localidades de Bolivia, en especial de personas procedentes de áreas rurales, mayoritariamente de los departamentos de La Paz, Oruro y Potosí así como de Cochabamba, Chuquisaca y en menor medida también de Santa Cruz y Beni. Debido a las relaciones comerciales, la afinidad cultural y la cercanía con el Perú, la ciudad de El Alto también se ha convertido desde la década de los 90's en una urbe receptora de inmigración de personas procedentes de este país.

### 1.1.3 Infraestructura vial

La malla vial de La Paz y El Alto resulta insuficiente para los más de 32.000 vehículos que transitan en un día típico de la semana<sup>7</sup>. Las condiciones topográficas de ambas ciudades permiten pocas alternativas viales, de tal forma que se convierten en un gran reto para la movilidad, tal como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

La Ceja es el punto neurálgico en la conectividad entre los dos municipios. En este sitio se concentran unas 200.000 personas que viajan diariamente desde El Alto a trabajar a La Paz, generando mayores complicaciones en el desarrollo de actividades y principalmente aportando a la congestión.

El sistema vial tiene como eje principal uno troncal que une El Alto con la zona sur de La Paz<sup>8</sup>, la cual sólo cuenta con dos avenidas principales de características similares, dos carriles de ida y dos de vuelta, que en sentido norte-sur y viceversa soportan el grueso del transporte<sup>9</sup>. El transporte público cuenta con corredores principales definidos tanto para El

---

<sup>7</sup> Fuente: El conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial como herramienta de comprensión y reducción de la vulnerabilidad territorial: el caso de La Paz (Bolivia) - Javier Núñez Villalba y Florent Demoraes 2009.

<sup>8</sup> Fuente: El transporte público en la ciudad de La Paz – Ing. Gonzalo Vargas Fernandez (Gobierno Municipal de La Paz), Ing. René Chavez Justiniano (Unidad de Tráfico y Transporte).

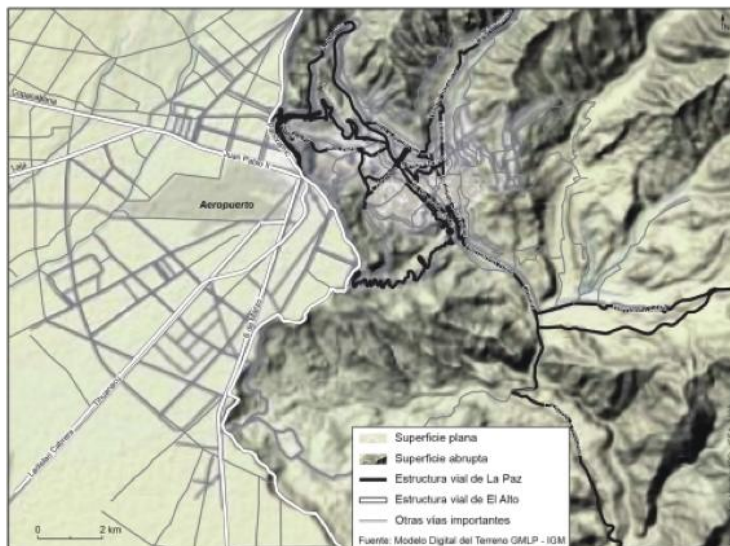
<sup>9</sup> Fuente: [www.eluniversal.com.co/cartagena/actualidad/la-paz-bolivia-al-borde-del-colapso-por-su-infernal-trafico-vehicular](http://www.eluniversal.com.co/cartagena/actualidad/la-paz-bolivia-al-borde-del-colapso-por-su-infernal-trafico-vehicular)



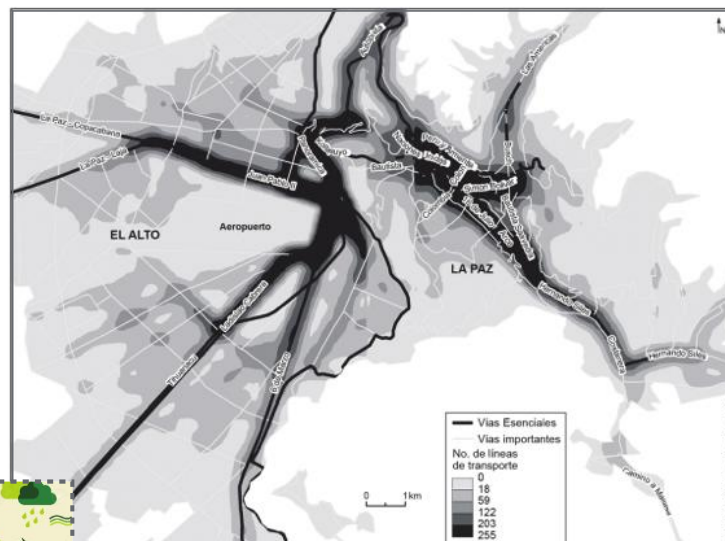
Alto (8 vías esenciales), como para La Paz (28 vías esenciales)<sup>10</sup>, tal como se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

**Figura 4 Red vial principal de la metrópoli paceña y topografía**

**Figura 5. Conexiones más importantes y grandes corredores de transporte colectivo**



*Fuente: El conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial como herramienta de comprensión y reducción de la vulnerabilidad territorial: el caso de La Paz (Bolivia) - Javier Núñez Villalba y Florent Demoraes 2009*



**Figura 5**



<sup>10</sup> Fuente: El conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial como herramienta de comprensión y reducción de la vulnerabilidad territorial: el caso de La Paz (Bolivia) - Javier Núñez Villalba y Florent Demoraes 2009.



Estos corredores son altamente congestionados por cuenta del transporte privado y público, representando este último el 90% de los viajes de El Alto y el 70% de los que se realizan en La Paz<sup>11</sup>.

El sistema de transporte público de La Paz y El Alto tiene 279 rutas prestadas por vehículos de baja capacidad (4, 7, 14, 21 y 40 pasajeros) identificados como micro, minibús, carry y trufi que en total suman un parque automotor de más de 7.000 vehículos<sup>12</sup>. Algunos de los corredores de transporte público tienen una densidad muy alta de rutas con múltiples orígenes y destinos, especialmente en el centro de La Paz en donde se concentran aproximadamente el 85% de las rutas existentes<sup>13</sup>.

Complementario al sistema de transporte tradicional, desde el año 2014 se implementaron los sistemas Pumakatari en La Paz y Sariri en El Alto. El sistema Pumakatari buscaba ordenar el sistema de transporte público a través de rutas operadas con autobuses de 12 m y mayor capacidad que los del sistema convencional y que surgieron como una primera etapa de un futuro sistema BRT, del cual serían rutas alimentadoras<sup>14</sup>.

En la actualidad, el sistema Pumakatari ha ampliado su cobertura y flota, pasando de 3 rutas operadas con 61 autobuses en sus inicios a una operación de 6 rutas con aproximadamente 140 autobuses y paradas en estaciones de las líneas de teleférico para facilitar una integración operativa de ambos medios<sup>15</sup>.

De otra parte, el sistema Sariri de El Alto ha enfrentado algunas problemáticas dentro de las cuales está la falta de planificación del proyecto, que llevó a que para el año 2015 de los 60 buses con que contaba el sistema, sólo 10 estuvieran habilitados operativamente para la prestación del servicio<sup>16</sup>. A finales del año 2015, el sistema fue relanzado por una administración municipal distinta a la que dio inicio al proyecto y actualmente se encuentra en operación con el nombre de Wayna Bus<sup>17</sup>.

La situación descrita representa un gran reto para las administraciones de ambas ciudades, para lo cual deben buscarse soluciones de fondo a través de la reorganización

---

<sup>11</sup> Fuente: El conocimiento de la vulnerabilidad de la red vial como herramienta de comprensión y reducción de la vulnerabilidad territorial: el caso de La Paz (Bolivia) - Javier Núñez Villalba y Florent Demoraes 2009.

<sup>12</sup> Fuente: El transporte público en la ciudad de La Paz – Ing. Gonzalo Vargas Fernandez (Gobierno Municipal de La Paz), Ing. René Chavez Justiniano (Unidad de Tráfico y Transporte).

<sup>13</sup> Ibidem.

<sup>14</sup> Fuente: El inicio de la transformación del transporte en La Paz – Dirección general de La Paz Bus, Servicio de transporte municipal (SETRAM).

<sup>15</sup> Ibidem.

<sup>16</sup> Fuente: Artículos de diferentes medios locales de comunicación escrita (<http://www.inforse.com.bo> - <http://www.la-razon.com> - <http://eju.tv> - <http://www.elaltoesnoticia.com> - <http://elaltobolivia.blogspot.com.co> - <http://www.elalto.gob.bo> - <http://www.paginasiete.bo>, años 2014, 2015 y 2016).

<sup>17</sup> El cambio de nombre se da en razón de “una demanda interpuesta por el Banco Unión, que indica tener inscrito el nombre ‘Sariri’ en el Servicio Nacional de Propiedad Intelectual (Senapi) para el uso de un vehículo, impide que los buses ediles hagan uso de ese nombre.” Fuente: <http://www.elaltoesnoticia.com/elalto-es-noticia/poblacion-elegira-nuevo-nombre-y-colores-de-ex-buses-sariri.html>

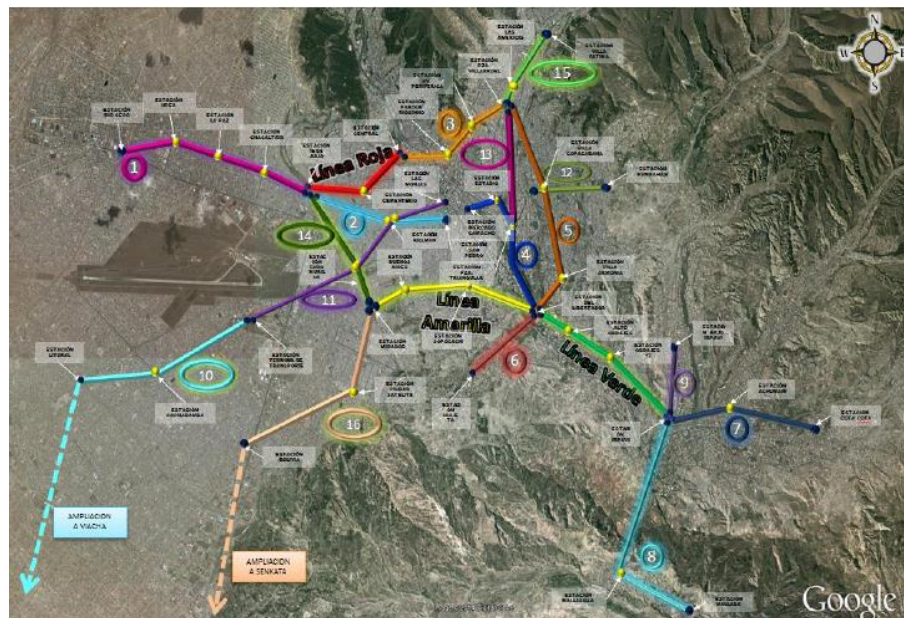


del transporte público, el cual tiene la mayor proporción de los viajes que se realizan diariamente. Este proceso de reorganización ha dado inicio con el proyecto de una red de líneas de cable aéreo con características de transporte urbano para altas demandas.

## 1.2 Sistema Mi Teleférico

En respuesta a las necesidades propias de la movilidad en La Paz y El Alto, ciudades caracterizadas por una alta demanda de usuarios para el transporte público, condiciones topográficas agrestes, red vial insuficiente y velocidades de operación muy bajas, surgió la Red de Integración Metropolitana (RIM). La discusión sobre la realización del proyecto se llevó a cabo durante muchos años sin éxito hasta el año 2012, cuando fue promulgada la Ley N° 261<sup>18</sup>, declarando de interés del Nivel Central del Estado, la construcción, implementación y administración del sistema de transporte por cable (Teleférico) en las ciudades de La Paz y El Alto. Según el Plan Maestro 2015 – 2030, la red está conformada por 19 líneas que se presentan en la Figura 6.

**Figura 6. Líneas de teleféricos propuestas para el Plan Maestro 2015 – 2030**



Fuente: Informe de Justificación de Contratación Directa por Continuidad Tecnológica – Mi Teleférico 2017

El sistema dio inicio con una primera fase ya en operación, que consta de 3 líneas con una longitud total de aproximadamente 10 Km. Una segunda fase consta de 6 nuevas líneas a implantar a través del Contrato N° 007/2015 suscrito para el "Diseño, Construcción y Puesta en Marcha del Sistema de Transporte por Cable (Teleférico) en las ciudades de La Paz y El Alto - Segunda Fase". De las líneas de la segunda fase, una de

<sup>18</sup> Fuente: Informe de Justificación de Contratación Directa por Continuidad Tecnológica – Mi Teleférico 2017.

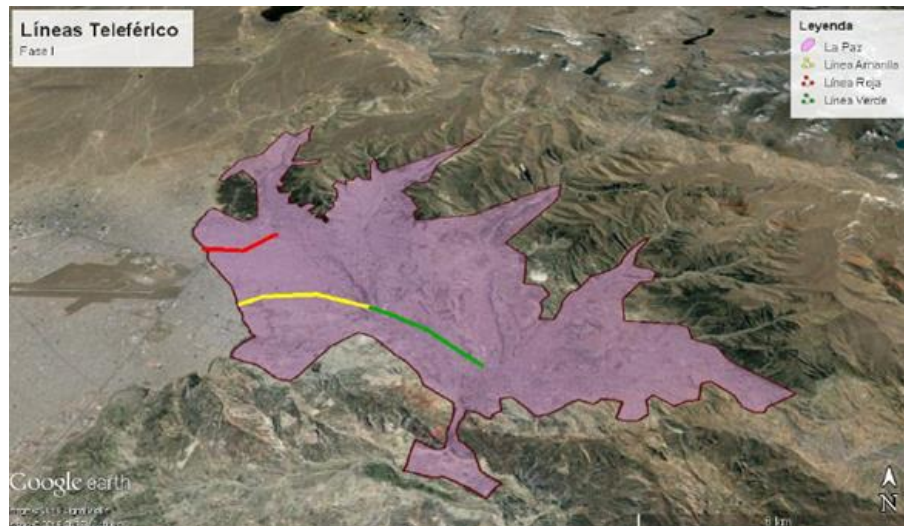


ellas está operando desde marzo del año 2017 y las 5 restantes se encuentran en construcción.

La construcción de las tres primeras líneas de cable aéreo<sup>19</sup> que hacen parte de la primera fase fue contratada bajo la modalidad “Llave en Mano”. Sus obras iniciaron en el 2013 y la operación dio inicio en el 2014<sup>20</sup>. Para la administración y gestión del sistema de cable aéreo de La Paz El Alto, se creó la Empresa Estatal de Transporte por Cable “Mi Teleférico” (EETC-MT)<sup>21</sup>, en el marco del régimen transitorio para la creación de empresas públicas de tipología estatal establecido en el D.S. N° 1978.

En la Figura 7 se observa la delimitación de la ciudad de La Paz y la distribución de las líneas de la primera fase. Al 30 de abril de 2016, se habían realizado 45.299.199 viajes, tal como se observa en la Figura 8. Se debe considerar que los resultados de operación de la gestión 2014 reflejan de forma global la operación de las tres líneas, las cuales fueron puestas en marcha en momentos diferentes. La Figura 9 presenta los viajes realizados en cada una de las tres primeras Líneas.

**Figura 7. Líneas fase 1**



*Fuente: Plan estratégico empresarial 2016-2020 – Mi Teleférico*

<sup>19</sup> Líneas Roja, Amarilla y Verde.

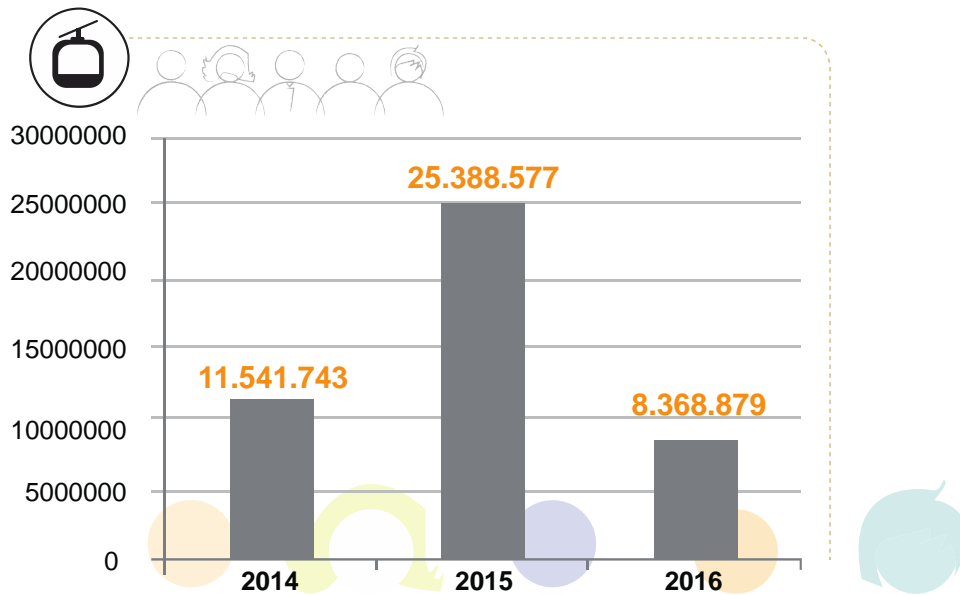
<sup>20</sup> Fuente: Informe de Justificación de Contratación Directa por Continuidad Tecnológica – Mi Teleférico 2017.

<sup>21</sup> *Ibidem*.

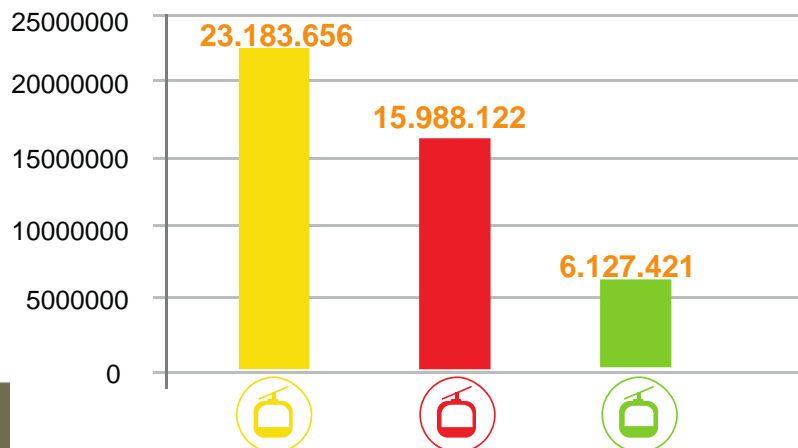


**Figura 8. Total de viajes por año**

**Figura 9. Total de viajes por Línea (2014 – 2016)**



**Figura 9**



Fuente: Cifras Plan estratégico empresarial 2016-2020 – Mi Teleférico

**Angélica Castro**

Consultora en Transporte  
Correo. angelcastro65@yahoo.com  
Cel. +573002717441

Julio 5 de 2017

15





En el 2015<sup>22</sup>, la entidad contrata a la misma empresa que había proveído las tres primeras líneas, para la construcción de la segunda fase del proyecto<sup>23</sup> logrando tener la misma tecnología en las líneas de cable que hacen parte de ambas fases. La selección de las líneas a construir en la segunda fase del proyecto fue resultado de un análisis multicriterio, que consideró la captación de demanda de pasajeros, costo, integración a la red, dificultad de alineamiento y afectaciones, servicio a zonas de población de bajos recursos, accesibilidad peatonal, accesibilidad vehicular, cobertura espacial, servicio a zonas de difícil acceso, líneas de deseo de viajes, factibilidad técnica (geología, geotecnia), sobrevuelo a zonas prohibidas y accesibilidad social entre otros aspectos<sup>24</sup>. En la Tabla 1 se observa el orden de priorización de las 16 líneas adicionales a las de primera fase.

**Tabla 1. Priorización de líneas de cable aéreo según resultados de análisis multicriterio**

Priorizadas	Puntaje	N° de línea	Ruta de la línea	Nombre de la línea <sup>25</sup>
1	485	O 11	Terminal El Alto - Las Monjas	Línea Morada
2	470	O 3	Est. Central - P. Villarroel	Línea Naranja
3	438	O 5	del Libertador - P. Villarroel	Línea Blanca
4	430	O 7	Irpavi - Achumani - Cota Cota	Línea Celeste
5	425	O 1	16 de Julio - Río Seco	Línea Azul
6	423	O 4	del Libertador - Mirador	
7	400	O 14	16 de Julio - Mirador	Línea Plateada
8	362	O 10	Terminal El Alto - Av. Litoral	
9	360	O 15	P. Villarroel - V. Fátima	
10	357	O 2	16 de Julio - San Pedro	
11	335	O 8	Irpavi - Mallasilla - Mallasa	
12	333	O 16	P. Mirador - Senkata	
13	323	O 13	P. Triangular - P. Villarroel	
14	305	O 12	V. Copacabana - Pampahasi	Línea Marrón
15	300	O 9	Irpavi - Bajo Irpavi	
16	283	O 6	del Libertador - Llojeta	

Fuente: Informe de Justificación de Contratación Directa por Continuidad Tecnológica – Mi Teleférico 2017

Las líneas de la segunda fase se observan en la Figura 10, de las cuales ya está en operación la Línea Azul. En la Figura 11 y la Figura 12 se presentan datos de movilización de las cuatro líneas que actualmente operan en el sistema.

<sup>22</sup> Fuente: Informe de Justificación de Contratación Directa por Continuidad Tecnológica – Mi Teleférico 2017.

<sup>23</sup> Líneas Azul, Blanca, Morada, Naranja, Celeste y Marrón.

<sup>24</sup> Fuente: Informe de Justificación de Contratación Directa por Continuidad Tecnológica – Mi Teleférico 2017.

<sup>25</sup> Se incluyen únicamente los nombres de las líneas de la segunda fase más la Línea Plateada.

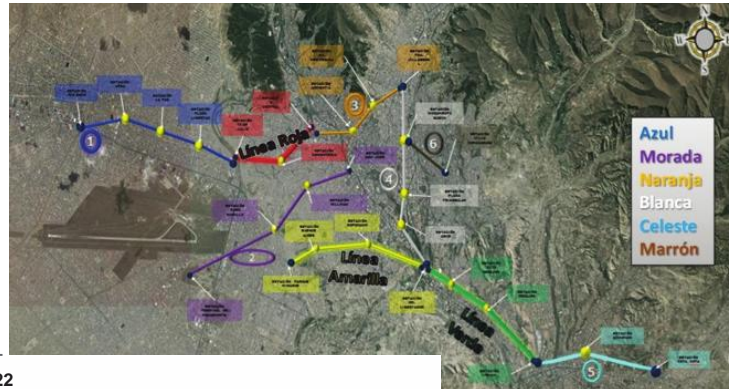


Figura 10. Línea Fase 2

Figura 11. Movilización de las líneas en operación.

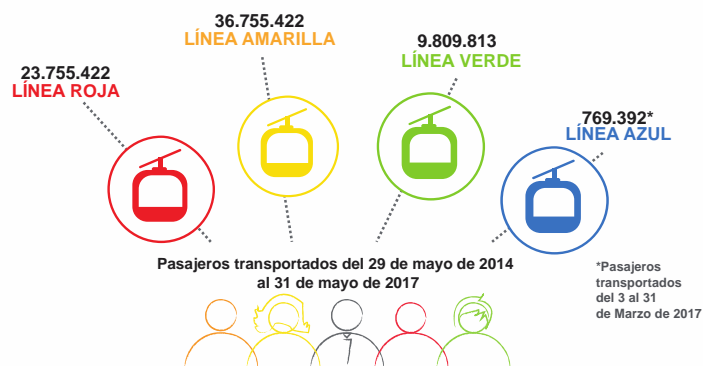
Figura 12. Pasajeros transportados por día y mes en cada línea

Figura 10



Fuente: Plan estratégico  
empresarial 2016-2020  
(Mi Teleférico)

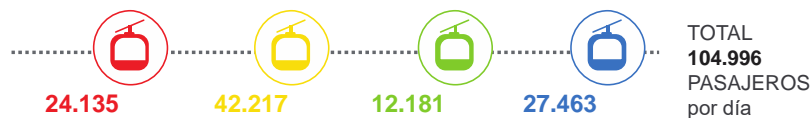
Figura 11



Fuente: Cifras de Los  
números de Mi Teleférico  
Tres años transportando  
sueños – Mi Teleférico 2017

Figura 12

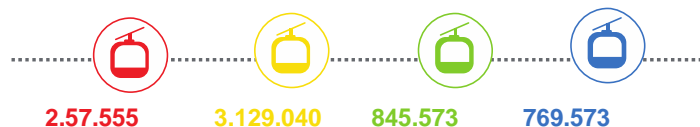
Promedio pasajeros transportados POR DÍA en las 4 líneas



Promedio pasajeros transportados POR DÍA en las 3 líneas



Promedio pasajeros transportados POR MES





Finalmente, desde el año 2016 a la fecha, se adelantan las gestiones necesarias para iniciar la construcción de la Línea Plateada, continuando así con la consolidación de la red. La línea plateada contará con 2,61 Km de longitud, 3 estaciones que estarán conectadas con las Líneas Amarilla y Roja de la primera fase (estaciones ya construidas y en operación) y con una estación de la Línea Morada (estación de la segunda fase en construcción)<sup>26</sup>, tal como se observa en la Figura 13. Así mismo, se planea que esta línea cuente con 120 cabinas, cámaras de seguridad en las cabinas y en las estaciones y con un sistema de billeteaje que debe ser compatible con el actual sistema en funcionamiento<sup>27</sup>.

**Figura 13. Propuesta de Línea Plateada para el sistema Mi Teleférico**



Fuente: <http://www.miteleferico.bo/>

La integración entre las líneas de cable es de vital importancia para mejorar las condiciones de movilidad y potenciar los beneficios de este tipo de sistemas. No se debe dejar de lado que la integración de toda la red de cables aéreos con los otros modos de transporte público existentes en La Paz y El Alto, es el escenario deseable para lograr el mayor beneficio para la población.

### 1.3 Potencial mejoramiento urbano en torno a los sistemas de cable

El proceso de urbanización en las ciudades latinoamericanas tuvo su pico en las décadas de los años 60's y 70's<sup>28</sup>, época en la cual se presenta una gran migración de población del sector rural al sector urbano, proceso que continuó durante los años siguientes, hasta

<sup>26</sup> Fuente: <http://www.miteleferico.bo/>

<sup>27</sup> Ibidem.

<sup>28</sup> Fuente: <https://blogs.iadb.org/ciudadessostenibles/2015/01/27/cables-aereos/>



el punto de que en la actualidad la gran mayoría de población reside en la zona urbana. Esta migración generó una gran presión sobre el suelo urbano para atender las necesidades de vivienda y servicios de la población creciente, con lo cual terminan generándose gran cantidad de asentamientos informales en los límites de la ciudad y especialmente en zonas de ladera caracterizadas por una difícil topografía y difíciles condiciones de acceso.

Este tipo de zonas marginales no planificadas, generalmente, carecen de una adecuada oferta de espacio público e infraestructura de transporte. La red vial de la cual disponen es insuficiente en cantidad y calidad tanto para vehículos como para peatones, haciendo compleja la movilidad para la población que allí reside. La situación es aún más compleja cuando se observa que es justo esta población la que mayor uso da a los sistemas de transporte público que deben ser priorizados en los planes de movilidad.

En búsqueda de integrar urbanamente estas zonas al tejido de la ciudad y mejorar las condiciones de vida de la población que allí reside, los gobiernos realizan intervenciones urbanas de diferente tipo, siendo una reciente la relacionada con implementación de sistemas de cable para dar mayor eficiencia a la movilidad interna, pero fundamentalmente buscando conectar a la población con aquellas áreas de la ciudad que dan unos beneficios sociales y económicos relevantes. En este tipo de soluciones es fundamental plantear la integración con otros modos de transporte.

A continuación se referencia como estudio de caso en este tema, el de la ciudad de Medellín en Colombia.

### 1.3.1 Caso Metro cable – Medellín Colombia

Medellín es la primera ciudad de Colombia que implementa dentro de su sistema de transporte público urbano de pasajeros un componente de cable aéreo. La primera línea entra en operación en el año 2004 cubriendo al noreste de la ciudad el sector de Santo Domingo y denominándola como línea K. El sector atendido por esta línea se caracteriza por ser un terreno de difícil accesibilidad, con una topografía complicada y una serie de invasiones informales que datan desde los años 50's. Este sector corresponde a la zona de la ciudad con la mayor densidad poblacional. La infraestructura vial es mínima y el servicio de transporte público era prestado por buses convencionales<sup>29</sup>.

La construcción de la línea K, generó una transformación urbana al interior de la comuna, especialmente en aquellos sitios alrededor de las estaciones, pero aún más importante es que permitió integrar de forma ágil y eficiente a la población con el resto de la ciudad, facilitando el acceso a todos los servicios requeridos. El éxito de este proyecto radica en que no solo es un sistema de transporte por cable aéreo, sino que este se integra tanto

<sup>29</sup> Fuente: Aerial cable-car systems for public transport in low-income urban areas: lessons from Medellin, Colombia 2011. Peter Brand, Julio Davila.



física como tarifariamente con el transporte público masivo de la ciudad o Metro, lo cual permite a los usuarios acceder a los diferentes destinos.

En el 2008 es inaugurada la segunda línea de cable en la ciudad, conocida como línea J. De manera similar a la anterior, es una línea para transporte urbano de pasajeros en el sector de San Javier y con conexión directa al sistema Metro. El sector que atiende esta línea tiene características similares a los de la primera línea, convirtiéndose el cable, también en este caso, en un integrador urbano. En la Figura 14 puede observarse el trazado del sistema metro y las líneas de cable K y J.

En el año 2010 se inaugura la línea L, la cual es una extensión de la línea K en una ruta turística hacia el Parque ecológico ARVI.

**Figura 14. Sistema Metro con líneas de cable, Medellín**



*Fuente: Metro de medellín*

Las líneas de cable aéreo de Medellín han sido proyectos planeados y como tal hacen parte de lo que se denomina Proyecto Urbano Integral (PUI). Este tipo de proyectos busca incrementar la calidad de vida de los habitantes enfocándose en áreas donde son más visibles la pobreza y la violencia. Esta estrategia provee que cada proyecto tiene 3 componentes principales: físico, social e institucional<sup>30</sup>.

- **El componente de intervención física:** comprende las etapas de planificación (diagnóstico y formulación), y gestión (diseño, ejecución y animación de las obras).
- **El componente de gestión social:** tiene como objetivo promover las estrategias para lograr una participación comunitaria que genere compromiso y apropiación de las obras y programas por parte de la comunidad.

<sup>30</sup> Fuente: The impact of an urban cable-car transport system on the spatial configuration of an informal settlement. The case of Medellín. 2015. Paul Goodship.



- **La coordinación interinstitucional:** tiene como objetivo crear canales de comunicación entre las instituciones municipales, el sector privado, las organizaciones no gubernamentales, las organizaciones sociales y comunitarias.

En este caso no solo se trata de implementar una línea de cable aéreo, sino de involucrar otros servicios e infraestructuras requeridas por la comunidad como parte del proyecto y generar así la apropiación por parte de los pobladores del proyecto en su conjunto.

Un proyecto urbano integral, involucra todos los actores públicos y privados que intervienen en la transformación de la ciudad y propone articular estos a los programas de espacio público, vivienda, movilidad, medio ambiente, educación, salud, recreación y cultura; logrando que todos los representantes de la administración municipal y otros actores provenientes del sector privado participen en el desarrollo de la ciudad.

Las intervenciones realizadas en la construcción de la Línea K, contribuyeron en el mejoramiento de las condiciones de movilidad, espacio público alrededor de las estaciones; promovieron la participación ciudadana, la seguridad y la credibilidad de los habitantes en las instituciones del estado. La manera en la cual las comunidades participaron y se apropiaron del proyecto fue aprovechada por la administración municipal para realizar un PUI para la segunda línea de cable, para lo cual se plantearon siete objetivos:

- Fortalecer las organizaciones comunitarias.
- Promover adecuadas intervenciones del Estado.
- Adecuar el espacio público dándole nueva calidad.
- Fomentar la continuidad en la movilidad peatonal.
- Adecuar nuevos equipamientos colectivos.
- Promover programas habitacionales.
- Mitigar el desgaste del ambiente.

Al terminar las obras físicas se realizaron actividades de tipo cultural y social, para promover el uso de las obras construidas y su cuidado permanente. En esta etapa, se hizo partícipe a todos los grupos culturales, organizaciones sociales, los actores públicos y privados. En muchos de los casos, las actividades realizadas fueron ejecutadas directamente por iniciativa de los mismos comités sociales.

Entre los principales logros en la transformación social de las comunidades, producto de las intervenciones realizadas en la implementación de los Metrocables a través de los modelos de PUI, se destaca haber logrado inversiones en los sistemas de transporte, obras de infraestructura social (parques, colegios, centros recreativos, senderos peatonales, recuperación de zonas verdes, parques biblioteca, entre otros), como también

Angélica Castro

Consultora en Transporte  
Correo. angelcastro65@yahoo.com  
Cel. +573002717441





capacitar a los líderes comunitarios en áreas como el liderazgo, la gestión social y desarrollo comunitario”<sup>31</sup>.

Las inversiones en el PUI en el área de influencia de la Línea K, alcanzan 6,6 veces la inversión del Metrocable, generando 125.000 m<sup>2</sup> de espacio público, lo que ha permitido cambiar el indicador de espacio público de 0,65 m<sup>2</sup>/hab a 1,48 m<sup>2</sup>/hab. Para 8 barrios se ha logrado que exista por primera vez un parque.

En la Línea J, se han realizado inversiones que corresponde a 3,2 veces las inversiones en el Metrocable, con una construcción de 59.500 m<sup>2</sup> de áreas nuevas de espacios públicos, pero que se concentran sobre todo en la última estación, zona de expansión de la ciudad.<sup>32</sup>

## 2 GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE CABLE AÉREO

Los sistemas de cable aéreo tienen como propósito principal facilitar el transporte de pasajeros o carga en sectores con pendientes muy altas y orografía compleja, e incluso en algunos casos, para superar cuerpos de agua entre dos sectores de tierra firme. En este sentido, cada sistema tiene características únicas que impiden una fácil comparación entre ellos, puesto que las condiciones de longitud, altura, cantidad de torres, tipo de infraestructura requerida, entre muchas otras, son definidas en concordancia con el área o sector en el cual será instalado.

Sin embargo, es importante establecer algunas categorías, para que de acuerdo al análisis del escenario en que quiere implementarse un sistema de este tipo, sea posible determinar la mejor alternativa. De igual forma, conviene describir al menos de manera general, los elementos principales que conforman este tipo de sistemas de transporte.

### 2.1 Sistemas de transporte por cable

Las instalaciones de transporte por cable son aquellas en las que se emplean cables metálicos situados a lo largo del recorrido, bien sea para constituir la vía de circulación de los vehículos o para transmitirles el movimiento. En este grupo no son incluidos los tranvías convencionales de tracción por cable, ni las embarcaciones accionadas por cable, ni los ascensores, que son considerados una categoría aparte más semejante a la de los aparatos de elevación.

<sup>31</sup> Fuente: Claves del Éxito en Teleféricos y su Articulación con Planes de Desarrollo Urbano Integral: Metrocables Medellín.

<sup>32</sup> Ibidem.





La “Directiva 2000/9/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de marzo de 2000 relativa a las instalaciones de transporte de personas por cable” señala que las instalaciones de transporte por cable son:



[http://www.trenscat.com/metrovalles/funivallvidrera\\_ct.html](http://www.trenscat.com/metrovalles/funivallvidrera_ct.html)

- a) **Funiculares** y otras instalaciones cuyos vehículos se desplazan sobre ruedas u otros dispositivos de sustentación (rieles o guías instalados a nivel con la vía, sobre una estructura fija) y mediante tracción de uno o más cables. Ver Figura 15.



<http://www.turismoenfotos.com>

- b) **Teleféricos**, cuyos vehículos son desplazados y/o movidos en suspensión por uno o más cables; esta categoría incluye igualmente las telecabinas y telesillas. Ver Figura 16.



<https://www.doppelmayr.com/es/productos/referencias/1-sl-kind-erland-uebungslift/>

- c) **Telesquís** que, mediante un cable, tiran de los usuarios pertrechados de equipos adecuados. Ver Figura 17.

**Figura 15. Funicular en Vallvidrera Barcelona**

**Figura 16. Teleférico del Parque Chicamocha (Colombia)**

**Figura 17. Telesquí localizado en Zauchensee, Austria**

**Angélica Castro**

Consultora en Transporte  
Correo. angelcastro65@yahoo.com  
Cel. +573002717441



Según la clasificación anterior, los sistemas de cable aéreo implementados para turismo, transporte urbano o carga, son también llamados teleféricos y pueden ser clasificados, según el elemento o condición que se considere. Según el tipo de cables que conformen el sistema pueden ser de dos tipos:

- a) **Teleféricos Bicables**<sup>33</sup>. El término “bi” no se refiere al número de cables, sino a los tipos de cable que los conforman, es decir, tiene al menos un cable que soporta las cabinas (cable o cables portante) y otro que genera el movimiento del sistema (cable tractor). Este sistema, ofrece mayor resistencia al viento y permite superar mayores distancias entre torres. Algunos ejemplos de este tipo de teleféricos instalados actualmente, se encuentran en el teleférico de la ciudad de Portland (USA), que une la Universidad de Oregon con el distrito urbano de South Waterfront o el de Fuente Dé (España), de tipo turístico. Ver Figura 18.
- b) **Teleféricos Monocables**<sup>34</sup>: como su nombre indica, este sistema está compuesto por un solo cable transportador, que realiza las funciones de portar y generar el movimiento de las cabinas. Algunos ejemplos de este tipo de teleférico se encuentran en gran variedad de ciudades de Sudamérica como Río de Janeiro (Complejo de Alemão), Caracas, Medellín o La Paz. Ver Figura 19.

Figura 18. Teleférico Bicable de Portland



Fuente: <https://viajeroslatinos.blogspot.com.co/2013/03/portland-oregon.html> - (Foto de riding-the-usa.com)

<sup>33</sup> Fuente: “Transporte por Cable” - A. Orro, M. Novales y M. Rodríguez (Ed. 2003).

<sup>34</sup> Ibidem.



Figura 19. Teleférico Monocable de Río de Janeiro



Fuente: <http://www.rj.gov.br/web/imprensa/exibeconteudo?article-id=438027>

Otra clasificación importante se da en función del tipo de unión del vehículo al cable. Las cabinas normalmente están unidas a los cables mediante elementos denominados pinzas, las cuales pueden ser desembragables o no:

- a) **En los casos en que no son desembragables**, se trata de una unión permanente entre el cable y los vehículos, generando rigidez en el sistema, puesto que si una cabina debe detenerse en una estación es necesario detener todo el sistema<sup>35</sup>.
- b) **Cuando las pinzas de unión son desembragables**, es posible soltarla del cable tractor al llegar a la estación y a través de un circuito secundario de la propia estación, reducir la velocidad para el embarque y desembarque de los pasajeros sin detener ni reducir la velocidad de las cabinas en circulación<sup>36</sup>.

Una tercera forma de clasificar los sistemas de cable aéreo es según el tipo de movimiento:

- a) **Movimiento unidireccional o circulante**<sup>37</sup>. En estos sistemas, bajo condiciones normales de operación, el movimiento de las cabinas se da siempre en la misma dirección. Este tipo de sistemas se observan en telesillas o telecabinas como algunos instalados para deportes de invierno en varias ciudades europeas y para sistemas urbanos en ciudades latinoamericanas como Medellín (Colombia), Caracas (Venezuela), La Paz – El Alto (Bolivia), Ecatepec (México). Ver Figura 20.

<sup>35</sup> Fuente: “Transporte por Cable” - A. Orro, M. Novales y M. Rodríguez (Ed. 2003).

<sup>36</sup> Ibidem.

<sup>37</sup> Ibidem.





- b) **Movimiento de vaivén**<sup>38</sup>. El movimiento presenta inversiones cíclicas con las cabinas desplazándose hacia adelante y atrás de manera sincronizada entre las estaciones del mismo cable. En estos sistemas el equipamiento electromecánico de las estaciones y la suspensión del vehículo es menos complejo. Algunos ejemplos de este tipo de teleférico instalados son el de Ahornbahn Mayrhofen (Austria) o Jackson Hole Tram, Wyoming (USA). Ver Figura 21.

**Figura 20. Teleférico circulante CGD Kombibahn Penken, Mayrhofen, AUT**



Fuente: <https://www.doppelmayr.com/en/products/combined-lift/>

**Figura 21. Teleférico de vaivén entre la isla de Manhattan y la isla Roosevelt**



<http://nuevayorkensietedias.blogspot.com.co/>

Otras clasificaciones se dan en función del tipo de vehículo (abierto o cerrado) o de la función de transporte que realizan (turismo, transporte urbano, carga), si el viajero

<sup>38</sup> Fuente: "Transporte por Cable" - A. Orro, M. Novales y M. Rodríguez (Ed. 2003).



participa o no en la operación del cable, si tiene el puesto de mando en la estación o en el vehículo, si el control del cable es automático o manual, entre otros<sup>39</sup>.

## 2.2 Principales elementos del sistema de cable aéreo

### 2.2.1 Estaciones

Las estaciones son los elementos de infraestructura que permiten la interacción de los viajeros con el sistema de cable aéreo. Albergan la mayor parte de los sistemas electromecánicos, para lo cual se tienen en cuenta en su diseño todas las instalaciones y áreas requeridas para el correcto funcionamiento del sistema. Pueden considerarse tres tipos:

- **Estaciones extremas o terminales.** Son aquellas donde el cable da la vuelta para conformar el bucle portante-tractor en los sistemas circulantes. Para los sistemas vaivén, en los cuales no se requieren los bucles de cable, están los extremos de estos.

Estas estaciones pueden ser motrices, aquellas que albergan todos los elementos de potencia que le dan movimiento al sistema, o pueden ser estaciones de reenvío, donde están las poleas que cierran el bucle del cable y albergan el sistema de tensión del cable. Ver Figura 22.

- **Estaciones intermedias.** Estas estaciones cuentan con dos plataformas de abordaje laterales. Los vehículos entran por un costado de la estación, se desembragan (desenganchan) del cable, siguen la marcha con una velocidad menor a la del cable y salen por el otro costado de la estación, siguiendo la línea del trazado del cable. Según el diseño que se desee para el sistema de cable aéreo, pueden ser estaciones motrices y contiguas al parking. Ver Figura 23.

- **Estaciones intermedias en ángulo.** En un sistema circulante, cuando el trazado lo requiera se pueden construir estaciones con una desviación angular en el plano horizontal, es decir, visto desde arriba el ángulo de entrada del cable a la estación puede ser diferente al ángulo de salida. Esto permite ubicar las estaciones en lugares, con más facilidades de construcción o con mayor demanda de viajeros. Ver Figura 24.

<sup>39</sup> Fuente: “Transporte por Cable” - A. Orro, M. Novales y M. Rodríguez (Ed. 2003).



**Figura 22. Estación Terminal Santo Domingo del Metrocable de Medellín**



<http://m.lopaisa.com/bellas-imagenes-medellin/>

<http://www.andeslides.com/es/reportajes/colombia-manizales-el-transporte-por-cable-en-las-os-genes>



**Figura 23. Estación intermedia del Cable de Aéreo de Manizales.**



[http://www.la-razon.com/ciudades/Obras-Linea\\_Roja-teleferico-monitoreada-camaras\\_0\\_2144785511.html](http://www.la-razon.com/ciudades/Obras-Linea_Roja-teleferico-monitoreada-camaras_0_2144785511.html)

**Figura 24. Estación intermedia en ángulo – Línea Roja Mi Teleférico**

**Angélica Castro** .....

Consultora en Transporte  
Correo. angelcastro65@yahoo.com  
Cel. +573002717441



En el diseño y construcción de las estaciones se consideran aspectos importantes para mejorar su funcionalidad:

- Inclusión de conexiones expeditas entre las estaciones y las vías existentes.
- Agrupación de usos y equipos afines, haciendo especial distinción entre áreas públicas, técnicas y operativas.
- Sin ser una restricción, se propende por garantizar ventilación e iluminación natural con fachadas abiertas, tratadas con materiales traslucidos.
- Empleo de materiales resistentes al vandalismo, durables y de bajo costo de mantenimiento.

Las estaciones deben tener los niveles que sean necesarios en función de garantizar los gálambos de seguridad exigidos para el desplazamiento aéreo de las cabinas. Según la cantidad de niveles se hace una distribución de áreas entre las cuales se deben incluir por lo menos las siguientes:

- Torniquetes o barreras de acceso.
- Billetería.
- Baños.
- Ascensores.
- Escaleras.
- Áreas de circulación.
- Enfermería.
- Cuarto de aseo.
- Cuarto de comunicaciones.
- Cuarto de tableros eléctricos.
- Subestación o planta eléctrica.
- Cuarto de operador de estación.
- Área de circulación de cabinas.
- Zonas de embarque y desembarque.
- Motor.

### 2.2.2 Estacionamiento de cabinas

El estacionamiento de cabinas es diseñado de tal manera que sea posible el ingreso y la salida de la totalidad de las cabinas diariamente y se recomienda que sea construido al





mismo nivel del área de embarque, por lo cual se incluye una zona de transición con un riel de enlace mecanizado que permite el paso de las cabinas de la operación al estacionamiento.

Generalmente, se construye contiguo a la estación motriz e incluye zonas de lavado, almacén de repuestos, zona de mantenimiento y zona para el equipo que permite el cambio de guarniciones.

En la Figura 25 se observa como en una estación del sistema Miocable se ha construido el estacionamiento para las cabinas del sistema. En este caso, en la misma estación se hace la integración operativa y tarifaria con el sistema masivo de la ciudad.

**Figura 25. Estación Cañaveralejo y parking del Miocable – Santiago de Cali**



Fuente: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=252329&page=1749>

### 2.2.3 Cabinas o góndolas

En los sistemas de cable aéreo se debe garantizar el acceso para todo tipo de usuarios y en particular personas con movilidad reducida, con equipaje o coches de niños. En ese sentido, las cabinas tienen un nivel de piso de cabina igual al de la plataforma y una altura suficiente para facilitar el ascenso y descenso ágil de parte de los usuarios.

La capacidad de las cabinas es definida en función de la demanda y en relación a su capacidad son sus dimensiones, es decir, de acuerdo a la demanda que se proyecte para el sistema se definirán cabinas para 6, 8, 10 o 16 pasajeros, cada una de ellas con



características y dimensiones<sup>40</sup> diferentes que debe ser tenido en cuenta para el diseño de las estaciones.

Sus sillas pueden ser abatibles con el propósito de facilitar el transporte de bicicletas, sillas de ruedas u otros elementos y los materiales de fabricación deben ser aptos para el masivo e intenso uso de los sistemas de transporte urbanos y no inflamables. El mantenimiento se debe tener en cuenta algunas características mínimas como:

- Chasis que requiera de mantenimiento con baja frecuencia y con superficies provistas de una protección duradera.
- Techo accesible para los trabajos de mantenimiento que se realicen sobre él.
- Partes modulares, intercambiables, reemplazables o reparables, en especial los mecanismos de apertura de puertas, suspensiones y mordazas.
- Rutinas de mantenimiento predictivo para los diferentes subsistemas.
- Mantenimiento concebido bajo análisis de modo de fallas y monitoreo de la condición de repuestos y partes.
- Pinzas concebidas con una alta resistencia al uso y cálculos de vida útil infinita a la fatiga, de tal forma que requieran de mínimo mantenimiento.
- Elementos móviles de las pinzas que permiten ser lubricados o engrasados sin que se requiera desarmarla.

#### 2.2.4 Cable de acero

Los cables de acero son el soporte de este tipo de sistemas y su elección está directamente relacionada con el diseño del sistema, su capacidad y sus exigencias mecánicas. Pueden catalogarse por la función que cumplen dentro del sistema así:

- **Cable portador.** Sirve de guía para el desplazamiento del vehículo y soporta su peso. Generalmente para este uso se utiliza un cable formado por un núcleo interno y alambres exteriores de acero, cuyas formas especiales permiten un ensamble casi perfecto, logrando que las poleas de los vehículos rueden con suavidad sobre ellos.
- **Cable tractor:** Arrastra la cabina, transmitiéndole la potencia del motor.
- **Cable portador-tractor:** Cumple la función de los dos anteriores tipos de cables: soporta, guía y arrastra la cabina.

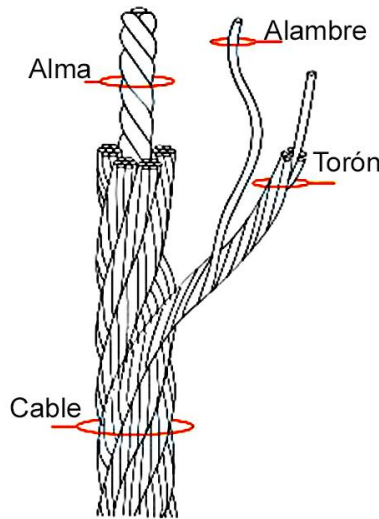
Para los cables tractores y los portadores-tractores, se recomienda el uso de cables helicoidales con alma de fibra compacta cuyas características van variando según las

<sup>40</sup> La variación más notoria es el ancho de la cabina de acuerdo a la cantidad de pasajeros.

necesidades y el avance tecnológico. En la Figura 26 se presentan las partes de un cable, las cuales se describen a continuación:

- **Torón**<sup>41</sup>. Estructura de alambres trenzados entre para formar un cuerpo único y mejorar la capacidad portante del cable. Los torones a su vez, se trenzan sobre un núcleo central conformando el cable propiamente dicho.
- **Alma**<sup>42</sup>. Es la parte central del cable. Consiste en un relleno de material plástico o de fibra que actúa como interfaz entre los torones evitando su deformación inclusive cuando está sometida a carga máxima.

Figura 26. Partes de un cable helicoidal



*Fuente: Manual metodológico para la formulación y presentación de proyectos de transporte de pasajeros por cable aéreo en Colombia.*

## 2.2.5 Torres o pilonas

Son estructuras de tipo tubular, cónico o columnas, que en conjunto deben sostener la línea de cable entre una estación y la siguiente. El equipamiento de las torres incluye escaleras, pasarelas y dispositivos para maniobra del cable en carga máxima, elementos al pie de la torre si son necesarios y polos a tierra que cumplan con los estándares exigidos en la normatividad relacionada. En la Figura 27 se presenta un ejemplo de torres o pilonas de un sistema de cable aéreo.

<sup>41</sup> Fuente: Manual metodológico para la formulación y presentación de proyectos de transporte de pasajeros por cable aéreo en Colombia

<sup>42</sup> Ibidem.



**Figura 27. Pilonas del Metrocable en Medellín**



*Fuente: <http://metroamericas.com>*

Las torres deben garantizar que las cabinas puedan pasar por sus dos costados, para lo cual debe tener el diseño que satisfaga esta condición según el ancho de los vehículos. En este sentido, su construcción debe considerar la cimentación y/o estructura que soporte las tensiones que se generan por la operación del cable aéreo.

Su distanciamiento depende en el peso tanto del sistema como de los usuarios y las condiciones que permita la topografía o tipo de barreras geográficas que deban sobrevolarse.

### **2.2.6 Balancines**

Los balancines tienen como propósito dirigir el cable a lo largo de la línea en condiciones de uso y carga. Son instalados en las torres y evitan la propagación de vibraciones a lo largo de la línea.

Los balancines están compuestos por trenes de poleas que deben soportar y facilitar el movimiento del cable al pasar por las torres. También están equipados con sistemas para prevenir los descarrilamientos y manejar la pérdida de poleas sin consecuencia para el cable, cuando se presentan.

Las guarniciones de caucho en los trenes de poleas deben ser fácilmente desmontables para facilitar las labores de mantenimiento. Su material debe adaptarse a la exposición de rayos ultravioleta, condiciones ambientales y a la intensidad de la operación. La cantidad de poleas que debe tener cada balancín depende del peso del cable. En la Figura 28 se presenta un ejemplo de balancines de un sistema de telesillas.



Figura 28. Balancines de un sistema de telesillas



Fuente: [www.leitner-ropeways.com](http://www.leitner-ropeways.com)

### 3 SISTEMAS DE CABLE AÉREO EN TRANSPORTE URBANO

Los sistemas de cable aéreo surgieron hace más de un siglo como solución para comunicar sectores de difícil acceso a través de medios de transporte convencional. Desde entonces han evolucionado para ofrecer una solución adecuada según la necesidad a satisfacer o problemática a enfrentar.

Actualmente se tienen sistemas de cable aéreo que pueden ser clasificados de múltiples formas según su propósito: turístico, urbano, carga o una combinación de estas; su modo de operar: vaivén, cíclicos, pinza fija, pinza desenganchable; o tipos de cabinas: abiertas o cerradas.

Siendo el interés de este documento abordar la perspectiva de los teleféricos como modo de transporte urbano, se ahonda sobre su evolución, las experiencias existentes y los impactos y ventajas de este sistema bajo condiciones propias del área de influencia del mismo.





### 3.1 Sistemas de cable aéreo: de lo turístico a lo urbano

La mayor parte de los sistemas de cable aéreo han sido contruidos con propósitos principalmente turísticos, y aun cuando su historia puede contarse en más de cien años<sup>43</sup>, sólo hasta hace poco más de una década<sup>44</sup> se implementó la primera línea en este tipo de sistemas, pensada como un modo de transporte público urbano para altos niveles de demanda.

Para el turismo se tienen sistemas de cable aéreos para esquiadores que deben subir a altas montañas para poder practicar su deporte y otros para el disfrute de paisajes naturales durante el trayecto y en lugares de gran altitud a los cuales permiten el acceso. Algunos de los teleféricos turísticos son de grandes longitudes y alcanzan elevadas alturas<sup>45</sup>, generalmente localizados en sectores de paisajes naturales o sitios particulares de gran atractivo turístico en las ciudades donde se han construido.

Las características y condiciones de operación de los sistemas de cable aéreo turísticos difieren en gran medida con las que requiere un sistema para el transporte público urbano. Algunas de las principales características diferenciadoras son:

- El tamaño y capacidad de las cabinas.
- Volúmenes de demanda.
- Número de cabinas.
- Tipo de pinzas a utilizar.
- Intensidad en la operación, frecuencias requeridas.
- Ascenso y descenso de pasajeros.
- Periodos necesarios para el mantenimiento.
- Localización y entorno.

Los sistemas de cable aéreo usados para el transporte público urbano han sido la respuesta a grandes problemáticas de movilidad y ha servido para la integración social. El desplazamiento y las bajas condiciones económicas de ciertos sectores de la población, han acelerado el desarrollo urbano de las ciudades, y han llevado a la construcción de

<sup>43</sup> El primer teleférico conocido para el transporte de viajeros se construyó en 1866 para la vigilancia de las turbinas instaladas en el Rhin – Fuente: “Transporte por Cable” de los autores A. Orro, M. Novales y M. Rodríguez (Ed. 2003).

<sup>44</sup> La línea K del Metrocable de Medellín opera desde agosto del año 2004 y es considerada la primera construida para sistemas de transporte urbano de grandes volúmenes de usuarios.

<sup>45</sup> El Teleférico Mukumbarí de Mérida Venezuela, es considerado el más largo y alto del mundo, con un recorrido de 12,5 Km y en una altura que oscila entre 1.577 y 4.765 msnm (estaciones más baja y más alta). Fuente: <http://www.mintur.gob.ve/mintur/ventel/teleferico-de-merida-mukumbari/>



viviendas en zonas con condiciones topográficas agrestes o separadas de las centralidades de servicios y empleo por barreras geográficas difíciles de superar.

En la mayoría de estos sectores, la infraestructura vial es deficiente, con calles estrechas y en algunos casos pendientes que impiden una buena cobertura de los sistemas de transporte público convencional. Esto ocasiona problemas de conectividad con las centralidades donde se desarrollan las principales actividades de la ciudad, convirtiéndose en un problema complejo y de reto para las autoridades, sobre la definición del tipo de transporte y de infraestructura por el que se debe decidir.

Los constructores de sistemas de cable aéreo han desarrollado, conjuntamente con las entidades estatales, nuevas características que les permitan satisfacer condiciones tan exigentes en términos de rapidez, confiabilidad, seguridad, logística de la operación, entre otras. Algunas de las principales características de los sistemas de cable aéreo para transporte público urbano a destacar son:

- **Una operación diaria** de cerca de 19 horas, 7 días a la semana, 365 días al año. Por esta razón, los proveedores han mejorado los elementos del sistema electromecánico en procura de alargar la vida útil de los equipos y facilitar las labores de mantenimiento.
- **Sistemas con pinza** desenganchable, que permiten el abordaje y salida de usuarios reduciendo la velocidad de las cabinas en la zona de embarque y desembarque, pero sin detener el sistema completo.
- **Capacidad y tamaño** de cabinas menores con el fin de dar rapidez en el abordaje y salida de pasajeros de tal forma que ambas acciones puedan ser realizadas en el corto tiempo de permanencia de las góndolas en la plataforma de las estaciones.
- **Sofisticados sistemas** de respaldo en los diseños para garantizar la operación en caso de fallas del sistema motriz principal y/o el suministro de energía. Lo anterior con el fin de garantizar la confiabilidad y regularidad exigida para la operación de los sistemas de transporte público urbano.
- **Rápida y segura** evacuación de los usuarios.
- **Labores de mantenimiento** exigentes tanto en la frecuencia como en los tiempos disponibles para la realización de la misma. El mantenimiento preventivo debe ser realizado en horas de la noche y madrugada mientras el sistema no está en funcionamiento. Aun así, hay unos mantenimientos periódicos que se deben programar para que se puedan realizar con el sistema fuera de servicio
- **Número de cabinas** de reserva, que permitan hacer reparaciones mientras el sistema sigue en funcionamiento.
- **Centros de control** más sofisticados y seguros.





En la Tabla 2 se presenta un resumen de los principales aspectos diferenciadores de los sistemas de cable aéreo turísticos y urbanos.

**Tabla 2. Comparación de cables aéreos turísticos y urbanos**

Turísticos	Urbanos
Cabinas de gran capacidad para permitir el abordaje de grandes grupos de turistas.	Cabinas de baja capacidad para permitir el rápido embarque y desembarque de los usuarios.
Cabinas que pueden ser cerradas (con diseños que permitan ver fácilmente al exterior), abiertas o de dos pisos (uno cerrado y otro abierto).	Cabinas cerradas para mayor seguridad frente al gran volumen de personas que se movilizan.
Sistemas para demandas de usuarios bajas.	Sistemas para demandas de usuarios altas.
Las pinzas o elementos de sujeción pueden ser fijos o desenganchables.	Las pinzas de sujeción deben ser desenganchables para permitir el embarque y desembarque a una velocidad menor a la de la línea, pero sin detener el sistema.
Sistemas que operan con bajas frecuencias.	Sistemas que operan con alta frecuencia.
Operación de pocas horas al día, en algunos días de la semana y/o por periodos del año.	Operación casi continua de al menos 20 horas al día, 7 días a la semana, todo el año.
La operación permite la fácil programación de las actividades de mantenimiento.	La operación tan exigente limita la programación de las actividades de mantenimiento a un máximo de 4 horas efectivas.
Entornos naturales o urbanos localizados en hitos turísticos de las ciudades.	Entornos urbanos densamente poblados.

*Fuente: Elaboración propia*

A muy pocos años de haberse empleado como sistemas de transporte público urbano, los sistemas de cable aéreo se afianzan como una buena alternativa para integrarse a los sistemas de transporte de las ciudades, ampliando la cobertura y calidad de éstos en zonas con presencia de barreras geográficas o con condiciones topográficas que harían imposible, o cuando menos mucho más costoso, implementar un sistema de transporte urbano con buses o guiado con rieles que pueda ofrecer a los usuarios tiempos de viaje y servicio similares.

### 3.2 Experiencias de sistemas de cable aéreo urbano

Los sistemas de cable aéreo han estado presentes en el entorno urbano desde hace varias décadas, aunque inicialmente con características similares a las de los sistemas turísticos y un propósito distinto a ser dedicados al transporte urbano. Manhattan y



Portland son ciudades que cuentan con tranvías aéreos<sup>46</sup> desde 1976 el primero y desde 2007 el segundo<sup>47</sup>. En ambos casos, los sistemas son de tipo vaivén y cuentan con dos cabinas que operan de manera sincronizada entre dos estaciones y tienen capacidad entre 70 y 110 pasajeros.

Existen sistemas de cable aéreo cercanos a importantes ciudades<sup>48</sup>. Sin embargo, su propósito es principalmente turístico y están diseñados para volúmenes de usuarios muy inferiores a los sistemas dedicados al transporte público urbano.

A continuación se presentan de manera general, estudios de caso de sistemas de cable aéreo dedicados al transporte urbano, con operaciones de altas frecuencias (entre 12 y 30 segundos de intervalo entre cabinas) y grandes volúmenes de usuarios.

### 3.2.1 Medellín – Colombia

Medellín es una ciudad con aproximadamente 2,5 millones de habitantes<sup>49</sup>. Se localiza en el Valle de Aburrá y está rodeado de colinas, sobre las cuales existen zonas residenciales, densamente, pobladas con ciudadanos de bajos recursos. Las condiciones de la zona dificultaban el acceso de los autobuses que prestaban el servicio de transporte público, siendo este muy deficiente.

La estrechez de las vías y las grandes pendientes en algunas zonas urbanizadas en laderas, generaban grandes dificultades para el acceso de los buses de transporte público y deficiencias en la prestación de este servicio. Para poder resolver estas necesidades de accesibilidad de las comunidades en este tipo de sectores hacia el centro de la ciudad y los principales focos de empleo, fue propuesto un sistema de transporte integral que usara como eje estructurante el Metro de Medellín. De esta forma se originó el proyecto de Metrocable que tuvo la inauguración de su primera línea en el año 2004 y fue construida por POMA.

La línea K del Metrocable, la primera en operación, ofrece cobertura a las comunas<sup>50</sup> 1 y 2 de la ciudad, conformadas por barrios de población de bajos recursos y con graves problemáticas sociales. La línea tiene una longitud de 2,07 Km<sup>51</sup> y cuenta con cuatro estaciones, una de ellas permite la integración con el metro de la ciudad y de esta forma ha logrado mejorar ostensiblemente las condiciones del sector de influencia del cable.

---

<sup>46</sup> Aerial Tramway.

<sup>47</sup> Fuente: Experiences with Aerial Ropeway Transportation Systems in the Urban Environment - Baha' W. Alshalalfah, Amer Shalaby, Steven Dale, Fadel M Y Othman – 2011.

<sup>48</sup> Telluride – Colorado, Singapur – Sentosa, Koblenz, línea L del Metrocable de Medellín.

<sup>49</sup> Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) - Proyecciones de población 2005 - 2020

<sup>50</sup> Unidad administrativa de la ciudad.

<sup>51</sup> Fuente: Revista Metro – Edición 3 2011-2012.



El sistema fue planeado de esta manera integral, en busca de que la integración de la línea de cable aéreo con el Metro, permitiera potenciar los beneficios que en términos de ahorro de tiempo de viaje, acceso al empleo y demás servicios, ahorro de dinero por reducción del pago de trasbordos, entre otros. Siendo el cable aéreo un sistema complementario al metro, ampliando la cobertura de este a una zona que resulta inaccesible para él.

El estudio “Sistema Metrocable línea K y su impacto en la calidad de vida de la población de la comuna uno en la ciudad de Medellín: análisis de percepción entre los años 2004-2008”<sup>52</sup> presenta resultados de una encuesta aplicada en los barrios para los cuales, según los autores, se consideró una mayor influencia<sup>53</sup> de la línea de cable aéreo. Dentro de los resultados más relevantes se encuentran que el 97% de los encuestados consideran que el sistema mejoró la calidad de vida, el 45% de los encuestados consideran que el mayor beneficio es la reducción del tiempo de viaje y el 60% de los encuestados manifestó ahorrarse entre 15 y 45 minutos con el sistema de cable.

Los favorables resultados observados con la operación de la primera línea de cable aéreo, incentivó a proyectar dos líneas más que fueron construidas por la misma empresa contratada para la primera línea. En el año 2008 se puso en operación la línea J, con una longitud de 2,76 Km y con cobertura en las comunas 7 y 13 de la ciudad. En el año 2010 fue puesta en operación la línea L del Metrocable, con un enfoque turístico, permitiendo la integración con la línea K y conectando con el Parque Regional Ecoturístico ARVÍ. En la Figura 29 se observa la red de Metro y Metrocable, integradas operativa y tarifariamente<sup>54</sup>.

---

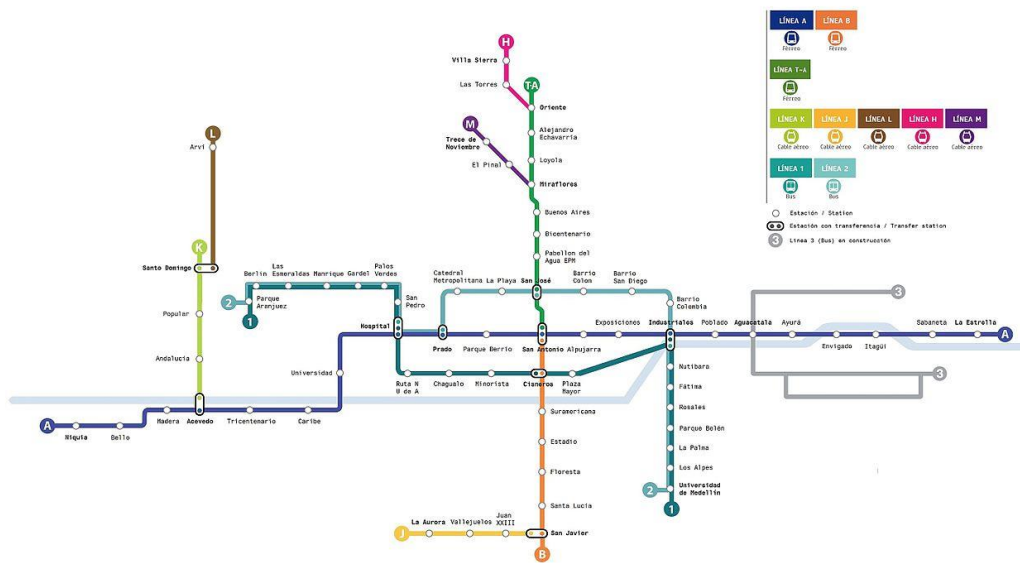
<sup>52</sup> Producido por el Grupo de Investigaciones Económicas GINVECO, realizado con recursos de la Universidad Autónoma Latinoamericana.

<sup>53</sup> Santo Domingo Savio N° 1, Santo Domingo Savio N° 2, Popular, Granizal, La Esperanza N° 2 y La Avanzada.

<sup>54</sup> La Línea L no está integrada tarifariamente y tiene una connotación principalmente turística.



Figura 29. Esquema del Metro de Medellín y su integración con el Metrocable



Fuente: <https://www.metrodemedellin.gov.co>

### 3.2.2 Constantina – Argelia

Constantina está localizada en Argelia, al norte de África. Según censo del año 2008, es una ciudad de aproximadamente 500 mil habitantes<sup>55</sup> y conocida como la Ciudad de los Puentes, debido a que han sido construidos varios para conectar los sectores conocidos como la “Ciudad vieja” y la “Ciudad nueva” cruzando el Barranco del río Rhumel.

Para superar esta gran barrera geográfica, desde el año 2008 está en funcionamiento un sistema de cable aéreo con cabinas de 15 pasajeros, 3 estaciones y una longitud de 1,52 Km<sup>56</sup>, el cual fue construido por el grupo Doppelmayr-Garaventa y moviliza alrededor de 10 mil pasajeros por día<sup>57</sup>. Se prevé la ampliación de la red actual con cuatro nuevas líneas<sup>58</sup>. En la Figura 30 se presenta una imagen del sistema de cable aéreo de Constantina.

<sup>55</sup> Fuente: <http://www.ciudades.co>

<sup>56</sup> Fuente: Experiences with Aerial Ropeway Transportation Systems in the Urban Environment. B. Alshalalfah, Amer Said Shalaby, Steven Dale – 2014

<sup>57</sup> Fuente: <http://gondolaproject.com/2017/02/09/system-dossier-constantine-cable-car-telecabine-de-constantine/>

<sup>58</sup> Fuente: Experiences with Aerial Ropeway Transportation Systems in the Urban Environment. B. Alshalalfah, Amer Said Shalaby, Steven Dale – 2014



Figura 30. Sistema de cable aéreo de Constantina



Fuente: <http://gondolaproject.com>

### 3.2.3 Río de Janeiro – Brasil

Río de Janeiro con aproximadamente 16,7 millones de habitantes<sup>59</sup>, es una ciudad costera localizada al suroccidente de Brasil. Por su topografía es posible dividir la ciudad en gran variedad de escenarios de playa, bosque y picos. La topografía accidentada genera una red vial con largos desplazamientos rodeando los diferentes picos, lo cual ha sido mitigado incluyendo túneles a través de ellos.

En el año 2011 se dio inicio a la operación del sistema de cable aéreo Complexo do Alemão, el cual conecta 13 favelas de la zona norte de la ciudad con la red de trenes metropolitanos y fue construido por la empresa POMA. Es un sistema con 3,4 Km de longitud conformado por 6 estaciones y 152 góndolas con capacidad para 8 pasajeros sentados y 2 en pie<sup>60</sup>. Actualmente el sistema está inoperante<sup>61</sup>. En la Figura 31 se puede observar el sistema de cable aéreo de Río de Janeiro.

<sup>59</sup> Fuente: Proyecciones de demanda - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

<sup>60</sup> Fuente: Experiences with Aerial Ropeway Transportation Systems in the Urban Environment. B. Alshalalfah, Amer Said Shalaby, Steven Dale – 2014

<sup>61</sup> Fuente: <http://www.rj.gov.br/web/setrans/exibeconteudo?article-id=1400288>





**Figura 31. Sistema de cable aéreo de Río de Janeiro**



Fuente: <http://www.rj.gov.br/web/imprensa/exibeconteudo?article-id=489441>

### 3.2.4 Manizales – Colombia

Manizales es una ciudad con una población aproximada de 400 mil habitantes<sup>62</sup>. Siendo una ciudad intermedia ubicada en una zona de montañosa del país, la infraestructura vial con que cuenta ofrece pocas ventajas para la movilidad.

En respuesta a esta condición, a partir del año 2009 se implementó una línea de cable aéreo que conecta el centro de la ciudad con el terminal de transportes, el cual a su vez es un punto importante para la conexión con otras ciudades de similares características y con las que conforma un región importante en el país, que de manera conjunto ofrecen a los residentes de la región servicios, educación y comercio. Esta línea tiene una longitud de 1,95 Km y cuenta con 3 estaciones<sup>63</sup>.

En el año 2014, se puso en marcha una segunda línea que conecta la ciudad de Manizales con el municipio de Villa María, una población contigua con una población aproximada de 60 mil habitantes<sup>64</sup> y con una alta interacción con la ciudad. Esta línea tiene 0,72 Km y conecta con la primera línea en la estación Cámbulos<sup>65</sup> (Terminal de transporte). En la Figura 32 se presenta el cable aéreo de Manizales, en el cual ambas líneas fueron construidas por la empresa LEITNER.

<sup>62</sup> Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) - Proyecciones de población 2005 - 2020

<sup>63</sup> Fuente: <http://cableaereomanizales.gov.co/>

<sup>64</sup> Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) - Proyecciones de población 2005 - 2020

<sup>65</sup> Fuente: <http://cableaereomanizales.gov.co/>



**Figura 32. Sistema de cable aéreo de Manizales**



Fuente: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15121621>

### 3.2.5 Caracas – Venezuela

Caracas es una ciudad con una población aproximada de 7,4 millones de habitantes<sup>66</sup> y con un sistema de metro como eje del transporte público masivo. De manera similar a Medellín, en la ciudad se implementaron líneas de cable aéreo, que al integrarse con el metro han permitido mejorar las condiciones de vida de las personas que residen en sectores que por las condiciones topográficas que presentan, tenían un servicio de transporte público deficiente.

En el año 2010, se puso en operación la línea de cable aéreo que conectó el sector de San Agustín con el metro de Caracas. La línea de San Agustín fue construida por Doppelmayr-Garaventa con una longitud de 1,8 Km<sup>67</sup> y 5 estaciones, una de ellas integrada al metro. Posteriormente, a través de la misma empresa se puso en operación la línea de Mariche en el año 2012. La línea de Mariche tiene una longitud de 4,79 Km de y sólo dos estaciones (Mariche y Palo Verde)<sup>68</sup>, que opera como expreso, puesto que se está construyendo un tramo local en paralelo a este y con 3 estaciones, el cual tendrá cobertura en la Dolorita y Guaicoco<sup>69</sup>.

Los sectores conectados con los cables aéreos, al igual que en Medellín, son de difícil acceso para los modos de transporte convencionales, por lo cual ha generado importantes impactos que se observan especialmente en la conectividad de estos

<sup>66</sup> Fuente: Los Metrocables de Caracas - Aerial Cable Cars as an innovative solution for urban transport. Doppelmayr Garaventa.

<sup>67</sup> Fuente: Experiences with Aerial Ropeway Transportation Systems in the Urban Environment. B. Alshalalfah, Amer Said Shalaby, Steven Dale – 2014.

<sup>68</sup> Fuente: Los Metrocables de Caracas - Aerial Cable Cars as an innovative solution for urban transport. Doppelmayr Garaventa.

<sup>69</sup> Fuente: [www.metrodecaracas.com.ve](http://www.metrodecaracas.com.ve)



sectores con el centro de la ciudad y los ahorros en tiempos de viaje que obtienen los usuarios. En la Figura 33 se observa el sistema de cable aéreo de Caracas.

**Figura 33. Sistema de cable aéreo de Caracas**



Fuente: <http://gondolaproject.com>

### 3.2.6 Santiago de Cali – Colombia

Cali tiene una población aproximada de 2,4 millones de habitantes<sup>70</sup> y es una de las tres ciudades más importantes del país. Si bien es una ciudad con casi todo su territorio localizado sobre una superficie plana, al occidente de la ciudad varias comunas fueron consolidadas en laderas de la Cordillera Occidental.

Cuenta con un Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) – MIO<sup>71</sup> desde el año 2008, cuyo eje es un sistema de transporte masivo basado en buses y un sistema de transporte público convencional. Después de 7 años de la puesta en marcha, integran una línea de cable aéreo que preste cobertura del servicio de transporte público a la comuna 20 de la ciudad, la cual fue construida por la empresa LEITNER. El MIOCABLE, como fue llamado este sistema de cable aéreo, tiene una longitud de 2.08 Km<sup>72</sup> y consta de 4 estaciones, una de ellas integrada al SITM.

Al igual que en Medellín, el sector de cobertura del cable aéreo se conforma por barrios de estratos socioeconómicos bajos, en los cuales residen personas de bajos recursos

<sup>70</sup> Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) - Proyecciones de población 2005 - 2020

<sup>71</sup> Masivo Integrado de Occidente

<sup>72</sup> Fuente: <http://www.metrocali.gov.co>





económicos, enfrentando delicadas problemáticas sociales. En la Figura 34 se presenta el sistema de cable aéreo de Cali.

**Figura 34. Sistema de cable aéreo de Santiago de Cali**



Fuente: <http://www.metrocali.gov.co>

### 3.2.7 La Paz El Alto – Bolivia

El sistema de cable aéreo de La Paz - El Alto fue descrito con mayor detalle en el punto 1.2 de este documento, de igual forma en que la descripción del área de influencia fue desarrollada en el punto 1.1.

Por esta razón, en este apartado se quiere presentar como una de las experiencias mundiales de teleféricos planeados e implementados como una solución válida para el transporte público urbano, que ha ofrecido grandes beneficios a la población bajo su cobertura actual. Siendo ya la red de líneas de cable aéreo más larga del mundo, el proyecto completo considera aproximadamente el doble de las líneas que actualmente están en operación y las que están en construcción.

Las 3 líneas de la primera fase en operación y las 6 líneas de la segunda fase, 1 de ellas en operación y 5 en construcción, han sido implantadas a través de contratos suscritos con la empresa Doppelmayr-Garaventa. En la Figura 35 se presenta la Línea Amarilla de Mi Teleférico.



**Figura 35. Sistema de cable aéreo de La Paz – El Alto**



Fuente: <https://www.flickr.com/photos/cup-projects/galleries/72157650544212087/>

### 3.2.8 Bogotá – Colombia

Bogotá es la capital de Colombia y tiene una población aproximada de 8 millones de habitantes<sup>73</sup>. Está ubicada en una altiplanicie a 2.600 msnm, sin embargo, al sur de la ciudad se encuentra el sector Ciudad Bolívar, altamente poblado por personas de bajos recursos, con delicadas problemáticas sociales, en una zona a mayor altura que el resto de la ciudad.

Ciudad Bolívar es un sector de alta densidad demográfica donde residen cerca de 720.000 personas, quienes resultarán beneficiados con la implantación del sistema de cable aéreo, el cual resulta de un proceso de priorización efectuado por las autoridades locales en virtud de la alta vulnerabilidad social, la topografía predominantemente pendiente, la alta demanda potencial, las condiciones de accesibilidad por las vías principales y la ubicación estratégica para la integración al Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) TransMilenio.

El diseño del sistema de cable aéreo tiene una longitud de 3,34 Km a un desnivel de 262 m, que conectará con el Portal El Tunal y tendrá 3 estaciones más. Actualmente se adelanta la construcción por parte de la empresa Doppelmayr-Garaventa.

<sup>73</sup> Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) - Proyecciones de población 2005 - 2020





### 3.3 Principales impactos de los sistemas de cable aéreo

Los sistemas de cable aéreo implementados como solución de transporte urbano generan beneficios que pueden ser más o menos visibles, según las características propias del sistema y del sector en el cual son implantados.

El impacto de mayor notoriedad es el mejoramiento del transporte público en sectores donde antes de la implantación del sistema de cable, las rutas prestadas por autobuses tenían muy bajas frecuencias y en ocasiones debían ser vehículos de baja capacidad para poder transitar por calles estrechas y empinadas. Se pueden identificar beneficios asociados a muchos aspectos socioeconómicos, dentro de los cuales el “Estudio comparativo de la estructura de costos entre el sistema tradicional de buses, SITP y el sistema de transporte por cable aéreo de Ciudad Bolívar”<sup>74</sup> identifica los siguientes:

- Reducción en tiempo de viaje de los usuarios.
- Disminución de enfermedades respiratorias.
- Optimización de consumo energético en el sistema de transporte.
- Reducción de costos de operación de las empresas de transporte.
- Menores costos por reducción de la accidentalidad.
- Menores costos por mantenimiento vial.
- Generación de empleo durante la construcción.
- Posibilidades de ampliación de oferta turística.
- Mejoramientos en la accesibilidad para los habitantes en condición de
- Mejoramiento de las condiciones de seguridad en viaje.
- Uso eficiente de la energía solar, mediante la adopción de innovaciones tecnológicas.
- Condiciones más confortables en los viajes, con el disfrute de oferta paisajística.
- Incremento de la actividad económica alrededor de las estaciones en forma de pequeños negocios nuevos.
- Incremento de la actividad inmobiliaria en la zona de influencia del cable.
- Lugares de encuentro y zonas verdes para incrementar su uso de parte de la población.
- Mayores niveles de participación ciudadana, Interacción permanente con la comunidad.
- Mejoramiento del mobiliario urbano, mediante la integración de entidades distritales en proyectos urbanos sostenibles.
- Aumento de la cobertura vegetal, teniendo en cuenta el diseño paisajístico y la construcción de parques y zonas verdes para acceso público.

<sup>74</sup> Transconsult Sucursal Colombia – 2016.



Siendo una lista extensa, a continuación, se profundiza sobre tres beneficios que sobresalen para el usuario, la población en general y el medio ambiente.

### 3.3.1 Mejoramiento de los tiempos de viaje

Las rutas prestadas por los sistemas de buses urbanos deben ceñirse a los recorridos trazados para ellos, que en todos los casos buscan ser la mejor alternativa posible según lo permita la malla vial existente. Por esta razón, los viajes abordo de estas rutas llegan a ser muy sinuosos, y en casos de congestión vehicular toman demasiado tiempo.

Estas condiciones particulares de las rutas de buses llegan a acentuarse en sectores con altas pendientes, calles estrechas o aisladas del resto de la ciudad por barreras geográficas difíciles de superar en vehículos privados y/o públicos. Por esta razón, los sistemas de cable aéreo son implantados en este tipo de sectores, que además pueden ser en ocasiones densamente poblados y generalmente habitados por personas de bajos recursos.

Dado que el cable aéreo sobrevuela el sector buscando un trazado lo más recto posible<sup>75</sup>, permite un viaje más directo y elimina los recorridos adicionales que son obligatorios en los autobuses. Adicionalmente, el cable aéreo es un sistema totalmente separado del tráfico vehicular y no está sometido a las restricciones de velocidad que le imponga la malla vial. En este sentido, el impacto del teleférico en cuanto a ahorros de tiempo de viaje de los usuarios dependerá de las condiciones de movilidad que ofrezca el transporte público antes de empezar su operación.

En el caso de La Paz – El Alto, las líneas de la primera fase, en el año 2016 permitieron a los usuarios ahorrar hasta 13 millones de horas<sup>76</sup>, lo cual se representa en mayor calidad de vida y mejoras en la salud, productividad laboral y tiempo libre. En la Figura 36 se presentan los ahorros de tiempo de los usuarios de cada una de las líneas de la primera fase del proyecto en el año 2016.

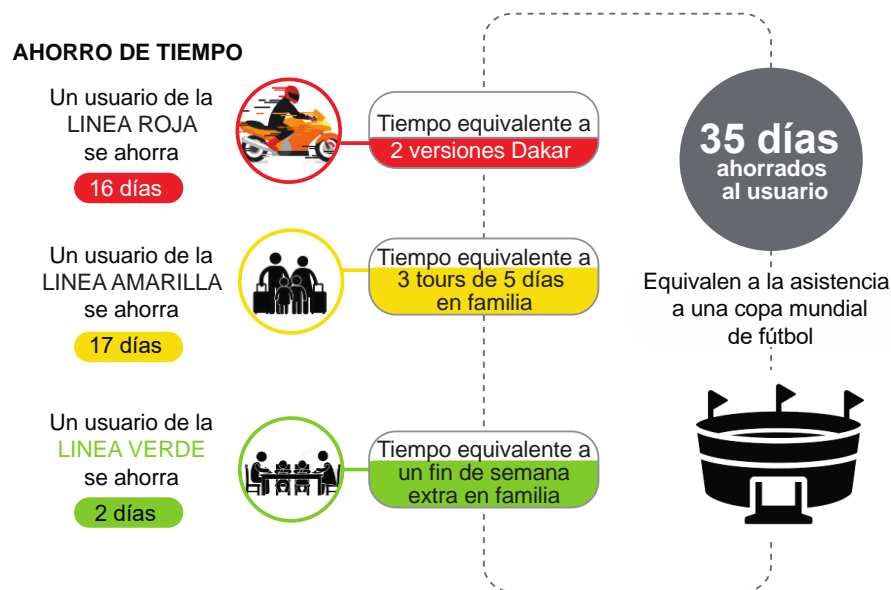
---

<sup>75</sup> Esta es una condición deseable más no restrictiva. Debe considerarse que los giros horizontales en los trazados de los teleféricos llegan a requerir de infraestructura más robusta que soporte las tensiones generadas en los puntos de cambio de dirección, por consiguiente resultan más costosos.

<sup>76</sup> Fuente: Los números de Mi Teleférico Tres años transportando sueños – MI Teleférico 2017.



**Figura 36. Ahorro de tiempo de viaje por cada línea de la primera fase**



*Fuente: Cifras tomadas de Los números de Mi Teleférico Tres años transportando sueños – Mi Teleférico 2017*

Esta situación no es diferente en otros sistemas del mismo tipo. Para el sistema de cable aéreo de Ciudad Bolívar<sup>77</sup> se ha estimado que el ahorro en tiempo promedio por cada viaje que se realice en el sistema es de aproximadamente 12 minutos<sup>78</sup> en un recorrido de 3,34 Km, lo equivalente a 130,4 horas al año por cada usuario<sup>79</sup>.

A manera ilustrativa, se presentan los casos de comparación de recorridos entre los extremos de cada Línea Roja, Amarilla y verde y los recorridos en vehículo, evidenciando en cada caso el ahorro de tiempo que se obtiene con el sistema de cable aéreo.

En el caso de la Línea Roja, la Figura 37 presenta los recorridos en cada uno de los medios de transporte analizados y en la Tabla 3 se presenta un ahorro de 25 minutos en cada viaje realizado.

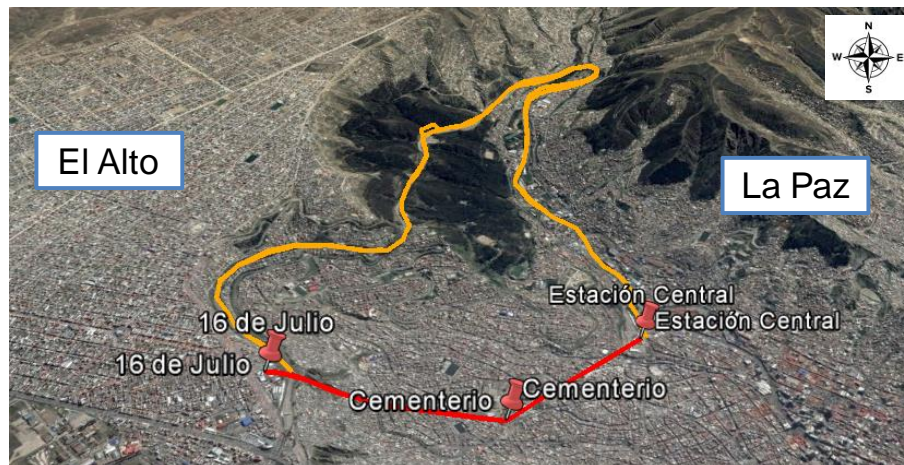
<sup>77</sup> Sistema de cable aéreo en la ciudad de Bogotá – Colombia, que actualmente está en etapa de construcción y estará integrado al SITM TransMilenio.

<sup>78</sup> Fuente: Estudio comparativo de la estructura de costos entre el sistema tradicional de buses, SITP y el sistema de transporte por cable aéreo de Ciudad Bolívar – Transconsult Sucursal Colombia 2016.

<sup>79</sup> Considera que cada usuario realiza dos viajes al día y es equivalente a un ahorro de 12 minutos por cada viaje que realiza.



Figura 37. Comparación de recorridos entre el sistema de cable aéreo (Línea Roja) y vehículo



Fuente: Elaboración propia – Adaptado de Google Earth

Tabla 3. Ahorro de tiempo por uso del sistema de cable aéreo (Línea Roja)

Línea Roja		Vehículo	
Longitud (Km)	2,7	Longitud (Km)	10,1
Velocidad (Km/h)	18	Velocidad (Km/h)	18
Tiempo de recorrido (m)	9	Tiempo de recorrido (m)	34
<b>Ahorro (m)</b>		<b>25</b>	

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundarias y velocidades típicas de cada medio de transporte

Al realizar un ejercicio similar para la Línea Amarilla se obtiene un ahorro de tiempo de 28 minutos (ver Tabla 4) al hacer los recorridos presentados en la Figura 38 para los medios de transporte analizados.

Figura 38. Comparación de recorridos entre el sistema de cable aéreo (Línea Amarilla) y vehículo



Fuente: Elaboración propia – Adaptado de Google Earth





**Tabla 4. Ahorro de tiempo por uso del sistema de cable aéreo (Línea Amarilla)**

Línea Amarilla		Alternativa Vehículo	
Longitud (Km)	3,9	Longitud (Km)	10,3
Velocidad (Km/h)	18	Velocidad (Km/h)	15
Tiempo de recorrido (h)	13	Tiempo de recorrido (m)	41
<b>Ahorro (m)</b>	<b>28</b>		

*Fuente: Elaboración propia a partir de información secundarias y velocidades típicas de cada medio de transporte*

Finalmente, para la línea verde se comparan los recorridos presentados en la Figura 39 y se obtiene un ahorro de 3 minutos en el tiempo de viaje, tal como se observa en la Tabla 5.

**Figura 39. Comparación de recorridos entre el sistema de cable aéreo (Línea Verde) y vehículo**



*Fuente: Elaboración propia – Adaptado de Google Earth*

**Tabla 5. Ahorro de tiempo por uso del sistema de cable aéreo (Línea Verde)**

Línea Verde		Alternativa Vehículos	
Longitud (Km)	3,7	Longitud (Km)	4,4
Velocidad (Km/h)	18	Velocidad (Km/h)	18
Tiempo de recorrido (m)	12	Tiempo de recorrido (m)	15
<b>Ahorro (m)</b>	<b>3</b>		

*Fuente: Elaboración propia a partir de información secundarias y velocidades típicas de cada medio de transporte*

Resulta importante mencionar, que en los casos de las Líneas Roja y Amarilla, que comunican El Alto y La Paz, los ahorros de tiempo son importantes en cada trayecto





debido a las problemáticas de deficientes y escasas vías de acceso y la inherente congestión vehicular por estas vías. Por su parte, la Línea verde facilita la conexión del sector sur de La Paz con el centro de la ciudad, sin embargo, al hacer parte de una red de teleféricos que la integra con la Línea Celeste, actualmente en construcción, incrementará los beneficios a la población dado que la futura línea tendrá cobertura en un sector más al sur de la ciudad.

### 3.3.2 Mejoramiento en la economía local

Tal como se presentó en las descripciones generales de los sistemas de cable aéreo construidos en diferentes países y ciudades, en la mayoría de los casos estos están integrados operativa y tarifariamente a otros modos de transporte existentes, generando un ahorro en dinero a través del pago de una única tarifa para usar los diferentes modos. Esta integración con otros modos permite complementar los viajes de los usuarios que usan el sistema de cable aéreo, puesto que el área de influencia de este último es local, pero su planificación y diseño deben ser realizados desde la perspectiva de una cobertura más amplia.

En los casos en que los sistemas de cable aéreo no son integrados, los beneficios económicos se reducen y pueden llegar a ser mínimos, sobre todo cuando no se tiene una integración tarifaria.

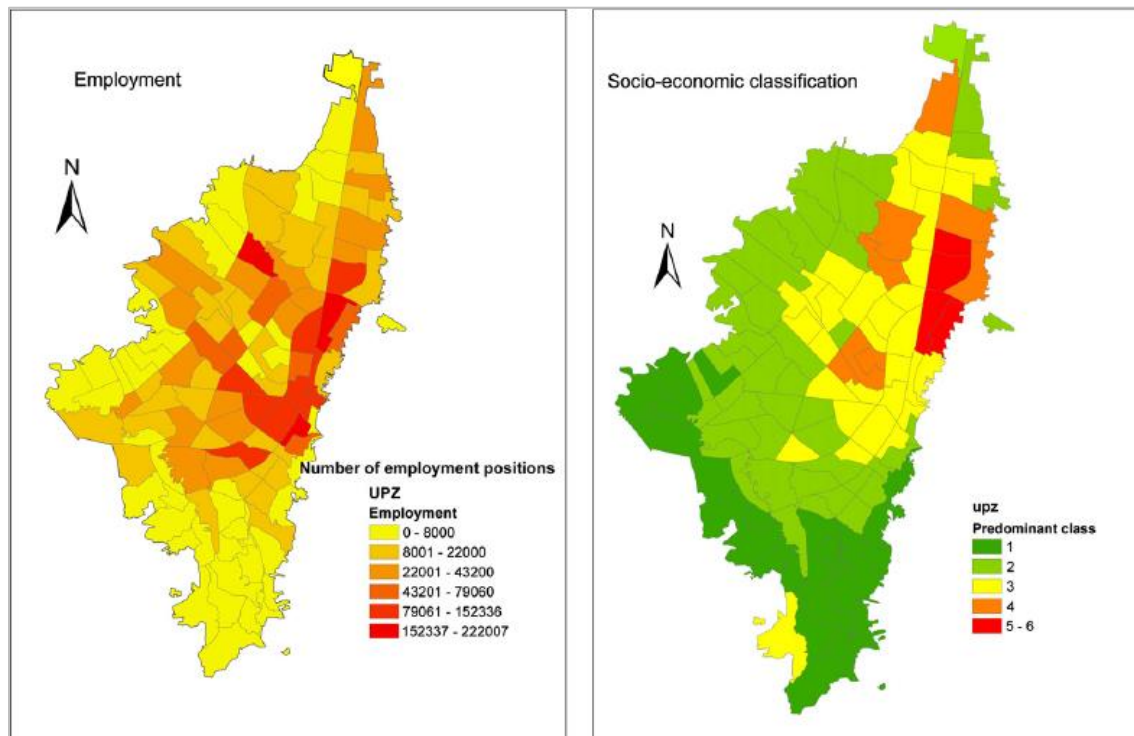
En Medellín si se cuenta con integración operativa y tarifaria, de tal forma que las líneas K y J del Metrocable permiten ingresar al Metro sin un cobro adicional, de esta forma según el Metro de Medellín, desde su inauguración hasta el año 2011 la línea K le ha generado a sus usuarios un ahorro promedio de COP \$ 10.000 millones anuales<sup>80</sup>.

Otro factor que se ha considerado como un favorecimiento a la economía local a raíz de la implantación de los sistemas de cable aéreo, es la mayor facilidad que se le ofrece a la población para acceder a los centros de empleo. A manera ilustrativa, en la Figura 40 se presenta la distribución de empleos y estratificación socioeconómica de Bogotá D.C., donde se observa, que las personas de bajos recursos económicos residen lejos de los principales centros de empleo, siendo necesario para ellos realizar largos desplazamientos e incluso debiendo pagar dos y hasta tres tarifas plenas en algunos casos.

Frente a esta característica, que resulta común para la mayoría de ciudades, los sistemas de cable aéreo mejoran ostensiblemente la posibilidad y el tiempo de desplazamiento, por la reducción en los tiempos de viaje en los sectores donde la movilidad es más difícil.

---

<sup>80</sup> Fuente: Revista Metro – Edición 3 2011-2012.

**Figura 40. Distribución de empleo y estratificación socioeconómica de Bogotá**

Fuente: *Transport accessibility and social inequities: a tool for identification of mobility needs and evaluation of transport investments.* Juan Pablo Bocarejo S, Daniel Ricardo Oviedo H.

### 3.3.3 Mitigación de impactos ambientales

La concentración de población en los centros urbanos de las regiones, hace que las necesidades de movilizarse y acceder a trabajo, estudio, servicios médicos y generales sean mayores. A la par de este fenómeno, la demanda de transporte público presenta un aumento en ciudades grandes e intermedias, siendo cada vez más necesario el uso de fuentes de energía para su funcionamiento. En este sentido, el sector de transporte es una de las principales fuentes de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), y por ende, uno de los principales actores de la problemática ambiental a nivel mundial de las últimas décadas.

Frente a esta condición, siendo los cables aéreos sistemas que operan a través de motores eléctricos, su aporte frente al medio ambiente es evidente. Los teleféricos, además de ser sistemas de cero emisiones de GEI, permiten reducir la operación de muchos vehículos que resultan innecesarios por la reestructuración de rutas de transporte público, la cual debe realizarse para establecer una operación complementaria y no de competencia entre los diferentes modos de transporte.

Los resultados en este aspecto son notorios en los diferentes sistemas. El Metrocable de Medellín es un proyecto MDL avalado con una reducción estimada de 121.000 toneladas



de CO<sub>2</sub> durante los primeros 7 años de operación<sup>81</sup>, es decir, se emiten aproximadamente 17.400 toneladas menos de CO<sub>2</sub> anualmente. Por su parte, las líneas de la primera fase del proyecto en La Paz - El Alto, han aportado ambientalmente evitando el consumo de 10 millones de litros de combustible y la emisión de 19.000 toneladas de CO<sub>2</sub>.

### 3.4 Sistemas de cable aéreo urbano y sistemas BRT

En el mundo existen diferentes tecnologías para prestar el servicio de transporte público. El proceso de elección depende de múltiples variables. Algunas de estas tecnologías son:

- Autobuses convencionales.
- Autobuses guiados.
- Sistemas de autobuses de alta capacidad.
- Transporte público en rieles: trenes, tranvías, metros subterráneos, trenes elevados, monorrieles y otros.
- Sistemas de cables, entre otros.

Los componentes básicos de un sistema de transporte público son la infraestructura física, la operación, la estructura de negocios e institucional, la tecnología y el mercadeo y servicio al cliente.

Desde este punto de vista, las ciudades pueden optar por un sistema u otro o la combinación de varios de estos. Cada uno de estos modos de transporte, cumple su función dependiendo de la topografía, la demanda, la capacidad requerida y la disposición de recursos principalmente. Es muy recomendable, sin embargo, que en beneficio de los usuarios, el sistema sea integrado tarifaria y operativamente y que cada uno de sus componentes tenga una organización empresarial e institucional que le permita planear, gestionar y controlar la prestación del servicio como un todo en el corto, mediano y largo plazo.

Encontramos ciudades como Sao Paulo (Brasil), que prácticamente tiene todos los modos de transporte público sin indicar si uno u otro es más importante que el otro. Sao Paulo cuenta con una importante red de metro, sistema de buses de alta capacidad tipo BRT segregado tanto vertical como horizontalmente (Expresso Tiradentes), monorriel y otros.

Así mismo, en Medellín (Colombia) se encuentra el sistema metro, un tranvía, líneas de BRT (Metroplus), rutas alimentadoras a los diferentes modos y varias líneas de cable (Metrocable), sistema interurbano y de transporte público convencional integrado.

<sup>81</sup> Fuente: Revista Metro – Edición 3 2011-2012.



Muchas otras de las ciudades latinoamericanas han optado por emprender proyectos de mejoramiento de sus sistemas de transporte público a través de sistemas BRT (Bus Rapid Transit), pero se han dado cuenta de la importancia de la integración y han venido planeando e implementando sistemas integrados de transporte público – SITP's.

Es así como para el caso específico de La Paz y El Alto, no se podría comparar un sistema de cables con un sistema BRT ya que cada uno cumple una función definida. En cuanto a la prestación del servicio, los sistemas de buses son más flexibles que los sistemas guiados por cables o rieles, pues los vehículos tienen la capacidad de usar diferente infraestructura, ya sea ésta dedicada o no, girar y regresar en momentos de contingencias o simplemente cambiar de ruta por necesidades del servicio. Sin embargo, los sistemas BRT, para ser catalogados como tal, requieren de inversiones importantes en la red vial de la ciudad, desarrollo de estaciones, terminales, y complementación generalmente con sistemas de alimentación que les permita ampliar su cobertura.

En muchas ocasiones, al igual que los sistemas de cables, los BRTs permiten hacer intervenciones urbanas mejorando el entorno y volviendo las ciudades más amables. Para el caso específico de La Paz, para los sectores dónde se encuentran construidos y planeados los cables, se puede acceder en un sistema troncoalimentado. Sin embargo, hay un elemento fundamental que hace muy significativa las inversiones de los cables y dónde está la diferencia es en los tiempos de viaje por las características topográficas de la zona.

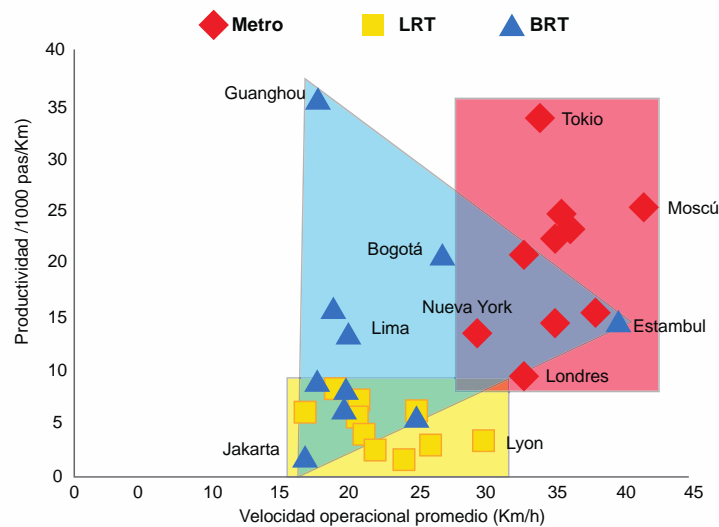
Los sistemas BRT, según la infraestructura con que estén diseñados, alcanzan velocidades operacionales altas, que pueden llegar a ser incluso iguales a las de varios sistemas de metros, tal como se observa en la Figura 41. También, a través de un diseño operacional eficiente, pueden tener capacidades de más de 40 mil pasajeros por hora y sentido, tal como se observa en la Figura 42, superando incluso a varios sistemas de metro en el mundo.

Pese a múltiples ventajas y su flexibilidad frente a la infraestructura que requiere, los sistemas BRT son incapaces de llegar a sitios de topografía agreste con sus vehículos de alta capacidad, enfrentan restricciones de radios de giro y dificultades de tránsito con sus vehículos de mediana capacidad, y deben asumir costos operativos mayores para transitar por calles de difícil acceso con sus vehículos de baja capacidad. En estos casos, cobra una importante relevancia la implementación de los sistemas de cable aéreo.

Es importante que las ciudades no busquen el “mejor modo” de los sistemas de transporte público, sino la mejor combinación de estos. Lo importante es una buena justificación de porque se escoge uno u otro y como se ha mencionado anteriormente la integración de todos aquellos que sean requeridos, bien sea por demanda, recursos de financiación o restricciones en temas urbanos, capacidad y estado de la malla vial, la topografía o cualquier otro elemento que esté directamente relacionado con el área de cobertura que requiere el servicio.

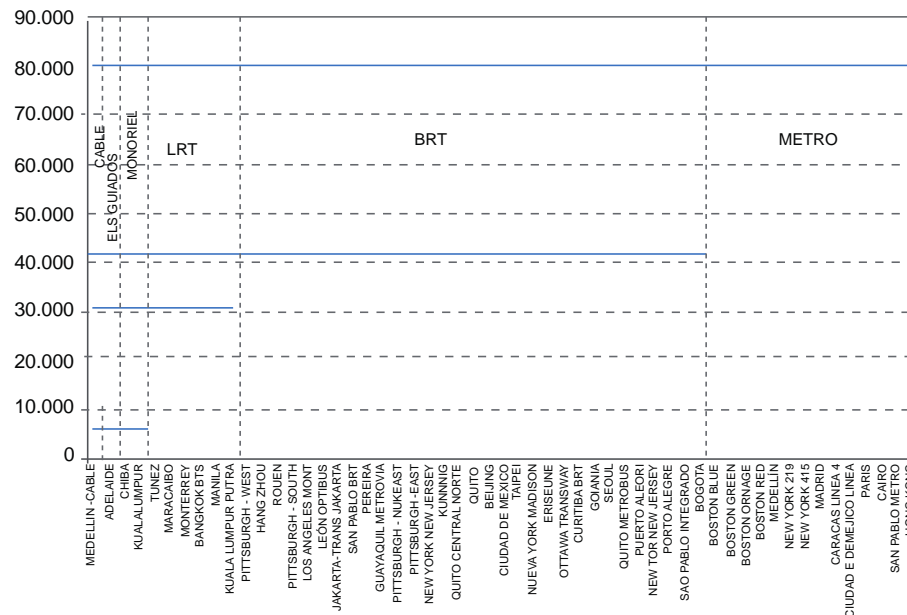


**Figura 41. Comparación de sistemas de transporte – Velocidad operacional**



Fuente: *The Alameda – Providencia BRT corredor Santiago – Juan Carlos Muñoz 2016*

**Figura 42. Comparación de sistemas de transporte – Capacidad.**



Fuente: TRANSMILENIO S.A. 2007

Es así como, en la mayoría de los casos presentados y otros existentes, los sistemas de cable aéreo urbano están integrados a los sistemas de transporte masivo de las ciudades, complementándose y generando de manera conjunta todos los beneficios que ya han sido desarrollados previamente.





## 4 ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS

### 4.1 Proveedores existentes

En el mercado existen actualmente dos grandes grupos que proveen sistemas de cable: el grupo empresarial austriaco/suizo Doppelmayr/Garaventa y el grupo franco/italiano LEITNER/POMA of América Inc. Además de ser los dos grupos más grandes del mercado, son los especialistas en construcción de cables aéreos para el transporte público urbano, que tienen condiciones y especificaciones diferentes a los cables turísticos, como se habían usado hasta hace una década.

El grupo Doppelmayr/Garaventa cuenta con una historia de 125 años, con varias plantas de producción, centros de distribución y servicio postventa en más de 35 países de todo el mundo. Hasta la fecha han instalado más de 14.800 sistemas de cables en más de 91 países. Doppelmayr y Garaventa se fusionaron en 2002.

El grupo LEITNER/POMA of America aparece como grupo para los Estados Unidos de América. Para el resto del mundo, actúan independientemente y sus proyectos, por lo menos en América Latina, no aparecen como realizados por el grupo sino independientes. Por su parte, LEITNER cuenta con una experiencia de 129 años en el mercado de los sistemas de cable<sup>82</sup>. POMA tiene 81 años en el mercado y ha realizado en el transcurso de este tiempo cerca de 8.000 instalaciones<sup>83</sup>.

La Tabla 6 presenta parte de la experiencia que cada uno de los grupos tiene en sistemas de cable para transporte público urbano en América Latina.

**Tabla 6. Experiencia de los proveedores de cables aéreos**

Constructora	Empresa	Longitud	Ciudad	País
LEITNER	Mexicable	4.8 Km	Ecatepec	México
LEITNER	Miocable	4.1 Km	Cali	Colombia
Doppelmayr	Mi Teleférico	10,3 Km	La Paz – El Alto	Bolivia
Doppelmayr	Transmicable	3,3 Km	Bogotá	Colombia
POMA	Metrocable	11,9 Km	Medellín	Colombia
POMA	Complexo do Alemão	10,5 Km	Rio de Janeiro	Brasil

*Fuente: Elaboración propia*

<sup>82</sup> Información consultada en <http://leitner-poma.com/>

<sup>83</sup> Información consultada en [www.doppelmayr.com/es/](http://www.doppelmayr.com/es/), [www.poma.net/es/](http://www.poma.net/es/) y [www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org)



## 4.2 Características generales de cada proveedor

Doppelmayr fue fundado en 1892 en la ciudad de Wolfurt, Austria. Su fusión con la empresa suiza Garaventa se presentó en 2002, considerándose la empresa más grande del mundo especializada en teleféricos.

Por su parte el grupo POMA es una empresa francesa, que cuenta con la empresa LEITNER como socio estratégico. En el año 2000 se realizó la asociación estratégica, aunque en este caso las dos empresas permanecen independientes.

Ambas empresas empezaron como fabricantes de cables aéreos para estaciones de ski en parques de diversión de invierno, desarrollando posteriormente otras aplicaciones como pasos en terrenos montañosos de difícil acceso, transporte de carga y transporte urbano de pasajeros. A continuación se describen algunos de los tipos de sistemas ofrecidos en el mercado por estos dos proveedores.

### 4.2.1 Teleférico 3S

El sistema 3S consiste de dos cables portadores anclados fijamente y completamente encerrados como trayecto y un cable tractor circulante en el que se fijan los mecanismos de traslación. Está compuesto de dos cables portantes, completamente cerrados y anclados con firmeza, sobre los que se traslada el vehículo, y un cable de tracción de movimiento continuo sobre el que se enganchan los mecanismos de traslación de ocho rodillos. Por ello, este sistema de movimiento continuo y desembragable ofrece un gran rendimiento y es altamente fiable.

Este sistema circulante y acoplable tiene un gran rendimiento y dispone de una capacidad de transporte total de hasta 5.000 p/h y cabinas con una capacidad de hasta 35 pasajeros. Los cables destacan particularmente por su alta estabilidad de cara al viento, bajo consumo de energía y la posibilidad de largos tramos de cable. Las características de este sistema son:

- Velocidad de hasta 8,5 m/s.
- Capacidad de transporte de hasta 5.000 pasajeros por hora y sentido.
- Confort y seguridad.
- Todos los componentes cumplen la directiva vigente de la UE (CEN).



Los teleféricos 3S están incluidos en las diferentes opciones que presentan los grandes productores. Algunos casos desarrollados por cada uno de ellos son<sup>84</sup>:

- POMA realizó la instalación de “Prodains Express” en Francia el cual une Moriz y Avoriaz.
- LEITNER instaló en Stubai Glacier, Austria el sistema TD32 Eisgratbahn, que es considerado el sistema 3S más largo de Los Alpes.
- Doppelmayr construyó el 30-TGD Olympic Village en sochi Rusia.

#### 4.2.2 Cables desembragables

Este sistema de cables desembragables, es usado frecuentemente para transportar deportistas de invierno hacia las cumbres nevadas de las estaciones de esquí, impulsan el turismo de verano y se integran perfectamente en el ámbito urbano dentro de la red de transporte público.

La telecabina supone una ventaja en todos los ámbitos, ya que un diseño sin barreras ayuda a transportar sin problemas coches de niños, sillas de ruedas o equipamiento deportivo poco habitual. En las estaciones, una tecnología de desembrague permite que las cabinas se desacoplen del cable tractor para que los pasajeros puedan subir y bajar cómodamente, pasando de una velocidad máxima de 6 m/s en la línea a una velocidad alrededor de 0,25 m/s en la estación. Las características generales del sistema desembragable son:

- Capacidad de transporte de hasta 4.500 pasajeros por hora y sentido.
- Opción de elegir entre distintos modelos de cabina.
- Posibilidad de estacionamiento funcional en garaje según demanda.
- Mantenimiento sencillo gracias al fácil acceso a todos los componentes.

Los teleféricos desembragables están incluidos en las opciones que ofrecen los grandes productores. Algunos casos desarrollados por cada uno de ellos son<sup>85</sup>.

- LEITNER instaló el sistema de cable aéreo de Ecatepec en México.
- Doppelmayr estuvo encargado de las líneas de cable aéreo en Caracas.
- POMA estuvo en cabeza de implantación de las tres líneas del Metrocable en Medellín.

<sup>84</sup> Se presentan solamente algunos de los casos, dado que la experiencia de cada empresa incluye muchas instalaciones de este tipo alrededor del mundo. Los casos referenciados tienen como fuente la página de cada proveedor.

<sup>85</sup> Se presentan solamente algunos de los casos, dado que la experiencia de cada empresa incluye muchas instalaciones de este tipo alrededor del mundo. Los casos referenciados tienen como fuente la página de cada proveedor.



### 4.2.3 Cables Funifor

Este teleférico ofrecido por Doppelmayr es estable frente al viento por su mayor ancho de la vía del cable, es tecnológicamente único en el mercado internacional y se encuentra en la punta de la seguridad, tecnología y economía.

Es capaz de hacer frente a situaciones meteorológicas extremas gracias a una mayor anchura de la vía del cable. Moviéndose sobre dos cables portantes, el Funifor es capaz de transportar en modo vaivén hasta 60 pasajeros por cabina. La particularidad técnica es el doble sistema de cable de tracción formado por un solo bucle empalmado.

El mecanismo de traslación de las cabinas está equipado con cuatro discos de compensación dispuestos en posición horizontal, por lo que no es necesario instalar un sistema de anclaje mecánico entre el cable de tracción y el mecanismo de traslación.

La capacidad de transporte puede duplicarse en un solo tramo, limitarse la velocidad en el recorrido hacia la estación intermedia o sólo operarse parte de la instalación si se desea. Eso facilita las labores de mantenimiento por un lado y mantiene la disponibilidad por otro, dado que sólo se pone fuera de servicio un tramo. Los plazos para su diseño y construcción son más cortos, lo que reduce su costo.

Dentro de esta clase de cables solo un proveedor presenta proyectos como<sup>86</sup>.

- En Stans Suiza, se instaló el sistema 60-ATW CabriO Kälti – Stanserhorn.
- En Gressoney, Italia se instaló el sistema 60-FUF Passo dei Salati – Indren.
- En Canazei, Italia, se instaló el sistema 100-FUF Alba-Col dei Rossi.

### 4.2.4 Cables Funitel

Lo característico de este sistema de teleférico es el bucle doble formado por un cable infinito lo que resulta en cuatro ramales: dos cables portantes dispuestos en paralelo en dirección hacia la montaña y otros dos hacia el valle; esto evita que las cabinas se inclinen por la acción del viento. El resultado es mayor estabilidad, un funcionamiento sin problemas incluso con vientos de hasta 100 km/h y una gran longitud de vano. La suspensión neumática especial de las cabinas de hasta 24 pasajeros brinda siempre un elevado nivel de confort, incluso a una velocidad de 7 metros/segundo, alcanzando capacidades de transporte de hasta 4.000 pax/hora.

El control técnico del teleférico se basa en un sistema electrónico de varios canales a prueba de fallas. La máquina de accionamiento además destaca por su construcción compacta y la estructura clara de sus componentes.

---

<sup>86</sup> Se presentan solamente algunos de los casos, dado que la experiencia de la empresa incluye muchas instalaciones de este tipo alrededor del mundo. Los casos referenciados tienen como fuente la página del proveedor.



Dentro de esta clase de cables solo un proveedor presenta proyectos como<sup>87</sup>.

- El Funitel más reciente es el Gletscherbus, ubicado en Hintertux, Austria.
- En St. Anton am Arlberg, Austria se instaló el sistema 24-FUN Galzigbahn.
- En Athen, Grecia se instaló el sistema 20-FUN Mont Parnes.

#### 4.2.5 Cables vaivenes

Los teleféricos tipo vaivén clásico también son ofrecidos por Doppelmayr, LEITNER y POMA. Tienen uno o dos vehículos consistentes del mecanismo de traslación, la suspensión y la cabina circulan entre las estaciones en un recorrido de vaivén.

Los mecanismos de traslación de los vehículos que circulan en los cables portadores están unidos entre sí mediante el cable tractor superior e inferior. En una de las estaciones, dicho cable pasa por el accionamiento, mientras que en la otra estación se le aplica la carga de un peso tensor para alcanzar la tensión básica necesaria.

La velocidad de desplazamiento alcanza hasta los 12 metros/segundo, las cabinas pueden lograr una capacidad entre 6 y 200 pasajeros, pudiendo atravesar zonas de difícil acceso como barrancos y montañas.

Los grandes productores ofrecen este tipo de teleférico, siendo algunos casos desarrollados por cada uno de ellos los siguientes<sup>88</sup>:

- En Mayrhofen, Austria, equipado con cabinas con capacidad para 160 pasajeros y tiene una longitud de tres kilómetros es un teleférico vaivén cuya implantación estuvo a cargo de Doppelmayr.
- El teleférico de vaivén petit moriond, en courchevel (Francia) se implantó en el año 2012 bajo la responsabilidad de POMA.
- En abril de 2006, LEITNER comenzó la compleja renovación del teleférico en Innsbruck (Austria).

#### 4.2.6 Cables combinados o telemix

En los cables combinados o telemix, las zonas de entrada y salida están separadas y adaptadas a las necesidades de cada tipo de vehículo. Esto permite el uso simultáneo de cabinas y sillas, lo que garantiza un elevado confort a la hora de subir. Algunas características del sistema combinado son:

---

<sup>87</sup> Se presentan solamente algunos de los casos, dado que la experiencia de la empresa incluye muchas instalaciones de este tipo alrededor del mundo. Los casos referenciados tienen como fuente la página del proveedor.

<sup>88</sup> Se presentan solamente algunos de los casos, dado que la experiencia de cada empresa incluye muchas instalaciones de este tipo alrededor del mundo. Los casos referenciados tienen como fuente la página de cada proveedor.





- Opciones de mayor confort como sillas acolchadas, asientos con calefacción o burbujas disponibles en cualquier momento.
- Capacidad de transporte de hasta 3.900 pasajeros por hora y sentido.
- Cabinas aptas para el transporte de heridos.
- Los esquiadores entran y salen sobre la nieve y los peatones sobre un terreno antideslizante.
- Protección frente al viento y las condiciones climáticas.

Los grandes productores ofrecen este tipo de teleférico, siendo algunos casos desarrollados por cada uno de ellos los siguientes<sup>89</sup>:

- El 6/8-CGD Riederalp-Blausee-Moosfluh, está ubicado en Riederalp, Suiza. Es un teleférico combinado de tecnología Doppelmayr.
- El TMX8-8 VM8:an, está ubicado en la localidad de Åre, en el condado nevado de Jämtland. Es un teleférico telemix de tecnología LEITNER.
- El TMX Les Jeux, está ubicado en el Alpe d'Huez, Francia. Es un teleférico telemix de tecnología POMA.

### 4.3 Ventajas de la homogeneidad tecnológica

Los elementos principales que conforman un teleférico son iguales sin distinguir quien sea el proveedor. Sin embargo, cada uno de los grupos empresariales tiene su propio diseño y cada empresa produce la mayoría de las partes con las cuales se construyen las pinzas, trenes de carrera, y demás elementos de la cadena cinemática. De igual forma, el software de gestión y control es desarrollado por cada proveedor para el sistema que ofrece, siendo diferentes entre ellos el uso de algunas funcionalidades, la interfaz gráfica y los tableros de control.

En este sentido, tener un sistema homogéneo en cuanto a su tecnología permitirá que los repuestos puedan ser almacenados en un único stock y ser comprados a gran escala para el uso en cualquiera de las líneas. Esto facilita y abarata el suministro, mejora el inventario y la gestión de recursos para su consecución.

El personal de mantenimiento podrá ser capacitado y empleado como un único grupo que puede intervenir en cualquiera de las líneas del sistema completo. Esta condición permite, a través de la rotación de personal y la asignación eficiente de tareas, que las labores de mantenimiento puedan ser ejecutadas con un mejor aprovechamiento del recurso

---

<sup>89</sup> Se presentan solamente algunos de los casos, dado que la experiencia de cada empresa incluye muchas instalaciones de este tipo alrededor del mundo. Los casos referenciados tienen como fuente la página de cada proveedor.



humano, de manera similar a las rotaciones de empleados de grandes fábricas y sistemas con rotación de personal, que entre más cantidad de personal de perfiles y ocupaciones similares, se reduce el número de empleados y por ende sus costos. Esto mismo se presenta con el personal responsable de la operación diaria de las líneas de teleférico.

La capacitación del personal también es un factor relevante ya que a medida que crece y se afianza el sistema, el personal experto de la empresa administradora empieza a no depender del acompañamiento del proveedor, quien en algún momento de la vida del proyecto debe salir de escena. Esto indica que el personal de la entidad administradora estará en capacidad de impartir las capacitaciones necesarias, salvo por algunas actualizaciones tecnológicas de ser necesario. En la medida que se mantenga la misma línea tecnológica, ésta transferencia de conocimiento será más eficiente y el personal podrá especializarse e independizarse más rápidamente del proveedor.

## 5 ANÁLISIS DE COSTOS

### 5.1 Costos de inversión

La inversión requerida para la implementación de los sistemas de cable aéreos está relacionada con dos componentes principales: el componente electromecánico y la infraestructura requerida para soportarlo. Existen otros costos menores relacionados con la supervisión y la fiscalización, que se estiman alrededor del 3% del costo de inversión. Este es el caso de lo estimado para la Línea Plateada<sup>90</sup>.

Los análisis que se realizan a continuación serán enfocados en los componentes principales del costo de inversión para la construcción de los teleféricos, es decir en el componente electromecánico y la infraestructura.

En las diferentes ciudades en las que se han implementado los sistemas de cable aéreo urbanos, se han debido considerar las características propias del proyecto para alcanzar los objetivos pretendidos y garantizar la operatividad y seguridad de cada sistema. En este sentido, para los casos presentados en la Tabla 7 se observan costos por km que difieren en un rango que va desde USD \$ 5,41 millones hasta USD \$ 147,22 millones por kilómetro de línea de cable aéreo.

<sup>90</sup> Fuente: Informe de justificación de tecnología – proyecto “Diseño, construcción y puesta en marcha del sistema de transporte por cable (teleférico) en la ciudad de El Alto – Línea Plateada”



**Tabla 7. Datos de costos por Km de diferentes sistemas de cable aéreo urbanos**

Ciudad	Línea	Longitud (km)	Costo total (millones USD)	Costo por km (millones USD)
Medellín <sup>91</sup>	Línea K	2,07	34	16,43
Medellín <sup>92</sup>	Línea J	2,76	48	17,39
Medellín <sup>93</sup>	Línea L	4,62	25	5,41
Río de Janeiro <sup>94</sup>	Complexo Do Alemão	3,5	135	38,57
Ecatepec <sup>95</sup>	Mexicable	4,8	94,8 <sup>96</sup>	19,75
Santiago <sup>97</sup>	Bicentenario <sup>98</sup>	3,38	80	23,67
Caracas <sup>99</sup>	San Agustín	1,8	265 <sup>100</sup>	147,22
La Paz <sup>101</sup>	Fase 1 (roja, amarilla y verde)	10,34	234,68	22,7
La Paz <sup>102</sup>	Fase 2 (azul)	4,9	75	15,3
La Paz <sup>103</sup>	Línea Plateada	2,61	54,13	20,74
Bogotá <sup>104</sup>	Cable Ciudad Bolívar <sup>105</sup>	3,4	60,82 <sup>106</sup>	17,89

*Fuente: Elaboración propia*

<sup>91</sup> El cálculo del costo por Km fue realizado con datos de longitud y costo de inversión tomados de: Revista Metro – Edición 3 2011-2012.

<sup>92</sup> *Ibidem.*

<sup>93</sup> *Ibidem.*

<sup>94</sup> El cálculo del costo por Km fue realizado con datos de longitud y costo de inversión tomados de: <http://revistacitymanager.com/new/city-manager/transporte-de-altura/>

<sup>95</sup> El cálculo del costo por Km fue realizado con datos de longitud y costo de inversión tomados de: <http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2016/10/04/inauguran-teleferico-mexicable-en-ecatepec>

<sup>96</sup> Dada su reciente construcción se convirtió el costo de MXN \$ 1.700 millones a USD \$ 94,8 millones con una tasa de conversión actual.

<sup>97</sup> El cálculo del costo por Km fue realizado con datos de longitud y costo de inversión tomados de: <http://www.latercera.com/noticia/licitacion-por-teleferico-bicentenario-se-iniciara-en-enero/>

<sup>98</sup> El proyecto de teleférico bicentenario está en etapa de licitación, se prevé su adjudicación para mediados del año 2017 y su puesta en marcha se ha proyectado para el año 2020. Fuente: Project Management Institute Santiago de Chile Chapter - <http://www.pmi.cl/pmi/proyecto-teleferico-bicentenario-metodologias-y-objetivos-en-el-desarrollo-de-una-iniciativa-de-transporte-complementario/>

<sup>99</sup> El cálculo del costo por Km fue realizado con datos de longitud y costo de inversión tomados de: Experiences with Aerial Ropeway Transportation Systems in the Urban Environment. B. Alshalalfah, Amer Said Shalaby, Steven Dale – 2014

<sup>100</sup> Los autores del documento fuente de la información de costos y longitud, manifiestan que el costo presentado incluye la construcción de estaciones/centros comunitarios, siendo el costo del sistema de góndolas es sólo de USD \$ 18 millones.

<sup>101</sup> El cálculo del costo por Km fue realizado con datos de longitud y costo de inversión tomados de: Ficha técnica del proyecto teleférico - Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda.

<sup>102</sup> Información BID.

<sup>103</sup> El cálculo del costo por Km fue realizado con datos de longitud y costo de inversión tomados de: Informe de justificación de tecnología – proyecto “Diseño, construcción y puesta en marcha del sistema de transporte por cable (teleférico) en la ciudad de El Alto – Línea Plateada”

<sup>104</sup> El cálculo del costo por Km fue realizado con datos de longitud y costo de inversión tomados de: Estudio comparativo de la estructura de costos entre el sistema tradicional de buses, SITP y el sistema de transporte por cable aéreo de Ciudad Bolívar.

<sup>105</sup> Sistema de cable aéreo en construcción.

<sup>106</sup> El valor de costo fue tomado en COP \$. La tasa de conversión usada fue tomada del promedio para el año 2015.



Todos los sistemas de transporte tienen variación en sus costos por kilómetro pues dependen de varios aspectos que no los hacen necesariamente comparables. Es así como hay que tener en cuenta para el presente análisis aspectos relacionados con los alcances de la obra civil, aspectos relacionados con el sistema electromecánico, temas relacionados con la topografía, tipos de suelo e intervención predial. A continuación se describen los aspectos más relevantes que llegan a incidir en los costos de inversión de estos sistemas, causando las grandes variaciones observadas:

Aspectos relacionados con la obra civil

- **Intervenciones urbanas alrededor de las estaciones.** Las estaciones requieren de unas condiciones mínimas para la operación del sistema de cable aéreo. Sin embargo, teniendo este tipo de proyectos un gran impacto social, pueden llegar a ser el detonante de mejoramientos urbanísticos en el entorno de las estaciones y de ampliación de servicios de salud, educación, recreación u otros, para lo cual se amplía la infraestructura de las estaciones, con costos que en muchas ocasiones se cargan al proyecto de implantación del sistema de cable aéreo.
- **Características de la obra civil.** Las estaciones deben satisfacer las condiciones de diseño y seguridad requeridas para la operación del sistema de cable aéreo. Estas estaciones se convierten en hitos urbanísticos, razón por la cual, el diseño arquitectónico de las mismas puede llegar a incrementar los costos de construcción según el tipo de materiales y el diseño final que se defina para las mismas.
- **Condiciones de las estaciones.** Según el tipo de cabinas que se seleccionen para el sistema, se definen las áreas requeridas para la operación del sistema, es decir, una estación de un sistema con cabinas de 10 pasajeros sentados tendrá características diferentes y costos mayores que una estación de un sistema con cabinas de 8 pasajeros sentados.
- **Número de estaciones.** La cantidad de estaciones depende del diseño general del sistema y son definidas de acuerdo a los focos de población que quieren ser atendidos. Pueden tenerse sistemas de poca longitud pero que por condiciones de densidad de población y requerimientos del servicio de transporte requieran de un mayor número de estaciones. La cantidad de estaciones puede depender también de si se tiene o no una adecuada integración con otros modos de transporte.

De igual manera, si la línea de cable aéreo requiere de cambios de dirección en algunos puntos del recorrido, es necesario que en estos puntos se construya una estación y no una torre o piona, de tal forma que se tenga la infraestructura robusta que soporte las tensiones que deben soportarse en los puntos de inflexión.



### Aspectos relacionados con el sistema electromecánico

- **Tamaño de las cabinas.** Cada sistema es diseñado para una población y demanda máxima estimada. Según esta condición, el tamaño de las cabinas es determinado en función de satisfacer la demanda que tendrá el sistema de cable aéreo, siendo que entre mayor tamaño de la cabina, mayor costo.
- **Localización del motor.** Para reducir el ruido ocasionado por los motores del sistema de cable aéreo, se busca que éstos se ubiquen en sótanos. Esta condición requiere de mayores recursos para la adecuación del motor y su operación en el sistema. Por consiguiente, en algunos sistemas de cable, se toma la decisión de no enterrarlos, sino dejarlos en áreas que si bien van cerradas, no son subterráneas.
- **Potencia del motor.** El motor del sistema de cable aéreo es diseñado según las características propias de cada proyecto. El motor requiere de la potencia suficiente para arrancar y mantenerse en movimiento, considerando el peso muerto (cabinas de la capacidad seleccionada, cable, etc.) y el peso vivo (usuarios abordo en máxima capacidad de diseño del sistema). Por consiguiente, cada sistema depende de su diseño y de la demanda a atender. Lo anterior define la potencia del motor y por ende su costo.
- **Sistemas de respaldo.** Los sistemas de cable aéreo urbano requieren de una alta confiabilidad y regularidad en la operación. En este sentido, según el tipo y cantidad de respaldos para la operación del sistema, se determina un costo relevante en la inversión para la construcción del mismo. Los sistemas de respaldo pueden ser subestaciones eléctricas, motores diésel que deben tener la capacidad (potencia) suficiente para operar el sistema (o por lo menos evacuarlo) mientras el sistema principal no esté disponible u otros que se definan según el sistema a construir.

### Aspectos relacionados con la topografía

- **Altura de torres.** Para condiciones topográficas muy agrestes, pueden requerirse torres de mayor altura que permitan condiciones seguras para la operación del sistema y superar barreras. La altura de las mismas torres tiene una incidencia directa sobre el costo de construcción del sistema, considerando que requieren de condiciones especiales de cimentación para asegurar su seguridad y operatividad.
- **Número de torres.** Así mismo, el número de torres depende de la cantidad tanto de curvas verticales como de curvas horizontales. Por tanto, dos sistemas con la misma longitud, pueden llegar a tener un número muy diferente de torres.





### Otros aspectos

- **Tipo de suelo.** El tipo de suelo sobre el que se construirán las torres y estaciones determina el costo de obras de cimentación de las mismas.
- **Predios.** Tanto para la ubicación de las estaciones, como la ubicación de las torres, tienen una incidencia directa sobre el número y dimensiones de predios a intervenir, lo cual hace que la incidencia del tema predial pueda ser mayor o menor dependiendo del sistema.

A pesar de las diferencias, y eliminando los datos extremos o atípicos y sin incluir el costo de la Línea Plateada, se tiene un costo por kilómetro promedio de 21,5 millones USD/Km, muy cercano al programado para la Línea Plateada de 21 millones USD/Km.

En los sistemas de transporte masivo basados en buses, también encontramos diferencias sustanciales en el costo por kilómetro del desarrollo de la infraestructura. Como ejercicio, se propone realizar un rápido análisis de diferentes sistemas tipo BRT en diferentes partes del mundo. La Tabla 8 nos muestra algunos costos de inversión por kilómetro para este tipo de sistemas. Importante resaltar que a diferencia de los costos por kilómetro identificados en la tabla de sistemas de cable, la inversión que se refleja para los BRTs, no incluye el costo del material rodante, es decir que no incluye el costo de los buses.

**Tabla 8. Costos de inversión en sistemas BRT**

Sistema BRT / Ciudad	Costo/Km aproximado en millones USD <sup>107</sup>
Transantiago / Santiago de Chile	5,7
Transmilenio / Bogotá	26,5
Transmetro / Guatemala	2,6
Metrobus / Estambul	9,0
Guangzhou BRT / Guangzhou	4,4
Rea Vaya / Johannesburgo	12,0
Quito / Ecuador	3,0
Move / Belo Horizonte	11,7
T-Way / Sidnay	15,7
AT / Auckland	36,3
Translink / Brisbane	47,6

*Fuente: Elaboración propia*

Según la Tabla 8, el costo promedio de sistemas BRT es de cerca de 16 millones USD/Km, sin considerar la inversión en material rodante como se mencionó

<sup>107</sup> Datos tomados de [www.brtdata.org](http://www.brtdata.org).



anteriormente. En el caso de los sistemas de cable aéreo, el costo presentado corresponde a la infraestructura y el componente electromecánico, el cual incluye el material rodante, siendo esta una inversión más completa.

### 5.1.1 Sistema electromecánico

El sistema electromecánico, compuesto por el motor, el cable, las torres y elementos instalados en ellas, las cabinas, los respaldos eléctricos y motrices, entre muchos otros elementos; es dimensionado según la topografía, demanda y diseño seleccionado para el teleférico.

A través del perfil longitudinal y la carga máxima en horas pico, se definen la potencia del motor, la cantidad de torres, el tipo de cabina, entre otras cosas. Según el criterio de la confiabilidad y seguridad que debe tener el sistema de cable, se proponen los sistemas de respaldo eléctrico y motriz, los sistemas que previenen o controlan las situaciones de descarrilamiento. De acuerdo con las características de operación que se quieran para el teleférico se incluyen o no sistemas de comunicación con cabinas, circuitos cerrados de televisión, sistemas de aprovechamiento de energía solar para energización de cabinas y otros elementos.

En este sentido, es notorio que cada sistema de cable aéreo tiene un diseño propio, que si bien comparte características similares con otros de su mismo tipo, son muchas las condiciones que los hace únicos en cada caso. Esta condición de diseño exclusivo para cada caso, tiene una gran influencia en los costos relacionados con el sistema electromecánico y su variación en la inversión requerida.

Es conveniente mencionar, que el componente electromecánico es proveído por empresas europeas, las cuales pueden llegar a exigir contratos pagados en euros, lo cual, especialmente en los países latinoamericanos, traslada el riesgo cambiario a la entidad gubernamental o privada interesada en la implantación del teleférico. También deben considerarse los costos por transporte, seguros, impuestos y aranceles de importación.

### 5.1.2 Obra civil

Los costos de obra civil están directamente relacionados con la cantidad de metros cuadrados de construcción por cada estación, siendo determinante el diseño, las intervenciones urbanas y la inclusión de servicios que se quieran considerar en el proyecto. También incide en el costo de la infraestructura, la cantidad de torres y el tipo de terreno en el que se instalan.

Ya se ha mencionado que los sistemas de cable aéreo urbano, generalmente han sido contruidos para atender sectores de las ciudades con grandes dificultades económicas y sociales, como lo es el caso de Medellín y Río de Janeiro, por mencionar un par de ejemplos. De esta forma, el impacto social va más allá de la solución a una problemática



de transporte, y desencadenan mejoramientos urbanísticos en el entorno de las estaciones, a la vez que permiten la ampliación de servicios de salud, educación, recreación u otros, para lo cual son considerados todos estos aspectos en el diseño de las estaciones. Estos costos, que resultan mayores a los requeridos para estaciones con diseño netamente operativo, en muchas ocasiones son cargados al proyecto de implantación del sistema de cable aéreo.

Las torres son elementos del componente electromecánico, sin embargo, su instalación requiere que sean tenidas en cuenta también dentro de los costos relacionados con la infraestructura. La altura de las torres y el tipo de suelo en el que deben ser construidas tienen una implicación directa en la cimentación y estructura que requieren, por ende en la inversión requerida para el sistema de cable.

En este sentido, no es conveniente estimar una participación estándar del costo de la infraestructura en la inversión total de implantación para los sistemas de cable aéreo, sino que cada caso deberá ser revisado con las particularidades que exija el proyecto o que se deseen para el mismo.

## 5.2 Costos de operación y mantenimiento

Más allá del costo que tiene la construcción de un sistema de cable aéreo, están los costos asociados a su operación, la cual debe ser garantizada para periodos de 40 años. La operación de un teleférico requiere de personal capacitado para el control del sistema, de personal de apoyo a la operación en estaciones, de suministro de energía eléctrica y de la garantía de su funcionamiento, es decir, la operación del sistema requiere que se realicen las actividades de mantenimiento que son requeridas para su permanente y segura operación.

A continuación se describen los principales ítems a considerar en la operación y mantenimiento del sistema de cable aéreo.

### 5.2.1 Energía eléctrica

Los sistemas de cable aéreo funcionan con motores eléctricos diseñados con la potencia requerida para transmitir movimiento a la cadena cinemática a plena carga. Por lo anterior, son motores de gran potencia que requieren de instalaciones eléctricas adecuadas y la red de suministro capaz de alimentarle la energía suficiente para el arranque y movimiento continuo del sistema.

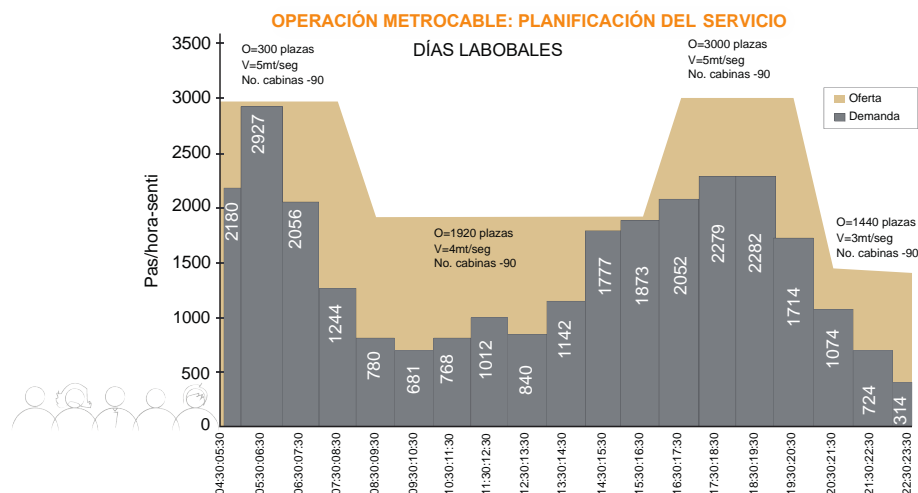
Los teleféricos son sistemas con la capacidad de operar a diferentes velocidades, lo cual ofrece la oportunidad de gestionar el consumo de la energía en función de reducir los costos operativos relacionados con su consumo.



En un sistema de buses tradicional la relación de oferta y demanda se administra principalmente con la cantidad de flota en operación en cada periodo del día según la necesidad de servicio que se tenga. Los sistemas de teleféricos generalmente operan con la misma de cantidad de cabinas durante todo el día, aunque si es posible variar la cantidad de cabinas de un día de operación a otro. Por lo anterior, la administración de la relación oferta y demanda para los sistemas de cable aéreo se realiza administrando la velocidad de operación según la demanda en cada periodo del día. A manera ilustrativa, en la Figura 43 se puede observar un ejemplo de administración de la oferta y demanda para días hábiles.

Como en toda gestión de operación de un sistema de transportes, eliminar la sobreoferta de servicio redundante en reducciones de los costos operativos, los cuales en estos casos son relacionados principalmente con el consumo de energía, pero también con la cantidad de ciclos realizados por el cable<sup>108</sup> y el menor desgaste de muchos de los elementos que conforman la cadena cinemática.

**Figura 43. Ejemplo de administración de oferta y demanda en teleféricos en días hábiles**



Fuente: Ejemplo de intermodalidad: Sistema de transporte por cable aéreo integrado al Metro de Medellín – MetroCable.

## 5.2.2 Personal de operación

Las actividades requeridas para el buen funcionamiento de los teleféricos son de carácter netamente operativo o de carácter administrativo. Estos últimos son aquellos relacionados con la vigilancia, el aseo, el mantenimiento de la infraestructura de las estaciones, la venta de boletos, etc. Estos costos administrativos deben ser considerados por la empresa administradora del sistema pero no necesariamente cargados a un contrato de

<sup>108</sup> La vida útil del cable está relacionada con los ciclos que realiza durante la operación.



implantación de un sistema, en los cuales generalmente hay un periodo de operación y mantenimiento de parte de los proveedores.

Las actividades relacionadas con la operación incluyen aquellas para el alistamiento previo al inicio de la operación diaria, gestionar y controlar los parámetros de operación del sistema, gestionar y controlar las contingencias que se puedan presentar, suministro de información y apoyo a los usuarios en las estaciones, entre otras.

El control y monitoreo de todos los parámetros de funcionamiento del sistema se realizan desde la cabina de control principal y de cada estación, gestionando entre otros los siguientes: i) velocidad de operación, ii) número y posición de las cabinas, iii) velocidad del viento, iv) monitoreo de alarmas mecánicas, eléctricas y electrónicas, v) las comunicaciones con las cabinas.

Es muy importante que exista una coordinación muy precisa entre la operación diaria y las actividades de mantenimiento preventivo, así como su planificación para garantizar la disponibilidad del sistema y cabinas para que no se afecte la operación.

El personal que realiza estas actividades debe ser instruido por el proveedor para cada una de ellas, asumiéndose además del costo del personal requerido, un costo de capacitación inicial y periódica.

### 5.2.3 Repuestos

Los repuestos deben ser proveídos por quien construye e implementa el sistema de cable aéreo, pero no bajo el mismo presupuesto de suministro del sistema electromecánico. La operación de los teleféricos urbanos es muy exigente en cuanto a las horas de operación, por lo cual es necesario garantizar un stock de repuestos mínimo para atender cualquier eventualidad que pueda poner en riesgo la continuidad de la operación del sistema.

Por ser elementos suministrados por el mismo proveedor del sistema electromecánico, también deben considerarse los costos adicionales de transporte, seguros, impuestos y aranceles. Sobre el riesgo de tasa cambiaria, de nuevo es asumida por el administrador del sistema.

### 5.2.4 Personal de mantenimiento

De manera similar al personal de operación, el que se dedica a las labores de mantenimiento debe ser capacitado por el proveedor, considerando también un costo por este concepto que debe ser programado al inicio de la operación y con una periodicidad establecida para actualización.

Es necesario tener en cuenta que las labores de mantenimiento deben ser realizadas en no más de 4 o 5 horas efectivas, mientras el sistema deja de operar. Esto indica que estas tareas se realizan en jornadas con recargos de trabajo nocturno, incrementando su costo.





Para reducir el impacto de las labores de mantenimiento en el costo operativo del sistema, se deben realizar durante el día todas aquellas tareas en elementos que no deban estar en operación de forma permanente, como lo son las cabinas, para las cuales debe haber una cantidad de reserva que permita mantener los niveles de operación entre tanto salen de operación otras.

Debe tenerse en cuenta que para algunas tareas deberán programarse paradas del sistema a fin de realizar labores que no permitan otra alternativa. Hay labores que pueden requerir paradas de hasta 3 o 5 días.

### 5.3 Análisis asociado a un cambio de tecnología en la Línea Plateada

Las cuatro líneas que a la fecha están en operación y las cinco que están en construcción, cuentan con la misma tecnología, con compatibilidad técnica y de estándares, lo cual redundará en ahorros importantes y economías de escala.

Los costos relacionados con la prestación del servicio y el mantenimiento de este tipo de sistemas deben ser considerados a lo largo de la vida útil del sistema, razón por la cual son un elemento fundamental en la toma de decisiones.

Los repuestos de la red de líneas de cable aéreo Mi Teleférico, en caso de mantener una tecnología única, podrán ser comprados a gran escala y usados en cualquiera de las líneas. En caso contrario, será necesario mantener un stock de repuestos para cada una de las tecnologías, requiriendo el manejo de dos inventarios, rubros y procesos distintos para el suministro de los repuestos, generando mayores complicaciones y costos no solo para la adquisición de los elementos sino también del personal encargado de la consecución y administración de los mismos.

De otra parte, el software, los tableros de control y los procedimientos para líneas de cable con tecnología igual permitirán un solo proceso de capacitación, impartido a un equipo dedicado que puede realizar sus funciones en cualquiera de las líneas y rotar eficientemente en la operación de toda la red de cables, lo cual también reduce costos de recurso humano. Este aspecto es relevante tanto para el personal de gestión y control de la operación, como también del personal dedicado a las labores de mantenimiento, si bien son dos grupos diferentes para una misma tecnología, en caso de tecnologías diferentes serían cuatro grupos dedicados por actividad y tecnología.

Estas condiciones toman mayor importancia al considerar que la vida útil de este tipo de sistemas es de cerca de 40 años y por ende estos costos relacionados con los repuestos, el personal de mantenimiento y operación representan un alto porcentaje del costo total del proyecto.

Para entender la magnitud del impacto que tendrán los mismos en el costo total de la implantación de un sistema de cable aéreo, se presentan los resultados del “Estudio



comparativo de la estructura de costos entre el sistema tradicional de buses, SITP y el sistema de transporte por cable aéreo de Ciudad Bolívar<sup>109</sup>, el cual estima los costos de mantenimiento para una periodicidad anual, como un porcentaje del costo de inversión del componente electromecánico, representando del año 1 al 5 un valor creciente entre el 1,6% y el 4 % y a partir del quinto año se mantiene en el 4%<sup>110</sup>. Bajo estas condiciones, en 40 años el costo del mantenimiento alcanza a ser el aproximadamente el 150% del costo de inversión del sistema electromecánico.

Dicho de otra forma, el costo de mantenimiento, supera el costo de inversión en componente electromecánico, a partir del año 27 de operación del sistema. Estas cifras de proporción entre costos de inversión y mantenimiento coinciden con los estimados en otros estudios como el de la conceptualización de un cable aéreo para la ciudad de Pereira<sup>111</sup>.

A manera ilustrativa, en la siguiente tabla se presenta una aproximación del peso que tiene cada tipo de costos de operación y mantenimiento anualmente. Los datos presentados son los estimados para el sistema de cable aéreo de Pereira<sup>112</sup> y están agrupados en cuatro categorías generales<sup>113</sup>:

**Tabla 9. Peso de los costos anuales estimados para la operación y el mantenimiento en sistema de cable aéreo de Pereira**

Costos Operacionales y de Mantenimiento para el sistema de cable de Pereira	Porcentaje
Energía (\$/AÑO)	15,6 %
Repuestos (\$/AÑO)	43,8 %
Mano de obra Mantenimiento (\$/AÑO)	21,9 %
Nómina Administrativa y operativa (\$/AÑO)	18,7 %
<b>Total año (\$/AÑO)</b>	<b>100,0 %</b>

*Fuente: Estructuración Técnica, Legal y Financiera del Sistema Integrado de Transporte Público – SITP, evaluando factibilidad de incorporación de sistemas de transporte de pasajeros por cable aéreo en el AMCO. Transconsult Sucursal Colombia 2017*

Adicionalmente, en un sistema de cable aéreo implementado por fases, la transferencia de conocimiento que debe ofrecer el proveedor se hará menos costosa en la medida que el sistema crezca manteniendo una continuidad tecnológica, gracias a que el personal

<sup>109</sup> Transconsult Sucursal Colombia 2016.

<sup>110</sup> Fuente: Estudio comparativo de la estructura de costos entre el sistema tradicional de buses, SITP y el sistema de transporte por cable aéreo de Ciudad Bolívar – Transconsult Sucursal Colombia 2016.

<sup>111</sup> Fuente: Estructuración Técnica, Legal y Financiera del Sistema Integrado de Transporte Público – SITP, evaluando factibilidad de incorporación de sistemas de transporte de pasajeros por cable aéreo en el AMCO – Transconsult Sucursal Colombia 2017.

<sup>112</sup> El sistema de cable aéreo de Pereira cuenta con estudios de prefactibilidad, aún no está en construcción.

<sup>113</sup> Fuente: Estructuración Técnica, Legal y Financiera del Sistema Integrado de Transporte Público – SITP, evaluando factibilidad de incorporación de sistemas de transporte de pasajeros por cable aéreo en el AMCO – Transconsult Sucursal Colombia 2017.



capacitado y especializado, aumentará con cada nueva línea implementada y podrá hacer parte del entrenamiento del nuevo personal.

## 5.4 Estimación de un orden de magnitud del sobrecosto por tecnologías heterogéneas

A partir de lo expuesto en el punto 5.3, se propone un ejercicio de estimación de un orden de magnitud del sobrecosto relacionado con la construcción de una línea de cable aéreo con tecnología diferente a la de las primeras líneas.

Como punto de partida se toma información incluida en el “Informe de Justificación de Contratación Directa por Continuidad Tecnológica”<sup>114</sup>, en el cual se relacionan los costos de operación de una línea de cable aéreo bajo el supuesto de ser construida con una tecnología diferente. En el informe mencionado, los costos son estimados para el sistema considerando una vida útil de 40 años y están agrupados de la siguiente manera:

- Compatibilidad tecnológica.
- Servicios especializados.
- Protocolos de operación.
- Personal calificado.

### 5.4.1 Costos de operación asociados a una línea con tecnología diferente

Según el informe fuente de la información<sup>115</sup>, los costos asociados a la compatibilidad tecnológica están relacionados con elementos de software, herramientas y repuestos que son exclusivos para la tecnología de la línea de cable aéreo seleccionada. De manera inherente a las herramientas y repuestos, se considera la construcción de un almacén para el manejo del inventario y preservación de todos los elementos de la nueva línea, que en el caso analizado es construida con tecnología diferente a la de las primeras.

En la Tabla 10 se presentan los costos asociados con la compatibilidad tecnológica para una línea con tecnología diferente. Para los repuestos y lubricantes se hace una estimación de costo anual y se proyecta para los 40 años de vida útil, mientras que para los demás elementos considerados en la tabla, se entiende que se realiza una única inversión inicial.

<sup>114</sup> Mi Teleférico 2017.

<sup>115</sup> Fuente: Informe de Justificación de Contratación Directa por Continuidad Tecnológica – Mi Teleférico 2017.



**Tabla 10. Costos asociados con la compatibilidad tecnológica para una línea de cable aéreo con tecnología diferente<sup>116</sup>**

Descripción	Detalle	Costo en USD/Año	Costo en Bs/Año	Cantidad (vida útil)	Costo en USD a 40 años	Costo en Bs a 40 años
Tecnologías de información	Software (Archivos - Almacenes)	200.000	1.392.000	1	200.000	1.392.000
Herramientas especializadas	Herramientas y repuestos	1.500.000	10.440.000	1	1.500.000	10.440.000
Repuestos exclusivos		250.000	1.740.000	40	10.000.000	69.600.000
Lubricantes Exclusivos		250.000	1.740.000	40	10.000.000	69.600.000
Almacenes	Infraestructura	60.000	417.600	1	60.000	417.600
<b>COSTO TOTAL DURANTE LA VIDA ÚTIL DEL SISTEMA</b>					<b>21.760.000</b>	<b>151.449.600</b>

Fuente: Informe de Justificación de Contratación Directa por Continuidad Tecnológica – Mi Teleférico 2017

Los costos por servicios especializados sobre diferentes elementos del sistema y tienen una periodicidad definida para cada caso. Estos servicios deben ser prestados por la empresa que provee el componente electromecánico la línea de cable aéreo y son vitales para la seguridad y confiabilidad del sistema.

En la Tabla 11 se presentan los costos asociados con los servicios especializados, para los cuales el cálculo del costo estimado es realizado considerando la periodicidad de cada una de las actividades y su costo unitario. Según el informe fuente de la información<sup>117</sup>, el valor indicado para el cambio de cable considera únicamente la mano de obra.

Los costos asociados con los protocolos de operación son estimados según las capacitaciones que deben impartirse a los equipos de operación y mantenimiento.

**Tabla 11. Costos asociados con los servicios especializados para una línea de cable aéreo con tecnología diferente<sup>118</sup>**

Descripción	Costo en USD/Año	Costo en Bs/Año	Periodicidad	Costo en USD a 40 años	Costo en Bs a 40 años
Ensayos No Destructivos: 2 partes magnéticas; 1 tintas penetrantes; 1 Análisis vibracional.	1.437	40.000	Cada 5 años	45.977	320.000
Hidráulico	71.839	500.000	Cada 3 años	957.614	6.665.000
Motor híbrido de magnético permanente	71.839	500.000	Cada 5 años	574.712	4.000.000
Variadores	5.028	35.000	Cada 5 años	40.229	280.000

<sup>116</sup> La tasa de cambio utilizada es de 6,96 Bs/\$USD.

<sup>117</sup> Fuente: Informe de Justificación de Contratación Directa por Continuidad Tecnológica – Mi Teleférico 2017.

<sup>118</sup> La tasa de cambio utilizada es de 6,96 Bs/\$USD.



Descripción	Costo en USD/Año	Costo en Bs/Año	Periodicidad	Costo en USD a 40 años	Costo en Bs a 40 años
Controladores	5.029	35.000	Cada 10 años	20.115	140.000
Renovación de empalme de cable	71.839	500.000	Cada 3 años	957.615	6.665.000
Acortamiento de cable	71.839	500.000	Cada 3 años	957.615	6.665.000
Cambio de cable	71.839	500.000	Cada 10 años	287.356	2.000.000
Magneto inductivo del cable	14.368	100.000	Cada año	574.713	4.000.000
<b>COSTO TOTAL DURANTE LA VIDA ÚTIL DEL SISTEMA</b>				<b>4.415.946</b>	<b>30.735.000</b>

Fuente: Informe de Justificación de Contratación Directa por Continuidad Tecnológica – Mi Teleférico 2017

En la Tabla 12 se presentan los costos asociados con los protocolos de operación para una línea con tecnología diferente, considerando que los cursos deben impartirse al inicio de la operación y deben tener una actualización cada 5 años.

**Tabla 12. Costos asociados con los protocolos de operación para una línea de cable aéreo con tecnología diferente<sup>119</sup>**

Descripción	Costo en \$US/Año	Costo en Bs/Año	Periodicidad	Costo en USD a 40 años	Costo en Bs a 40 años
Cursos de operación	10.000	69.600,00	Curso inicial y actualización cada 5 años	80.000	556.800
Curso eléctrico	10.000	69.600,00		80.000	556.800
Curso mecánico	15.000	104.400,00		120.000	835.200
Curso hidráulico	14.000	97.440,00		112.000	779.520
Curso de pinzas desembragables	14.000	97.440,00		112.000	779.520
Curso de gestión del mantenimiento	20.000	139.200,00		160.000	1.113.600
Balancines, regulación de estaciones	20.000	139.200,00		160.000	1.113.600
COSTO TOTAL DURANTE LA VIDA ÚTIL DEL SISTEMA				824.000,00	5.735.040

Fuente: Informe de Justificación de Contratación Directa por Continuidad Tecnológica – Mi Teleférico 2017

Finalmente, los costos asociados al personal calificado se presentan en la Tabla 13, en la cual pueden observarse los cargos y cantidad de personal requerido tanto para la operación como el mantenimiento de la línea de cable aéreo, en una línea de las características de la Línea Plateada.

**Tabla 13. Costos asociados con el personal calificado para una línea de cable aéreo con tecnología diferente<sup>120</sup>**

Descripción	Detalle	Personal requerido	Costo mensual en USD	Costo mensual en Bs	Costo anual en USD	Costo anual en Bs	Costo en USD a 40 años	Costo en Bs a 40 años
Operación	Jefe de línea	1	1.586	11.040	19.034	132.480	942.482	5.299.200
	Supervisor de línea	2	982	6.833	23.562	163.992	2.276.689	6.559.680
	Operador de estación	6	790	5.502	56.917	396.144	2.740.965	15.845.760

<sup>119</sup> Ibidem.

<sup>120</sup> La tasa de cambio utilizada es de 6,96 Bs/\$USD.





Descripción	Detalle	Personal requerido	Costo mensual en USD	Costo mensual en Bs	Costo anual en USD	Costo anual en Bs	Costo en USD a 40 años	Costo en Bs a 40 años
	Auxiliar de operación	9	634	4.416	68.524	476.928	1.758.620	19.077.120
Mantenimiento	Técnicos mecánicos sénior	3	1.221	8.500	43.965	306.000	1.758.620	12.240.000
	Técnicos eléctricos sénior	3	1.221	8.500	43.965	306.000	1.448.275	12.240.000
	Técnicos mecánicos junior	3	1.005	7.000	36.206	252.000	1.931.034	10.080.000
	Técnicos eléctricos junior	4	1.005	7.000	48.275	336.000	620.689	13.440.000
	Supervisor mecánico	1	1.293	9.000	15.517	108.000	620.689	4.320.000
	Supervisor eléctrico	1	1.293	9.000	15.517	108.000	827.586	4.320.000
	Jefe de mantenimiento de línea	1	1.724	12.000	20.689	144.000	942.482	5.760.000
<b>COSTO TOTAL DURANTE LA VIDA ÚTIL DEL SISTEMA</b>							<b>15.868.131</b>	<b>109.181.760</b>

Fuente: Informe de Justificación de Contratación Directa por Continuidad Tecnológica – Mi Teleférico 2017

En la Tabla 14 se presentan los resultados del análisis anterior para los cuatro aspectos considerados. Los costos asociados con la operación y el mantenimiento del sistema de cable aéreo pueden ascender a 297 millones de Bs, lo cual representa 42,69 millones de dólares, es decir, alrededor de un millón de dólares en promedio, por cada año durante toda la vida útil. Considerando que el costo estimado para la construcción del a Línea Plateada es de 54,13 millones de USD<sup>121</sup>, los costos asociados con la operación y el mantenimiento del sistema en un periodo de 40 años, alcanza a ser aproximadamente el 79% del costo de inversión.

**Tabla 14. Costos asociados a la operación y mantenimiento para una tecnología del sistema de cable aéreo diferente<sup>122</sup>**

Tipo de costo	Costo en Bs	Costo en USD
Compatibilidad tecnológica	151.449.600	21.760.000
Servicio especializado	30.735.000	4.415.948
Protocolos de operación	5.735.040	824.000
Personal calificado	109.181.760	15.687.034
<b>TOTAL</b>	<b>297.101.400</b>	<b>42.686.982</b>

Fuente: Elaboración propia con información contenida en el Informe de Justificación de Contratación Directa por Continuidad Tecnológica – Mi Teleférico 2017

En el ejercicio propuesta por Mi Teleférico, se considera que el ahorro es el 100% de estos costos. Se propone a continuación un ejercicio de argumentación de cuántos de estos costos son verdaderamente ahorros y porqué.

<sup>121</sup> Fuente: Informe de justificación de tecnología – proyecto “Diseño, construcción y puesta en marcha del sistema de transporte por cable (teleférico) en la ciudad de El Alto – Línea Plateada”

<sup>122</sup> La tasa de cambio utilizada es de 6,96 Bs/\$USD.



## 5.4.2 Costos de operación asociados a una línea con la misma tecnología

Se ha hecho una revisión por cada ítem de los costos que deberían ser asumidos en caso de que la línea de cable aéreo tenga una tecnología igual, y bajo este escenario, se estima un orden de magnitud del ahorro por esta condición.

Las estimaciones de costos son realizadas a partir del análisis expuesto en el punto anterior y consideran el escenario de 9 líneas de cables aéreos con una misma tecnología y una bajo análisis. Lo anterior resulta importante dado que la Red de Integración Metropolitana (RIM) proyecta la construcción de 19 líneas de cable aéreo en total<sup>123</sup>, lo cual debe ser considerado para un análisis similar al que se hace ahora, bajo escenarios futuros.

### a) Compatibilidad tecnológica.

En la Tabla 15 se presentan los resultados del análisis realizado para los costos asociados a la compatibilidad tecnológica, el cual consideró los criterios descritos a continuación.

- *Tecnologías de información*
  - El software para la administración de los almacenes y gestión de los repuestos, adquirido para las primeras líneas sería utilizado para esta línea.
  - Esta inversión, única al momento de implementar la línea de cable aéreo, no sería requerida en el caso de que se seleccione la misma tecnología de las primeras líneas.
- *Herramientas especializadas*
  - Las herramientas especializadas adquiridas para las primeras líneas serían utilizadas para esta línea.
  - Esta inversión, única al momento de implementar la línea de cable aéreo, no sería requerida en el caso de que se seleccione la misma tecnología de las primeras líneas.
- *Repuestos exclusivos*
  - Dado que los repuestos son suministrados por la misma empresa que provee el componente electromecánico del sistema de cable aéreo, siendo necesario para ellos los mismos procesos de importación, transporte y seguros que requiere todo el componente

<sup>123</sup> 3 líneas de la primera fase, 6 de la segunda fase, la línea plateada y nueve proyectadas.



electromecánico. Estos procesos hacen que hayan largos periodos de tiempo entre la contratación para el suministro de los repuestos y su disponibilidad en el almacén, siendo importante mantener un inventario suficiente que garantice la operación continua del sistema.

- El stock de repuestos es necesario para el cambio de elementos que por condiciones atípicas de operación o factores externos resultan dañados de manera irreversible.
- También deben ser remplazados aquellos elementos que en condiciones típicas de operación agotan su vida útil.
- Bajo los criterios anteriores, en el caso de los elementos averiados de manera irreversible puede considerarse un stock común con los requeridos por las líneas ya implementadas. Se estima que los repuestos requeridos para la operación de una línea de cable aéreo de igual tecnología que las anteriores, puede ser alrededor del 60% de los requeridos para una de tecnología diferente.

- *Lubricantes Exclusivos*

- Los lubricantes son usados con una periodicidad establecida según la intensidad de la operación, por lo cual para una tecnología de cable aéreo igual o diferente, son un elemento que es requerido en cantidades similares.
- Se estima que el costo de los lubricantes exclusivos es igual en ambos casos de igual o diferente tecnología.

- *Almacenes*

- Los almacenes adquiridos para las primeras líneas serían utilizados para esta línea.
- Esta inversión, única al momento de implementar la línea de cable aéreo, no sería requerida en el caso de que se seleccione la misma tecnología de las primeras líneas.



**Tabla 15. Análisis de costos por compatibilidad tecnológica asumidos para una línea de cable aéreo con tecnología igual<sup>124</sup>**

Descripción	Costo con tecnología diferente en USD	Costo con tecnología diferente en Bs	% de costo asumido	Costo con tecnología igual en USD	Costo con tecnología igual en Bs
Tecnologías de información	200.000	1.392.000	0,0%	0	0
Herramientas especializadas	1.500.000	10.440.000	0,0%	0	0
Repuestos exclusivos	10.000.000	69.600.000	60,0%	6.000.000	41.760.000
Lubricantes Exclusivos	10.000.000	69.600.000	100,0%	10.000.000	69.600.000
Almacenes	60.000	417.600	0,0%	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>21.760.000</b>	<b>151.449.600</b>	<b>N/A</b>	<b>16.000.000</b>	<b>111.360.000</b>

Fuente: Elaboración propia

b) Servicios especializados.

Los servicios especializados analizados, además de ser prestados por la misma empresa que construye la línea de cable aéreo, son actividades que dan garantía de la confiabilidad y seguridad del sistema de cable aéreo.

En ese sentido, sin importar si la tecnología de la línea de cable aéreo es igual o diferente a la de las primeras, se considera que todos los servicios tenidos en cuenta en el análisis del punto anterior deberán ser realizados con la misma periodicidad en ambos casos de igual o diferente tecnología. Por esta razón, el costo asociado a los servicios especializados de ambos escenarios es el mismo.

c) Protocolos de operación.

Siendo estos costos asociados a las capacitaciones del personal de operación y mantenimiento del sistema de cable aéreo, se considera que al replicar la tecnología de las primeras líneas, las capacitaciones propuestas en el análisis de costos con tecnología diferente no son requeridas en su totalidad.

En ese sentido, teniendo en cuenta la periodicidad propuesta para los cursos, los momentos de entrada en operación de las líneas de la primera y segunda fase y el plazo proyectado para la operación de la línea plateada, se considera que sólo sería necesario asumir el costo de uno de los cursos de actualización en los últimos años de vida útil del sistema. En la Tabla 16 se presentan los resultados del análisis realizado.

**Tabla 16. Análisis de costos por protocolos de operación asumidos para una línea de cable aéreo con tecnología igual<sup>125</sup>**

Descripción	Costo con	Costo con	% de	Costo con	Costo con
-------------	-----------	-----------	------	-----------	-----------

<sup>124</sup> La tasa de cambio utilizada es de 6,96 Bs/\$USD.

<sup>125</sup> La tasa de cambio utilizada es de 6,96 Bs/\$USD.



	tecnología diferente en USD	tecnología diferente en Bs	costo asumido	tecnología igual en USD	tecnología igual en Bs
Cursos de operación	80.000	556.800	12,5%	10.000	69.600
Curso eléctrico	80.000	556.800	12,5%	10.000	69.600
Curso mecánico	120.000	835.200	12,5%	15.000	104.400
Curso hidráulico	112.000	779.520	12,5%	14.000	97.440
Curso de pinzas desembragables	112.000	779.520	12,5%	14.000	97.440
Curso de gestión del mantenimiento	160.000	1.113.600	12,5%	20.000	139.200
Balancines, regulación de estaciones	160.000	1.113.600	12,5%	20.000	139.200
<b>TOTAL</b>	<b>824.000</b>	<b>5.735.040</b>	<b>N/A</b>	<b>103.000</b>	<b>716.880</b>

Fuente: Elaboración propia

d) Personal calificado.

Para una línea de cable con igual o diferente tecnología de las primeras líneas, se requiere para la operación y mantenimiento del sistema de personal debidamente capacitado y con cargos, perfiles y funciones específicas. Sin embargo, para algunos de los cargos requeridos en ambas áreas, el personal puede rotar y generar mayores eficiencias en el uso del recurso humano. Dicho de otra manera, si para una línea de cable aéreo con tecnología diferente a la de las primeras líneas se requiere del personal presentado en el análisis anterior, en el caso de usar la misma tecnología, el personal requerido para algunas funciones puede rotar con el personal de las demás líneas, con lo cual la cantidad de puestos por perfil es menor. En la Tabla 17 se presentan los costos de personal en ambos escenarios (con diferente e igual tecnología), siendo el segundo una estimación de la cantidad de puestos que deberían incrementarse a los equipos operativos y técnicos de la entidad que administra y gestiona el sistema, si se implementa la Línea Plateada con la misma tecnología de las primeras líneas en operación y construcción.

**Tabla 17. Análisis de costos por protocolos de operación asumidos para una línea de cable aéreo con tecnología igual<sup>126</sup>**

Área	Cargo	Personal con tecnología diferente	Costo con tecnología diferente en USD	Costo con tecnología diferente en Bs	Personal con tecnología igual	Costo con tecnología igual en USD	Costo con tecnología igual en Bs
Operación	Jefe de línea	1	942.482	5.299.200	1	761.379	5.299.200
	Supervisor de línea	2	2.276.689	6.559.680	2	942.482	6.559.680
	Operador de estación	6	2.740.965	15.845.760	4	1.517.793	10.563.840
	Auxiliar de operación	9	1.758.620	19.077.120	6	1.827.310	12.718.080
Mantenimiento	Técnicos mecánicos sénior	3	1.758.620	12.240.000	1	586.206	4.080.000

<sup>126</sup> La tasa de cambio utilizada es de 6,96 Bs/\$USD.





Área	Cargo	Personal con tecnología diferente	Costo con tecnología diferente en USD	Costo con tecnología diferente en Bs	Personal con tecnología igual	Costo con tecnología igual en USD	Costo con tecnología igual en Bs
	Técnicos eléctricos sénior	3	1.448.275	12.240.000	1	586.206	4.080.000
	Técnicos mecánicos junior	3	1.931.034	10.080.000	2	965.517	6.720.000
	Técnicos eléctricos junior	4	620.689	13.440.000	2	965.517	6.720.000
	Supervisor mecánico	1	620.689	4.320.000	0	0	0
	Supervisor eléctrico	1	827.586	4.320.000	0	0	0
	Jefe de mantenimiento de línea	1	942.482	5.760.000	0	0	0
<b>TOTAL</b>		<b>34</b>	<b>15.687.034</b>	<b>109.181.760,00</b>	<b>19</b>	<b>8.152.413</b>	<b>56.740.800,00</b>

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 18 se presentan los resultados de los análisis realizados en los literales a), b), c) y d) anteriores. El costo de operación y mantenimiento estimado para los 40 años de vida útil del sistema, bajo el escenario de construir la Línea Plateada con la misma tecnología es de casi 200 millones de Bs, lo cual representa 28,67 millones de USD. Considerando que el costo estimado para la construcción del a Línea Plateada es de 54,13 millones de USD<sup>127</sup>, los costos asociados con la operación y el mantenimiento del sistema en un periodo de 40 años, es aproximadamente el 53% del costo de inversión, en todo caso menor al 79% estimado en el escenario de seleccionar una tecnología diferente.

**Tabla 18. Comparación de costos de operación y mantenimiento en 40 años de vida útil de los sistemas bajo los dos escenarios analizados**<sup>128</sup>

Tipo de costo	Costo con tecnología diferente en USD	Costo con tecnología diferente en Bs	Costo con tecnología igual en USD	Costo con tecnología igual en Bs
Compatibilidad tecnológica	21.760.000	151.449.600	16.000.000	111.360.000
Servicio especializado	4.415.948	30.735.000	4.415.948	30.735.000
Protocolos de operación	824.000	5.735.040	103.000	716.880
Personal calificado	15.687.034	109.181.760	8.152.413	56.740.800
<b>TOTAL</b>	<b>42.686.982</b>	<b>297.101.400</b>	<b>28.671.362</b>	<b>199.552.680</b>

Fuente: Elaboración propia

<sup>127</sup> Fuente: Informe de justificación de tecnología – proyecto “Diseño, construcción y puesta en marcha del sistema de transporte por cable (teleférico) en la ciudad de El Alto – Línea Plateada”

<sup>128</sup> La tasa de cambio utilizada es de 6,96 Bs/\$USD.



### 5.4.3 Ahorro estimado para una línea con la misma tecnología

Tomando como base los resultados de los análisis ya descritos, en la Tabla 19 se presentan en función del ahorro percibido en la operación y mantenimiento de la línea de cable aéreo bajo el escenario de homogeneidad tecnológica. Se estima que el ahorro en mención estaría alrededor de los 97 millones de Bs, lo cual representa aproximadamente 14 millones de dólares, es decir, alrededor de 350 mil dólares en promedio, por cada año de vida útil.

**Tabla 19. Estimación del ahorro en el escenario de mantener homogeneidad tecnológica<sup>129</sup>**

Tipo de costo	Costo en Bs	Costo en \$US
Compatibilidad tecnológica	40.089.600	5.760.000
Servicio especializado	-	-
Protocolos de operación	5.018.160	721.000
Personal calificado	52.440.960	7.534.620
<b>TOTAL</b>	<b>97.548.720</b>	<b>14.015.620</b>

*Fuente: Elaboración propia*

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La Paz y El Alto son dos ciudades independientes con una alta interacción entre sí, al punto de mantener entre ellas una conurbación casi continua, lo cual permite que en conjunto sean consideradas como una de los más importantes asentamientos urbanos de Bolivia. Esta característica, sumada a una topografía agreste, la malla vial deficiente, una alta demanda de usuarios de transporte público (entre ambas y al interior de cada una), un sistema de transporte desordenado, los vehículos de transporte público con capacidades bajas, entre otros factores; llevaron a las entidades gubernamentales (locales y estatales) a buscar el mejoramiento de la movilidad a través de proyectos como el teleférico, el Pumakatari y el Wayna Bus (antes llamado Sariri).

Los sistemas de cable aéreo aplicados para el transporte urbano son una buena alternativa para superar barreras geográficas y condiciones complejas de movilidad como las que se tienen en muchos sectores de La Paz y El Alto. Siendo importante resaltar, que el escenario deseable para ambas ciudades es el diseño de un sistema de transporte público con integración operativa y tarifaria entre los diferentes medios existentes (buses y teleféricos), permitiendo que los usuarios pasen fácilmente y sin costos excesivos, de las líneas de cable aéreo a un sistema de transporte masivo con rutas jerarquizadas y una operación regulada y controlada. Las líneas de Teleférico, rutas de Pumakatari y rutas del Wayna Bus empezaron a operar desde el año 2014, habiendo actualmente ejercicios de

<sup>129</sup> Se usa la misma tasa utilizada es de 6.96 Bs/\$USD.



integración operativa a través de paradas de las rutas de buses en las estaciones de las líneas de cable aéreo.

Al igual que en otras experiencias internacionales, las líneas de Mi Teleférico han generado múltiples beneficios a la población de los sectores en los cuales tiene cobertura, entre los cuales se pueden incluir ahorros en tiempos de viaje, gran reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), mejoramiento urbano, entre muchos otros. Estos beneficios también evidenciados a nivel Latinoamérica y el mundo, han llevado a que este tipo de sistemas sea cada vez una mejor alternativa para que, de forma integrada con otros modos de transporte, solucionen problemas de movilidad y mejoren las condiciones de poblaciones urbanas en sectores de difícil acceso para rutas de buses.

El sistema de líneas de cable aéreo MI Teleférico tiene actualmente 4 líneas en operación, 5 más en construcción y la proyección otras tantas para conformar una la Red de Integración Metropolitana (RIM), que desde ya, es la red de líneas de teleférico de mayor longitud en el mundo. Las 4 líneas en operación y las 5 en construcción hacen parte de las dos primeras fases del proyecto, para las cuales se han suscrito dos contratos con la misma empresa, de tal forma que las 9 líneas tienen la misma tecnología.

La continuidad del proyecto es planeada con la Línea Plateada, la cual se integra con las líneas Amarilla, Morada, Roja y Azul, en un recorrido de aproximadamente 2,61 Km con 3 estaciones. Para su implantación se ha realizado un análisis con el propósito de establecer si es conveniente mantener para esta línea la misma tecnología de las primeras o considerar un proveedor de sistemas de cable aéreo diferente. El análisis propuesto fue enfocado desde el punto de vista operativo y de mantenimiento, puesto que los costos de inversión deben considerar múltiples características propias de cada sistema de cable que hacen que el diseño de cada línea sea diferente y difícilmente comparable con otras.

Uno de los aspectos principales encontrados es que en el caso de implementar una línea con tecnología diferente a la de las líneas en operación y construcción, se haría necesario separar los stocks de repuestos y el personal de operación y mantenimiento para una tecnología y la otra, generando sobrecostos por mayores requerimientos en los inventarios y debiendo capacitar grupos diferentes de personal para la operación y el mantenimiento de cada tecnología de cable aéreo. Adicionalmente algunas de las inversiones iniciales en software y construcción de almacenes podrían ser innecesarias si la tecnología de la nueva línea de cable aéreo es igual a la de las anteriores.

Complementariamente, dado que el sistema completo de cable aéreo ha sido planeado para una implementación por fases, la transferencia de conocimiento que debe ofrecer el proveedor de una misma tecnología se hará cada vez menos costosa, en la medida en que el sistema crece, gracias a que el personal capacitado y especializado, aumentará con cada nueva línea implementada y podrá hacer parte del entrenamiento del nuevo personal.



Los costos asociados a la operación y mantenimiento de la Línea Plateada durante un periodo de 40 años ascienden a un 79% del costo de inversión estimado para ella, en el caso de ser implantada con una tecnología diferente a la de las primeras líneas. Para un escenario en el que se mantiene la homogeneidad tecnológica con las demás líneas, los costos de operación y mantenimiento son de aproximadamente el 53% del mismo costo de inversión estimado para la Línea Plateada. El orden de magnitud del ahorro que puede generar mantener una misma tecnología de cable aéreo al implantar la nueva línea es de 14 millones de USD en un periodo de 40 años, es decir, un promedio aproximado de 350 mil USD al año.

Con estas premisas, salvo por incumplimientos, problemáticas o dificultades delicadas con el proveedor, es recomendable que la Línea Plateada replique la tecnología con la que cuentan las primeras dos fases del sistema, manteniendo una **gestión operativa y administrativa centralizada y única**. De esta forma se contará con protocolos de operación unificados y un único equipo de personal capacitado y calificado para operar todo el sistema y dar soluciones integradas a las contingencias que se presenten.