

TELEFÉRICOS MINEROS, UN PATRIMONIO OLVIDADO: DESDE SUS ORÍGENES HASTA FINALES DEL SIGLO XIX

Mining ropeways, a forgotten heritage: from their origins to the late 19th century

Enrique Orche¹ y Pilar Orche²

¹Valencia 7, Vigo (Pontevedra). eorche@gmail.com

²Junta de Andalucía, Sevilla. mariap.orche@juntadeandalucia.es

RESUMEN

El presente artículo describe la evolución de los teleféricos, con especial énfasis de los mineros, desde sus orígenes hasta finales del siglo XIX, momento en el que alcanzaron un gran desarrollo tecnológico. Estas instalaciones tuvieron una gran importancia pues hicieron posible la explotación de minas situadas en lugares inaccesibles por otros medios de transporte, abaratando el traslado de los minerales a niveles que los hicieron competitivos en los mercados mundiales. Las referencias históricas muestran que los fundamentos conceptuales de los teleféricos no han variado demasiado desde sus primeros diseños, manteniéndose los principios de funcionamiento, aunque adaptados al desarrollo tecnológico de la industria vigente, especialmente, a finales del siglo XIX.

PALABRAS CLAVE: Bicable, industria, minería, monocable, teleférico.

ABSTRACT

This article describes the evolution of ropeways, with special emphasis on mining systems, from their origins to the end of the nineteenth century, when they became very advanced from a technological point of view. These facilities were extremely important because they made it possible to open mines in areas that were inaccessible to other means of transport; thus, lowering transport costs to levels that made the mines competitive on world markets. Historical references show that the conceptual foundations of cable cars have not changed much since their original designs. The principles governing their operation have been preserved, although adapted to the technological developments in each period, especially towards the end of the 19th century.

KEY WORDS: Bicable, industry, mining, monocable, ropeway.

Recibido: 7 de junio, 2016 • Aceptado: 12 de julio, 2016

INTRODUCCIÓN

El transporte por cable es un medio, a veces el único, para trasladar personas y mercancías en situaciones que implican recorridos pequeños, desniveles que pueden ser importantes y orografía abrupta y complicada. En ciertos lugares de gran belleza, este tipo de transporte puede ser un atractivo turístico en sí mismo al trasladar al viajero por grandes vanos aéreos hasta cimas que, sin él, solo estarían al alcance de alpinistas. Otras veces son im-

prescindibles como complemento deportivo, por ejemplo, en los remontes de las estaciones de esquí.

El transporte por cable es independiente de los sistemas y medios clásicos como la carretera, el ferrocarril, los aviones y barcos, etc.; su importancia en el conjunto es reducida, a pesar de lo cual se encuentra en un proceso de evolución tecnológica rápido y constante.

Aunque en su etapa moderna inicial, mediado el siglo XIX, el propósito del transporte por cable era el desplazamiento de material industrial, especialmente de tipo

minero, en el primer tercio del siglo XX una buena parte de las instalaciones se destinaron a llevar personas con fines turísticos no deportivos, principalmente el acceso a bellos parajes de montaña hasta entonces inaccesibles. En contraste, hasta mediados de dicho siglo también se construyeron muchas instalaciones con fines militares. Desde los años 1950 en adelante, el transporte con cable se ha empleado en gran medida para el traslado de personas, fundamentalmente esquiadores en las estaciones invernales, así como para acercar a viajeros a ciertos destinos turísticos con atractivos valores naturales, o a vistas panorámicas de ciudades o grandes exposiciones e, incluso, como transporte público, bien urbano, bien laboral o de servicios (Orro *et al.*, 2003, 5).

Los teleféricos utilizados en minería han hecho posible la explotación de yacimientos situados en lugares aislados, abruptos, de difícil acceso por los medios de transporte convencionales. La razón es que han permitido, por una parte, mantenerlos comunicados de forma permanente y, por otra, han abaratado los costes de transporte del mineral hasta los lugares de tratamiento o de embarque. Sin la utilización de los cables aéreos, la viabilidad técnica y económica de muchas explotaciones mineras se habría visto seriamente comprometida. La mayor parte de las líneas fueron construidas con acero altamente resistente por lo que, una vez terminada la vida útil de la mina, si los tendidos no se han retirado para venderlos como chatarra, quedan como relictos, constituyendo patrimonio minero, degradado en mayor o menor medida, que testimonia un pasado minero activo.

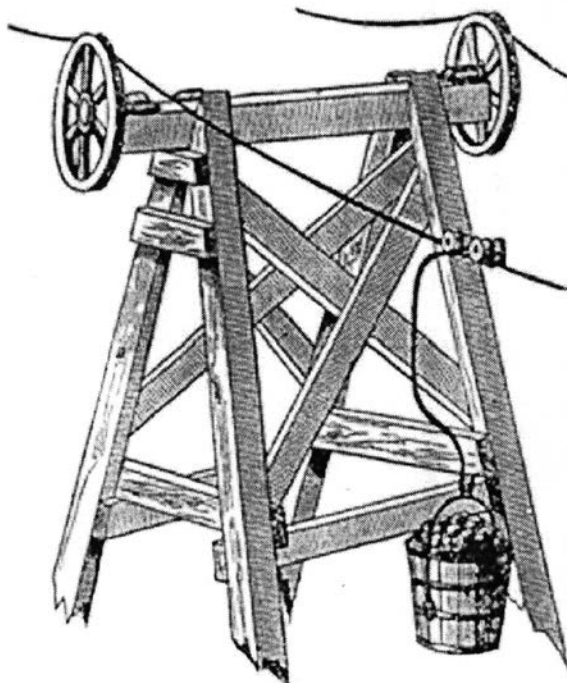


Figura 1. Monocable con torre de madera (Barinaga, 1881, 101 modificada).

Figure 1. Single cable car with a wooden tower (Barinaga, 1881, 101 amended).

DEFINICIONES

En la literatura técnica anglosajona y española existe un cierto confusiónismo en la terminología del transporte por cable; a los efectos de este trabajo, se asume la definición dada por Orro *et al.*, para quienes estas instalaciones son aquellas *en las que se emplean cables metálicos, situados a lo largo del recorrido efectuado, bien para constituir la vía de circulación de los vehículos, bien para transmitir a los mismos un esfuerzo motor o frenante* (Orro *et al.*, 2003, 9). De esta definición se excluyen los ascensores, los tranvías eléctricos y las embarcaciones accionadas por cable.

Por otra parte, 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, define este tipo de transporte y los tres grandes grupos en que puede dividirse, que son (DOCE, 2000, 23-24):

- a) *Los funiculares y otras instalaciones cuyos vehículos se desplazan sobre ruedas u otros dispositivos de sustentación y mediante tracción de uno o más cables.*
- b) *Los teleféricos, cuyos vehículos son desplazados y/o movidos en suspensión por uno o más cables; esta categoría incluye igualmente los telecabinas y los telesillas.*
- c) *Los telesquíes, que, mediante un cable, tiran de los usuarios pertrechados de equipos adecuados.*

Al respecto cabe señalar que el transporte minero que se considera en este trabajo se engloba en los denominados teleféricos, término genérico que comprende los distintos subtipos existentes. Como la vía de circulación es uno o más cables situados en el aire, por afinidad con la literatura del siglo pasado, en este trabajo se le designa también cable aéreo.

Los principales tipos de cables que se emplean en los teleféricos son (Orro *et al.*, 2003, 12):

- Cable portante: constituye la vía por la que circulan los carretones que sostienen las vagonetas y soportan su carga. Se denomina también cable carril o cable portador.
- Cable tractor: transmite la fuerza para el movimiento de las vagonetas. A él van sujetas mediante mordazas. Se le conoce también como cable de tracción.
- Cable transportador: soporta la carga y transmite el movimiento. Se le designa a veces como cable portador-tractor.

El uso de estos tipos de cables permite dividir los teleféricos mineros en dos grandes grupos:

- Teleférico monocable: es aquel en el que el cable transportador realiza las funciones de cable portante y tractor. Las vagonetas se conectan al cable mediante mordazas de forma permanente o temporal (Fig. 1).

- Teleférico bicable: es el que tiene un cable portante sobre el que rueda el carretón de la vagoneta, que es propulsada por un cable tractor al que va agarrada. El termino bicable no se refiere al número de cables presentes sino a las dos funciones que desempeñan, sustentadora y tractora (Figs. 2 y 3).

El movimiento de los teleféricos mineros es unidireccional o circulante, es decir, que la dirección del movimiento nunca cambia en situaciones normales. El movimiento es continuo: el del cable tractor o, en su caso, del transportador, se realiza a velocidad constante. Los baldes pueden estar unidos al cable tractor de forma permanente o temporal, acoplándose o desacoplándose durante las operaciones. En el primer caso la unión se mantiene tanto cuando las vagonetas están circulando como cuando están en las estaciones. Se les conoce como de *pinza fija*. Una parte de los teleféricos mineros antiguos tipo monocable eran de esta clase. En las uniones temporales, la conexión/desconexión de la vagoneta al cable se realiza a la salida/entrada de las estaciones; por eso se denominan instalaciones de *pinza desembragable*. La conexión temporal, en minería, suele realizarse directamente sobre el cable de tracción/transportador (instalaciones de *cierre automático*). Los sistemas bicable pertenecen a este grupo.

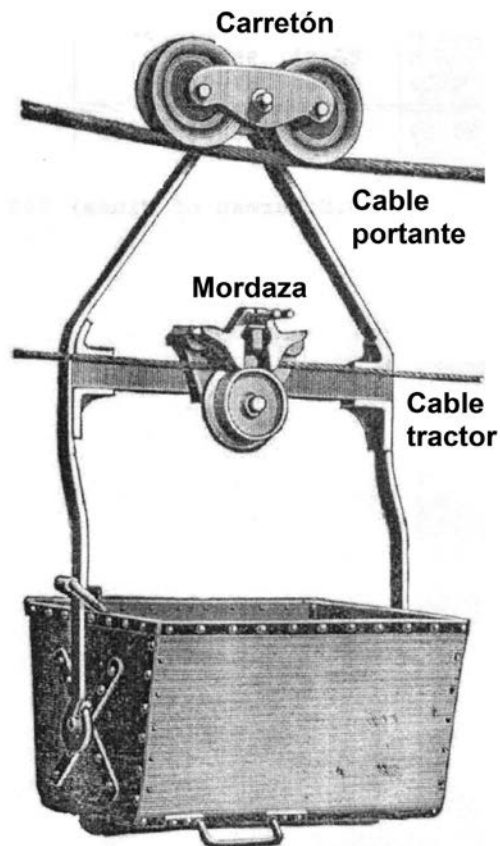


Figura 2. Vagoneta sistema bicable (Crook et al., 2015, 10, modificada).

Figure 2. Double cable system (Crook et al., 2015, 10, amended).

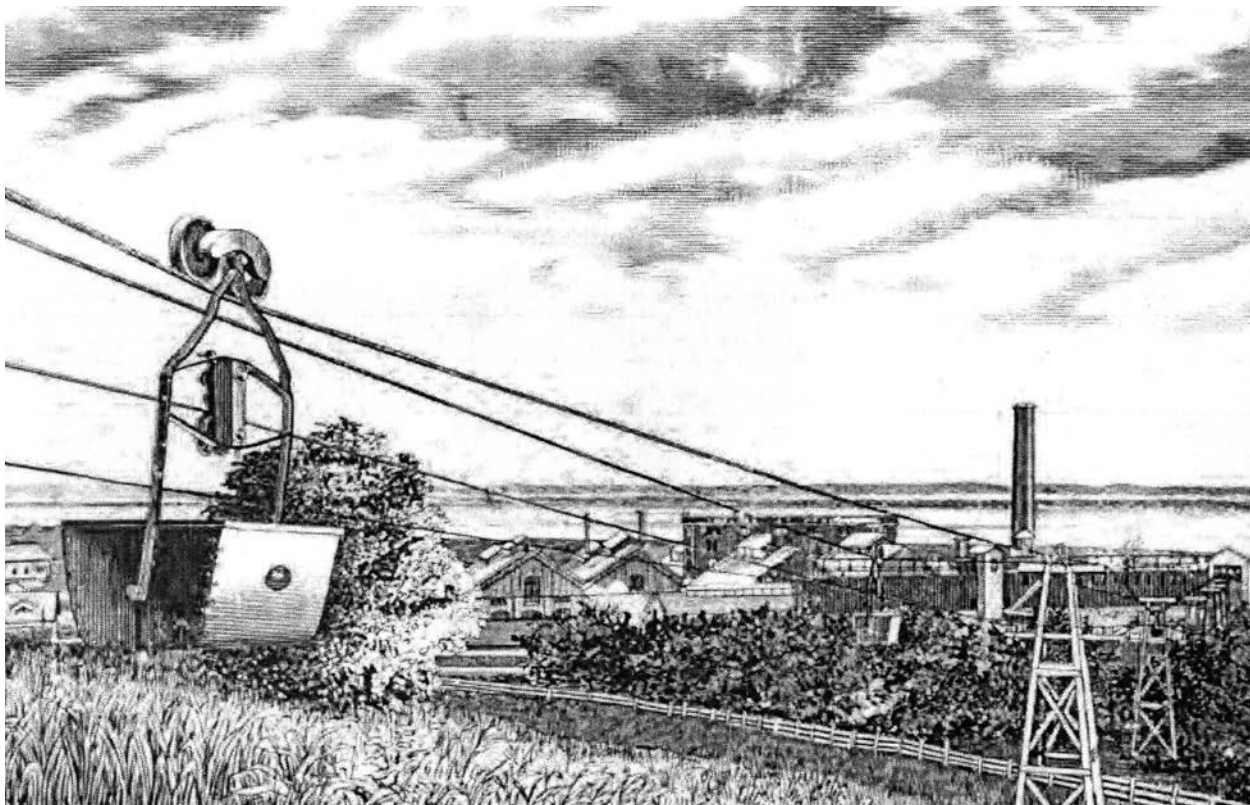


Figura 3. Línea bicable con torres metálicas (The Trenton Iron Company, 1896, 16, modificada).

Figure 3. Double cable system with metal towers (The Trenton Iron Company, 1896, 16, amended).

CARACTERÍSTICA CONSIDERADA	MEDIDA	CABLE AÉREO/PAÍS
Más largo en el tiempo de su construcción y años en funcionamiento	35 km	1906-1927 Chilecito-La Mejicana (Argentina)
	96 km	1943-1987 Kristineberg-Boliden (Suecia)
Más largo en operación actualmente	42 km	Forsby-Köping (Suecia)
Mayor desnivel	3.334 m	Entre 1.078 y 4.412 m. Chilecito-La Mejicana (Argentina)
Estación a más altitud	5.874 msnm	Aucanquilcha (Chile)

Tabla 1. Records de cables aéreos mineros (Elaboración propia)

La gran variabilidad de trabajos y ambientes en donde han operado los teleféricos mineros se demuestra en las extraordinarias características que ostentan algunos de ellos, que funcionan o han funcionado en condiciones límite, imposibles para otros sistemas. La Tabla 1 muestra una selección de estos teleféricos sobresalientes, algunos de ellos mantenidos desde hace muchas décadas.

LOS PRIMEROS CABLES AÉREOS

Desde la más remota antigüedad el hombre buscó cómo atravesar las dificultades orográficas, típicamente barrancos y ríos, con el mínimo peligro para su integridad y la de sus mercancías y pertenencias. Parece ser que las primeras noticias del uso de cuerdas tendidas de un punto a otro de estos obstáculos naturales con objeto de atravesarlos colgados de ellas datan de países montañosos como China, India y Japón desde el 250 a.C. Una referencia posterior relata como un emperador japonés,

en el siglo XIV, escapó en de sus enemigos utilizando un cesto suspendido de una cuerda que le permitió cruzar una profunda garganta, según se aprecia en la Figura 4 (The Elevator Museum).

Estos pasos difíciles se salvaban, asimismo, utilizando un arnés que la persona se ajustaba a la cintura. Un ojal o un nudo de cuerda del propio arnés, por cuyo interior se pasaba la cuerda guía que unía las dos orillas, permitía que deslizara sobre ella. Para ello, la persona tiraba directamente de la cuerda descargando su peso sobre el arnés (Fig. 5). Si las orillas estaban a distinta altitud, el transporte hacia la inferior se favorecía por la acción de la gravedad.

Otro montaje utilizado en la antigua China sustituía el arnés por un cesto dentro del cual se colocaba el viajero, sentado o tumbado. El cesto llevaba dos ojales o lazos en sus extremos unidos por una pieza hueca de bambú, por dentro de la cual se pasaba la cuerda guía que unía las orillas, de la que colgaba. Otras dos cuerdas más finas

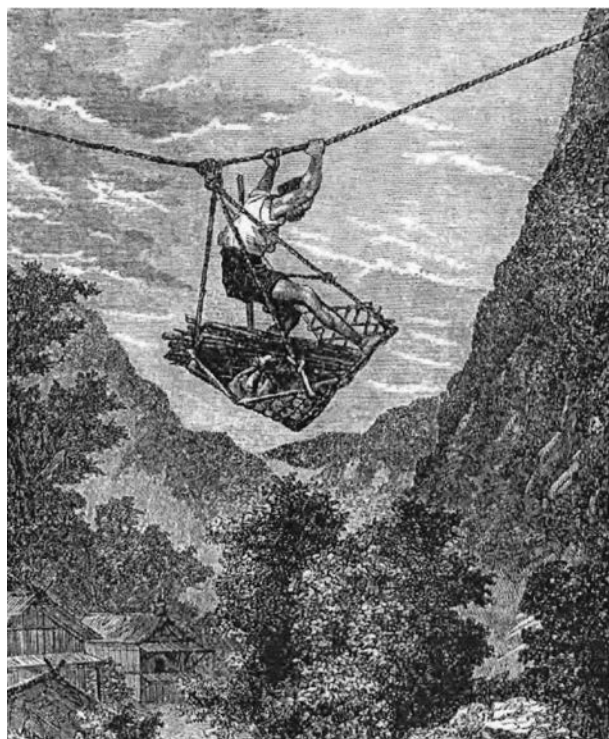
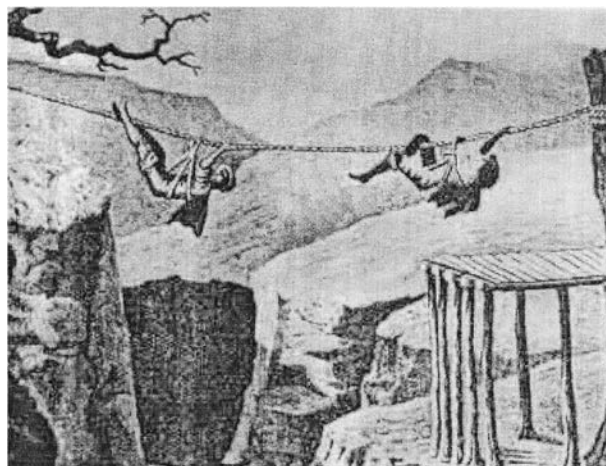


Figura 4. Cruce de un barranco sobre un cesto (Dieterich, 1908, 12, modificada).

Figure 4. Crossing a ravine in a basket (Dieterich, 1908, 12, amended).

Figura 5. Utilización de arneses para salvar un barranco (The Elevator Museum, modificada).

Figure 5. Use of harnesses to cross a ravine (The Elevator Museum, amended).



atadas a cada extremo del cesto y unidas a cada una de las orillas permitían trasladar el cesto cuando una o varias personas tiraban de ellas desde la orilla a la que se quería llegar. Esta especie de tirolina era, en realidad, era un sistema bicable rudimentario (Fig. 6).

Para algunos autores la primera noticia europea del uso de cables aéreos data del tratado *Belli fortis* (fortificaciones para la guerra) escrita en latín en Praga por Konrad Kyesr, entre 1402 y 1405. La figura 7 muestra el artilugio citado, que más bien parece guiar los caballos que transportarlos.

Seis años después se encuentra ya la primera representación gráfica en un libro de un cable aéreo propiamente dicho; se trata de un dibujo de Johan Hartlieb (Hotdog, 2009) que data de 1411, en el que una cesta se traslada a los bajos de un castillo por medio de una cuerda movida a mano con una polea (Figura 8). Algo posterior (Hotdog, 2009) es otra imagen debida a Marianus Jacobus Taccola (1440), en la que un mecanismo tirado por un buey traslada una bombardarda de un lado a otro de un barranco (Fig. 9).

En Sudamérica el cable aéreo se usó para transportar oro desde 1536 entre Santander y Mérida, en la actual



Figura 6. Traslado de personas en un cesto (Dieterich, 1908, 14, modificada).

Figure 6. Transporting people in a basket (Dieterich, 1908, 14, amended).

Colombia; una variante que ha llegado a nuestros días, denominada oroya o tarabita, fue ampliamente utilizada por indios y españoles a partir del siglo XVI para atravesar



Figura 7. Artilugio de Kyesr en *Belli fortis* (Kyesr, 1405, 236, modificada).

Figure 7. Kyesr device in *Belli fortis* (Kyesr, 1405, 236, amended).

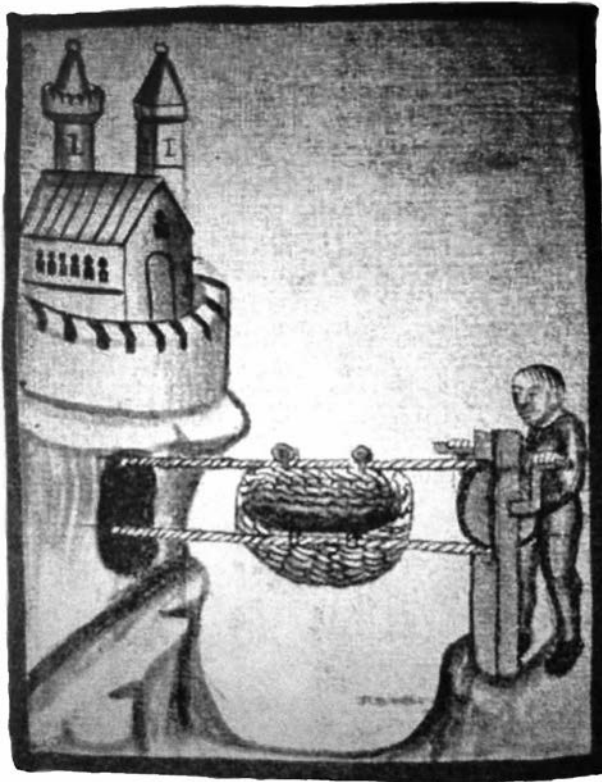


Figura 8. Sistema de Johan Hartlieb (1411) (Hotdog, 2009, modificada).
 Figure 8. Johan Hartlieb's system (1411) (Hotdog, 2009, amended).

ríos y barrancos cuando no existían puentes. Mediante este artilugio podían salvarse estos espacios problemáticos con relativa facilidad y seguridad (Fig. 10). Consistía en un cable fijo en el que había uno o dos anillos de madera de los que se colgaba un arnés para sujetar la

carga o el dispositivo para alojar a las personas. La carga era movida desde las orillas mediante una segunda cuerda, por lo que se puede considerar un sistema bicable manual similar a los comentados anteriormente.

Un dispositivo parecido se utilizaba en Europa. En 1616, un dibujo del veneciano (o dalmata) Fausto Veranzio contenido en su obra *Machinae Novae* muestra un cable aéreo para el traslado de personas (Fig. 11). Consistía en un cajón de madera en el que se sentaban los pasajeros, que era movido sobre una cuerda fija arrastrado por medio de una segunda cuerda movida por los propios viajeros.

Años después, en 1644, entró en servicio un monocable construido por el holandés Adam Wybe para llevar tierra con la que construir un fuerte en lo alto de un cerro en Gdansk (Polonia). Se le conoce como máquina de Dantzig. En la figura 12 se aprecia un esquema general de la instalación mientras que en la figura 13 se ha representado una vista más próxima al castillo en construcción, que se encuentra a la derecha del grabado. El teleférico consistía en un lazo de cuerda construida con cáñamo que se movía continuamente arrastrando unos cestos en los que se colocaba el material a transportar a la obra. Un sistema similar fue descrito por Robert Southwell en 1692; otro fue construido en el siglo XVII durante los trabajos de fortificación de Moscú (Rusia).

A mediados del siglo XVII el cartógrafo francés Nicolás Sanson d'Abbeville construyó un transportador aéreo en Guregra, en el norte de África, que unía dos peñascos situados en un río, a una altura de 243 m, mediante un sistema accionado a mano del que colgaba una cesta en la cabían hasta diez personas. Entre 1650 y 1850 no hubo un apreciable progreso en la tecnología de los cables

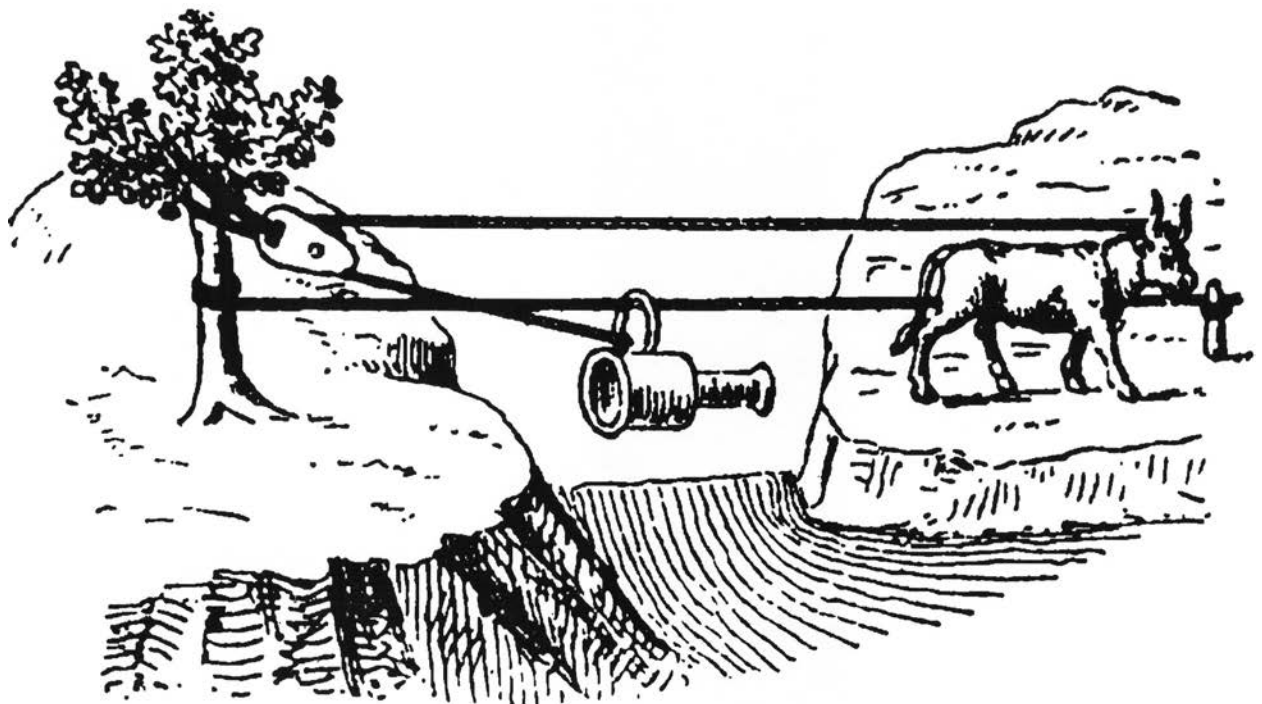


Figura 9. Sistema de Marianus Jacobus (1440) (Dieterich, 1908, 17, modificada).
 Figure 9. Marianus Jacobus' system (1440) (Dieterich, 1908, 17, amended).

aéreos debido, fundamentalmente, a la limitación impuesta por la resistencia de las cuerdas. La situación cambió drásticamente con la fabricación de los cables de alambre de acero a mediados del siglo XIX. Las décadas posteriores constituyeron la etapa de mayor esplendor del transporte mediante cable aéreo en la historia, que se aprovechó de la aparición de motores eléctricos y de vapor y del diseño de los dispositivos de acoplamiento y desacoplamiento a voluntad de las vagonetas al cable (Decker, 201; Hoffmann y Zrnic, 2012, 382-388; Miravete y Larrodé, 2004, 21; Samset, 1985, 23-30; The Elevator Museum).

TELEFÉRICOS MODERNOS. LOS INICIOS

Desarrollo de los cables de acero

Con la llegada de la industrialización, en el siglo XIX el transporte de materias primas y otras mercancías desde las minas o fábricas hasta los concentradores o puntos de distribución comenzó a ser un problema. Las cantidades a acarrear aumentaban, las áreas fuente muchas veces estaban aisladas en remotos parajes montañosos, las vías de comunicación y los medios de transporte tradicionales no resolvían el problema y los costes del transporte se encarecían y, con ellos, los de los productos. La posibilidad de construir ferrocarriles o carreteras muchas veces se cercenaba ante el exagerado coste que suponía su trazado para atravesar relieves abruptos mediante túneles y viaductos.

Hasta la década de 1850 la industria minera recurría



Figura 10. Uso de tarabitas bicable para atravesar un río. Izquierda, un caballo con arnés; derecha, una persona en un cesto (Serrera, 1992, 135, modificada).

Figure 10. Use of a double cable system to cross a river. Left, a horse and harness; right, a person in a basket (Serrera, 1992, 135, amended).

al transporte mediante animales o costosos ferrocarriles para sacar los minerales de las minas a los puntos de distribución. En 1856 la producción de nuevos materiales, básicamente cables de acero y motores, permitió retomar el transporte mediante cable aéreo, cuya base conceptual databa del siglo XVII. En este momento se patentó un nuevo sistema de monocable aéreo que

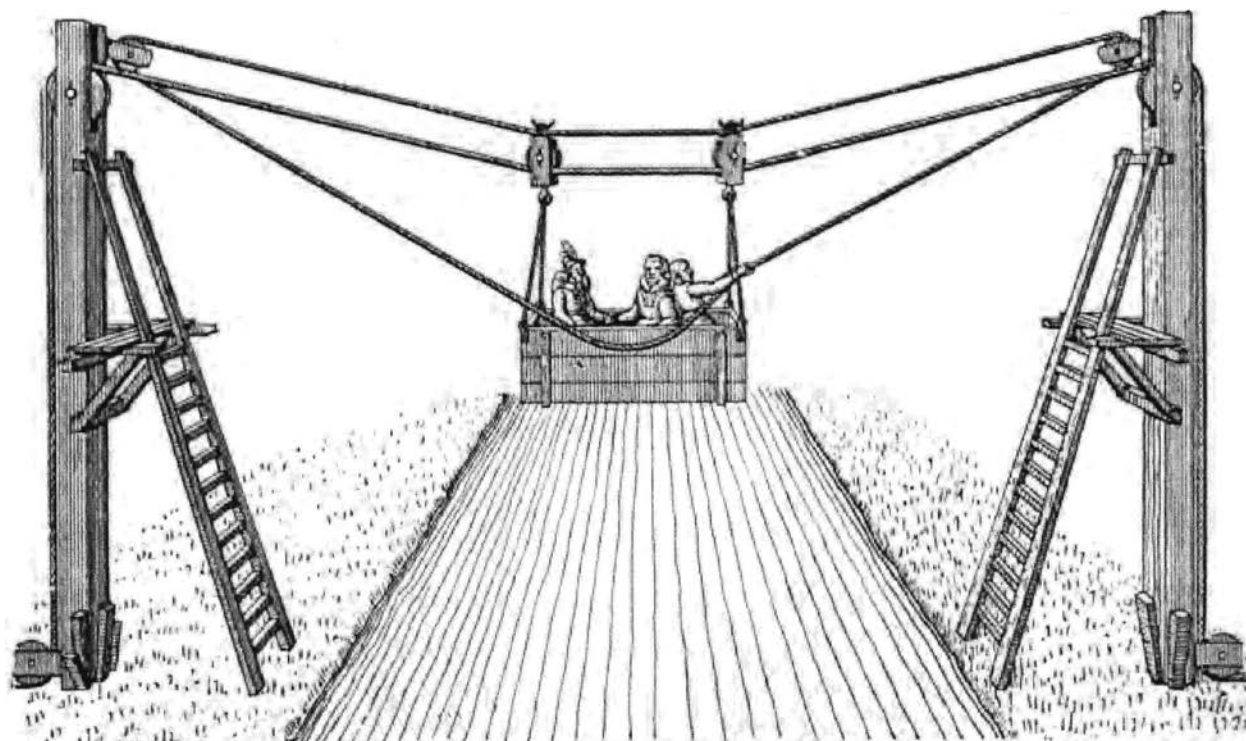


Figura 11. Bicable de Veranzio (Dieterich, 1908, 22, modificada).

Figure 11. Double cable system by Veranzio (Dieterich, 1908, 22, amended).

prometía trasladar los minerales más rápidamente por terrenos escarpados (Crook *et al.*, 2015, 8).

En realidad los cables metálicos se conocen desde la época romana; en las excavaciones de Pompeya se encontró un cable compuesto por 57 hilos de bronce entrelazados, de 0,7 mm de diámetro y 4,5 m de longitud. Los hilos no estaban trefilados, sino forjados o troquelados en bandas estrechas en una chapa. Mucho después, en el siglo XIV, se iniciaron intentos para trefilar los hilos en Nuremberg, sin buenos resultados. Aún así, algún intento debió resultar acertado pues, en 1500, Leonardo da Vinci mencionaba la existencia de cables tanto con hilos de bronce como de acero. Las pruebas de trefilado continuaron en numerosos países de Europa en el siglo XVIII sin alcanzar el éxito apetecido (Miravete y Larrodé, 2004, 22).

A principios del siglo XIX fue descubierto el fenómeno de la fatiga como consecuencia de los avances habidos con la maquinaria y los vehículos de transporte. Para profundizar en qué medida la fatiga afectaba a los eslabones de las cadenas utilizadas en el traslado de cargas, en 1829, Wilhelm Albert, ingeniero de minas y consejero superior de las minas de Clausthal, en la Baja Sajonia alemana, inició sus ensayos sometiendo a cargas y descargas sucesivas los eslabones de las cadenas de las jaulas de las minas (López, 2011, 30). Cinco años después, en 1834, comenzó a sustituirlas por cables de 20 a 40 m de longitud. Inicialmente, los cables estaban formados por 3 cordones o torones (más tarde seis), de 4 hilos de 3,5 mm de diámetro cada uno, compuestos de acero sin azufre, con una resistencia a la rotura de 40 kg/mm². Estos cables, trenzados a mano, fueron denominados posteriormente de tipo Albert o Lang, derivado éste segundo

del nombre de un constructor inglés. Por esta razón, el año de 1834 se considera clave a los efectos de transporte por cable ya que fue a partir de este momento en que los trabajos de Albert sentaron las bases para un rapidísimo desarrollo de estos elementos tractores o sustentadores. En 1836, trece minas de la región de Harz, igualmente en la Baja Sajonia, ya habían equipado sus pozos con cables de acero. En 1839 se montó en Falun (Suecia) la primera fábrica productora de cables, a la que siguió el año siguiente la de la firma Felten & Guillaume, en Colonia (Miravete y Larrodé, 2004, 22). En 1850, los cables de acero se usaban extensivamente en minería y su producción y venta constituían un éxito comercial de primera magnitud, siendo manufacturados ampliamente en Europa (Dickinson, 1975, 12). En 1855 la invención del proceso Bessemer supuso una revolución debido a la posibilidad de obtener acero en cantidad y a precio barato, lo que influyó decisivamente en el desarrollo de los cables de acero. Años más tarde, en 1879, se puso a punto el proceso Thomas, que aún facilitó más la producción de cables de calidad (Samset, 1985, 25).

Sistemas monocable

Los cables pronto entraron en el negocio del transporte. El 28 de julio de 1856, un intermediario de la industria carbonera inglesa llamado Henry Robinson, de Settle (Yorkshire), registró la primera patente británica y mundial de un teleférico monocable bajo el nombre *Provisional specification of improvements in arrangements and mechanism for the conveyance or transport of load or weights*. La patente quedó inscrita en 1857. El sistema estaba diseñado para trasladar carbón y otros minerales. Consistía en un cable o cadena sin fin, soportada a intervalos por poleas colocadas sobre torres o pilares, que finalizaba en dos poleas terminales, una de ellas tractora. Unas varillas se fijaban a intervalos al cable de las que se suspendían las vagonetas que llevaban las cargas, las cuales se podían desenganchar fácilmente. Era un sistema conceptualmente similar a como fue diseñado por Adam Wybe para Dantzig en 1644. No se conoce que se

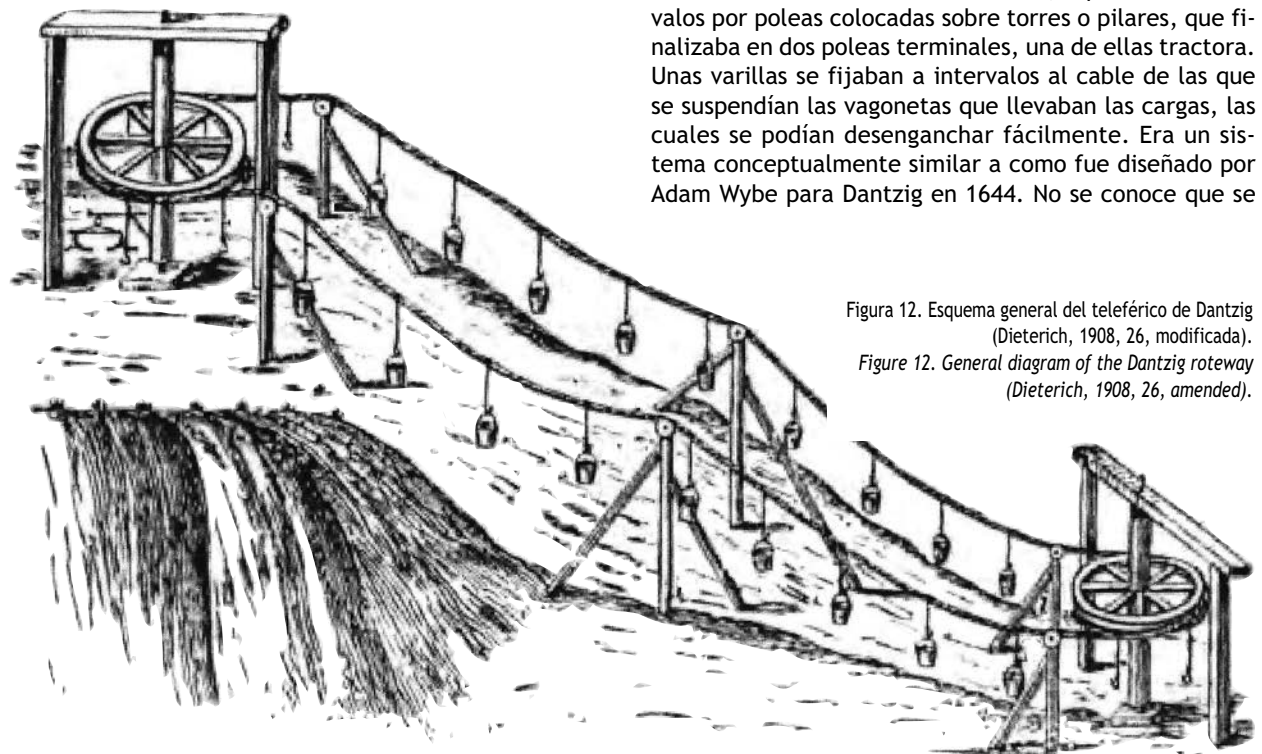


Figura 12. Esquema general del teleférico de Dantzig (Dieterich, 1908, 26, modificada).

Figure 12. General diagram of the Dantzig roteway (Dieterich, 1908, 26, amended).



Figura 13. La máquina de Dantzig llegando al castillo (Decker, 2011, modificada).
 Figure 13. The Dantzig machine arriving at the tower (Decker, 2011, amended).

haya llevado a la práctica una instalación tal como fue diseñada por Robinson aunque parece ser que, poco después de 1857, construyó un prototipo en Hebden Gill (North Yorkshire), de 595 m de longitud, que se aproximaba bastante bien a la patente. Su objetivo era doble:

depurar el diseño y, además, transferir carbón comercialmente desde las bocaminas a una planta de tratamiento vecina (Dickinson, 1975, 12-13, 16). Con este sistema se inventó el denominado sistema inglés de cable aéreo (monocable).

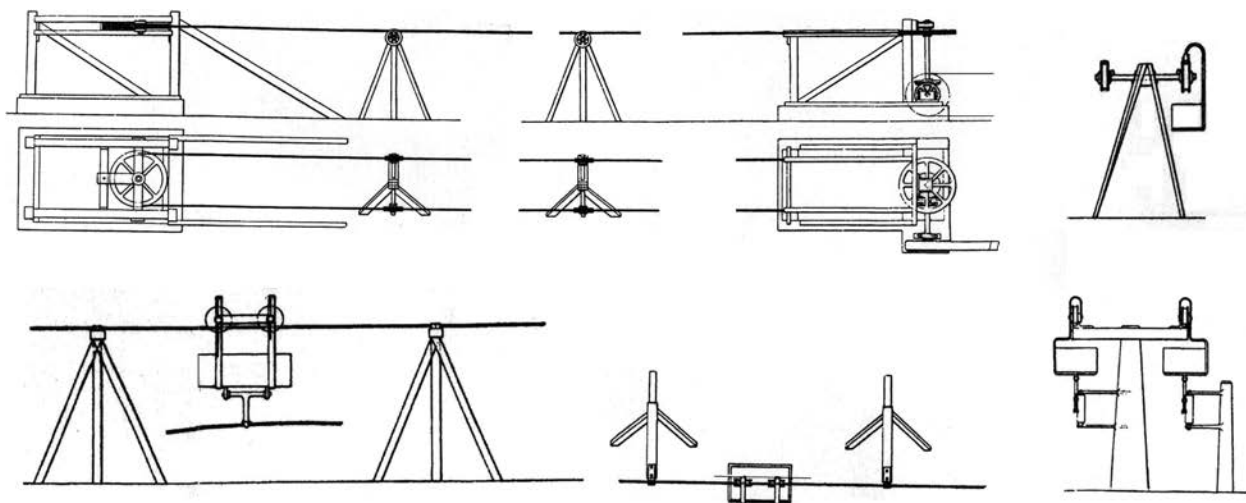


Figura 14. Sistemas patentados por Hodgson, en planta y alzado. Arriba, monocable; abajo, bicable, ambos con sus respectivas torres (Dieterich, 1908, 52, modificada).
 Figure 14. Hodgson's proprietary systems, plan, and elevation views. Top, single cable system; bottom, double cable system; both with their respective towers (Dieterich, 1908, 52, amended).

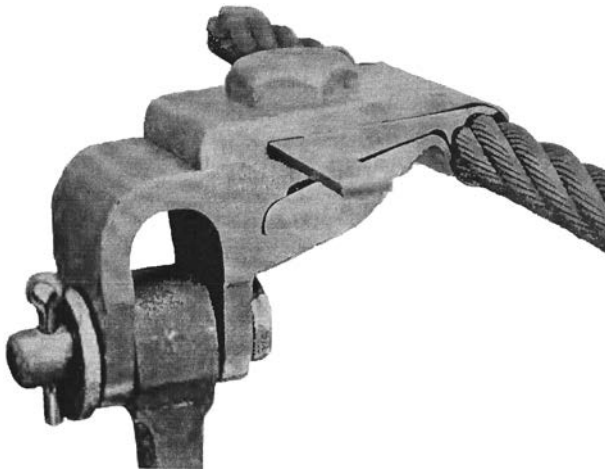


Figura 15. Sistema Hallidie. Mordaza de sujeción de la vagoneta al cable (California Wire Works, 1902, 37, modificada).
 Figure 15. Hallidie system. Clamp used to attach the car to the cable (California Wire Works, 1902, 37, amended).

En 1868 se formalizó otra patente importante, la del ingeniero inglés Charles Hodgson. Por una parte, creó un sistema monocable, del que se le considera el principal diseñador, aunque copiaba el modelo de Robinson mejorando las mordazas de sujeción de las vagonetas al cable (Figura 14 superior); por otra, presentó un sistema que constituyó la base del modelo bicable que no mucho después mejorarían Bleichert, Otto, Carrington, y otros; consistía en uno o dos cables fijos portantes y el correspondiente número de cables tractores (Figura 14 infe-

rior). Este sistema permitía construir líneas con vanos de más de 900 m pero tenía el inconveniente, para la época, de que el transporte de las cargas debía ser descendente pues de lo contrario se requería un motor.

Hodgson pronto creó una compañía, la Wire Tramway Company de Londres, que instaló tres cables aéreos en Richmond (1869), en la cantera de granito de Bardon Hill y en Brighton (1872). Sin embargo, la compañía estaba quebrada en 1874. El año antes la firma John M. Henderson and Co de Aberdeen había instalado un cable aéreo en la cantera de granito de Kemmay (Dickinson, 1975, 12; The Elevator Museum; Wallis-Taylor, 1911, 9).

Las ventajas del sistema de Robinson y Hodgson sobre los medios de transporte convencionales en determinados ambientes eran indudables (Greco, 1971, 61-62):

- Eliminación de las limitaciones impuestas por la topografía (irregularidades del terreno y pendientes acusadas).
- Para el mismo personal de servicio, mejor producción horaria que el transporte por carretera.
- Regularidad y automatización del transporte, que era prácticamente independiente de las adversidades atmosféricas.
- Rápida amortización del capital invertido, considerando la reducida inversión y la elevada utilización del sistema.

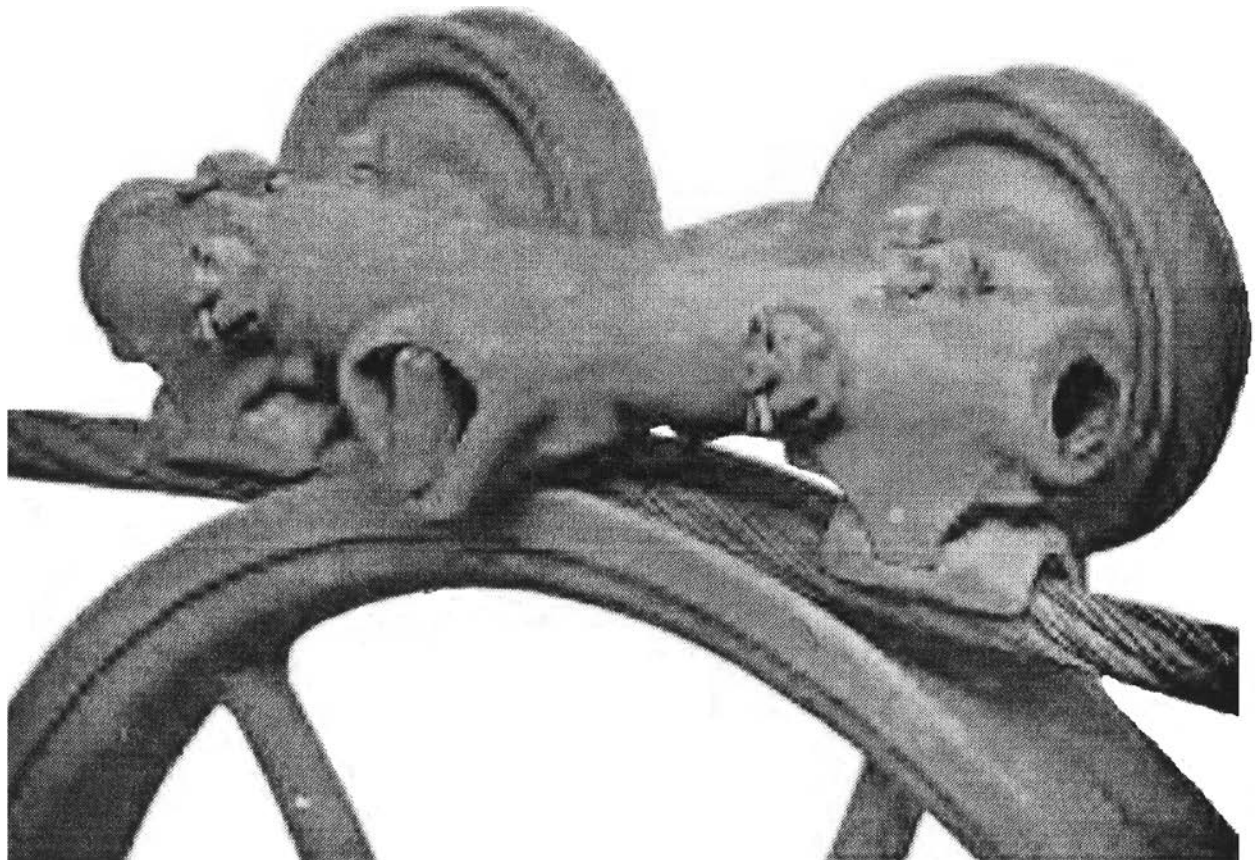


Figura 16. Sistema Roe. Mordaza con dos ruedas rodantes para carriles en apartaderos o circuitos fuera de la línea principal (The Trenton Iron Company, 1896, 40, modificada).
 Figure 16. Roe system. Clamp with two wheel assemblies for rails in lay-bys or lines other than the main lines (The Trenton Iron Company, 1896, 40, amended).

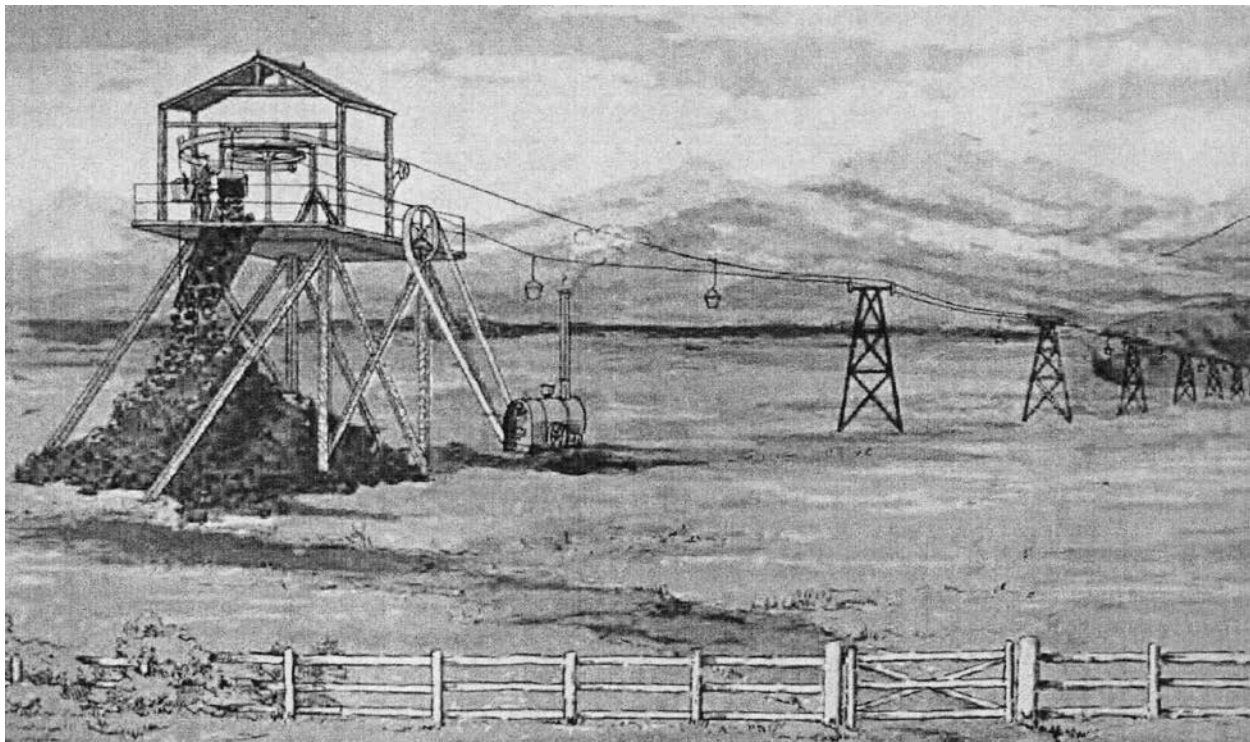


Figura 17. Estación de descarga en un sistema monocable accionado por un motor de vapor (Hipkins, 1896, 14A, modificada).
 Figure 17. Unloading station on a single cable system activated by a steam engine (Hipkins, 1896, 14A, amended).

Frente a estas notables ventajas, el transporte por cable aéreo tenía los siguientes inconvenientes:

- Falta de elasticidad del servicio, que no permitía absorber las puntas de tráfico salvo sobredimensionando la instalación.
- Localización obligada de las estaciones, en el tiempo y en el espacio.
- Trazado de la línea por tramos rectilíneos de limitada longitud.
- Carga máxima indivisible transportable de valor relativamente limitado, en peso y en volumen.

Aunque estas limitaciones influían directamente en el resultado económico del transporte, el ahorro de costes e inversiones de instalación fue tal que los cables aéreos pronto se popularizaron, principalmente entre los canteros y mineros; ellos fueron los primeros en beneficiarse de esta técnica, empleada especialmente para sortear los accidentados terrenos que conducían a las explotaciones.

En seguida se desarrollaron variantes. En el sistema Hodgson los baldes podían acoplarse o desacoplarse al cable mediante un dispositivo envolvente. En el posterior sistema diseñado por Andrew Smith Hallidie, las vagonetas estaban permanentemente unidas al cable por medio de una mordaza especial que mejoraba su circulación (Gybbon, 1890, 3) (Fig. 15). En 1890, Pearce Roe mejoró el sistema constructivo introduciendo nuevos enganchadores y carros de dos rodillos que permitían rodar a 2,5 m/s y sostener vagonetas con un peso de 500 kg (Miravete y Larrodé, 2004, 22) (Fig. 16).

De cualquier forma, en el sistema monocable (Fig. 17), las vagonetas estaban unidas y se movían arrastradas por el movimiento sin fin del único cable del circuito, que se apoyaba en torres construidas de acero o madera dispuestas sobre la traza de la línea de tal manera que

podía salvar obstáculos, siempre que los vanos entre torres no fueran excesivamente amplios (Fig. 18).

Sin embargo, pronto se constataron las limitaciones de los sistemas monocable de Hallidie y Hodgson, a pesar de sus indudables ventajas en lo relativo a la facilidad de mantenimiento y economía de construcción y operación. Cada vez la industria, especialmente la minera, demandaba mayores producciones que los sistemas monocables no podían atender. Estos sistemas estaban limitados a una carga por vagoneta de unos 90 kg, puesto que cargas mayores entrañaban demasiado esfuerzo para el cable, con las consiguientes averías, paradas y pérdida de rendimiento ya que el cable no solo debía sostener la carga sino también moverla. Además, la velocidad de desplazamiento tenía que ser relativamente, con objeto de que el cable no se saliera de sus alojamientos, hecho que ocurría con frecuencia en el sistema Hallidie. Otros inconvenientes radicaban en que las vagonetas estaban permanentemente unidas al cable, lo que obligaba a cargarlas en movimiento con los consiguientes riesgos para la seguridad de los operarios, y en que el sistema tenía una longitud operativa media de unos 3,2 km que, excepcionalmente, podía ampliarse hasta 6,5 km como máximo (Trennert, 2011, 29-30).

Sistemas bicable

En paralelo con el desarrollo de los monocables, en 1860 el alemán Franz-Fritz von Ducker construyó en Bad Oeynhausen, en las montañas de Hartz, diversas instalaciones cuyo "cable" de rodadura eran barras de acero de media pulgada (Fig. 19) por lo que, en realidad, estos transportadores eran monorraíles más que cables aéreos (Miravete y Larrodé, 2004, 23). Un cable tractor arrastraba las cargas; era, pues, un sistema bicable que daría

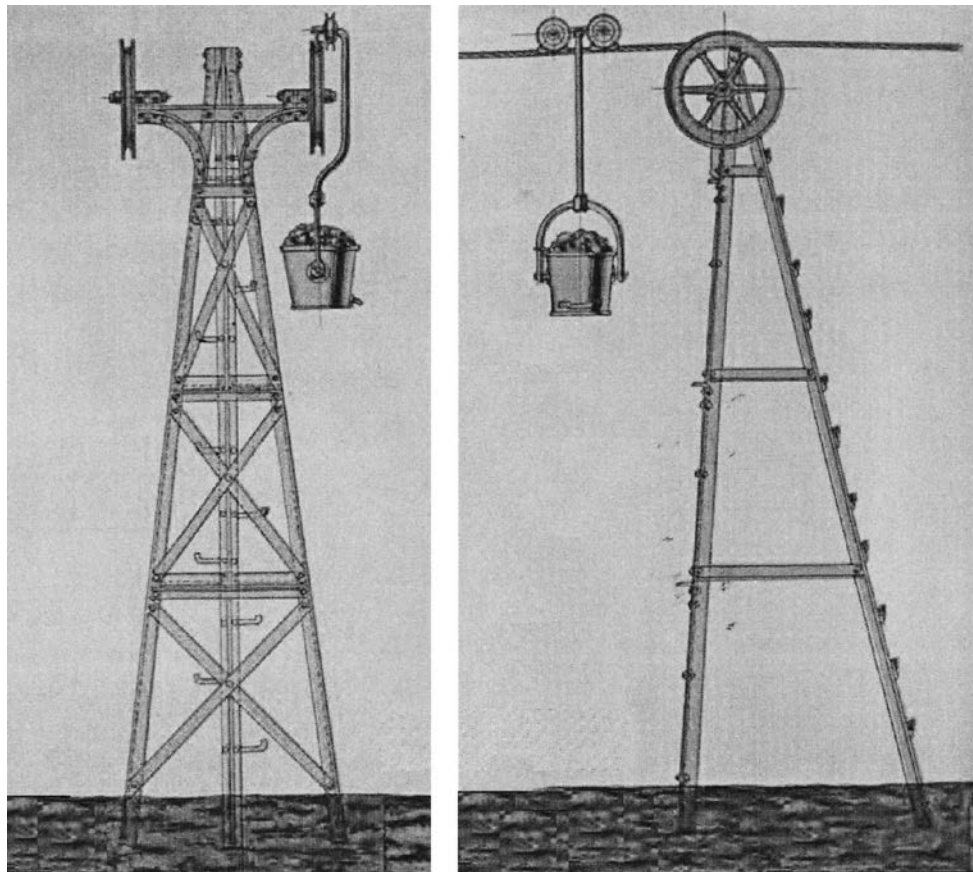


Figura 18. Vista frontal y lateral de una torre metálica de un sistema monocable (Hipkins, 1896, 14B, modificada).
Figure 18. Front and side views of a metal tower of a single cable system (Hipkins, 1896, 14B, amended).

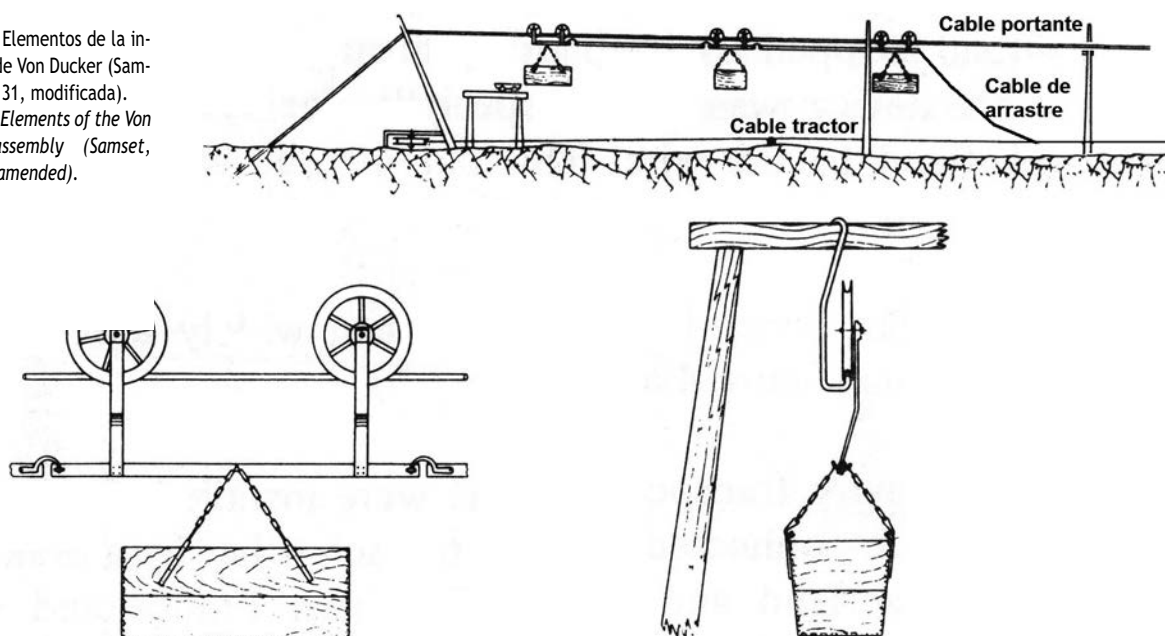
origen al denominado sistema alemán. En el caso de la figura citada el cable tractor estaba situado casi a nivel del suelo por lo que era necesario unirlo con las vagonecitas mediante un cable de arrastre. Posteriormente, al elevar el cable tractor al nivel de los baldes, éstos se le pudieron enganchar directamente mediante mordazas.

El sistema de von Ducker, en la práctica, resultaba muy útil de modo que este tipo de instalaciones se extendió con rapidez por Alemania, siguiendo los planes del constructor. En realidad el sistema de von Ducker no era

original pues ya había sido empleado por von Prittwitz en 1834, en la localidad polaca de Poznan, con la particularidad de usar carriles de madera (Miravete *et al.*, 2002, 55).

Simultáneamente con los trabajos de investigación que se estaban llevando a cabo en Europa, en Estados Unidos un ingeniero apellidado Cypher construyó en 1868 el primer teleférico bicable americano en una mina de Colorado sobre pilastras de madera (Miravete y Larrodé, 2004, 24).

Figura 19. Elementos de la instalación de Von Ducker (Samset, 1985, 31, modificada).
Figure 19. Elements of the Von Ducker assembly (Samset, 1985, 31, amended).



En el año 1870, el suizo Christian König construyó en Schlierental (Suiza) un cable aéreo de 2.100 m de longitud y un 73% de pendiente, utilizando la fuerza de la gravedad para transportar madera (Fig. 20).

En 1871 von Ducker instaló un teleférico de 500 m de longitud que descendía por la acción de la gravedad y retornaba por medio de un cable del que tiraba un cabrestante (The Elevator Museum). Un año después, en 1872, posiblemente influenciado por el sistema inglés y por los trabajos de Cypher, von Ducker instaló un teleférico bicable en circuito cerrado para la construcción de un fuerte en Metz (Francia). Tenía una longitud de 1.923 m y superaba un desnivel de 41 m. La línea estaba sostenida por pilonas de madera (Miravete *et al.*, 2002, 56). Las vagonetas estaban fijadas al cable mediante una mordaza especial a tornillo patentada por el austriaco Theobald Obach (Hoffmann y Zrníc, 2012, 392), al que algunos consideran el auténtico inventor del sistema bicable de movimiento continuo en 1871 (Booth, 1965, 8). Efectivamente, los bocetos de Obach presentan todos los elementos principales del sistema bicable, con excepción de los contrapesos de los cables portante y tractor (Fig. 21). En cuanto al tipo de mordazas que ideó, permitía que las vagonetas se engancharan y desengancharan al cable portante con facilidad, lo que suponía una gran ventaja que incrementaría la operatividad de los cables aéreos en lo sucesivo. En realidad, estas mordazas resolvían el principal problema que presentaban los teleféricos hasta ese momento, que era cómo fijar de forma segura las cargas al cable. Por ello, estas mordazas supusieron un notable adelanto técnico que modificó radicalmente la naturaleza de los sistemas de cable aéreo, incrementando su flexibilidad y popularidad. Obach sabía de su utilidad ya que había construido un teleférico de circuito cerrado provisto de estos mecanismos de acoplamiento en la mina de Zagoria, cerca de Hrastnik (Eslovenia). La fábrica de Obach era la única del Imperio Austro-húngaro dedicada a construir teleféricos y fue adquirida por Josef Pohlig a la muerte del inventor en 1887. El interés por las mordazas de Obach quedó demostrado cuando, no mucho después, las firmas de ingeniería *Felten & Guillaume* y, por supuesto *Pohlig*, instalaron cables aéreos para mercancías siguiendo esta patente (Miravete y Larrodé, 2004, 24).

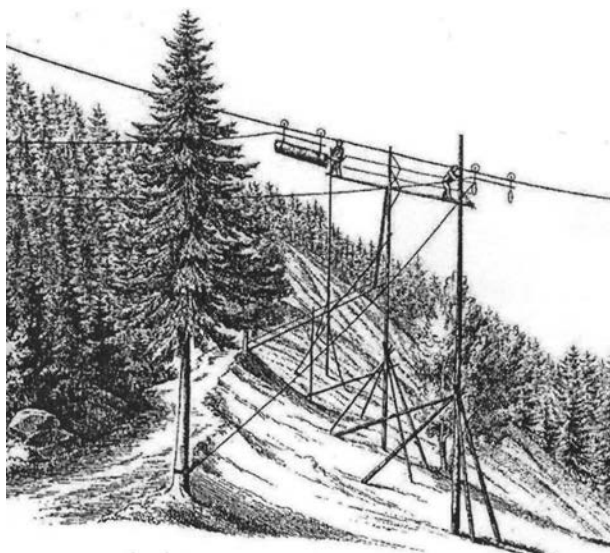


Figura 20. Sistema de König para sacar madera (Lindegger y Bürgi, 2006, 329).

Figure 20. König system used to extract wood (Lindegger y Bürgi, 2006, 329).

En ese mismo año de 1872 un joven ingeniero alemán llamado Adolf Bleichert patentó y construyó su primer transportador aéreo bicable para la fábrica de parafina de Teusenthal, en Sajonia. Tenía 740 m de longitud, se usaba para trasladar hulla y funcionaba según el esquema original que se muestra en la figura 22.

En 1874, Bleichert se unió al ingeniero Theodor Otto para crear la firma Bleichert & Otto, en la cual ambos perfeccionaron el sistema bicable, patentando los diseños mejorados ese mismo año (Crook *et al.*, 2015, 8). Lamentablemente la fructífera unión duro apenas dos años, pues ambos socios se separaron en 1876 siguiendo su propio camino. Bleichert continuó a plena dedicación con el negocio de los teleféricos fundando en dicho año la empresa Adolf Bleichert & Co. A partir de este momento, el desarrollo de los teleféricos para mercancías fue constante, especialmente del sistema bicable, a causa de sus indudables ventajas sobre el monocable. Entre ellas cabe destacar una mayor capacidad de carga, la posibilidad de operar a mucho mayores distancias, menores deterioros, desgarros y roturas del cable, mayores vanos o separación entre torres, posibilidad de que el cable portante de retorno fuera más delgado por llevar las vagonetas vacías, mayor disponibilidad para superar

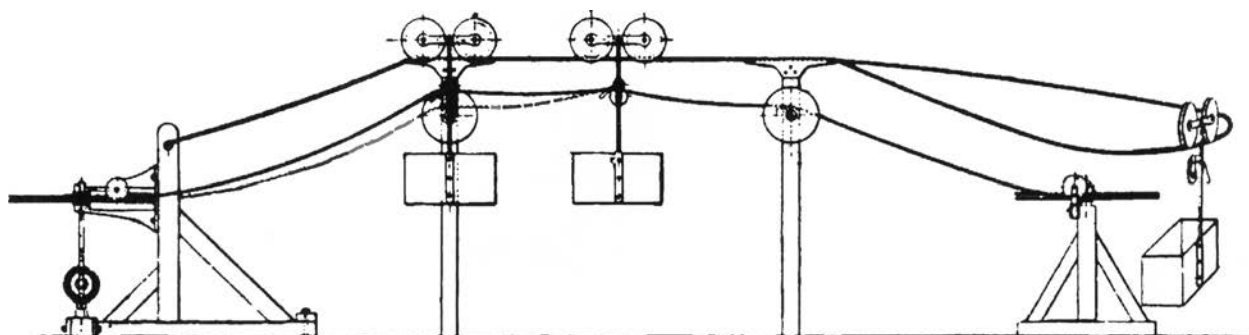


Figura 21. Boceto del sistema de Obach (Dieterich, 1908, 75, modificada).

Figure 21. Sketch of the Obach system (Dieterich, 1908, 75, amended).

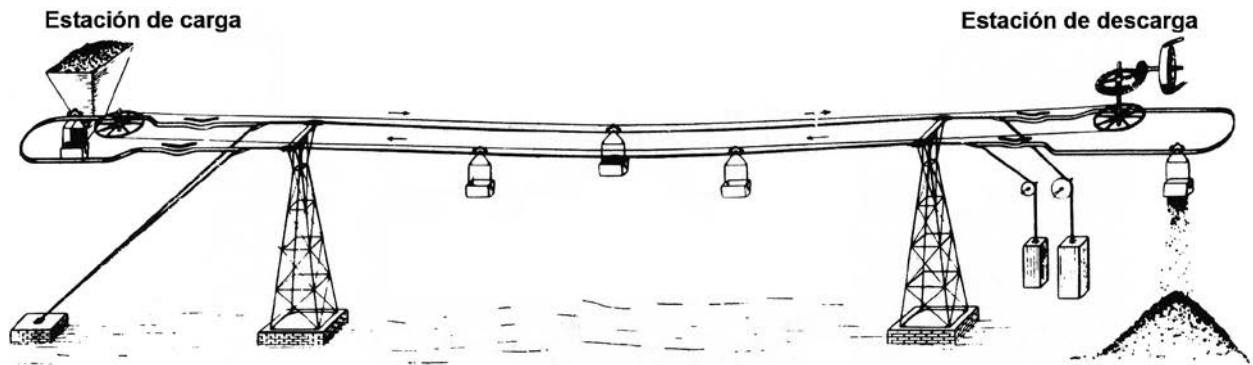


Figura 22. Esquema original del cable aéreo de Adolf Bleichert (Samset, 1985, 33).
 Figure 22. Original diagram of the Adolf Bleichert aerial ropeway (Samset, 1985, 33).

pendientes y facilidad para separar las vagonetas del circuito a fin de cargarlas y descargarlas con comodidad. Aunque era mucho más caro de construir, el sistema Bleichert podía transportar mineral a la mitad de coste que el sistema Hallidie monocable.

En septiembre de 1877, Bleichert registró la patente nº 2.934 para un sistema de cable mejorado que destacaba por (Fig. 23):

- Un sistema de tensionado del cable tractor que utilizaba cadenas y pesos.
- Alojamiento acanalados para el cable tractor en las torres.
- Una pieza de estaño fundida para conectar el cable con la cadena.
- Vagonetas inclinables.
- Un sistema de frenado de las vagonetas.
- Una estación tensora de los cables tractores que consistía en una rueda deslizante conectada a un peso colocado en una cadena ajustable.

- Un dispositivo para la transferencia automática de las vagonetas desde el cable tractor a carriles fijos situados en las estaciones.
- Una estación curvilínea que permitía el cambio de dirección de los cables portantes y tractores.
- Mordazas de fricción para el enganche y desenganche de las vagonetas del cable tractor.

El sistema bicable empleaba una tecnología diferente y más robusta que la del monocable (Fig. 23). Cada vagoneta estaba colgada de un carretón dotado de dos ruedas que se movía sobre un fuerte cable portante estacionario, colocado, asegurado y tensado por pesos entre dos terminales o estaciones, que actuaba a modo de pista de circulación. El movimiento era proporcionado por un segundo cable (cable tractor), más ligero, que se movía en un circuito sin fin cerrado entre dos estaciones y se mantenía tensado por un peso situado en una de ellas. Un motor eléctrico o de vapor movía el cable tractor por medio de una polea. La vagoneta se fijaba al cable trac-

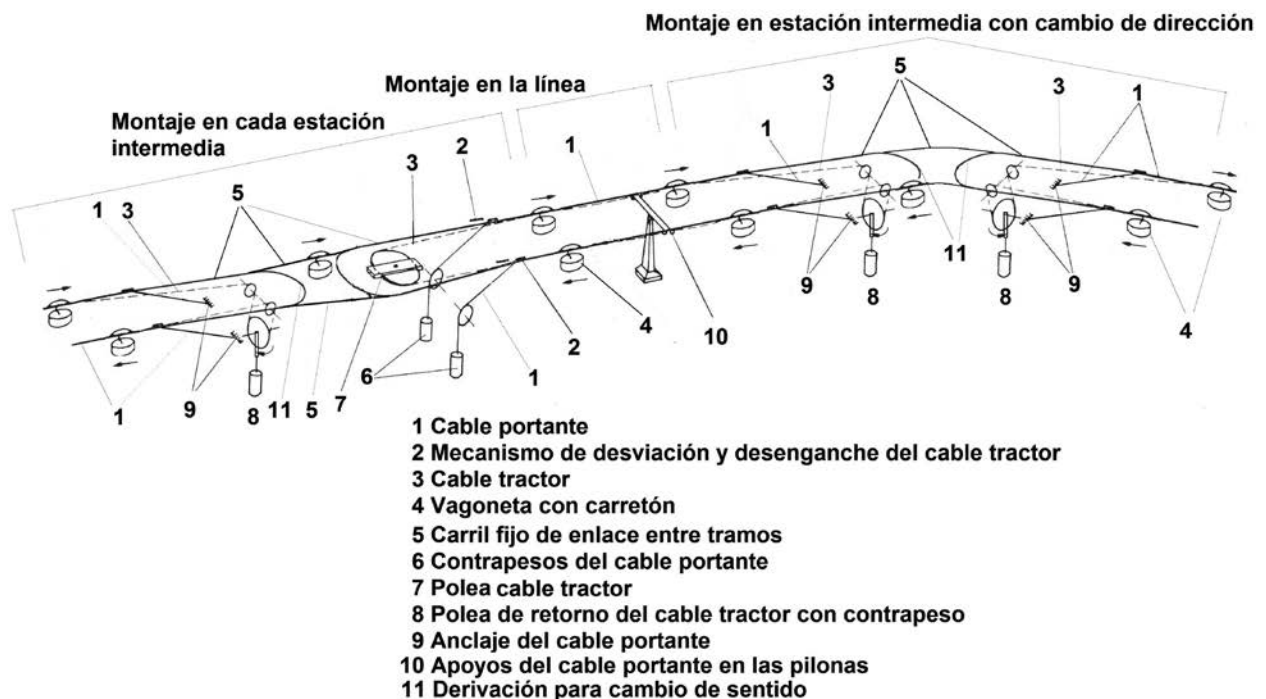


Figura 23. Disposición y esquema de funcionamiento por tramos de una línea bicable Bleichert.
 Figure 23. Layout and operational diagram in sections of a Bleichert double cable system.

tor mediante una mordaza de fricción. Varios de estos circuitos intermedios constituían la línea completa. Entre las estaciones inicial y final de cada tramo el cable se apoyaba en torres o pilonas que le permitían salvar desniveles y quebradas. En la estación de carga, cada vagoneta se movía libremente colgada de un carril, pasando bajo la tolva de mineral en donde se cargaba. Una vez llena, la vagoneta se trasladaba manualmente hasta que se enganchaba automáticamente en el cable tractor mediante la mordaza de fricción, el cual arrastraba el carretón sobre el cable portante. Este cable tenía un movimiento continuo arrastrado por la correspondiente polea tractora movida por un motor. La vagoneta circulaba sobre éste siendo arrastrada por el cable tractor, pasando de un sector del tramo al siguiente cruzando sobre torres. Cuando llegaba a la estación del otro extremo del tramo, la vagoneta se desenganchaba automáticamente del cable tractor y se arrastraba manualmente por un carril hasta el mecanismo de enganche del siguiente tramo, en donde el cable tractor del nuevo tramo la tomaba y arrastraba hasta el cable portador correspondiente. El proceso se repetía hasta que la vagoneta llegaba a la estación de descarga, en donde dejaba el mineral y se reintegraba al circuito retornando a la estación de inicio por los ramales de vuelta de los sucesivos tramos, circulando bien vacía, bien transportando materiales de repuesto o cualquier otro elemento que se necesitase en las estaciones que iba a atravesar hasta llegar a la de carga (Trennert, 2001, 30).

La compañía Adolf Bleichert & Co creció de 20 empleados en 1877 a casi 100 en 1878 cuando construyó una nueva fábrica en Gohlis, Leipzig, edificio que todavía perdura. Los cables aéreos comenzaron a emplearse en las minas de todo el mundo a finales del siglo XIX y durante el XX (Crook *et al.*, 2015, 8-9). Su uso fue tan extensivo que diversos países europeos promulgaron legislación regulando su construcción y tráfico, al igual que con las carreteras convencionales. Dentro de los teleféricos, el uso de los bicable se extendió rápidamente por todo el mundo a finales del siglo XIX y el sistema Bleichter se impuso con el cambio de siglo (Gybbon, 1890, 4-6; Trennert, 2001, 30).

Bleichert patentó su sistema en Estados Unidos en 1888, siendo pronto licenciado a Cooper, Hewitt & Company, el principal constructor de cables aéreos de la nación, que operaba por medio de su subsidiaria The Trenton Iron Company. Como agente único de Bleichert, Cooper, Hewitt & Company publicó folletos propagandísticos y manuales ponderando las ventajas del sistema, al mismo tiempo que desarrollaba nuevas piezas que completaban los diseños de la fábrica alemana (Trennert, 2001, 33-34).

Como resultado de estas campañas divulgativas, en pocos meses le contrataron a The Trenton Iron Company varios cables aéreos hasta el punto de que la compañía construyó veinte bicables sistema Bleichert en los años iniciales de la década de 1890. No obstante, los monocables siguieron teniendo aceptación en las minas estadounidenses, de manera que The Trenton Iron Company los seguía ofreciendo en sus catálogos. A pesar de la hegemonía de dicha empresa, numerosas firmas

diseñaron sus propios sistemas bicable que funcionaron con buenos rendimientos y disponibilidades. Sin embargo, el de Bleichert demostró su superioridad sobre otros diseños similares en diversas ocasiones y, en especial, sobre los monocables, que acabaron sucumbiendo finalmente ante las prestaciones de aquellos. Entre 1900 y 1920 las compañías Leschen, Riblet, Trenton y otras mucho más modestas construyeron cientos de instalaciones bicable para uso minero que movían millones de toneladas de mineral al día. The Trenton Iron Company, probablemente la mayor, seguía siendo la única licenciada por Bleichert en Estados Unidos. Fue adquirida en 1904 por la United States Steel Corporation pasando en 1910 a ser una división de la American Steel and Wire Company (Trennert, 2001, 35-41).

A nivel mundial, el creciente número de teleféricos mineros y para otros usos fue construido por diversas compañías que más adelante extendieron su actividad al tráfico de pasajeros. Entre ellas cabe citar a Bleichert y sus competidores alemanes Josef Pohlig y Ernst Heckel, que se le unieron para formar la empresa PHB y después PWH. También Agudio y Ceretti & Tanfani en Italia, Girak Waagner-Biro en Austria, Applevage en Francia, Breco en el Reino Unido, Anzen Sakudo en Japón y Frantisek Wiesner en Checoslovaquia, por citar algunas representativas (Gric y Nejez, 2015).

CONCLUSIONES

Los teleféricos son un sistema de transporte que comenzó a utilizarse, al menos, desde el 250 a.C., llegando a alcanzar un gran desarrollo tecnológico a finales del siglo XIX. En esta época era empleado extensivamente en minería, pero también en otras ramas de la industria. Su ventaja sobre los sistemas de transporte convencionales radicaba en la facilidad para atravesar terrenos abruptos e inclinados, imposibles de superar para aquéllos, obteniendo, además, costes muy baratos sin posible competencia. De los dos principales sistemas, monocable y bicable, el segundo fue el que demostró mejores cualidades técnicas y ventajas económicas, imponiéndose a comienzos del siglo XX. La extraordinaria calidad de los materiales metálicos empleados en su construcción ha permitido que, si no se han desmantelado, se conserven en buen estado constituyendo un importante legado de la operación minera que, en algunos casos, con ocasión de sus valores históricos, materiales e, incluso, estéticos, tiene la consideración de patrimonio minero.

BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo. 1894. *Ueber Drahtseilbahnen*, 05/05/2016, .
- Barinaga, L. 1881. Tranvías aéreos de Bilbao. *Revista de Obras Públicas*, I (9), 101.
- Booth, W.G. 1965. *The design and application of aerial ropeways*. Tesis de Maestría. Mac Master University, Hamilton.
- California wire works, 1902. *Hallidie wire ropeway*. Catalog 21, San Francisco.

- Crook, P., Ross, S., Burnett, G., Shadie, P. y Hammond, P. 2015. *Bleichert ropeway, Katoomba. 2014 Survey Report*. Blue Mountains World Heritage Institute.
- Decker, K. de, 2011. Aerial ropeways: automatic cargo transport for a bargain. *Low-Tech Magazine*. 18/04/2016. .
- Diario Oficial de las Comunidades Europeas (DOCE). 3 de mayo de 2000. L-106. ESP, 23-24.
- Dickinson, J.M. 1975. A prototype aerial ropeway at Hebden. *British Mining*, 1, 12.
- Dieterich, G. 1908. *Die Erfindung der Drahtseilbahnen*. Verlag, Leipzig.
- Greco, G. 1971. Teleféricos de vaivén. Teleféricos de movimiento continuo. En: Ministerio de Obras Públicas. *Curso de transporte por cable. Conferencias*. Madrid, 61-62.
- Gric, J. y Nejez, J. 2015. Have bicable gondola lifts got a future? *International Ropeway Review*. 08/05/2016, .
- Gybbon, E. 1890. *Wire rope tramways with special reference to the Bleichert patent system*. Cooper, Hewitt & Co, New York.
- Hipkins, W.E. 1896. *The wire rope and its applications*. Birmingham.
- Hoffmann, K. y Zrnica, N. 2012. A contribution on the history of ropeways. En T. Koetsier y M. Ceccarelli (Eds.), *Exploration in the history of machines and mechanisms*. Springer, 382-388.
- Hotdog, Kötélpalya technika, Hungría, 05/05/2016, xx/kepek-leirasok-kotelpalyakrol-nbsp.
- Kyesr, K. 1405. *Belli fortis*.
- Lindegger, D. y Bürgi, M. 2006. Die Holzrollbahn vom Pilatus und ihre landschaftlichen Auswirkungen. Schweiz. *Z. Forstwes*, 157 (8), 329, 08/05/2016, .
- López, J.I. 2011. *Multianálisis de un eje ferroviario mediante el software Pro/Engineer*. Proyecto Fin de Carrera. Universidad Carlos III de Madrid, Legánés.
- Miravete, A. y Larrodé, E. 2004. *Transportadores y elevadores*. Editorial Reverte, Barcelona.
- Miravete, A., Larrodé, E., Castejón, L. y Cuartero, J. 2002. *Los transportes en la ingeniería industrial (Teoría)*. Editorial Reverte, Barcelona.
- Orro, A., Novales, M. y Rodríguez, M. 2003. *Transporte por cable*. E.T.S.I Caminos, Canales y Puertos. Universidad de La Coruña, La Coruña.
- Samset, I. 1985. *Winch and cable sistemas*. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht.
- Serrera, R.M. 1992. *Tráfico terrestre y red vial en las Indias españolas*. Dirección General de Tráfico-Lunwerk Editores, S.A., Barcelona.
- The Elevator Museum. 09/06/2016, .
- The Trenton Iron Company. 1896. *Wire rope transportation in all its branches*. Cooper, Hewitt & Co., New York.
- Trennert, R.A. 2001. *Riding the high wire. Aerial mine tramways in the West*. University Press of Colorado, Boulder.
- Wallis-Taylor, A.J. 1911. *Aerial or wire rope-ways, their construction and management*. London.