



CABLES      AEREO S.

R 6971

T E S I S.

Presentada por

R A M O N    S A L A S    T.



en la

E S C U E L A    N A C I O N A L    D E    M I N A S.

para obtener el título de

I N G E N I E R O    C I V I L.

El Presidente,

F. R O D R I G U E Z    M O Y A.

Medellín.

MCMXXVIII (1928)

ESTATUTOS UNIVERSIDAD NACIONAL

"Art. 200 - El Presidente de Tesis, el Consejo de Jueces de Tesis y el Consejo Examinador NO serán responsables de las ideas emitidas por el Candidato."

Estaciones de angulo .....	34
Capítulo 11 -Torres y poleas de apoyo .....	36
Capítulo 111 Vagohetas y aparatos de sujeción.....	38
Puentes de protección .....	39

4 ° PARTE. ESTUDIO ECONOMICO.-

Capítulo 1 Costo de construcción .....	40
Capítulo 11 Gastos de explotación .....	442
y sostenimiento.	

# PRIMERA PARTE.

## Generalidades.

### CAPITULO 1.

#### Datos históricos.

1 - Probablemente, una de las primeras soluciones que dió el hombre al problema de los transportes, fue el de los cables suspendidos en el aire por medio de postes. De aquí que la historia no nos pueda decir, cuando el hombre primitivo tendió la primera cuerda de fibras vegetales quizás o de tiras de pieles entrelazadas, para salvar el obstáculo que le impedía transportar su carga o ponerse en la rivera opuesta de un río que no podía vadear ni pasar a nado.

Las razas semicivilizadas del Asia empleaban los cables suspendidos para pasar los ríos desde época tan remota, que la historia da cuenta de conocerse este sistema en la China desde hace más de 1500 años. Entre nosotros también se ha usado y se usa todavía en algunas partes para el mismo fin con el nombre de garrucha.

En un manuscrito de Johann Hartlieb del año 1411, existente en la biblioteca de Viena, se halla la relación del primer funicular aéreo europeo. Otros manuscritos menos antiguos contienen descripciones y croquis de instalaciones para el transporte de piedra, tierra, materiales de guerra y hasta pasajeros, pues en Venecia se instaló un funicular con este objeto en el año de 1617. Pero del primer cable aéreo que se tuvo información completa y definida fue el construido por el ingeniero holandés Adam Wybe cerca a la ciudad de Dantzic en el año de 1644. Este parece ser, por su descripción, el primer monocable de sistema continuo que se construyó en Europa. Sin embargo algunos autores opinan que el primer croquis en este sistema fue presentado por Jacob Lenpold en 1714.

Pero mientras las condiciones de vida no permitieron usar sino las cuerdas vegetales, los cables aéreos no pasaron de ser un recurso momentáneo hijo de una inventiva en embrión.

Las cuerdas, amarradas por sus extremos y tensionadas a brazo, formaban la vía, sin apoyo intermedio, de la cual colgaban, por medio de un gancho, un cesto o vagoneta rudimentaria en la cual iba un hombre que la hacía deslizar agarrándose a la misma cuerda y halando de ella. Mas tarde la tensión se e-

fectuó con tornos y aprovechando la gravedad, las vagonetas se dejaban deslizar del extremo superior al inferior para ser en seguida remontadas por medio de otro torno y otra cuerda.

El advenimiento de los transportes aéreos por cable a la vida industrial data de la invención de los cables metálicos debida a un ingeniero de las minas de Albert en Clausthal y fabricados por primera vez en el año de 1837 por la casa Felten & Guillaume de Colonia (Alemania). El primero que aprovechó este adelanto notable fue F. F. von Ducker, Ingeniero de Minas, quien construyó un transportador de ensayo, que duró varios años. Después, este mismo Ingeniero construyó el primer funicular aéreo, de sistema doble.

En 1867, Carlos Hodgson diseñó un transportador análogo al de Wybe Adam, obteniendo patente por su dispositivo, que hoy ha dado lugar al sistema monocable o ingles. En 1873, Bleichert y Otto obtenían en Alemania la patente de su sistema tricable; y poco después, la aparición de los cables de acero y los perfeccionamientos de la industria en la materia, hicieron adelantar de tal manera este sistema de transporte desde 1880 para acá, que hoy se disputan en el mundo entero la primacía de capacidad, velocidad y sencillez, grandes casas de distintas nacionalidades, presentando cada una sus características especiales: los ingleses con su tipo Roe de máxima sencillez; los alemanes con sus tricables de gran capacidad y los italianos también con sus tricables y sus instalaciones portátiles de Ceretti-Tanfani.

Ultimamente se están empleando los cables aéreos para el transporte de pasajeros en muchas partes de Europa. En Colombia hay dos líneas que transportan pasajeros: la de Gamarra-Ocaña, y la de Manizales a Villa María.

Finalmente el desarrollo de los cables aéreos en los últimos tiempos ha sido tan grande, que una sola casa, la Ad. Bleichert y Cia, de Leipzig, había hecho hasta 1909, 2.000 instalaciones que transportaban en conjunto 150 millones de toneladas al año. Hoy tiene esta casa 3.000 instalaciones con una longitud de 5.000 kms. que transportan 2.000 millones de toneladas por año, y pasa de 60 el número de instalaciones que anualmente construye en todas las partes del mundo.

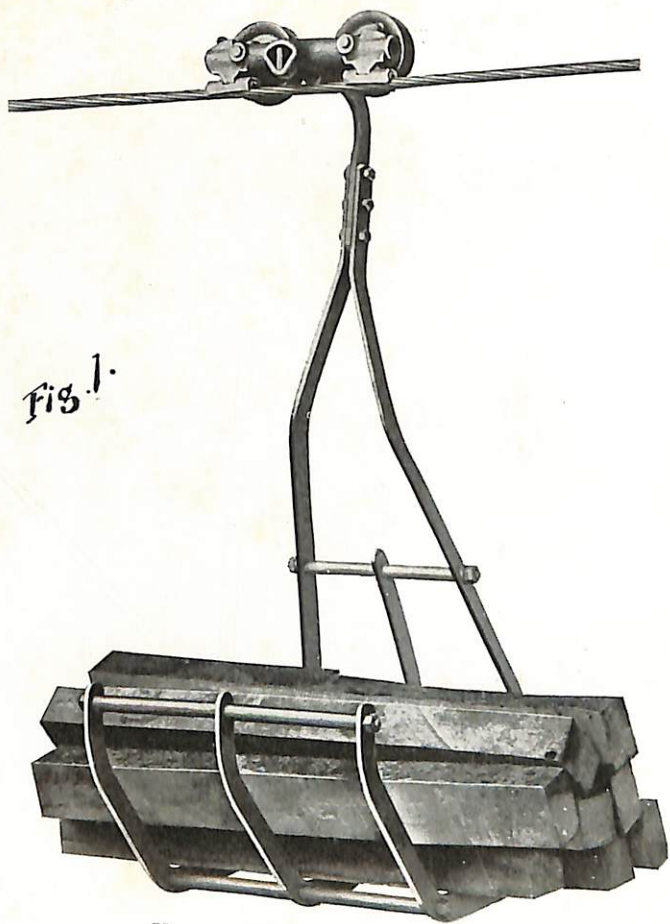
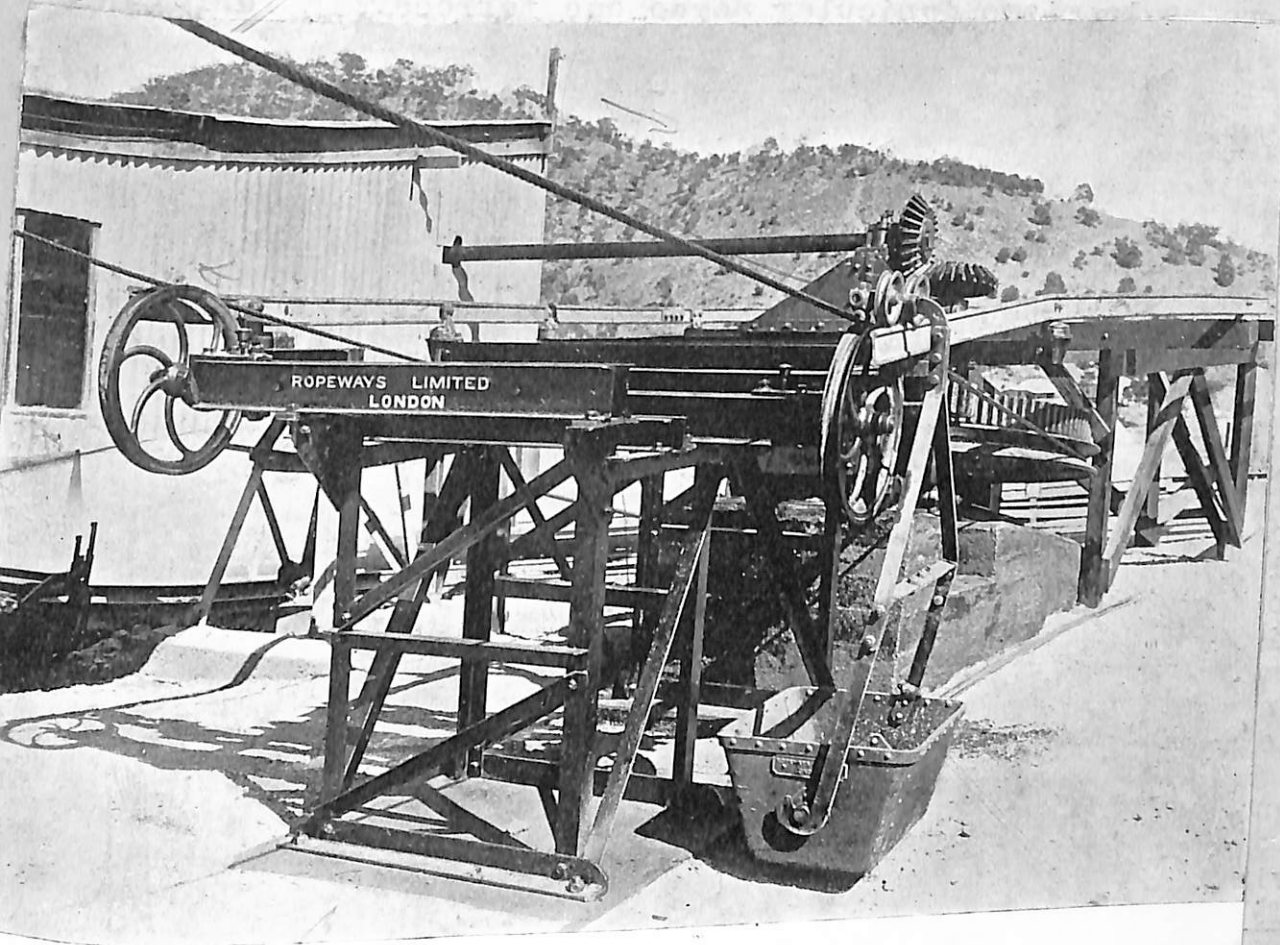


Fig. 1.

Vagon para transportar madera, etc.



Estación motriz. Sistema mono-cable "Roe."  
Cable Aéreo de IRVINE BANK MINING COMPANY, LIMITED, Cairns, Queensland, Australia.

## C A P I T U L O    I I

### DIVERSOS TIPOS DE CABLES AEREOS Y SU CAPACIDAD DE TRANSPORTE.

2- Antes de entrar en materia, diremos que, hablando propiamente, puede llamarse funicular aereo o cable aereo a todo medio de transporte cuya via, es un cable o hilo, amarrado o sometido a tensiones en sus extremos y apoyado o no sobre cables o postes intermedios. Pero conviene tener presente, que no es lo mismo funicular aereo que ferrocarril funicular. Esta ultima expresion se aplica solamente a las lineas ferreas terrestres en las cuales la traccion no se hace con locomotoras sino por medio de cables.

Tambien suelen designarse los cables aereos con los nombres de norias aereas y tranvias aereos, y es con este ultimo titulo con el que los distinguen algunos tratadistas.

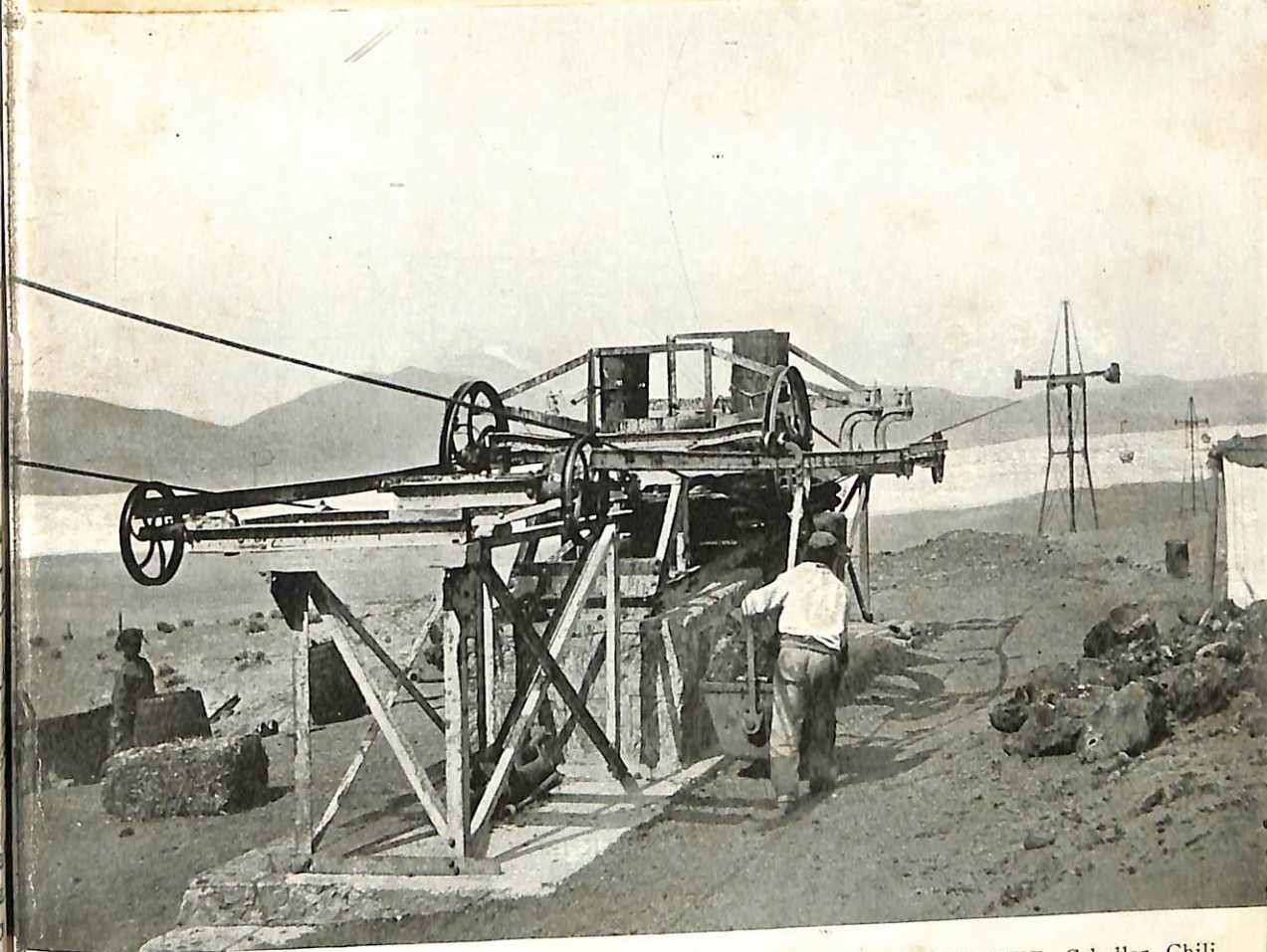
Existen dos tipos o sistemas de cables aereos a saber  
1° - SISTEMA DE CABLE MOVIBLE.

Se compone de un cable movable sin fin, que al mismo tiempo que soporta los portadores o vehiculos, los arrastra consigo, llevando unos en una direccion y trayendo otros en sentido opuesto. Este sistema, el mas simple, fue inventado por el ingles Charles Hodgson como vimos ya, y por esto se le designa con el nombre de sistema ingles o monocable movable. Es de aplicacion ventajosa cuando el monto de material para transportar no pasa de 500 toneladas por dia de trabajo de 10 horas; admite cargas individuales de 300 a 500 kilos y pendientes hasta de 1 en 2 o de 50 %.

\* El cable es de alambre de acero con alma de cañamo para que sea flexible y se acomode facilmente en las gargantas de las poleas; sus extremos van unidos entre si y esta dotado de un movimiento de rotacion que hace de el lo que se llama un "cable sin fin". Lo sostienen en alto una serie de poleas montadas sobre postes o torres distanciadas unos 200 metros, pero ocasionalmente con espacios hasta de 500, 800, 1.000 m. y aun mas. La cuerda pasa en un extremo de la linea al rededor de una polea motriz de 1,80 a 3 metros de diametro, movida por un motor de vapor o de otra clase, a una velocidad de 7 a 8 kilometros por hora proximatemente; y en el otro extremo pasa por una polea tambien, pero a vista de un sistema de tension.

\* Las cargas son llevadas en receptaculos especiales colgados del cable por medio de una montura (o galapago), y dispuestos de modo que se mantengan en perfecto equilibrio al mismo tiempo que les permiten pasar por las poleas de soporte. La figura 1 muestra un aparato de sujecion tipo Roe, durante la marcha.

Fijandonos en el vemos que mientras la sujecion se hace por encima, la parte inferior del cable, o sea la que pasa por



Estación intermediaria de division. Cable Aéreo de BORAX CONSOLIDATED, LIMITED, Cebollar, Chili.

*Fig. 3.*



las gargantas de las poleas queda libre, lo que permite el fácil paso de las vagonetas por los puntos de apoyo. El aparato lleva además dos roldanas que van libres, sin empleo alguno mientras las vagonetas van en marcha; pero tan pronto como llegan a una estación intermedia o terminal, montan sobre un riel colocado ad hoc, y en el mismo instante y automáticamente, el aparato sujeción suelta el cable y las vagonetas apoyadas en las rãdas nas ruedan sobre el riel suspendido. (La figura 2 muestra el momento de pasar del cable al riel si el movimiento es en el sentido de la flecha, o viceversa si en el sentido opuesto.)

ix (El cable, después de pasar por la polea motriz o de tensión según el caso, regresa al punto de partida en dirección contraria como puede verse claramente en la fig. 2). En el riel tienen lugar las operaciones de cargue y descargue, y además sirve para pasar a la línea de regreso si la estación es terminal o a la sección siguiente si intermedia. (La figura 3 muestra el paso de una sección a otra en una estación intermedia; bastaría suponer que el riel daba la vuelta y salía al punto P, para tener una terminal.)

lx Se comprende que esta disposición del riel suspendido es indispensable, pues de permanecer las vagonetas sujetas al cable, no podrían ejecutarse las operaciones que requiere la carga sin parar aquel; por otra parte, como las poleas de tensión e impulsión no son verticales, impedirían el paso de las vagonetas, lo que se evita también con la desviación.

## 2° - SISTEMA DE CABLE FIJO.

Este tipo de transportador consta, en su forma más simple, de un cable fijo en el que se apoyan las vagonetas por medio de ruedas, a la manera como los vagones de un ferrocarril se apoyan en el riel, y de un sistema de cable de tracción que las hace correr suspendidas del cable carril.

Existen tres subdivisiones a saber:

monocables, bicables, y tricables.

1° si no hay tractor y las carretillas bajan una tras otra completamente sueltas, bajo la acción de la gravedad, de la estación de carga a la de descarga, subiéndolas después el sistema se llama monocable fijo. Es el tipo más sencillo y primitivo, aunque usado todavía en pequeñas explotaciones para mover cantidades moderadas de material con pesos individuales muy grandes, tiradas muy espaciaosas y pendientes rápidas. Por sencillez, es el tipo menos costoso en instalación y sostenimiento.

2° - Si en vez de subirse las vagonetas por los procedimientos anteriores, ascienden por medio de otra cuerda o cable arrollado a un torno situado en la estación de carga y atado a ella por el otro extremo, tenemos el sistema bicable en su forma más sencilla; Es decir, hay un cable via y un tractor. Cual

este último es un cable sin fin, guiado por dos poleas fijas, una en la estación de carga y otra en la de descarga, y hay una sola vagoneta que va cargada y vuelve descargada, se tiene el sistema (bicable alternativo o) de va y viene, y si hay dos vagonetas, una de ida y otra de vuelta, que se cruzan en medio de la vía por un dispositivo especial, el bicable es alternativo y con cambio.

no Los cables carriles están colocados a una distancia de unos 3 metros y sostenidos en alto por torres colocadas a distancias de 100 metros lo menos, las cuales tienen unos rodillos o galapagos para sostenerlos: Estos dos cables están anclados en una de las estaciones terminales y en la otra extremidad están tensionados mediante un dispositivo de contrapeso.

Las vagonetas  
1\* (Los carretillos, que están provistos de ruedas de acero acanaladas para que en ellas se acomode el cable, corren sobre este, y los receptáculos son suspendidos de tales dispositivos rodantes por medio de marcos de suspensión.

1x Si el tricable es continuo, los vehículos se conectan con agarraderas especiales al cable tractor, el cual funciona de una manera analoga al tipo movable descrito primeramente.

1x La velocidad alcanzada con este sistema es un poco mayor que la del otro: de 8 a 10 kilometros por hora, y en las estaciones tambien tiene rieles derivados para el cargue y descargue.

1x Debe adoptarse cuando se necesitan transportar mas de 500 tns. por día, con pesos individuales de 400 a 800 kilos. Las pendientes pueden ser mayores del 50 % y las luces de torres de 300 metros. Es ventajoso cuando hay cambios bruscos en el sentido vertical de la línea y economico en cuanto a su gran capacidad de transporte, pero de instalacion costosa.

2\* De la exposicion anterior se deduce que en los monocables fijos no cabe otro motor que la gravedad. A los demas sistemas puede adaptarse un motor mecanico fijo cualquiera, si las estaciones estan al mismo nivel o, no estandolo, la pendiente es pequeña, o la carga ascendente es mayor que la descendente. La fuerza motriz necesaria no sera muy grande, pues el dispositivo rodante de las vagonetas no ofrece mayor resistencia. ?

2x Pero donde quiera que haya una inclinacion suficiente y se necesite transportar material de arriba para abajo, la fuerza de gravedad de las cargas puede aprovecharse para subir los receptáculos vacios y la instalacion trabajara practicamente por razon de la caída.

El tipo de tricable alternativo es adoptable cuando las luces son extremadamente anchas y las cargas individuales muy grandes. Comumente estas líneas se construyen para ser accionadas por la gravedad; la rata de velocidad puede ser de 50 a 60 kilometros por hora; las cargas individuales de 3 toneladas y

las luces de 1.000 metros.

Este tipo es mas barato que el continuo en instalaciones y manejo, pues requiere menos operarios; pero transporta menos material por dia y la gran velocidad destruye rapidamente los cables.

3\* 3 - CAPACIDAD DE TRANSPORTE. - Las mayores capacidades de transporte se obtienen con los sistemas continuos (ingles o aleman,) y de aqui que estos sean los preferidos donde quiera que ahy una gran explotacion minera , o un gran monto de carga para transportar.

La generalidad de los tratadistas establecen las siguientes relaciones para los sistemas continuos; llamando:

- C - capacidad diaria de la línea en toneladas.
- V - volumen del tonelaje anterior.
- δ - peso específico de la materia que se transporta.
- q - la carga, en Kilos, de una vagoneta.
- c - su volumen o capacidad.
- L - longitud de la línea.
- h - las horas diarias de trabajo.
- v - velocidad del cable móvil o del tractor.
- n - número de vagonetas dispuestas en toda la línea.
- d - la distancia entre las mismas, y
- t - el intervalo de tiempo que media entre la llegada de dos vagonetas consecutivas,

$$C = V\delta \quad t = \frac{3.600 q h}{C} \quad (1)$$

$$q = c\delta$$

$$d = tv = \frac{3.600 q.h.v.}{C} \quad (2)$$

$$n = \frac{2L}{v.t} = \frac{L.C}{1800 h.v.q.} \quad (3)$$

$$q = \frac{L.C}{1800 h.v.n.} \quad (4)$$

de las que tambien se deduce que, siendo t el tiempo disponible para la carga y descarga de las vagonetas, cada una de estas operaciones debera efectuarse en un tiempo

$t'$  menor que  $t$  y, por tanto, que para poder mandar una de aquellas en uno u otro sentido cada  $t$  segundos, hara falta un numero  $n'$  de vagonetas de reserva, dado por la expresion:

$$n' = \frac{t - t'}{t}$$

En los monocables fijos no suele llegarse a longitudes mucho mayores de 1 kilometro; su capacidad diaria esta comprendida entre 2 y 3 toneladas, dejando de ser económica su empleo con tonelajes mayores, y siendo, en cambio, utilísimos por su poco coste para el periodo de investigacion de la riqueza de un criadero, yacimiento o filon, en paises accidentados y desprovistos de vias de transporte.

En los tipos alternativos puede llegarse con una sola vagoneta a capacidades de 30 a 40 toneladas, en lineas no mayores de 3 km. y contando con cargas de 1.000 a 1200 kg. para el vehiculo; no suelen, sin embargo, emplearse para capacidades mayores de 15 a 20 toneladas y con longitudes menores y vias de gran resistencia, hasta 100 y 150 tns.

Cuando las distancias son muy largas, mas de 5 km. y los traficos muy grandes, mayores de 100 tns. por dia, vimos ya que era preciso recurrir a los sistemas continuos, monocables o tricables, para los cuales puede decirse que no hay limite en la distancia y cuya capacidad ha llegado hasta 2500 toneladas diarias.

C A P I T U L O 1 1 1

## APLICACION, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS CABLES

AEREOS.

4 -La principal aplicación de los cables aéreos hasta hoy ha sido la de levantar y transportar materiales a distancias relativamente cortas, principalmente en la industria minera, para llevar los minerales de los yacimientos naturales a los lugares de beneficio. También en fabricas, en ingenios de azucar, en los puertos de poco fondo para el cargue y descargue de los buques, en la construcción de edificios, puentes, etc. Pero en este uso no tienen los cables aéreos mayor importancia para nosotros y aquí trataremos de exponerlos, como vía de comunicación, como sistema de transporte mas económico y eficiente que el de la mula, mucho mas a nuestro alcance que los ferrocarriles y en muchas ocasiones mas indicado que las carreteras.

Los adelantos llevados a cabo recientemente por Pearce Roe en Inglaterra, Bleichert y Pohlrig en Alemania, Obach y Beer en Bélgica, Ceretti-Tanfani en Italia, han dado lugar a la construcción de las grandes líneas modernas y de aquí su aplicación al transporte de todo genero de mercaderías y pasajeros.

En muchos lugares donde las líneas ferroviarias han quedado interceptadas por rios, cañones, barrancos o crestas de cordillera infranqueables por cuanto el trafico no justifica la construcción de un puente o un tunel, o porque los recursos económicos no lo permiten, los cables aéreos han solucionado el problema con un éxito sorprendente. En esta consideración nos merecen atención especial, si recordamos los obstáculos naturales que se oponen a la realización de nuestras grandes ferrovías transversales.

Nuestra industria agrícola, tan incipiente por falta de vías de comunicación que lleven los productos a los centros de exportación y de consumo, tendría en los cables aéreos un aliado eficaz y económico, especialmente en aquellas regiones cuyo complicado sistema orografico hace inexplotables, comarcas enteras de gran riqueza.

Las empresas ferroviarias de otros países, "aumentan las facilidades" por medio de cables de transporte que les acercan los productos que están fuera de la zona de explotación

En cuanto a su aplicación en las minas veamos lo que dice Baró que es autoridad en la materia.

"Un medio de transporte que salve todos los obstáculos y pueda instalarse fácilmente en los terrenos mas abruptos, que

se adapte a capacidades variables, desde las mas pequeñas hasta muchos cientos de toneladas diarias, cuya explotación sea segura, continua y relativamente económica, y a cuyo funcionamiento puedan adaptarse todos los motores, sin excluir los naturales como la gravedad, es, sin duda, el completo ideal de toda explotación minera, grande o pequeña, y factor indispensable en todas las que busquen su primera materia en terrenos de gran accidentación topográfica, explotan en escala reducida o extraen productos de escaso valor, y cuyo volumen útil por unidad de peso es relativamente pequeño. Con todas las precedentes condiciones, cumplen los funiculares aéreos mejor que cualquier otro medio de transporte, y esta es la razón de que en muy pocos años hayan alcanzado la enorme importancia a que hoy llegan en todos los países".

Otra aplicación no menos importante que las anteriores tienen los cables en la construcción de los ferrocarriles para el acarreo de piedra y arena del lecho de las vertientes a los lugares donde se contruyen estaciones, bodegas, obras de arte y todas aquellas construcciones que requieren gran cantidad de materiales que no están a la mano. Para esta clase de transporte se emplean los "Sistemas portátiles" italianos, en caballetes y estaciones desmontables, de instalación rápida por lo sencilla y liviana.

5- VENTAJAS - Puede decirse sin mayor atrevimiento, que las ventajas de los cables aéreos son desconocidas en el país, y apenas los que nos dedicamos a los estudios de Ingeniería sabemos que existe el tal sistema de transportes. Esto por que no hemos tenido mas línea que la de Mariquita a Manizales, ensayo feliz, cuyos resultados hubieran sido aun mejores y mas palpables con otro dueño. De los otros ensayos que se han hecho en Santander y en Caldas, no podemos juzgar todavía.

Hemos reducido a 5 las principales ventajas, aunque en puridad de verdad, las causas a, b, y c que constituyen la primera y mas notable de aquellas, son consideradas aisladamente, otras tantas ventajas por cuanto ellas son apreciables en dinero.

1°) La mayoría de tratadistas y constructores preconiza como la mayor ventaja de los cables aéreos su bajo costo de construcción. Esto proviene de varias causas: a) van en línea recta; y puesto que el costo de construcción (y el de sostenimiento) está en razón directa de la longitud de la vía, y la mas corta es la recta, se deduce lógicamente la primera ventaja: b) Atraviezan los rios mas anchos, los cañones mas profundos y aun los valles sin necesidad de obras de arte, gracias a la posibilidad de poder instalar tiradas hasta de 1.500 m., evitando por lo tanto la inversión de sumas cuantiosas en la construcción de puentes, viaductos, alcantarillas y movimiento de tierras, items todos estos muy costosos e inevitables en cual-

quier otra clase de vía. c ) Como la línea, puede decirse que no ocupa terreno, pues las torres que la sostienen se colocan a grandes intervalos, basta muchas veces con el arrendamiento de las fajas las cuales quedan libres para el cultivo.

2° - ) Se pueden usar fuertes pendientes: 40,50 y hasta 60 % en los mono cables y hasta 100 % en las tricables, "sin menoscabo de las maquinas y equipo y sin aumento considerable de fuerza"

La importancia de esta ventaja se muestra palpable en el proyecto de funicular Gamarra-Ocaña cuya longitud es de 47 km.; a tiempo que, segun datos, el camino de herradura mas corto, que comunica estos dos puntos tiene 70 Km.; una carretera tendria 100 Km. y un ferrocarril del 3% tendria una longitud de 120 Km.

3° - ) La instalación puede ser automotora si la pendiente pasa de 7 o 10% segun los casos, lo cual viene a constituir entonces la maxima ventaja en una línea aerea.

El valor de esta ventaja en nuestro pais es considerable y se nota al observar que la mayoría de los centros de produccion esta en terrenos altos y que hay una diferencia en peso a favor de la carga de exportacion, lo que le da a esta cierta energia de posicion que es aprovechable, bastando en muchos casos de poca fuerza para accionar una línea.

4° - ) La fuerza motriz se obtiene de máquinas fijas, las cuales son por lo general mas economicas de explotar que las movibles.

5° - ) Los cables que se inutilizan para el transporte, tienen diversas aplicaciones, lo cual representa un capital que ayuda a su amortizacion.

6 - DESVENTAJAS. De las ventajas que acabamos de ver, hablan los tratadistas, los cablefilos y las casas constructoras de vias aereas funiculares; no sucede lo mismo con las desventajas, de las cuales, cosa rara, hay mayor conocimiento. Por lo tanto, anotamos a continuacion los defectos que señalan los que ignoran las ventajas, pero que sin embargo dan su opinion en contra.

1° - ) Las instalaciones comunes de carga no transportan pasajeros.

Esto es verdad y a nadie se le escapa que mejor sería que para tal cosa sirvieran. Pero hay una falsa apreciacion del objeto de los cables aereos, proveniente de que se quiere obtener de ellos tan buenos o mejores beneficios como los obtenidos

con los ferrocarriles; y conviene tener presente, y esto lo habremos de repetir muchas veces, que no se trata de sustituir éstos por aquéllos: se trata de aumentar nuestras escasísimas facilidades de transporte, con una vía mas eficiente que los caminos de herradura, y mas factible que un ferrocarril. Además, el problema no está en mover pasajeros, pues estos se transportan con relativa facilidad; el problema está en movilizar los productos de la industria. Por otra parte, las modernas vías funiculares sí se proyectan para toda clase de transporte y su costo no excede mucho del de las líneas de carga.

2°) La explotación es costosa porque los cables no duran y el personal que se requiere es muy numeroso.

En capítulo especial hablaremos de los Gastos de Explotación. Por ahora diremos que un cable de buena calidad dura lo suficiente para que su amortización no sea tan rápida como generalmente se cree.

En cuanto al personal, debido a la sencillez de las instalaciones para el cargue y descargue, se hace muy reducido.

3°) LOS CABLES NO DESARROLLAN.- Que sí desarrollan lo demuestran claramente las poblaciones que se hallan en la vía Mariquita-Manizales, especialmente esta última y el Fresno, cuyo progreso, muy notable por cierto, se debe a la influencia del cable. Lo que hay es apreciación falsa, y tendencia a rivalizarlos con los ferrocarriles cuando no siempre son comparables.

4°) Su capacidad de transporte es limitada. Este defecto es apreciable solamente, cuando por fenómenos económicos que no se pueden prever, aumenta el tonelaje de un modo extraordinario, aconteciendo entonces lo que se llama "congestión de carga."

Esta congestión la sufren hasta las empresas que, como los ferrocarriles, pueden aumentar considerablemente con bajo costo el número de unidades de transporte.

En cuanto al límite de capacidad que se refiere a la resistencia del cable, la cuestión es menos grave, porque los pequeños tonelajes, como son en su mayor parte los del país, tienen un porcentaje de aumento anual muy reducido, de tal manera que las líneas pueden proyectarse con un margen de capacidad que sin aumentar considerablemente su costo, sea suficiente para prever el aumento en un tiempo igual al de duración de los cables.

Estas son las ventajas y desventajas inherentes a todas las líneas en general, pero como vimos ya, hay dos sistemas bien definidos: el sencillo y el doble, cada uno de los cuales tiene sus ventajas e inconvenientes peculiares como vamos a verlo.

Los alemanes, italianos y en general los continentales e-



uropeos, dedicados desde el nacimiento de los funiculares a los sistemas dobles, le han dado preponderancia especial a los tricables sin que dejen de aplicar en algunos casos los tipos sencillos.

No sucede lo mismo en Inglaterra donde se propusieron sacar adelante el sistema sencillo y lo consiguieron con los modernos " Monocables sistema Roe " De aquí que los ingleses no admitan la superioridad de los sistemas dobles, y se construyen a veces un bicable, nunca proyectan un tricable.

En sus catálogos encontramos:

✓ VENTAJAS DE NUESTRO SISTEMA SENCILLO:

- 1° ) El emplear un solo cable sin fin, que soporta y lleva la carga, cuyo desgaste es igual en toda su extensión. Como todo este cable pasa por las estaciones, el engrase y la inspección resultan sumamente fáciles y sin peligro de ninguna clase.
- 2° ) El empleo de nuestros ganchos patentados que evitan a los vagones resbalar por el cable, permiten el engrase, aumentando así la duración.
- 3° ) La distribución automática del peso mediante las poleas balanceadoras, hace que la tensión sea uniforme, lo cual permite hacer vuelos largos sin gran desgaste del cable y sin comprometer su resistencia.
- 4° ) El mecanismo automático de los ganchos, los cuales se adhieren al cable y lo sueltan en las estaciones, sin necesidad de ningún aparato que efectúe esta operación. Si por casualidad o descuido, se dejara escapar por el riel uno de los vagones, éste se uniría otra vez al cable automáticamente.

Desventajas del sistema de cables fijos.

- 1° ) Siendo de dos cables es natural que los gastos de instalación y reparación sean mayores.
- 2° ) Los cables-carriles están sujetos a un desgaste desigual especialmente donde hay grandes elevaciones, pues el desgaste ocurre en la parte superior, pero donde pasa por las torres el desgaste ocurre también en la parte inferior.
- 3° ) Para revisar los cables, se hace preciso que uno de los operarios recorra la línea en una de las vagonetas.
- 4° ) En las tiradas largas el cable tractor se balancea sobre los cables-carriles poniendo en grave peligro la seguridad de la vía "

VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DOBLES.

No puede negarse,

sin embargo, que los sistemas dobles poseen tambien sus ventajas no superadas por los monocables, pues no de otra manera se explica que el uso de aquéllos este tan universalmente extendido como el de éstos, o quizá mas. Así, contra el menor costo de instalación que conllevan los unos por no necesitar sino un solo cable, en vez de tres, oponen los otros un menor desgaste en el tractor que es factor de gran economía en la conservación.

Otra ventaja muy valiosa es la de poder los tricables remontar pendientes hasta ~~al~~ 100% , lo cual no es posible con los monocables.

Para transportar grandes cargas indivisibles, se llegaría con los monocables a secciones incompatibles con la flexibilidad necesaria en este sistema.

Y por último, los grandes transportes, los mayores de 1000 toneladas diarias, solo pueden hacerse con los tricables.

Hay pues, razones de peso en pro y en contra de unos y otros, y a proposito de esta disparidad dice Kempé en " Engineer's Year-Book: " " Hay una gran diversidad de opiniones, acerca de las ventajas y desventajas de los dos sistemas, lo cual se debe principalmente, al hecho de que se han instalado gran numero de líneas, sin darles la debida consideracion acerca del tipo mas adecuado a la naturaleza del terreno que se va a cruzar y al objeto que se va a llenar.

Este es, a nuestro parecer, el todo de la cuestión. Fijas de antemano ciertas condiciones y deducidas otras al estudiar debidamente el perfil del alineamiento, se formara un criterio de seleccion sobre la base de la economía.

CAPITULO IV

~~[ ESTRUCTURA Y RESISTENCIA DE LOS CABLES. ]~~

No!

→ 7 - " El cable es la parte mas importante de toda instalacion aerea, y de su bondad, resistencia y esmerada construccion depende, ante todo, el exito del transporte, la duracion de la linea y su capacidad posible, pudiendo decirse que en la eleccion del cable y en su esmerada conservacion estan las principales garantias de una buena y segura explotacion.

Muchos son los tipos de cables que ofrece hoy la industria; mas sólo importan a nuestro objeto aquellos adecuados para vias y los mejor dispuestos para organos de traccion. Los primeros han de presentar una superficie lisa y uniforme, tener cierta rigidez y resistir no sólo un gran esfuerzo de tension, sino los de flexion, torsion y esfuerzo cortante que causan los apoyos y el paso de las carretillas. Los segundos han de ser ligeros y flexibles en extremo, para adaptarse del mejor modo posible a la garganta de las poleas y tambores en que se arrollan, sin por eso dejar de tener gran resistencia a la extension y a las tracciones bruscas producidas por el movimiento de las cargas. Unos y otros deben aumentar de longitud lo menos posible y, en general, se construyen de acero dulce o fundido de la mejor calidad y cuya resistencia a la fractura oscila entre 12.000 y 24.000 Kgms. por  $cm^2$ ."

CABLES-VIAS.

~~[ CLASES USUALES Y SUS CARACTERISTICAS. ]~~

No!

Se distinguen tres clases principales:

- 1°- Cables helizoidales o abiertos.
- 2°- Cables cerrados o lisos y
- 3°- Cables semicerrados o semilisos.

CABLES HELIZOIDALES-

Están formados por un cierto número de alambres de acero de seccion circular arrollados en helice al rededor de un nucleo central como se ve en la fig. 4. Los alambres pueden tener un diametro que varia entre 2,9 y 6 mm. y una resistencia de 60 a 140 Kgs. por  $m.m^2$ ; se arrollan, bien en el mismo sentido, o bien en sentido inverso cada capa de las dos que le siguen. Los tipos mas usuales son de 19 y 37 hilos de igual diametro, habiéndolos tambien de 61, 91 y 127 hilos, con los que se llega a diámetros de 54, 66 y 78 m. m. respectivamente.

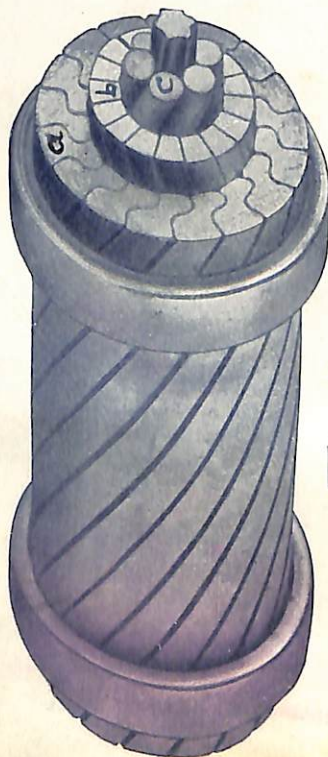
No! [La casa "Folten y Guillaume" construye un tipo de 33 hilos, de los cuales, los 14 que forman la capa exterior son mas gruesos,

Nuestras **vías aéreas, para el servicio continuo**, tienen dos **cables carriles** colocados paralelamente á una distancia de  $1\frac{1}{2}$  á 3 metros. El uno sirve de vía para los wagoncitos cargados y el otro para los wagoncitos vacíos en el regreso. Se anclan en uno de los extremos



*Fig. 4.*

Cable carril espiral.



*Fig. 5.*

Cables carriles cerrados lisos.

que sirven de estaciones y en el otro se cargan de pesos tendedores y suspendidos libremente, que mediante grandes poleas mantienen á los cables en una tensión regular, correspondiente á su sección.

Estos cables son de hilos cilindricos (construcción espiral); ó de hilos especiales (construcción cerrada) formando una superficie completamente lisa. En la línea verdadera los cables se hallan sostenidos por **soportes de hierro ó de madera** como se ven en las figuras



*Fig. 6.*

consiguiéndose con esto mayor resistencia. ]

— El peso  $p$  por metro lineal de un cable helizooidal, compuesto de  $n$  hilos cuyo peso, tambien por metro, es  $P$ , seria:

$p = p' \cdot n$ , si  $p'$  expresara lo que pesa la longitud del alambre que a causa de la encorvadura, entra en cada unidad lineal de cable; pero siendo de 1,015 a 1,5 m. de hilo lo que se necesita por termino medio para obtener un metro de alambre desarrollado, sera por termino medio,

Tambien se usan las formulas  $p = 1.125 p' \cdot n$

$$p = 0,0085S,$$

$$p = 0,0075 nd^2$$

que dan el peso unitario de un cable cuando se conoce su seccion  $S$  en milímetros cuadrados o el diametro  $d$  de los hilos que lo forman, tomando para el acero un peso medio de 7.800 Kg. por metro cubico.

Conociendo el diametro de los hilos se puede obtener la seccion del cable por las formulas.

$$S = 0,598d \text{ para cables de 19 hilos;}$$

$$S = 0,592d \text{ " " " 37 "}$$

El diametro  $D$  del cable en función del de los hilos  $d$  puede hallarse conociendo el numero de alambres  $n$ , que forman la capa externa

$$D = d \left( 1 + \frac{1}{\text{sen } \frac{\pi}{n}} \right) \quad (\text{Método Evrard})$$

Los cables helizoidales tienen varios inconvenientes: presentan gran resistencia a la rodadura de las carretillas debido a la rugosidad de la superficie; cuando se rompe uno de los hilos exteriores, tiende a desarrollarse y las vagonetas se descarrilan; ademas, el agua puede penetrar por los intersticios que quedan entre los hilos y oxidarlos, disminuyendo así su resistencia.

### CABLES CERRADOS/-

Los cables cerrados evitan los anteriores inconvenientes, y estan formados por tres clases de hilos; ( fig. 5 ) Los de la capa externa tienen una seccion  $a$  cuya forma permite enchararlos unos en otros, de donde resulta una superficie de rodadura perfectamente lisa; los de la capa media  $b$ , cuya seccion es de cuña, estan a-

arrollados en sentido contrario a los de la capa anterior y forman un manguito perfectamente cilíndrico y cerrado en absoluto, y los del núcleo c, son de sección circular y están arrollados en la forma corriente.

Estos cables son más resistentes que los helicoidales a igualdad de diámetro, puesto que su sección presenta menor cantidad de huecos. El coeficiente de encorvadura de los hilos es de 1.110 y no tiene importancia la rotura de uno cualquiera de la capa exterior, porque su enganche con los inmediatos hace imposible que se desarrolle, pero en cambio, no es perceptible la rotura de los hilos interiores, y además, por el peso de las cargas, se alargan las envolturas externa y media, quedando el núcleo solo para resistir la mayor parte del esfuerzo de tensión.

Este último inconveniente ha hecho que se abandone en parte este sistema de construcción, sustituyendo la capa media por hilos también redondos y quedando por tanto, el cable formado por la capa exterior de hilos enclavados y un núcleo de hilos redondos arrollados en sentido contrario, cuya resistencia a la fractura se hace un 10% mayor que la de los exteriores. El coeficiente de encorvadura no llega sino a 1,08 lo que contribuye a evitar el estiramiento del manguito y por tanto la fatiga que sufre el núcleo con el uso.

#### CABLES SEMI-CERRADOS.

Se comprende que lo complicado de la sección haga muy costosos los cables cerrados sobre todo cuando se llega a ciertos calibres; el no perder las ventajas que presentan, haciéndolas compatibles con la baratura, dio lugar al tipo de cables semi-cerrados de la casa "Latch y Bachlor" de Manchester. Están formados (fig. 6) por una capa externa de hilos alternativamente redondos y de sección especial, con resistencia de 90 a 100 Kg. por m.m. y un núcleo de hilos redondos. El coeficiente de encorvadura es de 1,10 a 1,14, y aunque presentan una resistencia mayor al paso de las carretillas, son impermeables, no se desarrollan los hilos, en caso de ruptura por estar enclavados, pero tienen el defecto de que los hilos exteriores no sufren todos la misma fatiga.

#### CABLES DE TRACCIÓN. [CARACTERÍSTICAS Y CLASES USUALES.] NO!

Como los tractores han de ser flexibles, generalmente están formados por un alma central de cañamo a la cual se arrollan varios cordones, compuestos a su vez de hilos muy finos de acero fundido en crisoles y cuya resistencia a la fractura llega hasta 200 Kg. por m.m. Los cordones suelen tener también alma de cañamo, y sus hilos están arrollados en el mismo sentido o en sentido contrario a como lo están ellos con respecto al cable.

El tipo mas usado es el llamado " Albert", o " Lang lay" y existen tambien los de cordones de seccion eliptica o triangular, utiles en las instalaciones de grandes desniveles. El diametro de un cable de cordones se calcula por el metodo Evrard siendo n, el numero de cordones:

$$D = d \left( 1 + \frac{1}{\text{Sen } \frac{\pi}{n}} \right) \left( 1 + \frac{1}{\text{Sen } \frac{\pi}{n}} \right)$$

El diametro D de un cable de cordones se obtiene en función del peso, p de un metro lineal, por la formula de Vautier:

$$D = 350p$$

Los cables que se utilizan mas frecuentemente estan compuestos de 6 cordones de a 7 hilos cada uno, de acero y con alma central de cañamo. En el sistema Albert, hilos y cordones estan arrollados en el mismo sentido, con un coeficiente de encorvadura de 1,23 lo que proporciona la ventaja de hacer los cables mucho mas flexibles y adaptables a las gargantas de las poleas ( fig. 7 )

Quando el diametro de las poleas es muy pequeño con respecto al esfuerzo de traccion, los cables de 6 cordones de 7 hilos resultan excesivamente rigidos, empleandose entonces tipos de 6 cordones de 12 hilos y alma de cañamo, resultando el cable de 72 hilos y 7 almas.

Para unir los contrapesos a los cables-vias se necesitan cables extraflexibles que transmitan fácilmente las tensiones tanto de un lado como de otro, lo cual se consigue con cables de cordones elipticos o triangulares; los primeros suelen tener 5 cordones de 9 hilos y alma central de cañamo que es tambien de seccion rectangular; los segundos tienen 6 cordones de a 29 hilos, siendo los centrales de seccion a propósito para obtener un triangulo curvilíneo.

### 8 - RESISTENCIA DE LOS CABLES.

La resistencia de un cable depende no solo de la que tengan los hilos que lo forman, sino de su seccion util, modo de construirlos y coeficiente de encorvadura, y debe notarse que la resistencia unitaria del cable resulta menor que la de los hilos en 4/5 partes; esto proviene de los esfuerzos que sufren los hilos en las operaciones de torcedura.

Si llamamos S, la seccion del cable en  $\text{m.m.}^2$ ;

R, el coeficiente de fractura del metal en Kg. por  $\text{m.m.}^2$ ;

Δ el coeficiente de seguridad para la máx. fatiga admisible;

E, el coeficiente de encorvadura, y

f el peso específico del acero en Kg. por  $\text{cm}^3$ , tendre-

mos, siendo  $T_m$  la tensión máxima que puede sufrir el cable

$$T_m = \frac{S R}{\Delta}, \quad (1)$$

y siendo  $p$  el peso por metro lineal se tiene:

$$p = S E \lrcorner \quad \therefore \quad S = \frac{p}{E \lrcorner} \quad (2)$$

luego

$$T_m = p \cdot \frac{R}{\Delta E \lrcorner} \quad \leftarrow \quad (3)$$





## SEGUNDA PARTE

### Trazado y proyecto.

#### CAPITULO 1

##### Estudio de una línea en general.

9 - En cables aéreos es una norma de trazo el alineamiento recto entre las terminales, deduciendo el rumbo de tal alineamiento con la ayuda de un mapa de la región, o a falta de este, por medio de las coordenadas geográficas de los puntos que se van a unir, o con una simple poligonal si la distancia es corta.

Más sucede con frecuencia, en las líneas de gran longitud, que el terreno presenta obstáculos que hacen sobrepasar la pendiente limitante, habiendo necesidad de hacer cortes en el terreno, que llevan el costo de construcción más allá de los lindes de la economía. En casos como este, precisa hacer, como en las vías terrestres, un reconocimiento, con el fin de estudiar dos o más rutas, y elegir la que más convenga a la economía de la construcción.

→ La elección de la mejor entre varias vías posibles es a menudo un problema difícil de resolver, y de su solución acertada dependen en gran parte la buena marcha de la vía, y su explotación provechosa, pues el ingeniero no debe perder de vista que una vía de transportes es, en la mayoría de los casos, una empresa comercial constituida para obtener ganancias. Al comparar las ventajas que ofrecen las vías posibles, es preciso hallar el costo aproximado de construcción, explotación y sostenimiento, y compararlo con los beneficios probables que ha de rendir la explotación, reduciéndose el problema en muchas ocasiones a determinar si vale más hacer un corte en el terreno, que permita la recta, o hacer un ángulo horizontal con sus respectivas armaduras.

Escogida la ruta se procede a trazar la preliminar y a levantar un plano detallado en una zona de 4 a 6 mtr. de ancho, ( 2 a 3 a cada lado de la poligonal ) haciendo cuantas indicaciones son de rigor en los proyectos de toda vía de transporte tales como, clase de terreno, proximidad de materiales de construcción, facilidades de transporte, precio de jornales, cruce de ríos, cruce con otras vías, paso de poblados o cercanía de ellos etc. etc... siendo estas dos últimas de gran importancia, por el costo de las obras de protección, que son necesarias a veces, o por la necesidad de unir con una sola línea centros importantes de producción o consumo, que son puntos obligados que hacen introducir desviaciones horizontales.

Trazada la línea se procede a nivelarla con la mayor exactitud posible, de 20 en 20 mts. y en los puntos donde cambie notoriamente la inclinación del terreno, con el fin de fa-

cilitar al proyectador el escogimiento de los puntos donde debe colocarse las torres o armaduras de apoyo. ←

### 10 - ELECCION DEL SISTEMA -

Ya habíamos dicho atrás, -primera parte-, que para elegir el sistema había que deducir ciertas condiciones del estudio del perfil, para que con las establecidas por el objeto mismo de la vía se trate de fijar las características o especificaciones que definen una vía de comunicación.

La primera consideración que se tiene siempre al estudiar una línea de transporte, es el tráfico, es decir, la cantidad de carga que se va a mover en un lapso; comunmente se estipula a razón de tantas toneladas por año.

Conocido este número se deduce la capacidad horaria, sabiendo que en un año no hay sino unos 300 días útiles y que las jornadas diarias varían según los distintos lugares de 8 a 10 horas.

Cuando el monto de carga por mover no pasa de 2.000 ton. al año, no merece la pena hacer el estudio, pues para esas cantidades es casi seguro que el mejor sistema es el tradicional transporte a lomo de mula.

Se subentiende que cuando se trata de proyectar un cable aéreo, es porque existen grandes desniveles, o brazos de cordilleras, u otros obstáculos de gran magnitud entre los puntos que se van a unir, pues por las llanuras corren mejor otros vehículos.

Si el tráfico es grande, esto es, si pasa de 80 tns. al día, de una vez puede decirse que se debe adoptar un sistema continuo ( Véase el cap. II de la 1ª parte. ), quedando por decidir si sencillo o doble. ←

Nº Viene en segundo término de consideración, la pendiente: en los monocables no se puede pasar del 50%; en los tricables se puede llegar al 100%.

Nº Si la accidentación del perfil obliga a proyectar tiradas mayores de 500 mtrs., debemos inclinarnos hacia los tricables; mas, si las cargas individuales pasan de 600 Kg. y son indivisibles.

Nº No es fácil como se vé, dar reglas para elegir un tipo por el hecho de adaptarse mejor a un perfil determinado y dentro de una capacidad fija, sin correr el peligro de verlas desmentidas en la práctica, sobre todo en los sistemas de transporte continuo.

→ Resumiendo las consideraciones expuestas y sin que pasen de ser indicaciones generales puede decirse:

Los sistemas continuos no deben adoptarse sino cuando el tráfico pasa de 80 tns. diarias y para longitudes mayores de 5 Kilometros.

Los tricables son preferibles para pendientes que pasan del 40%; tiradas mayores de 500 mtrs.; cargas individuales de mas de 600 Kg. y velocidades de 3 mts. por segundo en adelante.

Los monocables son mas adecuados para terrenos que no sean de una gran accidentacion topografica, con pendientes variables, ascendientes y descendientes, tiradas menores de 600 mtr. y cargas individuales de alguna uniformidad que no pasen de 600 Kg.

Esto no obstante, con los monocables modernos han llegado a proyectarse tiradas de 1.000 m. en terrenos muy escarpados y tambien se han empleado en casos de cargas individuales mayores de 1.000 Kgs. ←

Pero sucede con frecuencia en nuestro país, que en estos problemas concurren dos circunstancias que son, puede decirse, inherentes cada una a un sistema y son: los pequeños traficos y las grandes pendientes.

Estas dos circunstancias nos hacen retrotraer el raciocinio a los sistemas alternativos, suprimidos ya de la discusion porque no resuelven el problema conforme a las necesidades.

Es un principio de economía en vías de comunicación, que la calidad de la vía guarde proporcion con la magnitud del trafico. Seria por tanto un error proyectar una línea costosa como es un tricable continuo, para transportes que estan dentro de la capacidad de los monocables modernos, pues nuestros mayores traficos ascienden apenas a 60.000 tns. al año, siendo excepcionales los que sobrepasan esta cifra.

Las dificultades de pendiente se salvan con ángulos horizontales, que, cuando se logra colocarlos en los puntos obligados artificiales, no raros en las líneas de gran extension, no aumentan el costo de construccion.

Expuesto lo anterior, no nos queda el problema de la eleccion ( salvo algunos casos raros ), pues dadas nuestras circunstancias especiales, nuestro progreso embrionario, nuestra industria incipiente etc., factores que se traducen en trafico pequeño, no podemos empezar por construir líneas costosas que imponen tarifas altas, pues de lo que se trata precisamente es de facilitar el movimiento de carga para que aumente la producción y se establezca el equilibrio de los precios, roto frecuentemente porque el estado transitible de nuestra principal vía de comunicación, esta sujeto al rigor de las estaciones, y parece que lo estaría por mucho tiempo.

Nos decidimos pues, por los monocables Roe, y de ellos nos ocuparemos en lo que sigue, sin dejar de ver algo mas sobre los otros sistemas.

## 11- DATOS PARA EL PROYECTO.

—> Para proyectar un funicular aéreo entre dos puntos, es indispensable disponer del perfil longitudinal del alineamiento, pues solo sobre este se pueden hacer los cálculos que aseguran la estabilidad de la vía y dan la garantía que requiere toda empresa de transportes.

En cambio, en muchos casos de trayectos cortos se puede carecer del plano, siendo suficiente un croquis de las partes importantes y los datos pertinentes que son de competencia del ingeniero.

Ponemos a continuación una lista de los principales datos que se requieren para hacer un buen proyecto:

- 1- El perfil longitudinal.
- 2- El plano correspondiente.
- 3 Los planos de los lugares donde se van a construir ~~laxx~~ diferentes estaciones.
- 4-La capacidad horaria de la línea.
- 5-La clase de material que se vá a transportar y los pesos máximos y medios de las cargas individuales.

6- La mejor manera de generar la fuerza motriz, ya sea porque se pueda disponer de caídas de agua o de combustible barato. ←

7- La manera como se hace actualmente el transporte, cuánto cuesta la tonelada-Kilometro y qué distancia se recorre.

Además, para la elaboración del presupuesto correspondiente deben agregarse:

8- Si los terrenos cruzados por la línea son de propiedad particular o del estado y el precio medio de las fajas.

9- Los precios de:

- a) el metro cúbico de madera aserrada y redonda;
- b ) el metro cúbico de mampostería, y
- c + los jornales.

10 Los datos de carácter particular que puedan influir en el proyecto, en la producción de fuerza y en la erección de la línea.

Los datos del mineral 7 no son indispensables, pero pue-

den servir para ayudar a fijar el límite hasta donde se puede llevar el costo de la nueva vía.

→12- ESTUDIO DE UN PERFIL DADO-, En tesis general, puede decirse, que para adaptar un cable aéreo a un perfil dado, se tropieza con mas dificultades de economía que de técnica, y puede suceder que una línea bien construída no sea económica, si no se saben buscar y aprovechar las facilidades naturales que ofrece el terreno. Tanto el escogimiento de la ruta como el buen proyecto, requieren una consideración especial por parte del ingeniero encargado, hasta para las mas simples instalaciones, y solamente un experto puede en todos los casos conciliar la técnica con la economía.

La falta de cuidado en la elaboración del proyecto, tiene como resultado inmediato, el aumento del costo de instalación, y mas tarde el de explotación, pues se comprende fácilmente que aquel gasto depende ( fuera de la longitud y sección del cable) de la configuración del perfil, puesto que de ella se deduce la energía necesaria para accionar el cable y el mayor o menor número de armaduras y apoyos que se necesitan para salvar las inflexiones verticales de la línea, siendo dichas armaduras mas numerosas, cuando abundan las lomas y cuchillas normales al trazado, siempre que no esten escalonadas en un mismo sentido, pues entonces es casi siempre facil salvarlas con largas tiradas. Además, debe tenerse presente que, el citado costo de construcción varia en razon directa de las dificultades que el terreno presenta para hacer las construcciones, para el transporte de los materiales y para el montaje de los cables. ←

C A P I T U L O 11 .

DE LAS TENSIONES.

13 - CURVA DE LOS CABLES SUSPENDIDOS- Sabemos que la curva que adopta un cable suspendido y sometido a su propio peso es de la forma

$$Y = \frac{m}{2} \left( e^{\frac{x}{m}} + e^{-\frac{x}{m}} \right)$$

Llamada catenaria, en la cual  $m$  es el parámetro y  $e$  la base de los logaritmos Neperianos. Lo laboriosa que resulta la solución logarítmica de ella ha hecho que se recurra a la nomografía, para que puesta en una forma canónica, sea soluble con la ayuda de abacos que, si abrevian los cálculos no dejan de ser confusos y aproximativos. Por estos motivos, en el cálculo de los cables aéreos se sustituyó la catenaria por la parábola, que es de fácil solución. El error que con ello se comete es mínimo, cuando los extremos de la curva están a un mismo nivel; crece a medida que aumenta el desnivel y la distancia horizontal que separa los apoyos, llegando a tener valores de consideración en las grandes tiradas muy pendientes. En la práctica suelen no tenerse en cuenta los errores pequeños porque no alcanzan a comprometer la resistencia de un cable cuyo coeficiente de seguridad llega frecuentemente hasta 8 y porque ellos tienden a disminuir a medida que aumenta la tensión a que se somete el cable en su parte inferior. Pero cuando la diferencia de nivel entre los extremos del hilo es muy considerable, debe hacerse una corrección en las fórmulas de las flechas, que consiste en no considerar el peso de la cuerda proporcional a su proyección horizontal, sino a la longitud de la recta que une los dos extremos. [

14 - PARABOLA.- Tengamos un cable AVB ( fig. 8 ) suspendido entre dos puntos A y B que están al mismo nivel y cuyo peso unitario w, lo consideramos repartido uniformemente a lo largo de la horizontal HX.

Llamemos:

l ; la luz AB;

f , la flecha;

$\alpha$  . el ángulo que hace la tangente CT con el eje de

las flechas XX;

H . la componente horizontal de la tensión

Considerando un elemento infinitesimal de cable , podemos es-

cribir:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{wx}{H} \therefore dy = \frac{w}{H} x dx$$

Integrando se tiene:

$$\int dy = \frac{w}{H} \int x dx$$

o sea:

$$y = \frac{w}{H} \cdot \frac{x^2}{2} \tag{1}$$

que es la ecuación de la parábola referida a los ejes coordenados que pasan por su vértice. Además, si consideramos solamente la mitad  $\frac{l}{2}$  del cable, la ecuación de los momentos con relación al punto B nos da:

$$Hf = w \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{4} = \frac{wl^2}{8} \therefore H = \frac{wl^2}{8f}$$

Reemplazando este valor de H en (1), se tiene:

$$y = \frac{4fx^2}{l^2} \tag{2}$$

por un principio de mecánica (Bwsser art. 62) se sabe que

$$\text{tag } \alpha = \frac{4f}{l} \quad \therefore y = \frac{\text{tag } \alpha \cdot x^2}{l} \tag{3}$$

Esta fórmula es de gran importancia en la práctica, pues con ella podemos hallar la pendiente, en el punto mas alto B, y comprobar si es admisible comparandola con la pendiente adoptada como limitante.

Para la tensión del cable en un punto P, de coordenadas Xy, se tiene:

$$T_p = H \sec \theta$$

$$T_p = \frac{H}{\cos \theta}$$

siendo  $\theta$  el ángulo que hace la tangente en P con el eje de las X. La tensión en el vértice B es, según se desprende del triangulo de las fuerzas TVH

$$T_B = \sqrt{V^2 + H^2}$$

$$\text{y como } V = \frac{wl}{2}$$

$$H = \frac{wl^2}{8f}$$

$$T_B = \frac{wl}{8f} \sqrt{l^2 + 16f^2}$$

(4)

La tensión del cable en los vértices de las torres es mayor que en los puntos intermedios y es mínimo en el punto de mayor deflexión, es decir en el vértice  $V$  de la curva.

La fórmula (4) es la base sobre la cual reposa el cálculo de los cables aéreos. Observándola se nota, que la tensión es universalmente proporcional a la flecha; por tanto si aumentamos esta, desde que el terreno lo permita, rebajaremos a  $T$  hasta un valor conveniente para la seguridad del cable. Falta ahora ver cómo se aplica en todos los casos, pues en la práctica el caso común es el que muestra la fig. 9, en la cual  $B$  está sobre  $A$  una altura  $h$  conocida por las cotas del perfil, y la curva  $AVB$  no es una parábola referida a los ejes que pasan por su vértice como la de la figura precedente, sino un arco parabólico del cual no conocemos sino la distancia  $a$  y el desnivel  $h$  y cuyo vértice puede estar a la derecha o la izquierda de  $A$ . Por tanto, si fuéramos a aplicar la fórmula (4) tendríamos como incógnitas, fuera de  $T$ , a  $l$  y  $f$ , que en este caso son  $L$  y  $F$ . Para resolver el problema necesitamos pues tres ecuaciones.

Completemos la parábola, prolongándola de  $A$  hasta  $C$  en la forma que con puntos se indica en la figura, y tratemos de hallar a  $L$  y a  $F$ .

Para esto, tracemos por  $A$  la horizontal  $AD$  que llamaremos  $l$ , y llamemos  $f$  la flecha de la parábola  $AVD$ . En esta nueva curva conocemos a  $T_A$  que es la tensión inicial, y podemos por tanto establecer el siguiente sistema:

$$T_A = \frac{wl}{8f} \sqrt{l^2 + 16f^2} \quad (5)$$

$$Y = \frac{4fX^2}{l^2} \quad (6)$$

$$Y_1 = Y + h \quad (7)$$

Para  $Y = Y_1$ ,  $X = (a-X)$ ; entonces, la ecuación (6) queda así:

$$Y_1 = \frac{4f}{l^2} (a-X)^2 \quad (8)$$

De (7) sacamos

$$h = Y_1 - Y = \frac{4f}{l^2} (a-X)^2 - \frac{4fX^2}{l^2} = \frac{4f}{l^2} [(a-X)^2 - X^2] \quad \dots$$

$$h = \frac{4f}{l^2} (a^2 - 2aX)$$

y como  $X = \frac{l}{2}$ ,

$$h = \frac{4f}{l^2} (a^2 - al) \quad \dots$$

$$f = \frac{hl^2}{4(a^2 - al)}$$

que reemplazada en (5):

(9)



$$T_A = \frac{w(a^2 - dl)}{2hl} \sqrt{l^2 + \frac{h^2 l^4}{(a^2 - dl)^2}}$$

$$T_A = \frac{w}{2h} \sqrt{(a^2 - dl)^2 + h^2 l^2}$$

$$T_A = \frac{w}{2h} \sqrt{a^4 + a^2 l^2 - 2a^3 l + h^2 l^2} \quad \therefore T_A^2 = \frac{w^2}{4h^2} (a^4 + a^2 l^2 - 2a^3 l + h^2 l^2)$$

quitando denominador y paréntesis queda:

$$4h^2 T_A^2 = a^4 w^2 + a^2 l^2 w^2 - 2a^3 l w^2 + h^2 l^2 w^2;$$

ecuación que se puede resolver para  $l$ , ya que es de la forma

$$ax^2 - bx + c = 0, \text{ así:}$$

$$(a^2 w^2 + h^2 w^2) l^2 - 2a^3 w^2 l + a^4 w^2 - 4h^2 T_A^2 = 0 \quad \therefore$$

$$l = \frac{2a^3 w^2 \pm \sqrt{4a^6 w^4 - 4(a^2 w^2 + h^2 w^2)(a^4 w^2 - 4h^2 T_A^2)}}{2(a^2 w^2 + h^2 w^2)} \quad y$$

$$l = \frac{a^3 w \pm h \sqrt{4 T_A^2 (a^2 + h^2) - a^4 w^2}}{w(a^2 + h^2)} \quad (10)$$

En esta fórmula se toma el radical con el signo mas (+) cuando el vertice de la parábola esta a la izquierda, y el signo menos (-) cuando esta a la derecha.

Obtenido el valor de  $l$  se reemplaza en (9) y se tiene a  $f$ , y así podemos tener  $F$  y  $L$  que es lo que perseguimos, de la manera siguiente:

$$L = 2 \left( a \pm \frac{l}{2} \right) = 2a \pm l \quad J$$

$F = h + f$ , con lo cual podemos aplicar la fórmula (4) que será:

$$T_B = \frac{wL}{8F} \sqrt{L^2 + 16F^2} \quad (11)$$

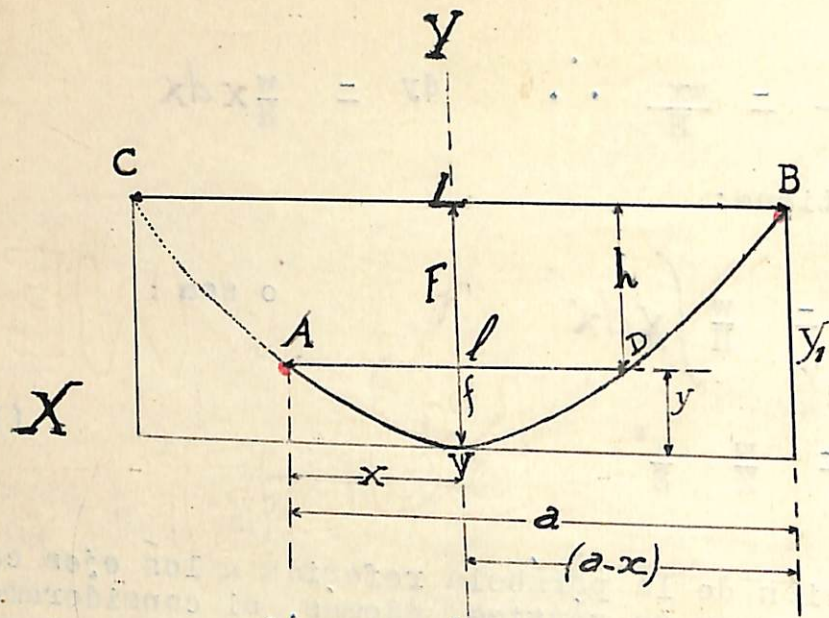
15-TENSION INICIAL- Se llama tensión inicial, la tensión que hay que darle al cable cuando quedemontado en sus apo-

yos, para que las curvas adquirieran las flechas calculadas y para crear cierta adherencia, entre la polea de impulsión y el cable, de manera que el movimiento de aquélla se trasmite, a éste sin pérdidas por deslizamiento. Tal estado de tensión se obtiene mediante bloques de fundición, cemento u otro material pesado que forman un cuerpo llamado contrapeso, y cuyo peso se transmite al cable, mediante dispositivos especiales llamados mecanismos de tensión o tensores (~~vease figura 17~~)

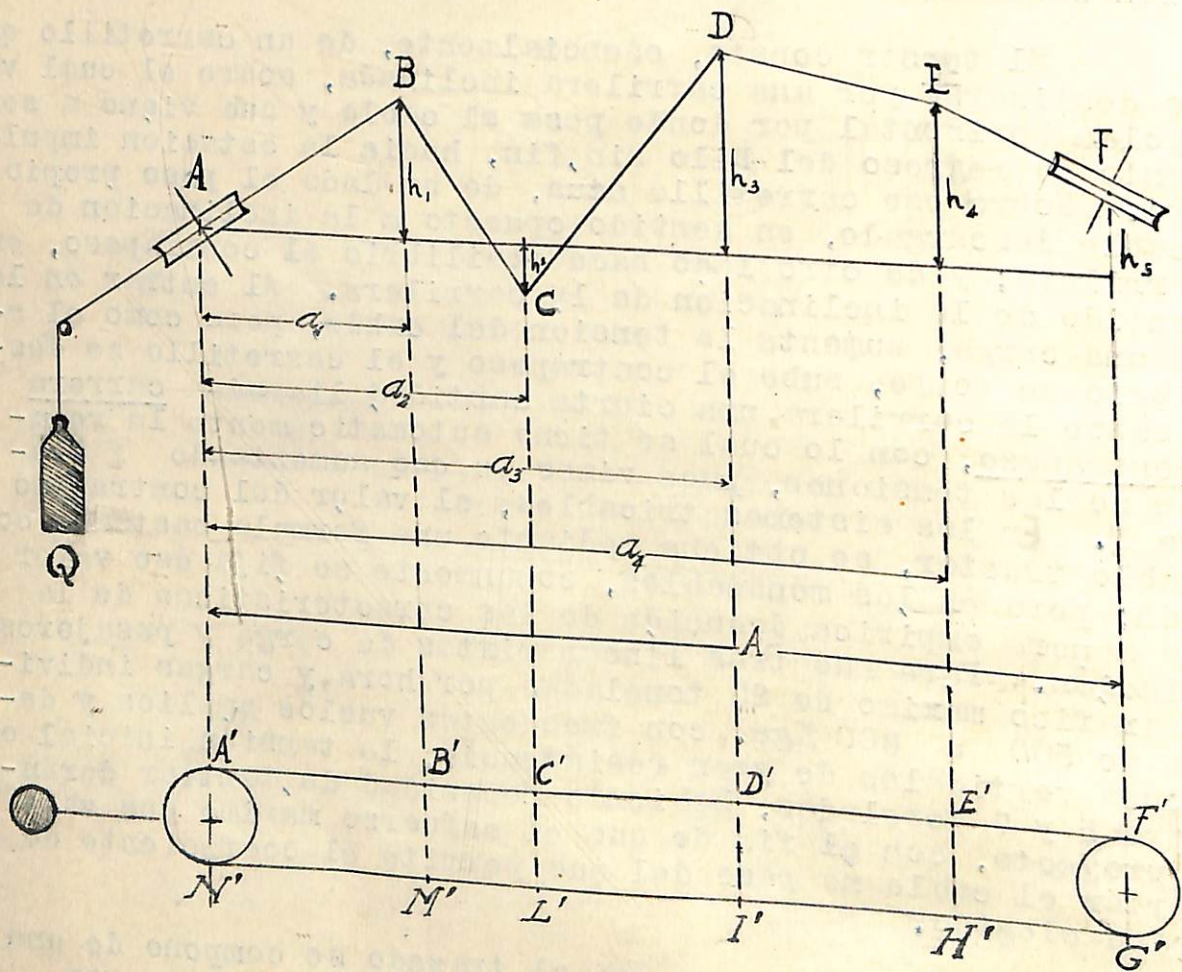
Generalmente se coloca el contrapeso en la estación mas baja y el motor en la mas alta; de esta manera, las tensiones acumuladas, debidas al peso propio del cable, ayudan a la tensión inicial.

El tensor consta, esencialmente, de un carretillo que puede deslizarse por una carrilera inclinada, sobre el cual va una polea horizontal por donde pasa el cable y que viene a ser el punto de regreso del hilo sin fin, hacia la estación impulsora. Sobre ese carretillo actúa, de un lado el peso propio del cable descargado, en sentido opuesto a la inclinación de la carrilera; y de otro lado hace equilibrio el contrapeso, en el sentido de la inclinación de la carrilera. Al entrar en la línea una carga, aumenta la tensión del cable, pero como el equilibrio se rompe, sube el contrapeso y el carretillo se desliza sobre la carrilera, una cierta cantidad, llamada carrera del contrapeso, con lo cual se tiene automáticamente la regulación de las tensiones, pues vimos ya que aumentando  $f$  disminuye  $T$ . En los sistemas tricables, el valor del contrapeso del cable tractor, se obtiene mediante una fórmula bastante complicada; pero en los monocables, comunmente se fija ese valor de una manera empirica deducida de las características de la instalación. Para nuestras líneas mixtas de carga y pasajeros, con un trafico máximo de 20 toneladas por hora, y cargas individuales de 500 a 800 Kgs., con frecuentes vuelos amplios y deflexiones verticales de gran resistencia, la tensión inicial es entre 5 y 7 toneladas, habiendo necesidad de, tantear durante el proyecto, con el fin de que el esfuerzo máximo que vaya a soportar el cable no pase del que permite el coeficiente de seguridad elegido.

En líneas largas, en que el trazado se compone de una serie de curvas, debe tenerse en cuenta que las tensiones se van sumando del punto mas bajo hacia el mas alto y que cuando los apoyos son muy numerosos, el rozamiento que engendra la presión que ejerce el cable sobre ellos, va haciendo disminuir el efecto del contrapeso hasta llegar a anularlo practicamente, dejando de funcionar entonces como regulador automatico. Esto, que ocurre en los monocables entre longitudes de 4 a 6 Km., hace preciso instalar en plena vía estaciones dedicadas exclusivamente a la tensión de las secciones en que hay necesidad de dividir la línea, siendo conveniente elegir bien estos puntos límites de sección en el perfil, y aprovecharlos, si se



- Fig. 9 -



- Fig. 10 -

puede, ya para estaciones intermedias de carga y descarga, o ya para estaciones de cambio de direccion.

Las secciones pueden funcionar aisladamente o acopladas, segun convenga a la economia de la explotacion, siendo desde luego ventajoso, mover dos secciones consecutivas con un solo motor.  $\triangleleft$

$\rightarrow$  16 - DIAMETRO DEL CABLE - El diametro del cable depende de la tension maxima ( $T_{max}$ ), y como esta a su vez, depende de aquel, pues como se recordara, en la formula (4) entra el peso  $W$  en el cual esta incluido el peso unitario del cable, se comprende que no es posible dar una formula exacta para hallar el diametro. Pero existe cierta relacion entre la seccion del cable y el peso de las cargas, que puede expresarse diciendo que la seccion es proporcional al peso. Esta relacion varia entre 200 y 300 Kg. por centimetro cuadrado y se escribe asi:  $\frac{P}{S} = 200$ . Es decir, que un centimetro cuadrado de la seccion del cable puede soportar una carga de 200 a 300 Kgs. segun la calidad del acero. En el sistema Roe se admite una relacion de 300 Kgs. y se emplean hilos de acero fundido cuya carga de ruptura a la traccion sea de 140 Kg. a 180 kg por  $\frac{m^2}{m}$ .

Asumiendo que el peso de una vagoneta vacia, es proximoamente igual a la mitad de la carga util, se pueden usar cables de

14	a	15	mm	para	cargas	útiles	de	150	Kgs.
15	a	18	"	"	"	"	"	300	"
18	a	20	"	"	"	"	"	450	"
20	a	23	"	"	"	"	"	600	"
23	a	26	"	"	"	"	"	800	"

Conocido el diametro se busca el peso unitario que corresponde a la seccion hallada, en un catalogo de cables especiales para transportes aereos. A este peso se agrega el peso por metro lineal debido a las cargas y considerado uniformemente repartido, con lo cual se obtiene el valor de  $W$  que entra en la formula de la tension.  $\triangleleft$

NO! 17 - TENSION MAXIMA - Sea A B C D E F la línea por cuyo lado A B C D E F, supondremos  $n$  vagonetas de peso  $P$ , y por cuyo lado G N habra otras tantas de peso  $P$ ; sea  $d$  la distancia constante que separa dos vagonetas consecutivas y llamemos  $a_1, a_2, a_3, a_4, \dots, a_n$ , las distancias al origen;  $h_1, h_2, \dots, h_n$ , los desniveles respectivos, tambien con respecto al punto A.

La tensión en B, será, suponiendo que las cargas suben por el lado A'F':

$$T_B = \frac{Q}{2} + \sum_n P(\text{sen } \alpha + f \cos \alpha) + pl(\text{sen } \gamma + f \cos \gamma);$$

pero, para facilitar los cálculos, puede suponerse que la longitud del arco d de hilo que separa dos vagonetas es igual a su cuerda, y el segundo término del segundo miembro de la ecuación quedara así:

$$\frac{P}{d} (h_1 + fa_1) \text{ y llamando } c \text{ a la cuerda } \underline{AB}$$

$$T_B = \frac{Q}{2} + \frac{P}{d} (h_1 + fa_1) + \mu \frac{l}{c} (h_1 + fa_1); \quad \text{de donde:}$$

$$T_B = \frac{Q}{2} + \left( \frac{P}{d} + \mu \frac{l}{c} \right) (h_1 + fa_1) \quad (12)$$

y si suponemos  $l = c$

$$T_B = \frac{Q}{2} + \left( \frac{P}{d} + \mu \right) (h_1 + fa_1) \quad (13)$$

Esta simplicidad, obtenida a fuerza de suposiciones no muy exactas, debe tenerse en cuenta en la practica aumentando las tensiones calculadas en un 50%

En C se tendría:

$$T_C = T_B - \left( \frac{P}{d} + \mu \right) [(h_1 + h_2) - f(a_2 - a_3)] \quad \therefore$$

$$T_C = \frac{Q}{2} + \left( \frac{P}{d} + \mu \right) (-h_2 + fa_2); \quad \text{y en el último}$$

punto F:

$$T_F = \frac{Q}{2} + \left( \frac{P}{d} + \mu \right) (h_5 + fA); \quad \text{y de modo}$$

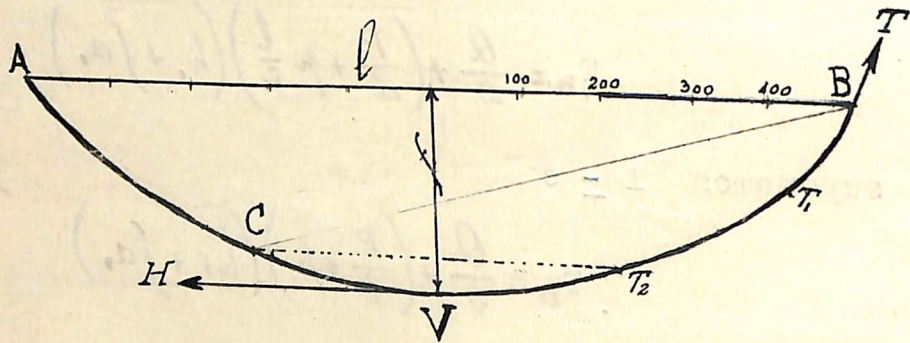
análogo en el lado N'G':

$$T_{H'} = \frac{Q}{2} + \left( \frac{P'}{d} + \mu \right) [(h_4 - h_5) + f(A - a_4)]$$

y

$$T_{N'} = \frac{Q}{2} + \left( \frac{P'}{d} + \mu \right) (-h_5 + fA)$$

Comparando las tensiones de los distintos puntos podrá verse cual es la  $T_{max}$ .



- Fig. 11. -



C A P I T U L O    III

MODO DE PROYECTAR.

18 - Vamos ahora a tratar de exponer la práctica seguida para proyectar un cable del sistema Roe.

Comunmente el trazado de la línea no se hace con la exactitud y minuciosidad que se expuso en el paragrafo 9, sino que, sencillamente, hecho el reconocimiento por un experto, se levanta a taquimetro el perfil del alineamiento. Luego, sobre el perfil, y teniendo ya establecidas todas las especificaciones que caracterizan la línea, hay que dibujar la curva que adopta el cable uniformemente cargado ( y también la del cable, vacío ), por medio de plantillas de forma parabolica y construidas sobre las especificaciones.

Vimos ya, ( parágrafo 14 ), que en la curva A V B ( Fig. II ), la tensión es menor en el punto mas bajo V, y que aumenta a medida que se asciende, llegando a tener su maximo en los puntos mas altos A y B; por tanto, en el trayecto V B de la plantilla tenemos diferentes tensiones H, T<sub>2</sub>, T<sub>1</sub>, T que podemos aumentar o disminuir acortando o alargando la flecha sin variar la luz AB. Para un cable de peso w por metro lineal, podemos construir una plantilla que tenga en B, una tensión dada T, dentro de una luz l, por medio de la fórmula de la parábola.

$$Y = \frac{4 f X^2}{l^2}$$

En efecto: de la fórmula

$$T = \frac{wl}{8f} \sqrt{l^2 + 16f^2}$$

, sacamos:

$$f = \frac{wl^2}{4\sqrt{4T^2 - wl^2}}$$

014

Remplazado este valor de f en la ecuación general de la parábola, podemos darle valores a x para obtener los correspondientes de y, y construir la curva por puntos sobre un papel de perfil. Comunmente se hace l = 1000 metros, pues se considera que son muy raros los vuelos de mayor amplitud. Se entiende que las plantillas se hacen en la misma escala del perfil y veamos ahora como se manejan.

Conforme lo estudiamos en el parágrafo 15, fijamos la tensión inicial T<sub>i</sub> y empezamos el proyecto por la estación mas baja que es la tensora; construimos una plantilla cuyas



tensiones varíen a partir de  $\frac{T_1}{2}$  como mínima, sabiendo que en ese caso

$$f = \frac{w l^2}{8 H}, \text{ siendo } H = T_1.$$

Estando localizado en el papel el punto de arranque de la primera curva, colocamos sobre el, el punto de la plantilla que corresponde a la mitad de la tensión inicial, y haciendo que la cuerda que subtiende al arco tome siempre la posición horizontal, buscamos el punto para colocar la primera torre en una saliente del terreno que esté bajo la plantilla; luego hallamos la altura de dicho apoyo midiendo con la escala el espacio comprendido entre el borde de la plantilla y el terreno, y además, se lee la tensión que corresponde a ese punto.

- Se traza verticalmente y a la escala la altura de la torre y tomando su vértice como nuevo punto de partida se traza la curva siguiente. Antes de trazar la tercera curva es preciso verificar si el primer apoyo soporta una presión admisible, si tiene un equilibrio estable y si la tangente en dicho punto no se pasa del límite admitido. Hay que procurar que los ángulos de llegada y de partida en los vértices de los apoyos, sean próximamente iguales para que la resultante de las tensiones pase por la base de sustentación; de lo contrario hay que contrarrestar la acción de la componente horizontal que resulta de tal diferencia de ángulos por medio de alambres "contrayientos", lo cual debe evitarse en lo posible. La verificación puede hacerse gráficamente en un papel aparte: a partir del vértice de la torre se trazan las tangentes a las curvas de uno y otro lado; sobre dichas tangentes se toman a escala las tensiones y cerrando luego el polígono de fuerzas, la diagonal nos da la magnitud de la presión y su dirección respecto de la vertical.

Dividiendo la presión total por la que puede soportar una polea, se tiene el número de poleas, y con esto, el tipo de la armadura.

Para las tangentes se tiene:

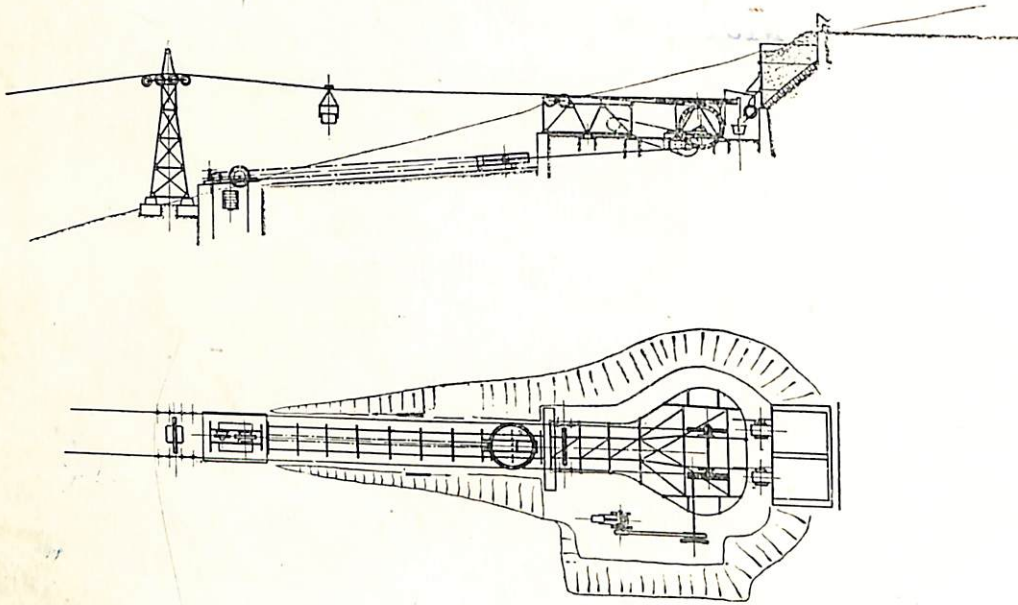
$$\text{Tang. } \alpha = \frac{4f}{l} \quad (\text{véase (3)})$$

y en un punto cualquiera de la curva, de coordenadas  $X, Y$ , se puede aplicar la fórmula anterior porque siempre se tendrá que para

$$Y = f \quad x = l/2, \text{ luego}$$

$$\text{tang } \alpha = \frac{2y}{x}$$

Fig. 12.



8708.—Arrangement for Loading, Driving and Tension Station on hill side.

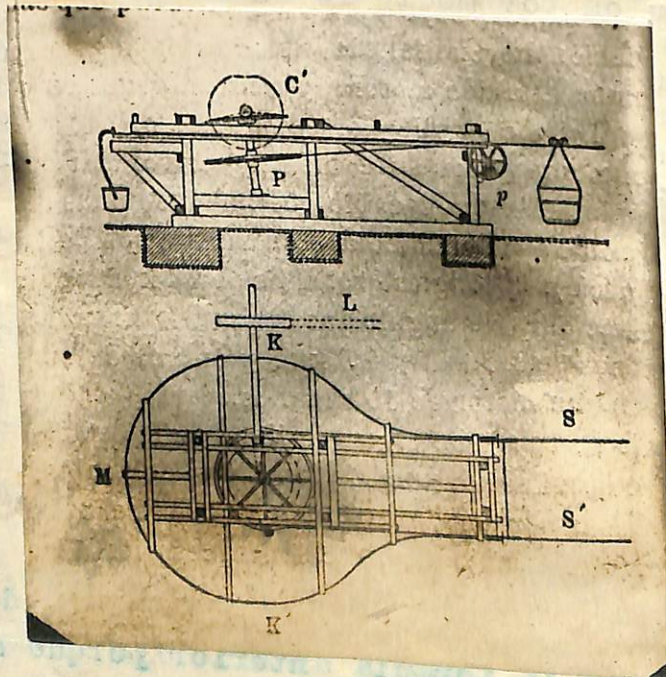


Fig. 13

Fig. 14.

TERCERA PARTE.

ELEMENTOS QUE CONTITUYEN UN CABLE AEREO.

C A P I T U L O I

Estaciones.

19 - Aunque el primer elemento es el cable mismo, no lo mencionamos aqui por haber dicho ya lo suficiente a este respecto en el Cap. IV de la primera parte.

Tampoco hablaremos de los motores, pues nada tienen de particular para el caso, siendo aplicables todas las clases que fabrica la industria.

En cuanto a las estaciones, veamos, siquiera sea someramente, las de los monocables movibles del sistema inglés, ~~que por ahora nos interesa~~, limitandonos a enumerar los principales accesorios que tienen relacion con la línea y el movimiento de las vagonetas.

Son de tres clases: terminales, intermedias, y angulares.

20 - Estaciones terminales. - En líneas cortas no hay más estaciones que las de los extremos, destinadas, por lo comun, una al cargue y otra al descargue; en la mas alta se coloca el motor y en la de abajo el tensor; pero pueden colocarse ambos aparatos en una misma estacion si algun inconveniente impide ponerlos separados, como puede verse esquematicamente en la fig. 12.

La figura 13 muestra una sección longitudinal y la planta de una estacion motora ~~para el sistema Wiggson~~, que consta, esencialmente, de una armadura metalica o de madera convenientemente dispuesta y cimentada para que soporte:

1° ) La polea motora P, cuyo eje, inclinado un ángulo de 8 a 10 grados, termina por su extremo inferior en una rangua, y por el superior en un piñón conico que engrana con el C a quien transmite el motor su movimiento por la correa L.

2° ) Las dos poleas p en que se apoya el cable y

3° ) La vía aérea K.M.K' que sirve para rodar abrazado las vagonetas que vienen descargadas por el lado S y han de salir cargadas por S. Dicha vía aérea se compone de un riel de sección especial como el que muestra la fig. 14, que se suspende de la armadura por medio de escuadras.

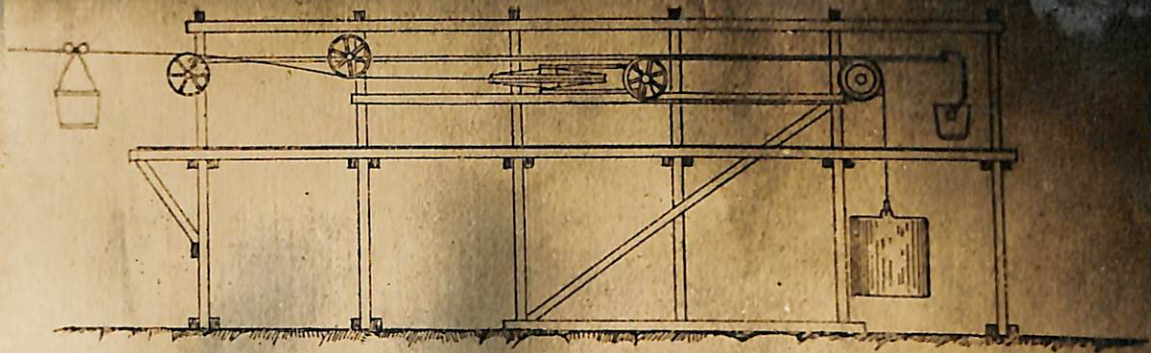


Fig. 85.

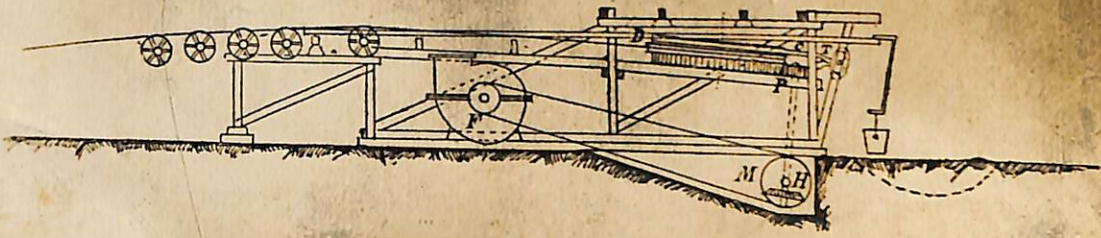
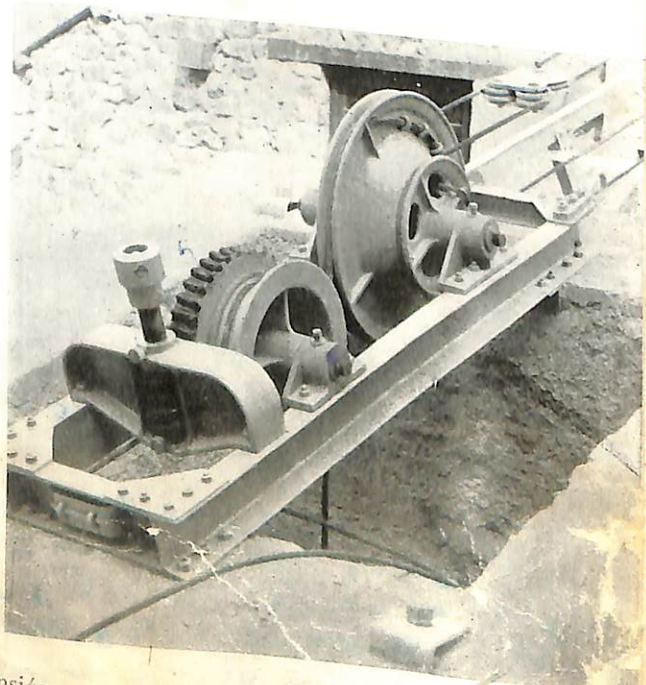
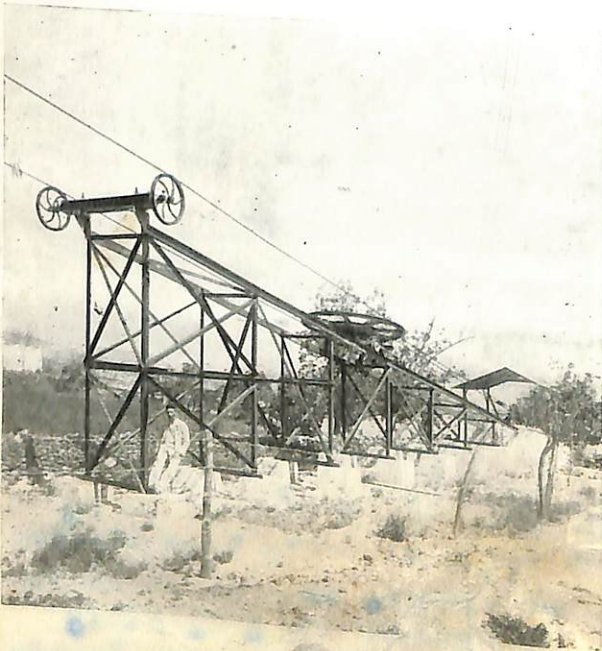


Fig. 86.

*Figs. 15 y 16*

ROPEWAYS LIMITED, LONDON.

*Fig. 17*



Maquinaria de tensión.

La estación tensora solo se diferencía de la anterior en que la polea a que se arrolla el cable tiene su eje dispuesto en una armadura de forma variable, que o bien desliza en unas guías dispuestas en un plano inclinado, paralelo al de la polea, o va provista de cuatro pequeñas ruedas que pueden moverse sobre dos rieles, también en plano inclinado. A la armadura se atan uno o dos cables convenientemente guiados y en cuyo otro extremo van los contrapesos, o bien se enlazan con un tensor de palanca o tornillo, según los casos. Pero este último dispositivo solo puede emplearse cuando las tiradas son muy cortas y los apoyos están próximos; de lo contrario, el contrapeso es el mejor regulador automático para lograr que la tensión varíe entre límites muy próximos, pues se ha podido comprobar que las tensiones ampliamente variables, acaban más pronto los cables que las tensiones fijas, aun siendo éstas, mayores que aquéllas. ←

ojo! NO! [Las figs. 15 y 16 muestran las terminales de un cable Roe. La diferencia con las anteriores, consiste solamente en algunos perfeccionamientos referentes a la colocación del contrapeso en líneas de grandes tiradas y a la instalación de frenos cuando son automotoras. Las figs. 2 y 17 son estaciones típicas de impulsión y tensión respectivamente.]

→ 21 - ESTACIONES INTERMEDIAS- Habíamos visto ya, (~~parágrafo 15,~~) que en líneas largas era preciso dividir las en tramos cuya longitud varia de 4 a 6 Km. según sea el terreno, para lograr que la acción del contrapeso sea siempre efectiva. Las intermedias pueden ser motoras o de tensión. En el primer caso, con un solo motor pueden accionarse los dos tramos que convergen a la misma estación; en el segundo caso, se necesitan dos tensores. Puede suceder también que la estación no tenga más objeto que formar un puesto de carga y descarga, en cuyo caso, el cable sigue sin interrupción; pero de todas maneras, al llegar a la estación, las vagonetas abandonan automáticamente el cable para seguir por el riel suspendido hasta el extremo opuesto de la armadura, en donde vuelven a coger ellas mismas el cable. La fig. 3 muestra una estación intermedia.)

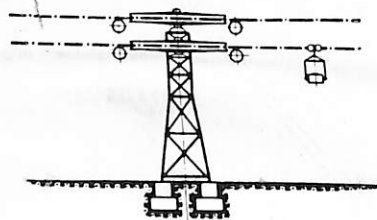
22 - ESTACIONES ANGULARES - Son estaciones intermedias en las cuales la línea cambia de rumbo por no haberse podido trazar la recta entre las terminales. Ocurre esto cuando hay que unir varias poblaciones o cuando el terreno presenta repentinamente elevaciones que no se pueden vencer con las pendientes admisibles. Este último caso es más frecuente para los monocables, pues con el sistema más perfecto que es el de Roe sólo se puede ascender por un 50%, en tanto que los tricables suben hasta por un 100%, ~~como puede verse en los perfiles de las figuras 18 y 19.~~ ↗

ojo! NO! [La figura 20 muestra una estación de ángulo en la cual puede verse que las poleas en donde el cable hace el ángulo no son horizontales, pues si lo fueran, como el cable no lo es en ese trayecto, tendería a salir de las gargantas; para evitarlo hay que dirigir la presión del cable normalmente al eje de la polea, lo cual se consigue poniendo ésta en el plano determinado por las rectas que partiendo de su centro geo-

*Fig. 20.*



Estación de ángulo. Cable Aéreo de la INTERNATIONAL SALT COMPANY, LIMITED, Carrickfergus, Irlanda.



*Fig. 21.*

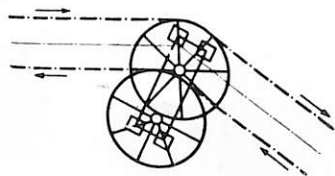


Fig. 19 Estación de curva automática

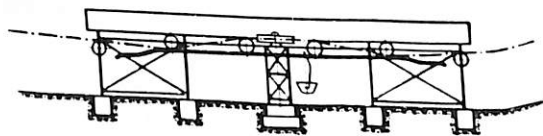




Fig. 20 Estación de ángulo con carril para el retorno de las vagonetas aéreas

Diagrama que muestra los tipos de las estaciones

métrico, van a pasar por los vértices de las torres que quedan a uno y otro lado de la estación.

Las fg. 21 es un esquema de estación angular para monocables Bleichert, en el cual las poleas están en posición horizontal. 

! Si  $\rightarrow$  Las estaciones de los tricables, pueden clasificarse como las anteriormente descritas, en terminales e intermedias, pudiendo ser unas y otras de carga y descarga; las intermedias pueden, a su vez, ser de ángulo, de tensión y de división de línea.

La arquitectura y disposición general de las estaciones depende, como puede comprenderse, no solo del objeto a que se destinan, sino principalmente de las condiciones necesarias para lograr que las operaciones de carga, descarga y transbordo sean, a la vez que rápidas, fáciles y económicas. 

Dado que los sistemas dobles no nos interesan mucho por ahora, no entramos a detallar la complicada disposición de una estación terminal que mueve un grueso volumen de carga. ~~Las fgs. 43 dan idea de las estaciones de las grandes líneas tricables.~~

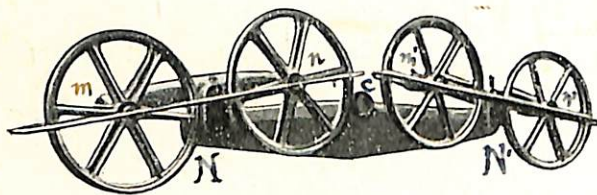


Fig. 22.

Armadura a 4 pulegge d'un cavalletto per sistema a fune unica.

ROPEWAYS LIMITED, LONDON.

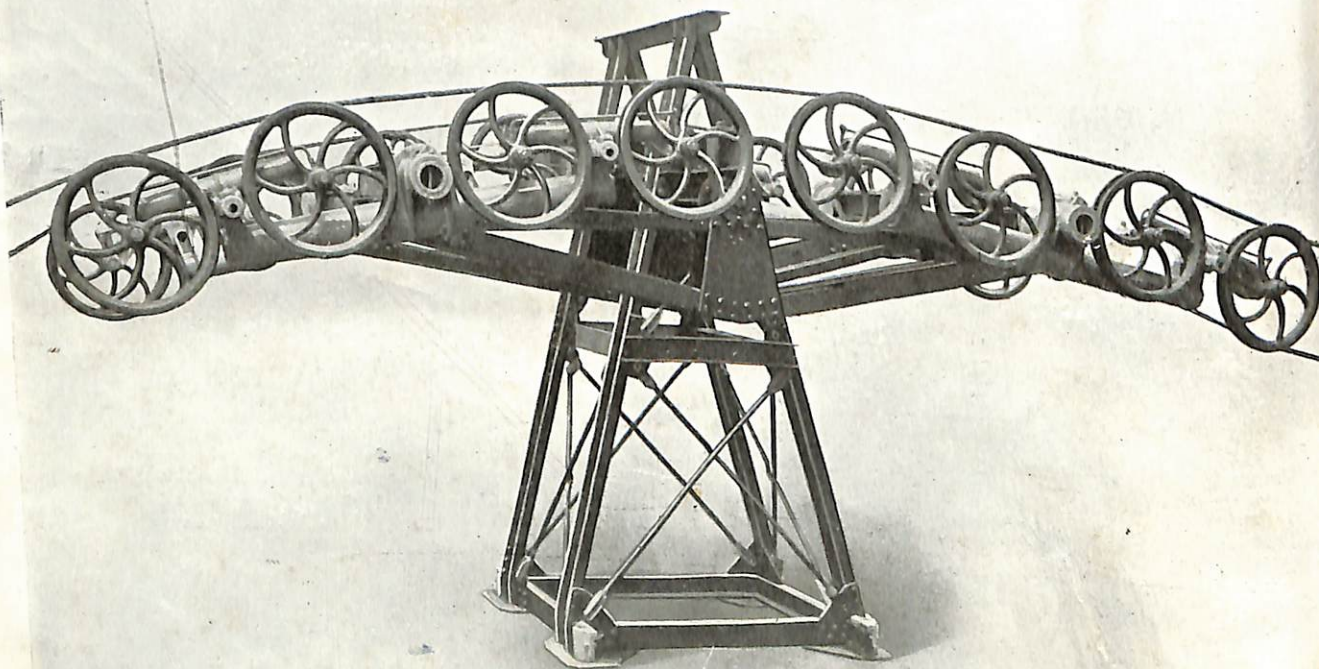


Fig. 23 .

Caballote de Acero especial. Sistema de montar ocho poleas para distribuir el peso del cable por igual.



C A P I T U L O      11

→ TORRES Y POLEAS DE APOYO.

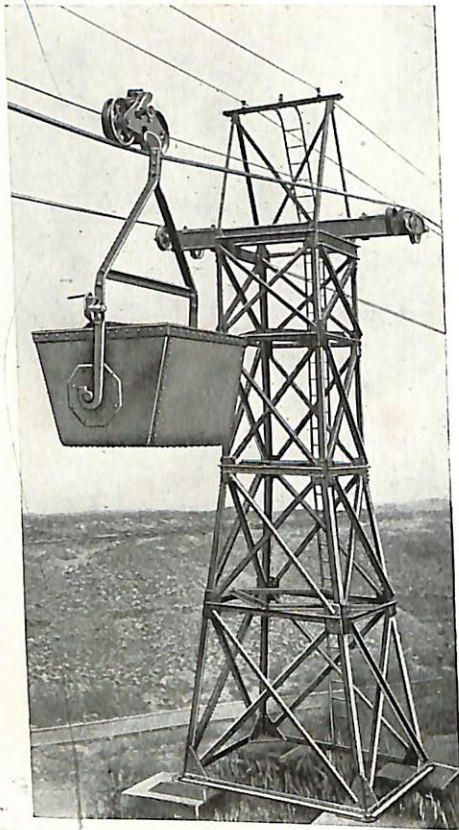
23- Las torres son armaduras mas o menos complicadas, de madera o de acero, destinadas a sostener las poleas en que se apoyan los cables. Las torres o caballetes del sistema Roe y en general cuantas se ponen en los monocables modernos, llevan una sola polea por el lado de las cargas mas livianas ( en caso de traficos desiguales ), cuando el terreno es poco accidentado y los caballetes estan proximos; pero en cambio llevan dos por el lado de las cargas mas pesadas, subiendo estos numeros a 2 y 4 respectivamente, cuando los vuelos son muy largos o la pendiente es fuerte, y llegando hasta 8 cuando hay necesidad de salvar una colina escarpada. Sea cualquiera su numero, van montadas por pares en los extremos de una palanca que puede bascular alrededor de un eje horizontal. Cuando son 4, se montan en doble articulacion (~~Fig. 22~~), es decir, cada palanca  $m n, m' n'$ , en los extremos  $N N'$  de otra que a su vez gira alrededor del eje  $C$ . La fig. 23 muestra un juego de 8 poleas para el paso de una elevacion del terreno. Empleando estos sistemas de apoyo, las presiones del cable se reparten uniformemente, su desgaste no aumenta, el movimiento se suaviza y puede llegarse a lyses de 600 mts. sin exceso de trabajo del cable por flexion, llegandose facilmente a cargas individuales de 800 Kgs. y a rendimientos de 120 tns. por hora en condiciones favorables; para lineas dificiles, con grandes tiradas puede asegurarse un rendimiento de 30 a 40 tns. por hora.

La mayor altura que puede dársele a un caballete de acero es de 60 mts.; armaduras mas altas resultan muy complicadas y costosas por lo cual deben evitarse a todo trance. De 15 metros de altura en adelante conviene ayudar a la estabilidad con alambres contravientos.

Las torres de los tricables son un poco mas complicadas, pues llevan, ademas de las poleas-guias del cable tractor, que entonces tienen, por lo general, forma de rodillos; los carrretes en que se apoyan los cables-carriles. Ademas, como soportan un peso mayor, por bajos que sean hay que ponerles 4 piernas, en tanto que los caballetes de los monocables no necesitan, por lo general, sino 3 piernas, lo cual hace que sean mas sencillos y ligeros. Comunmente estan formados por tres poliedros, asi: primero un tronco de piramide triangular; luego un prisma recto tambien triangular, y éste coronado por un pequeño tronco de piramide. ← hasta aqui!

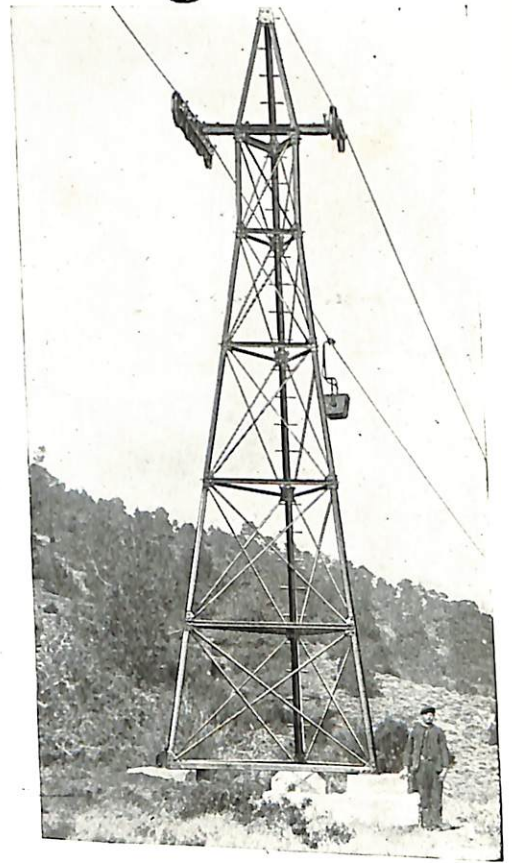
<sup>Nº</sup> Las casas constructoras de monocables fabrican dos tipos de torres: la "ordinaria" y la "compound". La "ordinaria" es la de 2 o 4 poleas solamente, y se especifican en el

Fig. 24



Caballete de acero.  
Sistema "Roe" Bi-cable.

Fig. 25.



Caballete de acero.  
Sistema "Roe" Mono-cable.



Vía aérea destinada al transporte de carbón para las Usines et Mines  
de Houille du Grand-Hornu, St. Ghislain (Bélgica).  
Tronco de línea con rendimiento por hora de 187 toneladas.



NO proyecto por un quebrado cuyos términos indican el número de poleas por cada lado de la línea, así:

$$\frac{2}{2}, \frac{2}{4}, \frac{4}{4}$$

NO La "compound" lleva 6 u 8 poleas por cada lado y se especifica así:  $\frac{4}{4} + \frac{2}{2}$  ó  $\frac{4}{4} + \frac{4}{4}$

NO Las poleas se fabrican para soportar con seguridad una carga dada, y este dato se tiene al empezar un proyecto, pues depende de la importancia de la línea en cuanto se refiere al tráfico, o mas bien al peso de las vagonetas cargadas al maximo.)

NO Las fgs. 24 a 27 muestran los tipos de torres mas usados para ambos sistemas.

C A P I T U L O 111

VAGONETAS Y APARATOS DE SUJECION - ~~[ PUENTES DE PROTECCION. ]~~

24- La forma de las vagonetas empleadas en uno y otro sistema de cables, es tan variado como las necesidades del transporte lo requieren, y casi puede decirse que hay un modelo para cada clase de material que se necesite transportar. ~~[Así por ejemplo, en las figs. 28 a 33 vemos vagonetas para maderas largas, para productos minerales, para barriles, para fardos etc. etc. y un modelo para pasafierros, sin que valga la pena detenernos a establecer las diferencias entre los modelos alemanes e ingleses.]~~

25 - APARATOS DE SUJECION- Los aparatos que sujetan el vehículo al cable tractor, han sido objeto de estudios especiales, que han culminado en adelantos de gran valía para los transportes aereos por cables, que la industria explota bajo el amparo de patentes exclusivas. ~~[El aparato de sujecion se consta de una armadura M ( figs. 34 a 35 ) provista de dos mordazas m m y dos pequeñas ruedas r r y de cuyo centro va colgado el gancho G, del que pende el balde o caja donde va la carga.]~~

Este gancho puede oscilar libremente sobre su apoyo, de manera que siempre esta vertical sea cual fuere la inclinacion del cable. Las mordazas m, cuya seccion se ve en S, tienen forma adecuada para apoyar sobre el cable, tanto mas, cuanto mayor sea el peño de la vagoneta, y llevan en su centro una pieza G de acero muy dura convenientemente roblonada a la mordaza, (cuya superficie d f lleva unas acanaladuras h k, cuyas formas y dimensiones son exactamente las mismas de los hilos del cable, como si fueran un molde de éste; resulta de aquí que, aplicadas estas piezas al cable por el peso de la carga, cuando éste se pone en movimiento encaja en ellas como un tornillo en su tuerca y se crea una adherencia que, aun con los mejores engrases, permite resistir los choques de la vagoneta, y que estas no deslicen ni aun en pendientes del 50 %.

~~NO!~~ Las roldanas r y r' están montadas de modo que sus ejes forman un pequeño angulo con la horizontal, disposición que sirve para zafar las mordazas del cable o ajustarlas a él en las estaciones. En efecto, cuando una vagoneta llega al riel suspendido, al tomarlo las roldanas y rodar sobre él, el peso de la carga hace que sus ejes se coloquen en posición horizontal, y que la mordaza desviada lateralmente, deje al

# “Standard - Apparat,,



*Figs. 36*

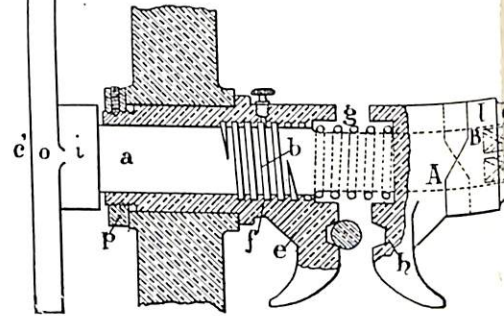
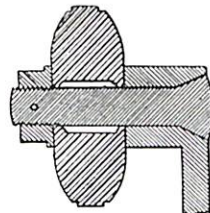


Fig. 27 — Schnitt.

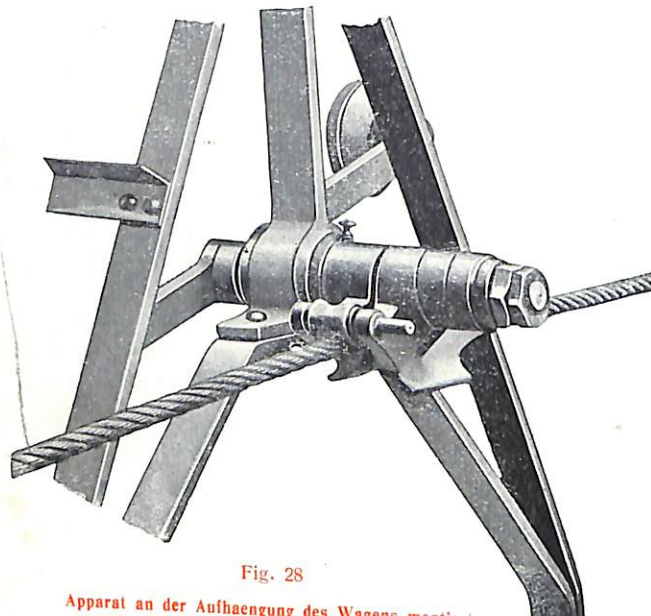


Fig. 28

Apparat an der Aufhaengung des Wagens montiert

cable en libertad.) Otros dos tipos de acopladores para monocables son los de Etcheverry y Bellani, aplicables a pendientes hasta del 40%.

No! Las vagonetas de los tricables son de estructura un poco mas complicada, pues llevan ademas el carretillo que rueda sobre el cable-carril. Existen numerosos modelos que se distinguen principalmente por el sistema de acoplamiento al tractor.

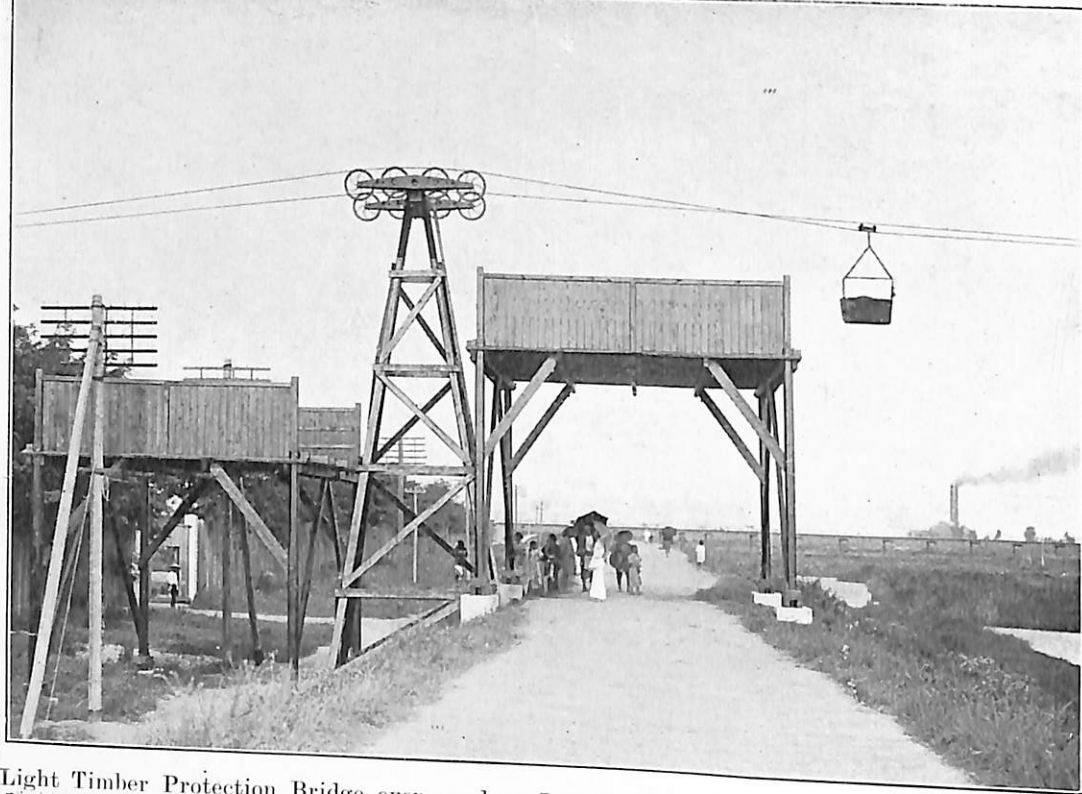
No! El carretillo se compone de una armadura formada por dos palastros, entre los cuales van las ruedas y en cuyo centro esta el eje de suspension de la carga; otras veces su forma esta adaptada para llevar el aparato de sujecion. Con el fin de no llegar a diametros exagerados para el cable-via suele no admitirse carga mayor de 500 Kgs. por cada eje. Los aparatos mas modernos de sujecion realizan el acoplamiento por pression. Las condiciones que debe tener un buen aparato son: seguridad del enganche para remontar cualquier pendiente; presion proporcionada del aparato con la carga que se transporta; no desgastar el cable en el sitio de fijacion, y automatismo de su funcionamiento para enganchar y desenganchar las vagonetas en las estaciones. [Los tipos mas usados son: el "Standart" y el "Ideal" de la casa Ceretti Tanfani de Milan; el "Automata" de Bleichert y el "Universal" de Pohlig, alemanes.]

~~Las figs. 36 a 38 muestran tales aparatos.~~

Si → 26 - (PUENTES DE PROTECCION" Siempre que la línea pase sobre un ferrocarril, carretera u otra via de servicio publica, hay que proteger esta contra una posible caída de las vagonetas o su carga. Para ello se emplean puentes protectores o redes metalicas. Los primeros afectan formas muy variadas, pudiendo ser de madera o acero, y estan en general constituidas por un tablero con barandales, montado sobre dos castilletes, que en muchos casos sirven de apoyos a la línea.)

Las redes metalicas son de malla doble de alambre galvanizado y se cuelgan de dos cables helizoidales amarrados a caballetes puestos para ello o a los mismos apoyos de la via. La malla mas usada es la de alambre de 2 m m., a razon de 625 mallas por metro cuadrado.

Fuera de los accesorios estudiados hasta aqui hay otros aparatos de importancia secundaria, pero indispensables, como el indicador de velocidad, el telemetro, el tensiometro y el telefono. ←



Light Timber Protection Bridge over road on Installation supplied to the Osaka Waterworks  
Japan.

*Fig. 39*

C U A R T A   P A R T E .

ESTUDIO    E S O N O M I C O

C A P I T U L O   1 .

C O S T O   D E   C O N S T R U C C I O N .

27- Dada la circunstancia de nuestra poca o ninguna experiencia en la construcción de vías funiculares, resulta muy aventurado dar cifras para proyectar una vía, pues aparte de la configuración del perfil y de las dificultades locales para el montaje que influyen tan considerablemente en el costo de construcción hay un factor de apreciación difícil, pero de grande influencia en el presupuesto, y es el transporte de los materiales y equipos. Además de las dificultades comunes a todos nuestros trabajos, esta clase de vías se construye comunmente donde no hay otros caminos y donde la topografía es muy abrupta.

A continuación damos unos datos que pueden servir de alguna orientación.

Para la red de cables aéreos del Departamento de Santander, el técnico inglés, Mr. James F. Lindsay, ha dado los presupuestos que se ven en el cuadro siguiente.

RED    Deptal.    de    C A B L E S   A E R E O S .

NOMBRE DE LA VIA	Longitud aproximada	Presupuesto aproximado
Manizales - Quibdó (Nacional)	154	2'317.500
Manizales - Aguadas	60	1.000.000
Aranzazu - La Dorada	105	1.600.000
Aranzazu - Anserma (C)	59	1.000.000
San - Joaquin- La Virginia	42	480.000

Promedio de promedios    \$    15.000

El señor ingeniero Julian Cokka., quien fué Jefe de Construcción del cable Cucuta-Gamarra, y es persona muy entendida en la materia, dice que " en un terreno donde la construcción de un ferrocarril no costaría a menos de \$ 70.000



Kilómetro, un cable, como máximo, para una capacidad transportadora de 150,000 toneladas al año en diez horas de trabajo diario, costaría a razón de \$ 20.000 por Km.

Para la citada vía obtuvimos los siguientes datos:

PRESUPUESTO APROXIMADO DEL COSTO KILOMETRICO DEL  
CABLE FERRO DE CUCUTA AL RIO MAGDALENA.

---

Estudios completos por Kilómetro.....	\$	250
Organización inicial .....	\$	100
Caminos .....	"	550
Equipo de trabajo .....	"	200
Desmonte y limpieza .....	"	220
Teléfonos, 4 líneas de cobre .....	"	180
Movimiento de tierras .....	"	3.000
Estaciones y bodegas .....	"	2.500
Anclajes de torres .....	"	1.300
Estructuras de torres .....	"	2.500
Cable .....	"	2.200
Maquinaria y motores .....	"	1.200
Gastos generales e ingeniería .....	"	3.000
Zona .....	"	100
Montaje de cables y estructuras .....	"	300
Sanidad .....	"	300
Equipo de línea .....	"	300
	Suma .....	\$ 18.200

Puede seguirse de todo esto que, el costo aproximado por Kilómetro, varía entre 14.000 y \$ 18.000.

C A P I T U L O . 11

G A S T O S D E E X P L O T A C I O N

Y SOSTENIMIENTO.

28 - Los gastos mas notables en la explotación y conservación de una via de cable son, en orden de su cuantía:

- 1° ) Personal directivo y operador.
- 2° ) Desgaste del cable.
- 3° ) Fuerza motriz.
- 4° ) Reparación y conservación del equipo.
- 5° ) Lubricación.

Analicemos cada uno de estos items a fin de ver si alguno de ellos puede ser mas costoso que el correspondiente en otra empresa de transportes.

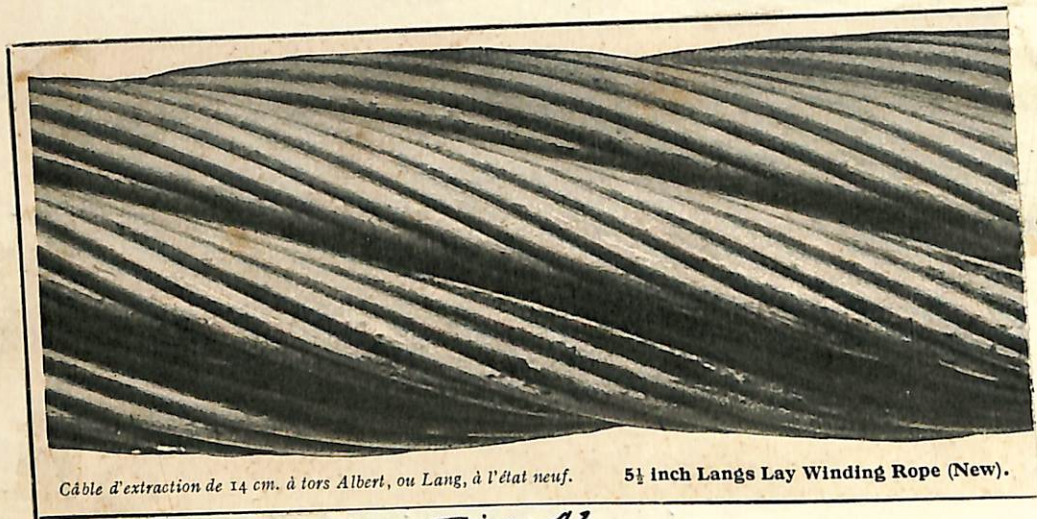
A ) Veamos el personal que requiere una línea de 35.000 toneladas al año como la de Mariquita-Manizales con 72 Kilometros de longitud. El personal de las terminales es:

- 1 - Jefe de estación
- 2 - Apuntadores
- 15 - cargadores.

En una estación de división, son suficientes de 4 a 8 empleados, segun el movimiento de carga. Cada seccion tiene 2 recorredores y hay ademas un gerente y un ingeniero para toda la línea.

B ) Tomamos de varios artículos del Ingo. Cók, publicados en la prensa de esta ciudad, en el año de 1925:

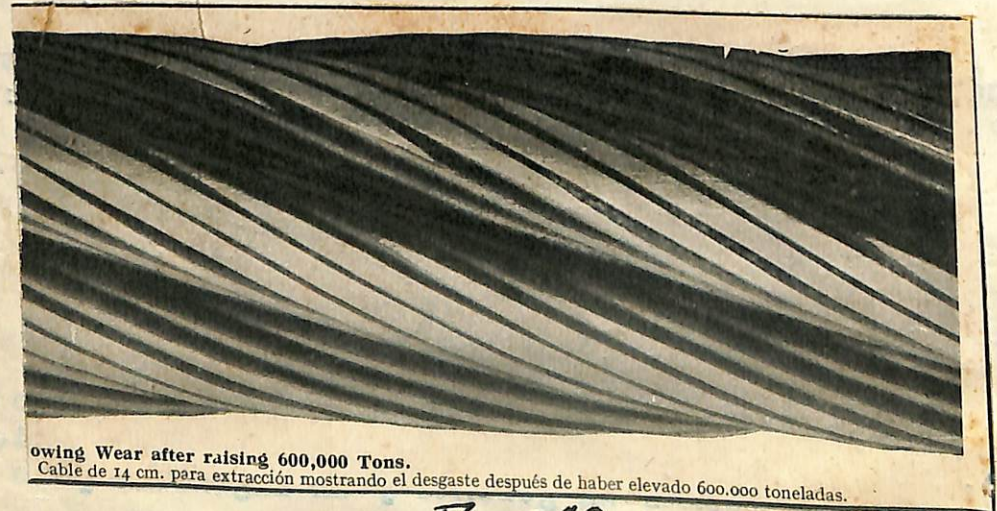
" El desgaste del cable es una de las cosas que temen muchos ingenieros que no estan familiarizados con esta clase de obras; veamos en que consiste y que valor representa. En una línea de cable bien proyectado y bien construido, de tal manera que las presiones sobre las poleas de las torres estén bien balanceadas y por tanto, con la carga maxima, en ningun caso una polea sufre una presión mayor de 500 Kgs., ni el cable ni las poleas se desgastan; lo que le pasa al cable, es que se fatiga



Câble d'extraction de 14 cm. à tors Albert, ou Lang, à l'état neuf.

5 1/2 inch Langs Lay Winding Rope (New).

Fig. 41



owing Wear after raising 600,000 Tons.

Cable de 14 cm. para extracción mostrando el desgaste después de haber elevado 600.000 toneladas.

Fig. 42

625.5  
515

CONTENIDO.

1° PARTE.

GENERALIDADES.

Pgs.

Capítulo 1 -	Datos históricos .....	1
✓ Capítulo II -	Diversos tipos de cable y su capacidad de transporte .....	3 ✓
	capacidad de transporte .....	6
Capítulo III -	Aplicación, ventajas y desventajas.....	8 ✓
Capítulo IV -	Estructura y resistencia de los cables.	14 ✓

2° PARTE.

TRAZADO Y PROYECTO.

Capítulo 1 -	Estudio de una línea en general .....	19
	Elección del sistema.....	20
	Datos para el proyecto.....	22
	Estudio de un perfil dado .....	23
		24
Capítulo II -	De las tensiones .....	24
	Parábola .....	27
	Tensión inicial .....	29
	Diametro del cable .....	29
	Tensión máxima .....	31
Capítulo III -	Modo de proyectar .....	31

3° PARTE.

ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN CABLE ARREO.

Capítulo 1 -	Estaciones que constituyen un cable arreo .....	33
	Estaciones terminales .....	33
	" intermedias .....	34

y se cristaliza despues de cierto tiempo.

El cable una vez fatigado, es necesario retirarlo. Este gasto de explotacion se estima asi: un cable de la calidad anotada antes ( de acero sueco muy puro con una resistencia de 100 toneladas por pulgada cuadrada), ha demostrado en la practica ser capaz de transportar un millo de toneladas, es decir, que con un transporte anual de 100.000., duraria 10 años. Una tonelada de este cable vale hoy en el mercado \$ 230 en puerto colombiano, y transportado a un puerto fluvial en el interior, valdria alrededor de \$ 260. Un Kilometro de línea de cable como el de Cucuta, al rio Magdalena, pesaria 8 toneladas y costaria \$ 2100 en numeros redondos en un puerto fluvial del interior; luego el deterioro del cable representaria para los gastos de explotacion 0.21 de centavo por tonelada.-Kilometro, y aun suponiendo que en lugar de un millon de toneladas el cable solo fuera capaz de transportar 200.000 tns., el deterioro del cable solo representaria un costo de un centavo, en numeros redondos, por tonelada-Kilometro. Como se vé, a pesar de ser este uno de los gastos mas importantes en la explotacion de una línea de cable, no es para arredrar a nadie. En la línea de Mariquita-Manizales hay tramos de cables que tienen 10 años de servicio y estan en perfecto buen estado. El gasto que representa el deterioro del cable en una línea de esta naturaleza no es probablemente superior al desgaste de rieles en un ferrocarril que tenga el mismo trafico.

C) El gasto que representa la fuerza motriz en un cable es muy pequeño comparado con el de un ferrocarril que uniera los extremos del cable. Asi, el sector Gam rra-Ocaña para un trafico de 140.000 tns. al año, necesita 300 caballos de fuerza. Las instalaciones de fuerza motriz se han proyectado con una capacidad de 600 HP.

Un ferrocarril que uniera los mismos extremos, no necesitaria menos de 4 locomotoras de 400 HP, cada una en t trafico constante, es decir 1600 HP para el mismo trafico.

D) El sostenimiento de las máquinas y del equipo es indudablemente menor en un cable que en un ferrocarril, por ser en aquél las maquinas estacionarias y el equipo menos valioso.

De la misma manera se podrían analizar todos los gastos que entran en el sostenimiento de una vía ferrea, y veriasse cuan superiores son a los de un cable. Basta con estudiar lo que en aquellas se emplea en roceria, alce de línea, sostenimiento de terraplenes etc. y ver que en un cable no existen estos gastos, para comprender en definitiva los pocos gastos de sostenimiento de una vía de esta naturaleza."

Para sustentar lo dicho por el citado ingeniero, referente a la temida duracion de los cables, veamos la opinión de tres autoridades europeas:

F. Baró, profesor de la Escuela de Ingenieros de Minas de España dice:

" Los cables Roe pueden resistir en buen uso hasta 600.000 tns. lox cual representa para un término medio de 200 tns. diarias unos 10 años de uso"

Wallis Tayler en su tratado sobre cables aéreos, dice que se comprobó que un cable de la casa Bullivant & Co - Ltd, se encontraba en buen estado, después de haber transportado 165.000 tns. de mineral en 2 años, pues su carga de ruptuta apenas había bajado de 29 toneladas, que tenía cuando nuevo, a 27½, y que el valor del desgaste fue apenas de un cuarto de penique por tonelada-milla.

En El anuario Kempe de Ingeniería Civil, correspondiente a 1925, encontramos:

" En una línea bien construída, la depreciación del cable se cubre con un costo de 0.125 a 0.30 peniques por tonelada-milla transportada, sobre la base de una línea no menor de 1000 yardas de longitud y una capacidad horaria de 25 tns.; pero la depreciación por tonelada-milla decrece a medida que aumentan la longitud y la capacidad de la línea."

En el precio de la tonelada-Kilómetro pueden influir circunstancias locales, pero principalmente el volumen del tráfico y la forma en que se presenta para ser transportado, es lo que decide el precio del transporte; así por ejemplo, en el acarreo de productos minerales, no hay ningún sistema de transporte que pueda competir con los cables aéreos, especialmente si se puede aprovechar la gravedad.

Wallis-Tayler dice que el costo de transporte por cable varía entre 4, 5 y 7 centavos la tonelada-Kilómetro, pero las estadísticas mineras de España dan un costo de 0.05 y 0.06 y 0.07 de peseta para varias líneas monocables de 15 a 17 Kmts. de longitud y con una capacidad de 30 tns. hora.

El costo máximo es de 0.75 de peseta y apenas hay dos líneas tricables que lo dan por ser muy cortas y porque el transporte es ascendente.

Desde luego, nosotros no podemos aspirar a obtener semejantes precios, no solo porque nuestras líneas son mas costosas, sino por la clase de carga y la forma en que se presenta.

MR. Kindsay estima que dada la variedad de artículos que hay que transportar en los cables que se construyen en Colombia, el precio de costo de la tonelada-Kilómetro, puede estimarse así:

Para un transporte anual de 20.000 a 30.000 tns	\$ 0.10
" " " " 60.000	" 0.07
" " " " 100.000	0.05

Del informe del Señor Ministro de Obras Públicas correspondiente a 1926, tomamos el cuadro siguiente:

CABLE AEREO

MARIQUETA - MANIZALES.

AÑOS		TONELADAS DE CARGA Transportadas.	PRODUCTOS BRUTOS. \$	GASTOS DE EXPLOTA- CION. \$	PRODUCTOS NETOS. explo \$	% de explo tacion
1921	72	19.767.107	257.625.00	198.125.11	59.499.89	76.90
1922	72	19.000.000	324.000.00	202.000.00	122.000.00	62.34
1923	72	28.758.000	493.816.00	202.600.00	291.216.00	41.02
1924	72	30.725.000	489.244.18	215.607.95	273.636.23	44.06
1925	72	36.810.000	572.848.06	2833.146.35	319.701.71	44.19
TOTAL	72	135.060.107	2137.533.24	1071.479.41	1066.053.83	50.12

OBRAS DE CONSULTA.

- " Funiculares Aéreos - F. Baró "
- "Aerial or wire ropeways " - Wallis- Tayler
- "Teleferiche" - G. Capelloni
- " Ferrovie Aeree " - Barbacini
- "Year's Book" - Kempe
- Artículos varios del Dr. Julian Cok A.
- Memoria del Ministro de O. P.
- Catálogos Ropeways Limited ... Londres
- "..... Blichert ..... Leipzig
- "..... Ceretti-Tanfani.... Milán.