

Finalmente, para eliminar V establece monsieur Baum la siguiente fórmula, deducida de la experiencia que expresa la velocidad en funcion de la rampa.

$$V = 25 - 0,568 I + 0,0045 I^2 \quad (6)$$

y sustituyendo este valor de V en la ecuacion (5) y dando á los términos de que forma parte I el signo correspondiente á la rampa, se obtiene para α el siguiente valor:

$$\alpha = \frac{439,3 I + 0,0468 I^2 - 0,00037 I^3}{436,5 - 8,55 I + 0,0693 I^2 - 0,00031 I^3} \quad (7)$$

en el que se han despreciado los términos en I^4 , pudiendo simplificar aún más la expresion de α cuando la rampa sea inferior á 0,001, en cuyo caso pueden despreciarse los términos en I^3 .

Influencia de las curvas. Las numerosas experiencias practicadas por MM. Polonceau, Forquenot, Vuillemin, Guébbard y Dieudonné, Ræckl, Weber y Boedecker, con el objeto de determinar la resistencia que las curvas oponen á la marcha de un tren, no han sido traducidas en fórmulas, y sólo quedan la fórmula de los Ingenieros ingleses y la fórmula alemana, que trasforman la resistencia sobre una curva en una equivalente sobre una rampa, y no difieren sino en el valor del coeficiente K .

Si se designa por r el radio de la curva que se considera, la resistencia R que opone á la marcha de un tren es igual á la que corresponde á una rampa $\frac{k}{r}$ y tendremos:

$$Rr = k = 0,914 \text{ fórmula inglesa.}$$

$$Rr = k = 0,760 \text{ fórmula alemana.}$$

M. Baum adopta para calcular el valor de ϵ , que es el que en la expresion de la longitud virtual determina la influencia de las curvas, un término medio entre los valores asignados á k en las fórmulas inglesa y alemana, y establece la fórmula siguiente: $Rr = 837$, ó lo que es lo mismo, supone que la resistencia que opone una curva de radio r á la marcha de un tren, es equivalente á la opuesta por una rampa $\frac{837}{r}$, y para obtener ϵ bastará sustituir en la expresion (7) $\frac{837}{r}$ en vez de I ; y como para un radio de 100 metros la rampa equivalente sería inferior á 0,001, se pueden despreciar los términos en I^3 , resultando en definitiva:

$$\epsilon = \frac{32,787 + 446,594 r}{48,549 - 7456 r + 436,5 r^2}$$

Ecuacion de la longitud virtual. Reemplazando α y ϵ por sus valores en la expresion $Lv = L(1 + \alpha + \epsilon)$ de la longitud virtual, tendremos:

$$\left(Lv = L + \frac{439,3 I + 0,0468 I^2 - 0,00037 I^3}{436,5 - 8,55 I + 0,0693 I^2 - 0,00031 I^3} + \frac{32,787 + 446,594 r}{48,549 - 7456 r + 436,5 r^2} \right) \quad (9)$$

fórmula en la que r está expresado en metros é I en milímetros.

Para que pueda encontrarse con facilidad la longitud virtual de un trazado, ha formado M. Baum tablas, en las que están calculados los valores de α para rampas variables de 0,0001 en 0,0001, y comprendidas entre 0,00 y 0,003, y los valores de ϵ correspondientes á radios de 100 á 7.000 metros.

(Se continuará.)

TRANVÍAS AÉREOS DE BILBAO.

Motivos de salud me llevaron á fines del verano de 1880 á la invicta villa de Bilbao, en la que ya conocia las industrias que más directamente se relacionan con mis estudios especiales; habia visitado con detenimiento las importantes ferrerías de Baracaldo y de Santa Ana de Bolueta, acerca de las cuales he tenido ocasion, no ha mucho, de escribir algunas palabras, y habia recorrido tambien algunas de las minas más importantes de Somorrostro, Triano, Galdames, etcétera. Para ocupar en algo útil y referente á mi profesion el tiempo que habia de permanecer allí, me dediqué á hacer un estudio, aunque ligero, de los ferro-carriles aéreos establecidos en la localidad, acerca de los cuales nada se habia publicado todavia en aquella época. Posteriormente se ha ocupado de ellos en un excelente artículo inserto en los *Anales de la Construcción y de la Industria*, el ilustrado Ingeniero de Caminos D. J. M. Oraa; pero como quiera que en dicho artículo, que abarca otra porcion de medios de transporte económicos, se hace una descripcion muy somera de éstos, me ha parecido que no sería de todo punto inoportuno dar á luz los apuntes que yo habia reunido, que pueden servir para dar una idea más elemental de los tranvías aéreos á las personas que no tengan conocimientos anteriores acerca de estas vías, destinadas casi siempre á transportes mineros.

Los criaderos minerales se encuentran, por punto general, en sitios escarpados y de difícil acceso, que es muy costoso relacionar con las grandes vías de comunicacion por medio de caminos ordinarios á causa de los grandes desniveles que hay necesidad de salvar, y muchas veces de los grandes barrancos que atraviesan el

trazado y que dificultan notablemente hasta el empleo de planos inclinados. Y como las minas metalíferas, aún aquéllas en que debe ser más activa la explotación, no exigen nunca medios de transporte que puedan conducir cantidades muy considerables de productos en veinticuatro horas, no puede pensarse en hacer instalaciones que consuman un capital crecido, cuyo interés grave mucho los gastos ordinarios del transporte.

Los tranvías aéreos permiten prescindir en absoluto de los gastos de explanación, y son en realidad, como su nombre lo indica, ferro-carriles, que en vez de apoyarse en el suelo como los ordinarios, están separados de él y sostenidos en traviesas que distan entre sí muchos metros, y que á su vez descansan en caballetes ó piés derechos de mayor ó menor altura, según las inflexiones del terreno.

En las vías férreas ordinarias la distancia de las traviesas se determina por la flexión que pueden sufrir los carriles solicitados por el peso, siempre muy considerable, de las locomotoras y de los carruajes y wagones cargados; pero como en los tranvías aéreos el peso de cada unidad de transporte es relativamente pequeño, y el carril de una materia flexible, no hay el menor inconveniente en espaciar las traviesas, de modo que se hallen á 60, 80 y hasta más metros una de otra.

Es claro que si el tranvía ha de tener una pendiente uniforme, la altura de los caballetes la determinará la distancia del terreno á la línea que une los dos extremos de la vía, en cada uno de los sitios en que las traviesas hayan de colocarse; pero si esto, dados los accidentes del suelo, exige la construcción de caballetes muy altos, y por lo tanto muy costosos si han de tener la solidez necesaria, no hay el menor inconveniente en que la pendiente varíe, aunque no entre límites muy extensos. Y se comprende bien que esto debe ser así, porque en realidad, en el caso de uno de estos tranvías la pendiente no puede ser uniforme, puesto que entre cada dos traviesas, el carril, que, como antes he dicho, es flexible, toma la forma de la curva llamada *catenaria*; y por consiguiente, lejos de tener una inclinación constante, varía hasta de sentido en sus dos extremos.

No hay tampoco inconveniente en cambiar, no ya la inclinación, sino la dirección de la vía, y así se practica en algunos casos, facilitándose mucho el trazado, pues si bien esto alarga un poco su longitud, permite salvar, sin grandes molestias, accidentes muy pronunciados del suelo.

Bastan estas sencillas consideraciones para comprender que estas vías han de ser de instalación barata y fácil, y apropiadas por lo mismo para el transporte de minerales, que debe hacerse en condiciones de gran economía y en cantidades, si bien considerables, mucho más pequeñas de lo que exige el establecimiento de una vía férrea ordinaria.

En las minas próximas á Bilbao se han construido tranvías aéreos de dos sistemas. En el uno de ellos, conocido por el nombre de su inventor Mr. *Hogdson*, el carril está constituido

por un cable sin fin de alambre, que al mismo tiempo sostiene y hace marchar los cubos ó wagonetes cargados con el mineral. En el otro, que se llama por igual razón de *Bleichert*, los carriles los forman dos cables, fijos y bien atirantados en sus extremos, de los que cuelgan los cubos, que arrastra consigo un cable sin fin, mucho más delgado y que sólo tiene por objeto darles el movimiento. Hay, pues, entre uno y otro sistema una diferencia esencial; en el *Hogdson*, un solo cable, que necesita recibir su movimiento de una máquina de vapor, sostiene y arrastra los cubos; lo cual exige que sea grueso, y por lo tanto, que las poleas de tensión y cambio de dirección tengan gran diámetro, puesto que la resistencia á la flexión de un cable grueso le impide tomar grandes curvaturas; en el *Bleichert*, el cable que sostiene el peso de los cubos y del mineral es fijo y puede tener un diámetro considerable que resista bien dicho peso, sin que las dos vías de ida y vuelta de los vehículos estén muy separadas. Además, puede ser más delgado el cable de ascenso que el de descenso; y el cable conductor, único que debe ser sin fin, puede ser muy delgado, porque el esfuerzo á que se halla sometido es pequeño.

Veamos ahora las condiciones de construcción y explotación de uno y otro sistema en las minas de Somorrostro.

SISTEMA HOGDSON.

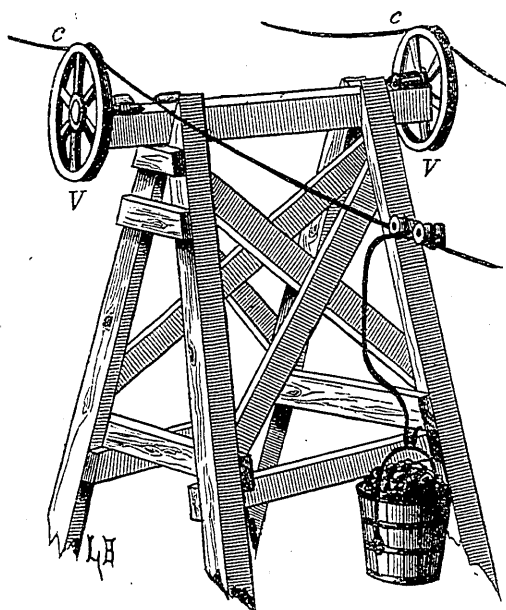
El tranvía del sistema *Hogdson* que he tenido ocasión de visitar en Ortuella, tiene una longitud aproximada de un kilómetro. En él son variables la dirección y la pendiente; pues ésta, que en algún trozo llega á desaparecer por completo, quedando el cable horizontal, es en otros puntos de cerca de 22 por 100.

Los caballetes están formados por cuatro maderos, que se unen dos á dos en la parte superior y quedan en la inferior con la separación bastante para su estabilidad; por la parte alta corre de un par á otro un trozo de viga que generalmente es de las llamadas de *tercia*, ó sea de unos 25 centímetros de escuadría, en cuyos extremos se apoya sobre dos coginetes cerrados y provistos de sus correspondientes engrasadores, una polea de garganta estrecha y algo profunda VV por la que pasa el cable c.

Es fácil comprender que á diferentes alturas de estos caballetes pueden establecerse otros traveseros con sus poleas para instalar dos ó más vías, y que por lo tanto, el establecimiento de estas últimas se hará en condiciones mucho más económicas que el de la primera, puesto que sólo ésta es la que necesita la construcción completa de los caballetes, y para las demás es suficiente adicionarlas algunos maderos, que no necesitan tampoco ser de gran longitud.

En uno y otro extremo de la vía existe una gran polea de eje vertical, por la cual pasa el cable para cambiar la dirección de una y otra de sus ramas, y que pueden separarse lo que sea preciso para dar á aquél la tensión conveniente. Una maquinita de vapor, relacionada con una de estas poleas, la hace girar y arrastrar en su mo-

vimiento el cable y los cubos y baldes con él unidos.



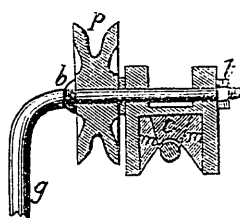
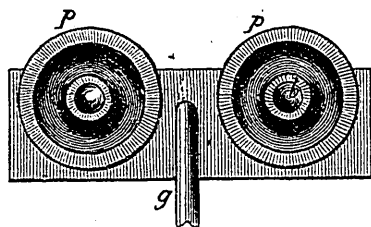
La estación de carga está constituida exclusivamente por una polea de 2,50 de diámetro, sostenida por un armazón de madera bien robusto, que recibe también en unas viguetas apoyadas en jabalcones las dos primeras poleas verticales de dirección. Rodeando la polea horizontal por la parte opuesta a la vía, y a una distancia que en el principio es de 0,08 y luego llega a 0,50 de su circunferencia exterior, hay un carril de hierro, apoyado en el mismo armazón y colocado en un plano horizontal dos o tres centímetros más alto que el del cable en la polea: sus extremos se inclinan un poco, y llegan a

quedar algo más bajos que éste cuando se separa ya de la polea. Este carril fijo sirve para aislar del cable los cubos y mantenerlos parados mientras se verifica la carga. Carriles económicos colocados sobre el terreno, que por un extremo quedan debajo del carril aéreo fijo y por el otro llegan a los tajos de excavación, permiten que el mineral arrancado en éstos se lleve por medio de wagonetas, en las que caben seis cubos, hasta la estación de carga, donde éstos se cuelgan del carril fijo, imprimiéndoles luego a mano el movimiento preciso para que se coloquen sobre el cable.

La manera de suspender los cubos ó baldes es muy ingeniosa, y permite que se haga con gran facilidad el paso del carril fijo al cable y recíprocamente. Un coginete de hierro fundido, en forma de doble escuadra, recibe en su parte central un pedazo de cautchuc, que se mantiene fijo por dos cuñas de madera aseguradas al coginete con tornillos. El cautchuc descansa sobre el cable, y el peso del cubo le hace adherirse a él con bastante fuerza para no resbalar, aun en pendientes de 25 por 100. Por la parte exterior del coginete, y unidas a él por medio de pasadores con tuercas, hay dos poleas de garganta bastante profunda, una a cada extremo, cuya distancia al cable es igual a la que separa éste del carril fijo en el principio de las estaciones.

Del centro del coginete, también por la parte exterior, sale una barra de hierro encorvada en forma de C, que termina por la parte inferior en un gancho para colgar el cubo: de esta manera, el coginete pasa por la vertical del centro de gravedad de aquél, dejando, sin embargo, el espacio necesario para que no tropiece en las poleas de los caballetes.

En la adjunta viñeta se indica en proyección vertical y corte transversal la forma de este coginete. Las poleas *pp* tienen sus pasadores *bb* y sus tuercas *t*; *c* es el trozo de cautchuc; *m m* las cuñas de madera que le sujetan, y *g* el principio del gancho de suspensión de los baldes.



Cuando uno de éstos asciende de vacío por la rama correspondiente del cable y llega a la estación de carga, estas poleas *pp* encajan en el carril fijo; durante un momento, el balde marcha, apoyándose a la vez en él y en el cable que le arrastra en su movimiento; pero ya he dicho que el carril fijo tiene en esta parte cierta inclinación que le hace elevarse dos ó tres centímetros sobre el plano horizontal de la polea en que se verifica el cambio de sentido del movimiento; por consiguiente, llega un instante en que, levantándose el coginete sobre las poleas exteriores *pp*, abandona el cable y queda colgado del carril fijo. Entonces un peón le coge, y tirando

ligeramente de él, le lleva hasta el sitio en que debe descolgarle para sustituirle por otro lleno.

Así que éste se ha suspendido del gancho, otro peón le coge y le lleva a mano hasta el extremo opuesto del carril fijo; le hace descender por la pequeña pendiente que termina éste, y, por lo tanto, vuelve a colocar el cautchuc en contacto con el cable, que le arrastra de nuevo en su movimiento, obligándole a descender.

Para hacer fácil el paso del coginete por las poleas que sostienen al cable, tienen éstas en su contorno un grueso muy pequeño que cabe perfectamente dentro de aquél; y además su garganta sólo tiene la profundidad precisa para

alojar una parte del cable, á fin de que sobresalga lo necesario para que no se separe del cauchuc al verificarse el paso.

La estacion de descarga es un poco más complicada. En ella no se acomoda el cable directamente sobre otra polea de gran diámetro, como en la de carga, sino que las dos ramas se apoyan en dos poleas verticales, colocadas ambas sobre un mismo eje, al que está fija también una rueda dentada de igual diámetro, que recibe de un piñon el movimiento comunicado por una maquina de vapor. La polea de cambio de sentido del movimiento se encuentra al nivel del punto más bajo de las poleas verticales, cogida en armas como la garrucha de un pozo, y apoyada en un fuerte armazon de madera con ruedas que marchan sobre carriles. Un torno con su trinquete, al que se arrolla una cadena unida por su extremo libre á las armas de esta polea, permite dar al cable la tension necesaria.

Un poco antes de llegar el cable á las poleas verticales de que he hecho mérito, hay también en esta estacion un carril fijo, colocado en su proximidad, y un poco más alto: pero en vez de rodear únicamente la polea de cambio, se extiende por todo el terreno que ha de constituir el vaciadero, á fin de que los peones descarguen los cubos en el punto más oportuno. Una vez descargados, les hacen recorrer el resto del carril, y les ponen de nuevo en relacion con la rama ascendente del cable, que los devuelve á la estacion de carga.

La distancia entre las dos ramas del cable es de 1,^m85 en la generalidad de la línea; pero á fin de que sea menor la resistencia á la flexion, en las estaciones se aumenta esta distancia y se da á las poleas el diámetro de 2,^m50. La diferencia se gana fácilmente estrechando poco á poco el espacio que media entre las de direccion colocadas en los dos ó tres primeros caballetes.

En el ángulo que forman las dos direcciones de la línea hay sencillamente dos poleas horizontales de 1,^m25 de diámetro, sobre cuyas gargantas se apoyan respectivamente una y otra rama.

Los cubos son de duelas de madera, reforzados con aros de hierro: el asa, que termina en un anillo por la parte superior, tiene en sus extremos dos agujeros, en los que entran dos pivotes colocados en el cubo á una altura tal, que queden por bajo de su centro de gravedad. En el borde superior del cubo hay dos hierros en forma de U, colocados de modo que puedan girar en un perno clavado al borde, que los abraza por su vértice; cuando las ramas de la U están hacia fuera, cogen el asa por uno y otro lado y mantienen el cubo en su posicion natural; cuando se vuelven hacia dentro, volteando el cubo sobre los extremos del asa, se vierte fácilmente. Una vez desocupado, se vuelve boca arriba, se colocan otra vez los hierros hacia fuera, y queda en disposicion de volver á cargarse.

Cada cubo puede contener 250 kilogramos de mineral: el cable se mueve con una velocidad de 1,^m40 por segundo, y sobre él hay constantemente 30 cubos cargados, á distancia uno de otro de 40 metros. Por consiguiente, cada 28 segundos y medio se reciben en la estacion de descar-

ga 2,5 quintales métricos, lo cual da un trasporte total de 31.600 kilogramos por hora, ó 316 toneladas al día suponiendo diez horas de trabajo.

La construccion de un tranvía de esta clase, capaz de trasportar esa cantidad de mena diariamente, puede evaluarse en 60 pesetas por metro en líneas que no pasen de un kilómetro de longitud; pero naturalmente se reduce mucho el precio cuando la longitud aumenta, porque los gastos de las estaciones son los mismos para un trayecto corto que para uno largo. En una línea de cuatro kilómetros el coste no llega á 29 pesetas por metro. Los gastos de conservacion también varían de 0,29 pesetas á 0,20 pesetas por kilómetro, segun que tengan de uno á cuatro kilómetros de longitud.

El diámetro del cable se determina por la conocida fórmula de la catenaria, de la cual se deduce, cuando el peso es de 15,50 kilogramos por metro lineal de cable, de 35 metros la semidistancia en el mayor de los tramos, y de 1,^m50 la flecha máxima, una tension de 6.350,74 kilogramos; ó sea, suponiendo en el cable una resistencia de 10 kilogramos por milímetro cuadrado de seccion, un diámetro de 206 diezmilímetros. El de Bilbao tiene 35 milímetros para darle mayor seguridad; pero no puede aumentarse mucho el diámetro, porque aumenta con él la resistencia á la flexion.

(Se continuará.)

LUIS BARINAGA Y CORRADI
Ingeniero de Minas.

LOS TRANVÍAS DEL PORVENIR.

LOCOMOTORAS DE AIRE COMPRIMIDO.

Durante el último decenio han sido persistentes los esfuerzos hechos y numerosos los resultados alcanzados por los Ingenieros industriales que han consagrado sus desvelos al estudio de un aparato motor para los tranvías de poblaciones, que no tuviera ninguno de los inconvenientes que para esta traccion interior ofrecen las locomotoras de vapor en su disposicion-tipo actual.

La ley natural de la supervivencia de lo verdaderamente práctico y racional, ha dejado solamente en presencia hoy en día dos de estos aparatos motores, y ambos presentan el mecanismo actuado por el elemento gaseoso motor en disposicion casi idéntica al mecanismo clásico de las locomotoras de vapor, difiriendo tan sólo en que, al emplear el aire comprimido como elemento gaseoso motor, el inventor del primero hace uso exclusivo del aire comprimido, mientras que el inventor del segundo se sirve de una combinacion de aire comprimido y vapor de agua.

Creemos interesante, hoy que en España principian los tranvías á tomar desarrollo considerable, el apuntar algunos datos que hemos tomado nosotros mismos al experimentar ambos aparatos, pues creemos sinceramente que la traccion por medio de motores de aire comprimido está llamada á sustituir en todas partes y casi en absoluto á la traccion animal.