

madera y de metal; pero mal se podria conseguir si éntrasen los carromatos y galeras en ellos con sus ruedas llenas de lodo y arena. Los carreteros sus tentaciones tendrán al ver que la fuerza de un hombre puede llevar por uno de hierro mas carga que una mula por el camino real, pero es indispensable evitarlo.

2°. *Caminos de carriles planos.* Las piezas que sirven para estos siempre se han hecho de hierro colado, porque aunque es verdad que algunos emplean tablonés para un servicio semejante, estos no son propiamente caminos de carriles. De todos modos los carriles planos son los mas apropiados que imaginarse puede para un servicio temporal, y tal cual se demuestra en la fig. 18 que es su forma regular, sirven grandemente en las minas, canteras etc., y tambien para la construcción de los caminos y canales, acarreo de piedras sillares, vigas y otros mil objetos.

Las barras de estos carriles son de una forma bastante débil respecto á la cantidad de hierro que entra en ellas y así en algunas partes se les refuerza añadiendo otra tira de hierro por debajo como se ve en la fig. 19. Así se reparan en el de Surrey, y es el mejor modo que puede adoptarse para que resistan.

Siendo, pues, los carriles planos los mas ventajosos para caminos que han de durar solo un tiempo determinado, es muy del caso conocer el medio mas conveniente y espedito de colocarlos. El que usan comunmente se reduce á fijarlos con clavos ó pernios sobre unos durmientes ó maderos atravesados, pero el gran inconveniente de este método es la dificultad de clavarlos y arrancar los clavos cuando hay que mudar el camino. Si el camino ha de ser permanente se aseguran regularmente los carriles con clavos gruesos en unos trozos cuadrados de madera que se encajan de antemano en los sillares que han de sostenerlo; pero el mejor modo de ponerlos es el de Mr. Le Caan porque al menos permite quitarlos y ponerlos con facilidad. Le describiremos, aunque no le aprobamos del todo, porque quizás sugerirá á alguno otra idea mejor.

Sus carriles estan hechos de modo que se fijan unos sobre otros sin necesidad de clavarlos. La fig. 21 manifiesta el corte longitudinal de dos piezas de carril sentadas sobre los sillares C. D. E. y la figura 20 el plano. Las piezas se ensamblan á cola de milano. Cada pieza de carril lleva un espigón oblicuo que se encaja en el sillar; y para poderse le-

vantar cuando se quiera ó haya algo que componer, de 32 en 32 varas (27 en 27 met.) hay un carril cuyo espigon es perpendicular, como el que se ve en el sillar G. La fig. 22 manifiesta el extremo de un carril segun ajusta en la escopleadura del otro con su espigon perpendicular. El diámetro del espigon por la base es de cerca de 2 pulgadas (44 mil.) y de 1 (25 mil.) por la punta. Tendrá cerca de 3 pulgadas (63 mil.) de largo y 8 grados de inclinacion. Se hace en él una muesca que sale á la parte de arriba para que cuando entre agua en el agujero pueda dilatarse, si hiela, y sirve tambien para introducir un alambre ó gancho con que sacar el pedazo que queda dentro cuando se quiebra.

La fig. 22 representa un extremo de carril: H. es el borde ó resalto, I. la parte plana sobre que rueda el carro, D. un espigon recto y K. una parte saliente á la inversa para sentar mas sólidamente los carriles sobre los sillares. La longitud regular de estos carriles de fundicion es de una vara á 38 pulgadas (91 cent.), el borde H. es de $1\frac{1}{2}$ pulgada (38 mil.), la parte plana del carril cosa de 4 pulgadas (88 á 100 mil.) de ancho, y uno (19 mil.) de grueso, pero todas estas dimensiones varian segun las circunstancias. El peso regular de cada barra ó pieza de carril es de unas 40 libras (20 kilog.). Los extremos de que salen los espigones y en que van las escopleaduras y colas de las piezas que siguen, deberian tener $\frac{1}{4}$ de pulgada (6 á 7 mil.) de mas espesor que lo restante del carril. El peso de los sillares no debe bajar de 4 á 5 @ (50 á 55 kilog.). En algunos terrenos conviene que sean mas pesados.

De esta manera las ruedas no encuentran tropiezo alguno en las cabezas de los clavos que se aflojan y sobresalen á veces del nivel de los carriles, ni los sillares tampoco se mueven para fijar las piezas de hierro colado, y cuando hay que componer alguna pieza, 26 ó 27 varas (22 á 23 met.) de carril se levantan con mucha facilidad y se vuelven á colocar en cosa de 10 minutos. La calidad de la ensambladura hace muy difícil el que las piezas se aparten de la línea recta, y para aquellos sitios en que las líneas deban tener alguna curvatura se hacen las piezas espesamente así.

Mucho gustan de los carriles planos en el país de Gales, donde su uso requiere que la presión sobre el camino se reparta lo mas que sea posible. Por lo mismo hacen tambien los carros pequeños, tanto que no llevan la mitad de lo que pudieran con la misma fuerza; pero séase de esto lo que se quiera, el increíble número de caminos de hierro que se van cons-

truyendo en este principado, prueba que hallan un beneficio real y verdadero en este medio de conduccion.

3°. *Caminos de un solo carril.* Esta idea nueva é ingeniosa se debe á Mr. Palmer. El carro va sobre un solo carril ó línea de barras de hierro levantada del suelo poco mas de 1 vara (91 cent.) sobre pilares colocados á distancias iguales, de unos 3 metros. El carro se reduce á dos cajones colgados á ambos lados del carril mediante un juego ó armadura de hierro que lleva dos ruedas de unas 30 pulgadas de diámetro. Los cantos de las ruedas son cóncavos y ciñen justamente el borde convexo de las barras que forman el camino, y como el centro de gravedad del carro bien sea que este cargado ó vacío, se halla colocado tan alto sobre el borde superior del carril, los cajones siempre guardan equilibrio por desigual que sea la carga, teniendo el carril que les sirve como de quicio unas 4 pulgadas (100 mil.) de ancho.

Las ventajas de este método son hacer menos considerable que en los de carriles estrechos el rozamiento lateral; libertan mejor el carril del fango, polvo ú arenas que suelen entorpecer la marcha de los carros, y cuando el terreno es desigual y hace sus hondonadas, poder ejecutar el camino sin necesidad de tantas escavaciones para nivelarlo. En caso de servirse de caballos, es necesario poner una cuerda de sirga que les deje tirar fácilmente sin que el ángulo de tiro pueda variar mucho: por lo demas el peso de la cuerda ayuda á regularizar los movimientos de las caballerías, sirviendo á modo de resorte.

Creemos que esta especie de camino parecerá muy superior á todos los demas para todo lo que requiera prontitud y ligereza, como son los correos y postas y toda clase de carruage de servicio ligero. Para eso debe estar algo elevado sobre el suelo, pues un carruage que va sobre un carril con una velocidad de mas de 6 millas por hora no debe esponerse á volcar ó tropezar con otros en su carrera. Ni tampoco se para de repente, ni se hace mudar de direccion viniendo con tal rapidez sobre una superficie tersa, por lo cual levantando estos caminos cosa de 3 metros se libertarian de todo accidente, á menos de irse durmiendo. Los viageros apenas irian mas altos que los que van en la imperial de una diligencia y el carruage nunca volcaria. Un camino de estos está mas libre de interrupciones que ningun otro, y á muy poca costa puede lograrse la fuerza suficiente para correr con toda la velocidad que se necesite segun el objeto que uno se proponga, como diremos despues en el capítulo 4°. Puede suspenderse

tambien un carruage entre dos líneas de barras levantadas á cierta altura del suelo, y aun convendria ciertamente por algunas consideraciones, pero entonces saldria mucho mas costoso, y ademas dificil por la precision de tener que sentar los dos carriles con mucha solidez y á una distancia igual exactísima en toda su longitud. Lo de ir el carro separado en dos partes ó cajenes, lejos de traer ningun inconveniente debe considerarse como muy ventajoso.

CAPITULO III.

De las resistencias y proporciones de las máquinas loco-motrices.

Las circunstancias que influyen sobre el movimiento de los carros en un camino de hierro son tantas y tales que es indispensable hacer algunas divisiones en el exámen de este punto, y detenerse únicamente en las de mas importancia como la resistencia del peso de las ruedas, la de la superficie del carril y la de los ejes, para compararlas despues y deducir de ello las reglas de práctica mas convenientes.

1°. *Resistencia en razon del peso de las ruedas.* Si una rueda es mantenida en reposo sobre un plano inclinado por una fuerza P (fig. 33) que tira en la direccion de P. C. es de demostracion segun principios de mecánica que el peso de la rueda es á la fuerza que la retiene como AB es á BD.

Pero se necesita una fuerza mayor que la que resulta de esta proporcion para hacer subir la rueda sobre este plano con una velocidad uniforme, aun cuando se suponga perfectamente duro y pulimentado. En efecto, si la fuerza motriz estuviese sujeta al centro de la rueda, su velocidad seria necesariamente la misma que la de este centro; pero las cantidades de movimientos en la rueda y la fuerza motriz deben ser iguales, y como cada punto de la rueda, exceptuando el del centro, describe una línea mas larga, es evidente que se mueve con mas velocidad que la fuerza, y que por consiguiente se necesita un acrecentamiento de fuerza motriz. Valuemos la cantidad de ella.

Cada uno de los puntos de la circunferencia de una rueda describe una curva que los geómetras llaman *cycloide*, y dando por sentado que las longitudes de las curvas descritas por los puntos intermedios, entre la circunferencia y el centro, decrezcan en razon de su distancia de la circunferencia, la

longitud de la cycloide siendo igual á cuatro veces el diámetro del círculo que la engendra, tendremos que la velocidad media de la materia de la rueda, suponiendo que sea un cilindro sólido, será representada por $\frac{4+3,14}{2} = 3,57$ siendo la velo-

cidad del eje 3,14. Luego la potencia necesaria para tener la rueda en movimiento es á la que haria mover igual cantidad de materia reunida al eje de la rueda como 1,13 es á 1, esto es, un poco mas de $\frac{1}{8}$. En las ruedas hay una proporcion mayor de materia reunida hácia la circunferencia, pero calculando por la valuacion anterior, parece que en ningun caso debe añadirse mas de $\frac{1}{5}$ al peso de las ruedas para tener una masa equivalente á la que debe suponerse reunida en el centro de ellas.

Las mismas consecuencias hallamos en cuanto á las ruedas que se mueven sobre un plano horizontal, sean las que se fueren sus dimensiones y naturaleza.

Experiencia 1.^a Nos propusimos verificar la fuerza necesaria para hacer dar vueltas á unas ruedas de fundicion sobre un camino á nivel formado con barras de hierro forjado, y para ello colocamos las ruedas en un eje, en medio del cual habia un cilindro de menos de $1\frac{1}{2}$ pulgadas (30 mil.) de diámetro sobre el cual se recogia un hilo fino y flexible, que pasado por una poleita quedaba, estirado paralelamente al camino mediante un peso colgado á la punta. Las dos ruedas tenian cosa de 3 pulgadas (100 mil.) su peso juntamente con el eje era de 53 onzas (1486 gram.): y poniendo solo 192 granos (12 gram.) rodaban fácilmente sobre las barras. Es de advertir que antes se habia verificado por otra experiencia el rozamiento de la polea, y toda la fuerza era equivalente á 250 granos (16 gram.) que tiraban á nivel del eje, de que resultó que la fuerza motriz que obraba en este sentido era la 95.^a parte del peso.

Experiencia 2.^a El peso de otro par de ruedas de unas $8\frac{1}{2}$ pulgadas (200 mil.) de diámetro juntamente con su eje era de 119 onzas (3341 gram.), y un peso de 250 granos (16 gram.) (hecha deduccion del rozamiento de la polea) la hacia rodar fácilmente. Este peso es igual á 288 granos (1815 gram.) aplicados al eje, lo que es decir que la fuerza motriz obrando al nivel del eje era $\frac{1}{181}$ de su peso (1).

(1) Es muy notable la semejanza que tiene con este experimento el aparato citado por Vitruvio, lib. 10. cap. 6., é inventado por Paconio para trans-

Segun esto vemos que la relacion de la fuerza motriz al peso de la rueda está en razon inversa del diámetro de esta, pues en estas dos esperiencias los diámetros de las ruedas eran como 2 : 1, y $\frac{1}{93} : \frac{1}{181}$ son con corta diferencia como 2 : 1.

Parece, pues, que segun dichas esperiencias el efecto de las ruedas grandes en cuanto al retardo que ocasionan, no puede influir sino muy poco sobre el movimiento de los carruages, y que ademas puede considerarse el peso de las ruedas como parte de la carga que pesa sobre los ejes, lo que simplifica mucho todas las indagaciones sobre el movimiento de los carruages, sin inducir á error alguno de momento en la práctica.

2.º *Resistencia en la superficie de los carriles.* Sucede frecuentemente que la mayor resistencia en el carril resulta del frotamiento lateral de los bordes que forman el carril, bien se hallen estos en las ruedas, ó bien en las barras rectas de que se compone el camino. Débese procurar siempre que las ruedas sigan su direccion, sin necesidad de ir rozando continuamente con el borde del carril para mantenerse en ella.

Este fin se consigue muy bien por los carros cuyas ruedas forman los bordes que se encajan en las barras de los caminos de carriles estrechos, haciendo el borde de las ruedas levemente cónico ó mas bien con la curvatura que se ve en la fig. 24. El carro caerá entonces por sí mismo en la propia y conveniente posicion que debe llevar sobre el carril, si es que por algun tropiezo se hubiese apartado de ella.

En los caminos de carriles planos en que las barras tienen el resalto que sirve para sujetar las ruedas al carril, podria ser la forma de las barras la misma que acabamos de indicar para los bordes de las ruedas de carriles estrechos, lo cual inclinaria siempre las ruedas á separarse del borde, pues en estos aumenta muchísimo la resistencia cuando las ruedas rozan contra los bordes.

Los caminos de hierro á la Palmer estan muy poco expuestos á este roce lateral. La forma que propone para el borde superior de sus barras, es la de un segmento de círculo aplastado: el canto ó llanta de las ruedas debe ser cónico y presentan con corta diferencia la misma curvatura. No podia en nuestro concepto haber escogido forma mejor y mas apropósito para evitar los rozamientos.

Las materias estrañas accidentalmente pegadas á la superfi-

portar la base colosal de una estatua de Apolo fuera de la cantera. Con un caminito de hierro Paconie hubiera mantenido su máquina sin la menor dificultad en la direccion conveniente.

cie de las barras, y tambien alguna que otra desigualdad en las junturas de ellas pueden á veces ocasionar otra especie de resistencia, mas el efecto de esto será parecido al de las piedrezuelas ó estorbos que se encuentran en una carretera, y por eso las ruedas grandes son mas ventajosas que las pequeñas.

Si suponemos que sea R el rayo de la rueda y x la altura del obstáculo, P la fuerza motriz y w el peso de la carga sobre el eje, entonces $R-x$ será la longitud de la palanca con que la potencia obra para obligar á la rueda á superar el obstáculo y $\sqrt{2Rx-x^2}$ será igual á la longitud de la palanca con que la carga obra para resistir á la fuerza motriz, por consiguiente

$$\frac{w\sqrt{2Rx-x^2}}{R-x} = P.$$

Parece, pues, que la fuerza necesaria para elevar una rueda sobre un obstáculo de una altura determinada está casi en razon inversa de la raiz cuadrada del rayo de la rueda, y que una rueda de 4 pies de diámetro no necesitará para superar un obstáculo mas que la mitad de la fuerza que necesitaría otra de un pie.

Quando las ruedas y barras sobre que se mueven estan proporcionadas de tal manera que la presion no cause alteracion alguna permanente sobre la superficie de unas ú otras, entonces la resistencia que resulta de la presion de estas superficies en el momento de su contacto se halla casi enteramente equilibrada por la elasticidad de las superficies que se separan, y no puede perderse sino poquísima fuerza; pero en el caso de una alteracion permanente en las superficies, ó quando el polvo ú otra materia pegada á la rueda se halla en contacto con las barras, entonces la resistencia es muy grande.

Podemos en uno y otro caso, atendida la pequeñez de x reducir la ecuacion anterior á $\frac{w\sqrt{2Rx}}{2} = P$. Pero x debe ser

directamente proporcional á w , y con corta diferencia en razon inversa del radio luego tendremos:

$$x = \frac{w}{R} \text{ y } \frac{w\sqrt{2w}}{R} = P \text{ ó } \frac{w^{\frac{2}{3}}}{R} = P.$$

Parece, pues, que si se halla en la superficie del cami-

no una resistencia proveniente de una de las causas que acabamos de indicar, aumenta en una proporción mayor que la del aumento de la carga, es decir como la raíz cuadrada del cubo del peso. Y como es casi inevitable hallar siempre una resistencia de esta naturaleza en los caminos de carriles planos, es evidente que para acertar debe seguirse en la práctica el principio que dicta el repartir la presión todo lo mas que sea posible en esta especie de caminos. Las ruedas grandes en este caso serán también muy ventajosas, porque la fuerza necesaria para vencer la resistencia estará siempre en razón inversa del radio de la rueda.

La resistencia que causa el polvo es mayor que lo que parece. Mr. Palmer hizo para averiguarla una experiencia en el camino de carriles planos de Cheltenham, de la cual resulta que se necesitan $19\frac{1}{2}$ por 100 de aumento de fuerza para arrastrar los mismos carros cuando el carril está cubierto de polvo, mas que cuando se halla limpio.

El polvo y barro no se pegan á los carriles estrechos con tanta facilidad como á los planos, mas cuando tal sucede en los que se gastan carrillos de ruedas pequeñas es tanto lo que retarda el andar que los celadores de dichos caminos tienen buen cuidado en llevar agua para regar y limpiar el camino antes de pasar todo el tren de carros. Esto es lo que sucede, segun notó Palmer, en el camino de hierro que va á las pizarreras de Penrhyn. En otros en que las ruedas son mayores y las barras que forman los dos carriles estan mas apartadas no hay que andar con estos riegos y limpiezas.

Debe parecer evidente que séase la que se fuese la cantidad de resistencia á la superficie de los carriles y bordes, es de tal naturaleza que no es fácil sujetarla á cálculo. Depende en la mayor parte del modo que está ejecutado el camino y también mucho del estado en que se procura conservar. Solo hemos querido hacer ver aquí qué circunstancias pueden contribuir á la disminución de esta resistencia.

3.º *Resistencia en los ejes de los carros.* Hemos dejado para la última esta parte de la resistencia que gasta en los caminos de hierro lo mas de la fuerza motriz. Esta es materia que seria imposible tratarla como se debe sin el auxilio de la experiencia y del raciocinio matemático, pero reuniremos en párrafos aparte las investigaciones matemáticas para que las pase por alto quien no sepa apreciarlas.

La presión sobre las partes que tienen rozamiento en el eje de un carro es proporcional al peso del cuerpo del car-

ro y á la carga añadida al esfuerzo de la potencia que le pone en movimiento. Esta presión se ejerce en la dirección de la resultante de estas fuerzas. Pero el esfuerzo que produce un rozamiento sobre el eje puede considerarse como si estuviera en una dirección vertical, é igual al peso del carro y de su carga reunidos, pues no será error sensible en la práctica el despreciar la parte correspondiente á la potencia que supera el rozamiento.

Se ha visto por experiencia que el rozamiento de los cuerpos que se emplean como ejes, y el de sus puntos de apoyo era casi proporcional á la presión en igualdad de circunstancias. La presión sobre el camino mismo será siempre mayor que la que se ejercerá sobre el eje, á causa del esfuerzo que proviene del peso de las ruedas, y por lo mismo si el carril no es más terso que la superficie del eje, la rueda no podrá correr sobre él.

Pero el centro del movimiento está en C fig. 34 centro del eje: supongamos que CB sea la dirección de la fuerza, y EA la de la resistencia al rozamiento en la superficie del eje, por el impedimento que el roce sobre el carril en D ofrece para que corra la rueda.

Desde luego nos figuramos como la fuerza hará mover la rueda hácia delante, pues es claro que el rozamiento en D obra con el brazo de palanca DC para hacer dar vuelta á la rueda sobre su eje, mientras que el rozamiento del eje en A no obra sino con el brazo de palanca AC radio del eje para resistir al esfuerzo de la fuerza matriz. Según esto, no atendiendo á más que lo que toca al rozamiento del eje, es también claro que si se dobla el radio de la rueda se disminuye una mitad la fuerza necesaria para poner el carro en movimiento, y se reducirá en una proporción análoga según se aumente el rayo de la rueda, porque el mismo eje puede llevar una misma carga sea el que fuese el tamaño de las ruedas.

Esta es una verdad que se ha publicado muchas veces en Inglaterra y por lo mismo es más extraño que se haya ocultado á la perspicacia de varios escritores que han tratado de carruages y aun han hecho experimentos sobre ellos. No se ve en las descripciones que hacen de dichos experimentos, ni siquiera un ejemplo en que se indique la razón en que debe estar el diámetro de la rueda con el del eje.

Así que si es satisfactorio ser llevado por el raciocinio hasta el punto de encontrar una verdad útil, lo es todavía más

ver esta verdad confirmada por la esperiencia. Mandé construir un carrillo con dos géneros de ruedas: el diámetro de las unas era doble mayor que el de las otras: los ejes de hierro y los bujes de cobre, de modo que cambiando las ruedas no habia la menor variacion en las superficies en que se verificaban los rozamientos: las ruedas eran de hierro colado y sus bordes ó llantas hechas á torno: las pequeñas tenian 4 pulgadas (100 mil.) de diámetro, y las grandes 8 (200 mil.). El diámetro de los ejes era de $\frac{1}{2}$ pulgada (14 mil.). El camino de hierro 4 varas ($3\frac{1}{2}$ met.) de largo, y se reducía á 2 barras de hierro embutidas en unos maderos de 4 pulgadas (114 mil.) de grueso: el canto superior de las barras se habia limado y bruñido, con lo que tenia un carril que podia poner á nivel ó al grado de inclinacion conveniente. Los ejes se untaron con aceite de olivas, é hice las esperiencias que se verán despues de puesto á nivel.

Esperiencia 3.^a Se pusieron al carro las ruedas de 4 pulgadas y se le cargó hasta que un peso de dos libras pasado por una polea, y tirando en direccion paralela al camino produjo un movimiento medianamente acelerado que hizo correr á las ruedas una vara (91 cent.) en los 9 primeros segundos. El peso total de carro y carga era de unas 100 libras (55 kil. g.), y el efecto del rozamiento sobre la polea estaba igualmente calculado; de manera que la carga toda era puesta en movimiento por la 62 parte de su peso.

Púsose luego un motor del peso de 4 libras, y se aumentó la carga hasta que el mismo espacio se hallase corrido en el mismo tiempo. Verificado asi el peso total de carro y carga resultó ser de 250, 5 libras y la fuerza motriz de 5,886 libr. Luego la fuerza motriz no era mas que la 59 parte de la carga con corta diferencia.

Parece, pues, segun esta esperiencia que la resistencia no es exactamente proporcional á la presion.

Esperiencia 4.^a Se quitaron las ruedas de 4 y se pusieron las de 8 pulgadas, arreglando la polea para que estuviese paralela á las barras la línea de tiro. Se colgó un peso de 2 libras y se aumentó la carga hasta que corriese los 5 pies primeros en los 9 segundos. Hallóse pesar todo comprendiendo el carro y ruedas 219,75 libras. La fuerza motriz hecha la rebaja del rozamiento de la polea, era de 1,945 libras. Luego la fuerza motriz era sobre poco mas ó menos la 115 parte del peso, ó lo que es lo mismo la carga era puesta en movimiento por la 115 parte de su peso.

Esta proporción no conviene exactamente con la de los diámetros de las ruedas: se diferencia $\frac{1}{10}$ si se compara con la esperiencia en que la presión era de 100 libras (55 kilog.) y de $\frac{1}{20}$ si con la otra en que era de 250,5 (104,53 kilog.). Resta examinar si esta diferencia depende de la resistencia esperimentada en la circunferencia, ó del rozamiento del eje.

Cuando se aumentó la carga hasta que una fuerza motriz de 3 libras produjo la misma velocidad en igual tiempo, se halló que el peso total era de 320 libras (145 kilog.) con lo que vino á ponerse en movimiento la carga con la 107 parte de su peso. Todavía parece que en este caso aumenta alguna parte de la resistencia en una razón mayor que la presión.

De estas esperiencias, repetidas varias veces y siempre con igual resultado creemos poder inferir que la fuerza que puede poner en movimiento un carro sobre un camino de hierro, siendo la carga y ejes los mismos, está en razón inversa del diámetro de las ruedas.

Hagamos este mismo examen en otra forma mas general y supondremos siempre que la fuerza obra en una dirección paralela á las barras sobre que dan vuelta las ruedas y de nivel con el eje. Sea, pues, AB fig. 55 una línea horizontal, CB la inclinación de las barras, Pc la dirección del motor. Llamemos P la fuerza motriz W el peso del carro y carga, F la resistencia por el rozamiento que se hace en el eje, y i el ángulo de inclinación ABC. Entonces $P - F =$ á la parte de fuerza empleada en hacer subir el carruaje por el plano inclinado; pero $cC : c a :: W : P - F$, y los triángulos $a C c$ y ABC son semejantes, pues ambos son rectángulos, luego tenemos CB:

$$AC :: W : P - F, \text{ ó porque } \frac{AC}{BC} = \text{sen } i, \text{ tenemos } W \text{ sen } i = P - F$$

y $W \text{ sen } i + F = P$.

Pero F es proporcional á la presión producida sobre el eje por estas fuerzas. Ahora llamemos R el radio de las ruedas, r el radio de los ejes, y f el rozamiento cuando la presión es representada por la unidad. La presión sobre el eje es la resultante de las fuerzas aC y ac . Pero

$$aC = W \cos i, \text{ y } ac = W \text{ sen } i$$

y siendo las fuerzas en ángulos rectos

$$W \sqrt{\cos^2 i + \text{sen}^2 i} = \text{á la resultante;}$$

pero esta es igual á W, luego $F = \frac{Wfr}{R}$ y por consiguiente

R

$W\left(\sin i + \frac{fr}{R}\right) = P$ = á la fuerza que puede hacer subir un carro por un plano inclinado, y $W\left(\sin i - \frac{fr}{R}\right)$ = la fuerza que hace tirar á bajar al carro y que viene á ser cero cuando $\sin i = \frac{fr}{R}$.

Quando $\sin i$ es mas pequeño que $\frac{fr}{R}$ tenemos $W\left(\frac{fr}{R} - \sin i\right) = P$ = á la fuerza que puede mover un carro por un plano inclinado.

En la última ecuacion, cuando $\frac{fr}{R} = \sin i$ tenemos $P = 0$, es decir que el carro bajará por efecto de su propio peso. Esto nos proporciona un medio práctico fácil de determinar el rozamiento: no hay mas que dar á las barras que forman los carriles del camino una inclinacion suficiente para que el carro se ponga sencillamente en movimiento, entonces el rozamiento será espresado por el seno del ángulo de inclinacion.

En fin, cuando el camino está á nivel...

Sen $i = 0$ y $W \frac{fr}{R} = P$. lo queda la fuerza motriz igual á la resistencia ó al rozamiento, y como nuestras esperiencias han sido hechas de este modo, tenemos la facilidad de comparar estos dos modos de esperiencia.

Esperiencia 5.^a Se aumentó la inclinacion de nuestro camino hasta que el carro con sus ruedas de 200 mil. (8 pulg.) y una carga de 25,40 kil., bajase con un movimiento continuo. El peso de carro y ruedas era de 11,66 kilog. El movimiento se hacia sensiblemente mas lento cuando se añadian 39 kilog. á la carga; pero siempre era bastante regular, y cuando se quitaba toda la carga, rodaba facilísimamente, pero con una velocidad media que no pasaba de 300 mil. por segundo: se necesitaban 9 á 10 para que corriese los 2,75 met. Medida la inclinacion se halló ser de unos 45 mil. por un espacio de 3,656 met. medido por la inclinacion. Tenemos aqui $\frac{1}{53}$ casi del peso por lo que hace á la fuerza motriz.

Esperiencia 6.^a Púsose el carro con las ruedas de 100 mil. de diámetro ó 4 pulg. en lugar de las de 8 y se notó que no

se puso en movimiento, mientras no se varió de inclinación, á no aumentar mas la carga. Luego que la inclinación llegó á 85 mil. sobre el mismo espacio 3,656 met. medidos sobre las barras, entonces se movió el carro con la misma velocidad que en la esperiencia anterior, de manera que la fuerza era igual á $\frac{1}{36}$ del peso. Añadiendo 62 kilog. poco mas ó menos al peso del carro el movimiento se amortiguaba. El peso del carro con las ruedas chicas era cosa de 8 kilog.

Parece, segun estas esperiencias, que no disminuye la resistencia exactamente la mitad cuando se dobla el diámetro de las ruedas, pero la diferencia no es mas que de $\frac{1}{18}$ de esta proporcion. La resistencia principalmente de los bordes, era aqui mucho mayor que en las esperiencias hechas en el camino á nivel.

Esperiencia 7.^a Se aumentó la inclinación hasta que el seno del ángulo fue de 0,039 y el tiempo de la bajada se contó mediante un péndulo de segundos, corriendo un espacio mas ó menos largo. Con las ruedas de 4 pulgadas y una carga de 18 kilog. corrió el carro 2,7 met. en 5 segundos, y 1 metro, 5 mil. en 3 segundos. Asi los espacios corridos fueron casi como el cuadrado de los tiempos.

Esperiencia 8.^a Con las ruedas de 8 pulgadas y una carga de 18 kilog. el carro corrió 7,7 pies (2,34 met.) en 4 segundos.

Si se quieren comparar estas esperiencias con las primeras, es necesario servirse de las fórmulas del descenso de los cuerpos por planos inclinados. Las 4 mas útiles son las siguientes:

$$1.^a \quad s = 16 \frac{1}{2} p l^2 = \frac{v^2}{64 \frac{1}{3}} p$$

$$2.^a \quad v = \frac{2s}{t} = \sqrt{64 \frac{1}{3}} ps$$

$$3.^a \quad t = \frac{v}{32 \frac{1}{3}} p = \sqrt{\frac{s}{16 \frac{1}{2}}} p$$

$$4.^a \quad p = \frac{s}{16 \frac{1}{2} t^2} = \frac{v}{32 \frac{1}{3} t}$$

ecuaciones en que s designa el espacio descrito en pies, v la velocidad adquirida en pies por segundo, t el tiempo en segundos y la fuerza que obra constantemente sobre el cuerpo movido en partes de su peso.

Despreciaremos en la aplicacion de estas fórmulas las frac-

ciones, pues solo las hemos estendido para que los que o tengan por necesario en otros cálculos, las empleen así.

Hemos hecho ver que $W\left(\text{sen } i - \frac{fr}{R}\right)$ es igual á la fuerza que hace bajar un carro por un plano inclinado; por consiguiente $p = \text{sen } i - \frac{fr}{R}$ de donde se infiere por la fórmula 4 $\text{sen } i -$

$\frac{fr}{R} = \frac{s}{16 t^2} = \frac{fr}{R}$. En las esperiencias anteriores $\text{sen } i = 0,039$ y en la 7.^a $s = 89$ pies (2,7 met.) y $t = 5$ segundos.

$$\text{Luego } 0,039 - \frac{8,9}{16 + 25} = 0,01666 = \frac{1}{60}.$$

La segunda esperiencia en la cual $s = 3,3$ pies (1,05 metr.) y $t = 3$ segundos da $\frac{fr}{R} = 0,016 = \frac{1}{62,5}$. En la 8.^a esperiencia

$s = 7,7$ pies (2,34 met.) y $t = 4$ segundos; luego $0,039 - \frac{7,7}{16 \times 16} = 0,0079 = \frac{1}{122}$ poco mas ó menos.

Estas esperiencias dan, pues, resultados que se aproximan mucho á los de las esperiencias 3.^a y 4.^a, pero la presion era mucho mas fuerte, y el género de esperiencia no nos permitia hacerla mas considerable.

Tenemos que considerar ahora la relacion del rozamiento á la presion, tal cual resulta de estas esperiencias; y pues el diámetro del eje = 0,55 pulgadas (14 mil.) y el de la rueda = 4 pulgadas (100 mil.) tenemos en medidas métricas, cuando

toda la resistencia es de $\frac{r}{60} \frac{fr}{R} = \frac{f \times 14}{100} = \frac{1}{60}$ ó sea $f = \frac{840}{100} = 0,119$.

En la esperiencia con las ruedas de 8 pulgadas, hemos tenido $\frac{f \times 14}{200} = \frac{1}{113}$ poco mas ó menos, ó sea $f = \frac{1582}{200} = 0,126$.

El medio entre estos dos resultados es 0,122, un poco menos de $\frac{1}{8}$. Este es, pues, el rozamiento á que debemos atenernos en la práctica, pues hemos evitado de intento el afinar mucho nuestro aparato, por no darle mas perfeccion que la

que tienen las máquinas destinadas á servir en grande.

Experiencia 9.ª Para calcular el rozamiento del eje, independientemente del del camino se puso el carro boca abajo encima de un banco, dejando libres y sobresalientes las ruedas por los lados y sujetando bien el carro por la otra punta. Se puso una tira de tela lisa y flexible sobre cada rueda y se colgó de cada lado de las dos tiras un platillo de balanza. Con $\frac{1}{120}$ de añadidura al peso produjo un movimiento lento pero regular, tanto con 27 kilogr. como con 54 idem. Luego si despreciamos la rigidez de las tiras, tendremos tambien $\frac{1}{8}$ con corta diferencia por espresion del rozamiento del

$$\text{eje } f = \frac{200}{14 \times 20} = \frac{1}{8}.$$

Es, pues, evidente que la resistencia sobre el camino de hierro es casi ninguna, cuando está bien limpio, igual y terso; y que podemos limitarnos á las investigaciones que tienen relacion con la resistencia que se ejerce sobre el eje, en todo lo que hace al movimiento de los carros por un camino de hierro.

4.ª *Proporciones de las máquinas loco-motrices para los caminos de hierro.* Cuando se destina una máquina de estas para tirar de un tren de carros por un camino de hierro cuyas barras no sean de muescas, su peso debe ser bastante para producir sobre la superficie del camino tanto rozamiento como se necesita para que su cantidad sea igual á la fuerza necesaria para poner el tren en movimiento, pues si el rozamiento fuese menor, las ruedas darian vueltas sin que el carro anduviese hácia delante.

Sea E . el peso del carro que lleva la máquina, f' el rozamiento cuando la presion es igual á la unidad, y i el ángulo de inclinacion.

Conforme á los principios de mecánica $E \cdot \cos i =$ á la presion sobre el plan y $E f' \cos i =$ al rozamiento. Supongamos que el tren esté bajando y que el peso de todos los carros

junto con sus cargas sea $= w$. Tenemos entonces $w \left(\frac{fr}{R} - \text{sen } i \right) =$

á la fuerza que puede poner el tren en movimiento. Tenemos por consiguiente:

$$E f' \cos i = W \left(\frac{fr}{R} - \text{sen } i \right); \quad \frac{E}{w} f' \cos i = \frac{fr}{R} - \text{sen } i$$

Pero cuando se trata de ángulos tan pequeños, el cóseno no se diferencia sensiblemente del radio, y por consiguiente puede suponerse en la práctica

$$\frac{fr}{R} - \frac{E}{w} f' = \text{sen } i = \text{al ángulo de inclinacion; } \frac{E f' \cos i}{fr - \text{sen } i} = w = \text{al}$$

peso del tren de los carros; y $\frac{w}{f' \cos i} \left(\frac{fr}{R} - \text{sen } i \right) = E$ ó al peso del carro de vapor.

Cuando el camino es á nivel, entonces $\cos i = 1$ y $\text{sen } i = 0$. En este caso tendremos por el peso del tren de carros $w = \frac{E f' r}{fr}$, y por el peso del carro de vapor $E = \frac{w fr}{f' R}$.

A fin de determinar el valor de f' hicimos el experimento siguiente:

Esperiencia 10. Sujetamos las ruedas de nuestro carrillo de modo que no pudiesen dar vueltas y aumentamos la inclinacion del camino de hierro hasta el punto que el carro pudiese escurrirse sencillamente sobre el canto de las rue-

das. La tangente de inclinacion era entonces $= 0,165 = \frac{1}{6,06}$

ó bien el rozamiento era con cortísima diferencia igual á $\frac{1}{6}$ de la presion, y eso porque en este caso el hierro colado resbalaba sobre el forjado, despues de haberles alisado bastante á ambos por el uso. Pero para otro semejante en la práctica, no deberia regularse el rozamiento tan fuerte, y podria ponerse en $\frac{1}{12}$ de la presion, atendiendo á que con el uso continuo se llegan á poner las superficies de los carriles tan tersas como el cristal y muy resbaladizas.

Adoptando este último número y haciendo $= \frac{1}{8}$ la proporcion del rozamiento á la presion sobre el eje, tendremos

$$\text{mos } \frac{r}{8R} - \frac{E}{12w} = \text{al seno de inclinacion del camino; } \frac{\frac{1}{8} E \cos i}{\frac{r}{8R} - \text{sen } i} = w$$

peso del tren de carros, y $\frac{12w}{\cos i} \left(\frac{r}{8R} - \text{sen } i \right) = E$ peso del carro de vapor.

Ejemplo. Sea el peso de un carro de vapor de 8000 kilog. ú 8 toneladas, y el peso total de un tren de carros 98 tone-

ladas; el diámetro de los ejes de los carros 76 milim. el de las ruedas 914 milim. entonces la ecuacion $\frac{r}{8R} - \frac{E}{12W}$ da $\frac{76}{8 \times 914} - \frac{8}{12 \times 98} = \frac{1}{277}$ con corta diferencia, y si la pendiente es menor que la de esta proporcion, las ruedas darán vueltas sin que los carros adelanten nada.

Si los carros suben un plano inclinado, la fórmula vendrá á ser $\frac{E}{12W} - \frac{r}{8R} = \text{al seno del ángulo de inclinacion.}$ $\frac{\frac{1}{12} E \cos i}{\frac{r}{8R} + \text{sen } i} = W$

$$y \frac{12W}{\cos i} \left(\frac{r}{8R} + \text{sen } i \right) = E.$$

Ejemplo. Supongamos que los carros estan vacios y que siendo su peso en este estado 26 toneladas se les va á hacer subir por el camino de hierro, en este caso

$$\frac{8}{12 \times 26} - \frac{76}{8 \times 914} = \frac{1}{39} - \frac{1}{96,2} = \frac{1}{66}.$$

Estos ejemplos prueban hasta la evidencia que un grado considerable de inclinacion es favorable á la accion de las máquinas loco-motrices que conducen carros á la bajada. Pero la pendiente mas cómoda para un camino inclinado es aquella que hace aplicable una misma fuerza motriz tanto á las subidas como á las bajadas: el peso de la máquina debe estar calculado para hacerla á propósito para tirar de los carros subiendo, y siendo asi será conveniente para cuando bajen.

Supongamos un convoy de géneros que va bajando y cuyo peso, incluso el de los carros sea representado por w , y supongamos otro que va subiendo cuyo peso con el de los carros sea igual á $n w$. Entonces para que pueda hacerse la conduccion en ambas direcciones con la misma fuerza, es preciso que haya

$$w \left(\frac{fr}{R} - \text{sen } i \right) = n w \left(\frac{fr}{R} + \text{sen } i \right) \text{ ó } \frac{fr}{R} - \text{sen } i = \frac{n fr}{R} + n \text{sen } i;$$

de donde se saca $\frac{fr (r + n)}{R (1 + n)} = \text{sen } i$. Si los carros no deben volver entences tenemos $n = 0$ y $\frac{fr}{R} = \text{sen } i$. Y cuando $n = 1$

ó cuando el peso de las mercancías es el mismo en ambas direcciones sen $i = 0$.

Las mismas fórmulas se aplican á los planos inclinados cuando los carros que bajan deben estar enteramente cargados, y cuando los que suben llevan poca carga.

Cuando solo hay que subir con los carros vacíos, entonces $n w$ debe ser igual al peso de los carros; y siendo la proporción general entre su peso y el de las cargas de 1 á 4

$$\text{tenemos } n = 0,25; \text{ y } f \text{ siendo igual a } \frac{1}{8} \text{ tendremos } \frac{0,6r}{8R} = \text{sen } i = \frac{0,3r}{4R}.$$

Si el diámetro del eje es de 76 milim. y el de la rueda 914,

$$\text{entonces } \frac{r}{R} = \frac{1}{12} \text{ poco mas ó menos y } \frac{0,3r}{4R} = \frac{1}{160} = 0,00625.$$

5.° *Proporciones de las máquinas loco-motrices en carriles de barras de muescas.* Vamos á examinar ahora el peso que debe tener una máquina que hace dar vueltas á las ruedas sobre barras de muescas. El mejor modo de hacer las muescas ó dientes es de redondearlas de manera que las concavidades sean iguales á las convexidades en toda la longitud del camino. Buchanan dió el medio práctico de trazarlas en su ensayo sobre molinos. Suponiendo, pues, que las muescas esten hechas de esta suerte, las superficies de los dientes que se ponen en contacto harán con el borde superior de las barras del camino un ángulo cuyo coseno será igual á la mitad de la altura de las muescas, y cuyo radio será el de la rueda. Llamemos a á este ángulo, y i el ángulo de inclinación de las barras del camino. Sea E el peso de la máquina, f' el rozamiento cuando la presión está representada por la unidad, y P la fuerza necesaria para poner en movimiento todo el tren de carros.

Entonces $E \cos i =$ á la presión de la máquina en una dirección perpendicular á las barras del camino, lo que da $E \cos i (f' \cos a + \text{sen } a) =$ á la fuerza que detiene la máquina en las muescas del camino, y $P (\cos a - f' \text{sen } a) =$ á la fuerza que tira á hacer salir de las muescas á los dientes que les corresponden de la máquina; tenemos, pues, $E \cos i (f' \cos a + \text{sen } a) = P (\cos a - f' \text{sen } a)$ cuando estas fuerzas se hallan en equilibrio. De esta ecuación sacamos:

$$\frac{P}{\cos i} \left(\frac{\cos a - f' \operatorname{sen} a}{f' \cos a + \operatorname{sen} a} \right) = E \text{ peso de la máquina, y } \frac{P - E f' \cos i}{P f' + E \cos i} =$$

tang. a ; ecuacion en la cual es evidente que si $E f' \cos i$ se hace igual á P , la tangente a se hace 0, lo que hace ver que solo el rozamiento sobre las barras basta para impedir que las ruedas den vueltas. Pero siempre que la cantidad $E f' \cos i$ es mas pequeña que P , son necesarias muescas, y entonces la rueda debe ser tal que la mitad de la altura de las muescas sea al radio como el coseno de a es á la unidad. Esto determina el tamaño de la rueda, porque la altura de los dientes esta determinada por la fuerza que deben tener (1).

6.º *Movimiento de los carros por un camino de hierro.*
 Cuando un carro es tirado por un caballo, tiene este la facultad de proporcionar su fuerza á las circunstancias; y si se trata de hacerle mover por medio de otro cualquier agente mecánico, es preciso tambien economizar una fuerza proporcionada para aumentarla ó disminuirla segun convenga. La utilidad de esta facultad de variar la fuerza se echa de ver principalmente en los momentos de hacer andar de nuevo, ó parar todo un tren de carros. La potencia que designamos por P en las indagaciones anteriores es la que equivale única y precisamente á la fuerza necesaria para tener los carros en movimiento á un grado de velocidad cualquiera. Se necesita ademas una segunda fuerza p para engendrar una nueva velocidad, ó para destruir la velocidad adquirida segun las ocasiones. Segun esto $P + p$ será la fuerza total del agente, y si se trata de que la que haya de servir sea una máquina loco-motriz, se verá que conviene que $p = P$, esto es, que la fuerza segunda sea igual á la primera ó que la fuerza mayor de la máquina sea doble de la que sirva para el trabajo ordinario. Para otros casos no es necesaria tanta.

Si se desea saber que tiempo se necesita para engendrar la velocidad con que los carros deben moverse, llamando p la fuerza aceleratriz contada en partes de peso, v la velocidad que se va á engendrar espresada en pies por segundo de tiempo, y t el tiempo en segundos, tendremos la fórmula

$$\text{la 3.ª de la pag. 52 } t = \frac{v}{32 \frac{1}{2} p}.$$

(1) En otra obra de Mr. Tredgold sobre la fuerza ó resistencia del hierro colado y otros metales se trata de la fuerza de los dientes de las ruedas etc. Es obra muy apreciable, fundada en experimentos muy recientes.

Ejemplo. Supongamos que un carro deba moverse con una velocidad de 6 pies ingleses (1829 milim.) por segundo y que el exceso de fuerza equivalga á $\frac{1}{200}$ de su peso.

El tiempo para engendrar el movimiento en este caso será expresado por $\frac{v}{32}$ p despreciando la fraccion $\frac{1}{2}$ del divisor,

$$y \frac{6 \times 200}{32} = 37\frac{1}{2} \text{ segundos.}$$

Si se desea saber que espacio debe correr el carro para adquirir la velocidad se hallará en la fórmula 1.^a de la mis-

ma página 32 donde designando s el espacio en pies, $s = \frac{v^2}{64 p}$.

Ejemplo. Si un carro debe caminar con una velocidad media de 6 pies ingleses por segundo, lo que apenas hace mas de 4 millas (6,5 kilometros) por hora ¿qué espacio debe recorrer para adquirir esta velocidad, suponiendo que el excedente de fuerza de la máquina sea $\frac{1}{200}$ del peso de la masa

puesta en movimiento? En este caso $\frac{v^2}{64 p} = \frac{36 \times 200}{64} = 112\frac{1}{2}$ pies (34 metros poco mas ó menos).

Esto nos hace conocer igualmente la distancia que recorrería el carro antes que su velocidad fuese estinguida del todo. Substituyendo en vez de $\frac{1}{200}$ la proporcion de $\frac{1}{23}$ que es casi igual á la resistencia sobre una rueda regular, hallaremos que este espacio no es mas que de 14 pies ó poco mas de 4 metros. De aqui se inferirá la dificultad de impedir en un camino de hierro las desgracias que podrian provenir de encontrar tropiezos los carruages, cuando fuesen con mucha rapidez, pues seria imposible pararlos de repente sobre una superficie tan lisa como la de estos caminos.

7.^o *Observaciones generales.* Hemos supuesto el rozamiento $\frac{1}{2}$ de la presion, aunque no dudamos que pueda disminuirse muchísimo, tanto por la perfeccion del trabajo de las piezas, como por la eleccion de substancias mas á propósito para untar todas las partes de las máquinas en que hay movimiento. Un carro escogido y dispuesto al intento para hacer esperimentos, jamas dará una medida muy exacta de la resistencia sobre un camino de hierro; sin embargo, no conocemos otro medio práctico de poder medirla mejor. Así tambien cuando hemos consultado á la esperiencia sobre la proporcion con que pudieramos medir la potencia de las máquinas, la carga de los caballos y la fuerza de los reguladores,

no hemos creído que pudiera desearse en manera alguna el calcular sobre la mas mínima resistencia. El uso de nuestras indagaciones para avaluar los costos de conduccion por los caminos de hierro puede ser tambien muy ventajoso; pero en esto como en todo lo demas la base del cálculo debe ser un término medio y no el mínimo posible.

En las obras nuevamente publicadas sobre caminos de hierro se ha avaluado el rozamiento en la cantidad mas débil que ha sido posible; pero habiendo reducido la cuestion á la simple relacion del rozamiento á la presion, es fácil comparar los resultados con otras esperiencias. Las obras á que hacemos alusion han llamado estraordinariamente la atencion publica, y por lo mismo es todavia mas necesario examinar bien si las esperanzas que dan son fundadas ó no, y hasta que punto lo son (1).

CAPITULO IV.

De los motores para los caminos de hierro; de la fuerza del caballo á diferentes velocidades y duracion de su tarea de trabajo; de las máquinas ó bombas de fuego, de alta y de baja presion, y de las bombas fijas ó estables y su comparacion con las movibles.

Es de la mayor importancia en lo tocante á la economía de los caminos de hierro, el considerar la naturaleza y efecto de las diferentes especies de agentes que se pueden emplear en ellos. Trataremos primeramente de aquel que siendo el mas sencillo en su aplicacion, es al mismo tiempo el mas seguro en punto al efecto. ¿Conservará aun por mucho tiempo esta preeminencia? Dudable es á la verdad; pero hasta el dia no hay motor mas á propósito para producir el movimiento sobre un camino de hierro.

1.º *Fuerza del caballo.* Cuando se emplea la fuerza de un caballo para poner en movimiento un carro sobre un camino de hierro es claro que debe procurarse lograr la mayor cantidad posible de efecto útil en el menor espacio de tiempo posible, sin daño ó perjuicio del animal. Tenemos, pues, dos cosas que examinar: la duracion de una tarea ó trabajo diario, y lo sumo ó *maximun* de efecto útil.

2.º *Duracion de la tarea de un caballo.* El tiempo que

(1) Alude á las obras de Young, de Brewsten y de Fergusson.

se hace trabajar regularmente á un caballo es el de 8 horas cada dia; pero está acreditado por la esperiencia que hay ventaja en acortar este número de horas, y segun hemos observado nosotros un caballo se estropea menos pronto cuando hace el mismo trabajo en 6 horas. Si la misma cantidad de trabajo se hace en menos de 6 horas, el exceso de fatiga se manifestará en la tirantez de los corbejones; los efectos del cansancio por una accion prolongada demasiado tiempo, se haran notar igualmente si la duracion del trabajo de año pasase mucho de las 8 horas.

Los caballos padecen á veces mucho por la torpeza y mala maña de los mismos que les cuidan. Es muy imprudente, sobre todo, el hacerlos correr mucho al principio de su tarea; pero con un buen conductor pueden muy bien hacer en 6 horas toda la tarea de un dia; y el caballo lo pasará mejor, tendrá mas vigor y se ahorrará mucho tiempo. El uso bárbaro de hacer trabajar á los caballos hasta que se rindan de cansados, no se introducirá jamas por cierto en los caminos de hierro. Nos hemos afanado lo que no es creible por averiguar el último límite que puede asignarse á la fuerza media de un caballo, y hemos tenido que refundir enteramente los principios sobre que debe tratarse este punto tan importante.

Es de toda evidencia que el trabajo de todo un dia no puede ejecutarse en una hora; pero cuando se necesita esperar con prontitud una partida grande de géneros, es muy útil poder determinar la proporcion de trabajo que se logrará si se quiere que se haga en menos espacio de tiempo; y para hallarse en estado de hacerlo, es preciso fijar los cálculos sobre la mayor velocidad con que puede correr un caballo no cargado, continuando su marcha por cierto número de dias seguidos, porque la mitad de esta velocidad es la que corresponde al *máximum* de efecto útil, segun probaremos con lo que vamos á decir.

De la naturaleza de las fuerzas (1) se deduce la fórmula

(1) Sea m la fuerza muscular que puede continuar por un dia, w el peso del animal, y s el espacio corrido en un tiempo dado; entonces $v = \sqrt{\frac{64ms}{w}}$. Pero el espacio corrido en un tiempo dado está en razon inversa de la duracion del trabajo de un dia ó $s: \frac{1}{d}$. Luego $v = \frac{\sqrt{64m}}{w d}$ y cuando la velocidad es de 6 millas por hora, cuando $d = 6$ horas tenemos $v = \frac{14.7}{d}$.

la siguiente para expresar la velocidad correspondiente á una duracion cualquiera de trabajo : $\frac{14,7}{\sqrt{d}} = v =$ á la mayor ve-

locidad posible espresada en millas por hora, cuando el caballo no lleva carga y la duracion de las horas del trabajo diario está representada por d .

He recogido durante algunos años una multitud de observaciones hechas sobre la materia, y sus resultados convienen perfectamente con las que he hecho yo mismo. El estadite siguiente manifiesta la duracion del trabajo y mayor velocidad de un caballo sin carga.

Duracion d. la marcha.	Velocidad mayor del caballo no cargado en millas por hora.	Velocidad idem en kiloms. por hora.
1	14,7	23,6
2	10,4	16,7
3	8,5	13,4
4	7,3	11,7
5	6,6	10,6
6	6	9,6
7	5,5	8,8
8	5,2	8,3
10	4,6	7,4

Este estado representa con bastante exactitud la ley segun la cual disminuye la velocidad, cuando el tiempo de la duracion del trabajo aumenta y el caballo marcha descargado por un camino á nivel. La fuerza muscular en accion puede ser considerada como equivalente al $\frac{1}{3}$ del peso del animal.

Quando el camino está en cuesta, la velocidad, al subir debe disminuir en la razon del seno de la inclinacion; y al bajar debe aumentar en la misma proporcion. Obtenidos estos datos continuaremos nuestras investigaciones examinando primeramente cual es la velocidad correspondiente á lo sume del efecto útil.

3.º *Maximun de efecto útil.* Es importantísimo conocer

Esta indagacion está limitada á los casos en que la acción es semejante; pero puede estenderse á otros muchos y analizarse de este modo algunos puntos relativos á la fuerza y velocidad de los animales que se cree vulgarmente que no pueden sujetarse á los cálculos matemáticos.

la velocidad que corresponde á lo sumo del efecto útil, por la razon de que la cantidad de fuerza que consume el caballo depende en mucha parte de ello.

Quando un caballo va por un camino descargado, la distancia mayor que pueda recorrer de modo que se halle siempre en estado de volver á empezar y continuar su tarea durante varios dias seguidos sin padecer una fatiga peligrosa, es evidentemente el límite de la velocidad que puede adquirir; pero en este caso el efecto útil que produce es nulo; y es igualmente cierto que cuando un caballo emplea toda su fuerza en tirar de un carruage vacio, su trabajo útil es tambien nulo. Por otra parte la carga puede ser bastante grande para que el caballo apenas pueda ponerla en movimiento; y en este caso tambien el efecto útil será nulo. Pero entre estos límites de velocidad y fuerza hay un término medio que dá el *maximo* de efecto útil y que por consiguiente debe ser el mas ventajoso para la aplicacion de la fuerza del caballo al servicio de los caminos de hierro.

La velocidad que corresponde al máximo de efecto útil, es la mitad de la mayor velocidad del caballo descargado (1). La mayor velocidad de un buen caballo descargado no pasa de 6 millas (9,6 kilom.) por hora, cuando la marcha dura 6 horas; y por consiguiente 3 millas (4,8 kilom.) por hora son la velocidad correspondiente al máximo de efecto cuando el trabajo dura 6 horas,

(1) Llamemos v la mayor velocidad de un caballo descargado y m la fuerza muscular constante que engendra esta velocidad; w la resistencia vencida cuando el caballo no va cargado, y v otra cualquiera velocidad. Tendremos $m v - w v = a$ la fuerza efectiva. Pero $m v = V w$ ó $\frac{m v}{V} = w$. Luego

$m v - \frac{m v^2}{V} = a$ la fuerza efectiva, y esta debe tener un maximo. El maximo

verifica cuando la diferencial de la variable es igual á 0, ó cuando

$v - \frac{2 v^2}{V} = 0$, es decir cuando $V = 2 v$. Luego la velocidad que corresponde

al maximo de efecto útil es la mitad de la mayor velocidad del caballo sin carga. Sea $P v$ la fuerza del caballo, entonces $m v - \frac{m v^2}{V} = m v \left(\frac{V - v}{V} \right)$

$= P v$, y $m \left(\frac{V - v}{V} \right) = P$. Cuando $v = 0$, $P = m$; así m es siempre igual

á la fuerza que hace equilibrio á la fuerza del caballo en reposo, y cuando $v = V$, $P = 0$; como así debe ser. Al maximum $\frac{1}{2} m = P$, y como m es constante, la fuerza á lo sumo será una cantidad constante, sea el que se fuese el número de horas de la tarea diaria.

Para un caballo de mediana fuerza $m = 115$ kilogr.

Si el trabajo diario fuese de 8 horas, la velocidad mayor seria de 5 millas, (8 kilom.) por hora, lo que da $2\frac{1}{2}$ millas (4,5 kil.) por hora de velocidad correspondiente al máximo de efecto útil.

La tarea media que se señala á los caballos mas endebles no es tanta, pero la diferencia debe mas bien recaer sobre la carga que sobre el tiempo del trabajo.

Innumerables experiencias repetidas por largo tiempo han probado que la fuerza media del caballo es de 113 Kilógramas, cuya mitad $56\frac{1}{2}$ puede regularse como la fuerza de un caballo al paso de 6 horas diarias de trabajo y 3 millas por hora (4,8 kilom.).

Si la tarea diaria fuese de 8 horas la fuerza del caballo seria la misma, pero solo andaria $2\frac{1}{2}$ millas por hora durante las 8. La diferencia no estaria jamas sino en la velocidad, fuese la que se fuese la de la duracion de la tarea.

El mejor modo de partir el trabajo para carros muy pesados seria el de dividir toda la estension del camino en paradas de á 9 millas (14,5 kilom.) cuando la jornada es de 6 horas de trabajo; de hacer andar los caballos durante 3 horas, dejarlos descansar luego 6 y concluir la jornada haciéndoles correr en otras 3 horas la última parada. Cuando se quiere conducir la mayor cantidad posible de efectos con la mas corta cantidad de fuerza, lo sumo de la velocidad debe ser de 3 millas por hora, y séase el que se fuere el grado superior de velocidad que se consiga, no se verificará jamas sino por un acrecentamiento de gasto. Parece que puede ser utilísimo saber que aumento de gasto debe resultar cuando la velocidad se aparta del *maximum* de efecto útil, y se reduce la duracion de la tarea de trabajo.

Supongamos primeramente que el tiempo del trabajo sea siempre el mismo, esto es, de 6 horas por dia; el maximo de efecto útil será entonces de 125 libras (cosa de 57 kilog.) con una velocidad de 3 millas (4,8 kilog.) por hora; supongamos que el costo del carro sea $\equiv 1$ (1).

(1) Hemos hecho ver antes que $\frac{250 \cdot v}{V} (V - v) =$ á la fuerza de un caballo en libras, y suponiendo que la fuerza al maximo de efecto útil sea igual á la unidad, tenemos $\frac{2 \cdot v}{V} (V - v) =$ la fuerza; y como el gasto es en razon inversa de la fuerza, los costes de conduccion de los géneros á 3 millas de dis-

Millas por hora.	Kilometros por hora.	Gasto.	Fuerza motriz.
2 . . .	. . . 3,2 . . .	. 1,125 . . .	. 71
3 . . .	. . . 4,8 . . .	. 1 . . .	. 56,8
3½ . . .	. . . 5,6 . . .	. 1,0285 . . .	. 47,3
4 . . .	. . . 6,4 . . .	. 1,125 . . .	. 35,5
4½ . . .	. . . 7,2 . . .	. 1,333 . . .	. 28,4
5 . . .	. . . 8,0 . . .	. 1,800 . . .	. 18,9
5½ . . .	. . . 8,2 . . .	. 2 . . .	. 16,5

KILOGRAMAS.

Es decir que el gasto para transportar géneros á 3 millas por hora, suponiendo que sea uno el de transportarlos á 4½ millas por hora será de 1½ y así sucesivamente llegando á doblarse el gasto, cuando la velocidad es de 5½ millas por hora (1).

Si se reduce el número de horas de trabajo, tomando las velocidades correspondientes al máximo de efecto útil, el gasto será en razón inversa del producto de la velocidad por la duración del trabajo, suponiendo que el gasto de las 6 horas á razón de 3 millas por hora sea igual á 1.

Para cualquier distancia cualquiera que sea la velocidad v , estarán en la razón de $\frac{1}{3}$ a $\frac{v}{2v(V-v)}$ ó como 1: $\frac{3V}{2v(V-v)} = \frac{9}{v(6-v)}$ en el caso que $V=5$. Si $v=2$ millas

por hora, entonces $\frac{9}{2(6-2)} = 1\frac{1}{8}$.

Si $v=4$ millas por hora, entonces $\frac{9}{4(6-4)} = 8\frac{1}{8}$ al paso que si es la velocidad de 3 millas por hora, el gasto será = 1.

(1) En una porción de ensayos que se han hecho sobre los caminos de hierro, se han servido de la fórmula del profesor Leslie para calcular la fuerza de tiro; mas esta fórmula parece hecha para ciertas observaciones que no se especifican, y no está fundada sobre los verdaderos principios.

Duración del trabajo.	Millas por hora.	Gasto proporcional.	Duración del trabajo.	Millas por hora.	Gasto proporcional.
1 hora.	$7 \frac{3}{8}$	2,45	1 hora.	11	$3,2^5$
2 . .	$5,2$	1,73	2 . .	7,8	2,3
3 . .	$4 \frac{1}{4}$	1,41	3 . .	6,4	1,87
4 . .	$3 \frac{3}{8}$	1,23	4 . .	5,5	1,63
5 . .	$3 \frac{1}{4}$	1,1	5 . .	4,9	1,46
6 . .	3	1	6 . .	$4 \frac{1}{2}$	1,333
7 . .	$2 \frac{3}{4}$	0,94	7 . .	$4 \frac{1}{4}$	1,25
8 . .	$2 \frac{1}{2}$	0,9	8 . .	$3 \frac{3}{4}$	1,2
10 . .	$2 \frac{1}{4}$	0,74	10 . .	$3 \frac{1}{2}$	0,985

La primera columna de esta tabla da la duración del trabajo en las 24 horas; la segunda las millas corridas por hora, cuando el trabajo hecho en el tiempo correspondiente es el mayor posible; la tercera designa el gasto del carro, cuando el gasto del caballo regular que anda 6 horas cada día, y á razón de 3 millas por hora está regulado por la unidad. Supónese el camino perfectamente á nivel, y la presión sobre los carriles de 125 libras (56,8 kilog.) por pulgada cuadrada inglesa (645 milim. cuadr); la quinta columna señala la velocidad cuando la presión no es mas que la mitad de la anterior ó de 28,4 kilog. por 645 milim. cuadrados, y en fin la sexta el gasto proporcional.

Damos estas cantidades como valor entero de la fuerza media de un caballo para todos los casos comprendidos en la tabla (1). En los canales hay la ventaja de ir con una velocidad

(1) La medida de la fuerza de un caballo adoptada por los señores Boulton y Watt para el cálculo de la fuerza de sus máquinas es la siguiente: un caballo andando al paso de $2 \frac{1}{2}$ millas por hora levanta un peso de 150 libras (68 kilogr.) colgado de su cuerda pasada por una polea, durando 8 horas el trabajo diario. Según Robison $8 \times 2 \frac{1}{2} \times 150 = 3000$ libras (1360 kil.) levantadas á 1 milla (1609 metr.) en la tarea de cada día. Mr. Palmer en la descripción del camino de hierro de su invención usa la misma medida. Esto está muy bien sentado como espresion elemental de la fuerza de un caballo para calcular el efecto de las máquinas; pero la cantidad es demasiado fuerte para el efecto positivo de un caballo de mediana fuerza. Ya hemos dicho cuál es el mayor esfuerzo sobre las barras de un camino de hierro que pueda administrarse razonablemente en la práctica. Para un trabajo de 8 horas tenemos $8 \times 2 \frac{1}{2} \times 125 = 2050$ libras (1137 kil.) levantadas á 1 milla. Debemos á Mr. Bevan algunas observaciones sobre la fuerza de tiro necesaria para conducir los barcos en el gran canal de reunión. Halla ser la fuerza de tiro de 30 libras (36 kil.) y el espacio andado de 26 mi-