

casi igual al máximo de efecto útil durante una tarea de 10 horas, y caminando todo este tiempo sin otro momento de descanso que el del paso de las esclusas. En queriendo ir mas aprisa, el aumento de resistencia llega á ser considerable, pues este aumento en los fluidos es casi proporcional al cuadrado de la velocidad. En los caminos de hierro por el contrario, la resistencia es casi siempre la misma, sea la que se fuese la velocidad; la prontitud de las conducciones será por eso una de sus principales ventajas. Vemos por la tabla que desde el punto que la velocidad pasa de $4\frac{1}{2}$ millas por hora, hay una ventaja notoria en reducir la duracion de la tarea diaria de trabajo mas bien que en disminuir la cantidad de tiro. La esperiencia, ó mas bien una combinacion de circunstancias, ha hecho dar á los empresarios de carruages con el mismo resultado. Pero lo han llevado un poco mas adelante, pues han visto que hay mas ganancia en duplicar la cantidad de trabajo designada por nosotros como tarea diaria de un caballo, tirando á dejar inservible el caballo en el espacio de 3 ó 4 años. La diferencia entre el interes que cubre el escedente de capital gastado en la adquisicion de nuevos caballos, y el dinero que costaria anualmente mantener un número mayor de ellos es demasiado grande para que el propietario de 300 á 400 caballos de tiro, se detenga un momento en sacrificar el tercio de ellos cada año. Causa cierta especie de tristeza el pensar que hemos de hacer morir asi continuamente miles y miles de estos animales útiles, de trabajo y de puro cansancio. Ojala que el establecimiento de los caminos de hierro pueda remediar en algun modo este mal y pérdida, suavizando el mal tratamiento que damos á estos pobres animales.

No parece verosímil que se llegue á hacer servir el viento de fuerza motriz en los caminos de hierro. Pasaremos pues á examinar desde luego las ventajas del vapor empleado como motor. Dos modos hay de aplicarle á este objeto; el primero por medio de una máquina fija ó estable, y el segundo empleando una máquina loco-motriz que anda hácia delan-

llas al dia lo que equivale á $26 \times 80 = 2080$ (926 kil.) levantadas á 1 milla en la tarea diaria, con una velocidad de 2.45 millas (casi 4 kilm.) por hora. Este resultado es mucho menos fuerte que el que daría nuestra fórmula para el mismo caso, y sería 2900 libras, 1318 kil.) levantadas á 1 milla. Pero la velocidad se aproxima infinito á la calculada por nuestra regla sentada al principio. Obsérvese que la línea de tiro en los canales, como que es oblicua con la direccion que sigue el caballo, da alguna diferencia en la fuerza.

te al paso que tira de los carros: discurriremos sobre ambos á dos y compararemos sus ventajas peculiares.

4.º *Máquinas loco motrices.* Una máquina de estas es una bomba de vapor colocada sobre ruedas, de modo que la fuerza del vapor pueda ponerlas en movimiento y por medio del impulso que las comunica, hacerlas tirar de una reata de carros. En unas partes las ruedas del carro que lleva la máquina tienen ciertos dientes que encajan en las muescas que se hacen sobre las barras del camino de hierro, y en otras todo es liso ruedas y camino, y solo el rozamiento de las ruedas sobre las barras es la única resistencia que tiene que vencer la fuerza del vapor para hacer andar toda la reata de carros. Hay tambien otros caminos en que en vez de dar vueltas las ruedas del carro de la máquina, van de resbalon por el carril, pero esto las gasta y destruye muy pronto y es lo que nos movió á indagar en el capítulo anterior cual era el grado de inclinacion y la cantidad de presion que convenia dar á los caminos de hierro tanto lisos como dentados para impedir este resbalamiento que siempre es un inconveniente.

5.º *Máquinas de alta presion.* Las bombas de alta presion son al parecer las únicas que se han usado hasta el día sobre los caminos de hierro á causa de su poco peso y de la sencillez de su trabajo. Estas obran á una presion de 210 á 280 grammas por centimetro cuadrado sobre la presion atmosférica; y como hallamos ciertos inconvenientes en el uso de esta especie de máquinas en los caminos de hierro destinados al servicio público, cremos deber manifestar desde ahora y en breves palabras, en que se fundan nuestras objeciones. Primeramente nada tienen de exactas las reglas por las cuales se calcula la resistencia de las calderas y propenden á hacer creer al que calcula por ellas que podrán aguantar las calderas una presion mucho mayor que la que realmente aguantarán. El modo comun de probar las calderas por la presion hidrostática no puede ayudar á rectificar este defecto, porque una caldera probada asi no se encuentra en circunstancias semejantes á las que se encontrará en el uso á que se destina. Además, cuando la presion á que se sujeta para probarla escede un cierto punto del de la fuerza absoluta de la materia, resulta de la misma prueba un daño irreparable para la caldera.

El vapor á alta presion no puede formarse sino mediante un grado muy alto de calor, y la accion de este calor sobre

La caldera es muy desigual, lo que ocasiona una dilatacion irregular y por consiguiente un esfuerzo que no es fácil conocer bien. El riesgo de este esfuerzo puede disminuirse mucho empleando un metal ductil para la construccion de estas calderas, pero su naturaleza é intensidad vienén á ser siempre las mismas ó variarán poquísimo. El fuego mismo altera continuamente la fuerza de la caldera quemando y destruyendo las chapas, y como se necesita mayor intensidad de calor para producir el vapor en una caldera gruesa que en otra delgada, una caldera fuerte debe registrarse muy á menudo.

Acaso podrian evitarse estos varios inconvenientes, si fuera dado contar con la prudencia humana en el uso de estas máquinas. En un camino de hierro en que hay concurrencia y rivalidades deben temerse riesgos mayores proporcionalmente, porque en tales casos los hombres no temen esponerse á los mayores riesgos, y cuando los riesgos personales no detienen al hombre, por mas sábias precauciones que se tomen, por mas ingeniosos medios que se inventen para impedir un aumento peligroso de presion, todo será en vano y quedará frustrado por la fértil imaginacion del presuntuoso que tenga á menos no ir mas corriendo que todos por el mismo camino.

A esto se reducen nuestros reparos; examinaremos ahora la velocidad que se consigue con las máquinas de alta presion, su potencia y medios porque podrian perfeccionarse.

La velocidad no tiene en este caso otros limites que el del gasto y riesgo de desgracias; pero hay una velocidad, tanto para las bombas como para los caballos que da un máximo de efecto útil, y despues de hacer ver cuál es la potencia de la máquina, pondremos á la vista de nuestros lectores este nuevo resultado de la ciencia.

Si se quiere aumentar la velocidad sin perjudicar á la sencillez de movimientos de la máquina, el radio de las ruedas debe ser mayor, pero no es bueno por razones que luego diremos, que la velocidad del émbolo de vapor sea de mas de 52 metros por minuto, cuando la longitud de la manija es de 304 milímetros, y entonces el émbolo andará 1,232 metros á cada vuelta de la rueda lo que corresponde á $42\frac{1}{2}$ golpes por minuto. La velocidad del carro es á la del émbolo como la circunferencia de la rueda es á 2 veces el diámetro de la manija. Es, pues, fácil calcularla; 52 metros por minuto hacen 3120 por hora, y si llamamos c el radio ó longitud de la manija y R el de la rueda, tenemos esta pro-

porcion: $4^c : 6,2832 R :: 3120 : \frac{4900R}{c}$ Asi $\frac{4900R}{c} =$ á la ve

locidad del carro en metros por hora. Y si el radio de la manija es de 304 milímetros y el de la rueda 472, tendre-

mos $\frac{4900 \times 0,472}{0,304} = 7936$ metros por hora. Dando mas diá-

metro á las ruedas se aumentará la velocidad y se la hará subir á un grado indefinido en cuanto la práctica puede permitirlo.

Quando se gastan máquinas de alta presion, se desperdicia mucho combustible, tanto que no baja de la cantidad necesaria para reducir á vapor toda el agua que bastaria para el servicio de una máquina de baja presion. Esta pérdida importaria un bledo en una mina de hornaguera, mas cuando anda caro y escaso el carbon, la menor pérdida de efecto llega á ser perjudicialísima para la conservacion de la potencia del vapor.

Habiendo tenido mil ocasiones de estudiar la naturaleza y fuerza del vapor, y habiéndonos probado la comparacion mas escrupulosa de nuestra teoría con la práctica, que aquella abraza los puntos principales que ventilamos sobre la fuerza del vapor, daremos aqui nuestra fórmula reservando la demostracion para otro lugar.

Si llamamos f la fuerza del vapor en pulgadas inglesas de azogue; t la temperatura correspondiente; f' la resistencia causada por el rozamiento del émbolo de vapor, y por el vapor no condensado ó por la presion atmosférica en las máquinas de alta presion; y n el volumen del cilindro de vapor cuando el volumen del vapor admitido con la fuerza f es la unidad, entonces tenemos por lo que hace al vapor producido por 1

pie cúbico de agua la expresion $4823 (459 + t \times 1 - \frac{nf'}{f} + \text{long. hyp. } n)$ cuando el vapor no obra por expansion.

Quando se emplea la fuerza expansiva del vapor, entonces la ecuacion tiene un máximo que debe verificarse cuando $\log.$

$\text{hyp. } n - \frac{nf'}{f}$ es un mínimo, y es fácil probar que esto sucede cuando $n = \frac{f}{f'}$. Si entonces se le substituye $\frac{f}{f'}$ á n tene-

mos $4873 (459 + t) \times \log. \text{hyp. } \frac{f}{f'} =$ al máximo de potencia de 1 pie cúbico de agua convertida en vapor.

Cuando $f = f'$ el logaritmo hiperbólico $\frac{f}{f'} = 0$ y la fuerza es nula, y cuando $1 - \frac{f'}{f}$ es mayor que el logaritmo hiperbólico de $\frac{f'}{f}$ es un perjuicio el servirse de la fuerza expansiva del vapor.

Si se quiere calcular la cantidad de combustible, llamando c la cantidad que convierte un pie cúbico de agua capaz de hacer equilibrio á la presión de la atmósfera; s el calor específico del vapor, a el calor específico del aire y del humo que se escapa por la chimenea, y w el combustible necesario para elevar 1 grado la temperatura de 1 pie cúbico de agua, entonces $c + (t - 212) \times (a + s) w =$ á la más corta cantidad de combustible necesario para producir vapor de la fuerza f y de una temperatura t .

Admitamos como dato que $c = 8.4$ libras de hornaguera de Newcastle, $w = 0.0075$ libras $s = 0.847$, y $a = 0.755$ y tenemos $8.4 + 0.012 (t - 212) =$ á las libras de carbon necesarias para producir el vapor de la temperatura t .

Vamos á aplicar ahora estas fórmulas para determinar la fuerza de una máquina de alta presión y lo que consume. Podemos sentar como presión de la atmósfera 30 pulgadas inglesas de azogue (0.76 metros) (1).

Para determinar el rozamiento del émbolo del vapor y su barra podemos suponer sin error notable que la totalidad de la superficie que padece rozamiento es igual á la arca del cilindro. Sabemos que estas superficies no pueden juntarse exactamente sin dejar salida al vapor á no estar comprimidas una contra otra con más fuerza que la presión del vapor, pero como no conocemos con exactitud que exceso de presión se necesita, supondremos que las superficies que están en contacto se comprimen con una fuerza doble de la del vapor. Mas el rozamiento es con corta diferencia proporcional á la presión,

(1) Segun observaciones continuadas por espacio de 20 años en la sociedad real y revistas por Mr. Howard la presión media en Londres es de 29,8615 pulgadas, y el término medio de las observaciones de 3 años de Mr. Daniell es de 29,881 pulgadas.

y en este caso presente es cosa del $\frac{1}{10}$ de la presión. Tendremos pues $\frac{2f}{10} = \frac{1}{5} f =$ al rozamiento, es decir que el rozamiento

del émbolo de vapor es la quinta parte de la presión del vapor. Puede añadirse á esta cantidad $\frac{1}{20} f$ por exceso de presión en la caldera, lo que da por pérdida total $\frac{1}{4} f$.

Pero en las máquinas de alta presión la que se verifica sobre uno de los lados del émbolo es la misma que la presión atmosférica, tenemos pues $f' = \frac{1}{4} f + 50 =$ a la resistencia á la fuerza motriz f .

Luego en el caso en que una máquina de alta presión obra por la fuerza expansiva del vapor tenemos $4875 (459 + t) \times \log.$

hip. $\frac{f}{\frac{1}{4}f + 50} =$ á la fuerza mecánica de un pie cúbico (28,31 litr.) de agua convertida en vapor.

Es evidente según esta ecuación que no hay ventaja alguna en emplear en una máquina de alta presión la fuerza expansiva del vapor, cuando la fuerza de este es menor que 60 pulgadas (152 cent.) de azogue, porque entonces el logaritmo hiperbólico es mas pequeño que $1 - \frac{\frac{1}{4}f + 50}{f}$.

Quando la máquina obra sin emplear la fuerza expansiva del vapor tenemos $4875 (459 \times t) + 1 - \frac{\frac{1}{4}f + 50}{f} =$ á la fuerza mecánica de 1 pie cúbico de agua convertida en vapor.

Ejemplo. La fuerza del vapor, suponiendo que sea de 120 pulg. de azogue (4 atmósferas), la temperatura correspondiente según Mr. Taylor será de 292.8 grados del termómetro de Fabreuhheit (118.9° Reamur). Así $4875 (459 + 262.8) \times 1 -$

$$\frac{(\frac{1}{4} \times 120) + 50}{120} = 183000 \text{ libras levantadas á 1 pie (831818}$$

kil. levantadas á 304 milim.).

La cantidad de carbon es $8,4 + 0,012 (292,8 - 212) = 9,37$ libras de carbon (4,26 kil.). Pero la fuerza de un caballo es igual á 16.000.000 libras levantadas á 1 pie (7272727 kil. levantadas á 304 milim.) por tarea de 8 horas (1).

(1) $33000 \times 60 \times 8 = 15920000$ libras representan la fuerza de un caballo,

Pero 1830000 : 9,37 :: 16000000 : 82. Asi empleando vapor de una fuerza de $44\frac{1}{2}$ libras por pulgada cuadrada de émbolo sobre la presion atmosférica de la fuerza de 31 gramas por cada milimetro cuadrado de la superficie del émbolo podrá hacerse un trabajo equivalente á la tarea diaria de un caballo con 82 libras de carbon (poco mas de 37 kil.).

Pero si el trabajo de la máquina se hiciese por medio de la fuerza expansiva del vapor, en este caso $4875 (459 + 292^{\circ},8) + \text{log. hip. } 2 = 2500000$ libras (1136000 kil.) levantadas á 1 pie (304 milim.) con 9,37 libras (4,28 kil.) de carbon, y por consiguiente 59 libras (menos de 27 kil.) de carbon bastarian para un trabajo equivalente á la tarea diaria de un caballo.

La tabla primera del último capitulo de esta obra indica la potencia de 1 decalitro de agua convertida en vapor de diferentes grados de fuerza, sea que se emplee por expansion de modo que produzca el maximo efecto, sea que se sirva uno de todo el vapor del golpe completo de émbolo: tambien sirve para conocer la cantidad de combustible consumida en ambos casos. Por medio de esta tabla, será fácil asegurarse de la cantidad de carbon equivalente á la tarea diaria de trabajo de un caballo.

Sin embargo no son aplicables estos resultados mas que á las máquinas que no cambian de sitio; y haciéndoles servir para una máquina loco-motriz es preciso, para que sean comparables directamente con la fuerza de 1 caballo, de sentar la fuerza empleada en mover el peso de la máquina misma. Asi que suponiendo que se haya hallado por el método anterior la cantidad de carbon correspondiente á la tarea diaria de un caballo, esta cantidad multiplicada por el peso del tren de carros que conduzca la máquina, y dividida por este peso, menos el peso de la máquina y del carro que la lleva, dará el peso del carbon que para una loco-motriz equivale á la tarea diaria de un caballo.

Supongamos que un tren de carros pesa 73 toneladas métricas, que la máquina que le conduce pesa con todo su aparato 8 toneladas métricas y que se haya hallado que son necesarias 37 kil. de carbon para el trabajo de una máquina fija

segun se calcula ordinariamente para las máquinas de vapor, pero segun nuestro cálculo es $\frac{1}{4}$ = menor. Véase una de las notas anteriores.

equivalente á la tarea de un caballo, entonces $\frac{73 \times 37}{73 - 8} = 41,55$

kilog. de carbon para el mismo trabajo con una máquina locomotriz.

Los apasionados á las máquinas de alta presión creerán tal vez que esta pérdida de efecto será compensada por el empleo que se hará del excedente de vapor para calcular el agua de la caldera; esto podría muy bien suceder porque con un aparato bien dispuesto se ahorrarían cerca de 5 kil. de carbon de cada 42 kil. El mejor método sería hacer pasar el vapor superabundante por unos tubos de mucha superficie hasta el depósito de agua que sirve para surtir la caldera, y que de todas maneras debería ir colocado en el carro de la bomba; y después de pasar por dichos tubos y atravesar por el depósito, debería pasar á otros tubos pequeños de metal ó cajas formadas de modo que presentasen al aire la mayor superficie posible. El vapor condensado en estos tubos ó cajas caería luego al depósito y la parte no condensada á su paso por los tubos saldría por la chimenea aumentando la corriente de esta.

Pero creemos que todo lo que podrá economizarse por este medio no será mas que un equivalente á la pérdida de calor que sufre la caldera, aun cuando se halla bien dirigida y resguardada con el mayor esmero. Es difícil arreglar la superficie sobre que debe obrar el calor, y por otra parte la corriente debe ser demasiado débil para producir el vapor á alta presión. Es de creer que si se generaliza mas el uso de tales máquinas, se venga á parar en el descubrimiento de que tiene cuenta agregarlas un fuelle y se sirvan todos de este instrumento. Otras causas de pérdida de efecto pueden aumentar un 30 por ciento las cantidades que hemos fijado, y hacer subir á 54 kilog. el carbon equivalente á la tarea diaria de un caballo para la máquina loco-motriz mas perfecta que pueda acaso inventarse. Las máquinas que sirven hoy dia en los caminos de hierro de Newcastle consumen por un término medio, á lo menos dos veces 54 kilog. para concluir el mismo trabajo.

6.º *Maximum de efecto útil en las máquinas de vapor.* Tenemos que indagar ahora el maximo de potencia como dependiente de la construcción de la máquina, porque cada bomba en particular debe tener su fuerza correspondiente al maximo de efecto. Si el émbolo pasase de cierta velocidad, es indudable que la caldera no podría surtirle de la cantidad

necesaria de vapor. Lo mismo sucedería si los tubos de paso del vapor fuesen mas chicos que lo que requiriese la fuerza de la caldera. Pero es evidente que el vapor debe ser capaz de seguir al émbolo cuando se mueve con su mayor velocidad lo que determina uno de los puntos mas importantes para establecer sus mútuas proporciones sobre principios teóricos. Examinemos, pues, las condiciones que limitan la velocidad del émbolo, es á saber, su movimiento y la estension de cada golpe que pega cuando no hay otra resistencia mas que el rozamiento mismo del émbolo, y el vapor se halla en plena actividad y segun debe hallarse en el estado corriente del trabajo de la bomba. El movimiento del émbolo puede considerarse en estas circunstancias como un movimiento acelerado. Sea, pues, w el peso de la masa á la que el émbolo da la velocidad $2v$ al fin de cada golpe; P la presion sobre el émbolo en libras, y l la longitud del golpe en pico; tenemos entonces $60 \times 8 \sqrt{\frac{lP}{w}} = 2v$, ó

$240 \sqrt{\frac{lP}{w}} = v$ á la velocidad media del émbolo por minuto.

Pero si la máquina anda bien gobernada el peso de la masa w arreglará la velocidad y la hará que sea uniforme al cabo de cierto tiempo: y para que esto pueda verificarse es preciso que $w = P$ por consiguiente $240 \sqrt{l} = v$. Pero ya hemos demostrado antes que la velocidad v correspondiente al maximo de efecto útil debe ser $= \frac{1}{2}V$. Luego $120 \sqrt{l} = v$ velocidad en pies por minuto que mas conviene á una máquina. Cuando el émbolo de una bomba tiene 2 pies de salida $v = 170$ pies por minuto y el número de golpes del émbolo es igual á 170 pies divididos por 4 ó por el doble de la longitud de la salida del émbolo, es decir que habrá $42\frac{1}{2}$ golpes por minuto.

Llegando la salida del émbolo á 5.4 pies se logra una velocidad de 220 pies con 32 golpes de émbolo por minuto.

Si se varia el maximo de potencia la disminucion de efecto á la misma que respecto á la fuerza del caballo (véase el estado 2.º de este capítulo); pero hay con una bomba esta ventaja y es que puede construirse para toda especie de velocidad, proporcionando para eso sus piezas del modo conveniente, cuando las del caballo no pueden variar.

Las aberturas para el paso del vapor, la superficie espuesta al fuego, el tamaño del hogar y arca de la chimenea debe ser

proporcionado para duplicar la bomba su efecto ordinario.

7.º *Máquinas loco-motrices de baja presión.* Las razones que hacen mirar como poco útil el uso de las bombas de baja presión para tirar de los carros estan fundadas en la complicacion del aparato y peso del agua necesaria para la condensacion. El volumen de la máquina, la estension que tiene que ocupar, y la inmensa cantidad de agua que necesita para la condensacion, hacen muy probable que jamas puedan usarse estas con ventaja para el objeto. Nada menos que media tonelada de agua por hora se necesitaria solo para la condensacion del vapor equivalente á la fuerza de un caballo. No hay, pues probabilidad alguna de que las máquinas de condensador puedan servir para loco-motrices, y asi es ocioso hablar aqui mas de ellas.

8.º *Máquinas de gas.* Se ha propuesto poco tiempo hace un nuevo medio de poner en movimiento los carros, del cual no podemos menos de hacer mencion, pues ha escitado vivamente la curiosidad pública.

La fuerza de esta nueva máquina se desarrolla quemando gas en un cilindro, de manera que se enrarezca mucho el aire que se encuentra encerrado en él. Verificado esto, se enfria y la diferencia que resulta entre la presión de la atmósfera y la elasticidad del aire del cilindro es lo que constituye la fuerza motriz. Se ha pretendido probar que esta fuerza resulta de que los productos de la combustion se encuentran condensados y reducidos á un volumen mas pequeño que el que antes ocupaba el combustible, pero esta explicacion es insuficiente para dar razon del efecto producido.

El principio de la accion de esta máquina puede aclararse fácilmente por una esperiencia muy sencilla. Hágase quemar un pliego de papel bajo un vaso puesto boca abajo, de manera que la llama bañe bien toda su capacidad, y sumérgase inmediatamente el borde del vaso en una vasija de agua. Resultará que el aire caliente será condensado por el agua y se recogerá á ocupar un espacio igual al tercio de la cabida del vaso poco mas ó menos, entretanto que el agua de la vasija subirá y llenará parte del vaso hasta que el aire contenido en él tenga la misma elasticidad que la atmósfera.

Mr. Brown que es el inventor de la máquina de gas, produce un efecto semejante quemando gas en un cilindro metálico; y por medio de la llama del gas y un aparato ingeniosísimo, saca de este fenómeno tan conocido una fuerza mecánica muy considerable. Veamos si tal fuerza podrá ó no lle-

gar á ser útil como motor de máquinas loco-motrices para tirar de carruages.

Supongamos á fin de verificar el grado de rarefaccion del vacio en el cilindro que x representa la temperatura de la llama, siendo la primera del aire en el cilindro de 50° del termómetro de Ft. (8° Reaumur). Entonces $\frac{450+x}{500} =$ al volu-

men del aire enrarecido, y cuando la presion de la atmósfera

es de 76 centímetros, tenemos $1 : \frac{500}{450+x} :: 76 : 76 \left(\frac{500}{450+x} \right) =$

á la fuerza del aire que queda en el cilindro cuando se enfria

á 50° de Fahrenheit; por consiguiente $76 \left(1 - \frac{500}{450+x} \right) =$

$\frac{76(x-50)}{450+x} =$ á la fuerza sobre el émbolo en centímetros de

azogue, sin rebaja por el rozamiento ó cualquiera otra causa de pérdida de efecto. Si la temperatura de la llama es de 1050°

($452^\circ,4$ Reaumur) lo que no seria difícil dársela, $\frac{76(1050-50)}{450+1050}$

$= 50,66$ centímetros de azogue por lo que hace á la fuerza del émbolo sin deduccion del rozamiento y demas.

Indaguemos ahora cuál es el gasto de gas necesario para producir una cantidad determinada de fuerza mecánica. Llamemos b el número de decímetros cúbicos de gas que harian subir un grado del termómetro de Fheit. la temperatura de un decimetro cúbico de aire, entonces $b x =$ al volumen de gas que elevará x grados la temperatura de un decimetro cúbico

de aire, y $\frac{1000}{b x} =$ al volumen de aire que seria calculado

por 1000 decímetros cúbicos de gas.

Luego $\frac{1000 \times 76 (x-50)}{b x (450+x)} =$ á la fuerza mecánica de 1000

decímetros de gas sin rebaja por rozamiento y demas.

Pero esta ecuacion tiene un máximo, y si se hace x variable y su diferencia $= 0$, se encuentra $x = 208^\circ$. Asi se conseguirá la mayor fuerza mecánica cuando la temperatura del aire enrarecido sea de 208° ($78^\circ,2$ Reaumur) y haciendo el

cálculo conforme á este máximo, se halla un poco mas de $\frac{87}{b}$

por lo que hace á la fuerza mecánica de 1000 décimas de gas en centímetros de azogue, sin rebaja de rozamiento. Siendo el peso de un centimetro de azogue 1,3598 kilog. las kilógramas levantadas á un decimetro de altura, suponiendo que no

hubiese rozamiento, serian $\frac{119,27}{b}$, por 1000 decimetros cúbicos de gas.

— El máximo de temperatura seria diferente si se hiciese la reduccion conveniente por el rozamiento: seria menor el efecto pero basta para nuestro propósito tener una estimacion aproximada á la fuerza.

— Si se gastase el gas del aceite muy puro tendríamos segun las esperiencias de Mr. Dalton copiadas en la química de Thom-

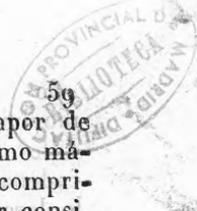
son $\frac{1}{41040}$ por el valor de b , lo que da cerca de 4961000 ki-

log. levantadas á un decimetro pero la fuerza mecánica de 1000 decimetros cúbicos de gas del aceite no equivale á la 5.^a parte de la fuerza de un caballo para el servicio de una máquina, aun cuando se la suponga á ésta libre de todo rozamiento. Luego seria demasiado costoso este gas para la conduccion de mercancías por los caminos de hierro.

Si se gastase gas del carbon de piedra, su efecto seria aun mal débil que el del hidrógeno carbonoso puro; y por lo

que toca á este gas $b = \frac{1}{22800}$ segun Dalton, lo que da

ria 2726400 kilog. levantadas á un decimetro por la fuerza mecánica de 1000 decimetros cúbicos de gas obrando en una máquina sin rebaja de rozamiento, y no correspondiendo esta cantidad mas que á la 8.^a parte del efecto útil de un caballo, es bien claro que la máquina de Mr. Brawn seria demasiado cara en cualquier lugar y tiempo que hubiese caballos de que echar mano. En una máquina de esta especie no se puede pasar por menos de un tercio de pérdida de la fuerza calculada á causa del rozamiento y calor que se consume sin provecho alguno, lo que reduce la fuerza de 1000 decimetros cúbicos de gas estraido del aceite á 3307000 kilog. levantadas á un decimetro, y la de 1000 decimetros del gas de la hornaguera á cosa de 1807000 kilog. idem. Estas



máquinas son tambien mas complicadas que las de vapor de alta presion, y en caso de llegar á hacerlas servir como máquinas loco-motrices, seria preciso que el gas fuese comprimido en ellas hasta $\frac{1}{30}$ de su volumen natural, y por consiguiente que espusiese á los riesgos de una esplosion.

Antes de cesar sobre este punto de las máquinas loco-motrices, haremos observar que tendrán siempre un gran inconveniente en un camino de hierro destinado al servicio general en que se las quiera dar una gran velocidad, porque es imposible multiplicar en este caso los tránsitos para atravesar el camino, de manera que un solo carruage que caminase despacio por un camino de atos podria obligar á todos los demas á disminuir su velocidad; y no solamente resultará este perjuicio sino tambien el riesgo de darse los carros terribles encontrones. Un barco de vapor puede hacerse á un lado cuando y como convenga, como que se mueven en el agua, una silla de posta tiene toda la anchura de la carretera para apartarse lo que se quiera, pero un carro de vapor no puede salir de su carril para evitar un choque y desgracia. Veamos ahora lo que son las máquinas estables, y si pueden darnos mas esperanzas de ver emplear con ventaja y seguridad la potencia del vapor en los caminos de hierro.

9.º *Máquinas fijas ó estables.* Figuremos un camino dividido en paradas muy cortas y que en cada una de ellas se coloca una máquina de vapor que haga mover una cadena sin fin la cual alcance á toda la estension de uno ó mas paradas, y vaya dando sus vueltas sostenida de poleas ó rodillos; figuremonos ademas que meneando sencillamente un brazo de palanca guarnecido de un aparato de rozamiento se enganche un carro á la cadena y le haga adquirir en pocos segundos la velocidad de la misma ó desengancharse en el momento si fuese necesario. Las consecuencias de esta disposicion serian que todos los carros enganchados asi á la cadena, andarían hácia delante con la misma velocidad, y por consiguiente jamas podrian chocar unos con otros. Podriase hacer caminar asi al mismo tiempo un número de carros proporcionado á la fuerza de la máquina, porque el encargado á ella podria arreglarla para un cierto número de carros de modo que conservase siempre la misma velocidad ó casi la misma. Las máquinas podrian ser mas perfectas, mejor conservadas y confiadas á hombres mas seguros que los que pueden destinarse á una loco-motriz sea la que se fuese.

Calculemos ahora la estension á que podria transmitirse el

movimiento mediante una cadena sin fin sostenida sobre rodillos. El mayor esfuerzo que se ha hecho aguantar á una cadena es igual al peso de una media milla (800 metr.) de lo largo de la misma cadena; por consiguiente el peso de la cantidad de cadena necesaria para el servicio de una milla seria igual á dos veces la fuerza motriz de la máquina (1). Pero si los rodillos estan bien hechos y colocados y hay la proporcion debida entre su diámetro y su eje, el rozamiento

apenas llegará á $\frac{1}{100}$ del peso de la cadena, por consiguiente $\frac{2}{100}$ ó $\frac{1}{50}$ de la fuerza motriz será perdido en andando la cadena cuando las máquinas esten á una milla de distancia.

Habrá una pérdida de $\frac{1}{25}$ de la fuerza si las máquinas estan á

dos millas, y la pérdida irá asi en aumento á medida que sea mayor la distancia entre las máquinas, de manera que si estuviere una máquina á 50 millas toda la fuerza se gastaria en hacer mover la cadena, porque por grande que fuese la potencia que se la diese, no produciría otro efecto que el de hacer sobre la cadena un esfuerzo superior al que hemos dicho no se debe llegar.

La mayor distancia que debia adoptarse en la práctica entre dos paradas puede fijarse de 8 á 10 millas (de 12800. á 16000 metr.) y á esta última distancia la pérdida de fuerza será de $\frac{1}{5}$.

Dejase conocer que un sistema que exige una máquina de 10 en 10 millas de distancia solo puede convenir á un camino de hierro establecido para un tráfico muy vasto; y es indudable que probaria bien en una línea de tránsito en que la abundancia de mercancías y afluencia de viajeros fuese bastante para costear los gastos de una empresa semejante. El mismo principio general de movimiento obraria en todos los trozos del camino, bien estuviera á nivel bien se subiese ó se bajase. Habria una cadena para hacer correr los carruages ligeros con toda la velocidad conveniente, y otro segundo camino de hierro de doble carril para los carros de tráfico que serian juntos en movimiento por otra cadena cuya accion fuese mas lenta.

(1) La máquina debe tirar de la cadena segun las dos direcciones, pues de otra suerte seria preciso que las paradas estuviesen la mitad mas cerca porque la cadena debe ser doble.

Los gastos primeros de un establecimiento así, no se diferenciarían cosa mayor, tanto en máquinas loco-motrices como en las estables para uno ú otro sistema; pero los gastos anuales serían mucho mayores para las loco-motrices. La mayor dificultad consistiría en la interrupción de la línea por otros caminos que la atravesasen, pero esta se remediaría en parte, escogiendo una dirección á propósito y estableciendo las paradas en los mismos sitios en que el camino fuese cortado por los otros.

9.º *Potencia de las máquinas de baja presión.* Hemos hecho ver mas arriba que la fuerza de una máquina de vapor

es $4873 (459 + t) \times \log. \text{hip. } \frac{f'}{f}$ á lo sumo y cuando obra por expansión del vapor, y que es $4873 (459 + t) \times (1 - \frac{f'}{f})$ cuando obra á toda presión.

Si queremos determinar ahora el valor de f' debemos tomar razón del vapor que no se condensa y del rozamiento de la bomba de aire. Cuando el rozamiento de la bomba de aire está reducido al efecto del émbolo de vapor, no puede regularse en menos de una pulgada (25 milim.) de azogue. Supongamos que la fuerza del vapor no condensado sea de 3 pulgadas (76 milim.) de azogue, y el rozamiento del émbolo de vapor sea $= \frac{3}{4} f$, segun hemos determinado anteriormente, entonces $f' = \frac{3}{4} f + 4$ (1) y $4873 (459 + t) \times \log. \text{hip. } \frac{f}{\frac{3}{4} f + 4} =$

al número de libras levantadas á un pie por la mayor fuerza de un pie cúbico (28,316 litr.) de agua convertida en vapor de la temperatura t , y de la fuerza f en pulgadas de azogue.

Ejemplo. Sea la fuerza del vapor igual á 35 pulgadas (889 milim.) ó de $2\frac{1}{2}$ libras (1,1 kilog.) sobre la presión de la atmósfera en la caldera. La temperatura correspondiente es de 220°

de Ft. (83,5 Reaumur); y $4873 (459 + 220) \log. \text{hip. } \frac{35}{8,75 + 4} = 3350000$ libras, levantadas á un pie por un pie cúbico de

(1) Naturalmente nos preguntará todo práctico cuantas libras da esto por cada pulgada cuadrada por lo que hace á la presión efectiva sobre el émbolo.

El número de pulgadas de azogue es $f - (\frac{1}{4} f + 4) = 22 \frac{1}{4}$, ó muy cerca de 11 libras (5 kil.) por una pulgada (645 milim.) cuadrada por lo que hace á la presión entera.

agua convertida en vapor, lo que equivale á 163366 kilog. levantadas á un decimetro de altura por un litro de agua reducida á vapor.

La tabla segunda del último capitulo de este tratado ha sido calculada sobre esta base, esperaremos que nuestros lectores hallen en la reunion de estas tablas lo necesario para formarse una idea bastante cabal de la fuerza que produce el combustible y la cantidad del que consumen las máquinas de vapor.

El máximo de velocidad para una máquina de baja presión tiene la misma relacion con la longitud de salida del émbolo que con respecto á una de alta presión. No hemos tratado de determinar las variaciones que se verifican en una y otra máquina, cuando obran por expansion, mas no pueden ser cosa mayor.

CAPITULO V.

De los carruages, ruedas y ejes de estas para los caminos de hierro; de sus dimensiones y resistencia; altura de la carga; modo de enganchar los caballos, y medios de evitar desgracias.

Los carros que se usan en los caminos de hierro se construyen con mucha solidez para poder resistir á los vaibenes á que estan espuestos á cada variacion de velocidad, y para aquellas partes que se tocan unas con otras es preciso echar piezas sólidas que sobresalgan un poco del carro, guarneciéndolas de zunchos de hierro para que no se rajen. Pero los carruages para viajeros y aquellos que han de llevar mercancías delicadas y quebradizas, deben montarse sobre muelles para disminuir el traqueteo.

El peso de los carros varia mucho segun los diferentes caminos de hierro; á veces llega á la mitad del peso total, otras no es mas que su tercio; pero es bastante fácil ver que cuando las ruedas no tienen mas que un metro á 1,2 de diámetro, la proporcion puede reducirse á $\frac{1}{4}$ y aun todavia es bastante fuerte. En este caso siendo la carga de 3 toneladas, el carro pesará uno lo que haria en todo $\frac{1}{4}$ toneladas.

Déjase conocer segun esto que los carrillos vienen á ser mas pesados y costosos á proporcion que los carros grandes; mas como el esfuerzo que se ejerce sobre las ruedas en un camino de hierro debe tener sus límites regulares, apenas pue-

den hacerse carros mas grandes sin aumentar el número de las ruedas.

1.º *Carros de 8 ruedas.* Cuando un carro tiene mas de 4 ruedas debe ser sostenido de modo que pueda ser repartida igualmente la presion entre todas ellas. En el caso que se pongan 8 ruedas á cada carro si el armazon de este se apoya sobre los dos juegos delantero y trasero, cada uno de los cuales lleva sus dos pares de ruedas (*véase* la fig. 26) y se enlaza de modo que permita pasar por cualquiera punto del camino en que haya diferencia de nivel, es claro que cada rueda aguantará una presion igual. Si se quitase uno de los juegos de á 4 ruedas y se reemplazase por un eje con dos, quedaria el carro con 6 y seria fácil arreglar la carga de modo que la presion fuese igual sobre cada par de ruedas.

Por este orden podrian hacerse carros capaces de llevar hasta 6 y 8 toneladas sin exigir gran gasto de hierro para la construccion del camino. Una cabida menor que la de 6 toneladas seria muy incómoda porque los carrillos comunes se llegan á atestar muchas veces con los fardos voluminosos, sin recibir la carga competente; y así el tamaño de un carro destinado á las conducciones del comercio general no debe ser inferior al de los grandes carromatos de tráfico.

La carga que pesa sobre cada rueda debe arreglarse y limitarse á la fuerza de los carriles de hierro: rara vez debe cargarse mas de dos toneladas por cada rueda, y nunca menos de media tonelada. El grueso de los ejes debe variar por consiguiente desde 2,2 pulgadas hasta 3,5 (de 56 á 88 milim.). La carga mas acomodada seria la $1\frac{1}{4}$ tonelada por rueda (cerca de 1300 kil.) lo que pediria un eje de 3 pulgadas (76 mil.) de diámetro.

2.º *Dimensiones de las ruedas y ejes.* Hemos hecho ver en el capítulo 3.º que las ruedas grandes son las mas ventajosas en cuanto al efecto; pero su diámetro en la práctica, debe limitarse de 13 á 15 decimetros cuando son de hierro colado y aun cuando son de madera con sus llantas de hierro. No se puede esceder de este tamaño sin hacerlas pesadísima, y la pérdida de efecto causada por el peso de una rueda llega á ser enorme en las cuestas arriba, aunque es favorable en las bajadas. En un camino á nivel la fuerza necesaria para hacer mover una rueda pesada no es cosa y las dimensiones que se les señalan se fundan en las proporciones mas convenientes para la fuerza y duracion. Una rueda de 15 decimetros de diámetro es la mayor que nos parece pue-

da usarse sin imprudencia, y debe hacerse del hierro de fundicion mas duro; se debe tambien fundir con mucha precaucion para impedir el efecto de la contraccion sobre sí misma al tiempo de enfriarse, pues si una rueda de estas demasiado grandes llegase á faltar por la desigualdad de tension, las consecuencias pudieran ser muy sérias cuando los carros caminan con mucha rapidez. Se disminuiriá algo el riesgo de una averia semejante acomodando á los carros una especie de pie colocado de suerte que en cuanto faltase una rueda, se encontrase sostenido el carro por el, y solo cayese algunas pulgadas de su posicion.

No es de esperar que puedan hacerse ruedas de madera bastante fuertes para llevar un peso de dos toneladas, á no ser que se las dé tanto peso como á las de hierro, y entonces nada se iria á ganar y tendrian el inconveniente de ser menos durables que ellas.

Es fácil dar á las de hierro colado las proporciones necesarias en todas sus partes para resistir á una presion determinada, pero de todos modos cuando se hagan debe contarse siempre como si hubieran de tener que aguantar una presion doble. El método mas sencillo es considerar sus piezas como prismas sólidos rectángulares y despues de determinar su volumen, repartirle en la figura y forma de la mayor resistencia. Se hallará la fuerza de la circunferencia de las ruedas por la regla 2.^a artículo 108 del ensayo sobre la fuerza del hierro colado. La distancia entre los rayos y la fuerza de éstos pueden determinarse por la del artículo 236 y la distancia de la direccion de la fuerza no puede casi ser mayor que el grueso de los rayos. La forma de seccion mas ventajosa para los rayos se ve en la fig. 25, pues reúne el doble mérito de poderse moldear fácilmente y tener la menor cantidad posible de materia reunida en el eje neutro de los rayos. Un ejemplo del uso de estas reglas hará mas fácil la operacion para aquellos que no acostumbran hacer á menudo semejantes cálculos.

Una rueda de 15 décimas de diámetro debe tener 12 rayos. Supongamos que la carga que lleve sea de $1\frac{1}{4}$ tonelada, cuando la presion sea igual sobre las 2 ruedas, entonces el mayor peso que pueda cargar sobre ella será de $2\frac{1}{2}$ toneladas ó 5600 libras. Cada rayo debe poder resistir á esta presion, y si se consideran los rayos como un prisma cuadrado, y la distancia de la direccion de la fuerza es igual al aldo del prisma, lo que es con corta diferencia el limite extremo á que puede llegar, entonces la regla que acabamos de citar se reduce sen-

cillamente á esto: pártase la presión en libras por 2200 y el cociente será la área del rayo en pulgadas inglesas. Dicha área puede disponerse en la forma más á propósito para la fuerza, y como un preservativo contra los defectos de la fundición etc. Luego, siendo la carga de 5600, tenemos $\frac{5600}{7200}$

= 2,55 pulgadas de área; la raíz cuadrada de este número es 1,6 de pulgada (40 milim.) para lado de la sección.

La circunferencia de la rueda será de 15,5 pies ingleses (4,7 metr.) al diámetro medio de la llanta; así la distancia entre los rayos á la llanta será de 1,4 pie poco más ó menos (más de 4 decim.) y como la longitud multiplicada por la presión en libras y dividida por 850 veces el ancho del calce de la rueda, es igual al cuadrado de su grueso, si se supone que la anchura es de 4 pulgadas (101 mil.) tendremos

$$\sqrt{\frac{1,4 \times 5600}{4 \times 850}} = 1,52; \text{ así el metal distribuido en la forma}$$

conveniente para formar las llantas de la rueda debe tener 1,52 pulgadas (cerca de 39 milim.) de grueso.

Y debiendo ser el hierro de las llantas igual en cantidad á $4 \times 1,5 = 6,08$ pulgadas; y teniendo la circunferencia 15,5 pies, el peso de las llantas de 300 libras (136 kil.); el de los rayos y del cubo será de 245 lib. (111 kil.) y el peso total de la rueda 545 libas (casi 248 kil.).

El peso de una rueda de 10 pies de circunferencia que tuviera que llevar la misma carga sería de 291 libras si tenía 10 rayos y el ancho de las llantas era de 4 pulgadas.

Las ruedas para los caminos de carriles planos pueden calcularse del mismo modo. Su peso no será tanto, porque no necesitan tanta anchura en la circunferencia como las ruedas de carriles estrechos. Para estos caminos el ancho conveniente es de dos pulgadas (50 milim.) poco más ó menos por cada tonelada de carga sobre cada rueda.

Con dos ruedas de 5 pies (152 cent.) de diámetro para los caminos de carriles estrechos, el peso del carro será un poco mayor que el cuarto del peso total, incluso el carro y la carga. Con ruedas de 4 pies 6 pulgadas (157 cent.) se puede reducir á $\frac{1}{4}$.

Si el peso total es de 5 toneladas ó pesando $1\frac{1}{4}$ toneladas, el carro estuviese cargado con $3\frac{3}{4}$ toneladas, los ejes tuviesen 3 pulgadas de diámetro, las ruedas 54 pulgadas y el ro-

zamiento fuese igual á la 8.^a parte de la presion , tendre-

mos $\frac{3}{54 \times 8} = \frac{1}{144}$ del peso para la fuerza que tire del carro cargado por un camino á nivel; que viene á ser 78 libras poco mas ó menos, ó cosa de 35 kilogramos.

Si los ejes ajustasen bien y se mantienen en buen estado, la relacion del rozamiento con la presion puede que no llegue á mas de $\frac{1}{12}$ y entonces el mismo carro podrá ser tirado por $\frac{1}{216}$ de su peso, ó por una fuerza de 25 á 24 kilog. Pero $\frac{1}{12}$ es el menor rozamiento que hemos observado y en circunstancias mas favorables que las que ocurren con los carros ordinarios, porque no podiamos sacar nuestros ejemplos de esperiencias ejecutadas con mas esmero. Mas como se han hecho muchos esperimentos sobre la fuerza necesaria para mover los carros en los caminos de hierro nos es fácil compararmos las con nuestros propios resultados.

3.^o *Comparacion de sus resistencias con la esperiencia.* Los señores Stephenson y Wood, parece que han verificado por la esperiencia que un carro cargado con 8540 libras (3927 kilog.) no necesita mas que una fuerza de 49 libras (22,27 kilog.) para ponerse en movimiento. Es algo menos de $\frac{1}{172}$ del peso; pero los ejes de su carro tenian 3 pulgadas (76 milim.) de diámetro y las ruedas 3 pies (91 cent.). Segun esto la

relacion del rozamiento á la presion seria solo de $\frac{10}{145}$ ó menos de $\frac{1}{14}$.

En una de las esperiencias que hemos citado al principio, la relacion de la fuerza á la carga es de $\frac{1}{170}$. Es muy verosimil que los carros fuesen semejantes, aunque los ejes fuesen mas pequeños, porque el carro de la esperiencia anterior, se dice pesaba 2604 libras. (1183 kilog.).

Podemos inferir que estos resultados no son á propósito para dar á conocer la resistencia media que se verifica en un camino de hierro.

Otra esperiencia que tambien citamos y se hizo en el camino de Penrhyn, da $\frac{1}{87}$ por lo relativo á la fuerza con la carga. Las ruedas tenian 14 pulgadas (555 milim.) de diámetro, y los ejes 1 pulg. probablemente (38 milim.) y en tal caso la relacion del rozamiento á la presion era de $\frac{1}{39}$. La parte del tren de carros que conducia un caballo en dicha esperiencia de Penrhyn era como sigue: en géneros 12 toneladas, en peso de los carros $2\frac{1}{2}$ idem total $14\frac{1}{2}$ tonel. ó 32500

libras (14772 kilog.) El seno de la inclinacion era $\frac{1}{36}$: y asi conforme á la regla que dimos para la bajada en los cami-

nos de hierro inclinados $32500 \left(\frac{1}{87} - \frac{1}{90} \right) = 35$ libras ó 16 kilog. poco mas ó menos en cuanto á la fuerza que conducia las 32500 libras á la bajada.

Para hacer subir los carros vacios por dicho camino, la fuerza debe ser $2\frac{1}{2}$ toneladas ó 5600 libras $\left(\frac{1}{87} + \frac{1}{90} \right) = 123$

libras (56 kilog.) con corta diferencia, lo que prueba que en la construccion de este camino no se tomó el ángulo mas conveniente de inclinacion. El tiro medio de un caballo es

en una pendiente asi de $\frac{35 + 123}{2} = 79$ libras (casi 36 ki-

log.) y la distancia corrida al dia es de unas 15 millas (24 kilom.). Pero como este trabajo es notablemente inferior á la fuerza media de un caballo, debemos inferir de aqui que la resistencia es algo mayor que lo que indica la esperiencia.

En el camino del condado de Surrey el diámetro de las ruedas es de 32 pulgadas (81 centim.) y el de los ejes $2\frac{3}{4}$

pulgadas (60 mil.); tenemos, pues, $\frac{2\frac{3}{4}}{8 \times 32} = \frac{1}{108}$ por el

rozamiento en el eje; y suponiendo que la resistencia sobre el camino mismo no sea mas que la 5.^a parte de esta canti-

dad, la resistencia total será $\frac{1}{108} + \frac{1}{540} = \frac{6}{540} = \frac{1}{90}$. Lue-

go la fuerza necesaria para tirar de 12 carros por una inclinacion de una parte por 120 como es la de este camino,

será de 85568 $\left(\frac{1}{90} - \frac{1}{120} \right) = 241$ libras, lo que es dema-

siado para que un caballo valiente pueda sufrir esta fatiga durante un corto espacio de tiempo. Es muy verosimil que hayamos valuado el rozamiento sobre el carril mas alto que lo que debia ser. Pero, pues, un caballo conduce un carro cargado con 3 toneladas, lo que hace un peso total de unas 4 toneladas podemos, valiendonos de los mismos datos, indagar qué fuerza necesita emplear para subir por una cuesta

de la misma inclinacion. Nuestra regla da $8960 \left(\frac{1}{90} + \frac{1}{120} \right)$

$= 176$ lib. (80 kilog.); esta debe ser poco mas ó menos la verdadera resistencia; asi podemos tener por bastante aproximado á la verdad, el que la resistencia en los carriles en un camino de carril ancho es cosa de la 5.^a parte de la resistencia en el eje de las ruedas. Si tomásemos la relacion de $\frac{1}{60}$ en vez de $\frac{1}{90}$ la resistencia seria entonces mayor que la que los caballos tienen que superar al parecer.

Se han hecho otras muchas esperiencias sobre el efecto producido por los caballos en los caminos de hierro, pero son todas defectuosas por no espresarse la relacion de las ruedas con los ejes (1). De todos modos ha podido verse por la comparacion de las anteriores que la relacion del rozamiento á la carga, cual nosotros la hemos sentado, apenas se aparta de la que da la practica.

4.^o *Altura de la carga y desigualdad de ruedas.* No debemos perder de vista en la construccion de los carros que la carga debe colocarse lo mas bajo que sea posible; sobre todo cuando los planos inclinados tienen mucha pendiente, porque entonces una carga alta produce una presion muy desigual sobre las ruedas, y por consiguiente sobre los carriles que las

(1) El Repertorio de Artes tomo 13 trae algunas esperiencias hechas en 1799 por Mr. Wilkes de Measham sobre las cargas que un caballo puede llevar por un camino de hierro. Un caballo tiraba bajando de 21 carros cargados de carbon, cuyo peso era de $37\frac{1}{2}$ toneladas. La pendiente era de una parte sobre 115 y el caballo la bajaba fácilmente. El mismo caballo tiraba fácilmente, subiendo, de la 7.^a parte de la misma carga ó 5,36 toneladas. Ahora bien, si suponemos en ambas direcciones la misma fuerza de tiro, hallaremos por lo que

hace al rozamiento $\frac{n+1}{115(n-1)} = \frac{7+1}{115(7-1)} = \frac{1}{86}$ es decir que la resistencia causada por el rozamiento era igual á $\frac{1}{86}$ de la carga. Y por lo respectivo á

la fuerza de tiro $37\frac{1}{2}$ tonel. ó 84,000 $\left(\frac{1}{86} - \frac{1}{115} \right) = 243$ libras (110 kil.). El mismo caballo subia con 3,2 toneladas por una pendiente de 2 partes por 41

Asi se hallaba en estado de hacer un esfuerzo de tiro igual á 7168 $\left(\frac{1}{86} + \frac{2}{41} \right) = 430$ libras (195 kilogr.) y en esta esperiencia fue preciso atar las ruedas: la carga era, pues, la mayor que podia arrastrar el caballo.

En otra esperiencia hecha en la mina de Brinsley por Mr. Wilkes el rozamiento calculado del mismo modo es de $\frac{1}{76}$. Estos son unos resultado del último esfuerzo que puede hacer un caballo, y no sirven para otra cosa que manifestar cuál es el mayor efecto que puede producirse durante algunos momentos, cuando el caso lo requiere,

sostienen. Si el centro de gravedad de la carga va levantado sobre el nivel de los ejes otro tanto como la mitad de la distancia que hay entre los ejes, todo el esfuerzo de la carga recaerá sobre las ruedas mas bajas en un plano cuya inclinacion sea de 45 grados, como se ve en la fig. 27. Asi que si se quiere aliviar á los caballos en las cuestas arriba, es ventajoso que las ruedas traseras sean mas grandes que las delanteras, porque entonces el esfuerzo mayor se hace sobre el par de ruedas que sufre menos rozamiento, y al contrario en las cuestas abajo las ruedas pequeñas que sufren la mayor resistencia, son las que llevan entonces la mayor parte de la carga. Por esta disposicion puede conducir un caballo un carruage por cuestas en que de otra suerte seria arrastrado por él. En las carreteras reales es todavia mayor la ventaja de las ruedas desiguales; porque en un camino á nivel la direccion del tiro disminuye la presion sobre las ruedas delanteras; y teniendo siempre todo el efecto de su mayor rozamiento en las bajadas, los caballos mantienen el carruage en la direccion mas conveniente para aumentar dicho efecto.

5.º *Distancia entre los ejes, y modo de enganchar.* Cuando es conocida la inclinacion de la parte mas pendiente de un camino, puede determinarse la proporcion entre la altura del centro de gravedad y la distancia entre los ejes, de manera que la presion sobre las ruedas menores sea igual á una determinada cantidad. Asi si se quiere limitar á los $\frac{2}{3}$ de la carga es preciso multiplicar el denominador de la fraccion que representa la inclinacion por la distancia entre los ejes, y la sesta parte del producto será la altura á que el centro de gravedad de la carga podrá levantarse sobre el nivel de los ejes, antes que la presion sobre las ruedas menores sea igual á los $\frac{2}{3}$ de la carga (1). Si por ejemplo la inclinacion fuese de $\frac{1}{2}$, es decir,

(1) La presion del eje de las ruedas menores será $= \frac{W \times AC}{AB}$ (figura 28);

pero $AC = \frac{1}{2} AB + h \text{ tang. } i$, de que se infiere $\frac{W \times AC}{AB} = W \left(\frac{1}{2} + \frac{h \text{ tang. } i}{AB} \right)$
que no debe ser mayor que $n W$. Por consiguiente debemos tener $\frac{1}{2} +$ h

$\text{tang. } i = n$, ó $\frac{n - \frac{1}{2} AB}{\text{tang. } i} = h =$ á la altura del centro de gravedad sobre el nivel de los ejes, y el eje mas bajo sostendrá siempre el esfuerzo total de la carga cuando $\frac{AB}{2 \text{ tang. } i}$ sea igual á h. Por ejemplo, para 45º la tangente igual 1 y $\frac{AB}{2} = h$. Cuando $n = \frac{2}{3}$ $\frac{AB}{6 \text{ tang. } i} = h$.

de una parte perpendicular por 5 partes horizontales, y la distancia entre los ejes fuese de 122 centímetros, entonces $\frac{5 \times 122}{6}$

= 101,6 centímetros. Viene á ser algo mas de un metro por lo que toca á la altura del centro de gravedad de la carga sobre el nivel de los ejes, cuando la presion sobre las ruedas menores no es mas que los $\frac{2}{3}$ de la carga.

Quando en un camino de hierro son caballos los que tiran deben engancharse los tirantes, de manera que el tiro se haga hácia arriba; esta dirección dá á la fuerza de los caballos para hacer andar un carro hácia delante la misma ventaja que se lograria engancharlo bajo el nivel de los ejes, si se usasen ruedas altas fig. 28.

Quando los carros tirados de caballos hayan de correr con demasiada velocidad, es necesario que vayan otros detras ó al lado del carro para evitar cualquier desgracia posible. Quizás se lograria igual seguridad si la lanza del carro empujase por medio de una pieza de madera ó de hierro sobre la circunferencia de las ruedas, al momento que cesase el caballo.

6.° *Diferentes especies de ejes.* Examinemos ahora la naturaleza de los ejes. Quando el camino es derecho es indiferente que los ejes den vuelta ó que se hallen fijos; pero segun advirtió en su fisica el Doctor Young, siempre que el movimiento se aparte de la línea recta, las ruedas que estan sujetas y fijas sobre un eje sencillo, deben ser impelidas la una hácia delante y la otra hácia atras. Creemos, pues, que vale mas que las ruedas den vueltas sobre ejes fijos, porque tanto las ruedas como las barras que forman el carril de las partes curvas del camino estan menos espuestas á rompimientos, y tambien se necesita menos fuerza por este órden, cuando por otro sea la que se fuese la disposicion que se les de, es imposible que deje de perderse alguna fuerza á causa del rozamiento lateral contra los bordes del camino.

Siendo importantísimo que las ruedas no puedan escaparse de los ejes se han imaginado mil medios de mantenerlas en ellos con seguridad. Uno de los primeros requisitos de todo buen método de esta especie, es la sencillez: es preciso que sea fácil de comprender y difícil de ejecutar mal, y como la rueda debe mantenerse en su posición por un mayor ó menor rozamiento contra las partes destinadas á este fin, es evidente que los puntos de rozamiento deben hallarse lo mas cerca po-

sible del centro de movimiento. Estos requisitos nos obligan á reconocer al golpe por malos ó impropios algunos de los medios que se han propuesto para este fin, aunque no dejen de llenar el objeto de seguridad que se busca.

Parece que no se ha encontrado aun cosa mas segura y sencilla que la pezonera ordinaria, si se exceptuan esas otras invenciones que obran á mayor distancia del centro de movimiento. Las que al modo de la pezonera, tienen la propiedad de obrar cerca del centro son demasiado caras para carros comunes, y no pueden ser útiles sino cuando se necesita un grado considerable de velocidad.

Las ruedas sujetas por una pezonera pueden estarlo de un modo mas seguro, añadiéndola la especie de fiador inventado por Mr. Padbury y cuya descripción se lee en el tomo 31 de las Transacciones de la sociedad de Artes. El mismo principio es el que se ha aplicado nuevamente para sujetar las ruedas á los ejes. Aunque poco á propósito para este objeto á causa de que pone la superficie que sujeta á mucha distancia del eje; sin embargo, su forma es muy conveniente para servir de una especie de salvaguardia que impida escaparse la rueda del eje, en caso que la pezonera se rompa ó se pierda. Hemos representado esta invencion tal cual se ha ejecutado en las minas de hornaguera de Ayr, pero con una leve variacion en la fig. 29. Se diferencia de la de Padbury que consiste en una rosca; debe colocarse muy pegada al gozete ó muesca en que ha de ponerse mientras la pezonera esté en su lugar, y cuando esta falte ó se caiga por un descuido, ella sola mantiene la rueda en el eje.

Las pezoneras deberian hacerse lo mas fuerte que fuese posible sin debilitar el eje, y nunca deben ser muy delgadas porque entonces estan muy espuestas á romperse por los lados. El hierro mejor y mas fuerte es el que debe escogerse para esto de preferencia, y aun no debian repararse en que costasen mas si se pudieran lograr de buen acero.

Los ejes inventados por Mr. Collinge son los mas convenientes para los carruages ligeros que se destinan á ir muy corriendo y llevar poca carga.

7.º Para ruedas. (1). Nada mas útil cuando se corre que

(1) Los extranjeros llaman por lo general *mecánica* al sencillo mecanismo que se ha adoptado en mas ó menos variacion para detener las ruedas en los coches de diligencia, y carros grandes de tráfico: los mineros y carruajeros ingleses *escotta*, y los ingenieros franceses *ralentisseur* como quien diria ama-

el poder temprar á su arbitrio la velocidad de un carruage ó pararle enteramente. A la bajada de una cuesta ó plano inclinado de un camino de hierro es absolutamente necesario tener un medio de contener el paso ó velocidad, y ya hemos hecho ver antes que aun en los parages en que el camino está á nivel, sigue corriendo un carro un trecho muy largo antes que su velocidad quede destruida. Asi que importa mucho poder aumentar el rozamiento á su gusto.

En los caminos de hierro del Tyne y del Wear puede templarse el andar de los carros por medio de un rozamiento sobre la superficie de las ruedas, que verifica cuando quiere el que los conduce, cargando sobre el brazo de una palanca corba de madera que llaman la *escolta*, y cuyo centro de movimiento está asegurado á una banda del carro. Quanto mas se carga y aprieta sobre dicha palanca, tanto mayor es su rozamiento contra las superficies opuestas de las dos ruedas de aquel lado del carro.

Cuando las ruedas dan vuelta sobre los ejes, no puede convenir este medio, por el motivo de que si solo se cargase de un lado, tiraria el carro á salirse del carril. En la fisica experimental de Desagulier se describe un método de ejecutar este frotamiento sobre los dos lados de un carro á la vez, y para apretar de firme cuanto se quiera, sin que el conductor esté allí siempre forcejeando. Aunque menos sencillo que el que se usa en los caminos del Tyne, es muy á propósito para contener la carrera en las cuestas abajo ó parar enteramente un carruage, cuyas ruedas den vuelta sobre sus ejes. Aun podria simplificarse algo, pues convendria que no hiciese su fuerza separadamente sobre cada lado del carro.

Tambien se describe otro medio muy ingenioso en el tomo 33 de las transacciones de la Sociedad de Artes inventado por Mr. Rapson para contener el movimiento de un carruage; mas no puede servir para los caminos de hierro por verificarse el rozamiento demasiado cerca del centro del movimiento. La accion de la fuerza que refrena es semejante al rozamiento del método de Desagulier, pero por el medio imaginado por Rapson puede aumentarse todavia mucho mas, sin necesidad de tanto apretar. Vamos á esplicar por consiguiente su teoría, manifestando cómo podria aplicarse á los caminos de hierro.

nador del movimiento; pero yo creo que podremos llamarle en castellano *para-ruedas*, voz muy del génio de nuestra lengua y que define en dos palabras todo el misterio de este artificio.

Como el rozamiento es proporcional á la presión, ó al menos puede considerarse como tal en la práctica, nuestro primer objeto debe ser el determinar la presión que se verifica en la circunferencia sobre que obra la pieza que causa el rozamiento. Sea W fig. 3o el peso ó presión que causa el rozamiento, y A una pequeña parte del *para-ruedas*. Entonces la fuerza W y el esfuerzo que se verifica en el punto de contacto de la pieza A con la pieza inmediata B obran contra la pieza A . Estas fuerzas comprimen la pieza A sobre la circunferencia de la rueda; y si la dirección é intensidad de la fuerza W es ab , debe ser contenida por una fuerza igual bd y la presión perpendicular sobre la superficie de la rueda será medida por bc . Estando construido el paralelo gramó $abcd$ sobre la dirección de las fuerzas, la fuerza que produce la presión sobre la pieza siguiente será disminuida por el rozamiento que se experimenta sobre la primera, y así sucesivamente por las piezas que siguen; pero la relación de las fuerzas á las presiones será constante, y la presión será á la fuerza que la produce como la distancia entre las juntas es al radio del círculo que pasa por todos los puntos de unión, porque $ab : bc :: aO : ad$. Por tanto, si s es el lado del polígono cuyos ángulos corresponden á las juntas entre las partes del *para-ruedas, y si n es el número de lados ó partes del *para-ruedas*, f el rozamiento cuando la presión es igual á la uni-*

dad y r el radio Oa ; entonces $\frac{fs W}{1} [1 + (1-f) + (1-f)^2 + \dots$

$(1-f)^n] =$ al rozamiento del *para-ruedas*; pero la suma de la progresión es $\frac{1 - (1-f)^n}{1 - (1-f)} = \frac{1 - (1-f)^n}{f}$

Luego $\frac{s W}{r} [1 - (1-f)^n] =$ al rozamiento.

Ahora, pues, el rozamiento aumenta cuando el valor de n aumenta, con tal que no se reduzca mucho mas la longitud entre las juntas s , porque cuanto mayor sea n , menos distancia habrá entre las juntas. Cuando el *para-ruedas* luda y trabaje sobre la mitad de la circunferencia, se verificará el mayor rozamiento, si $n = 2$. Entonces $s = 1,4142$, y como el rozamiento de la madera de pino contra el hierro es de casi $\frac{1}{4}$ de la presión, se le arrimaran dos piezas, y $0,62 W$ será igual al rozamiento. Si las piezas deben abrazar los $\frac{2}{3}$ de la circun-