

ferencia de la rueda, entonces dos piezas darán el máximo y el rozamiento será de 0,75 W. Si el rozamiento se estiende á toda la circunferencia tres piezas harán el máximo efecto, y el rozamiento será igual á W, es decir, igual al peso que lo produzca.

Conviene mucho advertir que estas proporciones no se entienden sino en el caso en que el rozamiento es igual al $\frac{1}{4}$ de la presión. Las que corresponden á otras relaciones del rozamiento con la presión pueden calcularse por la fórmula siguiente:

$$\frac{s W}{r} [1 - (1 - f)^n],$$

Quando el *para-ruedas* debe ludir sobre toda la circunferencia es á todas luces ventajoso el tomar separadamente las mitades, porque entonces el rozamiento es $2 \times 0,62 W = 1,24 W$, en vez de ser solo igual á W. Y esto es lo que ha confirmado también la experiencia, pues los mejores *para-ruedas* se construyen así.

Para aplicar estos principios al movimiento de los carros, es preciso observar que es necesario que el efecto del *para-ruedas* sea bastante fuerte para poder detener el movimiento de las ruedas, aunque no deba emplearse tanta fuerza sino muy rara vez, porque si así se hiciese las ruedas resbalarian por el camino y tanto los carriles como las ruedas mismas padecerian no poco.

Hemos hallado por experiencia que un carro resbalaria sobre los carriles, si las ruedas fuesen detenidas cuando la fuerza motriz es igual á $\frac{1}{6}$ del peso; por consiguiente la acción del *para-ruedas* sobre las ruedas debe ser igual á esta cantidad. Supongamos en este caso que el esfuerzo sobre la rueda sea de una tonelada ó de 2240 libras entonces

$$\frac{2240}{6} = 373, \text{ y } \frac{373}{0,62} = 600 \text{ libras con corta diferencia.}$$

Esta es la fuerza que sería necesaria en A fig. 31 para pasar la rueda de suerte que resbalase sobre el carril, suponiendo que la rueda obra según la dirección indicada por la flecha; pero una fuerza de $(1 - 0,62) 600 = 228$ libras (105 kilogr.) produciria el mismo efecto si fuese aplicada en B. Supongamos que al mismo tiempo un eje horizontal cobrase sobre la rueda opuesta, y que sea necesaria una fuerza de 448 libras para producir el efecto de esta acción; la fuerza de un hombre para mover una palanca en un caso seme-

jante puede regularse en 50 libras (23 kilog.) y $\frac{448}{50} = 9$ con corta diferencia, es decir, que las palancas deben proporcionarse de manera que la mano del hombre tenga un movimiento de 9 pulgadas (228 milim.) mientras que el punto B se mueve una pulgada (25 milim.).

Convendria agregar un resorte que sostuviese al *para ruedas* pegado á la rueda, y por medio de una manija de combinacion D la palanca podria ponerse á uno ú otro extremo del carro.

CAPITULO VI.

De la eleccion de una línea para construir un camino de hierro; nivelacion, determinacion de inclinaciones, anhuera y demas que hay que hacer en él.

Pocos asuntos hay en la práctica del ingeniero que requiera tanta instruccion, tanta pericia y estension de conocimientos como la eleccion de una línea de direccion para un camino de hierro ó un canal. En ambos casos es preciso fijar casi toda la atencion sobre unos mismos objetos, y al mismo tiempo reparar en las circunstancias particulares de cada uno. El que en materias de una importancia asi tenga que consultar á otros y atenerse á sus dictámenes, mal podrá percibir en su entendimiento la cuestion bajo todos sus aspectos. Es indispensable que el ingeniero vea antes en su imaginacion, no solamente el modo de ejecutar la obra sino tambien el efecto de ella despues de acabada: es preciso que combine las ventajas que hay por una parte, las razones de preferencia que deben darse á ciertos puntos sobre otros con la atencion conveniente para no perjudicar á los intereses del comercio general y que se halle en estado de salvar todas las dificultades que inevitablemente se le han de presentar al abrir una nueva línea de comunicacion al comercio.

Es evidente que ademas de un conocimiento completo de la superficie del pais, necesita tener el de su composicion interior y minerales que encierra. Las minas metálicas y las de carbon, marga, cal, yeso y piedra de construccion formar mucho valor en las inmediaciones de un camino de hierro, y se convierten en un manantial de riquezas para los dueños de ellas.

Debe atenderse igualmente á los intereses de la agricultura y no despreciar nada de cuanto pueda traer beneficio á los propietarios de las tierras por donde atraviesa el camino; porque un camino jamas se rompe sin causar perjuicios á las propiedades por donde corta, y es justo, en cuanto se pueda, compensar los inconvenientes con un esmero particular en fomentar todo cuanto se dirija á aumentar el valor de la propiedad. El acarreo de abonos, cal, marga etc., debe facilitarse como utilísimo á unos y á otros, y los derechos de arancel sobre estos artículos deben ser muy equitativos para que puedan sufrir los gastos de conduccion á las posesiones.

Si se trata de lo conveniente á un pais de fábricas, deberá tenerse muy presente que el tiempo es un punto de importancia en asuntos de comercio y que despues debe cuidarse mucho de la seguridad. Ocioso parece decir que tambien debe entrar en cuenta la economía, pero es preciso que no sea la aparente sino la real y verdadera. Un ingeniero debe estar muy familiarizado con toda especie de cálculos pecuniarios para deducir al momento si tendrá ventaja el hacer ó no un desmonte, terraplen, calzada ó cosa semejante, para ir derechamente á un punto ó seguir por rodeo la linea mas larga. Y en estas materias no solo debe calcularse cuando se hará el reintegro de los capitales empleados, y el interes que dejarán, sino tambien las demoras y pérdida de tiempo, compensando la importancia del ahorro de horas con lo que costará de mas un corte á pico, un terraplen etc. etc.

El ingeniero que sepa que aun en la distribucion de los valles y colinas se encuentra un cierto orden admirable en la naturaleza, podrá decidirse mas fácilmente en la eleccion de una línea respecto á la superficie del pais que debe atravesar. Estas cosas que á primera vista parecen al hombre ignorante hechas como desordenadamente, son el resultado de la accion uniforme de causas naturales, y pueden trazarse en realidad y describirse con menos trabajo que lo que podria creerse. Cuando se quiere levantar el plano de una estension grande de pais, los rios y arroyos son lo que da una idea mas exacta de las elevaciones y depresiones que hay en ellos indican todas las variaciones de inclinacion y aun con suma precision para el hombre de buen ojo. Debe observarse que cada rio tiene su sistema de valles y que fuera de algunos casos en que las aguas se pierden sumiéndose en cavidades subterráneas, una comarca cuyas alturas se trazan con

facilidad siempre encuentra sus desagües en el río que la atravesaba y en su sistema de valles.

Luego que se ha formado uno la idea mas clara de la direccion que puede darse á un camino, la primera diligencia debe ser levantar un plano exacto para determinar la línea precisa que se ha de seguir. Aconsejamos al ingeniero hacerlo por líneas que se corten en ángulos rectos, como método infinitamente superior al del deslinde por triángulos, para tomar un conocimiento exacto de la superficie del país. Quizás con el auxilio de una figura haremos resaltar mas la ventaja evidente de este método. Sea, pues, AB fig. 82 una porcion de la direccion proyectada, y CD la anchura del territorio que debe entrar en el plan. Escójanse á distancias convenientes los puntos a a cuyo trecho dependerá de las variaciones de nivel que ofrezca el terreno. Nivélense exactamente la línea principal AB y las transversales b b y trázense como se ve en la fig. sobre el plano de la línea del camino. Si la distancia b b debe ser considerable, puede añadirse otra mas en la direccion principal. Las líneas picadas manifiestan la forma de la superficie en la línea AB y b b sobre el plano; y siendo las últimas cortes en ángulo recto sobre AB no se encontrará dificultad alguna en distinguir la estension de los desmontes ó terraplenes que podrán evitarse variando la posicion de la línea principal. En suma, un plan de esta clase vale mas que un modelo de un país para quien está acostumbrado á juzgar por los cortes.

Mas cuando se va á fijar la línea puntualmente, es necesario saber si las conducciones que se han de hacer por dicho camino han de ser iguales en ambas direcciones. En caso de igualdad el camino debe hacerse lo mas de nivel que sea posible; pero si las conducciones han de ser constantemente desiguales y verificarse siempre en la misma direccion, lo que debe acontecer en muchos caminos de hierro, entonces conviene mas que haya declive.

Regla. La regla para hallar la inclinacion conveniente es la que sigue. A la cantidad de toneladas que han de venir de cada direccion del camino, añádase el peso de los carros necesarios para conducirlos del lado por el cual el acarreo ha de ser mayor: divídase la suma mayor por la menor, y hágase del cuociente aumentado con la unidad el denominador de una fraccion de que este mismo cuociente disminuido sea el numerador: multiplíquese esta fraccion por la fraccion que representa la resistencia sobre los carriles de hierro cuando el

camino está á nivel, y el resultado hará conocer por la fracción que salga el declive mas conveniente para dicho camino.

Supongamos que sea cosa averiguada que para 1000 toneladas de géneros que vayan por una dirección no haya mas que 500 que vengan por la otra y supongamos que el peso de los carros que conduzcan las 1000 toneladas sea de 250 toneladas. Añádanse á 1000.250 peso de los carros, y tendremos 1250. Añádanse igualmente 250 á 500 y pártase 1250 por 750, con lo que resultará por cuociente 1,666. Rebájese uno de este cuociente y tendremos por numerador 0,666. Añádase uno al mismo cuociente y tendremos 2,666 por de-

nominador, lo que dará la fracción $\frac{0,666}{2,666}$ ó $\frac{666}{2666} = \frac{1}{4}$. A hora, pues, si un kilogr. puede arrastrar á 130 sobre un ca-

mino á nivel $\frac{1}{4} \times \frac{1}{130} = \frac{1}{520}$ lo que indica que el camino debe tener un declive de una parte por 520 ó sobre poco mas ó menos dos metros por cada kilómetro.

Si los carros debiesen subir de vacío, entonces tendríamos

$$\frac{1250}{250} = 5, \text{ y } \frac{5-1}{5+1} = \frac{4}{6} = \frac{1}{1,5};$$

pero $\frac{1}{1,5} \times \frac{1}{130} = \frac{1}{195}$. Luego la inclinación de la pendiente

deberia ser de una parte por 195 ó algo mas de 5 metros por kilom. Resulta con evidencia de estos ejemplos que este punto merece atención, especialmente tratándose de hacer la conducción con caballerías, pues debe perderse mucha fuerza, cuando las fuerzas que se han de necesitar en ambas direcciones no son iguales.

Cuando se usen, bien sea caballerías ó bombas de vapor es preciso evitar toda subida y bajada que no se pueda pasar sin el auxilio de una máquina fija ó de las que llaman *estables*, y se colocan en lo alto de las cuestas, á menos que no costase mas dinero el hacer los desmontes y terraplenes, que la máquina con todos sus accesorios y compensación de paradas y dilaciones etc.

Si se gastan máquinas estables y son de la especie que hemos hablado, la altura de la cuesta y profundidad de la

hondonada serán bastante indiferentes con tal que no sean muy rápidas, y se evitan en parte los grandes cortes del terreno. Cuando hay que arrimar tierras el espacio que se ha de dar á la escarpa indispensable de cada lado del camino depende de la calidad de los materiales que se empleen en ello, pues si se hace con arena, guijo, fragmentos de rocas ú otro material que no retenga el agua se mantendrá firme y resistirá á todas las inclemencias, cuando por el contrario si se hace con substancias arcillosas no duran un invierno.

Para la tierra regular un escarpe de 45° es suficiente, pero para la arcillosa es preciso darle á veces unos 3/4, principalmente si no está mezclada con otros materiales que impidan detenerse el agua en las grietas que se forman durante los tiempos secos. Asi en el primer caso la razon del escarpe con la base es de 1 á 1 y en el segundo de 2 á 3. Pero en otras circunstancias puede darse al escarpe mas pendiente, de modo que su base sea á su altura como 2 es á 3 y aun como 1 es á 2. Muy fácil será juzgar cuál será el escarpe mas conveniente luego que se conozcan las capas del terreno que se han de cortar y se observe el estado en que se encuentre en aquellos parages inmediatos que se hallen al descubierto.

A veces si hay piedra buena á mano puede atravesarse una barranca ú hondonada por medio de una fila de arcos por el estilo de los acueductos antiguos. Ocasiones se presentarán sin duda en que el ingeniero encargado de un camino de hierro se verá en la precision de desplegar toda su ciencia y habilidad en la construccion de puentes que es materia cuyos principios teóricos hace muy poco tiempo que estan bien determinados y que merece muy bien un tratado especial.

El espacio necesario para un camino de hierro debe depender de la anchura de batalla, como suelen decir de los carros ó abertura de su carril, y del número de los mismos. Esta anchura se ha determinado por la opinion, mas bien que de resultas de un exámen sério del asunto: pero se deja discurrir que esta anchura debe tener una cierta relacion con la altura de la carga para que el carro pueda permanecer en constante equilibrio sobre los carriles. Hay ademas que considerar en un camino de hierro que conviene que la presion sobre el carril no pueda materialmente variarse por la mas leve inclinacion de uno de los lados del camino. Puede tomarse por regla general de la abertura de carril para

los carros que van con una velocidad de mas de 5 millas (8 kilometros) por hora, que el centro de gravedad no esté elevado mas que en la proporcion de 1 á $1\frac{1}{2}$ relativamente á la distancia entre los dos lados, ó sean las dos filas del carril; pero los carros se suelen construir las mas veces de modo que la altura del centro de gravedad es igual ó casi igual á la anchura del carril, lo que puede suceder muy bien que no traiga malas consecuencias cuando caminan despacio; pero cuando echan á correr, si el centro de gravedad no se halla colocado en los límites que acabamos de designar, van espuestos á volcar al mas leve tropezon.

En un camino real ó carretera la gran resistencia en la superficie de las ruedas y la fuerza del motor tiran á impedir los vuelcos, pero en un camino de hierro la pequenez de la fuerza motriz, y el poco aumento de resistencia en la rueda que lleva todo el peso de la carga, no bastan para contrapesar el efecto que produce sobre esta carga el encuentro de un estorbo, y ademas el modo de que el motor va sujeto al carro no es tan favorable para mantener y volver á este á su posicion. Estas circunstancias piden el mayor cuidado de parte del que está encargado de la construccion de un camino de hierro en que han de caminar los carros á razon de 10 millas (16 kilóm.) por hora.

Decimos que 10 millas por hora es ya un movimiento rápido y cuanto mas lo reflexionamos mas nos ratificamos en ello, y vemos que no puede haber una verdadera ventaja en ir con mayor velocidad, á no ser en un camino de hierro destinado á correos de gabinete, caso en que el carrillo que lleve el correo pueda ser puesto en movimiento por uno que sentándose en él ejecute lo que hace un remero para vogar con corta diferencia. Sobre un camino de hierro construido para un carruage ligero por este estilo, y cuya carga fuese suspendida mas baja que los ejes, se podria correr con mayor velocidad todavia, luego que la costumbre lo hiciese tolerable. Tal vez en algunas circunstancias rarísimas, y en las que fuese preciso enviar cartas ó pliegos con suma urgencia podria enseñarse este medio: si pintase bien podria adoptarse para las postas y correos ordinarios, pero no es probable que pueda tener buen resultado un modo de transportar viajeros con una velocidad mayor que la de 10 millas (16 kilóm.) por hora.

Pues que el ancho del carril depende del centro de gravedad de los carros cargados, y que este centro varía segun la

naturaleza de la carga y celeridad de la marcha, es evidente que lo mejor que hay que hacer es dar al carril una anchura tal que por el modo de colocar la carga, pueda hallarse siempre el centro de gravedad en los límites que convienen, sea que el carro corra ó vaya despacio. Seria muy acertado adoptar la misma abertura de carril y la misma presión sobre cada rueda para todos los caminos de hierro. Aconsejaríamos dar 4 pies y 6 pulgadas (de 13 á 14 decímetros) al carril de los grandes carruages, y 6 pies (18 decímetros) á los carrillos destinados á correr mucho. Entonces para un camino sencillo, la anchura de la banda de afuera de los carriles de hierro seria de 5 pies (15 decímetros), se dejarían 3 pies (9 decímetros) de cada lado para la gente de á pie, y 4 pies (12 decímetros) para zanjas y vallados, lo que haria un total de 19 pies (57 decímetros). Si la abertura de carril fuese de 18 decímetros, entonces el ancho total seria de 62 á 65 decímetros, mas de 8 varas castellanas.

Para un camino doble se pondrán 12 decímetros entre los carros lo que arrojará una anchura total de 85 decímetros para los carros mayores y 97 para los ligeros. Un camino doble para una y otra especie de carros no bajaria de 17 metros de anchura, cosa de 20 varas castellanas.

Cuando se emprende un camino de tanta anchura, se debe cuidar mucho de combinar bien los desmontes que hay que hacer con los terraplenes á fin de emplear el menos trabajo posible en la traslación de tierras: la suma de terraplenes y desmontes multiplicados cada uno por el espacio en que se remueve la tierra, debe ser un *minimum*. Se necesita mas tino que lo que parece para abrir el terreno sobre una falda de montaña porque es preciso no olvidar que un camino de hierro debe apartarse lo mas mínimo posible de la línea recta y las faldas de las colinas presentan generalmente su cierta curvatura.

En todos los caminos de hierro es necesario dejar sus tránsito de trecho en trecho, y estos deben ser muy frecuentes cuando el camino es uno solo. Sobre los de tránsito, al lado del de hierro, seria muy acertado colocar plataformas giratorias ó de torno para cambiar los carros de dirección, bien sea para volver atras ó entrar en otro ramal de camino, pues nos parece peligroso ponerlas en la línea principal.

CAPITULO VII.

De la construccion de los caminos de hierro, forma y longitud de las barras asi de hierro colado como forjado, y cuanto se requiere para sentar los carriles.

Tratando de la construccion de los caminos de hierro, conviene examinar primeramente la fuerza y forma que se han de dar á las barras que los componen y explicar despues el modo de sentarlas, y despues de hablar de las de los carriles estrechos, trataremos de las de los planos, y diremos qué fuerza deben tener para un servicio temporal, pues ya hemos manifestado que no son estas buenas para los caminos permanentes. La fuerza que designamos para las barras es la menor que se les puede dar, y para un camino de mucho tráfico debe aumentarse su fuerza en la proporcion que indicamos.

1.º *Barras para los caminos de hierro.* Se emplean con ventaja para estos caminos dos especies de barras, á saber las de hierro colado y las de forjado. No es, sin embargo, probable que el forjado pueda durar tanto como el colado, cuando se mantiene espuesto al aire y humedad continua, pero ofrece ventajas muy importantes que daremos aquí á conocer porque esta explicacion tiene una íntima relacion con el examen de la fuerza y proporciones que convienen á los carriles.

Las barras de hierro colado estan mas espuesta á quebrarse que las de forjado, sea la que sequiera la clase de fundicion, la mejor; y la fuerza que rompería una barra de hierro colado, á penas haría en una de forjado mas que una especie de mella, permanente sí, pero muy ligera é incapaz de interrumpir el tránsito de los demas carros. Ademas, puede darse á las barras de hierro forjado una largura considerable, en lugar que á las del colado no se les da regularmente mas que 1 á $1\frac{1}{2}$ metros, de manera que la barra de hierro forjado es mejor para llevar bien unido el conjunto de las partes de un camino de hierro y que las mismas juntas no hagau tropezar á los carros. Pero sea que las barras largas se hagan de hierro forjado ó colado, es esencialísimo que vayan sostenidas de trecho en trecho, y lo que mas obsta para emplear barras largas de hierro colado es precisamente la dificultad de colocar los sillares ó puntos de apoyo, de modo que las barras carguen con igualdad sobre ellos, pues este hierro se doblega tan poco antes de quebrar, que si uno de

los apoyos llega á hundirse algo por poco que sea, casca la barra casi de seguro. Una de hierro forjado por el contrario no hace mas que encorbarse en igual caso. En un camino cuyo piso sea muy firme, tendrá cuenta servirse de barras de hierro colado de la mayor longitud, pero la razon que hemos dado bastaria para no tener confianza en los apoyos intermedios.

Las razones que deben hacer preferir las barras mas largas son el aumento de fuerza que se logra sin aumento de gastos en material, y la ventaja de tener menos juntas. La barra corta AB (fig. 15) no es tan fuerte como la parte del medio CD fig. 16 de otra barra 3 veces mas larga. Si los cabos EF de la larga están sólidamente sentados, la parte del medio CD aguantará mas del doble del peso que aguantaria si se la cortase todo lo que hay de C á D teniendo ademas la ventaja de la fuerza de la barra en C y en D. Las partes EC y DF son tambien mucho mas fuertes que si estuviesen partidas en otras dos barritas. Sin embargo en esta colocacion la fuerza es desigual, partiendo la longitud de la barra en 7 partes y tomando 3 de ellas para la distancia de los poyos ó sillares del medio como se ve en la fig. 17. Y si hubiese otro número cualquiera de poyos intermedios bastará que los espacios que estan á las puntas sean respecto á los espacios del medio como 2 : 3. Este modo de sostener las barras largas de hierro forjado las hace casi enteramente de fuerza uniforme.

2.º *Barras de hierro colado para carriles estrechos.* Tocante á las de hierro colado tenemos que considerar su forma, la anchura de su cara de arriba y su fuerza. La forma debe ser la que preste mas fuerza empleando menos materia. Pero en nuestras investigaciones sobre esta forma es preciso recordar que debe escogerse aquella que permita la menor inflexion posible cuando la carga se halle sobre el medio de la barra que no carga sobre los poyos; pues es claro que esta inflexion debe causar el efecto de una superficie escabrosa, haciendo irregular el movimiento de los carros y aumentando el tiro. Siendo la anchura uniforme el contorno del grueso debe ser una semi-elipse, de manera que la barra pueda tener la misma fuerza en todos los puntos para resistir á la carga que rueda sobre ella. En nuestro *Ensayo sobre la fuerza del hierro colado* hemos hecho ver que adoptando la figura de igual resistencia, se logra un aumento de curvatura en la razon de 9 á 7, y como la cantidad de metal que se viene á ahorrar no es cosa mayor,

siempre que el corte transversal de la barra sea de la forma mas conveniente, vale mas servirse de barras de grueso uniforme.

Para determinar la forma de la seccion transversal de un carril de hierro es preciso saber que anchura ha de tener el borde sobre el cual han de caminar las ruedas. Esta anchura debe ser indudablemente proporcional á la carga que ha de pesar sobre una rueda, cuando el diámetro de ellas sea el mismo. Pero cuanto mayor sea el diámetro de una rueda mas superficie tendrá en contacto, y por consiguiente las grandes exigen menos anchura que las pequeñas. Si no se quiere atender al diámetro de las ruedas, bastará en la práctica arreglar el ancho de los carriles sobre el esfuerzo que tengan que resistir.

Hemos observado que en las cercanias de Newcastle el ancho del borde superior de las barras, las cuales son de fundicion, es de 2 pulgadas (50,7 milim.), y que el esfuerzo sobre cada rueda es de 1 tonelada lo que da esta proporcion 1 ton. : 2 p. : : W peso sobre una rueda: 2 W. Esto es que la anchura en pulgadas debe ser doble del número de toneladas que pesan sobre una rueda ó que se debe dar al carril una media pulgada de ancho por tonelada de carga sobre una rueda.

El ancho medio no debe ser menos de la mitad de ancho del borde superior, y la menor anchura de la seccion tampoco inferior á la mitad de la anchura media, ó del cuarto de la anchura del borde superior; y en ningun caso, menos de media pulgada (13 milim.). Convenidos ya en estas proporciones la cantidad de materia puede ser repartida de modo que se le dé el mayor grado de fuerza disminuyendo el ancho hácia el medio del grueso, y aumentándole hácia los bordes de arriba y de abajo, donde servirá mas para resistir á la presion lateral. Puede verse esta forma en la fig. 14.

Adoptando estas proporciones se hace mas fácil el cálculo de la fuerza de los carriles, igualmente que de su peso. La distancia entre las ruedas de un carro que va sobre un mismo carril debe ser tal que la parte del carril no apoyada, jamas tenga que aguantar á la vez mas que una rueda; y para no descuidarse nunca en cuanto á cualquier aumento de esfuerzo sobre un carril inclinado, contingencias, defectos de fundicion, ó cualquiera otra cosa, deben ser las barras bastante fuertes para poder aguantar el doble del peso que ha de llevar cada rueda, y esto sin perjuicio de la ventaja que se logrará colocando la seccion transversal del modo mas favorable á la fuerza. El grueso del carril se hallará multiplicando la distancia

entre los puntos de apoyo, espresada en pies por 5,27; la raíz cuadrada del producto será el grueso en pulgadas.

Ejemplo. Si la distancia entre los poyos es de 3 pies, entonces $5,27 \times 3 = 15,81$, cuya raíz cuadrada es algo menos de 4 pulgadas. Así pueden tomarse 4 pulg. (10 centim.) para el grueso; y si la carga es de una tonelada sobre cada rueda, el ancho del borde superior será de 2 pulg., el término medio una pulg. y la anchura por el medio del grueso media.

La area de la seccion de la barra es igual al grueso multiplicado por la anchura media: de consiguiente es de 4 pulgadas cuadradas, y el peso de la barra ó carril de 3 pies de largo es de $4 \times 3 \times 3,2 = 38,4$ lib. (17,5 kilogr. con corta diferencia.) (1).

Para mayor conveniencia de los lectores ponemos al fin de este tratado una tabla que indica el grueso, ancho y peso de las barras para carriles de diferentes larguras y para diferentes cargas; pero en los caminos de hierro de mas importancia por la estension del comercio, deben aumentarse las anchuras cosa de $\frac{1}{3}$. La razon es porque calculando la altura de que bastaria que cayese una rueda para romper un carril de la fuerza del ejemplo anterior, creeria uno que una rueda cargada con una tonelada que cayera de un tropiezo cuya elevacion sobre el carril no fuese mas que $\frac{1}{4}$ de pulg. (6 milim.) le rompería indefectiblemente. Las barras que tienen mas longitud resisten á la percusion mejor que las cortas. Una barra de una longitud doble resistiria á la caída de una rueda de la altura de $\frac{3}{8}$ de pulgada.

3.° *Carriles de hierro forjado.* Aun no se ha usado el hierro forjado mas que para carriles estrechos, y ya hemos advertido que las barras de esta especie tienen la ventaja de unir bien las partes del camino, y darle mas fortaleza. Pero se ha observado que las cargas excesivas que pesan sobre las ruedas estienden las laminitas de que se componen los bordes superiores de los carriles, y hacen saltar en ojuelas la superficie al cabo de tiempo. Este inconveniente es gravisimo, y resulta de dos circunstancias que si obraran separadamente harian poquisimo efecto. En primer lugar todos los carriles de hierro forjado son demasiado ligeros. Se ha notado que un exceso de carga no los hace romper; pero se les obliga á tomar una curvatura permanente, proporcionada á su grado de debilidad, de

(1) La pesantez específica del hierro colado es de 7,207. Un pie cúbico inglés de él pesa 450,4 libras, lo que hace un poco mas de 3,1 libras por el peso de 1 pie de largo sobre una pulgada de escuadra. Aquí suponemos 3,2 por este peso.

manera que las fibras del borde superior pierden su elasticidad. Es muy posible que esto solo no obligase á la superficie á saltar en forma de ojuelas, si el modo de fabricar las tales barras no fuese tambien perjudicial ó su duracion. Labránse pasándolas por entre cilindros, y como la seccion transversal de los carriles comunes es irregular su forma saldria y quedaria curva, segun queda al salir de los cilindros; pero luego se las endereza y es cuando se destruye su estructura. Haciendo consistir el corte transversal de una barra en partes iguales y dispuesta de un mismo modo se tira con los cilindros una barra derecha sin alterar sus bordes exteriores, y siendo una barra de grueso igual menos flexible que la que se adelgaza por sus puntos de apoyo, debe ser mas fácil que lo que se ha creido hasta aqui el fabricar carriles de hierro ductil.

Los carriles de hierro forjado, siendo igualmente suaves, por no decir mas que los de fundicion, es evidente que deben tener una anchura al menos igual á su superficie superior; aun somos de dictámen que debieran ser mas anchas; pero suponiendo que la misma anchura pueda convenir en los casos ordinarios, he aquí cuales deben ser poco mas ó menos las proporciones de estos carriles: una pulgada inglesa (25, 4 milim.) de ancho en borde superior por cada media tonelada de carga que pese sobre una rueda; y en cuanto á la anchura media los $\frac{3}{8}$ de la del borde superior. Si la fuerza de las barras para carriles está calculada de modo que puedan aguantar la presion real sobre una rueda sin depresion permanente cuando son de una mediana anchura, la fuerza adicional que se ganaria por el arreglo de la seccion transversal en la forma mas fuerte, hará las veces de una cantidad mayor de materia, sobre todo si se gastan barras un poco largas. Deben exceptuarse los planos inclinados cuyos carriles deberán ser mas fuertes en proporcion del aumento de presion que en ellos se sufre.

Se tendrá la fuerza que corresponde á una tonelada de carga sobre una rueda, multiplicando la distancia entre los poyos ó sillares, contada en pies ingleses por 3, 2. La raiz cuadrada del producto será el grueso en pulgadas. Por lo que toca á otra cualquier carga, se hará la anchura proporcional á la presion, el grueso quedará el mismo.

Si la distancia entre los poyos es de 3 pies; entonces

$$\sqrt{3, 2 \times 3} = \sqrt{9, 6} = 3\frac{1}{2} \text{ pulgadas (79 milim.) con}$$

corta diferencia: la anchura en el borde superior será de 2

pulgadas (50, 8. milim.) y la anchura media $\frac{3}{4}$ de pulgadas (19 milim.) El peso de una barra de hierro forjado de un pie de largo y una pulgada en cuadro, siendo de 3, 4 libras la area de la seccion en pulgadas multiplicada por la longitud en pies, y por 3, 4, dará el peso de las libras. La tabla 8.ª al fin de esta obra dá calculadas estas dimensiones para todos los casos probables (1).

Los carriles de hierro forjado no han sido probados hasta ahora sino muy imperfectamente. Recelamos que se tengan por de corta duracion, porque es sabido que el hierro forjado espuesto, como deben estarlo estas barras á los efectos de la humedad, se destruye muy rápidamente. Si hubiera que renovar cada 15 ó 16 años todo un camino de hierro, los gastos superarian á sus utilidades. Hemos procurado adquirir muchas noticias sobre la duracion probable de estos caminos de hierro, y hemos llegado á saber una multitud de opiniones; pero ni siquiera un dato que merezca citarse. Es indudable que la descomposicion del hierro se verifica muy lentamente, pero es continúa y constante, y antes de emplear este material en un camino de 40 á 50 millas, bueno seria estar mas seguro del tiempo que puede durar. No se puede disputar la escelencia del hierro forjado para los caminos, cuando se desee que la velocidad de los carros sea de mas de 3 millas por hora, si está probado que su duracion sea bastante larga para no hacer muy costoso su uso; porque un carril que llegase á romperse, es mas que verosimil que causase una averia mas que mediana á todo carro que corriese con violencia, y en un camino de carriles de fundicion estos deben ser por lo mismo de la mayor fuerza para no verse espuesto ninguno á semejantes accidentes.

Con el fin de evitar el andar levantando carriles quebrados en aquellos sitios en que es mas de temer este accidente podria hacerse un empedrado firme debajo del camino de hierro, y sostener el carril de uno y otro lado con otro trozo de encachado. Al menos deberia acostumbrarse hacer eso en aquellos parages que el camino atraviesa una carretera, una calle pública ó cosa semejante.

El modo de preparar el camino para sentar los carriles de hierro debe depender de la calidad del piso. Si es firme y tieso bastará levantar la costra superficial y trazar el camino dán-

(1) El metro cúbico de hierro forjado pesa 7788 kilogr.; y así una barra de un metro de largo y de 2, 5 centim. de lado pesaria 4,8765 kilogr. ó cerca de 5 kilogr. Si fuera de fundicion no pesaria mas que 4 y medio kilogr.

dole la inclinacion y nivel convenientes; y en todos aquellos sitios en que los poyos no esten á mas de 3 ó 4 pies (9 á 12 décim.). Se abrirá una zanja de 2 pies de ancho con corta diferencia, y 10 pulgadas de hondo bajo cada fila de carriles con sumideros ó vertientes á los lados hechos con piedra, mas hondos, y de distancia en distancia para que se conserve seco y sólido el camino, dando la caída á los sumideros ó alcantarillas en la direccion mas á propósito para llamar hácia ellos las aguas llovedizas ó de los manantiales que rezumen en el terreno.

Las zanjas de debajo de los carriles deben rellenarse de guijarros y pedazos de piedras, ó á falta de piedra de buen casquijo, y siempre deberá preferirse para esto la piedra mas dura que encontrar se pueda.

Concluido que sea todo esto del modo conveniente, se pasará un rodillo muy pesado antes de sentar los sillares ó poyos que deben servir de base á los carriles. Dichos poyos deben tener muy llano el asiento de unas 16 pulgadas cuadradas (4 décim.), pero deben tener mas base cuando la carga sobre cada rueda haya de pasar de una tonelada. Su grueso debe ser cosa de la mitad del asiento. Se apisona bien el sitio en que debe colocarse el poyo ó sillar, para que quede muy firme, y se le echa despues una capa de guijo menudo ó arena gruesa para sentarlo; pero sin poner mas arena que la precisa para que el poyo siente llana y sólidamente. Como la perfeccion del camino depende mucho del modo de sentar los tales poyos, y del grado de exactitud con que se colocan, conviene cuidar con el mayor esmero de esta parte esencial de la construccion. Una vez colocados los cruzeros de hierro y los carriles sobre los poyos, se forma el sendero por donde han de caminar las caballerias, y lo mismo los laterales con aquel material que haya á mano en el pais, pero conviene mucho que sean tambien los senderos los mas firmes y sólidos que se pueda, por lo mucho que contribuyen á la inmovilidad de los poyos y carriles.

En las tierras muertas deben ser las zanjas mas anchas y hondas, y llenarse de pedazos de piedra quebrada á golpe: cada camada de piedra deberá tener de 7 á 8 pulgadas de grueso, y apisonarse para darla firmeza. Las mismas precauciones se necesitan en los terrenos arcillosos en que las alternativas de humedad y sequía causan tanta alteracion.

Si se ponen carriles mas largos, y hay parages en que por la dificultad de hallar un piso firme es este un medio muy

conveniente, lo mejor que puede hacerse es levantar á trechos y de un lado á otro del camino unos paredoncillos que sirvan de sosten á los carriles. Siendo evidente que si un poyo ó sosten cualquiera no tiene fuerza para sostener sin riesgo la mitad del peso de un carro, no vale para el objeto que se destina, es necesario que sea el que fuese el número de los poyos tengan todos la misma fuerza que si estuviesen muy separados. Hay, pues, una determinada largura en los carriles que es mas económica que ninguna otra porque si se pasa de ella, salen muy costosos, ó los poyos vienen á costar mas por otra parte, si el carril es corto. En sabiendo lo que cuesta un poyo ó silla de estos, es fácil calcular la longitud que conviene á los carriles por una equacion que se encontrará en nuestro *Ensayo práctico* sobre la fuerza del hierro. Pondremos aquí la regla con un ejemplo.

4.^a *Regla para hallar la largura mas económica de los carriles.* En teniendo los datos fijos del valor de la tonelada de hierro puesta en el sitio, y el de los poyos de piedra y cruceros de hierro, y costo de sentar los poyos, partase el precio de la tonelada de hierro en libras estérlinas por el de un poyo; cuadrese el cociente, y multiplíquese este cuadrado por la anchura del carril en pulgadas, y multiplíquese este producto por la 20.^a parte del peso del carro cargado en libras, y estraigase la raíz cúbica del último producto. Por último, dividase 700 por la raíz cúbica que se acaba de estraer, y el cociente será la distancia en pies entre los poyos.

Ejemplo. Supongamos que el valor de una tonelada de hierro colado en carriles sea de 14 libras estérlinas puesto al pie de la obra; que los costos de un poyo, materiales y jornales sean de 0, 2 idem; que la anchura del borde superior del carril sea de 2 pulgadas, y el peso de un carro cargado sea en libras 9000. Tendremos entonces $\frac{14}{0,2} = 70$, cuyo cuadrado es 4900. Ahora $4900 \times 2 \times \frac{9000}{20} = 4,410,000$. La raíz cúbica de 4,410,000 es 164 y $\frac{700}{164} = 4\frac{1}{4}$ pies con cortisima diferencia.

Bajo estos supuestos, los carriles de hierro colado de 4 pies y 5 pulgadas (15 décimas) serian los mas económicos para este camino de hierro. Pero si por la mala calidad del terreno ú otra causa, los poyos costasen 8 chelines cada uno, ó sea 0, 4 libras sterlinas entonces la largura mas económica de cada pieza de carril, se veria haciendo otro cálculo igual que sería la de 6 pies $\frac{3}{4}$ (19 décimas).

El valor del hierro, el peso del carro cargado, y la an-

chura del carril deben influir tambien sobre la distancia entre los poyos, y por consiguiente sobre el costo del camino. No damos la regla para los carriles de hierro forjado, porque si se necesita se encontrará en el *Ensayo* citado.

Deben tomarse todas las precauciones imaginables para que los caminos de hierro se conserven secos, bien sea proporcionando alcantarillas y sumideros á trechos, bien haciendo que puedan orearse bien quitándoles todo lo que les haga sombra, ó bien gastando en ellos los mejores materiales para que no absorban ni retengan el agua. Por lo que hace á material bueno, los que sirven para las minas de carbon y otras cualesquiera, tienen una ventaja que no se hallará fácilmente en otros territorios. Cuando se gastan carriles de hierro forjado conviene mucho rodearlos de ceniza de hornaguera, ó de la comun de leña de escorias ó cualquier residuo mineral asi, para evitar el contacto del hierro con la arcilla, marga, piedra caliza, tobosa y otras arcillosas.

En los parages que se hayan hecho cortes grandes del terreno, queda regularmente el camino privado del sol y ventilacion, y por consiguiente debe tenerse allí mucho esmero en dar corriente á las aguas.

Las calzadas de tierra movida deberian ir acompañadas de trecho en trecho por una especie de sumideros verticales, de fragmentos de piedras ó de otro material bueno no comprimido, ya para repartir la humedad por la masa, á fin de que haga cuanto antes asiento, y ya para impedir que chupen y conserven mas agua que la conveniente. Si los materiales son de calidad de retener el agua, deben hacerse alcantarillas cerca de la base para evitar que se acumule; y siempre que haya que trabajar sobre tierras movidas, se pondrán solo provisionalmente los carriles, esperando á que el terreno haya hecho bien su asiento para colocarlos de firme.

Quando se da una curvatura grande á un camino de hierro los carriles de la curva de afuera deberian tener un poco de elevacion en medio de la curva, y unos y otros mas fuertes por la parte lateral. El efecto de esta corta elevacion en medio de la curva seria refrenar la tendencia que tiene un camino asi á alargarse en línea recta, sin rozar con tanta fuerza contra el borde del carril como hemos visto que sucede en los sitios que el camino daba mucha vuelta. Es preciso en cuanto se pueda dirigir estos caminos en línea recta, pero quando se propone uno seguir una curva por cualquier objeto ó motivo que lo exija deben fundirse ó forjarse los carriles para aquel

sitió, segun el caso lo pida, pues es imposible juntar carriles rectos en ellos sin que formen ángulos que tienen el doble inconveniente de ocasionar un movimiento irregular, y aumentar mucho la presion lateral sobre los carriles.

Para calcular la fuerza de los carriles planos, puede considerarseles como un rectángulo, y hallada asi la fuerza se dispondrá el material dando al corte la figura de mayor resistencia. He aqui la regla para estos carriles.

Regla. Multiplíquese 3 veces la longitud de lo que tiene en pies por el esfuerzo sobre una rueda en toneladas, y pártase el producto por la anchura en pulgadas; la raiz cuadrada del cociente será en pulgadas el grueso del carril, suponiendo que forme un plano del mismo grueso. Si esta cantidad de materia se distribuye como se indica en la fig. 19 será bastante fuerte para el objeto.

Ejemplo. Si el carril plano debe tener 4 pulgadas (10 centim.) de ancho, 3 pies (91 centim.) de largo, y el esfuerzo sobre la rueda es de $\frac{3}{4}$ de tonelada: en este caso $\frac{3 \times 3 \times \frac{3}{4}}{4} = 1,$

69 y la raiz cuadrada de 1, 69 = 1, 3. Mediante la cual, una pieza de 4 pulgadas de ancho, 3 pies de largo y 1, 3 pulgadas de grueso, dispuesta segun se ve en la fig. 19 sería bastante fuerte para nuestro caso; y una pieza de carril semejante pesará cosa de 50 libras (22, 7 kilog.)

Hánse fundido carriles mucho mas endebles pero tambien se han cascado, y cuando no jamás han podido conservarse en buen estado. Si se hiciesen con uniformidad estos otros cuyo uso aconsejamos, tendrian bastante fuerza para resistir á la carga sin padecer alteracion alguna permanente; pero si se les diese la seccion que muestra la fig. 19 su resistencia seria casi doble.

CAPITULO VIII.

De los gastos de construccion de un camino de hierro ; del costo anual de conservacion ; del gasto de caballos y máquinas ; del valor comparativo de los portes con caballerias tanto en los caminos de hierro como en los canales y carreteras ; de las ventajas relativas de estos tres medios de conduccion ; y otros cálculos sobre desmontes y terraplenes , segun la diferencia de direcciones , desniveles y demas.

El costo de un camino de hierro comprende una multitud de pormenores difíciles de justipreciar , de manera que siempre habrá alguna incertidumbre en el avaluo que se intente hacer ; mas ordenando con cierto sistema los mas fijos y regulares , quizás podremos disminuir el número de los que son mas eventuales. Otra mira mas importante nos empeña en esta indagacion , cual es la de ponernos en estado de comparar el valor de los diferentes medios de conseguir el mismo fin , y asegurarnos cual es mejor , una vez sentados los datos de un ramo ó clase de comercio , si un canal , una carretera ó un camino de hierro. Y como en una empresa vastísima en que los capitales solo pueden reembolsarse por pequeñas partes ó pagos , es indispensable atenerse á un método , ó á una verdadera economía , mas que en otros negocios menos importantes , el mismo modo de avaluar se puede aplicar á sus diferentes ramos. El éxito de unas obras así grandiosas depende absolutamente de las facilidades y suma equidad de portes que encuentra el público en ellas , y de consiguiente todo lo que se dirija á aumentar aquellas y disminuir estos merece bien meditarse.

Ante todas cosas es preciso considerar el primer costo de construccion de un camino de hierro ; despues el que cada año tendrá , y qué cantidad de toneladas se necesitan transportar por él para cubrir este último suponiendo que se puedan fijar con alguna probabilidad la cantidad de conducciones que por él se harán ; y á la cantidad de toneladas transportadas será preciso añadir lo que se crea necesario para cubrir el gasto de la fuerza motriz y el de las recomposiciones de carros , á fin de conocer la cantidad real y verdadera de toneladas que se vendrán á conducir , ó deben conducirse para traer mas ó menos cuenta.

Si se quiere avaluar una estension dada de camino de hier-

ro es preciso conocer lo que costará una cantidad mayor ó menor de las obras siguientes :

1.º Gastos de esploracion para determinar la eleccion de la línea , formacion de planos y nivelacion del terreno , trabajo de allanarlo y gastos de direccion y vigilancia de las obras.

2.º Valor de las tierras ocupadas por el camino , desmontes , terraplenes , sitios de tránsito , de los vallados , zanjas y alcantarillas.

3.º Gasto de escabacion , y de las calzadas que haya que hacer , y de nivelar el piso.

4.º Costo de las zanjas , alcantarillas , vallas y entradas ó puertas.

5.º Idem de puentes y paredones de refuerzo.

6.º Idem de sillares ó poyos ; piedra quebrada para camadas de los poyos , y para los senderos de las caballerías ; de casquijo para los caminos de la gente de á pie ; de ceniza para poner al rededor de los carriles , y jornales para todo esto.

7.º Idem de carriles , cruceros , clavijas , piezas de parar los carros , plataformas para darlos vuelta y jornales para la colocacion de todo esto.

8.º Idem de las casillas para portazgos , máquinas de pesar , ruedas giratorias , plataformas de transportar , piedras de demarcacion de leguas etc.

9.º Idem de tinglados para las máquinas , y de las máquinas mismas para planos inclinados ; de las cadenas , cables , rodillos ; construccion de pozos y bombas.

10 Idem de empedrado de los tránsitos que cortan los caminos ó calles etc.

11 Costes eventuales por daños y perjuicios hechos á los propietarios de las tierras inmediatas , durante la ejecucion del camino.

Entra despues el gasto anual , que aunque mas incierto que el primero , viene á reducirse á lo siguiente :

1.º Interes del capital empleado , proporcionado al éxito probable de la empresa.

2.º Composicion de carriles , ruedas y plataformas de torno , renovacion accidental de estos objetos , jornales , y gastos de los celadores ó peones camineros.

3.º Recomposicion de senderos , puentes , puertas y cadenas ; y costo de limpiar las alcantarillas , las zanjas etc.

4.º Reparos en los edificios y máquinas de los planos inclinados.

- 5.º Combustible para las máquinas de los planos inclinados.
 6.º Sueldos del ingeniero principal, de los subalternos de este, portazgueros y demas empleados.

Todos estos gastos son casi independientes de la cantidad de géneros que se transporten por el camino, y cuya diferencia es preciso que sea muy considerable para hacerlos subir mas ó menos; y antes de pasar á examinar el gasto de las diferentes especies de motores, acaso será útil formarse una idea del número de carros de transporte que se necesita anden por el camino para reembolsar el capital gastado en su construcción, cuando el primer gasto es poco mas ó menos igual al término medio de los capitales que es verosímil se gastasen, si se construyesen otros caminos de hierro en varias partes del país.

El gasto medio de un camino de hierro bien construido con su carrilera doble no bajará en Inglaterra de unas 5,000 libras esterlinas por milla, comprendiendo en ello todos los por menores que acabamos de indicar, y suponiendo que todas las obras sean muy sólidamente concluidas (1). Ahora bien, si el riesgo que se corre en emplear uno su dinero en un camino de hierro, junto con el tiempo que habrá que esperar para cobrar intereses y repartir un dividendo, es equivalente al riesgo que se corre en emplearlos en una empresa de canales (en lo que no creemos quepa una gran diferencia) el reintegro debe regularse en $8\frac{1}{2}$ por ciento del capital con corta diferencia y suponiendo que el interés actual del dinero sea $3\frac{1}{2}$ por ciento, el dividendo anual que reembolsará el ca-

pital empleado deberá ser por cada milla $\frac{5000}{8\frac{1}{2} + 3\frac{1}{2}} =$ poco mas

de 417 libras esterlinas (10425. fr.).

Los reparos, recomposiciones y otros gastos anuales relativos á los artículos 2, 3, 4 y 5 no subirán á menos de 5 por ciento de su valor primero, y este puede regularse con una

(1) Mr. Chapman calculó los gastos del camino de hierro de Newcastle á Carlisle en 5915 esterlinas por milla, y con las mejoras propuestas por Mr. Jessop subirá seguramente á la cantidad que hemos designado por término medio. En el periódico Quarterly Review, n.º 62, pág. 363 se dice que el término medio general del costo de un gran número de caminos de hierro, ya de carriles estrechos, ya de planos, unos de hierro forjado, y otros de colado, entre todos los cuales componen mas de 500 millas, viene á ser con corta diferencia 4000 libras esterlinas por milla, con doble carrilera. Y advierte el autor del artículo con mucha razon que si se atiende á la imperfeccion que tienen todos estos caminos antiguos hay fundamento para creer que el término medio de su costo, si se hiciesen de nuevo llegaria á las 5000 libras esterlinas por milla.

exactitud suficiente para nuestro objeto á 2000 libras esterlinas por milla. El gasto anual será pues de 100 libras esterlinas por milla; el de los costos de recaudacion, empleados etc. puede subir á 40 libras esterlinas por milla, lo que hace un gasto anual total de $417 + 100 + 40 = 557$ libras esterlinas (13925. fr.) por milla.

Como una libra esterlina tiene 240 peniques; y el año 312 dias de trabajo en Inglaterra tendremos $\frac{557 \times 240}{312} = 428$. Y

asi, obligando á pagar un penique ($10\frac{1}{2}$ cent.) por tonelada y milla, necesitan ser los transportes de 428 toneladas por dia sin incluir los gastos del motor. Mas si los transportes no pasan de la mitad de los dichos, es preciso subir los derechos á 2 peniques (21 cent.) y por este orden á proporcion.

Este ejemplo puede ya dar alguna idea de la cantidad de transportes que se necesita para que un camino de hierro pueda ser una empresa de utilidad; y para hacer comprender aun mejor la estension que debe tener el tráfico en un camino de esta especie, diremos en términos mas claros y perceptibles que es preciso que 142 carros, cargados con 3 toneladas cada uno, corran cada dia toda la línea del camino, si no han de pagar mas que un penique (unos 14 mrs.) y 71 carros todos los dias con la misma carga de 3 toneladas si se les hacen pagar 2 peniques (28 mrs.) por tonelada y milla.

El derecho de 2 peniques por tonelada y milla es el mas fuerte que se debe permitir pagar para cubrir el gasto de un camino de hierro; de manera que siempre que no se pueda contar bajo una racional probabilidad con un peso diario de mas de 200 toneladas, será muy dudoso que un camino de hierro pueda ser una especulación ventajosa para una empresa particular.

El gasto medio de un canal en igualdad de circunstancias puede regularse en el doble de un camino de hierro, esto es, en 10,000 libras esterlinas por milla (1). Los gastos de con-

(1) El autor del artículo citado del Quarterly Review pone una lista de presupuestos de 75 canales de Inglaterra en la cual entran los que han salido mas caros y tambien los mas baratos, y deduce por término medio el de 7946 libras esterlinas por milla, en la construccion de un canal. Pero es bien sabido que esta clase de obras muy rara vez ó nunca se han hecho por el costo que arrojan los tales presupuestos. Antes por el contrario, hemos tenido casos en que han costado doble de lo que en ellos se calculaba, como sucedió al canal de Coventry, al de Birmingham, y de Fazely; al Grand Trunk y otros varios. El canal de la Union costó 22,000 libras esterlinas por milla, y el de Forth-and-

servacion y demas han de ser tambien mucho mayores, y por consiguiente, para que los derechos no sean mucho mas subidos que los de un camino de hierro es preciso que la cantidad de toneladas que se conduzcan cada día por el canal sea poco menos que doble, si ha de dar los mismos ingresos para el reembolso del capital. La ventaja de los canales depende únicamente de la cantidad de mercancías que puede ponerse en movimiento por una potencia determinada. Pero dejaremos esta comparacion para despues de hecho el avaluo del gasto que ocasionan las diferentes especies de motores.

Una carretera regular de 16 pies de ancho (48, 6 decim.) bien construida costará por un término medio al pie de 1500 libras estérlinas por milla, comprendido el valor del terreno, y si los acarreos son considerables no bajarán los gastos de conservacion de 100 libras estérlinas por milla al año. Ahora bien, suponiendo que pueda contarse con un adeudo diario de derechos, y que el capital empleado se haya tomado al 5 por ciento cargando en cuenta la perdida del tiempo destinado á poner el camino en estado de percibir los portazgos no será el gasto anual de menos de 200 libras estérlinas con gastos de administracion, y en este caso el número de toneladas que haya de pagar derechos, y se necesita para cubrir todo este

gasto suma $\frac{200 \times 240}{312} = 154$ cada dia si se quiere que el

derecho no pase de un penique por tonelada y milla.

Parece, pues, que una carretera en que se paguen derechos, traerá beneficio cuando las conducciones que se hagan por ella, no llegan á $\frac{1}{3}$ de las que hacen lucrativo un camino de hierro, suponiendo que los derechos sean los mismos.

Estas comparaciones nos llevan por la mano á la otra parte de nuestro exámen, es á saber, cual es el gasto que ocasiona el uso de las diversas especies de motores.

El gasto relativo de los varios motores que se pueden emplear en un camino de hierro es un punto curioso de indagacion; y siendo necesarios los mismos datos para evaluar el gasto absoluto por un tiempo dado y para un lugar cualquiera, será útil entrar en algunos pormenores á propósito para facilitar los cálculos de los que gusten comparar los costos de diferentes motores.

Clyde 12,400 idem; que es decir que salieron á 192,000 francos por kilómetro, ó sea cosa de unos 4,224,000 reales vellon por legua castellana.

El gasto anual de un caballo se reduce: 1.º al interés del dinero que costó; 2.º á la disminucion de su valor; 3.º al riesgo de perderlo; 4.º al valor de su pienso; 5.º al de sus arreos y herraduras que gaste; 6.º al alquiler de la cuadra; 7.º al salario del mozo que le cuida; 8.º y á las utilidades del empresario.

Segun la duracion media de un caballo de la especie mas á propósito para el servicio de un camino de hierro, los tres artículos primeros pueden reducirse á $\frac{1}{4}$ del precio que costó. El pienso, arreos, herrage etc. no pasarán de 40 libras estér-linas al año; y suponiendo que un mozo cuide de 2 caballos á 2 chelines (2. fr. 50. c.) al dia, subirá el gasto 15 libras estér-linas y 12 ch. mas. Por este órden, el trabajo de un caballo del precio de 20 libras estér-linas llegará á 60 est. y 12. ch. (mas de 1500 fr.) al año, ó tendremos que siendo 312 los dias de trabajo al año el gasto diario de un caballo será de 3 chelines $10\frac{1}{2}$ peniques, ó 186 farthings (unos 19 rs.) y comprendiendo el beneficio del empresario 216 farth. ó 5 fr., 62 cent. por dia.

Pero la fuerza de un caballo que corre 3 millas (4826 met.) por hora, y trabaja 6 horas cada dia, es de 125 libras (17 kil. casi). Luego andará 18 millas, y $18 \times 125 = 2250$ libras, lo que rebajado el peso del carro nos da $\frac{3}{4}$ de tonelada por milla; y ya hemos hecho ver que no es probable que la fuerza motriz pueda transportar mas de 144 veces su equivalencia en peso, ó los $\frac{3}{4}$ de 144 = 108 toneladas por una milla.

Luego los gastos de conduccion con caballerías por un camino de hierro excederán en un farthing, (cosa de $3\frac{1}{2}$ mrs.) en la proporcion de 216 á 108 por lo que hace al motor solamente, es decir, que se puede calcular que costará 2 farth. ($5\frac{1}{2}$ cent.) la tonelada por milla la conduccion de géneros con caballerías por un camino de hierro.

El gasto anual de una máquina loco-motriz de alta presion se reduce á: 1.º el interés del capital empleado en construirla; 2.º el menoscabo que tiene; 3.º los riesgos accidentales; 4.º el importe del carbon y agua; 5.º las recomposiciones etc.; 6.º los salarios de los empleados; 7.º y las utilidades del empresario.

Difícil es averiguar estos pormenores de la esperiencia de los que manejan las máquinas de vapor; calcularemos pues, por via de ejemplo, sobre cantidades que creemos suficientes para cubrir el costo. El importe de la máquina y su carro puede regularse en 50 libras estér-linas por cada caballo de fuerza que represente; y los riesgos y menoscabo que puede padecer

en 10 libras estérlicas por caballo de fuerza, ó un gasto anual de la quinta parte del capital empleado. El gasto de combustible y agua por dia no será menos de 125 libras (57 kil.) de carbon de piedra y 14 pies cúbicos de agua (398 litr.). Suponiendo que el carbon ande á medio chel. la medida de cosa de una fanega, y el agua y costo de cargarla juntamente con el combustible suban á 3 peniques, el gasto anual será de 15 libras estérlicas y 12 chel. Las recomposiciones y demas á razon de 20 por ciento del capital gastado serán cosa de 10 libras estérlicas que es lo menos que pueden costar. Se necesitan un hombre y un mozo de ayudante suyo para cuidar de una máquina de la fuerza de 6 caballos, á razon de 6 chelin. por ambos, ó de un chel. por caballo de fuerza, que hacen 15 libras estérlicas y 12 chel. al año. Por consiguiente el gasto total anual para una máquina de la fuerza de un caballo será de 51 est. y 4 chel. (1280 fr.) al año, ó de 158 farth. cada dia. Esta fuerza es igual á 3000 libras ó á 1^r toneladas por milla en cuanto á la fuerza de tiro, ó rebajando el peso de los carros á una tonelada por milla al dia, y $144 \times 1 = 144$ toneladas por milla sobre los carros, lo que hace subir los por-

tes á $\frac{158}{144} = 1, 1$ farth. (2, 85 cent.) por milla, ó á $1\frac{1}{3}$ farth.

(3, 4 cent.) por milla incluyendo las utilidades del empresario, y todos los demas gastos estraordinarios que pueden ocurrir en un camino de hierro en que se usan carros de vapor.

Parece segun estos cálculos que siempre que un camino no se aleje de las minas de hornaguera bastante para que el precio medio de un carbon igual en calidad al de Newcastle, no suba á mas de 6 peniques (62 cent.) por medida de 125 libras ó de 13 chel. 5 pen. (16 fr. 80 cent.) por tonelada; una máquina loco motriz será $\frac{2}{3}$ menos costosa que las caballerías. Pero se ha supuesto en estos cálculos que $1\frac{1}{2}$ medidas de carbon de las que hacen 125 libras produce el mismo efecto cada dia que la fuerza de un caballo, y que por consiguiente son superiores las máquinas á las que se usan hoy dia: se ha supuesto ademas que el sobrante de vapor sirve para calentar el agua de la caldera, y hace inútil el uso de las calderas que se colocan á orilla del camino para surtirse de agua caliente (1).

(1) El carbon necesario para producir un efecto útil de 144 toneladas conducidas á una milla (1609 met.) sube segun nuestro cálculo á una y media medidas (57 kil.), esto es, á 0, 595 kil por tonelada y milla; y como se han hecho algunas que otras esperiencias sobre el particular, será bueno las comparemos.

99

Cuando el vapor obra por expansion, se consigue más efecto con la misma cantidad de combustible, pero se necesitan entonces mayores cilindros.

El gasto anual para hacer andar un tren de carros por me-

En una experiencia hecha en la mina de hornaguera de Killingworth el 17 enero 1825. 12 carros cargados con $5\frac{1}{4}$ quintales (2756 kil. poco mas ó menos) cada uno, anduvieron dos y media millas en 40 minutos, remolcados por una máquina loco-motriz que consumió cuatro y media pecks (medida llamada así pico) de carbon para producir este efecto. El pico de Newcastle es de $3\frac{1}{2}$ y media libras; pero supondremos que el de la experiencia fuese el pico comun, cuarta parte del bushel y que pesa 21 libras (9 y medio kil.). Segun esto la cantidad de carbon empleada será de $9\frac{1}{4}$ y media libras (42, 67), y el efecto ó las 32, 4 toneladas conducidas á dos y media millas es equivalente á 81 toneladas, transportadas á una milla; ó bien ha sido preciso gastar 17 libras (casi 5 hectogr.) de carbon para conducir una tonelada á dos millas. Debe saberse que la caldera de vapor iba surtida de agua caliente.

En otra experiencia 8 carros con 21, 6 toneladas de carbon fueron remolcados dos y media millas en 36 minutos con 4 picos de carbon, lo que equivale á una tonelada transportada á una milla por 1, 55 libras (7 hectogr.) de carbon.

En otra tercera experiencia 6 carros con 16, 2 toneladas de carbon fueron remolcados dos y media millas en 32 minutos con 5 picos (47, 5 kil.) de carbon lo que equivale á una tonelada conducida á una milla por 2, 6 libras de carbon (1, 18 kil.).

El término medio de estas tres espresiones es 1, 74 libras de carbon. Parece evidente que esta irregularidad ha sido causada por el estado del vapor que se hallaba muy fuerte al principio de los experimentos, y débil al fin. Los carros subian por espacio de una y cuarto milla por un camino cuya pendiente era de una parte por 792, y bajaban despues por el mismo plan, de manera que el efecto medio debió ser poco mas ó menos el mismo que si el camino hubiese estado á nivel.

El resultado de estas experiencias nos ha movido á establecer por base en el discurso de esta obra, que se necesitaban en los caminos de hierro de Newcastle cerca de 5 bushels ó fanegas de carbon de aquel pais (115 kil.) para producir el efecto que en la regulacion de las máquinas de vapor se llama fuerza de un caballo; pero una experiencia mas fresca prueba que se puede conseguir con menos. Resulta efectivamente de un experimento hecho en Killingworth el dia 22 de enero de 1825 que 12 carros que contenian $33\frac{3}{4}$ toneladas de carbon, fueron conducidos á la distancia de 9 y media millas por un carro de vapor que consumió para producir este efecto 360 libras (164 kil.) de carbon. Luego

$33\frac{3}{4} \times 9, 5 = 320\frac{5}{8}$ toneladas conducidas á una milla, y $\frac{360}{320\frac{5}{8}} = 1\frac{1}{8}$ libra por tonelada y milla poco mas ó menos, lo que da una diferencia de cerca de $\frac{1}{8}$

de libra por tonelada y milla respecto á la proporcion que sentabamos. El camino y las máquinas habian servido ya durante algunos años, á excepcion de una corta parte del camino que se ha hecho en hierro forjado, y en la cual se notaba aumento de velocidad en los carros. Pero como un camino de carriles de hierro debe durar bastantes años para ser útil al público, el estado en que se hallaba el camino puede considerarse como un término medio bastante exacto; pues bajo otros respectos no se puede negar que la experiencia se hizo indudablemente para presentar el resultado por el punto de vista mas favorable. Hubiera sido algo mas acertado para nuestro propósito tener el dato fijo del carbon consumido en el espacio de un mes, y el de la cantidad de carbon conducido en el mismo espacio de tiempo á una distancia determinada de la mina.



dio de máquinas de baja presión, las cuales les ponen en movimiento por medio de unas cadenas sin fin debe reducirse:

1.º Al interés del capital gastado en la construcción de la máquina, del edificio en que se coloca, pozos, depósito y bombas; compra del terreno en que se hacen estas obras, cadenas, cilindros y demás piezas de que se compone su mecanismo.

2.º Al menoscabo que tiene, y seguros que hay que pagar.

3.º Gastos de recomposición y renovación.

4.º Combustible y agua.

5.º Salarios de los empleados.

6.º Y utilidad del empresario.

Este modo de emplear la fuerza está limitado precisamente á los casos en que sean muy cuantiosas las conducciones; y debe regularse por lo tocante al gasto de toda la extensión del camino, de la misma suerte que se avalúa el gasto del camino mismo. De lo contrario no podría lograrse un resultado exacto; pero sin necesidad de formar el cálculo, puede asegurarse que el resultado será con cortísima diferencia igual á la quinta parte del gasto que ocasionará el camino mismo de hierro.

Así que, sease el que se fuese el arancel de derechos que se juzguen necesarios para cubrir el gasto del camino, será preciso aumentarle $\frac{1}{5}$ para gastos del motor, cuando la cantidad de géneros que paguen el derecho sea equivalente á 428 toneladas por día, ó $1\frac{1}{4}$ farth. por tonelada y milla.

Restanos averiguar otro gasto, antes que tengamos todos los datos para fijar lo que debe pagarse por el porte de las mercancías, y es el de los carros y gente que los conduce, sea que se gasten máquinas loco-motrices sea que se usen las fijas ó estables.

El capital empleado en carros será por un término medio cosa de 10 libras estérlicas por tonelada, y regulándose las recomposiciones en una estérlica por tonelada al año, el gasto anual será de unas 2 libras estérlicas por tonelada al año, ó de 7 farth. (18 cent.) al día por tonelada incluso el beneficio. Si se pone un hombre por cada carro ó cada tanda de carros que lleve 6 toneladas, el gasto diario á 2 chel. y 4 pen. será 112 farth. El gasto en carros $6 \times 7 = 42$ farth. y el total por día 154 farth. ó 26 farth. por tonelada y día sobre poco mas ó menos.

Ya estamos al presente en estado de comparar las diferen-