

TRATADO DE FERROCARRILES

POR JOSÉ KOLBERG,

Profesor de Mecánica práctica y Construcción de vías de comunicación
en la Escuela Politécnica de Quito (1875.)



ÁREA HISTÓRICA

Noticias históricas sobre la invención de los ferrocarriles.

El método más natural y más antiguo de transporte es el que se verifica en el *piso natural de la tierra*, siguiendo caminos sin arte ninguno. Por instrumentos de transporte servían entonces hombres y bestias de carga. Pero á medida que la civilización ha dilatado sus progresos, se han aumentado también, tanto el número como la magnitud de los objetos de transporte, y consiguientemente se han inventado como otros tantos medios de comunicación *rastras, rodillos y finalmente carros con ruedas* tirados por caballos. Con estos vehículos se conducían, en un principio, las cargas sobre el suelo natural; mas, empleándose así la mayor parte de la fuerza motriz solo en vencer las desigualdades y la blandura del terreno natural, se cuidó de aplanarle y asegurarle, con lo cual se inventó la construcción de los caminos artificiales.

También los carruajes se construyeron, en su origen, de un modo grosero con poca atención al ahorro de la fuerza motriz, al cual comunmente era la de los animales.

El método más excelente de los transportes se verifica por los caminos más aplanados, lisos y duros en que transitan los mejores vehículos, tirados por las fuerzas más baratas, poderosas y de la mayor velocidad posible.

Para cumplir con la primera condición de un transporte ligero, que es un camino de la menor resistencia posible, y para ahorrar, al mismo tiempo, los materiales tan costosos de construcción, que tengan las cualidades pedidas de dureza, lisura y consistencia, se inventaron unos caminos provistos de canales ó concavidades, llamadas *vías*, guiando á las ruedas por una dirección determinada y segura, sobre vigas de madera, ó una serie de piedras labradas que tenían una anchura poco mas considerable que las huellas de las ruedas, é impedían á la vez el descarrilamiento de los vehículos.

La invención de esta clase de vías excavadas en piedra, es tan antigua como lo son las pirámides del Egipto, en donde se pueden reconocer aún en nuestro tiempo. En las inmediaciones de Ciréne (en África) se han observado los vestigios de estos caminos por la extensión de muchas leguas, últimos residuos de la comunicación excelente que había entre las ciudades del desierto tan florecientes en otro tiempo. También los Griegos antiguos emplearon semejantes caminos en las cercanías de sus templos, sirviéndose de ellos para las procesiones solemnes, donde conducían sus gigantescos carruajes del sacrificio, adornados con ramos y con imágenes de sus dioses.

Los Romanos construyeron con preferencia carreteras magníficas, cubiertas con sillares durísimos y bien labrados; rara vez se observa en ellas una vía determinada para las ruedas de los vehículos, la que tampoco era necesaria atendida la grande perfección de toda la calzada.

Las vías de madera se emplearon, por primera vez, en las minas de Alemania. A fines del siglo XVII se ven aplicadas igualmente en Inglaterra, en donde por los años 1602-1649 un cierto *Beaumont* construyó caminos de madera para el transporte del carbón de las minas cercanas á *Newcastle upon Tyne*, ejemplo que en lo sucesivo fue imitado frecuentemente por otras sociedades de minas y establecimientos de Inglaterra. Según se las describe, estas vías se hallaban compuestas de dos hileras de vigas, que tenían una distancia igual á la de las ruedas y aseguradas invariablemente por medio de traviesas de madera, construcción muy semejante á la de los ferrocarriles modernos.

El deterioro rápido de aquellos rieles de madera condujo á la aplicación del hierro, que se halla en tanta copia en Inglaterra; las vigas se cubrían, al principio, con ligeras planchas de hierro y después con barras de hierro forjado de mayor espesor. Mas tarde, en el año 1776, *Benjamin Curr* las reemplazó enteramente por carriles gruesos de hierro fundido, dándoles en sus costados exteriores una elevación destinada á impedir la desvia-

ción de las ruedas y sugetando los mismos rieles sobre largueros de madera. Con el tiempo, se construyeron de mayor altura estos carriles de hierro fundido en su parte media para sugetar solamente sus extremos con cubos de piedra.

Como el hierro fundido no tiene una consistencia notable para oponerse á las fuerzas de fracción, y casi le falta del todo la elasticidad en el caso de choques, se le sustituyó al fin el *hierro laminado*, con cuya invención en el año de 1828 por *Berkinshaw* empezó una nueva época en la construcción de los ferrocarriles; pero en aquellos primeros carriles laminados se observaba todavía la forma combada de los de hierro fundido, tan poco acomodada para una fabricación desembarazada. Finalmente *Robert Stephenson* dió á los rieles, por primera vez, una superficie paralela por encima y abajo, asegurándoles con cuñas de madera en cojinetes de hierro fundido, que tenían por asientos traviesas de encina. Esta construcción se ha conservado en sus partes esenciales hasta hoy día, más por los años 1845—1846 se ha perfeccionado mucho por la invención de las *bridas* (*Éclisse*), que sirven para unir entre sí sólidamente las cabezas de dos rieles consecutivos, sin impedir la dilatación necesaria causada por el cambio de la temperatura. Hoy en día se manifiesta una tendencia á aplicar carriles de acero, y á reemplazar las traviesas de madera, expuestas tan fácilmente á la putrefacción, por una construcción conveniente que consta tan sólo de hierro.

Los ferrocarriles reúnen en sí las mejores propiedades para servir de caminos, puesto que con una solidez extrema se hallan juntas inseparablemente la mayor aplanación, lisura y dureza que pueden imaginarse; así que son los medios mas poderosos y excelentes de trasporte y comunicación. Para comprenderlo mejor, es preciso compararlos con los otros medios principales de viaje y transporte, como son las carreteras que establecen la comunicación por tierra, y los ríos ó canales que la verifican por agua.

La invención de los ferrocarriles no hubiera sido de tan grande importancia, si al mismo tiempo no estuviese acompañada de la invención y perfección cada día creciente de las locomotoras, máquinas de vapor muy poderosas, de grandísima velocidad, que á poca costa proporcionan la posibilidad de hacer pasar á la vez sobre los carriles un gran número de carruajes muy espaciosos, capaces de recibir cada uno hasta 300 quintales ú 80 pasajeros.

Estas propiedades tan ventajosas han procurado á los ferrocarriles una aplicación y extensión que crece cada año, especialmente en los países de grande industria, según se colige de la tabla siguiente que presenta la longitud de los caminos de hierro, conforme iban concluyéndose al fin de varios años, en diferentes estados:

<i>Estados</i>	<i>Longitud de los ferrocarriles en leguas geográ.</i>			
	1860.	1865.	1867.	1869.
Gran Bretaña	2262,9	2882,2	2925,8	3132,2
Alemania	1516,3	1815,6	1948,1	2335,7
Francia	1255,9	1828,8	2111,7	2289,0
Rusia	214,4	555,1	732,2	1241,0
Austria	728,6	868,6	875,3	1148,5
España	258,2	596,2	768,1	940,2
Italia	229,7	497,7	672,6	886,1
Suecia	62,9	185,8	233,4	257,4
Suiza	129,7	174,5	176,4	193,4
Holanda	34,9	86,5	156,3	184,4
Bélgica	232,2	307,9	345,5	367,9
Portugal	17,6	94,3	97,9	108,2
Dinamarca	14,7	56,4	64,4	64,4
Noruega	9,1	32,4	42,4	50,0
Turquía	8,9	8,9	38,5	38,5
Grecia			1,4	1,4
Suma en Europa	6976,4	9990,9	11190,3	13238,3

La extensión actual de todos los ferrocarriles, fuera de Europa, se calcula ser igual á 13092 leguas geográficas, y la de todos los que se hallan sobre el globo terrestre es de 26330,7 (hasta el fin del año 1869), repartiéndose de esta manera:

Europa.....	13238,3	leguas geográficas
América.....	11828,6	„
Asia.....	970,7	„
África.....	174,9	„
Australia.....	118,2	„
Suma.....	26330,7	„

En Europa se procura, ahora, con el mayor empeño establecer comunicaciones directas entre el Norte y Sur, perforando los Alpes, y con los países del Oriente, especialmente con las Indias orientales.

Los ferrocarriles de la América se hallan casi todos en los Estados Unidos y las colonias inglesas de Canadá. El grande camino de hierro “Central pacific-railroad” que une á San Francisco con Nueva-York, tiene una longitud de 713 leguas geográficas y puede recorrerse en 7½ días. A continuación de es-

te ferrocarril se construye otro entre Nueva-York y New-Foundation, para ahorrarse 1070 leguas marítimas ó 4 días en el viaje por mar á Europa. Además, se trabaja mucho en la construcción de otros 300 ferrocarriles de una longitud total de 3255 leguas geográficas, que tienen el destino de enlazar el Norte y el Sur con la grande línea trascontinental.

En las Indias orientales la longitud de los ferrocarriles ya se extiende hasta 1000 leguas geográficas, y el de mayor importancia es el que une Bombay con Kalkutta, el oriente de la península con el occidente.

§ 2.

Comparación de los ferrocarriles con las carreteras.

Los caminos de hierro se diferencian de las carreteras en que tienen carriles (*Rails*) de hierro, entre los que corren las ruedas de los vehículos. Esta construcción de hierro presenta dos ventajas muy notables:

1ª *La resistencia que los carruajes encuentran en los caminos de hierro es notablemente menor* que la que se verifica en las carreteras, aunque estas estén bien empedradas, lisas y en excelente estado: así que *fuerzas idénticas*, en caminos de hierro, pueden transportar cargas en *mayor cantidad*.

En las mejores carreteras horizontales es la resistencia $\frac{1}{30}$, es decir, que una fuerza de tracción igual á la unidad puede arrastrar una carga que es 30 veces mayor, de suerte que un caballo atado á un carro puede llevar consigo una carga que es 30 veces mayor que la cantidad que podría conducir sobre sí. La resistencia en los ferrocarriles es según las circunstancias $\frac{1}{180} - \frac{1}{300}$, resultando que la fuerza de un caballo enganchado á un vehículo que marcha por carriles de hierro, es capaz de conducir 6-10 veces más que en una buena carretera, y 180-300 veces más de lo que puede llevar sobre sus lomos.

2ª *La segunda ventaja notable es de que, á consecuencia de su mayor solidez y lisura, en los caminos de hierro se admiten fuerzas elementales* como son las de vapor de agua, mientras que en las carreteras no se emplean sino fuerzas animales. Entre aquellas ha sido aplicada, hasta hoy día, casi sola la del vapor. Los frecuentes ensayos para aprovecharse de esta fuerza también en las carreteras, que nunca han sido satisfactorios, comprueban la superioridad de los ferrocarriles, y dicha aplicación de locomotoras á caminos empedrados siempre se hallará restringida á casos particulares y á condiciones raras.

El empleo de fuerzas elementales y en particular del vapor, si se compara con el esfuerzo de los animales, tiene también dos ventajas esenciales:

A. *Estas fuerzas elementales proporcionan los medios de obtener una velocidad mucho más crecida.* Pero la mayor velocidad es muy importante, atendido el interés de los viajeros, de la correspondencia y, muchas veces, el del transporte de mercancías. De igual modo, la grande velocidad con que se transita en ferrocarril ofrece las mayores ventajas en la guerra.

Las *Mayores velocidades* son:

- 1) en ferrocarril, trenes comunes, 35—60 kilómetros por hora.
- 2) " trenes de prisa, 60—80 " "
- 3) en carreteras, posta &a. 10—15 " "
- 4) por agua, buques de vapor 10—20 " "

Las *Menores velocidades* son:

- 1) en ferrocarril, trenes de carga, 15—30 kilómetros por hora.
- 2) en carreteras, vehículos de carga, 3—4 " "
- 3) por agua, buques comunes. 2—8 " "

La velocidad admisible en caminos de hierro depende de la solidez de su construcción, siendo por esta causa más crecida en los ferrocarriles de Europa, y menos en los de los Estados Unidos. La mayor velocidad se emplea, por esta razón, en Inglaterra. En este país, *la velocidad efectiva*, es decir contando también la tardanza en las estaciones, es de 60 kilómetros por hora; pero la velocidad que se emplea en camino libre es á veces hasta de un $\frac{1}{3}$ mayor, llegando á 80 kilómetros. Los trenes de posta (mail trains) tienen una velocidad efectiva de 66 hasta 71 kilómetros. De Londres á Liverpool, á una distancia de 323 kilómetros se puede ir en 4 horas sin pararse, lo que da una velocidad efectiva de 81 kilómetros. El tren de posta entre Londres y Perth en Escocia, recorre la distancia de 451 leguas inglesas en 11 $\frac{1}{2}$ horas, caminándose por hora 40 leguas inglesas; la menor solidez de los ferrocarriles de los Estados-Unidos hace, que el tren de posta entre Nueva-York y Washington, tan sólo recorra en 11-12 horas la distancia de 229 leguas inglesas, no teniendo por tanto sino la mitad de la celeridad que se emplea en Inglaterra.

B. *La segunda ventaja que la fuerza del vapor presenta, es de ser mucho más barata* que las fuerzas de animales. Si en primer lugar, comparamos el efecto de una locomotora con el que produce un hombre de carga, *en igualdad de precio*, el primer efecto es 100 veces más considerable que el segundo, por lo ménos en países de grande industria. Así, por ejemplo, en Alemania, cuando se transportan mercancías en bruto [como carbón, madera, metales, trigo &a.], un hombre de carga [con 2 $\frac{1}{2}$ francos de sueldo por día) produce por cada céntimo (=0,01 franco) un efecto de 3700 kilográmetros, quiere decir, que por cada $\frac{1}{100}$ franco traslada en término medio 37 kilogramos á una distancia de 100 metros; mientras que en ferrocarril se obtiene por el mismo precio un efecto de 376625 kilográmetros, el cual es más de 100 veces mayor. El transporte, pues, de cargas de

idéntico peso se puede verificar, gastando lo mismo, á una distancia que por ferrocarril se hace 100 veces mayor, siendo así que en un país provisto de muchos ferrocarriles, el área del terreno que recibe las mercancías á un mismo precio es $100^2 = 10000$ veces más considerable que el área de otro país, en que el transporte sólo se efectúa mediante hombres de carga. Pero, al mismo tiempo, la velocidad de los trenes de carga es por lo ménos 10 veces mayor, de donde se infiere que, en igualdad de tiempo, se puede transportar también por ferrocarril una cantidad de carga que es $10 \times 100^2 = 100000$ veces mayor.

Tal es la relación entre hombres ó bestias de carga y locomotoras, si bien los números son algo más favorables para las bestias, atendido el menor gasto para su sustento y su mayor esfuerzo.

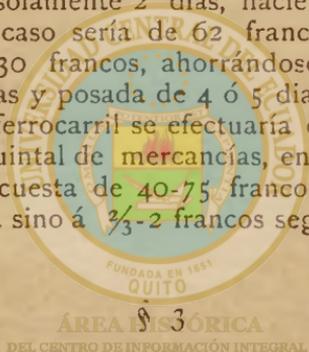
Por lo demás, el efecto que pueden producir hombres y animales de carga, llega muy pronto á un cierto límite que no es puede sobrepasar, porque del gran número que se necesitaría para obtener un resultado que se aproxime al obtenido por locomotoras, nace la grande dificultad de procurarles el sustento y posada necesarios. La facilidad de viajar y de transportar muchísimos artículos de arte ó tráfico en cortísimo tiempo y á un precio módico, es la causa por la que cada especie de industria se ha elevado á un estado mucho más floreciente, en todos los países que están provistos de mejores medios de comunicación y en especial de caminos de hierro. La actividad industrial y mercantil en estos lugares, llega entonces á una intensidad de que es difícil formarse una idea exacta: así, por ejemplo, á la estación Cannon-street en Londres llegan cada día 264 trenes de ferrocarril y parten 261, formando la suma de 525 trenes, de cuyo número comunican 251 trenes entre Cannon-street y Charing-Cross que es otra estación de aquella capital.

Con el menor precio de las mercancías no solamente va aumentando la extensión del terreno en que se venden y compran, sino que también se realizan en mayor cantidad en un mismo territorio. Además, muchos productos de la tierra sólo llegan á ser artículos del tráfico, cuando el precio de su transporte se ha disminuido hasta un cierto límite, resultando que la industria se localiza, siempre, en un cierto distrito al rededor del paraje en donde se encuentran aquellos productos. Este distrito es pequeñísimo ó también imposible en el caso de ser dificultoso el transporte; los caminos de hierro son los medios mas eficaces de dilatarle, y hacen acercarse además, digámoslo así, unos á otros los productos naturales que se hallan á grande distancia y que separados no ofrecerían casi ninguna ventaja. En países sin comunicación sucede, con frecuencia, que grandes riquezas del suelo quedan abandonadas sin producir utilidad, solo por faltar los medios de un transporte barato para utilizarlas en otro lugar, en donde haya el complemento necesario de aquellos productos.

El hierro natural, por ejemplo, no sirve de nada, si no se halla en sus inmediaciones suficiente carbón como en Inglaterra, ó si la distancia entre uno y otro, no se disminuye artificialmente por un precio excesivamente barato de su transporte, como sucede en las provincias del Rhin en Alemania, sirviéndose de ferrocarriles. Las riquezas inmensas de la América del Sur quedan como sepultadas en los bosques inaccesibles y llanuras incapaces de tráfico, no habiendo ningún medio de aprovecharse de ellas. Egluano en las islas del Perú, aunque sea un artículo de poquísimos valor, se hace precioso por la posibilidad que hay de transportarle á poco precio y directamente por buques; pero las maderas raras, los ganados numerosos, los tesoros inmensos de minerales y productos químicos &c. que tiene el continente, no producen ninguna utilidad por falta de caminos y ferrocarriles. Finalmente, países desprovistos de estos últimos, no solamente no logran nada á pesar de sus riquezas naturales, sino que también deben sumergirse cada día más en las miserias de una pobreza extrema, siendo así que la exportacion no llega á equilibrarse con la importación de las mercancías necesarias, y que tampoco la industria interior puede sostener la concurrencia de los países extranjeros.

Ahora, si en segundo lugar, comparamos los ferrocarriles con carreteras servidas por caballos, en aquellos vemos transitar muchos trenes con cargas de grandísimo peso, por ejemplo, con carbón hasta 10000 quintales de peso. Para conducir esta misma cantidad por carruajes tirados por caballos en carreteras, sería preciso emplear 200 caballos, tirando cada uno 50 quintales. Pero la velocidad en ferrocarril para trenes de carga es 5-10 veces mayor, así que para obtener igual efecto deberían emplearse 1000-2000 caballos. Además, el caballo puede trabajar sólo por 8 horas cada día, cuando se quiere aprovechar del mayor efecto que le es posible producir y se desea no debilitar sus fuerzas para lo sucesivo; la locomotora sirve sin interrupción de día y de noche, resultando que un tren de carga, como le hemos supuesto, andando un día y una noche equivale á los esfuerzos de 3000-6000 caballos. Finalmente, se aprovecha tanto más del efecto de un animal, cuanto menor es el número de los que trabajan al mismo tiempo, puesto que unos impiden el libre movimiento de los otros; y al contrario, el número de los trenes que puede transitar en un día por los ferrocarriles es casi ilimitado, en el caso de estar todo bien arreglado. La grande mudanza que se ha verificado mediante los ferrocarriles en Inglaterra, se comprende por el hecho de que al fin del año 1834, no estando acabadas todavía sino 100 leguas inglesas de ferrocarril, viajaban en coches de posta por un año y en toda la extensión de la Gran Bretaña 6 millones de pasajeros; mientras que en el año 1864, caminaron en los ferrocarriles de este mismo reino 500000 pasajeros *cada día*, transportándose además, en el

propio tiempo, 258000 toneladas [1 tonelada=1000 kilogramos] de minerales y mercancías, 35000 bueyes, 1100 perros y 740 caballos. El ahorro total, que se hace caminando en ferrocarril, en vez de viajar por posta en carreteras, ya se calculaba en el año 1845 ser igual á 7 millones de libras esterlinas, cerca del doble de los gastos hechos en pagar estos viajes por ferrocarril. A mediados del siglo pasado, se gastaban 7 libras esterlinas para efectuar el transporte de una tonelada de mercancías entre Lóndres y Birmingham; en el día, este transporte cuesta solamente la vigésima parte de aquella suma. En Méjico, que es tan rico por su naturaleza feliz, no corresponden los medios de comunicación, sino que se hallan en un estado miserable. El mejor camino, al parecer, es el que une la capital con el puerto de Veracruz, teniendo una extensión de 92 leguas, entre las cuales 20 son de ferrocarril. Un ómnibus efectúa el trayecto en 4 ó 5 días, siendo dispuesto para 9 pasajeros, y el precio del viaje es de 200 francos ó 40 pesos fuertes. En Europa, igual viaje tardaría solamente 2 días, haciéndose en carreteras, y el precio en este caso sería de 62 francos; en ferrocarril se podría hacer por 30 francos, ahorrándose al mismo tiempo los gastos de comidas y posada de 4 ó 5 días, siendo así que semejante viaje en ferrocarril se efectuaría en 9 ó 12 horas. El transporte de un quintal de mercancías, en el mismo trecho de Veracruz á Méjico, cuesta de 40-75 francos, mientras que en Europa no llegaría sino á $\frac{2}{3}$ -2 francos según sea la especie de la carga.



Desventajas de los caminos de hierro cuando se comparan con carreteras.

Los caminos de hierro servidos por locomotoras tienen también sus inconvenientes, que son principalmente estos dos:

1º *La construcción de un ferrocarril destinado para locomotoras es mucho más costosa que la de una buena carretera; pues por término medio, cuesta 7 veces más, á causa de que no se admiten en él ni pendientes tan rápidas, ni curvas tan cerradas como en las carreteras. Todo el efecto de las locomotoras depende del rozamiento entre sus ruedas motoras y los carriles, que á su vez varía con la presión que la locomotora ejerce contra estos. En las subidas esta presión va en disminución, más crece la resistencia que se opone al movimiento, resultando que la pendiente máxima en los ferrocarriles no debe exceder comunmente de $\frac{1}{10}$ - $\frac{1}{8}$, al paso que en carreteras se admiten pendientes de $\frac{1}{20}$ - $\frac{1}{15}$. Del mismo modo, no se adoptan en ferrocarriles sino curvas de grandísimo radio, puesto que se debería moderar de-*

masiado la velocidad, y habría gran peligro de descarrilamiento y deterioro considerable de las ruedas. De todo esto se concluye, que en la construcción de los ferrocarriles se multiplican las obras de tierra y arte, en cada una de sus especies, como son los desmontes y terraplenes, los muros de contención, puentes, viaductos y túneles.

2º *Igualmente son de mucho mayor precio los aparatos del transporte* que se usan en los ferrocarriles, es decir, las locomotoras y vagones, á los que se añaden además las disposiciones para la seguridad, como que deben establecerse en los puntos de encuentro con otros caminos ó sendas, para hacer las señales necesarias &a.

Estas dos razones con frecuencia hacen que el establecimiento de un camino de hierro sea imposible, ó que sea *menos rentable* que la construcción de una carretera.

Sobre esta rentabilidad conviene notar cuatro principios comúnmente recibidos entre los ingenieros:

1º principio: *Las carreteras favorecen á los ferrocarriles y éstos á aquellas, si las carreteras tienen una dirección más ó menos perpendicular á los ferrocarriles.* La razón es evidente.

2º principio: *Las carreteras que tienen una dirección paralela á los caminos de hierro, sólo pueden sostener la concurrencia, si los trechos son cortos.* Los gastos para el transporte de cargas, según la naturaleza de estas, son 8-3 veces mayores en las carreteras [suponiendo un país industrial], cuyo acrecentamiento de reembolsos solo puede compensarse por el trascargue en las estaciones, si las distancias son pequeñas.

3º principio: *Las carreteras son á menudo preferibles á los ferrocarriles en los países que tienen altísimas y dificultosas montañas.* Porque los caminos de hierro, en tales parajes, no se pueden ejecutar sino á mucha costa de obras de desmonte y terraplén, túneles y viaductos, necesitando un caudal muy considerable para su primer establecimiento. Pero, además de esto, es también muy costoso el servicio por locomotoras, puesto que su efecto, en comparación al de caballos, es tanto más débil, cuanto más largas y empinadas son las *rampas*. Por fin, si la resistencia causada por el roce en una carretera es $\frac{1}{30}$, y en ferrocarril $\frac{1}{100}$, bastará en el último una fuerza = $\frac{1}{10}$ para arrastrar la misma carga, que en carreteras exige una fuerza igual á la unidad, suponiendo en uno y otro caso que el camino sea horizontal. Más, habiendo pendientes en ambos, por ejemplo de $\frac{1}{20}$, entonces la carretera ofrecería una resistencia de $\frac{1}{30} + \frac{1}{20} = \frac{1}{12}$, y el ferrocarril una igual á $\frac{1}{30} + \frac{1}{100}$ ó próximamente igual á $\frac{1}{20}$, desapareciendo la resistencia del roce cuando se compara á la causada por la rampa, así que el ahorro obtenido por el ferrocarril estaría solamente en la relación 20:12=5:3. De donde se puede concluir como principio general, que también al construir caminos de cualquier clase, según las reglas de

una sabia economía, se debe propender á evitar rampas largas y empinadas, tanto, cuanto más perfecta es su superficie ó calzada; por cuya razón todas las pendientes de un camino de hierro son menores que las que se admiten en carreteras y caminos comunes.

4º principio: *Las carreteras son por lo común preferibles á los ferrocarriles en los países, cuyo comercio no ha llegado todavía á un cierto grado de intensidad y ni llegará á éste en breve tiempo.* Sólo una cierta cantidad de cargas y pasajeros proporciona la rentabilidad de un camino de hierro. En ciertos parajes de Alemania, por ejemplo, se ha comprobado que el ferrocarril es menos rentable que la carretera, si el transporte anual por toda su longitud no asciende á cerca de 100000-150000 toneladas ó á un número correspondiente de pasajeros. Sin embargo, á fin de apreciar bien la rentabilidad de un ferrocarril, es preciso considerar muchas circunstancias, en especial, qué tarifa se podrá establecer y si hay ó no carreteras ó buques de concurrencia.

Excepciones de la última regla se verifican en ciertas circunstancias particulares. Así, en los Estados Unidos, suele penetrarse en terrenos completamente incultos y desiertos, construyéndose caminos de hierro al mínimo precio posible y pagando los gastos por la venta de los territorios adyacentes, lo que en estas regiones siempre es posible, por ser muy grande el número de los inmigrantes que, con preferencia, eligen las cercanías de los ferrocarriles ya establecidos.

Seguridad de la marcha. Frecuentemente se opina que una desventaja distintiva de los ferrocarriles es la menor seguridad. Lo contrario es lo verdadero; porque, como comprobado por larga experiencia, puede establecerse el principio de *que viajar en coches de posta en carreteras es mucho más seguro que andar á caballo, y que el viaje más seguro se verifica caminando en ferrocarril.* Cuanto más artificial es el método del transporte y cuanto más crecida es la velocidad y, al parecer, el peligro del viaje, tanto más numerosos y eficaces son también los medios de procurar la seguridad, y la circunspección de los que se ocupan en efectuar el transporte.

Este hecho se evidencia alegando el número de averías, según se ha observado durante una larga serie de años. Dos sociedades de posta distinguidas en Francia son “les messageries impériales” y “les messageries générales”; he aquí los números relativos que con la mayor certeza manifiestan el de los casos funestos:

Messageries impériales.		Messageries générales.	
Muertos:	Heridos:	Muertos:	Heridos:
1:334,553	1:29,676	1:381,065	1:30,082

El segundo número, por ejemplo, nos indica que entre

29676, es decir, próximamente entre 30000 hombres que camianan en posta, sólo uno habrá de temer una herida ó contusión, que muchas veces es muy ligera.

Compárense con éstos números los desastres que acontecen, por ejemplo, en la América del Sur, sólo en el simple acto de cabalgar; ¡pero cuántas averías no se ven en un viaje largo á caballo! Sinembargo, las dos sociedades francesas que hemos mencionado, no son las que en Europa se distinguen por la mayor seguridad de la marcha.

Mucho mayor es aún la seguridad con que se camina en ferrocarriles.

El número de todos los que han perecido de una muerte violenta, caminando por ferrocarriles, se ha averiguado en el año de 1863 ser igual á 35, por toda la extensión de la Gran Bretaña, y el número de los heridos ó lastimados en la misma ocasión se hallaba ser igual á 401. Entre los 35 muertos, los 21 tenían ellos mismos la culpa por falta de precaución. Siete de éstas casualidades acontecieron á la vez en un mismo tren, siendo así que una vaca entró en el espacio reservado para los rieles y el tránsito del tren, el cual atropelló al animal padeciendo por esta causa un descarrilamiento. Pero en el mismo año circulaban por la Gran Bretaña 2,917,660 trenes de ferrocarril, y entre ellos sólo hubo 6 con averías de pasajeros sin culpa de su parte. Así es que entre 83000 trenes hay uno en que acontece la muerte de un pasajero, y entre 208404 trenes hay uno en que esta muerte se verifica sin culpa del pasajero. Según ésto, si á cada minuto pasara un tren y así por día y noche, entonces sólo después de 144 días y noches habría uno con éxito fatal para uno de los pasajeros. En el propio año quedaron muertos por el rayo solamente en Inglaterra y Wales 17 personas.

En el año 1862 hubo estas muertes violentas [excepto el suicidio] en la Gran Bretaña.

personas,

á causa de fracciones y contusiones . . .	5397	267	entre 1 millón,
quemados ó escaldados	2767	138	„ „
ahogados en agua	2463	122	„ „
asfixiados	1219	61	„ „
envenenados	216	13	„ „

De donde se colige con evidencia que accidentes funestos en ferrocarril son mucho más raros que los otros de la vida común.

Conforme á otras observaciones hechas en varios caminos de hierro se tienen los números siguientes:

	Muertos:	Heridos	Suma:
Gran Bretaña [término medio de 10 años].....	1:6,680,324	1:350,000	1:333,058
Bélgica.....	1:8,861,804	1:2,000,000	1:1,611,237
Francia [término medio de 1853 y 1854].....	1:1,703,123	1:479,814	1:375,092
Prusia [término medio, 1851-1856].....	1:8,774,197	1:4,387,098	1:2,924,732
Baden [Alemania 10 años].....	1:17,514,917	1:1,154,331	1:1,082,186
Estados Unidos.....			1:188,000

Según esto, la mayor seguridad se verifica en Prusia [Alemania] y Bélgica, y la menor en los Estados Unidos, á pesar de que en el último país no se corre con tan grande velocidad.

Si éstos mismos números se comparan con los que hemos notado más arriba acerca de las postas francesas, se colige con evidencia que en ferrocarril se anda con mucho menor peligro que en carretera. Así, por ejemplo en los ferrocarriles de la Prusia parece de una muerte violenta tan sólo una persona, mientras que en las "messageries imperiales" perecen 26; y la relación entre los heridos y estropeados en los mismos casos es como 1:146.

Pero, tan grande seguridad puede verificarse tan sólo, observando con la mayor exactitud las reglas que prescribe la ciencia, tanto sobre la construcción de los ferrocarriles como sobre su servicio.



Comparación de los ferrocarriles con la navegación.

Los caminos de hierro ofrecen también grandes ventajas cuando se comparan con los ríos y canales:

1º *En los ferrocarriles es la velocidad mucho más crecida.*

Los buques de vapor que son los vehículos de mayor velocidad en agua, llegan á hacer solamente 20-22 kilómetros por hora.

2º *El transporte por agua está sujeto á circunstancias casuales, como son la mudanza del nivel de las aguas y la dirección ó intensidad variable del viento, en cuyo caso varía también la capacidad de carga, la velocidad y el término de la entrega.*

3º *En las zonas más frías, el transporte por agua queda interrumpido cada año y por muchas semanas ó meses á causa del hielo, lo que no sucede con tal proporción en los caminos de hierro, á pesar de que la copia de la nieve arrastrada por el viento en los desmontes estorba á veces la comunicación por algunas horas.*

4º *El establecimiento de canales depende de ciertas condiciones hidrográficas, mientras que la construcción de ferrocarriles es posible casi en cualquiera parte.*

Al contrario, las comunicaciones por agua proporcionan también ventajas que son las siguientes:

a) La resistencia es mucho menor que en caminos de hierro,

cuando la velocidad que se pide, es pequeña.

b) Se puede aprovechar del viento y de la corriente.

c) Los ríos los ha construido la naturaleza, y no raras veces demandan *poco caudal para la conservación* de su estado navegable. Los canales exigen comunmente grandes gastos para su primer establecimiento.

d) La navegación puede efectuarse por cada uno en particular y es muy acomodada para el transporte de cargas frágiles.

Perdonet dá la siguiente tabla sobre las resistencias verificadas en los diferentes medios de comunicación:

Carreteras comunes, en estado bien conservado.....	$\frac{1}{30}$	=0,033
Caminos de madera.....	$\frac{1}{70}$	=0,014
Ferrocarriles [velocidad moderada de 32 kilóm.].....	$\frac{1}{200}$	=0,005
„ [grande velocidad de 48 kilóm.].....	$\frac{1}{100}$	=0,010
Canales anchos, muy despacio.....	$\frac{1}{1000}$	=0,001
„ „ velocidad doble.....	$\frac{1}{250}$	=0,004
„ „ velocidad cuádrupla.....	$\frac{1}{62}$	=0,016
Canales angostos, velocidad pequeña.....	$\frac{1}{60}$	=0,017
„ „ velocidad doble.....	$\frac{1}{30}$	=0,033
„ „ velocidad cuádrupla.....	$\frac{1}{15}$	=0,066

en lo cual se supone que el transporte en los canales se efectúa por buques de construcción ordinaria, que sufren una resistencia proporcional al cuadrado de la velocidad. Otros buques, como son muchos movidos por vapor, que tienen una proa muy afilada, sufren menor resistencia, la cual también crece menos que el cuadrado de la velocidad. Sin embargo, una velocidad igual á la de las locomotoras exigiría una fuerza motriz enorme para vencer la resistencia correspondiente.

El transporte por ríos ó canales es muy barato, cuando se trata de mercancías, mayormente de mercancías en bruto, que por este medio se transportan en grandísima cantidad, pero con mucha lentitud. Sin embargo, los canales sostienen con dificultad la concurrencia con los ferrocarriles, según parece por falta de la velocidad del transporte, y por no haber sistemas de canales y ríos tan perfectamente desarrollados como se ha verificado en los ferrocarriles.

De todo esto se colige la suma importancia de los caminos de hierro, cuya construcción, conservación y práctica han adquirido en cortísimo tiempo una perfección admirable, y así se comprende cómo hay una ciencia entera y bien cultivada que se ocupa sólo de los caminos de hierro.

Moteres ordinarios en los caminos de hierro.

Locomotoras y su invención. La ventaja notable de los ferrocarriles nace en gran parte de poder emplearse en ellos las fuerzas elementales, sobre todo la fuerza del vapor, si bien no pocas veces se aplican también animales en caminos cortos, como son los que se establecen en las calles de ciudades ó en el interior y las inmediaciones de grandes fábricas.

La acción del vapor se verifica dentro de máquinas que, ó están siempre fijas en un mismo lugar *-motores fijos-*, ó que cambian del lugar con el tren *-motores movibles-*, llamados *locomotoras*.

Las locomotoras son unas máquinas de vapor que montadas sobre la armazón de un carruaje, se mueven por sí mismas, transmitiéndose el movimiento de los émbolos á ruedas motoras por medio de bielas y manivelas.

Las partes principales de las locomotoras son:

1) *La caldera* que consta: a) *de la caja de fuego*, que se halla en la parte posterior y está rodeada de agua por todos lados, b) *de la caja de humo y de la chimenea*, en la parte anterior, c) *de la caldera misma en medio*. La llama y los productos del combustible pasan desde la caja de fuego y hogar á la caja de humo, atravesando 125 y más tubos de cobre, que están completamente sumergidos en el agua de la caldera, formándose de esta manera una grandísima superficie de caldeo, cuál se necesita para producir una copia suficiente de vapor, evitándose al mismo tiempo dimensiones de la caldera que sean demasiado crecidas. Como el tiro natural del fuego se debilitaría mucho por la presencia de estos hervideros angostos y por la poca altura de la chimenea, se procura aquel aumentar y hacer muy vivo artificialmente, introduciendo en la parte inferior de la chimenea los vapores después de haber actuado sobre los émbolos, á fin de que arrastren consigo violentamente los productos de la combustión al aire libre.

2) *La máquina*, que es siempre doble, es decir que hay un cilindro de vapor á cada lado de la caldera. Los vástagos de los émbolos están enlazados con las bielas, como en otras máquinas, y el movimiento oscilatorio de las bielas se convierte en el circular de las ruedas motoras por medio de manivelas. La distribución conveniente del vapor se verifica en las cajas de distribución establecidas separadamente al lado de cada cilindro de vapor, moviéndose las correderas ó pasadores por medio de dos excéntricas ajustadas á cada extremo del eje motor. Las dos manivelas forman entre sí un ángulo recto, resultando que el émbolo de un cilindro siempre está obrando con la máxima inten-

sidad, cuando el émbolo del otro cilindro ha llegado á uno de los puntos muertos, es decir, á los extremos de este cilindro, en donde la presión del émbolo es cero.

3) *El carruaje mismo* que consta de una armazón ó bastidor de encina y hierro, la cual descansa por medio de resortes sobre los ejes y ruedas. Los ejes son de acero y las ruedas de hierro forjado, por lo menos sus *piñas, calces y rayos*. Cuando el ferrocarril por toda su longitud no tiene sino curvas muy abiertas, los tres ejes de la locomotora se hallan fijados en una posición invariable, tanto entre sí, como en relación al bastidor; si bien no se impide su jiro libre, lo que es necesario porque las ruedas forman una sola pieza con los ejes, no pudiendo jirar sin ellos. En el caso de tener el ferrocarril curvas menores, se hace algo movable á la derecha é izquierda el eje del medio, dando á sus ruedas la aptitud de poder adaptarse á las curvaturas que los rieles afectan. Según otra construcción, se coloca la parte anterior de la locomotora sobre una armazón separada, que puede algún tanto jirar al rededor de un gorrón vertical, y como esta armazón lleva también dos ejes y cuatro ruedas, la locomotora, según esto, tiene 4 ejes y 8 ruedas.

En estas locomotoras exige el movimiento de traslación, que la adhesión de las ruedas motoras á los carriles ó sea el rozamiento de resbalo entre unos y otros, sobrepuje á la fuerza motriz indispensable para producir aquel movimiento; porque si esta condición no se verificase, las ruedas motoras jirarían en idéntico lugar del espacio, resbalando sobre los rieles, sin rodar en ellos, no haciendo andar á la máquina ni al tren atado á ella. A fin de poner en movimiento todo un tren y continuar su velocidad adquirida, es preciso que dicha adhesión tenga mayor intensidad que la suma de todas las resistencias verificadas en todo el tren por el rozamiento, la presión del aire que debe desalojarse, la dificultad de las subidas, los sacudimientos &.

La primera máquina locomotora se construyó en 1803 en Londres por *Trevethick*, y fué destinada para correr en las calles y carreteras empedradas, y en el año 1804 se movía el primer tren de carbón sobre ferrocarriles. Estas máquinas ya contenían el hogar interior, la salida del vapor por la chimenea, la alta presión del vapor, y además era completamente lisa la circunferencia de las ruedas, efectuándose la traslación por sola la adhesión. Pero, el peso de toda la máquina [aunque solamente de 4 toneladas] era demasiado grande para los carriles débiles de hierro fundido que entonces se empleaban, y por otra parte era demasiado pequeño para producir el roce suficiente por debajo de las ruedas motoras, cuál se necesita para vencer la resistencia de un tren considerable. Esta doble dificultad producía un error que por largo tiempo se oponía á la última perfección de las locomotoras. Después se supuso que la adhe-

sión de las ruedas motoras era demasiado débil para arrastrar grandes cargas. Consiguientemente, se construyeron locomotoras, cuyas ruedas motoras en su contorno estaban provistas de muchos clavos, que engranaban en la madera de los largueros al lado de los carriles; ó también se colocaba entre los carriles una cremallera fija ó barra de dientes en que engranaba una rueda dentada de la máquina (*Blenkinsop*, 1811). *W. Blackett* fué el primero que volvió á aplicar la construcción de ruedas lisas (1814), comprobando experimentalmente la suficiencia de su adhesión.

Pero, como inventor verdadero de las locomotoras puede considerarse el célebre ingeniero *Georg Stephenson*, á quien es debida la grande perfección de que está dotada, hoy día, esta clase de máquinas. Entre los años 1814-1830 construyó un gran número de locomotoras, perfeccionándolas, cada vez más, con las invenciones más notables. Efectuando, pues, el movimiento de traslación por la sola adhesión de las ruedas motrices y dando mayor perfección á los carriles y á la vía, por aplicación del hierro laminado, empleó resortes elásticos entre la máquina y los ejes, á fin de moderar la violencia de los sacudimientos; utilizó la salida del vapor por la chimenea para obtener un tiro fuerte en el hogar y una cantidad mucho más crecida de vapor, á cuyo fin construyó también, por primera vez, la grande multitud de los hervidores en el interior de la caldera, destinados á aumentar la superficie de caldeo. Esta última medida era la más esencial; pues, por falta de esta condición en la construcción de las primeras locomotoras, la velocidad de éstas no excedía de 6 á 10 leguas inglesas. Además de esto, dió á sus máquinas dos cilindros de vapor, seis ruedas, disposiciones perfectas para hacerlas marchar en ambos sentidos, y finalmente una perfección tan grande en todos sus detalles, que por largo tiempo sirvieron de modelo para toda Europa y América; y hoy día, no existe en la locomotora parte alguna esencial que no se deba á *Georg Stephenson* ó á su hijo *Robert Stephenson*.

A fin de obtener locomotoras muy poderosas, deberá aumentarse, cuanto se pueda, el roce entre los carriles y las ruedas motoras, lo que se ha obtenido: 1] Enlazando entre sí firmemente las ruedas de varios ejes [por bielas de acoplamiento] para que todas éllas sirvan igualmente de ruedas motoras; 2] Aumentando directamente el peso de la locomotora; 3] Uniendo con la locomotora el *ténder*, es decir, el carro de agua y carbón, de suerte que ambos formen una sóla máquina.

(Continuará).