

Problemas ferroviarios

Vamos a tratar en este trabajo de plantear, formular y resolver en términos generales, que luego podrán cifrarse en particular, unos cuantos problemas, que no son más que distintos casos de los de construcción de nuevos ferrocarriles, abandono de otros hoy en explotación y competencia del transporte por carretera, que tanto preocupan o, por lo menos, ocupan la atención y se discuten en los momentos actuales. Ahora bien, vamos a enfocarlos desde un punto de vista que, con ser el de mayor interés para todos, no ha conseguido aún la debida consideración, por no ser de particular interés para nadie.

La mayor parte de los estudios hechos hasta hoy lo han sido: unos, a través del prisma de las Compañías o del Estado, considerado como una Compañía más (¿qué otra cosa es el estudio de la rentabilidad de las líneas en construcción?); otros, a través del de las regiones a las que, al obtener un beneficio sin esfuerzo propio aparente, no les importa el sacrificio general que pueda representar, y unos y otros apelando a un hipotético interés general en todos los casos en los que, a pesar de sus esfuerzos, no salía bien la cuenta para la tesis que se trataba de defender. Aun en los que, excepcionalmente, parece no están adscritos a ningún interés particular y estudian los problemas de un modo objetivo, se parte de una rentabilidad calculada a base de una cosa que, como las tarifas, resulta relativa y caprichosa hasta cierto punto, aun respecto al mundo del capricho y la relatividad en que vivimos.

Pretendo en éste echar al campo ese interés general del que tanto se habla, buscando encontrarle acogedor para el particular, pero que, en realidad, muy pocos defienden y muchos atropellan, y que, en toda su generalidad, en los problemas que vamos a plantearnos, no entiende ni le preocupan tarifas y rentabilidades, medios únicamente de lucro de unos bolsillos particulares a costa de otros, aunque bastante más numerosos (y, por lo tanto, más generales) los segundos que los primeros.

El planteamiento de los problemas, desde el punto de vista de la economía social, debe hacerse comparando el trabajo que representan las distintas soluciones, para decidirse por aquella que exija el mínimo, a igualdad de las demás condiciones. Ese trabajo vendrá en cada momento apreciado por el coste. Es claro que a formar el interés general entran, además del coste, otros factores, como son la comodidad y la rapidez, que en casos especiales podrán tener una influencia incluso decisiva, y que en cada uno de ellos se podrá apreciar por el sacrificio económico que para disfrutarlos estén dispuestos a hacer los que los utilicen, afectado por distintos coeficientes.

El estudio que vamos a realizar es estrictamente económico, sin que esto represente negar importancia mayor o menor en cada caso a las demás condiciones. El sistema general será formular y comparar los costes, para, de su comparación, deducir la solución más conveniente desde el punto de vista de la economía social.

En los transportes, tanto por carretera como por ferrocarril, de los que nos vamos a ocupar, puede considerarse de un modo quizá suficientemente apro-

ximado para estos ensayos que los gastos se componen de dos sumandos: uno, fijo e independiente del tráfico, y otro que varía proporcionalmente a aquél. El primero lo integran el coste de establecimiento de la vía con todos sus accesorios fijos y los gastos fijos de la explotación; el segundo, el coste del material móvil y los gastos variables de la explotación.

Los gastos de explotación, tanto fijos como variables, pueden fijarse en su valor anual. Si en ellos están, como deben, incluidos los correspondientes a conservación de la vía y reposición del material móvil y se pudiera considerar resuelto el problema para la eternidad y a la Humanidad solidarizada a través de las sucesivas generaciones, no habría que hacer intervenir para nada los costes de establecimiento de la vía y del primer material móvil, cuyo esfuerzo estaría a cargo de la generación que lo realizase y en beneficio de todas las siguientes. Pero en la sucesión de los tiempos cambian los problemas, y puede pensarse que los medios que hoy lo solucionan sean perfectamente inservibles al cabo de unos años más allá de nuestra obligadamente corta previsión, y, además, los hombres no se sienten tan desprendidos como para despreciar su esfuerzo en beneficio de la posteridad, aunque sirvieran. Por esto, es necesario tener en cuenta en los gastos anuales una fracción $\frac{1}{n}$ (simplemente amortizadora) de los de establecimiento, siendo n el número de años hasta los que puede llegar nuestra previsión y dentro de la vida de una generación.

llamando:

- f , a los gastos fijos por kilómetro de longitud;
- L , a la longitud en kilómetros;
- v , a los gastos variables por unidad de tráfico;
- T , al número de unidades de tráfico, toneladas o viajeros por kilómetro, y
- G , al coste total de transporte de ese tráfico, podemos establecer:

$$G = f \cdot L + v \cdot T$$

Ahora bien: si C es el coste de primer establecimiento del camino y material fijo por kilómetro, y m es la parte fija de los gastos de explotación, incluida la correspondiente a conservación, también por kilómetro,

$$f = \frac{C}{n} + m$$

Y designando por M el coste del primer material móvil por unidad de tráfico; b , la parte variable de los gastos de explotación, incluida la correspondiente a conservación del camino y reparación del material móvil, también por unidad de tráfico; H , el coste del traslado del viajero o de la tonelada desde el origen al vagón y desde éste al destino, y r , el recorrido medio sobre el ferrocarril del viajero o de la mercancía:

$$v = \frac{M}{n} + b + \frac{H}{r}$$

Este último sumando no existe, por regla general, en el transporte por carretera, especialmente para las

mercancías, y prescindiremos de él en las expresiones correspondientes, siendo el valor de H que se consigna en las de transporte por ferrocarril el coste de las operaciones que, como la de transbordo de camión a vagón y viceversa, no tengan lugar en el transporte por camión, que es como si fuera la diferencia de los gastos de esa especie en uno y otro medio.

En todo lo que sigue designaremos con esas letras sin acento, y con los subíndices que sean necesarios, los valores correspondientes al ferrocarril, y por las mismas acentuadas las que se refieren al transporte por carretera. Así tendremos:

$$G = \left(\frac{C}{n} + m \right) L + \left(\frac{M}{n} + b + \frac{H}{r} \right) T$$

$$G' = \left(\frac{C'}{n} + m' \right) L' + \left(\frac{M'}{n} + b' \right) T'$$

Problema número 1

a) Para enlazar dos lugares entre los que exista o pueda existir un tráfico determinado, ¿cuándo será más conveniente, desde el punto de vista de la economía social en el coste del transporte, construir una carretera y cuándo un ferrocarril?

Establecidos los costes de transporte y teniendo en cuenta que, siendo las mismas las unidades a transportar, los tráficos serán proporcionales a las longitudes:

$$\frac{T}{L} = \frac{T'}{L'} = d = \text{densidad de tráfico por km} \begin{cases} \text{t m-km/km} \\ \text{viajeros-km/km} \end{cases}$$

y, por lo tanto,

$$T = d \cdot L \quad T' = d \cdot L'$$

y tendremos:

Coste del transporte por ferrocarril:

$$G = \left(\frac{C}{n} + m \right) L + \left(\frac{M}{n} + b + \frac{H}{r} \right) d \cdot L$$

Coste del transporte por carretera:

$$G' = \left(\frac{C'}{n} + m' \right) L' + \left(\frac{M'}{n} + b' \right) d \cdot L'$$

Si $G < G'$, convendrá construir el ferrocarril, y, en caso contrario, la carretera. Establezcamos la condición $G < G'$:

$$\left(\frac{C}{n} + m \right) L + \left(\frac{M}{n} + b + \frac{H}{r} \right) d \cdot L < \left(\frac{C'}{n} + m' \right) L' + \left(\frac{M'}{n} + b' \right) d \cdot L'$$

de la que se deduce

$$d > \frac{\left(\frac{C'}{n} + m' \right) L' - \left(\frac{C}{n} + m \right) L}{\left(\frac{M'}{n} + b' \right) L' - \left(\frac{M}{n} + b + \frac{H}{r} \right) L}$$

$$= \frac{\frac{C'}{n} + m' - \left(\frac{C}{n} + m \right) \frac{L'}{L}}{\left(\frac{M'}{n} + b' \right) \frac{L'}{L} - \left(\frac{M}{n} + b + \frac{H}{r} \right)}$$

o bien

$$\left[\left(\frac{M'}{n} + b' \right) \frac{L'}{L} - \left(\frac{M}{n} + b + \frac{H}{r} \right) \right] \times \\ \times d > \frac{C'}{n} + m' - \left(\frac{C}{n} + m \right) \frac{L'}{L}$$

condición para que sea conveniente construir el ferrocarril.

Aplicación.—Suponiendo:

$$C = 600\,000 \text{ ptas./km} \quad C' = 150\,000 \text{ ptas./km}$$

$$m = 40\,000 \text{ ptas./km} \quad m' = 1\,000 \text{ ptas./km}$$

$$n = 50 \quad \frac{L'}{L} = 1$$

para mercancías:

$$M = 0,06 \text{ ptas./t m-km} \quad M' = 0,12 \text{ ptas./t m-km}$$

$$b = 0,03 \text{ ptas./t m-km} \quad b' = 0,28 \text{ ptas./t m-km}$$

$$H = 1,20 \text{ ptas./t m}$$

para viajeros:

$$M = 0,05 \text{ ptas./viajero-km} \quad M' = 0,06 \text{ ptas./viajero-km}$$

$$b = 0,01 \text{ ptas./viajero-km} \quad b' = 0,06 \text{ ptas./viajero-km}$$

$$H = 2 \text{ ptas./viajero}$$

Si el tráfico fuese sólo de mercancías sería precisa, para determinar la conveniencia del ferrocarril, una densidad:

$$d_m > \frac{\frac{600\,000}{50} + 40\,000 - \left(\frac{150\,000}{50} + 1\,000 \right)}{\frac{0,12}{50} + 0,28 - \left(\frac{0,06}{50} + 0,03 + \frac{1,20}{r} \right)}$$

$$= \frac{48\,000}{0,2512 - \frac{1,20}{r}} \text{ t m-km/km}$$

o sea

$$\left(0,2512 - \frac{1,20}{r} \right) \cdot d_m > 48\,000$$

Lo primero que salta a la vista es que no puede convenir con los datos supuestos un ferrocarril en el que el recorrido medio

$$r < \frac{1,20}{0,2512} = 4,78 \text{ km}$$

que corresponde en la fórmula general a

$$r < \frac{H}{\left(\frac{M'}{n} + b' \right) \frac{L'}{L} - \left(\frac{M}{n} + b \right)}$$

y, por tanto, uno cuya longitud sea menor que dicho recorrido. Ahora bien: en aquellos ferrocarriles, como los mineros, en los que $H=0$, por hacerse la carga directa en el punto de origen y la descarga en el de destino, no existe esa limitación de longitud y la densidad mínima de tráfico necesaria para que convenga el ferrocarril, partiendo de los demás valores fijados, sería:

$$d_m = \frac{48\,000}{0,2512} = 191\,000 \text{ t m-km/km}$$

Con el valor supuesto $H=1,20$ ptas./t m obtenemos:

$$\begin{cases} r = 20 \text{ km} \\ d = 250\,000 \text{ t m-km/km} \end{cases} \quad \begin{cases} r = 100 \text{ km} \\ d = 200\,000 \text{ t m-km/km} \end{cases}$$

$$\begin{cases} r = 200 \text{ km} \\ d = 196\,000 \text{ t m-km/km} \end{cases}$$

Con tráfico únicamente de viajeros sería precisa una densidad

$$d_v > \frac{48\,000}{\frac{0,06}{50} + 0,06 - \left(\frac{0,05}{50} + 0,016 + \frac{2}{r} \right)} = \frac{48\,000}{0,0442 - \frac{2}{r}} \text{ t m-km/km}$$

o sea

$$\left(0,0442 - \frac{2}{r} \right) d_v > 48\,000$$

También aquí se ve que, para este tráfico, no conviene el ferrocarril para

$$r < \frac{2}{0,0442} = 45 \text{ km}$$

que corresponde a la misma fórmula general que para mercancías, y que dicho límite se hace cero cuando $H=0$, como ocurre en muchos ferrocarriles de los que unen las grandes poblaciones con los pueblos de los alrededores: que tienen sus estaciones en los mismos poblados, cuyos habitantes en gran parte toman diariamente el ferrocarril para ir a sus ocupaciones a la capital, como se toma el tranvía o el "metro" para ir de los extremos al centro de las grandes metrópolis.

En esa hipótesis de $H=0$, y con los demás valores señalados:

$$d_v > 1\,086\,000 \text{ viajeros-km/km}$$

Con el valor fijado de $H=2$ ptas./viajero,

$$\left. \begin{array}{l} r = 100 \text{ km} \\ d > 2\,000\,000 \text{ viaj.-km/km} \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} r = 200 \text{ km} \\ d > 1\,400\,000 \text{ viaj.-km/km} \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} r = 500 \text{ km} \\ d > 1\,200\,000 \text{ viaj.-km/km} \end{array} \right\}$$

Si el tráfico, como es lo más corriente, se compone de mercancías y viajeros, la condición de conveniencia del ferrocarril, llamando d_m a la densidad de mercancías y d_v a la de viajeros, sería:

$$\left(0,2512 - \frac{1,20}{r_m} \right) d_m + \left(0,0442 - \frac{2}{r_v} \right) d_v > 48\,000$$

siendo r_m y r_v los recorridos medios de mercancías y viajeros, respectivamente.

Debemos hacer observar sobre este ejemplo cómo un ferrocarril que sea conveniente para la economía social puede ser, no ya de pequeña rentabilidad, sino de ruinoso explotación con las tarifas hoy corrientes. Así, el ferrocarril con densidad de tráfico de 200 000 toneladas métricas-km/km, con recorrido medio de más de 100 km. En él, con la tarifa media de 0,10 pesetas/tm-km, los ingresos totales por kilómetro y año serían: $200\,000 \cdot 0,10 = 20\,000$ ptas.; y los gastos: $40\,000 + 200\,000 \cdot 0,03 = 46\,000$ ptas., resultando la explotación con una pérdida anual de 26 000 ptas por kilómetro, sobre 20 000 de ingreso.

Conviene advertir aquí, aunque la aclaración tenga carácter general, que es indispensable partir de tráficos que hubieran de realizarse por cualquiera de los medios de transporte que se ponen en parangón y, por lo tanto, que tienen capacidad para cubrir el cos-

te, por ser mayor el aumento de valor que se obtiene para la economía social al ser transportados.

Para aclarar un poco esta idea vamos a hacer una indicación somera de cómo se podría llegar a la fijación de esos tráficos en cada caso particular en relación con los costes de transporte, que es de lo único que nos ocupamos en este trabajo. Es evidente que el beneficio social que se obtenga del transporte es una función distinta en cada caso del número de unidades transportadas, que será nula cuando no se transporte nada, que irá creciendo más rápidamente al principio, cuando sólo se transporten las unidades que más aumento de valor alcancen con ello, y más lentamente después, al ser transportadas las que se valorizan menos, y puede llegar a ser decreciente si se transportan otras que puedan desvalorizarse. Ahora bien: como el tráfico es también función del número de unidades transportadas, tendremos, llamando B al beneficio, U al número de unidades y T al tráfico:

$$B = \varphi(U) \quad T = \psi(U)$$

y eliminando U entre estas dos llegamos a

$$B = \Phi(T)$$

Sean en todas las figuras siguientes (α) y (β) las curvas representativas de los gastos de transporte en función del tráfico, y (γ) la representativa de la función $B = \Phi(T)$. Si, como en la figura 1, (γ) queda

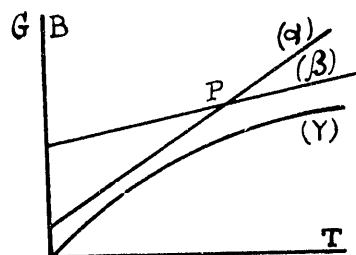


Fig. 1

por bajo de (α) y (β), el tráfico económicamente posible no alcanza el valor necesario para que sea conveniente establecer ninguno de los dos medios de transporte.

Si (γ) queda en parte por encima de (α) y siempre

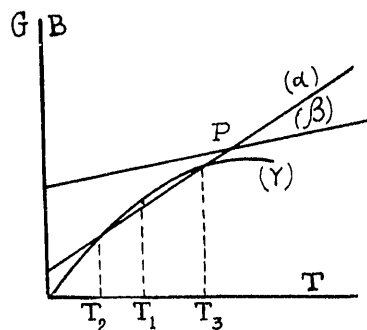


Fig. 2

por bajo de (β) (fig. 2), conviene establecer el medio que (α) representa (carretera), adoptando como valor más conveniente del tráfico el T_1 , que corresponde al máximo de la diferencia de las ordenadas de (γ) y (α), y siendo posible el comprendido entre T_2 y T_3 .

Si (α) llega a estar por encima de (α) y de (β) (figu-

ra 3), el valor del tráfico más conveniente será el T_1 o T_2 correspondiente al mayor de los máximos de la diferencia de ordenadas de (γ) y (α) y de (γ) y (β) , debiendo observar que el medio de transporte más

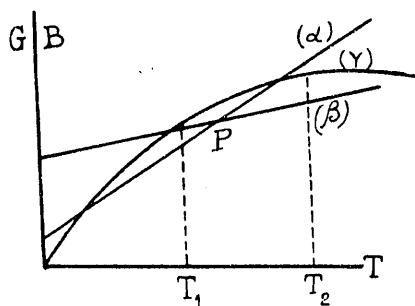


Fig. 3

conveniente será el correspondiente a (α) , si dicho tráfico es menor que el del punto P, y a (β) , si es mayor.

Si (γ) queda por debajo de (α) , pero en parte por encima de (β) (fig. 4), conviene establecer el medio representado por (β) , siendo T_1 el valor del tráfico que

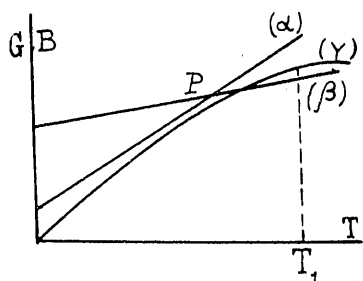


Fig. 4

debe tomarse, correspondiente al máximo de la diferencia de las ordenadas de (γ) y (β) .

Salvada esa explicación sobre los valores del tráfico que han de tomarse en cada caso, insistiremos en que este estudio va sólo encaminado a determinar los del mismo correspondientes a los puntos P de intersección de las curvas de gasto de las dos soluciones que en cada problema se comparan.

b) Cuando existe ya entre dos puntos una carretera, ¿qué tráfico debe poder absorber un ferrocarril que se construyera entre ellos para que convenga su construcción?

Como antes, tendremos que los tráficos T' y T'' , correspondientes a las mismas unidades transportadas por ferrocarril y por carretera, estarán en la relación de las longitudes, y, por lo tanto,

$$\frac{T'}{L'} = \frac{T''}{L''} = d \quad \text{y} \quad T' = d \cdot L' \quad T'' = d \cdot L''$$

El coste de su transporte por carretera sería:

$$G' = \left(\frac{C'}{n} + m' \right) \cdot L' + \left(\frac{M'}{n} + b' \right) \cdot T'$$

Si se construye el ferrocarril y se hace el transporte por él, los gastos serán, además de los de dicho transporte, los fijos y los de amortización del material móvil de la carretera. El coste total será:

$$G = \left(\frac{C''}{n} + m'' \right) \cdot L'' + \frac{M''}{n} \cdot T'' + \left(\frac{C'}{n} + m' \right) \cdot L' + \left(\frac{M'}{n} + b' + \frac{H}{r} \right) \cdot T'$$

Para que sea conveniente la construcción del ferrocarril será preciso que $G' - G > 0$, o sea:

$$\begin{aligned} b' \cdot T'' - \left(\frac{C'}{n} + m' \right) \cdot L' - \left(\frac{M'}{n} + b' + \frac{H}{r} \right) \cdot T' &> 0 \\ \left[b' \cdot L'' - \left(\frac{M'}{n} + b' + \frac{H}{r} \right) \cdot L' \right] \cdot d &> \left(\frac{C'}{n} + m' \right) \cdot L' \\ d &> \frac{\frac{C'}{n} + m'}{b' \cdot \frac{L''}{L'} - \left(\frac{M'}{n} + b' + \frac{H}{r} \right)} \end{aligned}$$

Comparando este resultado con el obtenido en el caso anterior vemos que, como parecía lógico, es necesaria mayor densidad para que sea conveniente la construcción del ferrocarril cuando ya existe una carretera, puesto que en este caso el numerador de la expresión que marca el límite inferior del valor de d viene aumentado en los gastos fijos de la carretera, y el denominador, disminuido en el término correspondiente a la amortización del material móvil, respecto a los de la expresión que lo fijaba en el caso de no existir la carretera.

Aplicación.—Veamos las densidades que resultan para los valores numéricos aplicados al caso anterior, excepto el de $\frac{L'}{L}$, que ahora vamos a tomar $\frac{L'}{L} = 0,9$.

Para un tráfico sólo de mercancías,

$$d_m > \frac{52\,000}{0,9 \cdot 0,28 - 0,0312 - \frac{1,20}{r}} = \frac{52\,000}{0,2208 - \frac{1,20}{r}}$$

o sea

$$\left(0,2208 - \frac{1,20}{r} \right) \cdot d_m > 52\,000$$

No podrá establecerse para $r < 5,5$ km, y resultará para

$$\begin{cases} r = 20 \text{ km} \\ d = 323\,000 \text{ t m-km/km} \end{cases} \quad \begin{cases} r = 100 \text{ km} \\ d = 264\,000 \text{ t m-km/km} \end{cases} \\ \begin{cases} r = 200 \text{ km} \\ d = 242\,000 \text{ t m-km/km} \end{cases} \end{cases}$$

Para tráfico sólo de viajeros,

$$d_v > \frac{52\,000}{0,06 \cdot 0,9 - 0,017 - \frac{2}{r}} = \frac{52\,000}{0,037 - \frac{2}{r}}$$

o sea

$$\left(0,037 - \frac{2}{r} \right) \cdot d_v > 52\,000$$

No podría establecerse para $r < 54$ km, y obtenemos para

$$\begin{cases} r = 100 \text{ km} \\ d = 3\,030\,000 \text{ viaj.-km/km} \end{cases} \quad \begin{cases} r = 200 \text{ km} \\ d = 1\,920\,000 \text{ viaj.-km/km} \end{cases} \\ \begin{cases} r = 500 \text{ km} \\ d = 1\,575\,000 \text{ viaj.-km/km} \end{cases} \end{cases}$$

Si $H = 0$, para cualquier recorrido medio,

$$d_v > 1\,400\,000 \text{ viajeros-km/km}$$

Para tráfico de mercancías y viajeros,

$$\left(0,2208 - \frac{1,20}{r_m} \right) \cdot d_m + \left(0,037 - \frac{2}{r_v} \right) \cdot d_v > 52\,000$$

Seguiremos estudiando estos problemas en un número próximo.

Juan ROMERA
Ingeniero de Caminos