CAPITULO 1º

Estudio económico.—En el trazado de un ferrocarril hay una serie de factores técnicos y económicos que el ingeniero debe tener en cuenta para acertar y encontrar la mejor línea desde todo punto de vista. Por eso el ingeniero jefe de un trazado de ferrocarriles debe ser el que pueda reunir a la técnica un criterio económico que le permita apreciar el problema en todas sus fases. Por tanto, no es ingeniero de trazado, como generalmente se cree, el que sabe ejecutar sólamente las operaciones técnicas o mecánicas del trazado, sino el que, fuera de estos detalles, es también capaz de abarcar todos los problemas económicos que un ferrocarril exige.

En Colombia, por la topografía escabrosa que tenemos y por el poco tráfico, estos problemas son de solución más difícil porque por un lado el costo de construcción es muy grande y por otro el tráfico no justifica grandes erogaciones sino en pocas partes.

Los ferrocarriles no deben ser planeados, co-

mo se ha acostumbrado entre nosotros, por los Congresos y Asambleas, con criterio meramente político, regional o electoral, sino por cuerpos técnicos de la más alta autoridad, capaces de estudiar con imparcialidad todos los problemas. Sólamente ahora con la creación del Gran Consejo Nacional de Vías de Comunicación, parece que se ha empezado a hacer lo que hemos debido poner por obra desde hace muchos años.

En el estudio que antecede al trazado de una vía férrea hay que tener presente las estadísticas, todos los factores económicos, las necesidades actuales y futuras de la región y en general todos los datos que permitan hacer un estudio minucioso del tráfico y de los productos que tendrá la obra una vez construída. Conocido el tráfico actual y futuro, de acuerdo con el desarrollo que tendrá la región; estudiados los beneficios directos o indirectos que justifiquen la obra y conocido también su costo, de acuerdo con los presupuestos que puedan hacerse, entonces sí se está en capacidad de saber si se justifica el costo y se puede también ver si es un ferrocarril, una carretera o sólo un camino de herradura lo que debe construírse.

En Antioquia, un cuerpo técnico de la más alta autoridad hizo el estudio de Urabá, y de aquí el acierto en el resultado final. El informe que esta comisión presentó puede servir de modelo para el estudio económico de que venimos hablando.

Los cinco factores que es necesario tener en cuenta en el estudio que venimos haciendo, son: **Tráfico, Distancia, Pendientes, Curvatura** y **Costo de construcción.** Del análisis que de ellos haga el ingeniero depende el buen criterio para hacer una localización científica y para que el que la ejecute pueda decir que ha trazado una línea en tal lugar y de

tal modo que cualquiera otra tendrá que gastar más dinero para obtener el tráfico de la región y también que quedó en condiciones de tener el máximo de tráfico posible y el mínimo de gastos de explotación. Estos principios son la síntesis de lo que un técnico puede desear al trazar una vía férrea.

Tráfico.—Para conocer el tráfico de la región hay que obtener los datos estadísticos de todos los centros de producción, la riqueza de la región para el tráfico futuro y especialmente la estadística de tráfico de los puntos extremos que unirá la línea. También es necesario obtener la distancia media a los rieles, de los distintos centros de producción situados en la línea de influencia; todo esto para poder estudiar el tráfico basados en los principios de Wellington, que dicen: a) "Toda agrupación de hombres tiene con respecto a los demás relaciones comerciales en acción o en potencia, y el efecto de las vías de comunicación es servirlas y estimularlas, y b) "Toda agrupación contribuye a acrecentar el tráfico en proporción directa del cuadrado de su número de habitantes y de su riqueza, e inversa del cuadrado de su distancia a los rieles". Para este principio hay que tener en cuenta que el motor de explosión ha cambiado un poco el problema.

Con los datos estadísticos de que hemos hablado y aplicando los principios anteriores con buen criterio, especialmente teniendo en cuenta la influencia de las carreteras, se obtiene el estudio de tráfico, base de la justificación de la obra que se proyecta.

Distancia.—El aumento de distancia trae como consecuencia: 1º, un aumento en el costo de la línea; 2º, un aumento en los gastos de conservación y explotación, y en tercer lugar un mayor valor en

el transporte para los puntos extremos de la línea, o lo que es lo mismo, un tributo que estos puntos extremos pagan a los puntos intermedios que se trata de unir alargando la línea.

Por consiguiente, en una línea troncal que, naturalmente, es de mucho tráfico o en una línea de montaña cuyo costo de construcción es muy alto, el alargamiento es injustificado salvo que él traiga como consecuencia una disminución apreciable en las pendientes y una eliminación de curvatura que al bajar los gastos de explotación y aumentar la capacidad de la línea, se traduzca en una disminución en las tarifas que eliminan el mayor valor que el aumento de distancia trae para los demás capítulos. La línea troncal, sobre todo, debe tener la menor distancia posible y por consiguiente seguir la mejor dirección, uniéndose a los centros poblados de la zona de influencia por ramales de ferrocarril, si el tráfico lo justifica, o por carreteras y caminos de herradura, cuando el tráfico sea menor.

Ejemplo: en la Vía troncal de Occidente, entre Popayán y Cartagena, de enorme tráfico entre los puntos extremos, según los principios de la técnica, la troncal debe seguir la línea más corta que es la hoya del Cauca hasta Cáceres, y de allí la línea más directa a Cartagena, uniéndose con Manizales y Medellín por ramales férreos justificables por el tráfico, y con centros de menor importancia, como varias de las poblaciones de Bolívar, por carreteras los de mayor tráfico y por caminos de herradura los de menor. El mismo criterio se deberá tener para la troncal de Oriente.

Al referirse a este asunto de la distancia en los ferrocarriles troncales, la comisión que estudió el troncal de Occidente compuesta de autoridades en ferrocarriles, dice en la página 15 de su informe:

"Las líneas troncales de Colombia que han de servir los departamentos del interior, deben proyectarse para el máximum de capacidad. Deben localizarse de manera de obtener los mejores alineamientos con el menor costo de explotación y en contrario de principios generalmente aceptados no deben sacrificarse la capacidad y el bajo costo de explotación para pasar por poblaciones y ciudades de los departamentos, pues al hacerlo quedarían neutralizadas sus verdaderas funciones. Ellos deben ser la espina dorsal de los ferrocarriles locales actuales y deben constituír las arterias principales de una red general de transportes y dejar la distribución local a los ferrocarriles departamentales".

El problema de distancia es tan importante para el ingeniero de trazado de ferrocarriles, que hoy la tendencia general es disminuír distancia aun a costa de aumento en la pendiente y de grandes obras. Para disminuír distancia se construyen en Antioquia y el Quindío túneles de cuatro kilómetros de longitud y se proyecta en el ferrocarril del Pacífico la variante Espinal-Buga.

Refiriéndose a las líneas de montaña, dice el informe de Urabá en la página 5: "Por consiguiente en una línea de montaña con la cantidad de tráfico que podemos esperar en Colombia en un futuro próximo, es más gravoso el aumento de distancia que el uso de fuertes pendientes hasta un límite práctico".

Esto porque el costo de capital que trae consigo el aumento de distancia es más gravoso en líneas de poco tráfico que el costo de explotación que produce el aumento en las pendientes.

Pendiente: Para este factor, uno de los más importantes de tenerse en cuenta porque afecta di-

rectamente la capacidad tractora de un ferrocarril, debemos considerar dos casos: 1º, cuando la línea es troncal, y 2º, cuando es secundaria. Veamos primero cómo varía la capacidad tractora según la pendiente, haciendo la comparación entre el nivel y el 3% que es la pendiente máxima admitida hoy en nuestros ferrocarriles.

Una locomotora que a nivel arrastra 1225 toneladas, sólo arrastraría en el ½% 555 toneladas, en el 1% 345 toneladas, en el 2% 185 y en el 3% 115.

Las máquinas usadas en nuestros ferrocarriles, de 65 a 80 toneladas de peso, que arrastran en un nivel 800 toneladas, en el ½% sólo arrastran 365 toneladas, en el 1% 230, en el 2% 125 y en el 3% 80.

El costo del tren kilómetro entre una línea del ½% y una del 3%, según las estadísticas de los ferrocarriles nuéstros, varía de 0.90 para el ½ a 1.40 para el 3% (esto en números relativos), y el costo de la tonelada kilómetro en los mismos (con trenes de 21 carros) varía de ½ centavo, en los de ½% de pendiente, a 1½ (trenes de 6 carros) en la de 3%.

Los datos anteriores nos demuestran que en líneas troncales la pendiente debe ser la menor posible para aumentar la capacidad tractora y aumentar la zona de influencia con bajas tarifas.

El ascenso y descenso también debe evitarse en las líneas troncales, especialmente si él pone en la línea una limitante de tráfico. El valor de ascenso y descenso se computa en 0.17 centavos por tren kilómetro por 4,50 metros de ascenso y descenso. Para la disminución de ascenso y descenso en los pasos de cordillera también deben proyectarse los túneles. Estas contrapendientes son admisibles cuan-

do no limitan el tráfico y se hace de ellas un buen uso para disminuír el costo de movimiento de tierra y obras de arte.

En los ferrocarriles que no tienen el carácter de troncales se pueden aumentar las pendientes para disminuír los gastos de construcción, especialmente en nuestras montañas. Esto se explica así: una línea de montaña vale hoy más o menos a cien mil pesos oro el kilómetro. Con un tráfico de 100.000 toneladas anuales (hoy en Colombia pocas líneas tienen más), el servicio de capital al 10% sería 0,10 la tonelada kilómetro y el gasto de explotación sería más o menos 0,03 en una línea de 3% compensado. Luego es mejor disminuír el costo de construcción y aumentar el de explotación en este caso. Como principio general debe tenerse el siguiente: siendo los gastos de un ferrocarril la suma de intereses sobre el costo de construcción, más los gastos de explotación y conservación en una línea de poco tráfico, como casi todos los de Colombia, se puede aumentar mucho el costo de explotación para bajar los otros gastos, y en una línea de mucho tráfico, como las líneas troncales, se pueden aumentar mucho los otros gastos para bajar los de explotación.

En cuanto a pendientes para las troncales, el ideal es del ½% al 1%; y para las líneas de montaña el 3% compensado máximo.

Curvatura: El factor curvatura es uno de los más importantes de tener en cuenta en el estudio de una vía férrea.

La curvatura afecta la explotación de un ferrocarril:

1º Por desgaste del material fijo y rodante y otros gastos en la explotación y conservación que veremos adelante;

2º Por los accidentes que la curvatura puede ocasionar;

3º Por limitación en la velocidad, lo que se traduce en una reducción en el número de trenes;

4º Por alargamiento en las líneas de montaña, ya que la curvatura implica una pendiente que hay necesidad de disminuír para la compensación en las curvas.

En curvatura hay que considerar: el ángulo que forman las dos tangentes, la curva y la tangente entre curvas.

El ángulo que forman las dos tangentes es el que constituye la verdadera curvatura en sí. Se considera su valor entre $ 40 y $ 80 por grado, según que en la línea haya 3 a 8 trenes diarios; es decir, que es preferible gastar en la construcción esa suma a poner un grado de curvatura. En cuanto al grado de la curva, varía entre 14º (82 metros) para las líneas de carácter secundario y para velocidad de 25 kilómetros, y 8º (144 metros) para velocidad de 45 kilómetros.

En cuanto a las tangentes entre curvas, la mínima es de 28 metros para curvas en distinto sentido, y 80 para curvas en el mismo sentido. Tanto las curvas mínimas como las tangentes mínimas, es claro que sólo se deben usar en casos extremos cuando la topografía lo exija para la economía científica en la construcción.

Los gastos afectados en curvatura, y el aumento para 250º de curvatura, por kilómetro, son:

Cuentas	Aumento
Combustible..	20%
Agua..	10%

Lubricante..	10%
Conservación de locomotoras	50%
Conservación de carros.. ..	50%
Renovar rieles.	70%
Renovar durmientes.	40%
Alce y arreglo de terraplenes	25%

Asignando a cada una de las cuentas anteriores su valor en línea recta, y aplicando el porcientaje de aumento ocasionado por la curvatura, resulta que en un aumento de 250° de curvatura por kilómetro se aumentan los gastos anteriores en un 15,50% de su valor en recta.

Los accidentes que ocasiona la curvatura tienen un valor que varía con el tráfico de la línea, con la velocidad en ella y con su grado de conservación (peralte, rieles, durmientes, etc.). Es difícil, por lo tanto, decir cuánto puede ser.

El aumento de distancia por razón de la curvatura en una línea de montaña es muy apreciable, porque una curva equivale a una pendiente de cinco centímetros por grado de curva, de tal manera que en cada curva para compensarla hay que rebajar la pendiente en cinco centímetros por grado, y esto equivale a una disminución general de la pendiente. Ejemplo: para localizar una línea con una pendiente del 3% compensado, sólo se puede hacer el trazo con una pendiente general del 2,5% para que el ½% de diferencia dé margen a la compensación. Si hay necesidad de bajar mil metros entre dos puntos, y se pudiera proyectar para bajarlos una recta con el 3%, se bajaría con 33,3 kilómetros; y en una línea de mucha curvatura, para bajar esos mismos mil metros, se emplearían 40 kilómetros, pues, como ya hemos dicho, sólo se puede poner el

2,50% general; como se ve, habría una diferencia de 7 kilómetros entre los dos trazados.

Estos 7 kilómetros representan, en este caso, la introducción de mucha curvatura. Disminuyendo lo más posible la curvatura, la pendiente general podría ser el 2,7%, y en ese caso el alargamiento total sólo sería de 4 kilómetros.

Costo de construcción: Este varía con la topografía de la región y también con las especificaciones de la pendiente y curvatura que se hayan puesto a la línea.

Dado el costo actual de materiales y jornales, varía entre $ 40.000, para líneas de topografía buena, a $ 200.000 por km. para las de costo mayor. De éstos, $ 25.000 se computan para la super-estructura, y el resto para la infra-estructura.

El criterio del trazado debe ser: en líneas de mucho tráfico, recargar los gastos de construcción para hacer la línea de explotación barata, y en líneas de poco tráfico, disminuír estos gastos y acomodarse con la pendiente y curvatura a la topografía del terreno para economía en la construcción.

Los capítulos en que se dividen los gastos de construcción de un ferrocarril, son:

1º Trazado.
2º Zonas.
3º Movimiento de tierra.
4º Obras de arte.
5º Rieles y accesorios.
6º Patios y apartaderos.
7º Líneas telegráficas y telefónicas.
8º Cercos.
9º Pasos a nivel.
10º Edificios.
11º Tanques de abastecimiento.

12 Señales.
13º Gastos generales.
14º Intereses durante la construcción.
15º Administración y técnica.
16º Descuento inicial cuando el dinero proviene de empréstitos con tal descuento.
17º Equipo.

Línea de influencia: La línea de influencia de un ferrocarril puede ser mayor o menor, según que las especificaciones de la línea permitan tarifas más o menos bajas y según sean los medios de transporte que existan para comunicar el eje de la línea con los centros poblados y de producción. Hoy día el camión y el automóvil han modificado y ampliado esta forma de influencia, porque pueden traer con bajo costo carga y pasajeros hasta distancias de 80 kilómetros. De manera que para las líneas troncales que permitan bajas tarifas, la zona de influencia a lado y lado del eje puede ser hasta de 100 kilómetros. Esto siempre que no haya dentro de esta zona una línea férrea, acuática o una carretera que le reste tráfico por tener más bajas tarifas.

En ferrocarriles de mayor costo de explotación la zona de influencia se reduce.

Comparación de una línea férrea con las carreteras: Para largas distancias, y especialmente si el ferrocarril tiene un costo de tonelada kilómetro que no pase de $ 0,03, el transporte por ferrocarril es mucho más barato que por la carretera, pues el costo en ésta por tonelada kilómetro en ningún caso es inferior a $ 0,10. Por tanto en Colombia, desde el punto de vista de las bajas tarifas, son más importantes sus ferrocarriles que sus carreteras troncales.

Para distancia corta entre límites no mayores de 40 kilómetros, son más económicas las carrete-

ras, porque su mayor costo de tonelada kilómetro se compensa con la facilidad que ellas dan de sacar la carga de los depósitos del punto de partida para entregarla en los depósitos del punto de llegada, con enorme economía en el costo de transbordo que recarga enormemente el transporte.

Ejemplo: Una tonelada de carga por ferrocarril, en 40 kilómetros a $ 0,08 la tonelada kilómetro, (tarifa media hoy en nuestros ferrocarriles) vale $ 3.20; gastos de transporte por tonelada de la estación a los depósitos y viceversa, agregando la comisión, averías, demoras, etc., $ 2.80, (valor aceptado hoy en el comercio). Total $ 6.00, por ferrocarril. Por carretera, esa misma carga, con tonelada kilómetro a $ 0.15 (que es la tarifa usada hoy en nuestras carreteras), vale también $ 6.00. De manera que en distancias menores de 40 kilómetros es más barato el transporte por carreteras, y en distancias mayores es mejor por ferrocarril.

De lo anterior se deduce que lo ideal en materia de transportes es dar a las líneas de gran tráfico la mejor dirección y las mejores especificaciones técnicas, y comunicar estos ejes centrales con ramales férreos o con carreteras para hacer más extensa la zona de influencia y favorecer el mayor número posible de centros, sin dañar las líneas troncales. Este es el criterio científico para trazar los ferrocarriles.