
ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS

COMPARACION DE VARIOS TRAZADOS DE UN FERROCARRIL

ENTRE DOS PUNTOS DADOS.



§ IV.

COMPARACION ESTADÍSTICA Y ECONÓMICA.

1. La cuestión de comparación de varios trazados entre dos puntos dados puede ser estudiada bajo otro punto de vista, que llamamos *comparación estadística*, por cuanto figuran en ella directamente y sin compararlos con los gastos de otras líneas, los datos que pueden suministrar las estadísticas, respecto al monto de la carga probable y demás factores que constituyen los elementos del tráfico y las consideraciones económicas, y cuyo estudio es casi tan interesante como los anteriores.

2. Si la línea que se proyecta entre los puntos A y B (fig. 1) va á formar parte de una red de ferrocarriles ya existentes, como si se tratare entre nosotros de la prolongación, o de los ramales que se desprenden de la línea central de los F. C. del E. y que van á ser explotadas con sus mismos elementos y sus mismas tarifas, podemos hacer los cálculos siguientes para comparar varios trazados.

3. Según las tarifas vigentes de los F. C. del E., el flete medio que se cobra por qq. métrico en una distancia de 30 kilómetros es de \$ 0.115; y el mismo flete, para 50 kilómetros es de \$ 0.1531; y para 80 kilómetros es de \$ 0.217. Por consiguiente

examinando los tres trazados que hemos tomado como ejemplo, en los cuales hemos supuesto que los cálculos estadísticos nos den la suma de 2.000.000 de qq. métricos como carga probable entre A y B.; encontraremos que, aplicando las tarifas de los F. C. del E., que serían las que se cobrarían en un ramal de su dependencia, ó en su prolongación, que el trazado N.º 1 produciría una ganancia de 434,000 \$; deduciendo un 50% para gastos de explotación, etc., tendríamos una ganancia líquida de \$ 217,000; es decir que la explotación de esta línea en esas condiciones dejaría un 5.42% del capital de construcción.

4. La explotación de la línea N.º 2, acarreado los mismos 2.000.000 de quintales métricos, produciría, cobrando los fletes según las tarifas de los F. C. del E., la suma de 306,000 \$; descontando el 50% para gastos generales de explotación (término medio de lo que cuestan los gastos de explotación en estas líneas) tendríamos que, su ganancia líquida sería \$ 153,000 ó sea un 6.12% de su capital de construcción.

5. Y por último, la explotación del proyecto N.º 3, en las condiciones de tarifas de los F. C. del E. y con el mismo número de quintales métricos de acarreo, produciría una ganancia de \$ 250,000 ó sea un producto líquido de \$ 125,000, ó una remuneración de un 6.94% de los capitales invertidos en la construcción.

6. Estas cifras nos ponen nuevamente de manifiesto, que, si necesitamos un trazado directo entre A y B, apesar de sus pendientes el trazado N.º 3 es el mejor, por cuanto, con equipo adecuado, los gastos de remolque se reducen considerablemente, y que los ingenieros Norte Americanos, que han mirado siempre el problema de la construcción de un ferrocarril como *industrial y comercial*, hacen muy bien en no exagerar los gastos de construcción de sus trazados, por realizar rampas más ó menos suaves, cuando las localidades que se van á servir tienen un tráfico directo: sin embargo, siempre es preciso tener presente la in-

fluencia de estas rampas cuando se trata de líneas troncos de un gran tráfico.

7. Vemos pues claramente que la elección de un trazado está sujeto á tres consideraciones principales, que hay que meditar y estudiar en detalle.

Primero.—La cuestión económica, bajo el punto de vista comercial, es decir el tanto por ciento que producirá el negocio, para encontrar los capitales necesarios, y para que las líneas que se construyan no sean onerosas á los erarios Nacionales, si son capitales fiscales los que se invierten en la construcción.

Segundo.—Las consideraciones de explotación de la vía, y si ésta ha de tener un servicio meramente industrial y local, ó bien si está llamada á servir de desahogo á toda una provincia ó una comarca más ó menos agrícola y productora; cuyo tráfico está llamado á florecer más y más: ó bien si la línea que se estudia es la continuación de una línea tronco de varios ramales ó de una red futura de vías férreas.

Tercero.—Si la línea que se estudia ha de ser una de las arterias principales de la producción de un país ó estratégica: y en este caso, son los hombres de Estado los que realmente resuelven la dirección general del trazado, en atención á las necesidades generales y locales en ciertas circunstancias y aún á las estratégicas que escapan á todo cálculo, tanto comercial como industrial: por cuanto esas líneas no se construyen, teniendo en vista una remuneración más ó menos fuerte de los capitales que se invierten en sus construcciones, sino simplemente para atender á verdaderas necesidades de orden público de un país.

Según sea la importancia de la línea que se estudia, el ingeniero que dirige el trazado, debe ser más ó menos estricto para fijar los máximum de inclinaciones y los mínimum de los radios de las curvas, teniendo siempre presente en todo caso, *que no debe exagerar los gastos de construcción hasta el absurdo para realizar ideales más o menos técnicos.*

8. Para fijar más en el espíritu el alcance de estas ideas, voy á citar el ejemplo del trazado del F. C. de Palmilla á Pichilemu, estudio que me fué encomendado por el Supremo Gobierno y cuyas condiciones generales son las siguientes:

Fijado el puerto de Pichilemu como el más conveniente para el término de un ferrocarril que debía unir la Palmilla con la costa, se presentaron varios puntos por donde podía dirigirse un trazado; pero sólo dos de ellos merecen tomarse en consideración.

El primero de ellos (fig. 2) que saliendo de Palmilla al Sauce atraviesa el valle de Petrel, para pasar la cordillera de la costa por el portezuelo de las Vacas, bajar á Chilo dirigiéndose á Piedra Parada y de ahí á Pichilemu. Trazado cuya rozante tiene fuertes gradientes y curvas de corto radio para salvar las sinuosidades de la cordillera de la costa; pero que me impresionó desde el primer momento favorablemente, porque su dirección general es la más conveniente, encontrándose sus gradientes fuertes, todas acumuladas en un solo trayecto, desde el portezuelo de Rojas hasta las Vacas, teniendo así, *en el sentido de la mayor carga* menos dificultades de explotación que vencer. Al mismo tiempo atraviesa el valle de Palmilla en su parte central, favoreciendo, en cuanto es posible, la rica zona agrícola de Colchagua, Población, Calleuque, etc., quedando á corta distancia de San Miguel de los Llanos, Magueno, Valle del Reto, Peña Blanca, San Miguel de la Palma, San Antonio de Petrel y Alto Colorado.

El segundo es el que se puede seguir, saliendo de Palmilla por Molinero, Valle del Reto, Portezuelo de las Cardas, siguiendo el estero de Nilahue y pasando por Maquis y Cahüil, para seguir la costa hasta Pichilemu.

Desde luego este último trayecto, es bastante más largo que el primero, por cuanto da una vuelta muy pronunciada al sur, perdiendo el rumbo general de este á oeste; pero, el aumento de largo de la vía, no habría sido á mi juicio, una causa de rechazo,

si hubiera permitido disminuir las fuertes pendientes, sin aumentar exageradamente su costo. (1)

Llegando á este punto, me encontré perplejo, para resolver cuál sería el trazado que debería escoger, para mis estudios futuros, sin tener más datos, que los recogidos con el aneroide, la brújula y las distancias medidas aproximadamente. Por otra parte, sin que los mapas de las localidades, dieran indicaciones más ó menos precisas á este respecto. Todo juicio, en estas condiciones se prestaba á dudas y comentarios, y en verdad que, el único medio de haber dado un fallo enteramente exento de dudas, á este respecto, habría sido emprender reconocimientos instrumentales de ambos trayectos; lo que las circunstancias en que se hacían los estudios, y los fondos suministrados para ellos, no me lo permitieron.

Tenia pues que decidir la dirección del trazado valiéndome de los datos que tenía á mi alcance, aunque fueran incompletos, y expondré ahora las razones que me îndugeron á dirigir los estudios del ante-proyecto, por Sauce, Vacas, Chilo, Piedra Parada, abandonando el trazado por el valle de Nilahue.

9. Antes de entrar en este terreno, voy á poner de manifiesto, por medio de algunos ejemplos, todas las consideraciones que deben pesar en el ánimo del ingeniero, al escoger un trazado de ferrocarril, y lo difícil que es pronunciarse á *ciencia cierta*, cuando faltan cartas cadastrales, ú otros datos que indiquen los trayectos probables, sirviendo de guías para los primeros estudios.

Dice Cotelle «en el ferrocarril de Clermont á Tulle, dos trazados fueron admitidos al concurso para la concesión de la línea de Dorgone: el uno de Clermont á Tulle y el otro de Clermont á Saint-Denis. El primero, era el más corto; pero un concesionario, generalmente se preocupa menos de las distancias que de las

(1) Tomado del informe que presentó el que suscribe al señor Ministro del Interior.

condiciones económicas del camino, *es decir de las entradas probables y de los gastos kilométricos.* El primer proyecto fué llamado de las mecetas y el otro de los valles. El primero exige mayores gastos y no podía ser adoptado, sin subvención, y el régimen de las subvenciones pasó en Francia. El problema de la ejecución por los valles era realizable sin subvención, *si la administración aceptaba pendientes de 0.025 por metro, que son admisibles y no necesitan ser justificadas.* «Se dijo en el consejo general, que la experiencia ha demostrado, que se pueden hacer circular convoyes reduciendo el radio de las curvas aún á 100 y 60 metros. Se decidió que había lugar á mejorar las condiciones de construcción y de acoger las demandas si se conocían que eran serias aunque sin subvención ni garantía de interés.»

Como se ve por este ejemplo, no siempre el trazado más corto es el más hacedero, por cuanto los gastos que demanda cuando no se quieren tener pendientes fuertes (0.025) son muy considerables, y no están en proporción con las entradas probables de la explotación y por consiguiente son incapaces de cubrir los intereses de los capitales invertidos, y hay que recurrir á las subvenciones, generalmente onerosas para los erarios nacionales. Pero al mismo tiempo, se establece de una manera muy clara que, *para reducir los gastos de construcción dentro de los límites necesarios, para que la empresa sea comercial y viva sin subvención, no hay temor en admitir cortos radios y pendientes de 0.025 por metro.* Por consiguiente el ingeniero, al escoger el trazado tal o cual, no debe descuidar las condiciones económicas de dichos trazados, aunque para ello, tenga que adoptar fuertes rampas y curvas de corto radio, calculando que las entradas probables de la línea garanticen los intereses de los capitales que se invierten en la construcción. De otro modo *podría haber tenido la satisfacción de haber estudiado el mejor trazado técnico; pero, no la solución práctica del problema que tenía entre manos.*

10. El trazado del Valle de Nilahue, pasando por el portezuelo de Molineros y de las Cardas, con pendientes que no excedieran de 0,025 por metro, tendría un costo de construcción que no bajaría de 4.375,000 pesos, como lo manifiesta el cálculo aproximado que sigue:

| | |
|--|---------------------|
| De <i>Palmilla</i> á <i>Pundureo</i> .—8 kilómetros á \$ 15,000 $\frac{e}{u}$ | \$ 120,000 |
| De <i>Pundureo</i> á <i>Peralillo</i> .—7 kilómetros á \$ 15,000 $\frac{e}{u}$ | 105,000 |
| De <i>Peralillo</i> a <i>Molinero</i> .—Rompiendo el portezuelo á tajo profundo.—7 kilómetros a \$ 40,000 $\frac{e}{u}$ | 280,000 |
| De <i>Molinero</i> á <i>Cardas</i> .—Media falda, para no bajar y tener contra-pendientes, saltan- do esteros é irregularidades del terreno.— 16 kilómetros á \$ 40,000 $\frac{e}{u}$ | 640,000 |
| De <i>Cardas</i> á <i>Nilahue</i> .—Rompiendo el por- tezuelo, y teniendo un trayecto difícil.— 10 kilómetros á \$ 50,000 $\frac{e}{u}$ | 500,000 |
| De <i>Nilahue</i> á <i>Maquis</i> .—18 kilómetros, tra- yecto á media falda tortuoso y en terreno accidentado á \$ 50,000 $\frac{e}{u}$ | 900,000 |
| De <i>Maquis</i> á <i>Cahuil</i> .—Trayecto media fal- da, tortuoso, con obras de arte para saltar quebradas.—27 kilómetros a \$ 50,000 $\frac{e}{u}$.. | 1.350,000 |
| De <i>Cahuil</i> á <i>Pichilemu</i> .—Arenas y dunas trayecto tortuoso.—12 kilóm. á \$ 40,000 $\frac{e}{u}$.. | 480,000 |
| Total..... | <u>\$ 4.375,000</u> |

Como se ve en este presupuesto aproximado, se cuentan á 15,000 pesos los kilómetros que no tienen casi ningún trabajo, y á 40,000 pesos los kilómetros que tienen un movimiento consi-

derable de tierras por sus cortes, y en 50,000 pesos los kilómetros que tienen un trayecto tortuoso, y que á causa de los saltos de las quebradas, exigen aglomeraciones de obras de arte: no tomando absolutamente en cuenta, la necesidad tal vez de hacer un túnel en las Cardas, por cuanto con los datos que tenía entonces, no me era permitido aseverar el hecho, que estudios posteriores podrían exigir.

El trazado por el portezuelo de las Vacas, Chilo, etc., importa en números redondos 3.000,000 de pesos ó lo que es lo mismo 1.375,000 pesos menos que el anterior.

Siendo las entradas calculadas de ese ferrocarril según los datos estadísticos recogidos entonces, tomando en cuenta la producción del valle, avaluada por los acarreos de los F. C. del E. y aplicando sus tarifas de 130,037.615 pesos. Vemos que el trazado por el Sauce y Vacas dejaría un 4.344% de los capitales invertidos, lo que indudablemente aumentaría con el mayor desarrollo agrícola que toman las campiñas por las cuales atraviesa el ferrocarril. Como el producto neto probable sería el mismo, tomando la vía de Nilahue, tendríamos que, el interés que produciría esa línea, sería solamente de 2.972%; y como la zona de Maquis á Pichilemu, por su configuración y dificultades de tener caminos, progresaría muy lentamente, tendríamos, que dicho trazado, durante algunos años, no produciría más de un 3 por ciento, es decir que necesitaría *de la subvención para su existencia*, y por consiguiente, que no sería en las condiciones actuales, (1) el más hacedero.

11. El mismo autor ya citado, dice también lo que sigue:

«En los caminos con fuertes pendientes 15 á 20 milímetros, los gastos de explotación se elevan hasta 0.12 francos por tonelada y por kilómetro. Estos gastos absorben á veces la totalidad de las entradas recogidas y no queda nada para pagar los

(1) Refiriéndose á la época en que se hicieron los estudios, año 1884.

intereses de los capitales comprometidos. Este interés, repartido sobre cada tonelada, de un ferrocarril de débil tráfico, puede representar la suma de 0.10 á 0.15 francos por tonelada y por kilómetros, en todo caso, el precio de costo de una tonelada transportada á un kilómetro, será siempre más caro, que sobre un camino ordinario. Si el tráfico probable es importante, como cuando deben ponerse en comunicación las riquezas minerales, con un centro de consumo, habrá lugar a reducir el máximum de las pendientes, por cuanto los gastos de explotación crecen con las dificultades del perfil.»

«En estas circunstancias, es al hombre de Estado al que le toca examinar los sacrificios que hay que hacer, y si serán compensados con un aumento de la fortuna pública, por un aumento general del valor de las propiedades, por la remesa de los productos á la frontera y artículos minerales, que sin esto no tendrían salida. En tal caso los estudios económicos locales que hay que hacer, serían indispensables antes de aceptar el proyecto en cada caso particular.»

Tomando la cuestión bajo este punto de vista, era el señor Ministro el llamado á meditar y resolver el problema que se presentaba, y ver, según los datos que se presentaban y que podían subministrársele por las diversas oficinas estadísticas, si el aumento de gastos de construcción de \$ 1.375,000, y la subvención anual que necesitaría durante algún tiempo el trazado de Nilahue, se encontraría compensada con algunas consideraciones de carácter público, ó una indispensable necesidad para el fomento del país. Si suponemos que, los capitales invertidos, sólo deban ganar un 5%, como el trazado por Nilahue, sólo dejaría una entrada de 3% como lo hemos visto, la subvención anual, tendría que ser el 2% sobre el capital o sean \$ 87,500 ¿Habría alguna consideración de interés público, que en el caso actual indugera al hombre de Estado á hacer un desembolso de primera instalación de \$ 1.375,000 en más, y un gasto anual

de \$ 87,500? A nuestro juicio no las había por las consideraciones que vamos á exponer.

12. La prolongación del ramal de la Palmilla, pasando por Molineros, Las Cardas y valle de Nilahue, favorecería poco el valle de Colchagua, por cuanto se alejaría desde Molineros, de los centros productores de Población, Mayelmo, Sauces, San Miguel de la Palma, San Miguel de los Llanos y demás fundos en dirección de Matanzas, y si por cualquier evento, esta prolongación no se llevare hasta la costa, serían muy pocas las localidades favorecidas con ella. Por el contrario, el trazado de Peralillo, Sauce, Valle de Petrel, pasando por el portezuelo de las Vacas, llegando á Chilo y Piedra Parada, atraviesa la mayor parte de la zona agrícola del valle del Tinguiririca, dando fácil salida á todos sus productos, fomentando naturalmente su desarrollo, tanto por la disminución de sus fletes, como también disminuyendo las enormes distancias de acarreos en carretas que tenían que hacer los productos de los valles de Población hácia la costa, para poder llegar á Palmilla. Ahora bien, si por circunstancias de otro género, el trabajo del ferrocarril de la costa, no se llega á emprender desde el primer momento, en todo su largo, (como realmente sucedió después) por poca que sea la distancia que se recorra más allá de Palmilla, siempre se vendrá á favorecer todo el valle del Tinguiririca, como á Reto y productos que bajen por Molineros; de modo que, este trazado se puede aun llevar á cabo por zonas, sin ser oneroso para los capitales invertidos. La zona de Sauce á Palmilla, en terreno casi plano, sin grandes gastos de construcción, produciría desde el primer momento, un aumento de riqueza en todo el valle de Tinguiririca y Reto, porque haría que los productos agrícolas encuentren la línea férrea acortando mucho los onerosos fletes de carretas.

Hecho este primer trayecto, que traería, como hemos dicho, un aumento de riqueza en el valle de Tinguiririca, vendrían más

tarde, por si solas las prolongaciones posteriores hasta el valle de Petrel y por último, la travesía de la cordillera de la costa para llegar á Pichilemu.

13. Queda sólo por examinar, si el recargo de los gastos de explotación, debido á las fuertes pendientes del trazado de el Sauce, Vacas y Pichilemu, vendría á compensar el exceso de los gastos de construcción del trazado por Nilahue.

«La Compañía de Orleans ha construído la línea de Briande á Montaulan. Según el ante proyecto, tenía que cortarse, entre Manine y Aurillac, los dos valles notablemente rectos de Alangnon y del Cire. Por la pendiente natural de Alangnon, la subida era fácil hasta Murat; por la pendiente natural del valle del Cire, la subida era aún más suave para llegar hasta Vic; pero á partir de Murat y de Vic, la pendiente cambia bruscamente y llega á un término medio de 30 milímetros. Entonces dos soluciones se presentaron: ó trabajar un túnel de un largo inadmisibile, ó partiendo del nivel actual, mantenerse, sobre los flancos de los valles á alturas, que pasarían de 100 metros por un lado y 150 por otro. Los gastos serían reducidos en un tanto, las estaciones absolutamente inaccesibles, el camino costoso hasta el absurdo é inútil á las poblaciones; pero según el trazado definitivo, se elevaría hasta Giron, con pendientes de 30 milímetros de inclinación, se atravesaría el cuello con un túnel de 1,800 metros de largo.

«Se pondrían máquinas remolcadoras de una construcción especial entre Vic y Murat. Este proyecto presentó una economía de 20 millones de francos; calculando los intereses de este empréstito, la compañía ahorraría anualmente de 110,000 á 120,000 francos». «Delante de semejantes cifras, no se pueden rechazar ni los gastos de las máquinas de resfuerzo ó remolcadoras, ni la servidumbre que resulta para la explotación, ni el desgaste extraordinario del material al cual los progresos de la metalurgia pondrán remedio en parte.» (Cattelle).

Aplicando el mismo raciocinio, al trazado de Nilahue, vemos que, disminuyendo las pendientes á 20 milímetros, tendríamos un trayecto de Nilahue á Pichilemu de 67 kilómetros más ó menos, manteniéndose á altura por los flancos del valle, donde la ubicación de estaciones no sería hacedera, y mucho menos dar caminos fáciles de acceso á esas estaciones, y por consiguiente inservibles en gran parte para las localidades que atraviesa.

Los gastos de construcción ascenderían próximamente á 4.375.000 pesos, en caso que no fuera á atravesar las Cardas con un túnel más ó menos costoso. El trazado por el Sauce, Vacas, Chilo, etc., tiene una pendiente máxima, en el sentido de la gran carga de 25 milímetros (que se ha reducido á 20 con reconocimientos posteriores) y una pendiente máxima de bajada, en el ante proyecto de 28 milímetros por metro (reducida después con estudios posteriores á 25). Las estaciones serán de fácil acceso para todos los productos del valle del Tinguiririca y mesetas de la cordillera de la costa, y su costo de construcción haciendo á 3.000.000 de pesos, es decir, que dejan una economía de 1.375.000 pesos sobre su competidor. Calculando los intereses al 5% de esta suma resulta una economía de 68.750 pesos anuales. Ante estos números, bien me parece que vale la pena de soportar el recargo de la mayor pendiente y de la remolcadora, con sus desgastes consiguientes en la vía, y con tanta mayor razón, en el caso actual, por cuanto la mayor pendiente sólo está en el sentido del retorno, es decir de la menor carga.

Por los cuadros estadísticos del tráfico probable que formé para el estudio de estos trazados, resulta, que en la sección de Angol á Talcahuano, la carga directa asciende á 540.742 quintales métricos, mientras que el retorno, es de 202.216 quintales métricos, ó sea un 36.06 por ciento de la anterior. La carga probable de acarreo á la costa del ramal que proyectábamos en aquel entonces, era de 426.240 quintales métricos, i el retorno, calculado en la misma proporción que en el caso anterior, ascen-

dería á 153,446 quintales métricos. No hay, pues, nada que hiciera suponer, ni aún tener el menor temor, que los gastos de remolcadoras, en los primeros años de explotación, ascienda á más del consumo de una locomotora diaria, lo que representa un gasto de 40 pesos diarios ó sean 14,600 pesos al año. Como los intereses al 5% del exceso de capital que habría que invertirse en el trazado de Nilahue, representan una suma mínima de 68,750 pesos, resulta que, restando de esta suma los 14,600 pesos de las remolcadoras, la línea de Sauce, Vacas, etc., dejaría una economía real de 54,150 pesos al año.

En los cálculos anteriores, hemos supuesto los dos trazados, con las mismas cargas totales de acarreo; pero hemos visto, que no sucedería así con el trazado de Nilahue, que recorrería difícilmente los productos del extremo poniente del valle de Tinguiririca.

Tales fueron las consideraciones que se tuvieron presentes, para hacer los estudios del ante proyecto de Palmilla á Pichilemu, por Sauce, Vacas, Chilo, etc., y abandonar el trazado de Nilahue, que á primera vista podía parecer más halagador.

14. Otro ejemplo que se puede citar, para ver la influencia que tienen en la elección de los trazados, las consideraciones de carácter general, de fomento y desarrollo de un país, y nó las consideraciones económicas y financieras ó de orden puramente técnico, como se ha procedido en los casos anteriores; es la prolongación de la línea central de los Ferrocarriles del Estado, más allá de la antigua frontera araucana, ó sea de Angol al Sur.

Cuando se trató de prolongar la línea del Sur, se hicieron los primeros estudios partiendo de Angol á Traiguén (fig. 3.) siguiendo el Rehue y marchando casi al pié de la cordillera de Nahuelbuta. Dicho trazado fué criticado, objetándole que lejos de continuar la línea tronco, por el valle central de la República, se cargaba demasiado hacia la costa y no llevaba una dirección conveniente para ser prolongado hasta Valdivia y Osorno.

Nuestros hombres de Estado, mandaron entonces reconocer nuevamente la línea; y las comisiones nombradas con ese objeto, reconociendo la exactitud de la crítica, trazaron la línea de Renaico á Victoria, como continuación de la línea central. Las razones que se dieron para ello, eran evidentes.

La línea de Traiguén, marchando encajonada, siguiendo las sinuosidades del Rehue, no llevaba una dirección adecuada para recoger los productos del valle central, y á más de eso, Traiguén, se encuentra en un bajo, de tal manera, que si se quisiera continuar esa línea más al sur, con dirección al valle central, y nó al embarcadero del río Imperial, y tomar la altura de las mesetas, habría que salir de Traiguén orillando el río, para venir á salir muy cerca de Victoria y poder tomar ahí la dirección general del valle central.

Puestos en evidencia estos hechos, nuestros hombres de Estado, tomando en cuenta el desarrollo futuro del país y no haciendo ninguna comparación técnica, ni económica de ambos trazados, no trepidaron en construir la línea de Traiguén, como un simple ramal, destinado al fomento local de una zona dada, comprendida entre los flancos orientales de Nahuelbuta y las alti-planicies que separan á Traiguén de Victoria, que se entregaba entonces á la colonización y convenía ayudarla y fomentarla; pero, al mismo tiempo, se emprendieron y con todo costo, los trabajos de la línea de Renaico á fuerte Victoria, línea que, si bien puede tener sus defectos de detalle, excusables en la mayor parte de los casos, por las dificultades de reconocimientos en terrenos inexplorados y llenos de bosques: lleva una dirección general conveniente y vemos ahora, con gusto, que se prolonga más y más, de año en año, hacia el sur, formando una verdadera espina dorsal, de nuestra red futura de ferrocarriles. En trazados de esta importancia, sólo el servicio general es el que debe dirigir al ingeniero: las cuestiones económicas, salvo casos muy excepcionales, generalmente son secundarios y sólo

sirven para introducir variantes de detalle en la travesía de los ríos, etc., etc.

15. Estas líneas de interés general, donde las cuestiones y consideraciones económicas del trazado, pasan á ser secundarias y á dar indicaciones solamente para modificaciones locales, por lo general se emprenden con fondos fiscales y durante sus primeros años de explotación, no dejan, ni con mucho, como beneficio, ni los intereses de los capitales que en ellos se invierten. En cambio, ellas, fomentan notablemente las industrias, y sobre todo, son el mejor auxiliar de la colonización del territorio araucano, y los dineros que el Estado invierte en ellas, serán pagados con usura, cuando el aumento de la población, que estos mismos trabajos ocasionan en esas localidades, hagan prosperar todos esos campos casi abandonados en poder de los araucanos. Á más de esto, los remates de los terrenos fiscales que existen en toda la región del sur, producen generalmente casi tanto, si no más, que el costo de las líneas férreas, así es que, el verdadero gravamen fiscal, no es otro que los gastos de explotación, durante los primeros años, cuando estos gastos no alcanzan á ser cubiertos con las entradas del tráfico. Se encuentran, pues, suficientemente justificados los sacrificios que se hacen para prolongar nuestras líneas al sur, sin contar con la ganancia bajo el punto de vista estratégico, para lo cual no se puede tampoco negar la importancia de la línea de Valdivia á Osorno.

§ V.

Reducción de los trazados á la horizontal

COMPARACIÓN TÉCNICA

1. Otro método más exacto de comparación de trazados y más conforme con los principios, que hemos establecido, y que llamaremos *técnico*, es el que consiste en reducir todas las gra-

dientes y pendientes á la horizontal: es decir sustituir, al largo efectivo de una gradiente, una horizontal que le sea equivalente en sus resistencias, *y otro tanto con cada una de las curvas del trazado*, sustituirlas por horizontales que desarrollen la misma resistencia á los trenes. Tendremos así, reduciendo todos los trazados á la horizontal, *los largos virtuales de las líneas que estudiamos*. Aplicando en seguida á estas líneas, cuyos largos virtuales hemos determinado, las fórmulas de las resistencia del tráfico, podemos determinar sus gastos efectivos, sus resistencias efectivas, y hacer las mismas operaciones, para todos los trazados que queremos comparar entre sí.

2. La determinación del largo virtual de un trazado, se puede hacer de varias maneras, con más ó menos exactitud, como se comprenderá fácilmente, si se estudia en detalle la influencia de las rampas y de las curvas. El método enteramente exacto (haciendo abstracción de la aproximación de los coeficientes que se introducen) sería ir estudiando un trazado, parte por parte, é ir reduciendo á distancias horizontales cada una de sus rampas y de sus curvas, teniendo muy presente las que son franqueables por empuje y que no aumentan en nada los gastos del tráfico, puesto que son recorridas por la inercia de los trenes en virtud de la velocidad adquirida. Método largo, pero que daría una cifra, que se podría llamar exacta para el *largo virtual de la vía*, en seguida sólo quedaria por determinar detalladamente, en cada caso, todos los elementos que figuran como factores del tráfico, para determinar sus gastos con exactitud.

3. En la construcción de una línea férrea, la elección del trazado definitivo (1) depende casi siempre de las circunstancias locales ó de las comarcas que se atraviesan, y el ingeniero se deja muchas veces llevar por las economías que puede alcanzar,

(1) Tomado de un estudio publicado por el señor J. Pages Ortiz, en los Anales de la Construcción y de la Industria.

más allá de lo conveniente, sin tener en cuenta que, obrando así, origina fuertes pendientes y por consiguiente cargas de arrastre muy exiguas para el servicio de explotación. Por eso siempre que un ingeniero ha de elegir entre varios trazados de una línea férrea, no debe hacerlo sin establecer previamente sus *largos virtuales*, ó longitudes rectilíneas equivalentes y precisando las condiciones en que se hará la explotación.

La reducción de una línea de perfil ondulado, á otra horizontal y rectilínea, ficticia y equivalente, ó sea la longitud virtual de la misma, se determina de varias maneras según la base adoptada. Así puede ser la longitud virtual relativa al trabajo mecánico ó á la resistencia que hay que vencer.—2.º La longitud virtual con relación á los gastos de explotación que ocasiona cada línea.—3.º La longitud virtual con relación á los gastos de tracción solamente.—4.º La longitud virtual con relación al precio de transporte.—y 5.º La longitud virtual con relación á la velocidad de los trenes.

De todos estos problemas el que presenta mas interés sin disputa, es la determinación del largo virtual del trabajo mecánico y á este respecto, volveré á citar otro párrafo del señor J. Pages Ortiz, que lo define de una manera muy clara.

«La longitud virtual relativa al trabajo mecánico, es la de una línea ideal horizontal y rectilínea sobre la cual el trabajo que es necesario desarrollar ó bien las resistencias que hay que vencer (á igualdad de velocidad) para el transporte de una tonelada es la misma que sobre la línea férrea que se considera.» Resulta de esta definición que si muchas variantes de un trazado, satisfacen las condiciones impuesta; por la ley y aún el pliego de condiciones; la explotación de la línea exige que se elija el trazado cuyo largo virtual es más pequeño. Muchas veces resulta que, aunque á primera vista, entre dos trazados, tenga la ventaja el que tiene menor largo virtual, no se escoge este por el exceso de gasto que ocasiona su construcción; y puede verse construir

el trazado cuyas condiciones sean peores, porque el interés de capital empleado, compensa los mayores gastos de explotación que exige el servicio de la línea (caso del trazado que analizamos de Palmilla á Alcones y Pichilmeu, comparándolo con el trazado de Nilahue).

4. Largo sería entrar aquí á desarrollar y considerar en todos sus detalles, las fórmulas y casos que se presentan de la influencia de las rampas en los trazados de ferrocarriles, y cuáles de ellas son ó nó franqueables por empuje y por consiguiente que no aumentan en nada los gastos de explotación, ó resistencia del tráfico. Nos limitaremos á apuntar los principios más fundamentales, sobre la influencias de las rampas y de las curvas, y en seguida á exponer, los sistemas más generalmente usados para la determinación de los largos virtuales de las líneas férreas. Para determinar la influencia de las rampas, se parte del principio, *reconocido exacto en la práctica, y por la teoría que las rampas ocasionan un aumento de resistencia de un kilogramo por tonelada de peso arrastrado y por milímetro de inclinación por metro.*

5. En los Estados Unidos (Lawene et E. Pontzen) consideran el trabajo de la resistencia de una curva, como independiente del radio y proporcional al número de grados de amplitud de la curva, de donde se sigue que si se designa por Q . la resistencia sobre la circunferencia, cuyo arco de un grado tiene un largo de 30.^m50, el producto $Q \times 30.50$, representa en una circunferencia cualquiera, el trabajo de la resistencia correspondiente al camino de un grado de amplitud.

El recorrer entonces un grado, valdría entonces, bajo el punto de vista de resistencia la ascensión de un número de metros representados por

$$\frac{Q \times 30.50}{1000}$$

es decir 0.^m038 ó 0.^m0069 según que se atribuya á la resistencia de las curvas un valor de una libra ó media libra por tonelada y por grado de curvatura, ó una distancia *horizontal virtual* igual a

$$\frac{0.0138}{0.005} = 2.^m76 \text{ ó } \frac{0.0069}{0.005} = 1.^m38$$

si se admite por resistencia horizontal la cifra de 5 kilogramos por tonelada, *y en tales condiciones el recorrer un metro de altura, sea cual fuere la rampa sería equivalente á una distancia horizontal de 200 metros.*

6. Aplicando las fórmulas anteriores, á los tres trazados que hemos puesto por ejemplo, entre los puntos A y B (fig. 1) tendremos que, suponiéndoles á estos trazados un perfil longitudinal, como el que muestra la figura y las curvas que se detallan en los cuadros siguientes, sus largos virtuales de A hacia B y sin tomar en cuenta las rampas franqueables por empuje, serían como sigue:

TRAZADO N.º 1.

Aumento virtual debido á las curvas

| Número de orden | Radios en metros | Deflecciones en grados | Amplitud ó ángulo en el centro | Aumento virtual correspondiente en metros |
|-----------------|------------------|------------------------|--------------------------------|---|
| 1 | 1747 | 1º | 30º | 41.40 |
| 2 | id | id | 200º | 276.00 |
| 3 | id | id | 100º | 138.00 |
| 4 | id | id | 80º | 110.00 |
| 5 | id | id | 10º | 13.80 |
| 6 | 873 | 2º | 60º | 165.60 |
| 7 | id | id | 92º | 253.92 |
| 8 | id | id | 65º | 179.40 |
| 9 | 582 | 3º | 70º | 289.80 |
| 10 | id | id | 95º | 393.30 |
| 11 | id | id | 60º | 248.40 |
| 12 | id | id | 50º | 207.00 |
| 13 | id | id | 25º | 103.50 |
| 14 | id | id | 14º | 57.96 |
| 15 | id | id | 58º | 240.12 |
| 16 | id | id | 110º | 455.40 |

Es decir que, admitiendo como resistencia en las curvas media libra o sean 0.226 kilogramos por tonelada y por grados de deflección, lo que equivale á tomar por aumento de longitud virtual de una curva 1.^m38 por grado de deflección y amplitud, tenemos que, las curvas del trazado N.º 1 representan un aumento total del largo de la línea de 3,174 metros.

TRAZADO N.º 2.

Aumento virtual debido á las curvas

| Número de orden | Radios en metros | Deflecciones en grados | Amplitud ó ángulo en el centro | Aumento virtual correspondiente en metros |
|------------------------------|------------------|------------------------|--------------------------------|---|
| 1 | 873 | 2º | 30º | 82.80 |
| 2 | id | id | 25º | 69.00 |
| 3 | id | id | 22º | 60.72 |
| 4 | id | id | 36º | 99.36 |
| 5 | id | id | 18º | 22.08 |
| 6 | id | id | 24º | 66.24 |
| 7 | 582 | 3º | 40º | 165.60 |
| 8 | id | id | 57º | 235.98 |
| 9 | id | id | 43º | 178.02 |
| 10 | id | id | 45º | 186.30 |
| 11 | 291 | 6º | 52º | 430.56 |
| 12 | id | id | 45º | 372.60 |
| 13 | 249 | 7º | 120º | 1159.20 |
| 14 | id | id | 107º | 1033.62 |
| 15 | id | id | 108º | 1043.28 |
| 16 | id | id | 85º | 821.15 |
| 17 | id | id | 64º | 618.24 |
| TOTAL DEL AUMENTO... 6644.75 | | | | |

Lo que muestra que las curvas del trazado N.º 2, dan un aumento virtual á la traza de 6644.^m75 bajo las mismas condiciones que el anterior. El cuadro de la vuelta, manifiesta, que las curvas del trazado N.º 3, representan un aumento virtual de la traza de 18,710.20 metros. Estas cifras, ponen también en evidencia la influencia nociva de los centros de corto radio, porque los largos virtuales que cada uno de ellos representa, crecen proporcionalmente con el ángulo de flección, ó en razón inversa del radio de la curva.

TRAZADO N.º 3.

Aumento virtual debido á las curvas

| Número de orden | Radio en metros | Deflexiones en grado | Amplitud ó ángulo del centro | Aumento virtual correspondiente en metros |
|---------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|---|
| 1 | 873 | 2° | 75° | 207.00 |
| 2 | id | id | 52° | 143.52 |
| 3 | id | id | 81° | 348.56 |
| 4 | id | id | 50° | 138.00 |
| 5 | id | id | 37° | 214.32 |
| 6 | id | id | 38° | 104.88 |
| 7 | id | id | 114° | 334.64 |
| 8 | 582 | 3° | 82° | 339.48 |
| 9 | id | id | 154° | 637.56 |
| 10 | id | id | 138° | 571.32 |
| 11 | id | id | 60° | 248.40 |
| 12 | id | id | 88° | 364.32 |
| 13 | 349 | 5° | 79° | 545.10 |
| 14 | id | id | 185° | 1276.50 |
| 15 | id | id | 146° | 1007.40 |
| 16 | id | id | 97° | 669.60 |
| 17 | id | id | 102° | 703.80 |
| 18 | 218 | 8° | 140° | 1545.60 |
| 19 | id | id | 98° | 1081.92 |
| 20 | id | id | 137° | 1512.48 |
| 21 | 175 | 10° | 130° | 1764.00 |
| 22 | id | id | 95° | 1281.00 |
| 23 | id | id | 110° | 1518.00 |
| 24 | id | id | 80° | 1104.00 |
| 25 | id | id | 76° | 1048.80 |
| TOTAL DEL AUMENTO.. | | | | 18710.20 |

7. Tomando en cuenta las gradientes de los diversos trazados, y como base del cálculo, una resistencia de 5 kilogramos

en horizontal, ó sea, que cada metro de altura, equivale á 200 metros en horizontal, tenemos los cuadros siguientes que dan los aumentos virtuales de los tres trazados que analizamos, debido á las pendientes, según los perfiles de la figura N.º 1 y cuadro anexo.

TRAZADO N.º 1.

Aumentos virtuales de las gradientes

| Número de orden | Inclinación por metro | Largo de la rampa en metros | Largo virtual de la rampa en metros | Aumento virtual de la traza en metros |
|----------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 0.00125 | 4000 | 5000 | 1000 |
| 2 | 0.005 | 3000 | 6000 | 3000 |
| 3 | 0.00165 | 6000 | 8000 | 2000 |
| 4 | 0.001 | 5000 | bajada | 0.000 |
| 5 | 0.00125 | 4000 | 5000 | 1000 |
| 6 | 0.005 | 4000 | 8000 | 4000 |
| 7 | 0.005 | 7000 | bajada | 0.000 |
| 8 | 0.0025 | 5000 | 8000 | 3000 |
| 9 | 0.000714 | 7000 | 8000 | 1000 |
| 10 | 0.000299 | 7000 | 7400 | 400 |
| 11 | 0.001116 | 6000 | bajada | 0.000 |
| TOTAL DEL AUMENTO... | | | | 15400. ^m |

Aumentos virtuales debidos á las rampas

| TRAZADO N.º 2. | | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Número de orden | Inclinación por metro | Largo real de la rampa en metros | Largo virtual de la rampa en metros | Aumento virtual de la traza en metros |
| 1 | 0.005 | 4000 | 8000 | 4000 |
| 2 | 0.015 | 8000 | 34000 | 26000 |
| 3 | 0.015 | 7000 | bajada | 0.000 |
| 4 | 0.007 | 5000 | 6000 | 1000 |
| 5 | 0.00325 | 4000 | bajada | 0.000 |
| 6 | 0.00116 | 6000 | bajada | 0.000 |
| TOTAL DEL AUMENTO.... | | | | 31000 |

| TRAZADO N.º 3. | | | | |
|----------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Número de orden | Inclinación por metro | Largo real de la rampa en metros | Largo virtual de la rampa en metro | Aumento virtual de la traza en metros |
| 1 | 0.0083 | 3000 | 8000 | 5000 |
| 2 | 0.015 | 4000 | 16000 | 12000 |
| 3 | 0.020 | 2000 | 10000 | 8000 |
| 4 | 0.025 | 3000 | 18000 | 15000 |
| 5 | 0.020 | 4000 | bajada | 0.000 |
| 6 | 0.0020 | 4000 | bajada | 0.000 |
| 7 | 0.0033 | 3000 | bajada | 0.000 |
| TOTAL DEL AUMENTO... | | | | 40000 |

8. Luego los largos virtuales de los tres trazados son:

$$N.º 1 \dots Lv = 80000 + 15400 + 3174 = 98574 \text{ metros.}$$

$$N.º 2 \dots Lv = 50000 + 6644.75 + 31000 = 87644.75 \text{ metros.}$$

N.º 3... $L_v = 30000 + 18710.20 + 40000 = 88710.20$ metros.

Estos números ponen también de manifiesto, las mismas consecuencias que ya habíamos deducido, por otros caminos de comparación, y es que el trazado N.º 1 no es el más ventajoso, y que sólo sería admisible, cuando se tratara de hacer una línea tronco; para lo cual, hay que tener presente otro orden de consideraciones, como ser servir todo el valle, etc., etc. Que el trazado N.º 2, es el más ventajoso, como economía y como gastos de explotación; pero si se trata de un servicio directo, é inmediato entre los puntos A y B el núm. 3 es el más expedito. Hemos determinado los largos virtuales, marchando de A hacia B, porque, según los perfiles es la condición más desventajosa de la explotación, puesto que marchando de B hacia A, se tienen las mismas resistencias de las curvas, y estando el punto B á 30 metros sobre el nivel del punto A, la carga tiene que subir en todos los trazados 30 metros menos.

Como hemos visto en los cálculos anteriores, no hemos tomado en cuenta las rampas salvables por empuje y estas tienen mucho más influencia para disminuir el largo virtual, en el trazado N.º 1 que en los otros, puesto que tiene inclinaciones débiles y grandes radios: por consiguiente entrando en estos detalles, y tomando en cuenta este factor, encontraríamos que los largos virtuales de los tres trazados son casi los mismos.

9. Para la comparación de tres trazados con curvas y rampas, propuestas para la unión del gran puente de Cincinnati, sobre el Cincinnati Southern R. R., con las líneas del Cincinnati y Dayton y del Baltimore R. R., el ingeniero en jefe de la compañía W. G. Bauscaren, calculó el número de wagones cargados que una locomotora, del tipo de la compañía, podía remolcar por cada trazado, por la fórmula siguiente:

$$N = \frac{W_f - W'_g - (W' - W) 0.0033}{20 (0.0033 + g)}$$

en la cual N representa el número de wagones supuesto cada uno con un peso de 20 toneladas.

W = el peso sobre las ruedas motrices de la locomotora (30 toneladas).

W' = el peso total de la locomotora (38 toneladas).

f = la adherencia, supuesta igual á 0.26,

g = la rampa tomando en cuenta las curvas, contando como equivalente, por grado de curvatura, una rampa de 0.^{mm} 569 milímetros. (0.^m 000569).

La resistencia del tren al rodado, fué avaluada en 3 k. 30 por tonelada bruta en línea recta. Si esta última cifra puede parecer débil, aunque no lo sea para una línea en buen estado, el coeficiente de 0.^m 000569 aplicado al material Americano para la resistencia de las curvas, puede considerarse como muy elevado, teniendo presente los resultados de las experiencias (Lavoine et Pontzen).

Sabiendo el número de wagones cargados que una locomotora dada, puede arrastrar en cada uno de los trazados que se comparan, podemos calcular los gastos que originaría el tráfico en cada una de ellas, como lo hemos hecho en el ejemplo citado en el § II.

En el caso de los trazados que iban á unir el puente del Cincinnati, se trataba de comparar varios trazados que iban á formar parte de una red de líneas en explotación, cuyo servicio tiene que hacerse con el mismo equipo que el de las líneas ya existentes, para no ocasionar á las compañías gastos de un nuevo equipo, especial para un ramal ó sección dada de su red de líneas. Para estos casos, la fórmula que se ha apuntado, para determinar el número de wagones que, puede arrastrar una locomotora dada equivale á determinar el largo virtual de cada línea; puesto que da los elementos precisos para calcular los gastos del tráfico.

10. Aplicando las fórmulas de Mr. G. Bauscasen, á las líneas de los Ferrocarriles del Estado, y á las que hemos puesto como

ejemplo para hacer las comparaciones de los trazados, y tomando como máquina tipo, la *Industria*, uno de los últimos modelos de máquina de fuerza de la sección de Santiago á Talca, y teniendo presente, que los wagones americanos de las líneas del Estado, entre nosotros, pesan con su carga 30 toneladas cada uno (tipos de 20 t. de cargamento) tendremos $W = 37,240$ kilógr. y $W' = 48,000$ kilógrs.

En la línea de Santiago á Valparaíso, y en el proyecto N.º 1 que comparamos, en la parte de rampas de 0.0225 con curvas de 180 metros de radio, ó de 10º de deflección (despreciando los minutos y segundos delante del coeficiente 0.000569)—de donde $g = 0.0225 + 0.000569 \times 10 = 0.02819$; y por consiguiente:

$$N = \frac{37240 \times 0.26 - 48000 \times 0.02819 - (48000 - 37240) 0.0033}{30 (0.0033 + 0.02819)} = 8.7$$

como el tender pesa 32,270 Kilógr., para esta locomotora, ó sea poco más que un wagon, el tren que arrastraría, se compondría de 7 y medio wagones de 30 toneladas (subiendo el Tabón).

En la segunda sección, ó sea en línea de Santiago á Curicó, cuyo trazado se asemeja al proyecto N.º 2 que poníamos de ejemplo, donde las pendientes máximas son de 0.0125 y el radio mínimo de las curvas 308 metros ó sean 6º de deflección (despreciando minutos y segundos) p. c. $g = 0.0125 + 0.000569 \times 6 = 0.0159$; y por consiguiente:

$$N = \frac{37240 \times 0.26 - 48000 \times 0.0159 - (48000 - 37240) 0.0033}{30 (0.0033 + 0.0159)} = 13.14$$

es decir que esta locomotora, arrastraría en esas líneas 12 wagones de 30 toneladas y el tender de 32,270 K.

En las líneas de la Frontera ó de la 4.ª sección de los ferrocarriles del Estado, donde la pendiente máxima es de 0.01 y sus curvas de menor radio son de 300 metros ó de 6º de deflección

en números redondos, tenemos: $g = 0.01 + 0.000569 \times 6 = 0.0134$ y por consiguiente:

$$N = \frac{37240 \times 0.26 - 48000 \times 0.0134 - (48000 - 37240) \times 0.0033}{30 (0.0033 + 0.0134)} = 19.96$$

lo que nos dice que, en esas líneas, la locomotora Industria arrastraría, á más de su tender, 18 y medio wagones de 30 toneladas.

Y para el proyecto N.º 3, en el cual hemos supuesto, gradientes máximas de 0.005 y curvas de un radio mínimo de 500 metros ó de 3º.5 de deflexión, en números redondos, tenemos: $g = 0.005 + 0.000569 \times 3.5 = 0.00699$ y por consiguiente:

$$N = \frac{37240 \times 0.26 - 48000 \times 0.00699 - (48000 - 37240) \times 0.0033}{30 (0.0033 + 0.00699)} = 30$$

Lo que nos dice que con las condiciones del trazado N.º 3, la misma locomotora, arrastraría á más de su tender 28 y medio wagones de 30 toneladas.

Estos números vuelven á hacernos resaltar las influencias de las curvas y de las gradientes haciendo notar la proporción tan rápida con que desaparece la potencia de la locomotora, á medida que la gradiente aumenta. Según los cálculos anteriores de una gradiente de 0.005, en la cual, la máquina Industria arrastraría 28 y medio wagones y su tender, se pasa á 7 y medio y su tender, cuando la pendiente llega á 0.0225 por metro.

11. A más de las fórmulas anteriores, que son enteramente prácticas y sencillas en sus aplicaciones, citaremos como medio expedito, para determinar los largos virtuales de las líneas, la fórmula adoptada por el Gobierno Italiano, cuando hace comparaciones entre diversos trazados, que es la siguiente:

Siendo T , el peso bruto de un tren en toneladas; se descompone este peso en, T_u ó peso útil y T_m ó peso muerto de los carros; P_a = peso de la locomotora sobre los ejes motores y P_m = peso de la locomotora que gravita sobre los ejes portadores y el tender. Llamando k al coeficiente de adherencia y admitiendo

que el esfuerzo de tracción de una tonelada en horizontal sea de 6 kilogramos, la adherencia de la locomotora será de $1000 h P_a$ y la resistencia del tren sobre una gradiente a será igual y expresada en kilogramos, á la que da la fórmula $(a + 6) T$.—Para un tipo de locomotora determinado existe siempre una relación entre P_a y P_m y se tiene una relación fija $\frac{P_a}{P_m} = b$

de lo anterior se deduce, que el trabajo en kilogramos que hay que desarrollar, para remolcar *una tonelada útil*, á lo largo de la gradiente a en un largo de l metros será:

$$\frac{T (a + 6) l}{T_a}$$

Admitiendo entonces una gradiente máxima (10 milímetros en Italia) que constituye el límite hasta el cual se aplican las tarifas normales de la vía, se toma la relación que existe entre el trabajo sobre una gradiente cualquiera y el de la rampa máxima admitida con las tarifas ordinarias, *y según el resultado de esta relación se hace variar el largo virtual de la gradiente. Por consiguiente el largo virtual, es el producto del largo real de la rampa por el coeficiente determinado anteriormente.*

Un ejemplo pondrá de manifiesto el uso de esta fórmula.

Supongamos que el peso bruto de un tren sea de 500 toneladas = T , y su peso útil $T_a = 280$ ton. y el trazado que se trata de comparar tenga una pendiente de 18 milímetros sobre una extensión de 3 kilómetros, tendríamos que el trabajo en kilogramos que se desarrollaría por una tonelada útil en esta gradiente es de:

$$T = 500 \text{ t} \quad a = 18 \text{ m/m} \quad \frac{500 (18 + 6) \times 3000}{280} = 128,428 \text{ Kilogramos}$$

$$T = 280 \text{ t} \quad l = 3000 \text{ m.}$$

Como la gradiente máxima, admitida en Italia con las tarifas ordinarias es de 10 milímetros, el esfuerzo que tendría que des-

arrollarse, para remolcar en las mismas condiciones una tonelada útil en esta gradiente de 3000 metros sería.

$$\frac{500 (10+6) \times 3000}{280} = 85714 \text{ Kilogrametros}$$

Es decir que la relación que existe, entre el trabajo del tren en la gradiente máxima de 10% y la de 18% es de:

$\frac{128428}{85714} = 1.48$: por consiguiente, el largo virtual de la gradiente de 18 m/m y de 3000 metros es de: $3000 \times 1.48 = 4440$ metros.

12. Mr. Alph. Belpaire ingeniero en jefe de los ferrocarriles en Bélgica (1) para comparar varios trazados estudia detalladamente sus gastos de explotación y Mr. Baumester, en 1880, siguiendo un procedimiento análogo al de Mr. A. Belpaire, aplicado al conjunto de la explotación de los ferrocarriles Alemanes, encontró también, que las resistencias medias de los trenes, referidas á la unidad de pasajeros, y á la unidad de mercaderías (tonelada), representan aproximadamente las condiciones del trazado.

En consecuencia Mr. Belpaire, buscó una fórmula que resumiera todos los gastos de una tonelada por miriámetro, para hacer con ella las comparaciones de los trazados, y llegó á las conclusiones siguientes:

Suponiendo los gastos de administración, conservación, vigilancia del servicio en 14000 francos por miriámetro.

A = el número de *wagones miriámetros* que indica la circulación real de un ferrocarril determinado.

B = el número de miriámetros recorridos por una locomotora.

C = el número de horas, que la misma locomotora ha permanecido estacionaria.

(1) Compte rendu General du congrés de chemins de fer—Bruxelles 8 al 15 d' Août de 1885.

D = el número de toneladas de mercancías acarreadas por una locomotora.

E = el número de unidades de carga útil que lleva por término medio un wagón.

F = la distancia media recorrida por una unidad de carga.

Los gastos de una *tonelada miriámetro* serian dados por la fórmula siguiente:

$$\frac{\frac{14000}{A} + \frac{30000}{A} + \frac{6.00}{D} + 0.22}{E} + \frac{1.6}{F} + 0.042, \text{ de donde los gastos}$$

$$\text{tos} = \frac{14000}{A E} + \frac{30000}{A E} + \frac{6.00}{D E} + \frac{0.22}{E} + \frac{1.60}{F} + 0.042$$

$\frac{14000}{A E}$ = porción de los gastos de administración, vigilancia y servicio, que corresponden á la unidad de tráfico.

$\frac{30000}{A E}$ = porción de gastos de conservación de vía que corresponden á la unidad de tráfico.

$\frac{6.00}{D E}$ = parte que corresponde á la unidad de tráfico por los gastos de tracción.

$\frac{0.22}{E}$ = parte que corresponde á la unidad de tráfico por los gastos de acarreo.

$\frac{1.60}{F}$ = gastos de embarque.

0.042 = gasto especial de acarreo por unidad de tráfico.

Los valores que fueron atribuidos á las cantidades A, D etc., por el autor, han sido las siguientes:

| | Mínimum | Valor medio | Valor máximúm. |
|-----|---------|-------------|----------------|
| A = | 30000 | 50000 | 100000. |
| D = | 12 | 15 | 20. |
| E = | 1 | 2½ | 4. |
| F = | 4 | 7 | 10. |

Como se ve estos cálculos son más ó menos hacederos, tratándose de comparar líneas en plena explotación, para ver sus ventajas é inconvenientes; pero serían muy aproximados, sino imposibles, tratándose de ante-proyectos de estudio, para los cuales los elementos del número de toneladas de acarreo, distancia media, etc., etc., no pueden determinarse de una manera fija, para esos casos las fórmulas prácticas apuntadas anteriormente dan plena satisfacción.

13. Apuntaremos á continuación, otros procedimientos más científicos ó más bien dicho más exactos y más teóricos que se dan para determinar los largos virtuales de las líneas férreas, principiando por los dados por Mr. Baum (1) reasumiéndolos en lo posible.

Mr. Baum establece como base, *que la relación que existe entre la resistencia que se opone á la marcha de un tren sobre una rampa y la resistencia que tendría que vencer este mismo tren con la misma velocidad, sobre un perfil horizontal, representa la longitud virtual de la rampa.* De las diversas fórmulas que dan la resistencia de los trenes en marcha, Mr. Baum adopta las fórmulas francesas de Willemins, Dieudonné y Guelard, aplicables á trenes cuya velocidad está comprendida entre 16 y 32 kilómetros, ó sea para trenes de mercaderías.

Dichas fórmulas son las siguientes:

$$R=(2.3 + 0.05V) P.$$

Cando el engrase de los wagones se hace con sebo ú otras materias grasas.

$$R=(1.6 + 0.05V) P.$$

Cuando para el engrase se usa exclusivamente el aceite.

(1) «Traité de longueurs virtuelles des chemins de fer» y estudio del señor J. Pages Ortiz, ingeniero de los ferro-carriles Españoles.

El término medio de estas fórmulas, es la que se ha adoptado para determinar las resistencias del tren, es decir $R = (2 + 0.05 V) P$.

ó bien, por tonelada de tren

$$R^{\text{Kilos}} = 2 + 0.05 V.$$

En la cual R representa la resistencia en kilogramos y V la velocidad en kilómetros por hora.

Como resistencia debida al ténder, fijan los señores Willemins, Guelard y Dieudonné por cada tonelada

$$2.6^{\text{Kilos}} + 0.09 V. \text{ sobre horizontal y línea recta.}$$

Para una rampa n , y en el supuesto que cada milímetro de rampa, equivale á un kilogramo de resistencia por tonelada (cosa generalmente admitida, por cuanto sin temor sensible, puede tomarse para ángulos muy pequeños $\text{sen } \alpha = \text{tang } \alpha = \alpha$) tendremos:

$$2.6 + 0.09 V + n.$$

El peso del ténder con relación al de la locomotora varía entre los límites de $\frac{1}{2}$ á $\frac{2}{3}$, para locomotoras de tres ejes acoplados que son las que ordinariamente prestan sus servicios en trenes de mercancías y puede tomarse un termino medio $\frac{5}{9}$, de manera que, si expresamos el peso del ténder en función de la locomotora, su resistencia por tonelada, será en horizontal, llamando M el peso:

$$\frac{5}{9} M (2.6 + 0.09 V)$$

y para una pendiente n , tendremos:

$$\frac{5}{9} M (2.6 + 0.09 V) \pm n$$

En la resistencia de una locomotora hay que distinguir, primero la resistencia al rodado como vehículo; segundo las resis-

tencias debidas á los rozamientos de los mecanismos; tercero la resistencia causada por la presión del vapor. De estas tres, la única que nos interesa para nuestro problema, es la resistencia al rodado. Deduciéndola de la resistencia por tonelada del tender ($2.6 + 0.09 V$) teniendo en cuenta que, el rozamiento de los ejes del tender en sus cajas de grasa, según experiencias hechas en la línea del Este de Francia, es de 0.043, y que á igual velocidad, se encuentra como coeficiente de rozamiento para las máquinas 0.052 y multiplicando la resistencia por tonelada de tender por $\frac{52}{43}$ que necesariamente aumentaría el de la locomotora, la resistencia por tonelada de esta última, en horizontal será:

$$3.16 + 0.11 V.$$

y sobre una rampa n

$$3.16 + 0.11 V + n.$$

Para las resistencias debidas á las curvas, veremos más adelante como se transforman en resistencias de rampas equivalentes.

La resistencia total de un tren, comprende también la de los vehículos, más la del tender y locomotora, y de lo anterior tenemos que, llamando R_0 la resistencia total en horizontal y R_1 la resistencia total en rampa, tenemos:

$$R_0 = P (2 + 0.05 V) + \frac{5}{9} M (2.6 + 0.09 V) + M (3.16 + 0.11 V)$$

de donde

$$R_0 = P (2 + 0.05 V) + M (4.6 + 0.16 V) \dots \dots \dots (1)$$

Y para valor de R_1 tenemos:

$$R_1 = P (2 + 0.05 V \pm n) + \frac{5}{9} M (2.6 + 0.09 V + n) + M (3.16 + 0.11 V \pm n)$$

de donde

$$R_1 = P (2 + 0.05 V \pm n) + M (4.6 + 0.16 V \pm 1.55 n) \dots \dots (2)$$

El esfuerzo tangencial que se ejerce en las ruedas motrices para arrastrar un tren, es superior ó por lo menos igual á la re-

sistencia total del tren, y la experiencia ha demostrado, que este esfuerzo varía entre $\frac{1}{8}$ y $\frac{1}{10}$ del peso de la locomotora. Luego si tomamos el término medio $\frac{1}{7}$ tendremos sobre una rampa n

$$\frac{1000}{7}M \geq P (2 + 0.05 V \pm n) + M (4.6 + 0.16 V \pm 1.55 n)$$

y por consiguiente:

$$\frac{M}{P} = \frac{2 + 0.05 V \pm n}{138.26 - 0.16 V \pm 1.55 n} \quad \text{y para una sección hori-}$$

zontal, $\frac{M_0}{P} = \frac{2 + 0.05 V}{138.26 - 0.16 V}$ despejando M de estas expresiones, y sustituyendo sus valores en las ecuaciones (1) y (2) llegamos á los resultados siguientes para los valores de las resistencias, habiendo eliminado el peso de la locomotora.

$$R_0 = 142.86 P \frac{2 + 0.05 V}{138.26 - 0.16 V} \dots\dots\dots (3)$$

$$R_1 = 142.86 P \frac{2 + 0.05 V \pm n}{138.26 - 0.16 V \mp 1.55 n} \dots\dots\dots (4)$$

14 *Fórmula de la longitud virtual.*—Considerando una sección de rampas y curvas, y designando por L la longitud total de la sección que se estudia; αL el incremento de la longitud virtual debido á la influencia de las rampas; βL el incremento de la longitud virtual debido á las curvas y δL la longitud virtual total tendremos que:

$$\delta L L = + \alpha L + \beta L \text{ ó bien } \delta L = L (1 + \alpha + \beta)$$

para tener el largo virtual basta entonces, determinar los coeficientes α y β de la fórmula.

Influencia de las rampas ó determinación de α .—Si R_1 y R_0 representan las resistencias sobre una rampa y sobre la horizontal, el aumento de resistencia que se notará en la rampa será de $R_1 - R_0$; luego el incremento α , de la longitud virtual, según lo expuesto anteriormente es:

$$\alpha = \frac{R_1 - R_0}{R_0}$$

sustituyendo en esta expresión, los valores de R_1 y R_0 dados por las ecuaciones (3) y (4), tendremos:

$$\alpha = \frac{142.86 P \frac{z+0.05 V \pm n}{138.26 - 0.16 V \mp 1.55 n} - 142.86 P \frac{z+0.05 V}{138.26 - 0.16 V}}{142.86 P \frac{z+0.05 V}{138.26 - 0.16 V}}$$

efectuando las operaciones indicadas queda:

$$\alpha = \frac{\pm 141.36 n \mp 0.0825 n V}{276.52 + 6.69 V \pm 3.1 n \mp 0.0775 n V - 0.008 V^2} \dots \dots \dots (5)$$

en esta fórmula α se encuentran en función de la velocidad y de la rampa. Según pruebas recientes sobre la marcha de los *trenes de mercaderías*, la velocidad de un tren en las diversas rampas en que circula debe ajustarse á la expresión siguiente:

$$V = 25 - 0.568 n + 0.0045 n^2 \dots \dots \dots (6)$$

Sustituyendo este valor de V en la ecuación (5) nos da como valor de α en función de la rampa ó pendiente n el siguiente:

$$\alpha = \frac{139.3 n + 0.0468 n^2 - 0.00037 n^3}{436.5 - 8.55n + 0.693 n^2 - 0.00031n^3} \quad (7.)$$

despreciando el término en n^4 cuyo coeficiente resultaría ser 0.000000162.

Si en lugar de adoptar como peso del ténder los $\frac{5}{9}$ del de la locomotora, hubiéramos tomado los $\frac{2}{9}$ ó $\frac{1}{2}$, los valores de α serían respectivamente los siguientes:

$$\text{para ténder } \frac{2}{9} \text{ peso locomotora } \alpha' = \frac{139.48 n + 0.045n^2 - 0.00036 n^3}{436.56 - 8.72 n + 0.07 n^2 - 0.00032 n^3}$$

$$\text{para ténder } \frac{1}{2} \text{ peso de locomotora } \alpha'' = \frac{139.67 n + 0.042 n^2 - 0.00033 n^3}{437.90 - 8.42n + 0.068n^2 - 0.0003n^3}$$

Si volvemos á tomar la primera expresión de α' fórmula (7), para un término medio es decir ténder de $\frac{5}{9}$ del peso de la locomotora, y que como se ve está comprendida entre los valores

de a' y a'' , y sustituimos en lugar de n , varios valores de rampas, se formará el cuadro siguiente de los valores de a , con lo cual se facilita enormemente la aplicación de estas fórmulas que tienen un largo desarrollo de cálculo para cada caso especial. Mientras que, teniendo los coeficientes calculados de antemano, para una serie de gradientes, el cálculo es sumamente práctico y corto.

| Rampa en milímetros | Valor de a | Rampa en milímetros | Valor de a | Rampa en milímetros | Valor de a | Rampa en milímetros | Valor de a |
|---------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|
| 0.1 | 0.032 | 2.8 | 0.945 | 5.5 | 1.960 | 8.2 | 3.088 |
| 0.2 | 0.064 | 2.9 | 0.981 | 5.6 | 2.000 | 8.3 | 3.132 |
| 0.3 | 0.096 | 3.0 | 1.017 | 5.7 | 2.040 | 8.4 | 3.176 |
| 0.4 | 0.129 | 3.1 | 1.053 | 5.8 | 2.080 | 8.5 | 3.220 |
| 0.5 | 0.162 | 3.2 | 1.089 | 5.9 | 2.120 | 8.6 | 2.265 |
| 0.6 | 0.195 | 3.3 | 1.125 | 6.0 | 2.160 | 8.7 | 3.310 |
| 0.7 | 0.228 | 3.4 | 1.161 | 6.1 | 2.200 | 8.8 | 3.355 |
| 0.8 | 0.261 | 3.5 | 1.198 | 6.2 | 2.241 | 8.9 | 3.400 |
| 0.9 | 0.294 | 3.6 | 1.235 | 6.3 | 2.282 | 9.0 | 3.445 |
| 1.0 | 0.327 | 3.7 | 1.272 | 6.4 | 2.323 | 9.1 | 3.490 |
| 1.1 | 0.360 | 3.8 | 1.309 | 6.5 | 2.364 | 9.2 | 3.536 |
| 1.2 | 0.393 | 3.9 | 1.346 | 6.6 | 2.405 | 9.3 | 3.582 |
| 1.3 | 0.426 | 4.0 | 1.383 | 6.7 | 2.446 | 9.4 | 3.628 |
| 1.4 | 0.460 | 4.1 | 1.420 | 6.8 | 2.488 | 9.5 | 3.674 |
| 1.5 | 0.494 | 4.2 | 1.458 | 6.9 | 2.530 | 9.6 | 3.720 |
| 1.6 | 0.528 | 4.3 | 1.496 | 7.0 | 2.572 | 9.7 | 3.766 |
| 1.7 | 0.562 | 4.4 | 1.534 | 7.1 | 2.614 | 9.8 | 3.813 |
| 1.8 | 0.596 | 4.5 | 1.572 | 7.2 | 2.656 | 9.9 | 3.860 |
| 1.9 | 0.630 | 4.6 | 1.610 | 7.3 | 2.698 | 10.0 | 3.907 |
| 2.0 | 0.664 | 4.7 | 1.648 | 7.4 | 2.741 | 10.1 | 3.954 |
| 2.1 | 0.699 | 4.8 | 1.686 | 7.5 | 2.784 | 10.2 | 4.001 |
| 2.2 | 0.734 | 4.9 | 1.725 | 7.6 | 2.827 | 10.3 | 4.048 |
| 2.3 | 0.769 | 5.0 | 1.764 | 7.7 | 2.870 | 10.4 | 4.096 |
| 2.4 | 0.804 | 5.1 | 1.803 | 7.8 | 2.913 | 10.5 | 4.144 |
| 2.5 | 0.839 | 5.2 | 1.842 | 7.9 | 2.956 | 10.6 | 4.192 |
| 2.6 | 0.874 | 5.3 | 1.881 | 8.0 | 3.000 | 10.7 | 4.240 |
| 2.7 | 0.909 | 5.4 | 1.920 | 8.1 | 3.044 | 10.8 | 4.289 |

| Rampas en milímetros | Valores de α | Rampas en milímetros | Valores de α | Rampas en milímetros | Valores de α | Rampas en milímetros | Valores de α |
|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| 10.9 | 4.338 | 13.4 | 5.619 | 15.9 | 7.020 | 18.4 | 8.518 |
| 11.0 | 4.387 | 13.5 | 5.673 | 16.0 | 7.078 | 18.5 | 8.650 |
| 11.1 | 4.436 | 13.6 | 5.727 | 16.1 | 7.136 | 18.6 | 8.716 |
| 11.2 | 4.485 | 13.7 | 5.782 | 16.2 | 7.194 | 18.7 | 8.783 |
| 11.3 | 4.535 | 13.8 | 5.837 | 16.3 | 7.252 | 18.9 | 8.850 |
| 11.4 | 4.585 | 13.9 | 5.892 | 16.4 | 7.310 | 19.0 | 8.917 |
| 11.5 | 4.635 | 14.0 | 5.947 | 16.5 | 7.368 | 19.1 | 8.985 |
| 11.6 | 4.685 | 14.1 | 6.002 | 16.6 | 7.426 | 19.2 | 9.054 |
| 11.7 | 4.735 | 14.2 | 6.057 | 16.7 | 7.485 | 19.3 | 9.124 |
| 11.8 | 4.785 | 14.3 | 6.112 | 16.8 | 7.545 | 19.4 | 9.195 |
| 11.9 | 4.835 | 14.4 | 6.167 | 16.9 | 7.603 | 19.5 | 9.227 |
| 12.0 | 4.886 | 14.5 | 6.223 | 17.0 | 7.662 | 19.6 | 9.340 |
| 12.1 | 4.937 | 14.6 | 6.279 | 17.1 | 7.721 | 19.7 | 9.413 |
| 12.2 | 4.988 | 14.7 | 6.335 | 17.2 | 7.780 | 19.8 | 9.486 |
| 12.3 | 5.039 | 14.8 | 6.391 | 17.3 | 7.839 | 19.9 | 9.550 |
| 12.4 | 5.091 | 14.9 | 6.447 | 17.4 | 7.898 | 20.0 | 9.634 |
| 12.5 | 5.143 | 15.0 | 6.503 | 17.5 | 7.957 | 20.1 | 9.698 |
| 12.6 | 5.195 | 15.1 | 6.560 | 17.6 | 8.017 | 20.2 | 9.772 |
| 12.7 | 5.247 | 15.2 | 6.617 | 17.7 | 8.078 | 20.3 | 9.846 |
| 12.8 | 5.299 | 15.3 | 6.674 | 17.8 | 8.139 | 20.4 | 9.920 |
| 12.9 | 5.351 | 15.4 | 6.731 | 17.9 | 8.201 | 20.5 | 9.994 |
| 13.0 | 5.404 | 15.5 | 6.788 | 18.0 | 8.263 | 20.6 | 10.068 |
| 13.1 | 5.457 | 15.6 | 6.846 | 18.1 | 8.326 | 20.7 | 10.142 |
| 13.2 | 5.511 | 15.7 | 6.904 | 18.2 | 8.389 | 20.8 | 10.216 |
| 13.3 | 5.565 | 15.8 | 6.962 | 18.3 | 8.453 | 20.9 | 10.290 |
| | | | | | | 21.0 | 10.364 |

Influencia de las curvas.—La resistencia á la tracción que opone una curva á un tren, ha sido determinada bajo diversos aspectos por varios ingenieros entre las fórmulas que han dado los resultados de las experiencias se citan principalmente los de Palanceau, Farguenat, Willemin, Guelard, Dieudonné, Rockl, Weber, etc. Todas ellas son demasiado complicadas para que sean susceptibles de aplicación en el método que vamos exponiendo para la determinación de las longitudes virtuales. Las

fórmulas dadas por los Ingleses ó Alemanes, en virtud de las cuales las resistencias al pasar por una curva, puede transformarse en una resistencia equivalente de una rampa, son más prácticas y son las que ha empleado el señor Baum. Siendo r el radio de una curva, la resistencia que ocasiona es, según la fórmula Inglesa $\frac{0.21}{r}$ y según la Alemana $\frac{0.76}{r}$. En estas fórmulas no se toma en cuenta ni la velocidad ni la longitud del tren, circunstancias que, á no dudarlo, han de producir un efecto notable bajo el punto de vista de la resistencia al paso por las curvas. Para trenes de mercaderías, cuya velocidad es pequeña, y que es el caso que examinamos, puede despreciarse la influencia de la velocidad, no sucediendo lo mismo con la influencia de la longitud del tren; sin embargo, prescindiendo de ella, tanto por ser una fracción muy pequeña, en presencia de la influencia de las rampas, como por cuanto los Ingleses y los Alemanes, al establecer sus fórmulas empíricas las han hecho tomando en cuenta el resultado de varias experiencias y de varias pruebas con trenes de diferentes largos y marchando con diferentes velocidades: siendo las fórmulas anteriores un término medio de esas experiencias.

Formando ahora otro término medio, entre la formula Inglesa y Alemana se obtiene otra resistencia más aplicable á las líneas de regular construcción, etc. (1), y más aproximada al valor real de la resistencia á la tracción.

Este termino medio es:

$$R = \frac{0.837}{r}$$

Lo cual nos dice que la resistencia de una curva de radio R será equivalente con la que opondrá una rampa de $\frac{0.837}{r}$ metros ó $\frac{837}{r}$ milímetros, i será igual, por lo tanto á $\frac{837}{r}$ kilogramos.

(1) El señor J. Pages Ortiz hace esta operación, para aplicar las fórmulas a las líneas Españolas de 1.68 de trocha como las nuestras.

Para determinar ahora el valor del coeficiente β ó sea del coeficiente de incremento de longitud virtual debido á las curvas, no habrá más que sustituir, en la expresión del incremento de longitud virtual debido á las rampas, ó el valor de x dado por $\frac{837}{r}$ y tendremos

$$\beta = \frac{139.3 \frac{837}{r} + 0.0468 \left(\frac{837}{r}\right)^2 - 0.00037 \left(\frac{837}{r}\right)^3}{436.5 - 8.55 \frac{837}{r} + 0.693 \left(\frac{837}{r}\right)^2 - 0.00031 \left(\frac{837}{r}\right)^3}$$

despreciando los términos de tercera potencia, por cuanto resultarían valores, que aún dado el caso de curvas de 100 metros de radio, serían muy pequeñas, la ecuación queda como sigue:

$$= \frac{32787 + 116.594 r}{48549 - 7156 r + 436.5 r^2} \dots (8.)$$

En el cuadro siguiente van expresados los valores de β para diferentes radios de curvas, con indicaciones de la rampa equivalente, lo que facilitará mucho los cálculos de las longitudes verticales de las líneas.

| Radio de la curva | Rampa equivalente | Valor de β | Radio de la curva | Rampa equivalente | Valor de β | Radio de la curva | Rampa equivalente | Valor de β | Radio de la curva | Rampa equivalente | Valor de β |
|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| m. | m/m | | m. | m/m | | m. | m/m | | m. | m/m | |
| 100 | 6.31 | 2.284 | 390 | 2.40 | 0.804 | 680 | 1.30 | 0.426 | 970 | 0.745 | 0.241 |
| 110 | 5.85 | 2.100 | 400 | 2.34 | 0.783 | 690 | 1.28 | 0.418 | 980 | 0.730 | 0.236 |
| 120 | 5.55 | 2.080 | 410 | 2.28 | 0.762 | 700 | 1.26 | 0.410 | 990 | 0.710 | 0.231 |
| 130 | 5.25 | 1.862 | 420 | 2.23 | 0.744 | 710 | 1.23 | 0.402 | 1000 | 0.690 | 0.224 |
| 140 | 5.00 | 1.764 | 430 | 2.18 | 0.727 | 720 | 1.21 | 0.396 | 1020 | 0.660 | 0.214 |
| 150 | 4.79 | 1.684 | 440 | 2.13 | 0.709 | 730 | 1.18 | 0.389 | 1040 | 0.625 | 0.204 |
| 160 | 4.59 | 1.606 | 450 | 2.08 | 0.692 | 740 | 1.16 | 0.381 | 1060 | 0.600 | 0.195 |
| 170 | 4.40 | 1.534 | 460 | 2.03 | 0.674 | 750 | 1.14 | 0.374 | 1080 | 0.580 | 0.186 |
| 180 | 4.24 | 1.472 | 470 | 1.98 | 0.657 | 760 | 1.12 | 0.367 | 1100 | 0.560 | 0.178 |
| 190 | 4.10 | 1.420 | 480 | 1.95 | 0.644 | 770 | 1.10 | 0.360 | 1120 | 0.535 | 0.171 |
| 200 | 3.97 | 1.370 | 490 | 1.89 | 0.627 | 780 | 1.08 | 0.353 | 1140 | 0.510 | 0.165 |
| 210 | 3.84 | 1.324 | 500 | 1.85 | 0.613 | 790 | 1.06 | 0.346 | 1160 | 0.490 | 0.158 |
| 220 | 3.72 | 1.279 | 510 | 1.81 | 0.599 | 800 | 1.04 | 0.340 | 1180 | 0.470 | 0.151 |
| 230 | 3.60 | 1.235 | 520 | 1.78 | 0.588 | 810 | 1.02 | 0.334 | 1200 | 0.450 | 0.144 |
| 240 | 3.52 | 1.205 | 530 | 1.75 | 0.577 | 820 | 1.00 | 0.327 | 1220 | 0.430 | 0.138 |
| 250 | 3.44 | 1.176 | 540 | 1.73 | 0.566 | 830 | 0.985 | 0.321 | 1240 | 0.410 | 0.132 |
| 260 | 3.34 | 1.140 | 550 | 1.69 | 0.555 | 840 | 0.970 | 0.316 | 1260 | 0.390 | 0.125 |
| 270 | 3.25 | 1.106 | 560 | 1.65 | 0.545 | 850 | 0.955 | 0.310 | 1280 | 0.370 | 0.118 |
| 280 | 3.17 | 1.078 | 570 | 1.62 | 0.535 | 860 | 0.930 | 0.304 | 1300 | 0.350 | 0.112 |
| 290 | 3.08 | 1.049 | 580 | 1.59 | 0.525 | 870 | 0.915 | 0.299 | 1400 | 0.270 | 0.089 |
| 300 | 3.01 | 1.017 | 590 | 1.56 | 0.514 | 880 | 0.900 | 0.294 | 1500 | 0.245 | 0.079 |
| 310 | 2.92 | 0.988 | 600 | 1.53 | 0.504 | 890 | 0.885 | 0.288 | 1600 | 0.225 | 0.072 |
| 320 | 2.85 | 0.960 | 610 | 1.49 | 0.493 | 900 | 0.870 | 0.282 | 1800 | 0.221 | 0.067 |
| 330 | 2.78 | 0.938 | 620 | 1.46 | 0.482 | 910 | 0.850 | 0.277 | 1700 | 0.200 | 0.064 |
| 340 | 2.72 | 0.916 | 630 | 1.43 | 0.471 | 920 | 0.835 | 0.270 | 1900 | 0.190 | 0.061 |
| 350 | 2.66 | 0.894 | 640 | 1.40 | 0.460 | 930 | 0.810 | 0.264 | 2000 | 0.183 | 0.058 |
| 360 | 2.60 | 0.874 | 650 | 1.37 | 0.451 | 940 | 0.795 | 0.258 | 2500 | 0.143 | 0.046 |
| 370 | 2.52 | 0.851 | 660 | 1.34 | 0.443 | 950 | 0.780 | 0.252 | 3000 | 0.017 | 0.037 |
| 380 | 2.46 | 0.827 | 670 | 1.32 | 0.434 | 960 | 0.760 | 0.247 | 3500 | 0.098 | 0.031 |

15. *Ecuación de la longitud virtual.*—En vista de lo expuesto, y que dicha ecuación se encuentra expresada por la fórmula $\delta L = L(1 + \alpha + \beta)$ tendremos introduciendo los valores de α y β .

$$\delta L = L \left(1 + \frac{139.3 n + 0.0468 n^2 - 0.00037 n^3}{436.5 - 8.55 n + 0.0603 n^2 - 0.0003 n^3} + \frac{32787 + 116594 r}{48549 - 7166 r + 436.5 r^2} \right)$$

Ahora pueden presentarse varios casos. 1.º que en la línea A B cuya longitud virtual que quiere determinarse, el tráfico sea

igual en ambos sentidos, es decir, de A á B y de B hacia A y 2.º, que el tráfico en uno y otro sentido sea distinto.

En el primer caso, hay que tener presente de la misma manera las dificultades de la línea en ambos sentidos, mientras que en el segundo caso, habrá que tenerse presente el coeficiente especial del tráfico para cada longitud virtual en los dos sentidos.

Admitiendo la igualdad de tráfico en ambos sentidos, para tener la longitud virtual de la línea, *basta tomar el término medio de la semi-suma de las longitudes virtuales de las rampas y pendientes obtenidas para cada sentido y agregar las resistencias de las curvas, etc.* Por consiguiente, si L es la longitud de la línea A B y en el sentido de A á B y se denomina l_0 la longitud de las secciones en línea recta y horizontal; l_r las secciones en rampas; l_i las secciones en pendientes; l_c las secciones en curvas, la longitud total de la línea es

$$L = l_0 + l_r + l_i$$

y la expresión de la longitud virtual será:

$$\delta L = l_0 + (l_i + \alpha l_r) + l_i + \beta l_c \text{ o bien}$$

$$\delta L = l_0 + l_r (1 + \alpha) + l_i + \beta l_c$$

y en el sentido de B hacia A por iguales razones el largo virtual será:

$$\delta L = l_0 + l_r + l_i (1 + \alpha) + \beta l_c$$

sumando estas ecuaciones tendremos:

$$2 \delta L = 2 l_0 + 2 l_r + 2 l_i + 2 \beta l_c + \alpha l_r + \alpha l_i$$

dividiendo por dos, queda la longitud virtual de la línea igual á

$$\delta L = L + \beta l_c + \frac{1}{2} \alpha l_r + \frac{1}{2} \alpha l_i \dots \dots \dots (9)$$

Expresión que dice, *que para obtener la longitud virtual de una línea, basta añadir á la longitud real de la misma el incremento de longitud debido á la resistencia de las curvas, más las semi-sumas de las longitudes debidas á las rampas y pendientes, admitiendo para los efectos del cálculo de resistencias como rampas á las pendientes.* Esta expresión es sólo aplicable en toda su fuerza cuando el tráfico es igual ó casi igual en ambos sentidos de la línea.

16. En la expresión de la longitud virtual, hemos supuesto, para cada sentido é implícitamente que, *la longitud virtual de una sección en pendiente es igual á la de una sección horizontal de la misma longitud.* Aunque esta hipótesis no es exacta, se admite sin embargo, generalmente, por cuanto no induce á errores de importancia en la práctica.

En efecto, los gastos del personal de trenes, estaciones, y vías, son los mismos, tratándose de una sección en rampa que de una sección en pendiente, y únicamente, cuando se trata de una fuerte pendiente, conviene aumentar el personal de los trenes, para servir los frenos necesarios (lo que ahora desaparece con los frenos automáticos de aire comprimido, etc.)

El gasto de combustible en la bajada, si bien no es igual al que origina una horizontal, puede adoptarse para los efectos de estos cálculos sensiblemente como igual. Según el señor Freycinet, los gastos que origina el engrase, reparaciones de las locomotoras, etc., son asimismo iguales á los gastos en una horizontal. La conservación corriente de la vía, expresada por el desgaste de los rieles, si bien es superior para una pendiente que para una horizontal, por el uso de los frenos en las bajadas tratándose de pendientes comprendidas entre 0 y 6 milímetros, se pueden admitir como iguales sin error sensible.

Ahora bien, aún cuando este desgaste, sobre pendientes más fuertes tenga diferencias más notables comparándolos con los que provoca la horizontal, se admite de una manera general:

1.º que los gastos de transporte sobre pendientes inferiores á 5 y 6 milímetros son casi iguales á los que se originan sobre una horizontal y 2.º que los gastos sobre pendientes superiores a 6 milímetros se diferencian poco de los gastos de transporte en una horizontal y que por consiguiente, salvo casos determinados no se toman en cuenta para determinar los largos virtuales.

17. COEFICIENTE VIRTUAL.—Se llama coeficiente virtual, la relación que existe entre la longitud virtual de una línea y la longitud real de la misma. Este coeficiente virtual no es otra cosa que la longitud virtual de un kilómetro de línea.

Como complemento de lo dicho vamos á poner un ejemplo práctico. (1) Sabemos que, para la determinación de la longitud virtual, hay que agregar á la longitud real, el incremento debido á las curvas, más las semi-sumas de las longitudes debidas á las rampas y á las pendientes. La línea que consideramos, tiene una longitud de 125 kilómetros y como influencia de las curvas hay un aumento de 12,057 metros y de las rampas 154,765 y de las pendientes 218,537 metros; luego, como semi-suma de ambos hay un incremento de 186,651 metros. Por consiguiente tendremos:

| | | |
|--|---------|---------|
| Longitud real..... | 125,000 | metros. |
| Incremento debido ó rampas y pendientes. | 186,651 | " " |
| Incremento debido á las curvas..... | 12,057 | " " |
| | 323,708 | |
| Longitud virtual..... | 323,708 | metros. |

El coeficiente virtual ó la longitud virtual de un kilómetro, será expresada por:

$$\frac{323708}{125000} = 2,589.$$

(1) Tomado del trabajo del señor J. Pages Ortiz.

18. Expuesta de una manera sumaria y general la manera de encontrar para cada línea férrea la longitud virtual, sirviéndonos de ella, vamos á hacer algunas indicaciones respecto al costo de una tonelada por kilómetro de los gastos de explotación y de los coeficientes virtuales relativos al gasto de explotación por tonelada kilométrica.

Siempre que se divida el costo de transporte de una tonelada kilométrica sobre una línea, por el coeficiente virtual de la misma, *se tendrá el precio de transporte de una tonelada sobre un kilómetro de longitud virtual horizontal y rectilínea.*

Ademas es evidente que:

1.º Que el precio de transporte de una tonelada por kilómetro de longitud virtual, no es constante, y varía de un año para otro, según el tráfico mayor ó menor que en el trascurso del año haya habido en la línea.

2.º Que las diferencias de estos precios no pueden ser muy considerables, y

3.º Que á medida que las dificultades de explotación aumentan, estos precios disminuyen por cuanto no hay más que una parte de los gastos de transporte que aumenta proporcionalmente con el tráfico que se desarrolla, mientras que los demas gastos permanecen sensiblemente constantes á pesar de las variaciones del tráfico.

De resultados de muchas pruebas prácticas con el objeto de establecer una fórmula general que aproximadamente determine el costo por tonelada kilométrica, relacionándola con la longitud virtual de la línea, se ha llegado á establecer las fórmulas siguientes:

Primer caso.—En el que el producto anual por tonelada kilométrica de la línea no exceda de 30,000 \$. (reducida á mone da nuestra).

$$D = 0.85 + \frac{-12}{\sqrt{2R}} + \frac{6Cr}{\sqrt{2R}} \dots\dots\dots (10)$$

Segundo caso.—En que el producto anual por tonelada kilométrica esté comprendido entre 2,000 y 6,000 pesos.

$$D = 0.9 + \frac{6}{\sqrt{2R}} + \frac{4Cv}{\sqrt{2R}} \dots \dots \dots (11)$$

Tercer caso.—Cuando el producto anual por tonelada kilométrica es inferior á 2,000 pesos.

$$D = 1.0 + \frac{16}{R} + \frac{6Cv}{R} \dots \dots \dots (12)$$

En todas estas expresiones D representa el costo de la explotación por tonelada de mercaderías transportadas á un kilómetro de distancia.

Cv = coeficiente virtual de la línea, determinado por el procedimiento ya indicado.

$\frac{R}{2}$ = representa tantas unidades como veces 200 pesos, entran en el producto anual por kilómetro. Así, si la línea produce 4,000 pesos por kilómetro $\frac{R}{2} = 20$.

Si suponemos una línea cuyo coeficiente virtual fuese *igual á la unidad*, la ecuación (10) por ejemplo, se reducirá á

$$D = 0.85 + \frac{18}{\sqrt{2R}} \dots \dots \dots (13)$$

Ahora bien, llamando D' el costo sobre esta línea, cuyo coeficiente virtual es 1 la relación $\frac{D'}{D}$ será:

$$\frac{D'}{D} = \frac{0.85 + \frac{12}{\sqrt{2R}} + \frac{6Cv}{\sqrt{2R}}}{0.85 + \frac{18}{\sqrt{2R}}} = \frac{0.85\sqrt{2R} + 12 + 6Cv}{0.85\sqrt{2R} + 18} \dots \dots (14)$$

y será precisamente el *coeficiente virtual relativo al gasto de explotación por tonelada kilométrica transportada*.

Como es natural, este coeficiente sirve para el cálculo del gasto de explotación de una línea. Para darnos cuenta de su aplicación, supongamos una línea, cuyo producto anual kilométrico es de 12,000 pesos, y cuyo coeficiente virtual, *bajo el punto de vista de resistencias* sea = 3. La expresión (13) nos dice que el precio de transporte de la tonelada kilométrica es para esa línea de

$$D = 0.85 + \frac{18}{\sqrt{2R}} \text{ siendo } \frac{R}{2} = 12,000 : 200 = 60 \text{ ó } D = 2.48$$

El coeficiente virtual expresado por la fórmula (14) para la misma línea, será:

$$D = \frac{0.85\sqrt{2R} + 12 + 6Cv}{0.85\sqrt{2R} + 18} = \frac{0.85 \times 10.95 + 12 + 18}{0.85 \times 10.95 + 18} = 1.44$$

La expresión (13) nos da para D un valor de 2.48 centésimos y el coeficiente virtual representado por la ecuación (14) para la misma línea es 1.44; luego, multiplicando 2.48 por 1.44, encontraremos 3.57 centésimos de peso, para costo de transporte sobre la línea.

El mismo resultado se encontraría si hicieramos aplicaciones con la fórmula (10), aplicándola para la misma línea cuya producción es de 12,000 pesos y cuyo coeficiente virtual es 3.

$$D = 0.85 + \frac{12}{\sqrt{2R}} + \frac{6Cv}{\sqrt{2R}} = 0.85 + \frac{12}{10.95} + \frac{18}{10.95} = 3.58$$

18. Como otra aplicación del método de las longitudes virtuales, pondremos á continuación la fórmula *práctica para el GASTO por kilómetro*, de una línea en explotación, conocidos que sean el coeficiente virtual Cv de la resistencia y el producto kilométrico R: la fórmula es la siguiente:

$$G = 2.800 + 0.13 R (1 + Cv) \dots \dots (15)$$

haciendo las mismas consideraciones, que las formuladas para establecer el coeficiente virtual, *bajo el punto de vista del precio de transporte de la tonelada por kilómetro, hallaremos un coeficiente virtual relativo al costo de explotación por kilómetro de línea.*

Tanto las expresiones (15) como las (10) y (11) y (12) son el resultado de una serie de cálculos hechos, comparando los ingresos y los gastos, y si bien en algunas líneas férreas, de carácter especialísimo, no se llegaría con ellas á un precio de transporte y á un gasto kilométrico aproximado, con lo que realmente sucede, en la mayoría de las líneas, se llega á una aplicación muy conveniente, cuando se trata de establecer y comparar los precios de transportes de las diferentes secciones, que actualmente componen una red de líneas que explota una compañía ó el Estado.

19. La relación del *gasto de explotación* y el *producto kilométrico*, constituyen el *coeficiente de explotación* el cual será expresado, deduciéndolo de la fórmula (15) por la ecuación siguiente:

$$\frac{G}{R} = \frac{2800}{R} + 0.13 (1 + C_v)$$

Este coeficiente, tiene su importancia en el servicio de la explotación de una red de líneas, y de ordinario, lo fijan las compañías, una vez que conocen los resultados de la explotación.

Muchas otras fórmulas podrían darse, para la determinación de los largos virtuales, de las líneas, y sus gastos de explotación pero como todas ellas se relacionan y son aplicables, principalmente, sino únicamente, por la multitud de datos que hay que conocer á priori, para comparar las ventajas é inconvenientes de las explotaciones de las líneas, ya construídas y en explotación, no les daremos cabida en este estudio que sólo se relaciona con las fórmulas prácticas aplicables más ó menos á los proyectos de líneas por construir y que se quieren comparar entre sí, tenien-

do presente sus largos virtuales y tráficos y entradas probables, y nos contentaremos con citar entre ellas, como las que aparecen como mejor estudiadas las siguientes:

La dada por el señor Freycinet, en su tratado de *rampas económicas de ferrocarriles*, publicado en 1861 cuando era jefe de explotación del ferrocarril del Mediodía Francés.

Las fórmulas dadas por el señor Jules de Szabó, profesor de la Escuela Politécnica de Hungría en Buda-Pesth.

Las del señor Launhardt, director de la Escuela Politécnica de Hanover, publicada en 1877.

Y por último la establecida por la sección de contabilidad de la dirección de la Tracción de los Ferrocarriles del Estado Belga, para calcular las primas de combustible, publicadas en varios documentos oficiales de la Administración Belga.

§ VI

Observaciones sobre los métodos de comparación ó de determinación de los largos virtuales de las líneas

1. En vista de las fórmulas y métodos expuestos anteriormente, formulados en épocas y países diferentes, y basadas sobre datos más ó menos minuciosos y detallados, y á más de eso, creadas con diferentes fines, es de preguntarse, ¿qué objeto habría en comparar varias líneas con semejantes procedimientos? é indudablemente no encontramos otro que el estudio del detalle de explotación de las líneas existentes, para que las experiencias propias, en cada línea, den los coeficientes de las fórmulas, y puedan ellas representar entonces, en cada caso, los verdaderos gastos de tracción y explotación.

La ventaja que una administración tiene en conocer con más ó menos exactitud estos datos, se concibe fácilmente. Ellos son el *mejor control* de una buena administración; ponen de mani-

fiesto los gastos excesivos, y por consiguiente, donde deben dirigirse los esfuerzos de los administradores, para mejorar la explotación. Ponen de manifiesto el aprovechamiento del equipo y de las fuerzas de las locomotoras; y por último, las fórmulas de la administración de los Ferrocarriles del Estado Belga (que nosotros suprimimos en esta memoria) permiten fiscalizar completamente el consumo de combustible que debe emplearse en las locomotoras, punto muy capital en los ferrocarriles en explotación.

2. Pero, como cuando se trata de estudiar varios ante-proyectos entre dos puntos dados, que es el caso que estudiamos, siendo á veces algunos de ellos simples variantes de los otros, en los cuales el costo de construcción, se encuentra en relación con la dirección que se ha escogido y dificultades locales: en estos casos, los gastos de explotación presuntos, pueden influir de una manera notable, sobre la decisión que se tome como definitiva. Pero como sería muy engañoso, y siempre se tendrían datos poco seguros, para hacerlos figurar en las fórmulas más ó menos complicadas, que se apuntan constantemente como satisfactorias, para determinar los gastos de explotación en los ferrocarriles existentes, se procede siempre, en estos casos, recurriendo á métodos rápidos y fórmulas simples, que permitan hacer las comparaciones con suficiente aproximación y no exigiendo para su aplicación sino el conocimiento probable de las líneas y sus *largos ó coeficientes virtuales de resistencia*.

Por el contrario, cuando los diversos proyectos de ferrocarriles son completos, como perfiles, traza, etc. etc., y los datos estadísticos son bastantes y detallados, el método de comparación, bajo el punto de vista de los gastos de explotación, podrá á su vez ser completo y exacto, tomando en cuenta todos los datos posibles, sea en lo concerniente á estaciones, paraderos, sea en lo relativo al tráfico futuro, sentido general del mayor movimiento, focos principales de la línea, de producción ó de atracción ó con-

sumo de mercaderías, y por consiguiente distancias medias que recorrerán las mercaderías, potencia de las locomotoras, reglas generales de la explotación, etc., etc. De modo que, en cada caso, se consideren los hechos, en cuanto es posible presumirlos y calcularlos, tal como sucederán posteriormente, cuando se exploten las líneas si ellas son construídas.

3. Se llaman MÉTODOS EXPEDITIVOS, cuando se trata de escoger entre varias variantes de un *ante-proyecto*, y cuando se da alguna importancia, á los datos estrictamente necesarios que se hayan podido recoger; como por ejemplo, alturas totales remontadas por las rampas y su largo; las entradas probables o tonelaje probable de acarreo y curvas del trazado. Es indudable que, para estos casos, el método empleado en Estados Unidos por el señor G. Bauscaren; el empleado por el Gobierno Italiano para las comparaciones de los trazados, y el del señor Baum, son excelentes para fijar suficientemente las ideas sobre las ventajas ó inconvenientes de los diferentes trazados. Sin embargo, no hay que perder de vista en ninguno de estos casos, las rampas que, por su largo y colocación en el perfil, inclinaciones, etc., son como se llaman generalmente, franqueable por empuje, es decir que, no exigen ningun gasto suplementario á la explotación, y tener muy presente sí las rampas fundamentales de los trazados. En este sentido la fórmula Italiana, como hemos visto, considera, como que no da ningun aumento al gasto de explotación, toda rampa inferior á 10 milímetros y no la toma en cuenta al terminar las longitudes virtuales de un trazado. Esta consideración es bastante natural en la práctica, puesto que ningún tren, lleva en realidad un peso tal, que sea el máximum que puede arrastrar una locomotora en horizontal, por cuanto en ese caso, el menor estorbo en el camino, lo dejaría estacionado, sin moverse: por consiguiente, prácticamente el tren pesa menos, pesa bastante menos, que lo que la locomotora puede arrastrar en horizontal, naturalmente, sin ningun aumento de gasto en la explotación

corriente, esos trenes pueden circular por rampas más ó menos débiles, puesto que las locomotoras lo permiten. El gobierno Italiano ha fijado como límite de las rampas, que no demandan mayores gastos y por consiguiente que no influyen en las tarifas ni en los largos virtuales los de 10 milímetros por metro.

Otros descomponen los perfiles de los ante-proyectos en zonas ó secciones; y para cada una de ellas se determinan sus rampas fundamentales según las fórmulas del señor Gerhardt ingeniero de la tracción de la compañía del Este Francés, no tomando en cuenta, para la determinación de estas rampas fundamentales, las que son franqueables por empuje. Determinadas las rampas fundamentales de las diversas zonas, se aplican á ellas los métodos ordinarios para obtener los largos virtuales de la línea. Método largo, y que no trae ninguna ventaja, sobre el método Americano ó el del Gobierno Italiano.

4. LOS MÉTODOS COMPLETOS, en el fondo, se encuentran en función de la carga, de la velocidad de los trenes, de las potencias de las locomotoras, y diferentes rampas y pendientes, etc. de los perfiles; pero, los diferentes autores han tomado el problema bajo otros tantos puntos de vista.

A pesar de la gran simplicidad del método del señor Baum; en su aplicación, su propio autor no lo considera sino como un *método aproximado*, por cuanto la determinación de los coeficientes a no puede menos que ser aproximativa.

El largo de la línea que figura en las fórmulas del señor Freycinet y Launhardt, permiten tomar en consideración los gastos que originan las rampas y pendientes, especialmente la fórmula Freycinet; pero como lo hemos hecho notar, todo ello no es aplicable á casos de ante-proyectos, sino á líneas en explotación.

En estos *métodos completos* hay también que hacer observaciones respecto á la adherencia de las locomotoras, la cual debe ser estudiada detalladamente en cada caso particular; en varias fórmulas, las de los señores Baum, Culman, se considera

la adherencia como midiendo la potencia necesaria para el transporte de la carga, lo que no es del todo exacto. El esfuerzo estático sólo es el que entra en juego en la consideración de la adherencia, y para un mismo peso adherente necesario, puede ser desarrollada por el motor una potencia más y más grande dependiendo ésta de la velocidad, y no pudiendo decirse tampoco que se llegue á una velocidad arbitraria, por cuanto se encuentra, á su vez, limitada por la potencia de vaporización de la caldera.

5. En el ferrocarril del Mediodía Francés, se admite que la vaporización por metro cuadrado de superficie caliente, será de 40 kilogramos por hora, y se reglamentó por esta cifra el peso y la velocidad, sin otra precaución respecto á la adherencia que de mantenerse bajo del máximum; y este máximum es por lo demás una cifra en la cual no se puede variar á voluntad ó sea el coeficiente de $\frac{1}{4}$.

La potencia de vaporización, domina de tal manera todo el servicio de la tracción, que se ha visto, recientemente, una locomotora con seis ruedas acopladas, de un tipo nuevo, quedando en el límite del peso autorizado por la vía para tres ejes. Dan sin embargo un trabajo casi el doble del que el antiguo tipo producía por hora. Por consiguiente, al determinar los largos virtuales de las líneas, ó sus gastos de explotación para la comparación, hay que tener siempre muy presente los recursos con que se cuentan cuando se dispone de equipos especiales, que hacen disminuir notablemente los gastos, y que las mismas pendientes fuertes sean más ó menos insensibles. Para estos casos, las fórmulas del Gobierno Italiano son las mejores, por cuanto, si se quiere contar con que las líneas que se comparan son perfeccionadas y adecuadas á las líneas, basta variar la pendiente máxima, que no trae recargo á la tarifa y tomar 12 15 ó milímetros en lugar de 10 que se toma convenientemente en Italia.

Es verdaderamente interesante conocer, lo que se puede ga-

nar prácticamente, como aumento de potencia, para subir las rampas, sin aumentar sensiblemente el peso de las locomotoras y á este respecto daremos los resultados siguientes:

6. Los resultados prácticos, de los ensayos de los dos tipos de locomotoras del Mediodía Francés han sido los siguientes:

| | Tipo N.º 25 | Tipo N.º 29 |
|--|---------------------|---------------|
| Largo del cuerpo cilíndrico..... | 3. ^m 460 | 3.467 |
| Diámetro id. id. id..... | 1.400 | 1.300 |
| Superficie de la parrilla..... | 5.200 | 2.900 |
| Número de tubos..... | 251 | 226 |
| Largo de los tubos..... | 3.51 | 3.51 |
| Timbre de la caldera..... | 10 atm. | 9 atm. |
| Superficie del caldero del hogar... .. | 11.331 m. c. | 10.920 m. c. |
| Id id. id. de los tubos..... | 109.355 m. c. | 98.463 m. c. |
| Superficie total de caldeo..... | 120.686 m. c. | 109.383 m. c. |
| Peso de la locomotora lista para marchar..... | 43.900 K. | 35.800 K. |
| Diámetro de las 6 ruedas acopladas | 1.30 | 1.30 |
| Diámetro de los cilindros..... | 0.50 | 0.45 |
| Carrera del pistón..... | 0.60 | 0.60 |
| Consumo del carbón por hora y por metro cuadrado de parrilla..... | 300 K. | 260 K. |
| Vaporización por hora y por metro cuadrado de superficie de caldeo. | 94 K. | 39 K. |
| Velocidad del tren, sobre rampas de 16 milímetros, remolcando una carga de 230 toneladas.... | 30 K. | 18 K. |

Mr. Masui que sólo en 1886 puso en servicio la primera locomotora del tipo N.º 25, constata además que esta máquina ha marchado, con velocidades de 35 á 48 kilómetros con cargas

respectivas de 230 toneladas y de 144 toneladas sobre rampas de 16 milímetros y agrega que las relaciones

$$\frac{11,342}{12,988} = 0.873 \text{ y } \frac{3\frac{5}{8}}{4\frac{3}{8}} = 0.729$$

muestran que la velocidad crece en proporción mayor que la vaporización. En los límites del servicio ordinario, considera la vaporización como constante.

También se ha constatado, que el antiguo tipo N.º 29, siendo susceptible de desarrollar un máximum de esfuerzo estático de 5,680 kilogramos, con una carga de 230 toneladas, en rampas de 16 milímetros y con una velocidad de 15 kilómetros por hora, desarrollaba 380 caballos de fuerza, y que para *duplicar esta velocidad*, la rampa descendía á 11.7 milímetros y el esfuerzo estático á 4,660 kilogramos y la fuerza en caballos se elevaba á 518 para marchar con 30 kilómetros por hora con la misma carga de 230 toneladas.

7. Ahora por el contrario, si se quiere llegar á velocidades de 30 kilómetros por hora, manteniendo la carga de acarreo en 230 toneladas, sobre una línea que se proyecta y se pregunta, ¿qué determinación se tomará respecto á la rampa que se puede adoptar y sabiendo que la locomotora núm. 29 exige, en estas condiciones una rampa máxima de 11.7 milímetros, y el tipo N.º 25 una máxima de 16 milímetros?

Es pues muy peligroso, cuando se busca un método de comparación, de diversos proyectos, y estableciendo fórmulas con este fin, detenerse en un tipo de locomotora ó de equipo dado ó en un coeficiente de adherencia fijo.

Por eso, cuando se trata de comparar ante-proyectos y cuando no se tienen los elementos suficientes para fijar los tipos de equipos más adecuados á cada uno de ellos, la fórmula italiana, es siempre la que satisface mejor, por cuanto en esos casos se varían prudencialmente, para cada línea, el mínimum de la pen-

diente que no influye en las tarifas, y con ese factor se toma un tanto en cuenta, las condiciones especiales de los equipos que exigen cada trazado.

Este mismo motivo ha inducido al señor Launhardh al dar su fórmula, para los ferrocarriles en explotación, á introducir en ella el coeficiente de tracción z , como factor común, poniéndose así al resguardo de las influencias del progreso de la construcción de las locomotoras.

El señor Freycinet, no es menos correcto, poniendo como factor común n , número de locomotoras necesarias para arrastrar un peso real π , y en la fórmula del señor Szabó, se encuentra implícitamente tomado en cuenta este hecho en la determinación del peso bruto del tren remolcado y el de la locomotora; pero los coeficientes numéricos que tienen las fórmulas hacen que esta variación sea tomada en cuenta en límites muy estrechos, inconveniente que tiene también la fórmula del señor Aniat. Este sistema, sin embargo, por los términos que están en función de la rampa ficticia, teniendo en cuenta *la localización de la rampa* de una manera más explícita que las otras tres anteriores.

«Según nuestra manera de ver (Ernest Gerard ingenieur des chemins de fer de l'État Belge) no se trata solamente de poder vencer por empuje de una rampa, si ella se encuentra relativamente bien situada, *sino de saber por su situación, cual será su influencia sobre la organización del servicio.*» Los métodos en los cuales los autores no se han preocupado de este punto importante, son siempre clasificados entre los *métodos aproximativos*.

8. Podemos dar la prueba directa siguiente: dos proyectos de un mismo ramal, tienen el mismo largo y gravitan una misma altura ó diferencia de nivel.

A.—*Largo de 6,000 metros.*

Inclinaciones: 1.º rampa de 16 milímetros, sobre 2,000 metros.
 « 2.º pendientes de 8 milímetros sobre 4,000 mtrs.

B.—*Largo de 6,000 metros.*

Inclinaciones: 1.º rampa de 10.7 m/m sobre 3,000 metros.
 « 2.º pendiente de 10.7 m/m sobre 3,000 metros.
 « 3.º curva de 870 metros de radio sobre 400 mrs.

Segun el método del señor Baum, dan estos dos perfiles el mismo largo virtual $L_v = 19,078$ metros, y por consiguiente el coeficiente virtual.

$$C_v = \frac{19078}{6000} = 3.18$$

Ahora, es fácil ver, que este ramal no puede ser explotado de una manera igualmente económica, con el proyecto *A* que con el proyecto *B*.—Una locomotora de 6 ruedas acopladas, arrastra en las líneas de la Compañía del Este francés, en 16 m/m de rampa 220 toneladas y en 11 milímetros 310 toneladas, y disminuyendo muy poco la velocidad en la curva esta, no modificará la carga, por que, segun el señor Gernardt, una curva de 870 metros, en rampa de 11 milímetros, equivale á una curva de 2,000 metros en rampa de 3 milímetros á causa de la diferencia en el largo del tren: y se ha admitido generalmente, que se toman muy poco en cuenta las curvas de 2,000 metros de radio.

Esto solo basta para demostrar que, los métodos que no hacen aparecer independientemente de los otros factores, *la carga y número de trenes, y por consiguiente, el número de locomotoras en servicio, comprendiendo en ellas las remolcadoras*, no convie-

nen para una comparación exacta de los gastos de explotación de varias líneas.

Asimismo, es fácil darse cuenta de la utilidad de buscar estos factores directamente, cuando se trata de proyectos, teniendo á la vista la traza y perfil de cada proyecto, para apreciar los diversos obstáculos que deben vencerse con el motor, y juzgar del mejor uso que se puede hacer de su potencia.

En fin, creemos superfluo hacer notar que en las fórmulas en las cuales dominan los coeficientes numéricos, ya valorizados y fijados en cifras, no pueden sino convenir en circunstancias de tiempo y de lugar determinados y muy rara vez fuera de los medios que han servido para fijar estos coeficientes numéricos.

Á fortiori, esta advertencia se aplicará también á las fórmulas que contienen ciertos términos que representan sumas aisladas en dinero, y otros que son formados por coeficientes que multiplican expresiones muy generales, como las fórmulas de los señores Baum, Aniat y aun hasta cierto punto las del señor Szabó. En esta fórmula (aplicable á líneas en explotación) se encuentran poco aislados los elementos de trabajo de la explotación que deberian estar como factores comunes, para ser multiplicados respectivamente por las dependencias de la unidad de trabajo. El señor Szabó, ha introducido, y con razón, como factor común, el precio del quintal de carbón de piedra, por cuanto es un factor tan variable según los países.

9. No son pues los coeficientes en *dinero*, o que representan *trabajos elementales*, los que son necesarios de investigar desde luego. Los primeros no están destinados sino á medir finalmente á los segundos con una misma medida, la unidad monetaria; pero la independencia y la distinción individual de los segundos son necesarias á todo método, á toda fórmula, si se quiere que en sus aplicaciones, el ingeniero pueda avaluar exactamente sus términos, teniendo presente las circunstancias de tiempo y de

lugar, las fluctuaciones del mercado y sobre todo, los progresos de la ciencia.

El ideal sería evidentemente, llegar á reducir la explotación de los ferrocarriles á su más simple expresión, y por consiguiente, poder apreciar el gasto de transporte, con referencia á la unidad común é invariable en toda explotación, es decir, al kilógramo de combustible quemado. *Se sabe; pero se olvida siempre, que el combustible es siempre el elemento principal de los transportes por vía férrea.*

Y es de preguntarse si no debe ser ésta la base de un nuevo cálculo de los gastos variables de la tracción y del material.

El señor Masui, en una memoria presentada á la Administración de los Ferrocarriles del Estado Belga, referente á la locomotora tipo N.º 25, emite la opinión que, dentro de los límites de las velocidades de los trenes de mercancías, se puede considerar como constante la potencia de la vaporización por hora. En Francia, en la red de las líneas del Mediodía, se adopta la misma regla práctica, y se hacía extensiva aun (indebidamente sin disputa) cuando ellos tuvieran grandes variaciones de velocidad.

Si la locomotora no trabaja, en una bajada con el regulador de vapor cerrado, el consumo de combustible, es un minimum fijo: si la locomotora trabaja con pleno vapor, sin expansión, el carbón consumido está en proporción con el agua vaporizada; y la locomotora quemará una cantidad de carbón fijo por hora. Sabiendo pues, que para un servicio dado, el de mercaderías por ejemplo, la evaporización ó el consumo de combustible consiguiente que es considerada como constante, y que la carga y velocidad son arregladas y fijadas bajo esta base, se puede llegar á determinar muchas unidades de trabajos proporcionales. Esta investigación es la que el señor Ernest Gerard, se propuso hacer para dar cuenta al Congreso de Bruselas, de los métodos de comparación; pero sin que hubiera tenido tiempo de elaborar

un método ó fórmula aproximada, y simplemente apuntó los cálculos siguientes:

10. (1). Sobre una rampa de 11.7 milímetros, una locomotora de seis ruedas acopladas del Estado Belga, tipo N.º 29, remolca 230 toneladas con la velocidad de 30 kilómetros por hora, y 280 toneladas con una velocidad de 15 kilómetros por hora; ahora, sobre una rampa de 16 milímetros, puede arrastrar 230 toneladas con una velocidad de 15 kilómetros por hora; y la locomotora vaporiza en los dos casos 4,282 kilogramos de agua y quema 608 kilogramos de combustible en los tres casos. Si la rampa de 11.7 milímetros, precede á la rampa de 16 milímetros la carga completa será 230 toneladas.

Á la bajada de estas pendientes, la cuota del consumo con una velocidad de 30 kilómetros por hora, es de 6k.6 por kilómetro, comprendiendo el consumo de los frenos y contra-vapor (segun el sistema de calcular las cuotas en los Ferrocarriles del Estado Belga.) Así, suponiendo el tráfico el mismo, en los dos sentidos, la locomotora que hemos tomado por ejemplo, consumirá por tonelada y por kilómetro corrido:

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| En rampa de 11.7 milímetros..... | 0. ^K 058 |
| Id. id. id. 16 milímetros..... | 0. ^K 102 |

Ahora se puede repartir por kilogramo de combustible el montante de los gastos de conservación y reparación de la locomotora y del ténder de la manera siguiente: Admitiendo:

1.º Buscar una base de apreciación del grado de desgaste probable de los tubos de la locomotora, con relación al consumo de combustible.

2.º Si se toman los informes del departamento de tracción, del distrito 5.º se encontrará, que en 1880, por kilogramo de

(1) Ernest Gerard. Compte-Rendu, etc.

carbón de piedra quemado se han gastado 0.014 francos en reparaciones y conservación del material, aún comprendiendo sus limpias. Para los pasajeros, 0.0131; y para las mercaderías, servicio dominante, 0.0141, comprendiendo servicios de limpias.

Para toda la red 0.0138 para pasajeros y mercaderías.

Admitiendo entonces, para acarreos de mercancías 0.014 francos, como gastos de conservación y reparación de las locomotoras y de los ténderes por kilogramo de carbón consumido.

Ahora si se pregunta, cuáles son los gastos de reparación y conservación de las locomotoras y ténderes, ocasionados por una tonelada acarreada á un kilómetro de distancia, diremos que, para un servicio completo en rampa de 11.7 m/m tomando el término medio de ida y vuelta será $= 0.14 \times 0.058 = 0.000819$. En rampa de 16 milímetros, tomando el término medio de ida y vuelta, será $= 0.014 \times 0.102 = 0.001428$, tomando como tipo un remolcador como la locomotora número 29.

Agregaremos entonces los gastos del personal, maquinistas y fogoneros.

En rampa de 11.7 m/m....0.00014 francos por tonelada quilométrica
 Id. id. id.....0.00019 id. id. id. id.

El precio del carbón consumido:

En rampa de 11.7 m/m....0.00058 francos por tonelada kilométrica
 Id. id. 16 m/m....0.0012 id. id. id. id.

De donde el gasto total:

Rampa de 11.7 m/m....0.001359 francos por tonelada kilométrica
 Id. id. 16 m/m....0.002638 id. id. id. id.

para el servicio de remolque de un tren, ó sea la conservación y reparación del material, el combustible consumido, personal de maquinista y fogonero, bajo la hipótesis de un servicio com-

pleto, llevando los trenes su carga completa que puede ser arrastrada por las mayores pendientes. Se puede aún ensayar de referir á la unidad de combustible, los gastos de mantención y conservación de la vía, el de los frenos y demás que varían con el tráfico y perfil de la traza de la línea.

Para pasar ahora, á los gastos reales que demanda un servicio perfecto, al de la práctica ordinaria, en que muchas veces los trenes circulan sin llevar el máximum de la carga, bastará introducir coeficientes de conexión debidamente calculados.

Como se ve, este procedimiento indicado por el señor Gerard, sin que haya dado fórmulas, es al parecer el que considera mejor los detalles de las vías.

11. Por lo demás, la importancia de esta *unidad combustible consumido*, es la que parece pueda servir realmente de base común de comparación, no solamente entre los gastos de explotación de los proyectos de un mismo ferrocarril, donde el mismo método y los mismos principios de explotación se encuentren en práctica, sino aún entre dos explotaciones diferentes donde dominan principios de administración discordantes.

En general, la *unidad combustible*, se hace igualmente extensiva á todas las industrias, hasta en las aplicaciones de la electricidad, se busca la relación ó el rendimiento de luz ó de fuerza transmitida, correspondiente á un kilogramo de hulla. Lo mismo pasa ahora para las explotaciones de ferrocarriles, preguntamos el rendimiento en *toneladas kilométricas útiles y por kilogramo de carbón consumido*; sin embargo, día vendrá tal vez en que por medio de motores eléctricos, cuya adherencia magnética se aumentará en proporción de los esfuerzos que habrán que vencerse, y se podrá entonces, con un peso muerto mínimo, aplicar con exactitud el procedimiento del señor Baum, refiriendo la adherencia al peso remolcado.

12. Después de lo anterior, sólo tenemos que decir que no hemos podido aplicar á nuestros ferrocarriles del Estado, la

unidad combustible para establecer comparaciones, por cuanto las estadísticas que tengo en mi poder, son deficientes á este respecto y no darían casi ninguno de los elementos necesarios para el cálculo.

A nuestros ferrocarriles del Estado y nuestros ante-proyectos, sólo podemos aplicar los métodos comparativos aproximados, tanto por la falta de documentos estadísticos, cuanto por que, nuestro sistema de explotación y construcción de vías, poco se asemeja á las europeas, que han servido de base para las fórmulas ya mencionadas. Dadas nuestras líneas, las fórmulas más adecuadas á ellas, son las dadas por los americanos del norte y por el gobierno italiano. En los Estados Unidos, las líneas férreas se instalan de una manera provisoria, como entre nosotros, para ser explotadas inmediatamente é ir mejorando y concluyendo propiamente dichas construcciones, con las mismas entradas de la explotación. Las fórmulas italianas, permitiendo hacer variar, según las circunstancias, la pendiente que influye en los gastos de explotación, pueden amoldarse á condiciones anormales, con un poco de observación para fijar esta pendiente.

Además, en un país nuevo, donde no hay bases, ó cartas geográficas bastante completas, que permitan estudiar las direcciones de los ante-proyectos, la elección de los trazados obedece muchas veces á condiciones locales y á la prolijidad de los estudios de reconocimientos, y por último al elemento gubernativo, en lo que corresponde á las consideraciones generales de servicio público, estratégico y económico del problema.

· § VII

Conclusiones de los congresos de ferrocarriles

Las conclusiones á que llegó el Congreso de Ferrocarriles que tuvo lugar en Bruselas, entre el 8 y el 15 de Agosto de

1885, respecto á los métodos de comparación de varios trazados, fueron los siguientes:

A.—MÉTODOS EXPEDITIVOS COMPARANDO DATOS GENERALES Ó INCOMPLETOS

El empleo de fórmulas expeditivas no debe rechazarse de una manera absoluta, pero estas fórmulas no darán resultados que sean comparables entre sí prácticamente, que, con la condición de ser formuladas en cada caso particular, tomando en cuenta las circunstancias locales que demandan su empleo; y como el objeto de comparar ó á lo menos de clasificar las variantes parciales de una traza ó varios ante-proyectos.

B.—MÉTODOS COMPLETOS EN LOS CUALES LOS DATOS Y LOS RESULTADOS SON LOS MÁS EXPLÍCITOS POSIBLES

Ninguna fórmula general, por completa que sea, no basta para dar, en cada caso particular, la posibilidad de comparar, con una exactitud suficiente, varios proyectos completos de un mismo ferrocarril: además, esta comparación exige el conocimiento de la ubicación precisa de cada rampa y de cada curva.

Para obtener un resultado práctico conveniente, es preciso entonces, en cada caso particular, tomar cuenta exacta de todos los datos que, resultando del estudio del proyecto, se relacionen tanto con el capital de construcción como á los gastos de explotación y entradas probables.

Entre estos datos son considerados como esenciales:

- 1.º *El trazado detallado en plano.*
- 2.º *El perfil longitudinal detallado.*
- 3.º *El tráfico probable ó por lo menos el de mercancías.*
- 4.º *Las tarifas que se van á aplicar.*

De estos datos generales se podrá deducir el método probable de explotación, los gastos anuales de tracción, frenos, etc. Y así

ellos podrán conducir á determinar los trenes kilométricos, en número y en peso, las locomotoras kilométricas en número; el trabajo dinámico expresado sea en kilógrametros ó en caballos, ó sea por medio de un coeficiente virtual de resistencia, etc. Y de que todos los elementos á los cuales serán aplicados los coeficientes pecuniarios.

C.—INFLUENCIA DEL EMPLEO DE RIELES DE ACERO, LOCOMOTORAS MÁS PESADAS Y MÁS FLEXIBLES Y DEL PERFECCIONAMIENTO DE LOS FRENOS.

El empleo del riel de acero, y los progresos importantes realizados principalmente en la potencia y flexibilidad de los motores y en el perfeccionamiento de los frenos, permiten construir ferrocarriles en los países montañosos, en condiciones muy económicas de primer establecimiento, basándose sobre reglas menos rigurosas en cuanto al mínimum del radio de las curvas y al máximum de las inclinaciones. Importa, sin embargo, en todo proyecto de ferrocarril, no recurrir, sino lo menos posible, al radio mínimo de las curvas y á la inclinación máxima.

Conviene igualmente, tratar de evitar la presencia simultánea, en un mismo punto del radio mínimo y de la inclinación máxima.

Y en fin, al hacer las comparaciones y escoger estos trazados, hay que distinguir entre las líneas de circulación rápida y líneas de circulación lenta, tomando en cuenta, al mismo tiempo la naturaleza del tráfico.

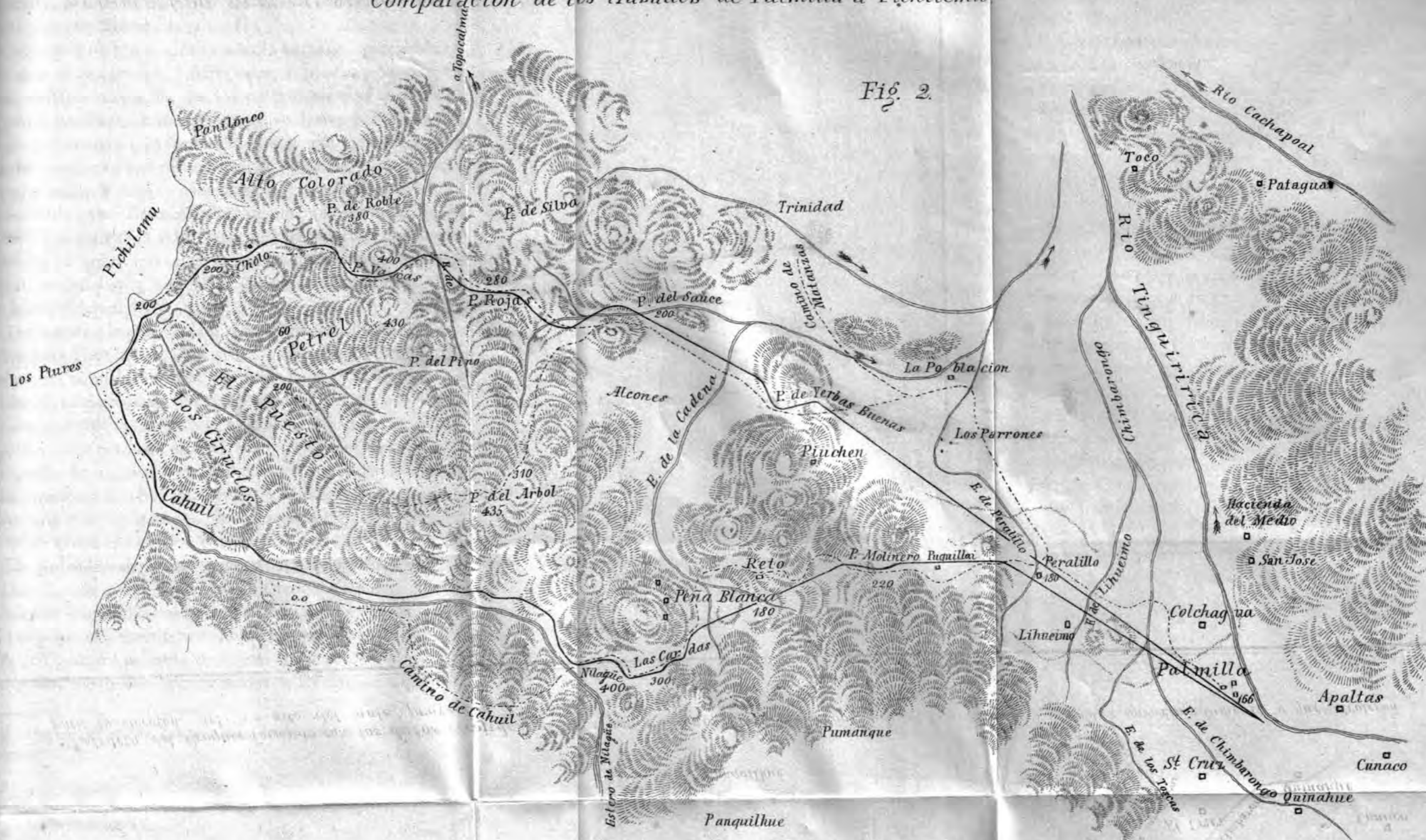
El Congreso Internacional de ferrocarriles, en su segunda sesión, que tuvo lugar en Milán del 17 al 24 de Septiembre de 1887, no se ocupó de los temas anteriores, dejando, por consiguiente, en plena vigencia las conclusiones tomadas en la reunión de Bruselas el año 85.

D. V. SANTA MARÍA.

París, Diciembre 26 de 1890.

Comparacion de los trazados de Palmilla a Pichilemu

Fig. 2.



Estracto del Croquis formado con los datos recojidos en los reconocimientos con brújula aneroide y las distancias medidas aproximadamente y que sirvieron para la eleccion del trazado del ante proyecto.

Fig. 3.

PACÍFICO
LA MOCHA
O C É A N O

