FORMACION DE ITINERARIOS EN LAS LINEAS FERREAS POR EL METODO DE LOS LARGOS DE ESPLOTACION

POR

DOMINGO V. SANTA MARIA

Siempre ha sido un problema mas o ménos largo i molesto, la formacion racional de los itinerarios de los trenes, para tomar en cuenta las diversas características i pendientes de los diversos perfiles, como asimismo las del equipo i locomoras de que se dispone.

Desde que una locomotora dada, no puede hacer variar *su potencial*, sino entre límites mui estrechos i durante tiempos mui cortos, haciendo que el personal aproveche las paradillas de los trenes i los trozos de pendientes de la via, para activar los fuegos del hogar, es evidente que, al abordar las gradientes, los convoyes que por ese solo hecho exijen mayores es-

fuerzos de traccion, necesitan disminuir sus velocidades, tanto mas cuanto mayor sea la inclinacion de la gradiente que se va a recorrer.

Cuando los trozos en gradientes son cortos, es evidente que, por la inercia de la masa del tren, pueden vencerse sin exijir un fuerte gasto suplementario al esfuerzo del motor; pero, al estudiar la formacion de los itinerarios, no es prudente *contar con el ausilio de la inercia* para recorrer mas o ménos lijero una gradiente, por cuanto, en mas de una ocasion, los ajentes de la via que corren con su conservacion, se verán obligados a interrumpir la marcha regular de los trenes, en esas mismas gradientes, i por consiguiente, en el servicio, esos trenes perderian fácilmente sus itinerarios, desde que sus motores serian impotentes para volver a restablecer la velocidad normal de marcha, puesto que ella se mantenia esclusivamente contando con la inercia de las velocidades adquiridas en los trozos anteriores,

Luego, es lójico contar con que el motor, *en cualquier trozo de la línea, pueda dar la velocidad normal, con que se cuenta* en los itinerarios para los recorridos de cada uno de ellos, i será esa la norma que deba usarse siempre, cualquiera que sea el método que se emplee para los cálculos de los recorridos, i será esa naturalmente la base que adoptaremos para manifestar en qué consiste el método llamado de los largos de esplotacion, que está mui en boga en Alemania desde el año 1912, i que, segun declaraciones de los directores de la esplotacion, da no solo un resultado enteramente satisfactorio en la práctica, sino que, al mismo tiempo, permite introducir cambios, tomando en cuenta las variables de la esplotacion.

Para hacer la esposicion de este método i hacer resaltar la diferencia con los métodos corrientes, voi a hacer una aplicacion a la línea de Santiago a Valparaiso, basándome en los itinerarios vijentes.

Las locomotoras que arrastran actualmente los espresos (1916) corrientemente son del tipo «North Britch» (4-6-0), que tienen un peso total de 58 toneladas, de las cuales 37 to-

neladas son adherentes, acompañadas de un ténder de 34.5 toneladas de peso total en estado de servicio.

El tren espreso corriente, salvo los de las temporadas de verano, se compone de:

1 —	furgon de equipajes con.....	35	toneladas
2 —	Pullman con.....	30	»
3 —	Coches de 1.ª con 30 ton. c/u .	90	»
1 —	Coche de 2.ª »	25	»
1 —	Coche comedor con.....	47	»
7	Coches con un peso Q =	227	toneladas

Luego, el tren completo tiene un peso de:

Coches		Q =	227	toneladas
Locomotora ..	58			
Tender	34.5 —		92.5	»
Peso total..	P + Q =		319.5	toneladas

La locomotora «North Britch» que lo arrastra, tiene un potencial de 725 caballos-vapor. La administracion de los Ferrocarriles del Estado estima actualmente las resistencias jenerales del rodado de sus coches en 3 kilos por tonelada; i determinando las resistencias propias de la locomotora por la fórmula $\gamma' = 4 + 3\sqrt{x}$ es decir, $\gamma' = 4 \times 3\sqrt{2} = 7.78$ kilos por tonelada; tenemos, como resistencia jeneral del tren

$$R = 227 \times 3 + 7.78 \times 92.5 = 1.400.^{k}65$$

o sea *por tonelada bruta de tren*

$$\rho = \frac{1400.65}{319.5} = 4.38 \text{ kilos, por tonelada.}$$

La adherencia de dicha locomotora dadas las últimas esperiencias hechas en la Primera Zona de la Red del Estado, se puede tomar igual a 1/6 del peso adherente, luego: $A = 1/6$ luego: $A = 1/6 \times 37000 = 6166$ kilógramos.

Prima facie, pudiera creerse que hai un fuerte excedente entre la adherencia i el esfuerzo de traccion que se necesita al collar del tender de esa locomotora, el que, en horizontal, es solo de 1400.65 kilógramos; pero, si se contempla el perfil de la línea de Santiago a Valparaiso, i se ven sus fuertes gradientes, i ademas, se toma en consideracion que ese esfuerzo disminuye con la velocidad de modo que tenemos $F = Ad. - 10\ V$ i por consiguiente si consideramos que la velocidad V, media de marcha de ese espreso, es de 55.86 kilms. por hora, tendremos que como término medio *que solo se podrá disponer de* $F' = 6166 - 10 \times 55.86 = 5558$ kilos al collar del tender, lo que hace ver que, por el contrario, si la locomotora hubiese sido un tanto mas adherente, con un poco de mas potencial habria podido asegurar una velocidad media de 60 kilómetros por hora a nuestros espresos, con gran ventaja para el público i para la Empresa.

Como para hacer ver el procedimiento de cálculo corriente no necesitamos analizar la marcha del espreso sino en una de sus secciones, tomaremos la de Valparaiso a Quillota; i tenemos que el espreso sale del Baron a las 7 h. 43' de la mañana, para llegar a Quillota a las 8 h. —46'; por consiguiente, haciendo el recorrido de los 54 kilómetros que hai entre esas dos estaciones, en 1 h. 3'. Luego, su *velocidad comercial* es de 51.42 kilómetros por hora, entre Baron i Quillota. Pero, si descontamos las paradillas:

Viña del Mar.....	— 3'	Queda para el recorrido
Limache.....	— 2'	63' — 5 = 58'
	—	
	5'	

i por consiguiente, la velocidad V' *media de marcha* será V' =

$\frac{54 \times 60}{58} = 55.86$ kilómts. por hora para ese trayecto, porque si consideramos todo el viaje Baron–Mapocho, tenemos:

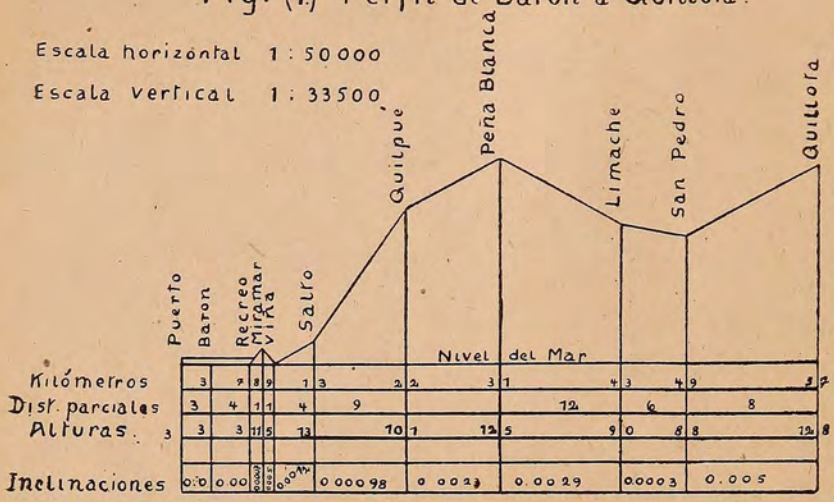
Estacion Mapocho llega.	11 h — 23' =	10 h — 83'
» Baron sale....	7 — 43' =	7 — 43'
Diferencia.....		3 h — 40'

Luego se tiene, como velocidad V, comercial, solamente 49.09 kilómetros por hora, puesto que se han recorrido los 183 kilómetros entre Baron i Mapocho, en 3 h 40'. Si descontamos las paradillas, para determinar, la velocidad V' *media de marchas* del espreso, considerando todo su trayecto, tenemos:

Viña.....	3'	3 h — 40' =	220'
Limache...	2		23
Quillota...	3	Quedan —	197' para el viaje
Calera.....	4		
Llai-Llai ..	6	$V' = \frac{183 \times 60}{197} = 55.73$ klm. por hora.	
Tiltil.....	2	como velocidad media efectiva del espreso.	
Total...	23'		

Pero volviendo al recorrido de Baron a Quillota, cuyo perfil jeneral se encuentra en la fig. (1) i consideramos que las velocidades V, *efectivas de marcha*, son funciones de las resistencias jenerales R del tren, i que, en todo caso, se debe satisfacer la ecuacion.

Fig. (1) Perfil de Baron a Quillota.



$$R = \frac{(F.\ V.)}{270}$$

es como podemos fijar las velocidades efectivas del espreso.

Si estudiamos el trozo «Baron-Viña», veremos que en la subida «Recreo-Miramar», las resistencias globales ρ', serán $\rho + i$ i por consiguiente $\rho' = 4.38 + 7 = 11.38$ kilos por tonelada.

De donde $R' = 319.5 \times 11.38 = 3636$ kilógramos.

$$\text{Luego V mx} = \frac{725 \times 270}{3636} = 53.88 \text{ klm. p. h.,}$$

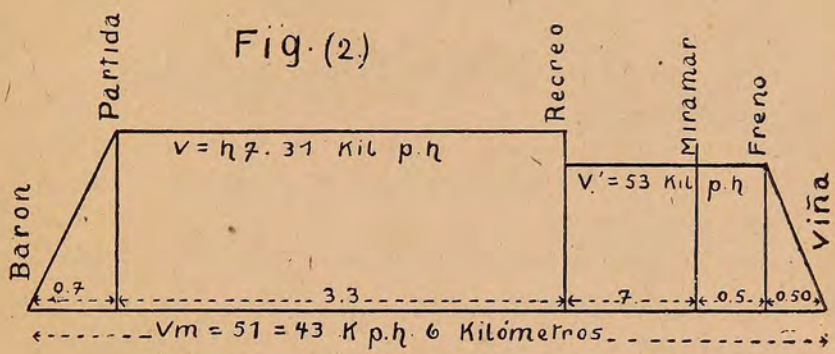
Como, segun itinerario:

Se llega a Viña a las.....	7 h. 50
Se sale de Baron a las.....	7 h. 43
Diferencia.....	7

Es decir se hace el recorrido en 7', dando entónces, como V media de marcha en ese trozo 7' para seis kilom. o sean 51.428 klm. p. h.

Como hemos visto, que la locomotora «North Britch» remolcando su tren no puede subir la gradiente de «Recreo-Miramar» con mas de 53.831 klm. p. h. i como esa gradiente es tan corta, parece evidentemente, que no presentan dificultades para el itinerario por cuanto, no hai mas causales de perturbaciones que las de las partidas del Baron, i los frenos al procurar la paradilla en Viña del Mar. Pero para estar completamente seguros que se pueden cumplir esos itinerarios tenemos que verificar las velocidades efectivas, tomando en cuenta las partidas.

Teniendo la locomotora 725 HP de potencial puede dar la partida al espreso hasta una velocidad de 60 kilómetros por hora en 83" 12, recorriendo durante ese tiempo un espacio de 672 metros como lo demuestra el cálculo siguiente:



$$\frac{1000\ P+Q)}{2\text{-}g}\left(\frac{V}{3.6}\right)^2 = E.\ p = \text{enerjía de la partida.}$$

Luego $HP = \frac{Ep}{75 \times t}$ siendo t el tiempo necesario para dicha partida. En el caso que tratamos, tenemos: PH=725; V=60 k. p. h=16.66 mts. p. c. $v^2 = 277.55$; (P+Q)=319.5. Luego: $\frac{319.5 \times 1000}{2 \times 9.81} \times 16.66^2 = 4'519735.22$ kilográmetros,

$$t = \frac{4'519735}{\frac{75 \times 725}{54375}} = 83''.12$$

i como $C = V\ mt = \frac{1}{2} \times 16.66 \times 83.12 = 672$ metros.

Como ya vimos que el trozo «Recreo-Miramar», por su gradiente, no puede ser recorrido con mas de 53 kilómetros por hora, se vé por el cálculo siguiente, que la velocidad máxima de marcha, dando a la partida un espacio de 700 metros es de 67.31 kilómetros por hora.

$$\frac{0.7}{0.5\,V} + \frac{3.3}{V} + \frac{1.5}{5\,3} + \frac{0.5}{26.5} = \frac{6}{51.43} \text{ de donde } V = 67{,}31 \text{ kl. h.}$$

Despues de pasada la gradiente desde Miramar a Viña, hai tan poca distancia, un kilómetro, que no debe volver a aumentar la velocidad, sino que por el contrario conservarla, para aplicar los frenos i detener el tren en el espacio de 500 metros mas o ménos.

Ahora como al estimarse la *partida*, se desconoce realmente la velocidad efectiva V, la supusimos de 60 kilómetros por hora, i en realidad, el cálculo dió despues 63.31, lo que haria creer que seria necesario volver a revisar las cifras haciendo una nueva aproximacion. Así deberia procederse, en los casos en *que la gradiente, que fija la velocidad mínima en trozo dado*, sea bastante larga para anular de por sí todas las influencias de la inercia.

Pero, en el caso que contemplamos, pasa justamente lo contrario, la gradiente entre «Recreo i Miramar» es tan corta, que será vencida *solo por inercia*, i por consiguiente, que no necesitará realizarse en los trozos horizontales, velocidades efectivas mayores de 60 kilómetros por hora, puesto que al llegar al Recreo la velocidad no bajará instantáneamente a

53 kilómetros por hora, sino paulatinamente, por la inercia i por consiguiente, ese trozo, llegando a Recreo con 60 kl. por hora, seria atravesado con una velocidad media i por lo ménos de $\frac{60 + 53}{2} = 56.5$ kilómetros por hora i la razon es mui sencillla si hacemos un cálculo *del recorrido por inercia* que tendrá el tren al pasar de la velocidad de 60 a la de 53 kilómetros por hora.

Tenemos:

$V^2 - V^2 = 2\,g.\,(\gamma + i)\,l$
$R + i = 4.38 + 7 = 11.38$
$V = 60$ K/p. h. $= 16.66$ m/s.; $V_2 = 277.55$
$V = 53$ » $V = 14.72$; $V^2 = 216.67$
Dif..... 60.68

$60.88 = 11.38 \times 19.62 \times l$ de donde
$l = 3$ k. 531.

Sí la inercia, con velocidad de 60 kl. p. h. puede asegurar un recorrido de tres i medio kilómetros, es evidente que el tren no necesita recorrer las partes horizontales, con mas de 55 kilómetros por hora, para asegurar el itinerario marcado i *será eso lo corriente en la práctica.* Pero, es evidente tambien que los cálculos anteriores, al poner de manifiesto lo largo i engorroso del método jeneral de tanteos, para fijar los itinerarios, hacen ver al mismo tiempo que los cálculos hechos *no tomando en cuenta las influencias de la inercia*, quedan con un márjen mui racional para el uso práctico, por cuanto hai que contar constantemente con *tantas alternativas al dar las partidas de los trenes* i si los maquinistas no tuviesen un márjen de accion para acelerar mas el tren en ciertos casos, se producirian constantemente alteraciones que traerian

como consecuencia final *atrasos* en el *conjunto* de los servicios.

La observacion anterior rezará entónces, cualquiera que sea el método que se emplee para apreciar los tiempos de los recorridos efectivos entre las diversas estaciones, i la variante que puede haber entre ellos, *será el márjen de exedente posible* que se admita para sus cálculos.

Si consideramos, el recorrido «Viña-Limache» tenemos:

Limache, el espreso llega	8 h. 25'	Sale 8 h. 27'
Viña sale.....	7.—53	
Diferencia	32	

Como el recorrido es de 34 kilómetros, tenemos como velocidad media de marcha 63.75 kilómetros por hora. El perfil de ese recorrido tiene su gradiente máxima entre «Salto i Quilpué», teniendo 88 m. de desnivel en 9000 m. o sean 0.0097 por metro.

En el trozo «Viña-Salto», tiene una diferencia de nivel de 8 m. en 4000 o sea una gradiente de 0.002 por metro.

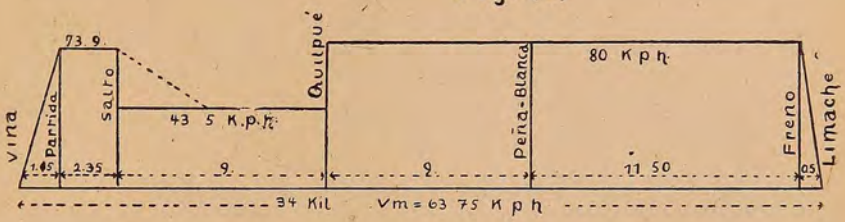
Por consiguiente, las resistencias máximas que encontrará el espreso en ese recorrido serán $R'=4.38+9.7=14.08$ kilos por tonelada; i la fuerza F' necesaria para su arrastre en esa gradiente será $F'=319.5\times14.08=4498.52$ kilógramos. Por consiguiente, la velocidad máxima con que puede recorrer la gradiente, será:

$$\frac{725\times270}{4498.52}=43.51 \text{ kilómetros por hora.}$$

Si consideramos la gradiente entre «Quilpué» i «Peña Blanca» vemos que es de 0.0023 m/m.

Por consiguiente, las resistencias del espreso en ese trozo, no son mas que R' = (4.38 + 2.3) = 319.5 = 2134.26 kilógramos, se ve que la locomotora tiene potencia suficiente para imprimirle hasta una velocidad de $V_2 = \frac{725+270}{2134.26} = 91.71$ kilómetros por hora. Pero, como la vía no tiene resistencia bastante, no deben admitirse en la primera seccion velocidades superiores a 80 kilómetros por hora; i por consiguiente, el trozo «Quilpué–Limache», para hacer los *tanteos*, que conduzcan al mejor itinerario.

Fig. (3.)



Si tomamos por base, los 80 kilómetros por hora para el trozo «Quilpué–Limache», descontando los últimos 500 metros para el freno i procurar la detencion en Limache; i por otra parte determinamos el tiempo i espacio recorrido en la partida de Viña para tomar la velocidad de 80 kilómetros por hora, tenemos:

80 klm. p. h. = 22.22 m/s. $\overline{22.22}^2 = 493.72$

tenemos $\frac{319.5 \times 1000 \times 493.72}{2 \times 9.81} = 8'039933.96$ kilográmetros de donde $t = \frac{8'039933.96}{725 \times 75} = 147''86$ i el espacio recorrido durante ese tiempo seria:

$e = \frac{1}{2} V \times t$ 11.11 × 147.86 = 1642.72 metros; por consiguiente, tomaremos para los cálculos el número redondo de 1650 metros i tendriamos como ecuacion:

$$\frac{1.65}{0.5\,V}+\frac{2.35}{V}+\frac{9}{43.5}+\frac{20.5}{80}+\frac{0.5}{40}=\frac{34}{63.75}\text{ o sea } V=96.08 \text{ k. p. h.}$$

Si tomamos en cuenta la inercia, tenemos:

80 klm. p. h.=22.22 m/s. $22.22^2=493.73$; r+i=4.38+2= 6.38 kilos pp.

43.5 klm. p. h.=12.08 m/s. $12.08^2=145.62$

Dif.= 347.81

347.81=19.62×6.38 l—de donde l=2 k. 77.

Luego por la inercia, al entrar en la gradiente, tenemos, por lo ménos que se recorren 2.77 kilómetros con una velocidad media de $\frac{1}{2}$ (80 + 43.5)=61,75 klm. p. h. no quedando para el recorrido con V=43.5, sino 9.0—2.7=6.3 kilómetros i por consiguiente, modificando la ecuacion anterior tenemos:

$$\frac{1.65}{0.5V}+\frac{2.35}{V}+\frac{2.7}{61.75}+\frac{6.3}{43.5}+\frac{20.5}{80}+\frac{0.5}{40}=\frac{34}{63.75}$$

de donde V=73.9 kilómetros por hora.

El cálculo anterior demuestra que el trozo mas fatigado del espreso, es justamente el recorrido de Viña-Quilpué; por otra parte, se ve tambien que siendo tan corta la distancia Viña-Salto, es decir al principio de la gradiente, será siempre un trabajo mas o ménos forzado que tendrá el maquinista para hacer adquirir a su tren la velocidad de 74 kilómetros por hora; i despues, para volver a tomar la de 80 tan pronto como venza la gradiente de Quilpué; pero, como despues de Peña Blanca, tiene pendiente hácia Limache, cualquier perturbacion que haya tenido la corrije apurando un tanto la velocidad en ese trozo de pendiente.

Entre Limache i Quillota, el itinerario no puede presentar dificultad, puesto que dado el potencial de la locomotora, en el trozo en gradiente, «San Pedro-Quillota», puede tomar una velocidad de $\frac{2996.91 \times V = HP}{270}$ de donde para HP =725, V = 65.31 kilómetros por hora; i a mas de eso la partida en Limache, se encuentra favorecida con la pendiente. El itinerario dice que el espreso sale de Quillota a las 8 h. 46' i se detiene jeneralmente 5'.

Llega 8, 41, Quillota.....	8—41
p. c. Sale a—8 h.—46'	
Sale Limache	8—27
Dif.....	15

para 14 kilómetros, o sea, una velocidad media de 56.00 kilómetros por hora. Descontando la partida i los frenos, no se llegará a los 65 que puede tomar la locomotora en la gradiente, sobre todo si se han aprovechado los 6 kilómetros de Limache–San Pedro, para andar de 70 a 75 kilómetros por hora a favor de la pendiente.

De Quillota a Llai-Llai, las dificultades del itinerario no se pueden encontrar en las gradientes de la línea, la que es mas o ménos constante, siguiendo la jeneral del valle del Aconcagua, que tiene una gradiente media de 0.007 por metro i, por consiguiente, donde la velocidad máxima *de réjimen*, se encuentra solamente limitada por la resistencia de la vía i *por los radios de sus curvas*, las que son múltiples i de sentido contrario en todo el trayecto Calera-Ocoa.

En el trayecto Llai-Llai a Santiago, la formacion del itinerario tiene el tropiezo de Tabon; de Llai-Llai a las Chilcas, hai 11 kilómetros; pero como hai 500 m. horizontales a la salida de la estacion, tenemos que la diferencia de nivel

de 297 m. se gana en 10.5 kilómetros, o sea con una gradiente media de 0.0282 mm. p. m. Luego las resistencias jenerales del trazado, en ese trayecto son:

$$R^t = (4.38 + 28.2 = 32.58 \text{ kilos por ton;}$$

i los del tren $32.58 \times 319.5 = 10.409.31$ kilos.

La locomotora que arrastra el espreso no tiene mas que 6166 *kilos adherentes*, luego, queda deficiente en 4243.31 kilos. Ademas, hai que fijar alguna *velocidad mínima*, para subir esa gradiente, so pena que, por una parte, o que alargue en exceso la duracion de los viajes, o por otra parte, que venga a impedir que se puedan hacer correr en el dia un número suficiente de trenes, en relacion con el tonelaje i número de pasajeros que hai que movilizar. La administracion de los Ferrccarriles del Estado fijó 30 kilómetros p. h., de donde el potencial para subir el espreso debe ser de

$$\frac{10409 \,.\, 3 \times 30}{270} = 1157.3 \text{ HP.}$$

La locomotora North-Britch, como vimos, solo tiene 725, faltan, por consiguiente, para hacer que el espreso suba el Tabon, con las velocidades del itinerario, que en Llai-Llai se coloque una remolcadora, que tenga 4,300 kilos como mínimum de adherencia i (1158—725=432) de potencial=430 HP. caballos-hora; el mismo cálculo anterior demuestra tambien que se puede quitar la remolcadora, y subir el tren de Llai-Llai hasta la cumbre, con una locomotora con 12,000 kilos adherentes 1160 caballos fuerza, lo que no es difícil conseguir de las Maestranzas Modernas.

Los itinerarios desde Montenegro a Santiago no pueden ofrecer dificultades, por cuanto solo hai que atender a las condiciones de resistencia de la via i sujeciones de sus curvas múltiples i sinuosas entre Montenegro i Tiltil; i para ello, se

consultan velocidades que son superiores a 75 kilómetros por hora, como lo manifiesta el cálculo siguiente:

El espreso sale de Llai-Llai a las 9 h. 34 A. M. para llegar a Tiltil a las 10 h. 35'; por consiguiente; emplea en el trayecto 1 h. 1'. Subiendo la cuesta del Tabon con solo 30 kilómetros p.h., o sean 8.33 mts., los 30 kilómetros los recorre en 2400", o sean 40'; por consiguiente, le quedan 20' para recorrer los 24 kilómetros de la cumbre a Tiltil, o sea con una velocidad media de 72 kilómetros p. h. Entre Tiltil i Yungai hai 35 kilómetros que son recorridos en 44 minutos; luego, con una velocidad media próxima de 50 kilómetros por hora; i por consiguiente, si descontamos las paradillas, al rededor de 55 kilómetros por hora.

He tomado espresamente este ejemplo, por cuanto, como se ha visto, en la formacion del itinerario de los espresos, en el sentido Valparaiso a Santiago, solo hai cálculos referentes a las influencias de las inclinaciones del trazado en la *primera parte*, es decir hasta Limache; en el resto del trayecto, son esclusivamente, *las curvas i resistencias de la via* las que han fijado los máximun efectivos de las velocidades, salvo, la subida del Tabon, la que, siendo escepcional, exije el remolque i que la administracion, segun sus elementos, fije la velocidad máxima de marcha en la subida de la cuesta.

Luego, *el método de los largos de esplotacion*, que está basado en las velocidades fundamentales que pueden tomar los trenes en conformidad con el potencial de las locomotoras que las arrastran, *solo puede ser aplicable* a la línea de Valparaiso, en su recorrido en el sentido «Valparaiso-Santiago», hasta Limache, puesto que en el resto del trayecto, en la marcha de Norte a Sur, son los caracteres de la via i *no las características de locomotoras que arrastran* los trenes, las que dan las velocidades dominantes.

Apliquemos entónces al trayecto «Valparaiso-Limache» el método de los *largos de esplotacion*, es decir, busquemos *los largos imajinarios que recorridos con la velocidad fundamental de marcha, den los mismos tiempos que los que efectivamente*

se necesitan segun las velocidades efectivas que pueden realizar las locomotoras que arrastran los trenes segun las resistencias estraordinarias que ocasionan las gradientes.

Desde luego, ya hemos visto que la velocidad *fundamental* para los itinerarios de los espresos «Valparaiso-Santiago» es da 80 kilómetros por hora: fijada, nó por el potencial i adherencie de la locomotora que lo arrastra, sino por las resistencias de la via. Efectivamente la «North Britch» que arrastra el espreso tiene 725 HP. de potencial, i las resistencias del tren, en horizontal son 1400.65 kilos; por consiguiente: $V_{max} = \frac{725 \times 270}{1400,65} = 139$ kilómetros por h., lo que es imposible que los realice dicha locomotora. Pero lo anterior demuestra que la locomotora, teniendo un buen excedente de fuerzo disponible sobre las resistencias horizontales puede asegurar al espreso, sin dificultad, la velocidad *fundamental* del itinerario en todos los trozos con gradientes menores de:

$$80 = \frac{725 \times 270}{319.5(4.38 + i)}$$

de donde $i = 3.27$ m/m. tres (milímitros veintisiete centésimos de milímetro por metro), i solo los trozos en que los valores de i, superen esa cifra *obligarán* al espreso a disminuir la velocidad, por no poder conservar la fundamental, i por consiguiente, *harán que el trayecto ficticio, llamado largo de esplotacion tenga un recargo sobre los trayectos efectivos.*

Luego para fijar los *largos de esplotacion nos bastará deternar los coeficientes de recargo* por kilómetro segun las diversas inclinaciones de las gradientes, i para ello, necesitamos conocer, ante todo, las variaciones que sufre el esfuerzo de traccion de la «North Britch» segun las diferentes velocidades de marchas, puesto que de esos esfuerzos dependerán despues las velocidades de marchas efectivas que pueda ese locomo-

tora asegurar al espreso en cada trozo de la via, segun sus resistencias, i así tenemos:

$$F = \frac{725 \times 270}{V} = \frac{195750}{V} \qquad Adh = \frac{37.000}{6} = 6166 \text{ kilos}$$

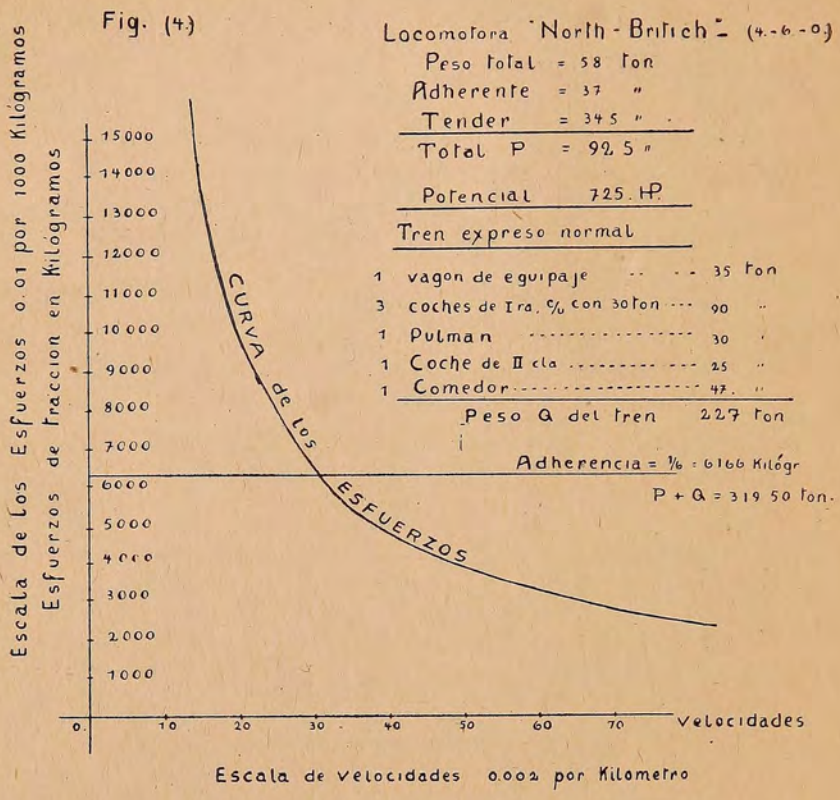
I haciendo variar las velocidades V.

V =	10	Km.	p. h.——	F=19575	kilos	
»	20	»	»	»= 9787	»	adh—6166 kilos
»	30	»	»	»= 6525	»	
»	40	»	»	»= 4893	»	
»	50	»	»	»= 3915	»	
»	60	»	»	»= 3262	»	
»	70	»	»	»= 2796	»	
»	80	»	»	»= 2446	»	

La representacion gráfica de estos esfuerzos se encuentra en la curva AB de la fig. 4 hecha a escala bastante grande para poder determinar, con aproximacion bastante, las cifras correspondientes a las velocidades intermediarisa.

Ahora, cuando las inclinaciones *i* de las gradientes, pasan de 3.27 mm. por metro, ya influyen en la *velocidad fundamental*, i por cuanto el aumento de las resistencias impide que se puedan mantener i por consiguiente, *vienen los atrasos*, que esa disminucion de velocidad ocasionan.

Si calculamos esos atrasos haciendo variar las gradientes i de decimo en décimo de milímetro, formaremos con ellos una *tabla de los recargos* i por consiguiente de los coeficientes, por los cuales hai que multiplicar los largos efectivos de los recorridos, para *tener los ficticios de esplotación* correspondientes a un itinerario dado.



La resistencia *fundamental*, en nuestro caso, es la máxima que puede ser vencida por la «North Britich» andando a 80 kilómetros por hora, o sea:

$$R_f = \frac{270 \times 275}{70} = 2446 \text{ kilógramos}$$

i la comprobacion de la cifra anterior la tenemos inmediatamente, si consideramos la resistencia global mas lo correspondiente a la gradiente, es decir:

$$R_f = 319.5\ (4.38 + 3.27) = 2444 \text{ kilógramos.}$$

Si la gradiente aumenta de 0.1 mm., es decir, las resistencias del tren aumentan de un décimo de kilo por tonelada, tenemos para el espreso:

$F = 2446 + 0.10 \times 319.5 = 2475.95$ kilógramos i por consiguiente, la velocidad V que le corresponde, será de:

$V, = \frac{195750}{2475.95} = 79.06$ kilómetros por hora i tendríamos en los recorridos, un atraso de 80.00—79.06 = 0.94 kilómetros por hora. Por otra parte tenemos:

V = 80.00 kilómetros por hora=22.22222 m/s.
V = 79.06 » » » =21.96111 m/s.

Luego, tenemos, como tiempo del recorrido de un kilómetro:

Con V=80.00 kilómetro por hora en 22.222.22"
Con V=79.06 » » » » 21.911.11"

Diferencia..... 311.11"

Luego el *recargo* por kilómetro que deben tener los recorridos con gradientes de 3,378 mm. p. m. con relacion a la velocidad fundamental será de:

$$\frac{311.11 \times 100}{21.911.11} = 1.4198\,\%, \text{ por kilómetro.}$$

La prueba de lo anterior es mui sencilla; si consideramos un recorrido de 10 kilómetros, tenemos: que marchamos con 79.06 kilómetros por hora el tren empleará

$$\frac{10.000}{21,911} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 456".389$$

Los 10 klm. con el recargo de 1.4198% por kilómetro, tendrán un largo de 10141.98 m. los que a 22.222 mts. se recorrerán en:

$$\frac{10141.98}{22.222} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 456''.389$$

Luego el *largo de esplotacion* de 10 kilómetros, con gradientes de 3.378 mm. p. m. es del 10141.98 m. para los servicios del espreso de Valparaiso que hemos tomado como base.

Si consideramos la gradiente de 0.004 mm., es decir, un recargo con respecto a la fundamental de 0.004—0.00032= 0.00073, o sean 0.73 kilos por ton. de tren, dando entonces como valor de R 2=2444 + 0.73 × 319.5 =26.79.23 kilógramos tenemos:

$$V\,2 = \frac{195750}{2674.23} = 73.345 \text{ klm. por hora}$$

o sean 20.37361 ms.

Luego, por kilómetro, tendremos un atraso de

$$\begin{array}{r} 22222''.22 \\ 20373''.61 \\ \hline 1848''.61 \end{array}$$

Por consiguiente, el recargo por kilómetro será de:

$$\frac{1848.61 \times 100}{20373.61} = 9.0735\,\% \text{ por kilómetro}$$

De donde, considerando el trayecto de 10 klm. en gradientes de 0.004, tendrá por *largo de esplotacion* 10977.35 m. I así tenemos.

$$10.000 \;:\; 20.373 = \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 490''.83$$
$$10.907.35 \;:\; 22.222 = \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 480''.83$$

Haciendo cálculos semejantes, encontraremos las cifras del cuadro siguiente *como recargos* correspondientes a las diversas inclinaciones de las rampas de la via.

Valores de i en mm.	Resistencias totales del tren en kilógramos		Atrasos por klm. en segundos	Recargo por klm. en %	OBSERVACIONES
.....	1400.65	80.00	.....	.....	*Velocidad fundamental*
0.0003278	2446.00	80.00	.....	.....	Dado el HP de la locomotora la V fundamental se asegura hasta esta gradiente.
0.003378	2475.95	79.06	311.11	1.4198	
0.004	2678.23	73.345	1848.61	9.0735	
0.0035	2516.92	77.77	619.45	2.8674	Para evitarse los cálculos de detalle se puede construir la curva de recargos a escala grande como se ve en la fig. 5 tomando unos cuantos puntos i deducir despues los que se necesitan.
0.0045	2835.79	69.02	3050.00	15.9084	
0.0050	2995.54	65.34	4072.22	22.4362	
0.0055	3155.29	62.038	4989.45	28.9533	
0.0060	3315.04	59.048	5819.70	35.48056	
0.0065	3474.79	56.334	6578.89	42.04085	
0.0070	3634.54	50.858	7261.67	48.53895	
0.0075	4113.79	47.583	8947.22	67.69222	
0.0080	4273.54	45.805	9498.61	74.65347	
0.0010	4593.04	42.618	11838.33	87.71436	
0.015	6190.54	31.620	13438.89	152.9937	
0.020	7788.04	25.134	15240.39	218.2864	
0.025	9385.54	20.856	16428.89	283.5828	
0.030	10983.04	17.823	17271.67	348.9226	

Teniendo la tabla *de recargos* podemos fácilmente aplicarla, al trozo «Baron Quillota» de la línea de Valparaiso a Santiago i tenemos.

Baron-Recreo	i=0.00;	r= 0.00;	l=4; kl.	l'=4000.00
Recreo-Miramar	i=0.007	r=48.54;	l=1; kl.	l'=1485. 4
Miramar-Viña	i=—002	r= 0.00;	l=1; kl.	l'=1000. 0
				6485. 4

Largo de esplotacion=suma 6485. 4

6485. 4 m. caminados a 80 klm. por hora o sean 22.222 mts. dan como tiempo 6485. 4 : 22.222	291".84
Partida de Baron.....	83".12
Freno.....	30".00
Tiempo recorrido.....	404".96

o sean: 6.'74. es decir 7' que es lo que tiene el itinerario.

Los tiempos de las partidas, no se deben *descontar*, sino que, por el contrario, los autores del método de los *largos de esplotacion exijen que se agreguen siempre*, por cuanto, al no proceder así, los maquinistas no tendrian ningún elemento para dominar la marcha de los trenes i por consiguiente asegurar los itinerarios: mas aun, en trozos cortos, como el que acabamos de ver, de Baron-Viña, se pide que se agregue tambien el tiempo de *los frenos*. Por consiguiente, no *debe despreciarse el tiempo del frenaje para obtener la detenciones* de los largos ficticios sino en los casos de recorrido de mas de 10 a 12 kilómetros, sin parar, i en demas casos, como, pasa constantemente con los *trenes ómnibus*, deben siempre tomarse en cuenta, tanto la influencia de las partidas como las del frenaje.

Si consideramos el trozo Viña-Limache, tenemos:

Viña-Salto—i=0.002; r=0.00;	l=4.0;	l'=4000.00
Salto-Quilpué—i=0.0098; r=83.475 %;	l=9.0;	l'=16512.7
Quilpué-Peña B. i=0.0023; r=0.00	l=9;	l'= 9000.0
Peña B-Limache—i=—6.0727; r=0.00;	l=12;	l'=12000.0
Largo de esplotacion. Suma=		41512.7

41512.7. 22.222=.....	1868".09
Partida de Viña—.....	147".86
Suma=.....	2015".95

o sean, 33.59.

El itinerario vijente da 32' i si buscamos *en que está la diferencia* entre les dos cálculos, vemos inmediatamente que proviene de que en el cálculo de *largos de esplotacion*, *se ha admitido como velocidad máxima*, para los recorridos, la de 80 kilómetros por hora; i como hemos visto, para que se realicen los itinerarios vijentes, fué preciso admitir velocidades de 83.12 kilómetros por hora de Quilpué a Limache, es decir *mayor que la fundamental*, lo que se puede realizar gracias a las *pendientes* que permiten adquirir esas velocidades sin forzar el potencial de la locomotora.

Si consideramos el recorrido de «Limache-Quillota», vemos que el trozo «Limache-San Pedro», es de bajada i por lo tanto que no influye en él la inclinación i de la via i que solo el trozo «San Pedro-Quillota», es de subida con i=0.005 mm. p. m. i por consiguiente, que tenemos como largo de esplotacion de ese recorrido:

Limache-S. Pedro—i=—0.00 r=0—l=6 kl.	l'=6000	6000.
S. Pedro-Quillota—i=0.05—; r=22.4364 %-l-8 kl.	l'-9786.8	
Largo de esplotacion=Sumas		15786.84

De donde, si deducimos el tiempo, para el itinerario, tenemos:

15789.8 : 22.222 = ...	710".41
Partida de Limache—	65"
Total	775".41

o sean 13' i el itinerario consulta 15'. Si estudiamos bien el itinerario actual veremos que el espreso, en ese trozo, no toma velocidades de marcha superiores a 70 klm. p. h., i de ahí, naturalmente, *la diferencia con el cálculo de los largos de esplotacion*, que están basadas i por consiguiente suponen que en todos los trozos donde las resistencias de la via no lo impiden, *se aprovecha la velocidad fundamental de* 80 *klm. p. h.*

Yo no sé, si *las curvas* de la via en ese trozo, obliguen a disminuir la velocidad, me llego a creer que no, i que la verdadera esplicacion de esta diferencia, la encontraremos en el *tiempo de la paradilla del espreso en Quillota*, el que, constantemente, en lugar de ser lo necesario, es decir de 2 a 3 minutos, se hace de 5 i aun mas minutos, por la aguada i por un cruce con otro de los trenes que vienen del sur. Por eso, yo no dudo, que el recorrido, entre Limache-Quillota, se pueda hacer efectivamente en los 13 minutos indicados por el largo de esplotacion de la vía.

Es inútil, como se ve, seguir estudiando el itinerario del espreso, por los largos de esplotacion, desde Quillota para adelante, puesto que ya sabemos que desde ahí hasta Santiago *ya no obedece a las gradientes*, sino a la via i sus sinuosidades; i que en el Tabon hay que poner el remolque, so pena de tener una marcha excesivamente lenta, i por lo tanto que ahí se fija una velocidad de subida i se ve cuál es la remolcadora que debe ayudar a la locomotora titular del tren.

Este hecho pone bien en evidencia que si en las *redes ferroviarias europeas*, donde las inclinaciones de la vía, no pasan 8 a 10 mm. por metro, el método de los largos de es-

plotacion tiene una buena base para cálculos, pero no pasa así en secciones montañosas, donde, por una parte, *las curvas* fijan de por sí un máximun de velocidad compatible con la seguridad de la marcha i por otra parte, donde, en mas de un trozo, si no se quieren tener marchas excesivamente lentas, hai que contemplar los remolques con doble traccion.

Para estimar la vuelta de espreso, es decir, la marcha en el sentido de Santiago a Valparaiso, se comprende, por lo ya visto, que solo hai que contemplar los largos de esplotaciones hasta la cumbre, i tenemos.

Recorrido «Yungai-Tiltil», de 45 klm.

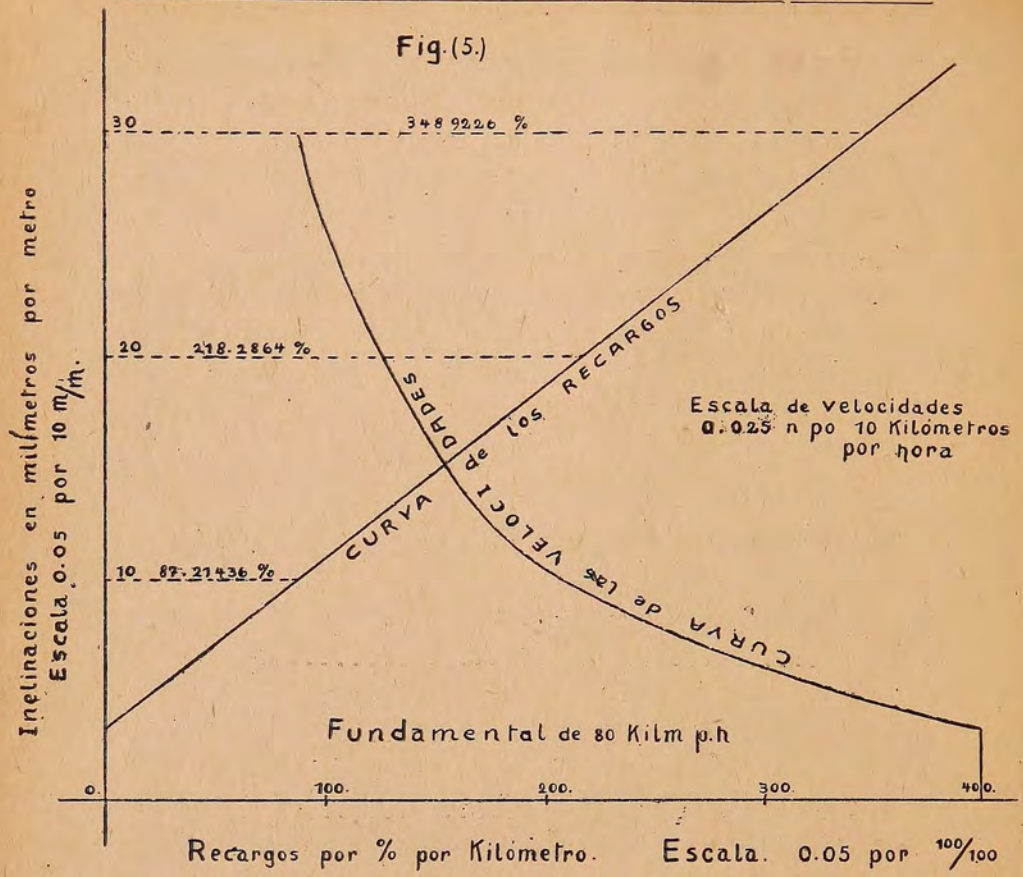
Trozo de Santiago a Renca, de bajada, por consiguiente i = —i r = 0, luego l = l' = ...	3,000.00
Trozo Renca-Quilicura, de bajada: p. c.—R = 0. l = l'	4,000.00
Exactamente tenemos de Quilicura a Batuco con i = —i por consiguiente l = l'	17,000.00
De Batuco a Polpaico, i = 0.00372 p. c. R = 11.1532 %, l = 4. klm. l' = ...	12,674.75
Polpaico-Tiltil, 1 = 0.0056; R = 68.819 % 1 = 10; l =	16,819.29
Largo de esplotacion.....	53,494.04

Marchando a 80 klm. p. h. o sean, 22.222 mts. tenemos 2407''.25 o sean 40'12 para el recorrido.

El itinerario contempla.

Tiltil—8 h. 37'' = ...	7 h.—97'—
Yungai	7 —51
Dif.....	46'

La diferencia de 6' que encontramos, corresponde, una parte a la *aguada* en Tiltil, i la otra, porque tenemos que agre-



gar al recorrido de esplotacion, por lo ménos un minuto, para atender a la partida de Tiltil; i así tenemos 5 minutos para la aguada en Tiltil, lo que es bastante.

Considerando el recorrido Tiltil-Llai-Llai, de 44 kilómetros, en el cual solo el trozo Cumbre-Llai-Llai se encuentra en pendiente, i por lo tanto cuyo tiempo de recorrido no se cuenta por los largos de esplotacion, sino por las velocidades máximas que admiten las sinuosidades de la vía, en ese trayecto de 21 kilómetro tenemos.

Trozo Tiltil-Rungue; i=6.01163 i p. c. R= 109.12856 % l=11—i l'=..... 23003.13

Trozo Rungue - Montenegro 1 = 0.00714 R =

88.887 % l=7 kilóm. l'=..... 13222.29
Montenegro-Cumbre—i= 0.00816, R =63.8173 %
l=5 l'=..... 8190.96

Largo de esplotacion=..... 44417.38

Marchando a 70 klm. p. h., o sean 22.222 mts. tenemos como tiempo de la subida:

44417.38 : 22,222=1998''.80

o sean 33'31.

Según itinerario, tenemos:

Llai-Llai llega—9 h. 27'=.....	8 h	87'
Tiltil.....	8 —	37'
Dif.....		50'

Luego, quedaria para la bajada de 21 kilómetros, 50.00—33.31=18'.39, lo que da, para la bajada, una velocidad media de 76.87 klm. por hora. Pero, en realidad, los hechos no son así, puesto que la primera parte de la bajada, es decir hasta «Los Loros», 10 kilóm., no puede el tren, por las sinuosidades de la vía, tomar mas de 40 kilómetros p. h. i ya desde ahí puede tomar la de 80, que ha servido de fundamental para este cálculo.

Conclusion.—Como ha quedado de manifiesto por los cálculos anteriores, el método aleman de la determinacion de los largos de esplotacion de las vias, para fijar los itinerarios, es cómodo cuando los perfiles de las líneas no son mui accidentados; pero pierde su ventaja en las líneas accidentadas

luego, podrá prestar beneficios a los Ferrocarriles del Estado en toda la estension de la II, III i IV zona de la Red Central i sus ramales, Bastará tabular, o construir los gráficos de los *recargos*, tomando por base varias velocidades fundamentales, que se deben fijar, en conformidad con los potenciales de las locomotoras i los pesos de los trenes que pida la esplotacion para despues calcular fácilmente todos los itinerarios de los trenes que se quieren intercalar. Pero prestará siempre poca utilidad para la I Zona i sus ramales i mucho ménos para el lonjitudinal del Norte con sus cremalleras, etc.

Santiago, Diciembre de 1915.

DOMINGO V. SANTA MARÍA.