

ESTUDIO DE UNA LOCOMOTORA

(Determinar los caracteres jenerales que deben tener las locomotoras que sirven el espreso de Talcahuano, para que puedan mantener su itinerario, aun en verano, con los trenes mas pesados, sirviendo de base la pendiente media de Santiago a Talca).

CAPÍTULO PRIMERO

DATOS

En el cálculo de los elementos principales de una locomotora capaz de hacer el servicio del espreso a Talcahuano entre las estaciones de Santiago i Talca en la época de mayor intensidad de tráfico, intervienen como datos de la cuestion:

1. El perfil de la línea en sentido vertical.
2. El sistema de curvas.
3. Velocidad real de marcha.
4. Composicion del tren que se necesita remolcar.
5. La presion de la caldera en marcha.
6. Características diversas del equipo remolcado.
7. Condiciones de alimentacion de la locomotora.

§ 1. — *Perfil de la línea en sentido vertical*

El sistema de rampas en sus rasgos jenerales queda dado por el cuadro adjunto de la página 107. Se puede demostrar que, para alcanzar una velocidad dada en un trazado con diferentes pendientes i contrapendientes, puede tomarse en el cálculo de la locomotora la pendiente media de dicho trazado, obteniéndose, por medio de esta simplificacion, un resultado práctico suficientemente exacto.

ESTACIONES	DISTANCIAS		Altura en metros sobre el nivel del mar
	Parciales	Totales	
	km	km	
Santiago Alameda.....	0	0	520
Espejo.....	9	9	522
San Bernardo.....	7	16	572
Nos.....	5	21	567
Guindos.....	9	30	508
Buín.....	2	32	488
Linderos.....	3	35	456
Paine.....	5	40	390
Hospital.....	7	47	384
San Francisco.....	13	60	471
Graneros.....	10	70	481
Rancagua.....	12	82	500
Gultros.....	5	87	504
Los Lirios.....	2	89	489
Requinoa.....	7	96	424
Rosario.....	8	104	350
Rengo.....	7	111	356
Pelequen.....	6	117	275
Barrales.....	8	125	314
San Fernando.....	9	134	345
Centinela.....	3	137	356
Tinguiririca.....	2	139	356
Chimbarongo.....	10	149	320
Quinta.....	9	158	265
Teno.....	12	170	297
Curicó.....	15	185	210
Lontué.....	8	193	225
Molina.....	6	149	235
Camarico.....	19	218	200
San Rafael.....	12	230	164
Panguilemo.....	10	240	122
Talca.....	10	250	107

Por consiguiente, para el cálculo de nuestra locomotora, como lo indica el programa, se ha tomado como pendiente, la pendiente media entre Santiago i Talca que, deducida del cuadro adjunto resulta ser de

$$\frac{520 - 107}{250} = \frac{413}{250} = 1\ 652 \text{ por mil}$$

Sin embargo, creo que, debiendo el espreso realizar un itinerario dado, ya que debe cruzar con una série de trenes en su trayecto (segun se puede ver en el itinerario que se

copia en página 109), sería mas lógico tomar, para el cálculo, la mayor pendiente media entre las dos estaciones en que, por cruce de trenes, deba llegar a una hora fija, horas de llegada que le imponen una velocidad determinada. En una palabra, la pendiente que debería tomarse en cuenta sería la existente entre dos estaciones de cruce para las que se verifica que el producto de la velocidad impuesta por la pendiente media sea un máximo.

§ 2.—Curvas

He visto que algunos autores no toman en cuenta la resistencia de las curvas para el cálculo de la potencia de una locomotora (Flamache et Huberti, *Traité des Chemins de Fers*, IV, page, 327) contentándose con suponer un aumento de admision que venga esa resistencia adicional. Sin duda ello se debe a la dificultad que se encuentra al querer introducir esa resistencia en los cálculos, ya que ella es accidental i distribuida de un modo absolutamente caprichoso a lo largo de la línea. Creo que una manera lógica de introducirla sería tomar el largo virtual de la línea que debe recorrer la locomotora, tomando solo en cuenta las curvas, i, en seguida, considerar ese largo virtual como el largo real que debe recorrer con la pendiente deducida como hemos visto. No he hecho este estudio, porque ello es una cuestion de largos virtuales ajena al enunciado del programa, cuestion que exigiría el conocimiento detallado del perfil en horizontal de los 250 km que median entre Santiago i Talca. Sin embargo, he querido tomar en cuenta esta resistencia indirectamente ya que no me ha sido posible averiguar el largo virtual entre Santiago i Talca, aumentando la velocidad media de marcha que se da mas adelante (página 113) en 0,8 km, lo que equivale a considerar que las resistencias causadas por las curvas son iguales a las resistencias de

$$3^h,685,8,8=2,94 \text{ km}$$

en horizontal

§ 3.—Velocidad real de marcha

He observado cuál sería la velocidad que debería tomarse en cuenta. Para estar de acuerdo con el programa, deberemos considerar la velocidad real de marcha que debe tomar el espreso para cumplir con las horas de salida i llegada a las estaciones de Santiago i Talca. Esta velocidad se obtiene, restando al tiempo total, el empleado en las diversas estaciones, i ademas, tomando en cuenta el tiempo perdido en tomar la velocidad requerida i en detener el tren en cada paradilla.

ITINERARIO

Distancias totales	Distancias parciales	ESTACIONES	Llega	Sale
km	km		P. M.	P. M.
0	0	Talca	12 56	1 05
10	10	Panguilemu .....	.....	1 15
20	10	San Rafael .....	.....	1 25
32	12	Camarico .....	.....	1 35
43	11	Itahue .....	.....	1 46
51	8	Molina .....	.....	1 53
57	6	Lontué .....	.....	2 00
65	8	Curicó	2 10	2 20
80	15	Teno .....	.....	2 38
92	12	Quinta .....	.....	2 50
101	9	Chimbarongo .....	.....	3 00
111	10	Tinguiririca .....	.....	3 10
113	2	Centinela .....	.....	3 12
116	3	San Fernando	3 15	3 32
125	9	Polonia .....	.....	3 30
133	8	Pelequen	3 38	3 40
139	6	Rengo .....	.....	3 45
146	7	Rosario .....	.....	3 53
154	8	Requinoa .....	.....	4 00
161	7	Los Lirios .....	.....	4 10
163	2	Gultro .....	.....	4 12
168	5	Rancagua	4 17	4 27
180	12	Graneros .....	.....	4 39
190	10	San Francisco .....	.....	4 49
196	6	Angostura .....	.....	4 55
203	7	Hospital .....	.....	5 02
209	6	Paine .....	.....	5 08
215	6	Linderos .....	.....	5 19
218	3	Buín .....	.....	5 25
220	2	Guindos .....	.....	5 29
229	9	Nos .....	.....	5 40
234	5	San Bernardo .....	.....	5 45
241	7	Espejo .....	.....	5 51
250	9	Alameda	6 60	

Segun el itinerario copiado en la página 109, las detenciones son las siguientes, contando en Talca la mitad de la detencion en esa estacion, pues la otra mitad debe abonarse al trayecto entre Talca i Talcahuano.

ESTACIONES	Tiempo, minutos
Talca	4 5
Curicó	10 0
San Fernando	7 0
Pelequen	2 0
Rancagua	10 0
TOTAL	33 5

Hai que agregar las detenciones en San Bernardo, Buin, Los Lirios, Rengo, Chimbarongo i Molina, que estimadas cada una en 30'' dan un total de 3' que agregados a los 33 5' anteriores suman 36 5' como tiempo gastado en detenciones.

El tiempo total ocupado en recorrer el trayecto entre Santiago i Talca es, segun se deduce del itinerario de página 109.

Llegada a Alameda	6h 00'
Estacion en Talca	1 00½'
	4h 59½'

Restando el tiempo gastado en detenciones, resulta

$$\begin{array}{r}
 4h\ 59\frac{1}{2}' \\
 36\frac{1}{2}' \\
 \hline
 4h\ 23\frac{1}{2}'
 \end{array}$$

Para los cálculos siguientes, se ha aumentado el tiempo gastado en las pequeñas detenciones en 2', porque, en la época de mayor tráfico, a fines de Febrero para la vuelta de los veraneantes, es forzoso, por el embarque de pasajeros i equipaje, el detener el espreso algunos segundos mas. Por consiguiente, el tiempo que dura en movimiento el espreso es de

$$4h\ 21\frac{1}{2}'$$

Nos falta tomar en cuenta otro tiempo perdido en las detenciones: el tiempo que se necesita para pasar de la velocidad 0 a la velocidad real de marcha i el tiempo que se gasta en detener el tren en cada paradilla. El cálculo exacto dado por una teoría basada en bases hipotéticas conduce a fórmulas mui complicadas (Fiamache et Hubert, *Travée des Chemins de Fer*, pages 317, 318, 319) de aplicacion difícil i los resultados no pueden tomarse sino como simples indicaciones, porque no se ha comprobado por experiencias las leyes de variación que se suponen para las resistencias i los esfuerzos de traccion.

Por consiguiente, basta para dar esas indicaciones, un cálculo mas sencillo que consiste en considerar el movimiento de la puesta en marcha del tren como uniforme en periodos sucesivos correspondientes a aumentos iguales de velocidad.

Todavía para hacer estos cálculos, debemos dar por resuelto el problema que nos ocupa, pero, por comparacion, podremos dar a las incógnitas valores mas o ménos racionales que segun se puede ver no difieren mucho de los resultados definitivos apuntados en página 80.

Segun el estudio detallado que se hace mas adelante, el peso del tren i pasajeros se descompone como sigue:

CARROS	Peso en toneladas
1 ténder.....	30
1 refrigerador.....	16
1 equipaje.....	32
1 Pullman.....	28
3 coches de 1. ^a	81
1 coche de 2. ^a	23
TOTAL.....	210

Supongámoslo remolcado en la pendiente de 1,65 por mil, por una locomotora de 8 ruedas de 46 toneladas de peso, con dos ejes motrices de 30 toneladas i un boguie de 16 lo que da una adherencia de

$$\frac{1}{7} \times 30\,000 = 4280 \text{ kg}$$

La resistencia total del tren a la traccion se calculará por la fórmula dada mas adelante.

$$R = (2,5 + 0,094 V + i) T + (4 \sqrt{x} + 0,002 V^2 + i) L$$

en que

R es la resistencia total en kg.

V velocidad en km por hora.

i resistencia de la pendiente: 1,65 kg por tonelada.

T peso total del tren remolcado 210 toneladas.

x número de ejes acoplados 2.

L peso de la locomotora 46 toneladas.

Los valores de R se indican en la columna 3 del cuadro siguiente.

Para simplificar, supondremos que el esfuerzo de traccion es igual a la adherencia i constante, miéntras la velocidad varia de 0 a 10 km por hora, i que disminuya de 10 kg por cada km que se aumente en velocidad. Por consiguiente, los valores del esfuerzo de traccion F , a distintas velocidades apuntadas en la columna 4, son dados en kg por la fórmula siguiente:

$$F = 4380 - 10 V.$$

Los valores de la fuerza aceleratriz que resta para conseguir los nuevos aumentos de velocidad están en la columna 5, i se obtienen por la fórmula

$$A = F - R$$

Para calcular el tiempo que será necesario emplear para imprimir un aumento de velocidad de 10 km por hora o sea de 2,777 m por segundo a la masa del tren que es en kg masa igual a $\frac{256000}{g}$ con ayuda de la fuerza aceleratriz, tomaremos las fuerzas aceleratrices medias indicadas en la columna 6, sacadas de los valores de dicha fuerza aceleratriz al comenzar i terminar cada período. La masa del tren es de 26 200 kg masa.

Por consiguiente

$$A_m \times t'' = 26\,200 \times 2,777 = 71\,000$$

$$t = \frac{71\,000}{A_m}$$

Los valores de t en segundos están apuntados en la columna 7.

Para encontrar ahora los trayectos recorridos en metros en cada período, hasta multiplicar el tiempo empleado por las velocidades medias. Son los valores apuntados en la columna 8. La distancia recorrida en metros desde la partida se encuentra sumando los valores anteriores (columna 9).

VELOCIDADES		3	4	5	6	7	TRAYECTOS RECORRIDOS EN METROS	
1	2	Resistencias totales en kg R	Esfuerzos de traccion en kg F=4380-10 V	Fuerza aceleratriz en kg A=F-R	Fuerzas aceleratrices medias Kg	Tiempo empleado en segundos $t = \frac{71\,000}{A_m}$	8	9
1 km por hora	Metros por segundo						En cada período	Desde la partida
0	0.00	1208	4280	3072				0
10	2.78	1415	4280	2865	2969	24	33	33
20	5.56	1638	4180	2642	2754	26	108	141
30	8.33	1881	4080	2399	2521	28	194	335
40	11.11	2145	3980	2135	2267	31	320	655
50	13.88	2427	3880	1853	1994	35,5	444	1099
60	16.66	2723	3780	1557	1705	41,5	612	1711
70	19.44	3047	3680	1233	1395	51	920	2631

Resulta del cuadro que, para poner el tren a 60 km por hora, se gastan 186'' i se recorren 1711 m. Por consiguiente, para tener la velocidad de marcha debemos quitar al trayecto recorrido, por cada paradilla, 1700 m i al tiempo gastado, 3'.