

DOCUMENTOS

Informe sobre los estudios del Ferrocarril longitudinal entre Cabildo i Copiapó

(Continuacion)

SUB-SECCION DE MINA CASTILLO A PAIPOTE

1. La ubicacion del paradero Castillo, Km 0,600 es inconveniente como orijen del fuerte descenso que le precede. Esa pérdida de altura puede evitarse segun los mismos planos.
2. Falta desagüe Km 4,700.
3. Las contrapendientes Km 6,200 a 9,950 pueden i deben evitarse.
4. Igualmente las contrapendientes entre el portezuelo Llano Seco, Km 35 i el Km 43, pueden segun los planos evitarse, con mas o menos variaciones del trazado.
5. La travesía del rio Copiapó no ha sido bien estudiada i la division del puente en dos porciones con terraplen de union dentro del cauce no puede recomendarse como buena práctica.
6. Muchas alcantarillas de 0,40 m de luz que se consultan son inadecuadas para desaguar las quebradas donde están. Deben aumentarse.
7. No están indicados los pasos de nivel.

Planos alemanes

El plano i perfil jenerales i el cálculo de coordenadas se conforman con lo prescrito en el Anexo N.º II del pliego de condiciones ya citado. El plano taquimétrico está a la escala $1/5000$ i es bastante claro i completo; pero el dibujo de los puntos de relleno se ha omitido completamente. La curva rasante está indicada con toda la amplitud deseable e igualmente se consignan todos los muros de sosten de terraplenes, defensas de puentes i demas obras suplementarias, tanto en el plano como en el

perfil. Las demas especificaciones están tambien debidamente cumplidas.

Entraremos a la discusion particular de los planos por secciones, como sigue:

QUÍNQUIMO A PAPUDO

Aunque ante-proyecto propio del sindicato, la traza se aproxima mucho al proyecto definitivo de la Direccion. En él la máxima gradiente es de 23‰ contra el 25‰ fiscal, pero debido a que aquella se emplea en mayor estension, ambos largos virtuales tienden a igualarse. La curvatura total de las dos es tambien sensiblemente igual, si bien los radios alemanes son en jeneral mayores, hasta el mínimo que es 100 m contra 80 m en el otro.

El movimiento de tierras parece lijeramente mayor en el proyecto aleman; pero las obras de arte menores se equilibran en ámbos.

Respecto a la estacion de Papudo habria talvez ventaja en alargarla un poco mas que el proyecto presentado, que le da 400 metros.

CABILDO-LIMAHUIDA

1. Desde Cabildo hasta el Km 8,220 han adoptado íntegro el estacado definitivo de la Direccion, salvo el puente para el rio Ligua que se proyecta de 400 m. De Km 8,220 sigue el túnel de La Grupa de 1 270 m, en actual ejecucion, el cual aparece erróneamente dibujado en el perfil hasta hacer la cota de formacion de la boca norte de 322,20 m en vez de 319,06.

Con todo, el Km 0, donde comienzan los propios estudios, a Km 9,620 de Cabildo, acusa una cota de formacion de 318,60 m, la cual concuerda perfectamente con los datos fiscales.

2. Faltan alcantarillas en los Km 29,150 i 29,800. Podrian suprimirse quizas las de los Km 7,707, 9,550, 12,800, 31,500, 34,640, 41,940 i 42,200.

3. Km 42,050. El puente sobre la quebrada de Quelon aparece en pendiente de 6% i el enlace vertical invadiria totalmente el puente. A este respecto convendria estudiar una bajada al valle a cota mas inferior, i si esto no fuera posible, reemplazar el puente metálico por uno de albañilería de luz suficiente para dar paso a las aguas de la quebrada.

4. Pueden suprimirse, Km 44, las contrapendientes de acceso al puente del estero de Tilama.

5. La horizontal del Km 48,550 será absorbida por los enlaces verticales; podria ubicarse el puente sobre la quebrada de Gonzalo en rampa de 3% o bien buscar otra solucion.

6. Km 49,940. El trozo aislado de 140 metros en cremallera de 6% no parece indispensable; i su eliminacion es factible, aunque impone un cambio de trazado.

7. Km 50,400. La curva de 135 m de radio en cremallera está fuera de especificaciones.

8. El puente de 30 m del Km 65,350 no es indispensable. Una curva de ménos de 100 metros de radio disminuiría la curva del terraplen i una alcantarilla bastaría para desaguar la quebrada.

9. Pueden suprimirse los viaductos del Km 66,200, apelando a un lijero incremento en los cortes de acceso, i el del Km 68,400 con pequeño túnel; o bien hacer lisa i llanamente los terraplenes con la altura indicada.

10. Puede sustituirse el puente abierto de 10 metros del Km 69,155 por una alcantarilla abovedada con sólo entrar con mayor corte en la puntilla del Km 69,100.

11. La sustitucion de los viaductos Km 69,770 i 70,030, por alcantarillas podría obtenerse con el estudio de dos pequeños túneles, cuyos largos sumados darían 300 metros, mas o ménos.

12. Km 77,200 i 77,750. La cremallera invade curvas de 100 m de radio, contra lo prescrito.

ILLAPEL A SAN MÁRCOS

1. Km 3,200. Hai error de 10 metros en la cota negra del perfil i con esto queda el terraplen reducido a 3 m, en el cual no cabe alcantarilla abovedada de 5 metros. Otros errores en el perfil existen en los Km 4,650 i 5,240.

2. Km 5,800. Falta desagüe.

3. De Km 5 a 6,500 la traza convendría cargarla mas al cerro para alejarla del estero de Aucó.

4. Podrían suprimirse las alcantarillas de los Km 9,300, 13,220 i 13,715.

5. Km 11. La curva horizontal cae dentro del puente sobre el estero Aucó; i con las verticales sucederá otro tanto.

6. Del Km 13 a 14,500 puede tirarse una recta que ahorra como 4 alcantarillas i dos curvas, con toda ventaja.

7. De Km 15,800 a 17,700 también puede tirarse una recta que suprime dos curvas i una alcantarilla.

8. El terraplen sobre el faldeo entre los Km 18,100 i 19 puede evitarse suprimiendo probablemente dos alcantarillas.

9. La alcantarilla de 4 metros de luz para la quebrada del Km 19,400 es excesiva i la de 0,60 m en Km 19,600 podría suprimirse.

10. Los cortes entre Km 19,500 i 20,700 pueden fácilmente reducirse, variando lijeramente el trazado.

11. Asimismo puede disminuirse la altura de los terraplenes Km 20,700 a 21,400 con solo variar la ubicacion del eje del paradero de Chillan i las curvas de acceso.

12. Km 25,550. Falta muro de sosten del terraplen i la alcantarilla allí proyectada debe suprimirse por pasar la línea en el barranco del estero.

13. Km 31,300. No parece necesario que el muro de sosten tenga 190 metros de largo.

14. De Km 33,700 a 34 es posible reducir mucho el terraplen con un ligero cambio en la traza.

15. Variando un tanto el trazado en el Km 34,070 es muy posible eliminar el puente de 30 metros allí proyectado i presuponer un tubo para el desagüe de la quebrada.

16. Km. 35,300. Proyectando un aumento de los cortes adyacentes, es posible disminuir la altura del terraplen; i por consiguiente, reemplazar el viaducto por una alcantarilla o tubo, ya que hai interseccion del terreno con el talud de los terraplenes.

17. Km 37. Hai discordancia entre el plano i el perfil sobre la luz de la alcantarilla abovedada. ¿Es de 2,5 m o 4,00 m?

18. Km. 37,130. Error en el perfil de 7 metros para el corte.

19. Km 37,300. Una modificacion en el trazado con dos pequeños túneles disminuiria la altura en 6 m; pero siendo la pendiente de la quebrada aguas abajo de 33% i lateralmente de 50% no parece que hubiera necesidad de esta modificacion i que seria posible hacer el terraplen i desaguar la quebrada con una alcantarilla o tubo.

20. Km 39,725. No tiene objeto un puente de 15 m. La pendiente de la quebrada es muy suave.

21. Km 40,145 i Km 40,370. Con un ligero cambio en el trazado que da un pequeño túnel como de 100 m, podrian suprimirse los viaductos allí proyectados, aunque para el primero la pendiente de la quebrada es relativamente suave.

22. Km 42,125 a Km 42,225. El largo de 2 100 m asignado al túnel del Espino, ubicado a la altura que está, deja cierta duda respecto a su longitud, pues es muy superior al que se derivaria de los planos oficiales existentes.

23. Km 54,160. El viaducto puede eliminarse sin gran aumento en el corte siguiente.

24. Los puentes de los Km 55,550 i 56,880 pueden sustituirse por alcantarillas abovedadas. La alcantarilla, Km 55,600, parece supérflua, i la del Km 55,750 de excesiva luz.

25. Km 59 a Km 59,600. Puede tirarse una recta i suprimirse dos curvas de escaso efecto.

26. Km 64,400. Mala ubicacion del puente sobre el estero del Peñon. Puede i debe ubicarse normal.

Ademas entre Km 62,200 i 64,300, puede tirarse una recta que elimina 4 curvas.

27. Entre los Km 66 i 67 puede ceñirse mejor la línea al terreno, de manera a economizar mucho movimiento de tierras,

28. Km 70,200 a Km 70,500. Hai error de dibujo de 10 m en el perfil.

29. Km 71,500. Podria suprimirse una alcantarilla.

30. Km 73,200 a Km 73,600. Puede mejorarse la traza para reducir el movimiento de tierras.

31. En vista de la magnitud de los viaductos, Km 90,150 i Km 91,150 sobre el rio Huatulame, es conveniente comparar esta traza con la que daría dos túneles i un viaducto sobre el estero de Peñablanca.

UNION DE LA LÍNEA PALOMA-OVALLE CON LA DE COQUIMBO

1. Se ha practicado un desarrollo de 8 Km en el valle de Huamalata; aunque no se propone como proyecto.

2. El trazado que va de Puntilla Alta a Puntilla Baja está bien ubicado, aunque parece que el puente debería prolongarse hasta darle un largo de 300 m a lo ménos.

SERENA A VALLENAR

1. Km 0. Convendría eliminar la curva a la entrada del puente sobre el río Coquimbo.

2. Km 1,900 a 4.—Puede variarse lijeramente la traza para disminuir el movimiento de tierras.

3. Km 11. Falta desagüe.

4. Km 16,800 a Km 18,400. Convendría darle menor altura a los terraplenes.

5. Km 27,700. El puente de 10 m puede sustituirse por una alcantarilla abovedada.

6. Km 30,500 i Km. 30,800. Con una variacion en la traza que aumenta las alturas de los cortes adyacentes a los viaductos allí proyectados se disminuyen sensiblemente las de estos, i por consiguiente, es posible reemplazar los viaductos por simples terraplenes, empleando tubos para el desagüe de las quebradas.

7. Faltan desagües en los Kms 26, 32,400, 33 i 136.

8. Km 35,700 i Km 35,900. Hai errores de dibujo en el perfil.

9. Km 42,500. El puente de 10 m es talvez reemplazable por un ponton abovedado.

10. Km 44,375. Para la Quebrada Honda será suficiente un puente de 40 m de luz en vez de 60 m.

11. Km 45,150. La cremallera cae dentro de una curva de 100 m de radio.

12. Los pequeños túneles de 15, 25 i 35 metros de los Km 48,700, 48,850 i 49, pueden reducirse a cortes.

13. Km 60,500. Puede reducirse el terraplen.

14. Km 69 a 73. Convendría suprimir algunas alcantarillas.

15. Km 87,500. Puede mejorarse la ubicacion del puente en traza i situacion.

16. Del Km 90 al Km 105 debe reducirse la altura de los terraplenes.

17. Si se pudiera ubicar la estacion de Yerba Buena ántes del Km 104, podrian evitarse los grandes terraplenes del Km 106.

18. Km 108. En el perfil puede disminuirse el largo terraplen.

19. Km 109,700 a 110,100. Puede reducirse el corte con ligero incremento del terraplen.

20. Km 110,450. Debe sustituirse el sifon por una alcantarilla con caida.

21. Km 112,300 a 115. Hai facilidad para suprimir la contragradiente, siguiendo la curva de nivel 1 070.

22. Igualmente puede suprimirse la contragradiente de la quebrada de Chañarito que no tiene razon de ser.

23. Km 124 a 126. Las contragradientes ahí empleadas pueden tambien eliminarse sin alargar la línea.

24. Km 127,700. En perfil puede disminuirse el largo corte.

25. Km 134. La horizontal puede suprimirse moviendo ligeramente la traza.

26. Km 137. El terraplen del paradero Cachiyuyo i siguiente pueden reducirse bastante moviendo un poco el trazado.

27. Km 144. Pueden suprimirse cuatro curvas del trazado.

28. Km 149,300 a 149,900, Es posible acortar el desarrollo pasando la puntilla con $6\frac{1}{2}$ m de corte, en vez de 4,40 m.

29. Km 164. La contrapendiente puede evitarse, talvez hasta con economía en el trazado.

VALLENAR A TOLEDO

1. Km 44.900 a 46. Puede disminuirse en el perfil el movimiento de tierras.

2. Km 137 a 138. Parece posible una modificacion en la traza que disminuye el movimiento de tierras.

El corte en Km 138,400 puede bajarse de 9 metros con una curva de 100 metros de radio.

3. Km 139 a 141. Variando traza i perfiles cabe reducir los cortes i terraplenes.

4. Del Km 141 adelante, en el Llano Seco, no son necesarios terraplenes altos

Discusion jeneral de la ruta i los trazados

Los estudios i reconocimientos de la via lonjitudinal, practidos en múltiples ocasiones anteriores por la Direccion de Obras Públicas segun todos los trayectos susceptibles de aprovechamiento, fueron seleccionados despues convenientemente llegando a establecerse una ruta jeneral para el trazado, resúmen de las condiciones que se ofrecian mas favorables al proyecto i que solo en ciertos puntos mostraba soluciones dobles, de naturaleza local, no suficientes para desplazar el rumbo fundamental del conjunto. Fué así como el portezuelo de La Grupa se consideró punto obligado de atravesio i como tal se avanzó la construccion de un túnel arreglado a proyectos debidamente justificados i se estacó ademas definitivamente el acceso desde Cabildo.

Siguiendo al norte, los portezuelos de Las Palmas i Los Cristales se señalaron

tambien como puntos de escala forzada; pero al descender al valle de Pupio se reservaron opiniones si trasmontar las cuestas de Las Astas para caer al valle del Choapa o desviarse hácia el ramal de Vilos a Illapel con el objeto de utilizar el túnel existente de Cabilolen. Ambos proyectos fueron estudiados entónces i hoi han sido tambien propuestos por los sindicatos. De Choapa a Illapel el longitudinal aprovecha la línea construida.

Entre Illapel i Combarbalá media el encumbrado cordon de Los Hornos a cuyo trasmonte queda subordinada la ubicacion de esta seccion de la línea. El trayecto preferido trepaba la altura por el cajon de la Alcaparrosa para descender del otro lado hasta Pama i de allí a San Marcos. Los sindicatos han diverjido en la forma de salvar la cumbre; pero ámbos se aprovechan de las premisas oficiales.

Entre San Marcos i Ovalle hai via en construccion como parte del mismo plan primitivo; i mas antiguo es el ferrocarril de Ovalle a Serena, cuya trocha habrá de cambiarse.

De Serena a Vallenar se ofrecian dos rutas estudiadas; pero ambos sindicatos han optado por la del occidente, la cual tiene como puntos obligados los portezuelos Chorrillos, Buenos Aires, Fundicioncita, Incahuasito, Churqui i Agua Amarga; pero el acceso a Vallenar queda como materia de eleccion.

De Vallenar al Norte se aprovecha tambien un trayecto conocido que tiene por arribos marcadamente fijos las aguadas Chacritas, Algarrobal i Punta Diaz i el portezuelo del Llano Seco. El arribo directo a Copiapó se dificulta por la interposicion de un cordon que obliga a desviarse sea al poniente para arribar a Toledo como los alemanes, o al oriente trepando el portezuelo de Las Cruces para bajar a Paipote, como los belgas, cuyos dos caminos poseian reconocimientos fiscales.

Discutiremos la índole jeneral de los desarrollos propuestos por los sindicatos entre estos puntos de paso obligado, ya que sus detalles han sido tratados en las pájinas precedentes; pero para facilitar el estudio nos cumple sentar algunas bases sobre resistencia de los vehículos al movimiento en las gradientes i curvas, sean de adherencia o cremallera, las cuales serian: 1. *Resistencia de un carro en la horizontal recta.* 2. *Resistencia de una locomotora en la misma.* 3. *Resistencia de un convoi.* 4. *Resistencia de la locomotora mista de adherencia i cremallera.* 5. *Resistencia del convoi con locomotora mista.* 6. *Poder tractivo de la locomotora adherente.* 7. *Poder tractivo de la locomotora mista.* 8. *Resistencias de las curvas.* 9. *Largos virtuales.*

1. Para el arrastre en la horizontal recta, el carro requiere por término medio un esfuerzo de traccion de 3 Kg por tonelada de su peso o, lo que es igual, comenzará a moverse por su propia gravitacion en una pendiente de 3^o/₁₀₀.

2. Por simple adherencia una locomotora con su mayor suma de resistencias pasivas por el roce de las articulaciones i contactos del mecanismo, necesita 10 Kg de traccion horizontal por tonelada, o una pendiente de 10^o/₁₀₀ para iniciar su descenso cuando se la abandona a sí misma. Notemos que este coeficiente 10^o/₁₀₀ de resistencia horizontal será prácticamente el mismo, para fines ordinarios, ya sea la máquina re-

molcada por ajencia estraña, ya impulsada por su propia fuerza a poca o mucha velocidad, aunque en rigor las velocidades tienden a aumentar las resistencias.

3. Un tren compuesto de locomotoras i carros comenzará a descender en una pendiente donde el exceso de la gravedad de los carros sea bastante para vencer la resistencia que oponga la locomotora. Sea:

i esta pendiente.

p el peso de la locomotora.

P el peso de los carros.

$$P (i - 3) = p (10 - i)$$

i supuesto que los carros en pendiente de $3^0/00$ tienen igual gravedad que la locomotora en pendiente de $10^0/00$:

$$3 P = 10 p$$

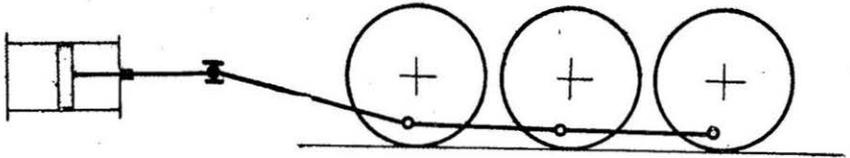
de cuyas dos ecuaciones:

$$i = 4,6^0/00$$

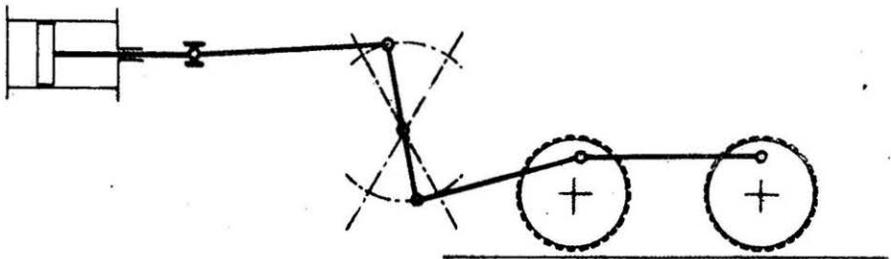
Se acostumbra tomar $5^0/00$.

4. La locomotora mista, de adherencia i cremallera, tiene dos series de mecanismos que respectivamente gobiernan ésta i aquella.

Mecanismo de adherencia.



Mecanismo de cremallera.



El primero se compone de dos cilindros con sus válvulas i los manejos de éstas, i ademas de la cadena ordinaria de órganos de trasmision que consta de crucetas i guías, bielas, manivelas i ruedas motrices acopladas.

El segundo mecanismo tiene otros dos cilindros semejantes i una cadena algo diferente compuesta de crucetas i guías, bielas, barras oscilantes, otras bielas, manivelas i dos ruedas dentadas acopladas.

Las resistencias pasivas de una locomotora semejante cuando está en accion plena provienen de los frotamientos de ámbos mecanismos i del roce de los piñones en la cremallera.

El del mecanismo de adnerencia sabemos que es igual a 10 Kg por tonelada, i respecto del otro que tiene el mismo número de articulaciones i demas, podemos admitirlo igual al primero, salvo el descuento de 3 Kg que como vehículo propiamente corresponden a las ruedas apoyadas sobre los rieles que sostienen el peso del uno i que estan eliminados en los piñones por hallarse estos suspendidos. El roce de ámbos es así 17 Kg.

El frotamiento de los dientes puede apreciarse por el trabajo que absorben, el cual varia en las pequeñas velocidades como lo indica la tabla siguiente de esperiencias clásicas (Kent-Transactions A. S. M. E.)

I	
Velocidades en Km por hora	Razon del trayecto absorbido al total= K
0,054	0,100
0,180	0,065
0,720	0,030
1,800	0,020
3,600	0,015

Con velocidades superiores a 3 600 Km los valores de K se conservan prácticamente constantes.

Ahora bien, el trabajo total i el del frotamiento tienen por factor comun el camino recorrido, luego son proporcionales a los esfuerzos respectivos, que son la presión P' desplazada i el esfuerzo f del roce de los dientes, de manera que el valor K de la tabla, razon del trabajo disipado al trabajo total invertido, es tambien igual al coeficiente de frotamiento $\frac{f}{P'}$.

Para obtener el coeficiente del completo reposo, bastará construir la curva i apreciar el valor de K que coexista con la velocidad 0, el cual se hallará que es mas o ménos igual 0,107. La presión P' de que se hace mérito es la normal al diente i evidentemente igual al máximo esfuerzo de traccion de que es susceptible la locomotora ausiliándose de la cremallera. Este esfuerzo depende sobre todo de la potencia del mecanismo respectivo que ha de ser capaz de movilizar un cierto peso, variable en sentido inverso de la gradiente i la velocidad. Supongamos una rampa tal que la máquina alcance a remontarla con el propio peso como única carga i con velocidad tan mínima que se aproxime al estado de equilibrio. Entónces la fuerza de traccion de la locomotora habrá obtenido su mayor valor i será igual a las resistencias pasivas

de ésta, adicionadas de la gravedad de la tal pendiente, es decir que bajo un peso p , un frotamiento de los mecanismos igual a $0,017 p$ i otro f de los dientes igual a $0,107 P'$, se desarrollaria en la pendiente límite de i ‰ un esfuerzo:

$$P' = (0,017 + i) p + f \quad (1)$$

i sustituyendo P' por su valor en f , o sea $P' = \frac{f}{0,107}$:

$$\frac{f}{p} = \frac{0,017 + i}{8,346}$$

cuya fórmula expresa el coeficiente de frotamiento de nula o ínfima velocidad de los dientes con relacion al peso de la locomotora.

Si en vez de suponer la velocidad ínfima la admitimos sensible, lo cual equivale en el caso tratado a disminuir la rampa o aumentar la potencia de la máquina, el coeficiente de frotamiento mengua de valor conforme a la tabla I de mas arriba. De las tres cantidades P' , f e i , que entran en la ecuacion (1) podemos hacer i constante e igual a la máxima de la línea o 60 ‰, i como P' es funcion de f i del coeficiente K , obtendremos el valor variable $\frac{f}{p}$ del coeficiente del frotamiento de los dientes con relacion al peso p de la locomotora, por medio de la fórmula final:

$$\frac{f}{p} = \frac{0,077 K}{1 - K} \quad (2), \text{ con cuyo auxilio se forma la nueva tabla:}$$

II

Velocidad en Km—hora	Coeficiente del frotamiento de los dientes en funcion del peso de la locomotora $= \frac{f}{p}$	$\frac{R}{p}$ Resistencia total en Kg por tonelada de locomotora
0	0,0092	26,2
0,054	0,0085	25,5
0,180	0,0053	22,3
0,720	0,0024	19,4
1,800	0,0016	18,6
3,600	0,0012	18,2

La tercera columna consigna la resistencia total o suma de los roces de dientes i mecanismos de la locomotora mista, en Kg por tonelada de peso, o bien las pendientes que esta descenderia con movimiento uniforme, o sin aceleracion, bajo un impulso primero capaz de comunicarle las distintas velocidades. Con una superior a 4 Km por hora, admitiremos un valor de 18 Kg. Del valor 26,29/00 para la pendiente de equilibrio del reposo fluye la consecuencia práctica que los dientes se gastarán mas a la entrada que en ninguno de los otros puntos de la cremallera, i luego que conviene penetrar en estas bajo cierta velocidad, igual o superior a 4 Km.

Para el cálculo del frotamiento de los dientes es mui comun recurrir a la fórmula de Redtenbacher:

$$K = \frac{f}{P'} = \frac{1}{2} a t \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right), \text{ en la cual conservando a}$$

K , f i P' sus denominaciones anteriores, r i r' son los radios de los círculos de contacto de las ruedas. a el coeficiente de frotamiento de superficies, variable de 0,08 a 0,15 segun el estado de lubricacion, i t el paso de los dientes.

En el caso de cremallera i piñon, $r' = \infty$, i la fórmula se convierte en:

$$K = \frac{a t}{2 r}$$

De la práctica sacamos para t un valor de 120 mm i para $2 r$ los siguientes:

0,593 m	(por Cail i C.º)
0,573	(Harz)
0,688	(Trasandino)

De manera que:

$$\begin{aligned} K &= 0,202 a \\ &0,209 a \text{ i} \\ &0,175 a \end{aligned}$$

Si se acepta para a el valor 0,08, que indica lubricacion cuidadosa, obtendríamos un valor medio para K de 0,0156, que bien concuerda con el de la tabla I de mas arriba, a la velocidad 3,600 Km, i así en seguida; pero en todo caso esta fórmula es ménos comprensiva que el otro método.

5. Para calcular la pendiente de equilibrio de un tren en cremallera, sea R la resistencia de la locomotora segun la velocidad, dada por la tercera columna de la tabla II anterior, p i P los pesos de la máquina i el convoi respectivamente, e i la pendiente de equilibrio.

Semejante al caso del párrafo 3:

$$\begin{aligned}(R - i) p &= (i - 3) P \\ R p &= 3 P \\ i &= \frac{6 R}{R + 3}\end{aligned}$$

Sustituyendo en vez de R sus valores de la tabla:

$$\text{III. } \begin{cases} R = 26,2 & 25,5 & 22,3 & 19,4 & 18,6 & 18,2 \\ i = 5,40 & 5,37 & 5,29 & 5,19 & 5,17 & 5,15 \end{cases}$$

o un valor medio de $5,26\text{‰}$ para i . Adoptamos $5\frac{1}{2}\text{‰}$.

6. El poder tractivo de la locomotora adherente lo calcularemos como sigue:

p = peso adherente de la máquina.

P = peso del convoi no adherente.

i = pendiente ‰ .

K' = coeficiente de rozamiento de llantas de acero sobre rieles de acero.

$p K'$ = poder adherente de las llantas motrices.

$(P + p) (i + 5)$ = resistencia del tren.

$(P + p) (i + 5) = p k'$.

El valor de K' se deduce de la esperiencia i se halla que varia con la velocidad de acuerdo con la siguiente tabla (Westinghouse):

$$\text{IV. } \begin{cases} \text{velocidad } v, \text{ Km — hora} = 0 & 15 & 25 & 40 & 60 & 70 & 80 \\ K' = & 0,127 & 0,110 & 0,087 & 0,080 & 0,057 & 0,047 & 0,040 \end{cases}$$

Estos valores corresponden sensiblemente a la fórmula:

$$K' = 127 - 1,125 v, \text{ en Kg por tonelada}$$

i la ecuacion de traccion se hace:

$$(P + p) (i + 5) = p (127 - 1,125 v) \quad (2)$$

Si $P = 0$ i $v = 0$, $i = 122$, que es la pendiente de equilibrio de un vehículo con frenos apretados o bien la rampa máxima en que una locomotora trasporta su propio peso con velocidad ínfima, sin dar lugar al patinaje. El uso de la arena puede aumentar ligeramente este límite.

7. El poder tractivo de la locomotora mista es igual a la suma de los que son susceptibles de desarrollar sus dos disposiciones de adherencia i cremallera, i el peso

de la máquina se fija por la condición que ella no ha de patinar en el servicio de adherencia. La tracción por cremallera depende exclusivamente de la capacidad de la caldera i la potencia de los cilindros respectivos, i en rigor no podría fijarse límite a su poder, a lo ménos en teoría. Pero en la práctica no sería posible aumentar indebidamente el jenerador i se conviene que en las secciones dentadas el esfuerzo de tracción se divida en proporción adecuada entre los mecanismos de adherencia i cremallera. Conservando las mismas notaciones que en la ecuación (2) i llamando n la razón $\frac{Cr}{Ad}$ de la cremallera a la adherencia, con lo cual la cremallera viene a ser $\frac{n}{n+1}$ del esfuerzo total, tendremos como ecuación de tracción dentada:

$$(P + p) (i + 5,5) = p (127 - 1,125 v) + (P + p) \left(\frac{n}{n+1} i + 5,5 \right)$$

$$(P + p) i = (n + 1) p (127 - 1,125 v) \quad (3)$$

o bien cuando los esfuerzos se dividen por mitad:

$$(P + p) i = 2 p (127 - 1,125 v) \quad (4)$$

(Continuará)