

miento explícito de la falta de subordinación en que habían incurrido, y estar dispuestos a someterse a cuantas órdenes dictara el director de la Escuela encaminadas a mantener la disciplina y al más estricto cumplimiento de los preceptos reglamentarios.

Se fijaba un plazo máximo de cuatro días para presentar las solicitudes, y la Junta de profesores podía o no acceder a ellas, teniendo en cuenta los antecedentes y circunstancias de los solicitantes.

Todos acudieron al llamamiento; todos acataron las órdenes del director, y todos fueron admitidos, no sin algunas dificultades para los que más se habían significado como promotores de aquellos sucesos.

Esta fué la sublevación de julio y este el rasgo de

energía con que inauguró su actuación como director el ilustre Subercase, y que tan saludable influjo ejerció en el régimen de la Escuela durante el periodo de su *mando*, denominación la más apropiada al gobierno de aquel hombre, dada la rigidez militar que caracterizó todos sus actos.

Tuvo en aquella ocasión el apoyo del Gobierno; cuando le faltó, once años después, por las finas artes del que todavía alumno ya dió muestras de sus futuras sagacidad y habilidad políticas, Subercase tuvo que rendirse ante la imposición de los alumnos; pero dimitió su cargo y con él todos los profesores de la Escuela.

Carlos de ORDUÑA

Profesor Secretario de la Escuela de C., C. y P.

Electrificación de la rampa de Pajares

por

Ricardo F. Hontoria y José María G. Lomas

Ingenieros de Caminos

II

Capacidad de la rampa electrificada.

La máxima capacidad alcanzable corresponde al caso de explotación en doble tracción por cola (excluyendo la tracción con tractores intermedios) con el máximo programa de trenes que se pueda realizar, y depende en cierto modo de la máxima capacidad en tracción sencilla, ya que las mismas locomotoras usadas en ésta habrán de ser utilizadas para dar las dobles tracciones.

Esta, a su vez, viene limitada por el esfuerzo admisible en los ganchos de tracción y por la marcha de los trenes, en cuyo gráfico la mayor densidad es función de las máximas velocidades admisibles o alcanzables y del tiempo necesario para las maniobras en estaciones; en el caso especial que nos ocupa, es preciso también tener en cuenta el tiempo que ya hemos dicho precisa dejar libre de circulaciones para tender a la conservación de la vía en el puerto.

gún caso excepcional de arranque en rampa por avería, etc.), tanto más cuanto que el material que circula por esta línea con destino al cargue de carbón es de todas procedencias, y dado el perfil de la misma, pudieran resultar cortes muy peligrosos.

La máxima velocidad que, según los reglamentos vigentes, pueden realizar los trenes de mercancías en pendientes de 20 milésimas y curva de 300 metros de radio es de 35 kilómetros por hora, y esta velocidad es la que realmente limita la densidad de marchas en el gráfico, ya que con el tonelaje bruto que han de arrastrar los trenes por la rampa pueden sin dificultad lograrse, con tracción eléctrica, velocidades de 30 a 35 kilómetros por hora para las circulaciones ascendentes. En el gráfico de marchas (fig. 1.^a) se consignan 20 trenes ascendentes y otros 20 descendentes que circularán todos a la misma velocidad de 35 kilómetros por hora, y cuyas circulaciones tendrán lugar durante próximamente diez y nueve horas, disponiéndose así de un mínimo de cinco horas

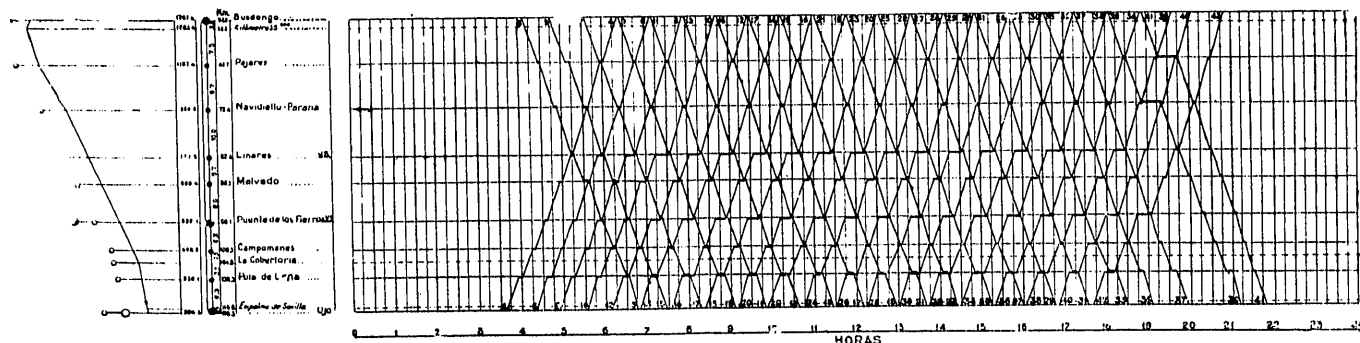


Fig. 1.^a Gráfico de marcha de trenes.

El esfuerzo de rotura de los ganchos de tracción es de 50 toneladas, admitiéndose un coeficiente de seguridad de 5 y, por tanto, una carga máxima normal de 10 toneladas, que no debe excederse (salvo en al-

para atender a la conservación de la vía e instalaciones eléctricas. Además, queda margen suficiente para intercalar los trenes de viajeros, si hubiera necesidad de aprovechar la totalidad de las veinte circula-

ciones citadas para el tráfico de mercancías; trenes que deberán circular a la misma velocidad de 35 kilómetros por hora, con objeto de no restar capacidad a la rampa.

Para velocidades del orden de la supuesta, el esfuerzo de tracción en horizontal es $F = \left(2,5 + \frac{V^2}{1\,000} + \frac{600}{R} \right)$ kilogramos por tonelada de tren, incluido el motor, siendo V la velocidad en kilómetros por hora y $R = 300$ m. el radio mínimo de las curvas; resultando, aproximadamente, $F = 6$ kg./ton. Si, además, se tiene en cuenta el esfuerzo suplementario de 20 kg./ton. debido a la rampa de 20 milésimas, resultará un total esfuerzo de 26 kg./ton.

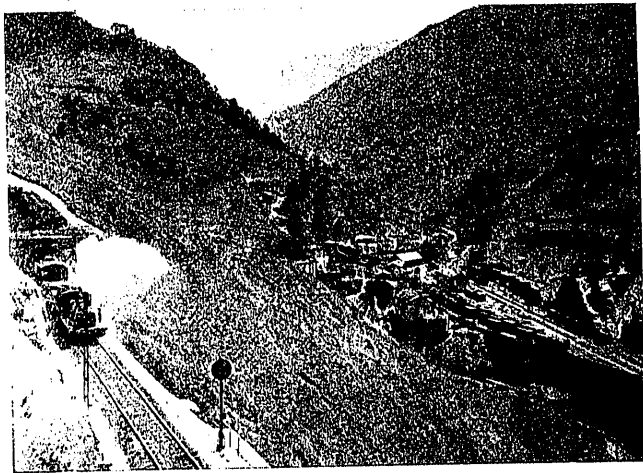


Fig. 2.ª Tren subiendo a Malvedo.

Con un peso bruto arrastrado de 330 toneladas en tracción sencilla, el esfuerzo normal en los ganchos de tracción es de $26 \times 330 = 8\,580$ kg., lo que asegura una amplitud suficiente para caso de aceleraciones accidentales en rampa de 20 milésimas. Si suponemos, en efecto, el caso más desfavorable de parada absoluta y arranque en la rampa citada, que habría de hacerse con una aceleración reducida, v. gr.: de 0,29 km./h. ¹ seg. ¹ (8,1 cm. seg. ²), lo que equivale a alcanzar la velocidad de régimen 35 km./h. (9,72 metros por seg. ¹) en 120", el esfuerzo suplementario sería de $\frac{1\,000 \times 0,081}{9,81} = 8,2$ kg./ton., y el total en el gancho de tracción no pasaría de $34,2 \times 330 = 11\,300$ kgs.

Como ahora veremos, el peso de las locomotoras es de 78 toneladas, y, por tanto, los esfuerzos de tracción en la llanta correspondientes a los dos casos anteriores son, respectivamente: $(330 + 78) 26 = 10\,600$ kgs. y $13\,950$ kgs. o 14 200 kgs., si para este último caso se tiene en cuenta la inercia de las partes rotatorias de la locomotora.

Resulta, por consiguiente, que la capacidad de la rampa en tracción sencilla será de $20 \times 330 = 6\,600$ toneladas brutas en veinte circulaciones ascendentes; teniendo en cuenta lo dicho anteriormente para el tráfico descendente, se puede hacer éste en otras veinte circulaciones de 160 toneladas brutas. Para el caso de doble tracción por cola, resultará una capa-

cidad mínima de $20 \times 600 = 12\,000$ toneladas brutas, ya que la continuidad del par motor y la posibilidad de regular mejor el esfuerzo en las dos locomotoras, gracias a las bien estudiadas disposiciones de los aparatos reguladores y capacidad de los reóstatos, permitirán aprovechar hasta el máximo la potencia de ambas máquinas.

El tráfico por la rampa queda, pues, asegurado hasta un límite muy superior al que se podrá alcanzar en los primeros tiempos de la electrificación.

Potencia y peso de las locomotoras.

Si bien, como dijimos anteriormente, la continuidad del par motor durante una revolución completa de las ruedas motrices mejora considerablemente el coeficiente de adherencia, para aprovechar esta circunstancia es preciso evitar toda variación brusca del citado par, es decir, maniobrar perfectamente el *controller*; si a esto añadimos que las condiciones climatológicas de la rampa de Pajares, y muy especialmente la humedad y suciedad (1) del carril en los túneles, son circunstancias que influyen muy desfavorablemente y rebajan casi a un mínimo la adherencia, no parecerá extraño que un coeficiente de 0,16, en otras condiciones excesivamente reducido para tracción eléctrica, resulte aquí de insuficiente seguridad, teniendo presente que, como medida general, se proscribió en absoluto el uso de la arena, por los efectos destructores que produce en el carrilaje.

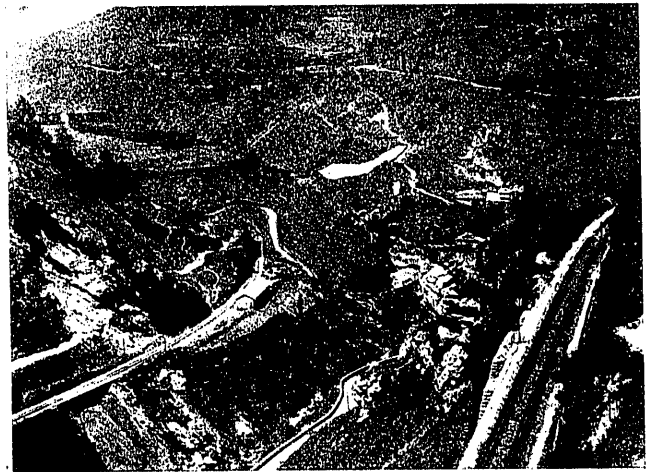


Fig. 3.ª Vista de Las Puertes y túnel de Presedo.

En general no deberá contarse con un coeficiente de adherencia mayor de $\frac{1}{7} = 0,143$, y en este supuesto, el peso adherente de la locomotora se deduce de: $\frac{(330 + P) 26}{1\,000 P} = \frac{1}{7}$; $P = \frac{330 \times 26}{1\,000 - 26} = 74$ toneladas. Según más adelante veremos, la locomotora elegida tiene un peso de 78 toneladas, todo él adhe-

(1) Es de advertir que dicha suciedad persistirá, por lo menos en los primeros tiempos de la tracción eléctrica, ya que hasta la trepidación producida por el paso de los trenes para que se desprendan en forma de polvo finísimo las partículas sólidas de los humos, adheridas a las paredes y bóvedas de los túneles en capas hasta de 10 cm. de espesor.

rente, ya que para las velocidades propuestas no se necesita avatrén, y repartido en 6 ejes, lo que da una carga por eje de 13 toneladas. La adherencia resultante es $\frac{(330 + 78) 26}{78\ 000} = 0,138$, que da sobra-

das condiciones de seguridad. Para casos especiales de arranque en rampa de 20 milésimas con la aceleración ya consignada de 0,29 km./h. seg., el coeficiente de adherencia resultante es $\frac{(330 + 78) 34}{78\ 000} =$

0,187, y en ningún caso llegaría a 0,22, fácilmente asequibles ambos, a poco que favorezcan las condiciones del carril, y, en último término, con el empleo de arena, como medida excepcional. Desde luego, ambos coeficientes caen dentro del límite propio de la locomotora (relación del esfuerzo máximo de tracción mantenible durante x minutos al peso adherente) que, como más adelante veremos, es 0,30 (1).

La potencia normal en la llanta de la locomotora, deducida del esfuerzo de tracción en la misma, será de: $10\ 600 \times \frac{9,72}{75} = 1\ 400$ HP., y la potencia máxima: $14\ 200 \times \frac{9,72}{75} = 1\ 800$ HP.



Viaducto de Las Puentes.

Potencia de la instalación

Al implantar en un trayecto la tracción eléctrica se necesita fijar, como dato esencial, el tráfico máximo que ha de tener el mismo, no solamente para conocer la energía de que se precisa disponer, sino también para proyectar las subestaciones transformadoras o convertidoras y las líneas de alimentación y trabajo.

Esto pudiera ser un inconveniente grave en una línea nueva, en la que sería difícil calcular *a priori* el tráfico que sería capaz de alcanzar; pero fijados en nuestro caso los dos programas máximo y mínimo de explotación, podemos sobre ellos calcular la potencia media diaria y la máxima en el momento más desfavorable, que son las dos que se necesitan para proyectar la instalación. Siendo la potencia el trabajo por segundo, nos bastará hallar aquél y dividir por el tiempo.

Como ya hemos dicho, para las velocidades admitidas la expresión del esfuerzo de tracción de un tren en movimiento sobre una rampa es:

$$E = \left(2,5 + \frac{V^2}{1\ 000} + \frac{600}{R} + i \right) \text{ kg. por tonelada,}$$

(1) Esta cifra suele variar de 0,21 a 0,33, según los distintos tipos de locomotoras.

esfuerzo que en horizontal se reduce a $\left(2,5 + \frac{35^2}{1\ 000} + \frac{600}{200} \right) = 6,7$ kg./ton., o sea, en números redondos, 6 kg./ton., ya que las curvas mínimas de 200 metros son escasas.

Cuando se encuentre el tren sobre una pendiente pueden ocurrir dos casos: 1.º, que ésta sea mayor de 6 milésimas, en cuyas condiciones el tren descenderá por su propio peso, sin requerir esfuerzo alguno de tracción; 2.º, que sea menor de 6 milésimas, en cuyo caso siempre se podrá hallar una longitud ficticia en horizontal equivalente, es decir, para la que el trabajo efectuado por el tren al recorrerla sea el mismo que en aquélla, y en la que, por tanto, el esfuerzo tractor sea de 6 kg./ton.

En este supuesto, calculemos el trabajo necesario para transportar una tonelada desde Busdongo a Ujo. Prescindiendo de las pendientes superiores a 6 milésimas, y hallando para las menores las longitudes horizontales equivalentes, la distancia ficticia entre Busdongo y Ujo resulta ser de 5 987 metros y siendo 37 metros el desnivel entre Busdongo y la divisoria, el trabajo buscado será: $5\ 987 \times 6 + 37 \times 1\ 000 = 72\ 922$ kilográmetros.

A este trabajo habrá que agregar el consumido en los arranques, que viene dado por la fórmula: $n \frac{1,10}{2g} mv^2$, en la que $n = 9$ representa el número de arranques; $m = 1\ 000$ kg.; $g = 9,81$ m./seg.; $v = 35$ km./hora = 9,72 m./seg.; y 1,10 un coeficiente de amplificación para tener en cuenta la fuerza viva absorbida por los órganos giratorios. Por consiguiente, dicho trabajo valdrá: $9 \frac{1,10 \times 1\ 000}{29,81} \times 9,72^2 = 47\ 672$ kilográmetros, y el trabajo total para el recorrido de una tonelada entre Busdongo y Ujo será, pues: $72\ 922 + 47\ 672 = 120\ 594$ kg./m., que, expresado en kilovatios-hora, vale:

$$\frac{120\ 594 \times 9,81}{1\ 000 \times 3\ 600} = 0,32 \text{ kwh.}$$

Calculemos ahora el trabajo necesario para el transporte de una tonelada de Ujo a Busdongo. El recorrido ascendente entre estas dos estaciones, reducido a horizontal en la forma anteriormente explicada, es de 59 800 m., y el desnivel entre Ujo y la divisoria es de 1 021 m. El número de arranques es el mismo que en el caso anterior, así como el trabajo en ellos empleado 47 672 kg./m. La energía consumida para el transporte de una tonelada de tren entre Ujo y Busdongo será, por consiguiente: $59\ 800 \times 6 + 1\ 021 \times 1\ 000 + 47\ 672 = 1\ 427\ 472$ kg./m., o sea: $\frac{1\ 427\ 472 \times 9,81}{1\ 000 \times 3\ 600} = 3\ 890$ kwh.

Potencia media de la instalación. — Obtenidos los dos trabajos anteriormente hallados, con suma facilidad se deducirá la potencia media para uno y otro programa de tráfico en la rampa electrificada.

Primer programa. Veinte trenes ascendentes de 408 toneladas en simple tracción (incluido el peso de la locomotora) y veinte descendentes de 238 toneladas, quedando más de cinco horas libres de toda circulación.

El número de toneladas transportadas diariamente desde Ujo a Busdongo será: $20 \times 408 = 8\ 160$ toneladas, y las transportadas de Busdongo a Ujo: $20 \times 238 = 4\ 760$ toneladas.

El consumo de energía para subir las primeras por la rampa será: $8\ 160 \times 3\ 890 = 31\ 742$ kwh., y el requerido para transportar las segundas: $4\ 760 \times 0,32 = 1\ 523$ kwh.

El consumo diario total será: $31\ 742 + 1\ 523 = 33\ 265$ kwh., y efectuándose este trabajo en 18,5 horas, según el programa fijado, la potencia media buscada será $\frac{33\ 265}{18,5} = 1\ 800$ kw. Esta po-

tencia es la necesaria en la llanta de la locomotora, y suponiendo para ésta un rendimiento mínimo de 0,85 y de 0,90 y 0,80, respectivamente, para la línea de trabajo y subcentrales, la potencia media precisa en los bornes de éstas es de $\frac{1\ 800}{0,85 \times 0,90 \times 0,80} = 3\ 000$ kw.

A esta potencia hay que agregar unos 300 kw. para consumo de los servicios auxiliares de locomotoras, estaciones y subestaciones, resultando para la total instalación una potencia media de 3 300 kw.

Segundo programa. Veinte trenes ascendentes de 600 toneladas arrastradas en doble tracción por cola y otros veinte descendentes de 260 toneladas, también con dobles motores, con el mismo gráfico de marcha que en el caso anterior.

Las toneladas transportadas de Ujo a Busdongo serán ahora: $20 (600 + 2 \times 78) = 15\ 120$ ton., y el consumo de energía correspondiente: $15\ 120 \times 3,89 = 58\ 817$ kwh.; las toneladas transportadas de Busdongo a Ujo suman $20 (260 + 2 \times 78) = 8\ 320$, y el consumo de energía de este transporte es: $8\ 320 \times 0,32 = 2\ 612$ kwh.

El consumo total será: $58\ 817 + 2\ 612 = 61\ 429$ kilovatios-hora, lo que, con las mismas cifras anteriores para el tiempo y rendimientos de las instalaciones, representa una potencia media de $\frac{61\ 429}{18,5 \times 0,61} =$

$= 5.600$ kw.; y agregando 400 kw. para los consumos de los servicios auxiliares anteriormente citados, resulta para la instalación una total potencia media de 6 000 kw.

Potencia máxima normal de la instalación. — Las potencias medias que acabamos de encontrar sirven para formarse idea del gasto de energía necesario; pero para determinar la potencia normal de la instalación, es preciso tener en cuenta las variaciones de la potencia instantánea, según las situaciones distintas de los trenes en marcha sobre la rampa.

Limitándonos al primero de los casos anteriormente estudiados, se observa, examinando el gráfico que corresponde al programa impuesto, que periódicamente se presenta el caso de tener cuatro trenes subiendo simultáneamente la rampa. Aunque esto ocurre durante un espacio de tiempo que es, aproximadamente, de media hora, la instalación debe poder hacer frente a este caso, aun sin tener en cuenta la posibilidad de que coincida con un instante en que alguno de los trenes se encuentre en período de aceleración.

La potencia necesaria, si P es el peso de un tren y v su velocidad, será: $4 \times P \times v \times E = 4 (330 + 78) \times 26 \times 9,72 = 412\ 439$ kg./m., o sea, en ki-

lovatios en la llanta de la locomotora: $\frac{412\ 439 \times 9,81}{1\ 000} = 4\ 046$ kw.

Con los rendimientos medios que antes hemos supuesto, la potencia en las locomotoras, tomada del

hilo de trabajo, será: $\frac{4\ 046}{0,85} = 4\ 760$ kw., lo que

corresponde a 1 190 kw. = 1 620 HP. por locomotora; la potencia a la salida de las subcentrales

$\frac{4\ 760}{0,90} = 5\ 300$ kw., o 5 600 kw. si se toma en con-

sideración la potencia requerida por los servicios auxiliares; y la potencia máxima normal del conjunto

de la instalación será: $\frac{5\ 600}{0,80} = 7\ 000$ kw.

Comparación económica de los modelos oficiales de tramos para carreteras.

Cómo el aumento de la mano de obra y el crecimiento de las sobrecargas disminuyen la indeterminación de soluciones.

Los ingenieros que, de unos años a esta parte, se hayan ocupado en estudios de puentes, no tienen que entretenerse con la lectura de este artículo, si no es para corroborar, de un modo más general, los resultados de sus tanteos y comparaciones. Tampoco lo necesitan los constructores, aun los no técnicos, porque su noción de la utilidad les hace comprender, instintivamente, los principales resultados de este estudio. Su mayor conveniencia es, más bien, para

aquellos ingenieros con poca práctica, que, necesitando redactar uno de estos proyectos, se encuentran ante un problema lleno de indeterminaciones, que la frecuente escasez de tiempo dificulta más todavía.

Es claro que, en este sentido, los formularios oficiales de puentes van a modificar la cuestión por completo y han de reducir el problema, en la mayoría de los casos, al estudio de los apoyos y a una sencilla comparación de los tramos-modelo. Pero ya que sobre los primeros no puede añadirse mucho, por ser todo en ellos eminentemente circunstancial, cabe, al menos, pretender cierta generalización en las im-