

rado de una y otra locomotora. Por la diferencia de peso de una y otra locomotora, para un mismo peso bruto de tren, siendo iguales la potencia de una y otra, el peso del tren *remolcado* deberá ser menor con el tractor de corriente alterna que con el de continua. Esta inferioridad relativa se acentúa en la rampa máxima (doble tracción) y se atenúa en la marcha en horizontal, para la cual basta una locomotora.

Si ahora reunimos las cifras de rendimiento de los sistemas de alimentación y de las locomotoras, llegamos á los resultados finales siguientes:

	Split-phase.	Corriente continua.
Distribución.....	70,5	66
Locomotoras.....	73,1	84,3
RENDIMIENTO TOTAL (TANTO POR CIENTO).	51,5	55,7

En esta parte técnica de nuestro estudio no debemos entrar en consideraciones económicas; pero diremos sólo que en un par de ocasiones en que hemos debido estudiar profesionalmente una y otra alternativa, no hemos encontrado economía alguna en el costo de primera instalación, que pesara de un modo sensible en pro de la corriente alterna. Además, resulta de las estadísticas de explotación que los gastos de conservación de un equipo eléctrico para corriente alterna monofásica, son, ampliamente, dobles de lo que requiere un equipo similar de corriente continua. Por lo que se refiere al examen técnico de uno y otro sistema, se está muy lejos de poder proclamar como indiscutible la ventaja de adoptar la corriente alterna en la electrificación de las líneas férreas de interés general.

Nos hemos detenido, quizá más de lo que el carácter de este trabajo requería, en exponer la llamada *batalla de los sistemas*, pero hemos juzgado prudente salir al paso de prejuicios que se extienden insensiblemente hasta adquirir la fuerza de verdades consagradas.

Añadiremos que ningún ferrocarril electrificado con corriente continua ha cambiado su sistema por el de corriente alterna. En cambio llevamos una lista que ya contiene nueve casos de ferrocarriles americanos que explotaron primero con corriente alterna y cambiaron ulteriormente tal sistema por el de corriente continua.

El autor de este trabajo no ha podido procurarse de fuente fidedigna los motivos que han existido para que el *Midi* francés (que instaló la tracción eléctrica monofásica en sus líneas del Bajo Pirineo tras detestados ensayos y de un concurso entre las primeras firmas europeas que construyan material eléctrico) haya suspendido por completo tal explotación poco después de iniciada.

Qué es lo que el porvenir nos reserva nadie podrá afirmarlo. El empleo del sistema de corriente alterna monofásica ó alguna variante de éste, tal como al presente lo concebimos, puede desarrollarse según cierta dirección tal que utilice lo que de indiscutible bueno tiene, al mismo tiempo que salte sobre los inconvenientes que ofrece.

También la corriente continua puede quizá dar pasos de importancia enorme (por ejemplo, con el desarrollo de los convertidores Copper Hewitt de vapor de mercurio). Si se acepta cotizar esperanzas, ningún límite puede ponerse á la imaginación de los partidarios de uno y otro sistema. Lo que para nosotros importa dejar sentado por lo pronto es que no hay entre uno y otro sistema disparidad tal, que líneas posibles de electrificar (técnica y económicamente) empleando uno de ellos no lo sea empleando el otro.

(Continuará.)

Resultados conseguidos en la explotación de los ferrocarriles eléctricos suizos.

por

A. GIVELET

Ingeniero E. S. E.

La pasada guerra, incitando solamente al desarrollo de las industrias francesas inmediatamente útiles á la defensa nacional, parece ser que rel-gó á un segundo término los problemas de la electrificación de los ferrocarriles, pero, debido á la crisis del carbón durante el invierno de 1917-18 se vió la necesidad de economizar el precioso combustible, en un país donde, por lo demás, la hulla negra puede ampliamente suplirse con su rival la blanca. Por otra parte, y como se verá en lo que sigue, siendo la electricidad el único medio posible de establecer ferrocarriles en ciertas regiones montañosas y para luchar contra la despoblación de los departamentos desheredados, lo que se presenta como uno de los problemas nacionales de mayor gravedad para el porvenir, resulta en extremo interesante examinar inmediatamente los resultados que Suiza ha conseguido en este género de ideas, con objeto de sacar de ello el mayor provecho posible.

En la Memoria que presenté en el Congreso general de Ingeniería civil y que ha sido extractada de la tesis presentada al Jurado de la École des Hautes Études Sociales, examiné en toda su generalidad el problema de los ferrocarriles de montaña, lo que me obligó á no dar más que indicaciones muy ligeras respecto á la parte eléctrica del asunto.

No me parece por consiguiente inútil volver á insistir sobre este tema, tanto más, cuanto que el estudio de los ferrocarriles eléctricos de Suiza (dada la extrema diversidad de los ferrocarriles de este país, donde se halla sobre las rampas más acentuadas, como sobre las líneas en horizontal, las representaciones más variadas de todos los sistemas), nos permite aproximaciones y comparaciones difícilmente de ser encontradas en otra parte.

Cuadro I.

	RAMPA M Á X I M A	Gasto para la tracción y los talleres en francos.	Número total de toneladas - kilómetros, comprendido el peso del material móvil en francos.	Gasto por tonelada - kilómetro, en céntimos.
I. — LÍNEAS DE SIMPLE ADHERENCIA.				
a) <i>Electricidad.</i>				
Montreux-Oberland bernés.	60 por 1.000	247.527	19.515.881	1,2
Gruyère.....	50 —	167.150	14.636.522	1,1
Aigle Sâpey Diablerets....	60 —	39.039	2.414.347	1,6
b) <i>Vapor.</i>				
Lausana-Echallens-Bercher	40 —	81.088	4.228.717	1,9
Righi-Scalidegg.....	50 —	4.373	47.434	9,5
Uetliberg.....	70 —	29.039	1.115.623	2,6
II. — LÍNEAS MIXTAS (ADHERENCIA Y CERMALLERA).				
a) <i>Electricidad.</i>				
Oberland bernés (sin la Schynge Platte).....	120 —	109.051	5.900.159	1,8
b) <i>Vapor.</i>				
Viège-Zermatt.....	125 —	75.544	1.746.503	4,3
III. — LÍNEAS COMPLETAMENTE DE ADHERENCIA.				
a) <i>Electricidad.</i>				
Arth-Righi.....	200 —	20.498	218.547	9,0
b) <i>Vapor.</i>				
Vitznau Righi.....	250 —	51.881	275.461	18,7

Dediquémonos primeramente á comparar en su conjunto las tracciones eléctrica y de vapor. A continuación estudiaremos más detalladamente los tres grandes sistemas de tracción eléctrica: continua, trifásica y monofásica.

El cuadro I establece la comparación entre el precio de coste de la tonelada-kilómetro en las líneas de vapor y eléctricas en que los declives permiten hacer una comparación perfecta.

Estos datos se refieren al año 1915. Los gastos comprenden el suministro de corriente ó de carbón y el entretenimiento del material móvil (reparación, renovación, engrasado). Los demás gastos de explotación no difieren mucho en ambos métodos de tracción (servicio de estaciones, conducción de trenes, administración, etc.).

Resulta también interesante la comparación entre los gastos por tren-kilómetro (en 1915 igualmente), pero los datos del cuadro II se refieren á la totalidad de los gastos de explotación.

Cuadro II.

I.—LÍNEAS DE SIMPLE ADHERENCIA.	RAMPA MÁXIMA.	Precio del tren-kilómetro en francos.
a) <i>Electricidad.</i>		
Montreux-Oberland.....	69 por 1.000	1,46
Gruyère.....	50 —	1,29
Aigle Sâpey Diablerets.....	60 —	1,31
b) <i>Vapor.</i>		
Lausana Echallens-Bercher...	40 —	1,55
Righi Scheidegg.....	50 —	5,08
Uetliberg (Zurich).....	70 —	2,06
II.—LÍNEAS MIXTAS (ADHERENCIA Y CREMALLERA).		
a) <i>Electricidad.</i>		
Overland bernés.....	120 —	2,94
b) <i>Vapor.</i>		
Viège-Zermatt.....	125 —	7,58
III.—CREMALLERA.		
a) <i>Electricidad.</i>		
Arth-Righi.....	200 —	5,41
b) <i>Vapor.</i>		
Vitznau-Righi.....	250 —	12,70

Es conveniente hacer observar que en las líneas eléctricas de adherencia, particularmente en las del Montreux-Oberland y de Gruyère, los trenes son de un tonelaje mucho más considerable que en las líneas del Uetliberg ó del Righi-Scheidegg, siendo, por tanto, sus precios de coste sensiblemente menores.

En lo que se refiere al precio de coste de la tonelada-kilómetro, hagamos observar también que este precio se refiere á la totalidad del peso transportado, comprendido el del material móvil; ahora bien, con la electricidad el peso muerto es menor, por consiguiente mayor que con el vapor, el peso útil transportado, y como consecuencia la ventaja conseguida es todavía más marcada que la indicada en el cuadro I (particularmente el «Montreux-Oberland», el «Gruyère» y el «Aigle-Sâpey-Diablerets», que no tienen más que automotores.)

En fin, entre las líneas de vía normal y de gran tráfico, puede establecerse la comparación entre la del Lötschberg (eléctrica) y el conjunto de las líneas de los ferrocarriles federales (1915).

	Rampa media.	Precio de la tonelada-kilómetro.
Lötschberg (electricidad).....	12,68 por 1.000	3,70 francos.
Ferrocarriles federales (vapor)....	6,44 —	4,24 —

Estos cantilades son siempre relativas á la totalidad de los gastos. En estos dos últimos casos los tonelajes son perfectamente comparables y la victoria conseguida por la electricidad en el Lötschberg es tanto más brillante cuanto que la altitud máxima del túnel alcanza á 1.244 metros.

La conclusión que se desprende de estas comparaciones es que la ventaja conseguida con la electricidad es tanto más acentuada cuanto mayor sea el declive de la rampa. Un cálculo muy sencillo, indicado por Dolezalek en el primer capítulo de su obra *Die Zahnbahnen*, demuestra que en la rampa del 7 por 100 del Uetliberg, y á la velocidad de 18 kilómetros por hora, basta con 160 caballos de fuerza en el caso de tracción eléctrica, en vez de los 213 que en el caso actual emplea la tracción de vapor en el remolque de un tren completo de 80 viajeros.

La superioridad de la tracción eléctrica en montaña se explica por el hecho bien conocido de la disminución del efecto útil de la locomotora de vapor en las líneas de perfil accidentado, cuya superioridad es de tal naturaleza, que algunas empresas de tracción únicamente han sido posibles gracias al empleo de la tracción eléctrica. Así sucede en el caso del «Montreux-Oberland». La idea de este ferrocarril viene del antiguo proyecto «Vevey-Bulle-Thoune» (concesión federal de 27 de Junio de 1890). El presupuesto era de 17.135.766 francos para 116,5 kilómetros, pero á pesar del acortamiento de 20 kilómetros que se podía practicar en la distancia entre Vevey-Thoune por Lausana, la altitud de la garganta de Saanenmoser (1.288 metros) especialmente, fué causa de la casi imposibilidad de hacer acudir al capital.

Esta circunstancia, en efecto, aumentaba en enormes proporciones los gastos de tracción por vapor y pudo decirse que la economía conseguida con el acortamiento se iba en humo.

¿Qué sería en el caso de un ferrocarril que como el de Bernina pasa á una altitud de 2.256 metros y presenta en una gran parte de su recorrido declives del 7 por 100? Pues bien, esta Compañía distribuyó á sus accionistas en 1913 un dividendo del 5 por 100.

Un ejemplo notable de economía realizada con la electrificación es el que nos presenta el ferrocarril del «Oberland bernés» (Interlaken-Lüttenbrünnen, Zweisöschinen-Grindelwald).

La electrificación de esta red, terminada en 1914, ha costado, aproximadamente, 375.000 francos para un recorrido de 24 kilómetros, ó sea menos de 16.000 francos por kilómetro, y los gastos de explotación han disminuído en 75.000 francos anuales, aproximadamente. El peso de los trenes remolcados es de 161 toneladas como máximo por adherencia y de 96 por cremallera. El número de toneladas por kilómetro de línea alcanzó en 1915 á 245.840 (corriente continua á 1.500 voltios).

Las ventajas que presenta la electricidad son conocidas: mayor ligereza de los motores; reducción del peso muerto al mínimo; posibilidad de atacar sin cremallera las rampas del 10 por 100, haciendo funcionar todos los ejes motores; aumento del coeficiente de adherencia; menor de-gaste de los carriles y de las llantas de las ruedas, debido á la sustitución del freno eléctrico al freno de rozamiento; mucha mayor seguridad en las bajadas gracias al freno eléctrico, etc., etc.; añado yo también otras dos ventajas sobre las que probablemente no se ha insistido todo lo que debía: primeramente, la supresión de los trenes de aprovisionamiento de carbón que obstruyen las líneas, sobre todo en el caso de vía única; esta consideración fué la que decidió la electrificación del ramal Saint-Moritz-Schöls-Taraps de los ferrocarriles réticos. En segundo lugar, la posibilidad de hacer circular en las líneas de montaña durante la noche y en invierno, trenes quita-nieves sin tener que pagar gastos suplementarios de ener-

gía, por facilitarse ésta á tanto alzado, un tanto por caballo año. Ahora bien, debe tenerse en cuenta que no son despreciables los gastos ocasionados al quitar la nieve en las líneas de vapor de montaña.

Falta aún por demostrar que en algunos casos los gastos de primera instalación son menores con la electricidad. En efecto, siendo el autómotor mucho más ligero que la locomotora de vapor y su tender, las obras de arte pueden hacerse menos resistentes y por lo tanto más baratas. En lo que se refiere á la superestructura de las vías, en muchos casos puede hacerse la economía de una cremallera, atacando por simple adherencia rampas del 9 por 100; ahora bien, una cremallera cuesta de 30 á 40.000 francos por kilómetro, es decir, mucho más cara que la dotación eléctrica. El material móvil cuesta también menos: así las locomotoras mixtas del Oberland bernés costaban con el vapor 50.000 francos, mientras que las eléctricas, que son más potentes, solamente cuestan 40.000 francos en número redondo.

Todo lo que acabamos de decir es cierto, cualquiera que sea el sistema de tracción eléctrica empleada: continua, trifásica ó monofásica. Resta por ver las ventajas y los inconvenientes inherentes á cada uno de estos sistemas.

Al principio casi no se empleaba en Suiza más que la corriente continua (á tensión de 650 voltios aproximadamente). Más adelante, el desarrollo de las distribuciones generalés por corriente trifásica condujo á servirse de esta forma de corriente para la tracción. Hacia los años 1898-99 estuvo muy en boga en Suiza este sistema. Así fué que se dotó con motores de inducción las líneas de cremallera del Jungfrau y del Gornergrat y la línea mixta (Stansstad-Engelberg) en 1898. Después en el mismo año, la línea de simple adherencia de Thoune á Berthoud (Burgdorf). Esta boga decayó repentinamente y más adelante, en 1905, se presentó una nueva aplicación de este motor en la línea de cremallera de Brunnen-Morschach (lago de los Cuatro Cantones). La aplicación del sistema trifásico en el Simplón se remonta al año 1906. Desde esta fecha no se ha vuelto á dotar en Suiza á ninguna línea con este sistema, que por lo demás parece absolutamente condenado por las razones siguientes: ser exagerada la absorción de corriente en las rampas, no disminuyendo la velocidad cuando el esfuerzo de tracción aumenta como sucede con los motores serie de corriente continua ó monofásica; también las fábricas presentan dificultades para facilitar corriente en el momento del máximo consumo; la velocidad no puede regularse más que por medio de mecanismos y artificios complicados, como la conmutación de los polos adoptada en el Simplón ó el acoplamiento en cascada de dos motores que da un factor de potencia malo ó un rendimiento mediocre. La más moderna de las locomotoras del Simplón dotada según este sistema y destinada al trayecto Brigue-Domodossola, es una maravilla de complicación: es preciso ser Ingeniero para conducirla correctamente y el menor trastorno en las conexiones necesita un mes de investigaciones en el depósito. Estos motores giran al máximo á la velocidad del sincronismo, y no se ve el medio de cómo con este sistema pueda un tren llegar á recuperar el tiempo de retraso que lleve. La desigualdad de desgaste de las ruedas de los automotores crea una dificultad, la de que los motores correspondientes á las ruedas más desgastadas no trabajan casi y dejan á las demás, cuya velocidad está más alejada de la del sincronismo, absorber una carga peligrosa.

En fin, sin hablar de la complicación del sistema de agujas, indiquemos la dificultad de aislar una de otra las dos fases. Se tropieza con muchas más molestias en el túnel del Simplón, que es caliente y húmedo, con 3.000 voltios en trifásica, que con 15.000 en monofásica en el del Lötschberg. Así tampoco es de

extrañar que en el contrato celebrado entre la Sociedad de fuerzas hidroeléctricas de Montbovon y los ferrocarriles de Gruyère para el suministro de energía bajo la forma de corriente trifásica, aparezca la completa prohibición de utilizar esta corriente para la tracción sin haberla transformado en continua.

El cuadro III resume los principales datos relativos á las líneas suizas de corriente trifásica.

Cuadro III.

Año de inauguración.	LÍNEAS	Frecuencia en periodos por segundo.	Tensión de línea en voltios.	Relación de reducción entre motor y ejes.	Tracción por medio de:
1898	Stansstad Engelberg.	32	750	1 : 3,11	Automotor.
1898	Gornergrat... ..	40	550	1 : 11,75	Locomotora.
1898	Yungfrau... ..	40	650	1 : 12,4	Idem.
1899	Berthoud-Thoune....	40	750	1 : 3	Automotor.
1905	Brunnen-Morschach..	50	750	1 : 10,86	Locomotora.
1906	Simplón.....	16	3.000	1 : 1	Idem.

La diversidad de las frecuencias adoptadas demuestra claramente un período de ensayos. La relación de reducción no deja de tener importancia, puesto que de ella depende la velocidad y por consiguiente la frecuencia.

La principal ventaja que se esperaba conseguir con el sistema trifásico era la de la economía, pero esta esperanza se desvaneció, como lo demuestran los presupuestos comparativos que con el mayor cuidado se establecieron para la electrificación del Gotardo en trifásico y en monofásico.

Los datos que damos á continuación se establecen para dos variantes: A comprendiendo anualmente 1.300 millones de toneladas-kilómetros, ó sea el 20 por 100 de más que el tráfico en 1907 y la variante B que comprende 1.760 millones de toneladas-kilómetros, ó sea el 60 por 100 de más que en 1907.

El precio total de todas las instalaciones para el servicio de tracción propiamente dicho sería de:

CORRIENTE MONOFÁSICA		CORRIENTE TRIFÁSICA	
15 periodos por segundo.	25 periodos por segundo.	15 periodos por segundo.	50 periodos por segundo.
15.283.500	17.781.400	15.715.300	14.347.000

Para la variante B, el precio total de instalación de las cuatro centrales sería de:

CORRIENTE MONOFÁSICA		CORRIENTE TRIFÁSICA	
15 periodos por segundo.	25 periodos por segundo.	15 periodos por segundo.	50 periodos por segundo.
30.450.000	29.625.000	28.725.000	27.865.000

En fin, los gastos del servicio de tracción propiamente dicho serían anualmente de:

VARIANTE A.		VARIANTE B.	
Mono fásica.	Trifásica.	Mono fásica.	Trifásica.
15 periodos por segundo.	50 periodos por segundo.	15 periodos por segundo.	50 periodos por segundo.
8.831.000	9.817.000	10.253.000	11.270.000

La explotación por corriente monofásica á 15 periodos por segundo resulta la más ventajosa. Con corriente continua, aun á 3.000 voltios, los gastos de tracción excederían en 3 millones de francos anualmente á los de por corriente monofásica.

Sin embargo, se recurre con frecuencia á este sistema cuan-

do se trata de líneas secundarias donde el tráfico es de menor importancia, empleando generalmente tensiones de 1.500 á 2.000 voltios, en la forma que se indica en el cuadro IV.

Cuadro IV.

Inauguración de la tracción eléctrica.	LÍNEAS	Número de motores por vehículo motor.	TRACCIÓN POR MEDIO DE:	Tensión por motor.	Tensión de línea.	Longitud. Km.
1907	Bellinzona Mesocco.....	4	Automotor, mixta	750	1.500	31,3
1910	Wengernalp.....	2	Locomotor, cremallera.....	750	1.500	19,1
1913	Aigle Sépey-Diablerets.....	4	Automotor, adherencia.....	675	1.350	21,4
1914	Coire Arosa.....	4	Automotor, adherencia.....	1.000	2.000	25,7
1914	Oberland bernés.....	2	Locomotor, mixta.....	1.500	1.500	23,4
1914	Schynige Platte.....	2	Locomotor, cremallera.....	750	1.500	7,2
1915	Louèche-Louèche-Bains.....	2	Automotor, mixta	800	1.600	10,2
1916	Nyon Saint-Gergues.....	4	Automotor, adherencia.....	1.000	2.000	19,1

Ninguna de estas líneas posee más de una subestación. La línea Schynige forma parte de los ferrocarriles del Oberland bernés y está como ellos alimentada por la subestación de Zweilütschinen; se ve que esta red alcanza á más de 30 kilómetros de desarrollo; el tráfico es comparable al del Montreux-Oberland.

En esta forma y en 1915 se tenía:

Oberland bernés, 245.840 toneladas por kilómetro de línea.
Montreux-Oberland, 256.788, ídem.

La primera red no tiene más que una subestación gracias á sus 1.500 voltios, la segunda tiene seis (abstracción hecha de la del Montreux-Glion) para un recorrido de 62,2 kilómetros, no siendo la tensión más que de 800 voltios.

En este sistema debe estudiarse muy particularmente los aparatos de arrancada *controllers*, cada contacto se provee frecuentemente de su bobina individual de insuflación.

Para tensiones un poco menores, pero iguales ó superiores á 1.000 voltios, puede citarse también: el «Trasvelan-Tavanne» (1.200 voltios) y el «St-flisburg-Thun-Interlaken» (1.000 voltios); la primera de estas líneas tiene un recorrido de 23 kilómetros, hasta el Noirmont y la segunda 26.

Como se ve, asistimos á un verdadero renacimiento de la tracción por corriente continua, por lo menos en lo que se refiere á los ferrocarriles secundarios, no pareciendo conveniente emplear el sistema monofásico en las líneas con fuertes declives, por ser mucho más pesada la dotación de motor monofásico y transformador en el coche, que la dotación de motor de corriente continua y ser menor el coeficiente de adherencia por causa de la forma pulsatoria del acoplamiento. También la rampa máxima de las líneas de tracción monofásica de Suiza no excede del 3,7 por 100 (Seethal-bahn, Lucerne Wildegg). Ningún ferrocarril suizo de cremallera funciona con este sistema.

Ahora bien, en las líneas principales de rampas suaves y de gran tráfico, el monofásico recobra la ventaja; se tiene la idea de aplicarlo á los ferrocarriles federales (C. F. F.), con una frecuencia de 15 períodos por segundo y una tensión de 15.000 voltios. Si se compara el motor de repulsión con el motor serie monofásico, parece ser que este último recobra de más en más la ventaja. Así en los ferrocarriles héticos se ha comprobado que la arrancada de una sola locomotora de repulsión causaba tanta perturbación como la simultánea de tres locomotoras serie. En el

«Martigny-Orsieres», donde la tracción se efectúa con automotores de repulsión, ha habido bastantes entorpecimientos.

Efectuándose la regulación de la velocidad por simple desacuñado de las esobillas, es preciso desacuñar todas las escobillas del mismo ángulo, y por muy poco que la barra de gobierno se dilate ó se tuerza, es difícil de conseguir la igualdad de los distintos motores; en la arrancada estos motores son algo defectuosos. Por el contrario, con el motor serie, y sirviéndose de un transformador de pisos con un cierto número de tomas en el secundario, como sucede en el Lötschberg, se arranca con gran suavidad y los pisos superiores del transformador pueden utilizarse para ganar los retrasos ó compensar las caídas de tensión sobre la línea.

El cuadro V demuestra la forma en que se distribuyen las líneas suizas los tres sistemas: continuo, trifásico y monofásico.

Cuadro V.

	Kilómetros.
I.—CORRIENTE CONTINUA HASTA 1.000 VOLTIOS.	
a) Vías normales.....	40
b) Vías estrechas ó mixtas, es decir, que comprenden también algunos trozos en cremallera.....	628
c) Vías totalmente de cremallera.....	21
II.—CORRIENTE CONTINUA DE MÁS DE 1.000 VOLTIOS.	
a) Vías normales.....	0
b) Vías estrechas y mixtas.....	155
c) Vías totalmente de cremallera.....	21
III.—CORRIENTE TRIFÁSICA.	
a) Vías normales.....	63
b) Vías estrechas.....	23
c) Vías totalmente de cremallera.....	23
IV.—CORRIENTE MONOFÁSICA.	
a) Vías normales.....	149
b) Vías estrechas.....	91
c) Vías totalmente de cremallera.....	0
Lo que da en total:	
Continua hasta 1.000 voltios.....	689
Continua de más 1.000 voltios.....	183
Trifásica.....	109
Monofásica.....	240
O sea, en fin de 1915, sin contar los tranvías ni los funiculares eléctricos, cuyo desarrollo está muy lejos de poder despreciarse.....	
	1.221
Estos 1.221 kilómetros pueden distribuirse del modo siguiente:	
Vías normales.....	252
Vías estrechas y mixtas.....	897
Vías de cremallera.....	72

Sería preciso añadir también el Nyon-Saint-Gergues (19 kilómetros) y el Göschenen-Andermatt (3,7 kilómetros) inaugurados después de 1815, así como el recorrido Spiez-Scherzligen, en el Lötschberg (10 kilómetros aproximadamente).

Un problema que se plantea en estas líneas, muchas de perfil accidentado, es el de la recuperación en la bajada. Es conveniente tratar este asunto por medio del cálculo para poder saber de qué pendiente puede partirse en la que la recuperación sea importante.

Sea η del rendimiento global medio de la línea y de los motores, a el coeficiente de tracción en kilogramos por tonelada, i la pendiente en milímetros por metro, V la velocidad en metros por segundo, P el peso del tren en toneladas, ω la potencia en kilovatios facilitada por la fábrica al tren (subida), á la salida de la fábrica, ω' la enviada por el tren á la fábrica (bajada), se tiene:

$$\omega = \frac{(i + a) P \cdot V \cdot 0,736}{75} \cdot \frac{1}{\eta}$$

$$\omega = \frac{(i - a) P \cdot V \cdot 0,736}{75} \cdot \eta$$

Es preciso suponer que el rendimiento de los motores es el mismo, que trabajen en motores ó en generadores, lo que no es más que aproximado. La relación $\frac{\omega'}{\omega}$ que podría llamarse el ren-

dimiento de la recuperación es igual á $\frac{i-a}{i+a}\eta^2$. Supongamos un ferrocarril de cremallera en el que $i = 200$ milímetros por metro y $a = 15$ kilogramos por tonelada. Si la pérdida en los motores, comprendido los engranajes, es del 25 por 100, la pérdida en toda la línea del 15 por 100 como media, la pérdida media total será del 40 por 100, de donde $\eta = 0,6$ y, por consiguiente, $\frac{\omega'}{\omega} = \frac{185}{215} \times 0,36 = 0,31$, aproximadamente, lo que no es de despreciar.

Debemos hacer observar que en Suiza se aprovecha muy poco la recuperación, debido á la baratura de la energía eléctrica (unos 3 céntimos el kilovatio-hora). Aun con los sistemas que se prestan naturalmente á la recuperación, como con el trifásico, se prefiere no hacer uso de ella para quedar en el descenso, absolutamente independiente de la línea. Así en el Yungfrau, los motores trifásicos reciben en la bajada una corriente de excitación que proviene de una dinamo de corriente continua. Funcionan en alternadores y suministran sobre las resistencias. En esta forma se evita el inconveniente que se ha producido en el Gornergrat, donde el tren queda bloqueado en la bajada, si, como consecuencia de una avería en la fábrica, los motores, trabajando en generadores asincrónicos, no reciben ya los medios necesarios para su excitación, los frenos ordinarios de fricción sufren un recalentamiento tal en estas rampas de 200 por 100, que quedan fuera de uso después de un recorrido de una centena de metros.

En todo caso, es preciso prever siempre un frenado eléctrico, bien por recuperación, bien haciendo trabajar los motores sobre resistencias tan pronto como el perfil de la línea sea un poco accidentado. En el Lötschberg, donde se ha creído poderse pasar sin ello, los trenes de 200 toneladas, que bajan pendientes de 22 milímetros y de varios kilómetros de longitud, llegan á la estación de Brigue con las llantas de las ruedas y las zapatas de los frenos al rojo oscuro; el desgaste del material y de la vía es rápido en extremo.

La recuperación presenta también otras ventajas: la supresión de esas resistencias voluminosas, que deben soportar los motores y cuyos precios (comprendido el de sus ventiladores), no deja de representar una fracción despreciable en la dotación de una locomotora de cremallera, como la del Aigle-Leysin ó del Schynige Platte. En la primera línea no se trata nada menos que de eliminar, bajo la forma de calor julio, 30 á 40 millones de kilográmetros por hora de tiempo! Hay casos también en que, como consecuencia del aumento del tráfico, la subestación llega difícilmente á poder facilitar la energía exigida; la recuperación alivia entonces á los generadores y contribuye á su conservación. Así sucedió, que después de la creación de la línea de cremallera de Blonay-Les Pléiades, los ferrocarriles veveysanos se apercibieron de que á ciertas horas su subestación de Saint-Léger estaba peligrosamente cargada y que se preguntaron si no sería posible recuperar en esta última línea. En todo caso, pudiendo ser peligrosa la intensidad cuando varios trenes desciendan simultáneamente, es siempre preciso tener prevenida una cabela de agua.

Los órganos de contacto son siempre en número de dos y la línea de contacto generalmente formada por dos hilos paralelos (Montreux-Oberland, Schynige Platte Wengernalp, etc.) debe

describir zizás á uno y otro lado del eje de la vía. El desgaste por rozamiento es muy reducido en esta forma y la corriente no corre el riesgo de ser interrumpida, lo que es de importancia capital para la seguridad cuando se recupera en las bajadas.

Para terminar, digamos, que á pesar de un prejuicio muy extendido, se recupera tan bien con el motor serie de corriente continua, como con el trifásico ó el monofásico. En el caso del motor serie monofásico es preciso impedir la producción de una corriente continua; lo que puede hacerse interponiendo un transformador entre el inductor y el inducido.

Además de los frenos ordinarios de zapatas accionados por el vacío ó por aire comprimido, de los frenos de cinta que obran sobre los tambores de las locomotoras de cremallera y de los frenos eléctricos por corto circuito en los motores, se emplea también á veces un freno magnético que puede fijar literalmente el vehículo al carril, cuyo freno se acciona, bien sea por la corriente de línea (Montreux-Oberland), bien sea por una batería auxiliar (Martigny-Chatelard). En el tranvía de Schwytz-Brunnen este freno se acciona á la vez por la corriente de línea (enrollamiento de hilo delgado) y por la corriente de los motores que trabajan en generadores (enrollamiento de hilo grueso).

Todos los aparatos de maniobra «serie paralelo» de los ferrocarriles de corriente continua se establecen en forma de que permitan cerrar el circuito de los motores sobre la resistencia de arrancada en vista del frenado, pero en general estas resistencias están mal calculadas; resulta también este género de frenar tan brutal, que únicamente se emplea en último caso. En los ferrocarriles veveysanos, donde la rampa es continuamente de 5 por 100 entre Vevey y Chatel-Saint Denys, se le ha imputado las roturas de ejes.

El sistema serie-paralelo no se emplea más que en las líneas de adherencia ó mixtas, nunca en las líneas de cremallera, donde es suficiente con una sola velocidad de régimen. En la línea mixta de Louéche a Louéche-les-Bains, que data de 1915, el sistema serie-paralelo no causa efecto más que sobre los inductores de los dos motores acoplados en paralelo para la marcha en adherencia y en serie para la marcha en paralelo.

Es curioso observar que los sistemas de unidades motrices múltiples no se emplean en Suiza, donde prestarían grandes servicios en las líneas con rampas fuertes. Sin embargo se hace con frecuencia uso de la «doble tracción» en las líneas de corriente continua ó monofásica, pero cada automotor se conduce independientemente uno de otro por su conductor (Montreux-Oberland). Se ha recurrido á esta doble tracción no solamente en los trenes de gran tonelaje, sino también cuando la escarcha depositada sobre el hilo de contacto opone seria dificultad al paso de la corriente.

El trifásico no se presta de modo alguno á la doble tracción.

En resumen, lo que realmente parece importante retener de estas consideraciones, forzosamente un poco breves, es por una parte el desarrollo que parece está reservado al monofásico de 15 períodos por segundo en las grandes arterias y por otra al continuo de 1.500 ó 2.000 voltios en las líneas secundarias de perfil accidentado y de un modo general, la posibilidad de poder establecer gracias á la electricidad ferrocarriles á altitudes considerables, como lo demuestran los éxitos de los experimentos llevados á cabo en el Bernina, el Yungfrau y en el Gornergrat. La electricidad contribuye á llevar la civilización y á dar vida á regiones que de otro modo quedarían abandonadas y se despoblarían, lo que pone en evidencia una vez más su papel civilizador y social de primer orden.