

obra de carácter permanente. Diversas soluciones se han ideado para la travesía del canal, ya por paso superior, ya en túnel, y los anteproyectos se estudian actualmente por el Servicio de Puentes de los Ferrocarriles del Estado.

## Electrificación de ferrocarriles <sup>(1)</sup>

POR

D. JOSÉ LUIS VALENTÍ Y DORDA

Ingeniero de Caminos.

**Resumen.**—Como compendio de todo lo dicho en este estudio comparativo de las tracciones eléctrica y de vapor, desde el punto de vista económico, podemos asegurar que la electrificación supone aumento en los ingresos, disminución en los gastos de explotación y casi siempre aumento en el capital de establecimiento. El aumento de los ingresos depende de las condiciones especiales de cada ferrocarril y es muy difícil de fijar; la disminución en los gastos de explotación, que oscila entre un 15 por 100 y un 40 por 100, es proporcional al tráfico y depende de las características de la línea, aumentando al aumentar las pendientes de ésta, el número de paradas, etc.; y por último, el aumento en el capital de establecimiento es el debido al coste de las instalaciones eléctricas, que á veces puede estar compensado con creces por acortamiento en la longitud del trazado, supresión de doble vía y otras causas que ya hemos expuesto.

Así, pues, los factores cuya influencia en general es más decisiva en los problemas de electrificación, son: por una parte las características de la línea á electrificar (línea con fuertes pendientes, línea de tráfico de viajeros, de tráfico suburbano ó de mercancías, y por otra parte el tráfico á realizar; el primer factor puede estar, hasta cierto punto, representado por la resistencia media á la tracción en kilogramos por tonelada (incluyendo la debida á las arrancadas), y como de lo dicho se deduce que la economía en los gastos de explotación, conseguida por la electrificación, es proporcional al producto de estos dos factores, no necesitamos añadir que en líneas con poco tráfico y gran resistencia media á la tracción, y en líneas con mucho tráfico y escasa resistencia media á la tracción, la electrificación puede resultar económicamente ventajosa, y seguramente lo resulta para las líneas de mucho tráfico y de gran resistencia media á la tracción porque en este caso los dos factores citados alcanzan gran valor.

Sería interesantísimo poder fijar con cifras para cada tipo de línea el límite mínimo del tráfico para el que conviene la electrificación, y si representáramos en un gráfico los valores encontrados tomando por abscisas las resistencias medias á la tracción en kilogramos por tonelada y por ordenadas los tráficos en millones de toneladas transportadas por kilómetro y año, obtendríamos así una curva con su convexidad vuelta hacia el origen de coordenadas y que cortaría á los ejes en la región positiva, puesto que hay tráficos á partir de los cuales con cualquier clase de servicio y condiciones de línea conviene la electrificación, y líneas con tales rampas ó condiciones especiales de servicio (tranvías por ejemplo) en las que por pequeño que sea el tráfico la electrificación se impone; esta curva representaría así la línea divisoria entre las regiones en las que conviene más la tracción eléctrica ó de vapor.

Todos los hombres de ciencia especializados en tracción eléctrica, puede decirse que han intentado construir esa curva, aun-

que ninguno, que yo sepa, haya hablado de su existencia; todos en sus cálculos consideran como uno de los factores decisivos el de tráfico realizado por la línea; unos directamente en forma de toneladas-kilómetros arrastrada, y otros en forma de ingreso kilométrico, con lo que resulta ya desvirtuado por las tarifas y el aprovechamiento de material, sumamente variable de uno á otro país y hasta en líneas del mismo país. Respecto al otro factor, ó sea á las condiciones peculiares del tráfico de cada línea, mientras unos subdividen sencillamente éstas líneas directas, suburbanas y mercancías, otros tienen únicamente en cuenta las rampas, ya sean éstas las medias, las máximas ó las fundamentales (1). Claro es que como, á parte de los factores señalados mejor ó peor disfrazados, en la economía de la electrificación intervienen también otros elementos como el precio del carbón, coste de los salarios y materiales, etc., mal pueden los resultados obtenidos por un estudio hecho especialmente para una línea, tener aplicación para otras líneas del mismo país, y todavía menos para ferrocarril de otras regiones y continentes, y así se explica que haya bastante discordancia entre los resultados obtenidos por aquellos especialistas que han llevado sus cálculos hasta el fin.

J. L. Moffet ha estudiado la posible electrificación de las líneas inglesas con corriente continua á 1.500 voltios y tercer carril en los suburbios, y 3.000 voltios y línea aérea en el campo con centrales de gas generadoras de la energía; ha tenido en cuenta tres clases de trenes: directos, suburbanos y de mercancías, y ha intentado calcular los tráficos ó número de trenes por hora, á partir de los cuales la tracción es preferible económicamente á la de vapor.

Moffet llega á 53 trenes diarios directos, 28 trenes suburbanos ó 46 trenes de mercancías como tráficos necesarios para el equilibrio económico entre las tracciones eléctrica y de vapor. Estos cálculos resultan bastantes desfavorables para la tracción eléctrica, por la ligereza de los trenes, escasísima resistencia á la tracción, poco estudio de los consumos de las locomotoras durante las paradas, ventilación de galería y túneles, y sobre todo escásimo coste del carbón, fijado en unas 10 pesetas por tonelada; con los precios de carbón corrientes en nuestro país, la economía obtenida por la electrificación es más del doble, y el número de trenes diarios necesarios para que ésta presente ventajas económicas, es menos de la mitad del hallado por Moffet. Claro es que en Inglaterra, aunque el carbón es muy barato, como el tráfico medio de sus líneas oscila entre 30 y 40 trenes diarios, existen muchas líneas en las cuales la electrificación representaría una respetable economía, aun dando por buenos los cálculos de Moffet.

Al hablar de aquellos tratadistas que consideran la pendiente de la línea como uno de los elementos esenciales del estudio económico de la electrificación, nos referíamos á Mr. Armstrong, cuyos diagramas de gastos de explotación en función de las pendientes, utilizados para el estudio de la electrificación del túnel de Cascada, son bien conocidos.

Monsieur Parodi ha tratado de crear unos gráficos análogos, en los que interviene también el ingreso kilométrico, utilizando una de las tan en boga fórmulas de explotación.

Existen varias fórmulas que, con tracción de vapor, tratan de dar una idea aproximada de los gastos de explotación, no teniendo en cuenta, como es lógico, las cargas de intereses y amortización de los capitales invertidos en el ferrocarril. Fundándose en las estadísticas hechas por MM. Baum, Ricour y Amyot, Picard propone en su *Tratado de ferrocarriles* la fórmula:

$$G = 4.000 + 0,40 \times I \text{ francos,}$$

(1) Rampa fundamental es la rampa más fuerte de una línea, lo suficientemente larga para no poder ser ascendida por fuerza viva.

(1) Véase el número anterior.

en la que *G* representa el gasto de explotación por kilómetro é *I* el ingreso en francos por kilómetro (que es lo que los franceses llaman *receta kilométrica* de una línea).

Tanto esta fórmula como todas las análogas obtenidas dando distintos valores á los coeficientes, tienen escasisimo valor y dan en la práctica resultados muy poco conformes con la realidad; como una de las causas que á ello contribuyen es la variación enorme de unas á otras líneas de las dificultades para el arrastre, elemento distintivo que yo pretendía representar por la resistencia media á la tracción en kilogramo por tonelada arrastrada, muchos la han personificado en un factor dependiente de la pendiente de la línea, multiplicando los gastos de explotación de una línea en horizontal por dicho factor, obteniendo así una *longitud virtual*. Como recientemente se ha tratado en algunas revistas de este asunto y parece ser que pretende darse por algunos cierto valor á las fórmulas de longitudes virtuales, valor que ya se señaló como muy escaso en el Congreso de Ferrocarriles de Bruselas, (año 1885 y casi nulo al referirse á la tracción eléctrica, á la cual precisamente quiere aplicarse todos aquellos casos en que ésta significa acortamiento en los trazados, vamos á permitirnos una pequeña digresión sobre el tema de las longitudes virtuales.

Hay gran diversidad de criterios sobre lo que se entiende por *longitud virtual*: las definiciones de la Comisión inglesa para el estudio de los ferrocarriles irlandeses (1838) y de Chegas (1844) son bastantes confusas y poco precisas. Linder, en 1879, las define diciendo:

«Longitud virtual de un trozo de vía en rampa y curva, se denomina á la longitud de un trozo ideal de vía horizontal y recto, el cual presente para un tren que circula con la misma velocidad y la misma carga que en el trozo de vía de que se trata, la misma resistencia á la tracción; y por consiguiente, se requiera para vencerla el mismo efectivo (virtual) esfuerzo de tracción». Linder no incluye en esta definición el esfuerzo necesario para vencer las resistencias interiores de la locomotora, considerando, pues, ésta como un vehículo ordinario.

Ya aparecen aquí dos grandes imperfecciones de estos sistemas de comparación de líneas, pues empiezan por suponer la misma velocidad de circulación para los trenes en rampa que en el trozo ideal horizontal, hipótesis perfectamente ilógica, pues rampas y curvas sólo se admiten, aparte de casos excepcionales, para acortar la longitud del trazado, y si ello es así, dicho se está que la velocidad puede disminuir al aumentar la rampa sin inconveniente para la duración del recorrido y con ventaja para la utilización de la locomotora (en el primer estudio sobre longitudes virtuales ya se marca esta orientación, aunque con equivocaciones lamentables); por otra parte la Comisión inglesa para el estudio de los ferrocarriles irlandeses suponía invariable el esfuerzo de tracción con la velocidad (hipótesis erróneas) y partiendo de una velocidad de 40 kilómetros en horizontal, disminuía las velocidades proporcionalmente al aumento de resistencia á la tracción debido á las rampas, tendiendo con ello á que fuera la misma la potencia suministrada por la locomotora, y con las velocidades así calculadas hallaban los tiempos de recorridos y éstos eran, en definitiva, los utilizados para la comparación de los trazados.

Ghegas persiste en el error de despreciar la influencia de la variación de velocidad con las rampas, pero Linder ya considera la velocidad en la línea cuya longitud virtual se trata de hallar, como función parabólica de las rampas y tienen en cuenta la variación de la resistencia á la tracción con la velocidad, incurriendo en la equivocación ya expuesta de comparar cada esfuerzo de tracción en rampa con el correspondiente (virtual) en horizontal á *la misma velocidad*. Stocker y Baum (cuyas fórmulas son las más conocidas y aplicadas) insisten en el mismo criterio.

Por lo que respecta al cálculo del esfuerzo de tracción en cada caso, todas las fórmulas tienen en cuenta el peso total del tren incluida la locomotora; Stocker y Baum calculan la proporción entre peso arrastrado y peso de locomotora, suponiendo que el primero es el máximo permitido por una adherencia de 1 : 7, y aplican á cada uno distintos coeficientes de resistencia á la tracción: la Comisión inglesa calculó estos coeficientes experimentalmente y Ghegas y Linder suponen el mismo coeficiente para la locomotora que para el resto de los vehículos, por no tener en cuenta resistencias interiores.

Como en todas las fórmulas no se comparan entre sí pesos útiles arrastrados, sino pesos totales, los resultados son prácticamente falsos y puede darse el caso de no poder arrastrar pesos útiles, es decir, resultar imposible la tracción, sin que las fórmulas lo exterioricen.

Por lo que se refiere á las pendientes ó bajadas, la Comisión inglesa no consideraba esfuerzos de tracción en las bajadas, pero suponía que hasta pendientes de 7,14 milésimas, la velocidad podía aumentarse en 1 : 5, y que á partir de esa pendiente la velocidad debía ser la misma que en horizontal (hipótesis de imposible realización con fuertes pendientes), y con esta base calculaba los tiempos de recorrido: Linder suponía no existentes las pendientes superiores á 3,1 milésimas, y Baum suponía el mismo consumo de máquinas en horizontal que en pendientes ó bajadas.

Como todas estas fórmulas no tienen en cuenta la influencia de arrancadas y paradas, y suponen velocidades de marcha muy moderadas, únicamente son aplicables, hasta cierto punto, á las líneas de gran longitud, con pocas paradas y tráfico casi exclusivo de mercancías; como sus coeficientes están calculados con arreglo á datos estadísticos antiguos, en nuestros tiempos, dado el progreso de la técnica y variación de costes de multitud de elementos, estas fórmulas, que no pueden dar más que una idea del esfuerzo á realizar para el transporte, son inaplicables en absoluto. La tracción eléctrica, con el aumento de capacidad de los tractores, recuperación de energía en las bajadas, etc., ha puesto más en evidencia la inutilidad de estas fórmulas.

Existen otras fórmulas, deducidas de éstas, y de las que han heredado la mayor parte de sus defectos, que pretenden relacionar los gastos de tracción y los gastos de explotación con las pendientes de la línea; á continuación damos unos estados en los que á título de mera curiosidad científica exponemos los coeficientes virtuales á que se llega con las fórmulas más conocidas:

**Longitudes virtuales de trozos de vía de distintas pendientes según las distintas fórmulas de resistencia á la tracción.**

Pendientes en milésimas.	C. inglesa.	Ghegas.	Linder.	Stocker.	Baum.
0	1	1	1,0	1,0	1,0
5	1,67-1,75	2,4	2,610	2,65	2,76
10	2,36-2,5	3,8	4,272	4,47	4,91
15	»	5,2	5,994	6,44	7,50
20	»	6,6	7,793	8,57	10,63
25	»	8,0	9,683	10,86	14,36
30	»	9,4	11,716	13,31	19,00
35	»	10,8	13,977	15,92	»
40	»	12,2	17,313	18,69	»
45	»	13,6	19,960	21,62	»
50	»	15,0	22,356	24,71	»

Longitudes virtuales de trozos de vía de distintas pendientes según las distintas fórmulas de gastos de tracción y explotación.

PENDIENTES EN MILÉSIMAS	GASTOS DE TRACCIÓN		GASTOS TOTALES DE EXPLOTACIÓN			
	Comisión suiza.	Kreuter.	Comisión suiza.	Amiot.	Menehe de Loins.	Jacquier.
	1873	1900	1873	1879	1879	1904
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	2,07	2,70	1,25	1,25	1,00	1,00
10	3,20	4,55	1,52	1,50	1,17	1,30
15	4,42	6,58	1,81	1,75	1,45	1,63
20	5,75	8,83	2,13	2,00	2,31	2,11
25	7,14	11,26	2,46	2,25	2,64	2,76
30	8,66	13,99	2,82	2,50	3,21	»
40	12,09	20,45	3,64	3,00	»	»
50	16,16	28,73	4,60	3,50	»	»

Parodi ha tratado de englobar en una fórmula algebraica los resultados de éste último cuadro y ha propuesto para fórmula de los gastos de explotación de una línea, explotada con tracción de vapor:

$$G = (4.000 + 0,45 i) \left( 1 + \frac{3,5 i - 18}{60 - i} \right)$$

en francos por kilómetro, en la que  $i$  representa la pendiente fundamental de la línea en milésimas, pero lo mismo la pendiente fundamental que la media de las pendientes, no engloban todas las dificultades de la tracción. Creo que la resistencia media á la tracción en kilogramos por tonelada, incluyendo arrancadas, etcétera, puede cumplir mejor estos fines.

En la fórmula de Parodi, la curva representativa es asintótica á la recta  $i = 60$ , por suponer que para pendientes mayores la tracción de vapor es imposible: con tracción eléctrica estima Parodi que la curva debe ser asintótica á la recta  $i = 140$ , porque para mayores pendientes considera la tracción eléctrica imposible con simple adherencia.

Opino que todas las fórmulas posibles para el cálculo de los gastos de explotación, con pretendidas generalizaciones, no alcanzan verdadero valor práctico, y que ni aun calculadas para cada país y cada tipo de tráfico podrían dispensar del estudio detenido de cada problema de economía ferroviaria, que se presente, cuanto más esas tan decantadas fórmulas de longitudes virtuales, calculadas con estadísticas ya envejecidas y desacreditadas mucho antes de envejecer, y á las que algunos técnicos se aferran, más por economizar trabajos que por convicción de la posible aproximación de sus resultados.

Aunque repito que nada partidario del uso de fórmulas para el cálculo de gastos de explotación, y sí del estudio detenido de cada problema, como en proyectos de ferrocarril se requiere acompañar una fórmula de explotación, me permito proponer una variación de la forma clásica de dichas fórmulas, agregándola un tercer término: la fórmula propuesta es la siguiente:

$$G = a + n (b + c \cdot p \cdot r)$$

en la que

$G$  = gasto de explotación por kilómetro de línea, en pesetas.

$n$  = número de trenes.

$p$  = peso medio de los trenes en toneladas.

$r$  = resistencia media á la tracción en kilogramos por tonelada.

$a$ ,  $b$  y  $c$ . = tres coeficientes á determinar con datos estadísticos.

Los tres términos de la fórmula corresponden: el 1.º á los gastos independientes en cierto modo del tráfico y proporcionales á

la longitud de la línea (Dirección y administración, conservación de edificios, servicios centrales, vigilancia y conservación de lavia, estaciones...); el 2.º á los gastos proporcionales al recorrido de trenes. (Gastos de material móvil y personal...), y el 3.º á aquellos gastos proporcionales al peso arrastrado y á la resistencia á vencer (Combustibles...)

La fórmula propuesta tiene en cuenta las pendientes y el tipo de tráfico del ferrocarril, porque estos elementos son los que determinan, sabiendo el tráfico que hay que servir, la resistencia media á la tracción  $r$ , el peso de los trenes  $p$  y el número de trenes  $n$ .

Como estos tres datos hay que calcularlos en todo proyecto de ferrocarril y los tres coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $c$  pueden hallarse para cada región y con arreglo á las circunstancias de cada caso, me parece que la fórmula propuesta, sin presentar mucha más complicación que la fórmula usual de explotación, proporciona mucha más exactitud por ajustarse mejor á la realidad.

La electrificación influye en la fórmula aumentando el coeficiente  $a$  con el gasto de interés, amortización y conservación de las instalaciones eléctricas, disminuyendo  $n$  ó  $p$ , por el mejor aprovechamiento del material, disminuyendo  $b$ , por la economía en personal, número de locomotoras etc.; disminuyendo algo  $r$ , por la supresión de muchas resistencias interiores de la locomotora, y disminuyendo  $c$ , por la economía en combustible y agua; así, pues, los coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $c$ , calculados para la tracción de vapor, no pueden aplicarse á la tracción eléctrica. El aumento grande del coeficiente  $a$ , debido á los gastos de establecimiento de la electrificación, y la incredulidad dominante, entre muchos técnicos, de la disminución del resto de los coeficientes y factores, son los obstáculos principales con que lucha la tracción eléctrica en su ansia de sustituir á la tracción de vapor; el casi seguro aumento de ingresos que lleva consigo, al evidenciarse con las estadísticas de instalaciones efectuadas, ha de constituir una de sus más eficaces armas en este combate.

#### Ventajas sociales.

Todas las características favorables (técnicas y financieras) de la tracción eléctrica expuestas por suponer una sensible mejora y posible abaratamiento en la industria de los transportes, alcanzan con su benéfico influjo á toda la economía de una región y hasta de un continente, y pueden llegar á transformar en cierto modo las condiciones de vida en comarcas dilatadas; la prueba de ello es que la tendencia de la tracción eléctrica á la repartición uniforme del tráfico y consumo de energía, disminuyendo el peso de los trenes y aumentando su frecuencia (tendencia contrarrestada en muchas líneas por conveniencias de otra índole) hasta llegar como límite á la tracción de vehículos aislados automotores, ha hecho posible el ensanche y engrandecimiento de muchas poblaciones, con notable ventaja para la higiene y comodidad. Si nuestra imaginación calenturienta trata de concebir una imagen del mundo de nuestros biznietos, grandes núcleos de población acuden á nuestra mente, núcleos originados por las necesidades de la industria y el comercio y entre los cuales la tracción eléctrica, permitiendo la dimensión de otros núcleos de menor orden, creados por la posible facilidad de comunicaciones, baratura de viviendas y transportes, mejora de condiciones higiénicas, más agradable estancia, etc., núcleos casi confundidos con los núcleos agrícolas, rompen toda idea de discontinuidad. La tracción eléctrica imprimirá su sello á muchas regiones de actividad industrial, llegando á la consecución de esa mezcla íntima de campo y ciudad en la que se unen las más favorables condiciones de ambos elementos, desapareciendo sus más

graves inconvenientes; el siglo XIX ha sido llamado el de los ferrocarriles, y al siglo XX ya empieza á llamársele el de las aplicaciones eléctricas, y entre ellas la de la tracción ocupa uno de los lugares preferentes.

La limpieza conseguida con la tracción eléctrica, consecuencia natural de la supresión de humos, cenizas y cenizas y la mayor velocidad posible, son ventajas que se traducen en comodidades de todo orden para el viajero, y que en caso de competencia aseguran á la Compañía que emplee este género de tracción la preferencia del público.

Especialmente en aquellas líneas de turismo en que las que la contemplación clara y diáfana del paisaje constituye uno de sus mayores atractivos, la electrificación se impone, y buena prueba de ello es la decisión adoptada por la administración de los ferrocarriles del Estado suizo para favorecer el turismo y evitar la posible competencia de líneas análogas.

Las grandes velocidades y acortamientos en la longitud de los trazados son cualidades que repercuten en beneficio del tráfico de algunas mercancías, en su mayoría productos nacionales, que si se han de ser utilizados sin averías y depreciaciones requieren un transporte rápido desde los centros de producción á los de consumo; la tracción eléctrica puede, por consiguiente, abrir nuevos mercados á los productos que por su extremada delicadeza no alcanzan expansión fuera de límites geográficos muy reducidos y dándoles acceso hasta el mismo centro de las poblaciones, abarata extraordinariamente su distribución en éstas.

Otro aspecto de la electrificación (quizá el más interesante hoy por hoy en nuestro país) lo constituye la posible sustitución del carbón como generador de energía por otros combustibles de diversa ó peor calidad y por sitios de agua el carbón es un elemento que aun en los países en los que se encuentra con relativa abundancia, tiende á encarecer de coste, no por agotamiento de las existencias (contingencia no temible en un gran periodo de tiempo), sino por aumento de dificultades en el arranque y encarecimiento de los avarios; y este mal agravado excepcionalmente en las actuales circunstancias por la codicia excesiva de productores é intermediarios y el aumento enorme de coste de los fletes y dificultad de los transportes que imposibilita una acertada distribución económica del carbón entre centros productores y de consumo, estado cuya gravedad no ha de disminuir muy sensiblemente con la terminación de la guerra europea, por el probable intenso desarrollo de la industria mundial que hará subir la demanda de combustible, es un mal, decimos, que la tracción eléctrica puede contribuir grandemente á disminuir ó á minorar ó bien por la economía de carbón quemado en grandes Centrales, lo que disminuye en un 50 por 100, aproximadamente, el consumo necesario, ó bien, y esto es la solución más completa, sustituyéndolos por otros elementos.

En general, puede decirse que la tracción eléctrica supone una sensible mejora en la industria de los transportes, mejora reflejada en la vida social y en la economía nacional, y que casi siempre compensa con creces el aumento de coste de establecimiento, si éste no está ya compensado por el aumento en los ingresos y la disminución en los gastos de explotación.

#### Inconvenientes.

Es indudable que la tracción eléctrica presenta algunos inconvenientes comparada con la de vapor, pero estimamos que á muchos de ellos se les ha dado excesiva importancia.

Uno de los inconvenientes reales que la tracción eléctrica lleva consigo es el de no ser utilizables los tractores de una línea electrificada para otra línea, cuyas características eléctricas sean

distintas; este mal, que constituye una agravación del de los distintos anchos de vía implantados hoy de una manera general obedeciendo á razones de índole económica, mal entendidas á mi juicio, puede suavizarse con algunas disposiciones técnicas (las locomotoras del ferrocarril de Barcelona á Sarriá son de corriente continua y pueden circular con tensiones de 600 á 1.200 voltios en la línea de contacto; las del ferrocarril de Viena á Presburgo circulan con 600 voltios en corriente continua y 10.000 en monofásica; y análogas ventajas poseen los automotores de Pamplona á Sangüesa), pero no pasan de ser paliativos al mal, cuya solución no está más que en la unificación de los sistemas de electrificación.

Quizá los inconvenientes más graves que se asignan á la tracción eléctrica sean los de orden militar, porque indudablemente la tracción eléctrica, con el aumento de instalaciones que representa, es más vulnerable á una posible acción ofensiva, y en caso de destrucción de una central generadora ó de una línea de alimentación, puede quedar interrumpido el tráfico en una muy extensa zona, posiblemente muy alejada de la línea de combate y siempre en circunstancias en las que la facilidad en los transportes es de un interés vital. Carecemos de competencia técnica en estos asuntos para poder pretender profundizar en ellos, pero estimamos que estos inconvenientes ceden en importancia tratándose de líneas alejadas de los probables caminos de invasión, en cuyo caso la mayor capacidad de ellas conseguida merced á la electrificación, permitiendo en esos momentos críticos más fácil distribución y concentración de las energías nacionales, puede compensarlos con creces. Aun en las líneas próximas á las zonas de invasión conviene no olvidar que rara vez se hallarán centrales y subestaciones en la línea de frente, que las centrales hidroeléctricas por estar emplazadas generalmente en terreno accidentado, son de fácil defensa, que en caso de inutilización de una central suele haber otras capaces de dar el servicio, en peores condiciones, claro es, y por último, que la mayor parte de las averías causadas en las instalaciones eléctricas son fácilmente reparables.

Así como reconocemos la influencia desfavorable de la complicación de las instalaciones eléctricas en tiempo de guerra, negamos que en tiempo de paz signifique el riesgo de interrupciones en el servicio que algunos la atribuyen; para fundamentar esta afirmación no tendría más que repetir las razones y datos estadísticos expuestos al tratar de la seguridad como una de las ventajas técnicas de la tracción eléctrica.

Otros inconvenientes de detalle se atribuyen á la tracción eléctrica, como son el de la mayor competencia necesaria del personal y el mayor peligro que éste corre á causa de la existencia de corrientes á alta tensión; el exceso de valor de esta última consideración lo pone de manifiesto el escasísimo número de accidentes que acaecen en las instalaciones eléctricas en general y en las de tracción en particular, y si bien es verdad que se necesita al implantar la electrificación algún personal técnico adiestrado, el personal ordinario suele tardar muy poco en estar en condiciones de sustituirlo, aparte de que el personal de maquinistas requerido por la tracción de vapor necesita también una gran competencia técnica. También tratamos de esta cuestión al estudiar la posible economía en los gastos de personal con la electrificación.

El inconveniente fundamental de la tracción eléctrica es el del gran coste de su establecimiento, no compensando, á veces, por aumento en los ingresos ó economía en los gastos de explotación; estos inconvenientes de índole económica suelen ser decisivos, y como ejemplo daremos el cuadro con las razones económicas en las que fundamenta el Comité de Chicago para la supresión del humo y electrificación de terminales, su consejo nada favorable

á la electrificación; se trataba de un proyecto de electrificación, el más grandioso que se ha estudiado, afectando á una longitud de vías de 3.439 millas (5.534 kilómetros, más de la tercera parte de la total red española), pertenecientes á 37 Compañías.

	Pesetas.
La electrificación con corriente continua á 600 voltios y tercer carril, costaría.....	980.540.000
La electrificación con corriente continua á 2.400 voltios y línea aérea, costaría.....	958.334.040
La electrificación con corriente monofásica á 11.000 voltios y línea aérea (solución elegida como más económica), costaría lo que se consigna á continuación en el presupuesto, más detallado por conceptos:	

	Pesetas.	
I. Central de energía (carbón).....	51.510.520	
II. Líneas de transporte.....	8.093.465	
III. Subestaciones.....	10.123.680	
IV. Estaciones de conexión.....	2.865.365	
V. Línea aérea de contacto.....	140.705.040	
VI. Puentes de señales.....	5.359.045	
VII. Circuito de retorno.....	22.230.165	
VIII. Eliminación de la electrólisis é inducción.....	4.583.635	
IX. Rad telefónica.....	1.360.260	
X. Locomotoras eléctricas y material de inspección.....	458.517.765	
XI. Elementos para el equipo eléctrico	2.426.715	
XII. Cambios en pasos inferiores.....	4.171.305	
XIII. Cambios en líneas aéreas.....	10.140.035	
XIV. Cambios en el sistema de señales.	30.557.035	
XV. Expropiaciones, material é instalaciones inútiles, etc.....	186.468.730	
TOTAL.....	939.514.580	9.9514.580

Suma á descontar por material aprovechable.....	48.878.430
Coste del proyecto mínimo presentado por el Comité....	890.636.150
Coste adicional por mejoras y cambios precipitados por la electrificación.....	481.567.045
Coste TOTAL.....	1.372.203.195
Carga anual por interés y amortización.....	84.732.180
Economía anual en los gastos de explotación probable con la electrificación.....	11.683.465
DÉFICIT ANUAL PROBABLE con la electrificación.....	73.048.725

El enorme coste de cerca de 1.400 millones de pesetas que llevaba consigo la electrificación, con el subsiguiente déficit anual de 73 millones de pesetas, hacen completamente irrealizable ésta, al menos por ahora, porque aunque este capital habría de producir mejoras de todo orden (entre ellas el aumento de valor de fincas por supresión del 50 por 100 del humo de Chicago), estas mejoras son difficilísimas de justipreciar y el cobro del correspondiente aumento de valor de la propiedad completamente imposible, á no ser por el Estado ó organismos municipales.

La razón del presupuesto enorme de la electrificación de las líneas de Chicago radica en la cantidad enorme de material móvil á reemplazar, en el gran coste de las instalaciones por el precio de los salarios, en el gran número de instalaciones de las líneas de otras entidades que es necesario modificar, en el gran coste de expropiaciones, etc., y todo ello es causa de que el presupuesto de instalación alcance la inaudita cifra de 247.958 pesetas por kilómetro de vía electrificada, cifra no alcanzada por ninguna otra electrificación.

#### Estado actual del problema en los diversos países.

Muy útil ha de ser para todo el que quiera darse cuenta de las dificultades que presenta el problema de la electrificación de las líneas férreas, el investigar lo que se ha hecho en los diver-

sos países recopilando las soluciones que se han ido encontrando y poniendo de relieve lo satisfactorio de los resultados.

Es indudable la conveniencia de la unificación del sistema de electrificación, por razones ya expuestas, al tratar de los inconvenientes de ésta; pero justo es donfesar que es muy poco lo que se ha avanzado por este camino, y en páginas anteriores se especifican cómo siendo tan variables las necesidades del tráfico, y ajustándose de modo muy diverso á ella los diferentes sistemas de electrificación hoy conocidos, no es menester resaltar la dificultad de la unificación de éstos.

*Estados Unidos.*—Dos tendencias se han venido manifestando estos últimos años en lo que á la técnica ferroviaria se refiere, tendencias que reflejo son de una modalidad distinta de pueblos y costumbres: el espíritu emprendedor y confiado de los americanos, que ha permitido ese maravilloso desarrollo del país del Tío Sam, posee cualidades características bastante alejadas de las predominantes entre estos pueblos de la vieja Europa, medrosos ante la novedad, encariñados con una tradición que ennoblec, pero ata.

Resultas de la concepción americana de la vida son esas ciudades verdaderas precursoras de la ciudad del porvenir, ciudades que se extienden, invaden la campiña y precisan de poderosos y frecuentes medios de comunicación para su existencia; en este país la tracción eléctrica constituye una necesidad dada la importancia y desarrollo de las líneas urbanas y suburbanas, y de ello constituye una buena prueba el incremento enorme de la tracción eléctrica en los Estados Unidos y el Canadá, expresada en la siguiente estadística con longitud en millas.

AÑOS	Nuevos ferrocarriles eléctricos.	Ferrocarriles eléctricos.	TOTAL
1907.....	»	»	1.800,0
1908.....	1.174,5	84,8	1.258,5
1909.....	774,7	112,4	881,1
1910.....	1.204,8	192,4	1.397,2
1911.....	1.105,0	36,5	1.191,5
1912.....	839,4	80,8	950,2
1913.....	974,9	119,0	1.093,9
1914.....	716,5	229,9	946,4
1915.....	596,0	448,3	1.044,3

En los Estados Unidos, en que la mayoría de las líneas son de gran tráfico y abundante el carbón, hasta el punto de que han podido exportarlo á España en las presentes circunstancias, claro es que haciéndose la mayoría de las electrificaciones con Central de carbón suministradora de energía, pueden, siendo el carbón de buena calidad susceptible de transporte, distribuir las Centrales en número y situación conveniente para que no sea necesario elevar mucho la tensión en la línea, economizando el empleo de subestaciones transformadoras, y esto, unido á la gran importancia del factor «material móvil», hace muy recomendable el sistema de corriente continua para la electrificación, y de ahí que casi todas las líneas americanas lo adopten en forma de corriente continua á 600 voltios para servicio urbano y á 2.400 voltios para interurbano, llegando excepcionalmente hasta 5.000 voltios en el ferrocarril de Michigan United. Sin embargo, como hay casos en los que la elevación de tensión es muy conveniente, por emplear fuerza hidroeléctrica ó otras causas, el sistema monofásico se utiliza también, aunque en menor grado, siendo el elegido recientemente para la línea Filadelfia-Paoli (150 kilómetros) del ferrocarril de Pensilvania y el declarado más conveniente para la electrificación de la red de cercanía de Chicago. La frecuencia más generalmente adoptada en los Estados Unidos es la de 25 periodos, porque con esta frecuencia suelen producir la energía

en forma de corriente trifásica y con sencillos convertidores estáticos, como en el New-York New-Haven Hartford-Railroad, transforman esta corriente en monofásica; la tensión más general es la de 2.200 voltios, con 11.000 voltios entre fase y tierra.

El sistema trifásico, utilizado en el túnel de Cascada, parece al presente abandonado como sistema de electrificación, y la razón de ello hay que buscarla en la complicación y coste de la línea aérea y en la escasez de ferrocarril en los Estados Unidos á los que sean aplicables sus especiales características.

Como los trabajos de electrificación más importantes acometidos por los americanos en el año 1915 citaremos el de la implantación de la tracción eléctrica entre Three Forks y Deer Lodge Mont. (162 millas) del Chicago, Milwaukee, Ft. Paul Railway, con corriente continua á 3.000 voltios, en donde se ha ensayado

con éxito la recuperación de energía, la electrificación de la línea del Pensilvania ya citada y la del ferrocarril de Michigan con tercer carril.

Los Estados Unidos, país que tantísimo ha contribuido al progreso de la tracción eléctrica, sigue laborando con fruto, y de los ensayos de corriente continua á alta tensión (5.000 voltios) en la línea del Michigan United de las locomotoras monofásicas con motores de continua y rectificadas de mercurio del Westinghouse Railway y de las locomotoras monofásicas con motores trifásicos y convertidores de fase del Norfolk Western Railway, es de esperar que surjan perfeccionamientos que aumenten las probabilidades de éxito de la tracción eléctrica en su lucha con la tracción de vapor y marquen un paso de avance en el camino de la unificación de sistemas.

(Continuará.)

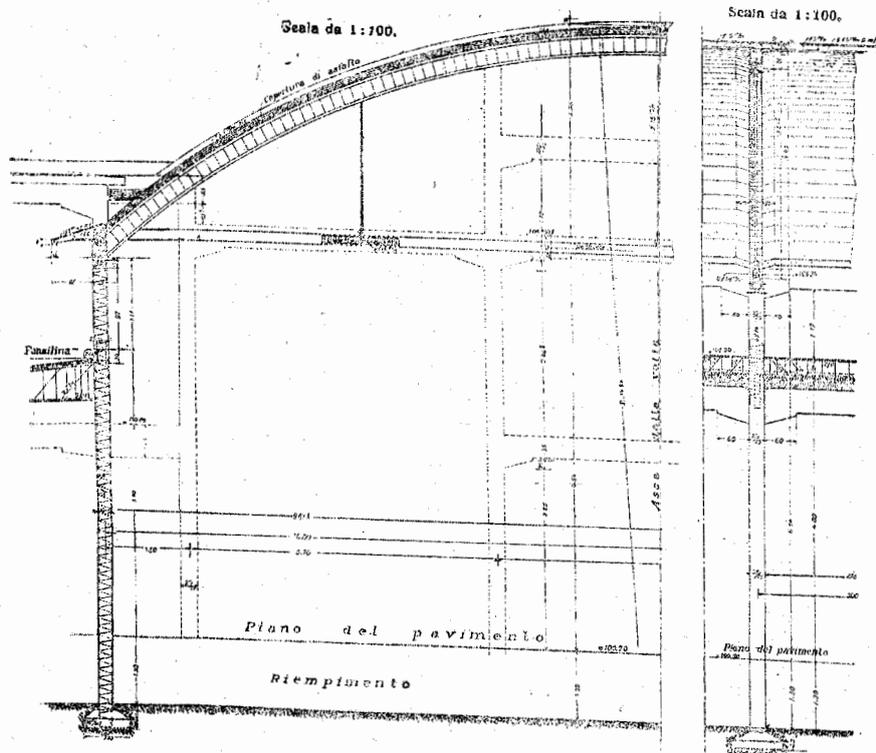
## REVISTA EXTRANJERA

### Techumbre en arco de hormigón armado.

La escasez y elevados precios de los hierros perfilados y de las maderas han hecho muy común el uso del hormigón armado para estructuras que se hacían antes exclusivamente de madera

gi Luiggi unos apuntes publicados en el *Giornale del Genio Civile*, de los cuales hacemos un resumen en la presente nota.

Empieza el autor diciendo que ejemplos notables de estas construcciones se encuentran en los establecimientos llevados á cabo en el transcurso del año pasado, en el Piemonte, Lombar-



Figs. 1.<sup>a</sup> y 2.<sup>a</sup>

y hierro, y así se ve adoptar corrientemente para los nuevos edificios industriales construcciones completamente de hormigón armado.

A tratar de estas estructuras dedica el Ingeniero Mario Lui-

gi y Liguria, y especialmente en los numerosos é importantes de la Sociedad Gio. Ansaldo, que hace construir techumbres enteramente de hormigón armado, con amplitudes hasta de 30 metros entre las columnas de sostén.