

medio, 5,50 m están por encima del carril, lo que permite arriostrar entre sí las dos vigas superiormente, dejando libre el espacio necesario para el gálibo. Además, llevan arriostramiento inferior (fig. 5.<sup>a</sup>).

Las vigas en los apoyos están reforzadas con montantes de mayor sección que los intermedios, como corresponde a las cargas que sobre ellos han de actuar (figura 6.<sup>a</sup>).

Los nuevos tramos han sido calculados con arreglo a las normas de la moderna Instrucción y, por tanto, teniendo en cuenta los nuevos trenes tipos y todos los efectos que en la misma se fijan, estando, por consiguiente, en excelentes condiciones de resistencia para que por el puente puedan circular en su día trenes de mayores cargas y a mayor velocidad que en la actualidad.

Como pueden observarse simultáneamente ambos tramos, el nuevo y el antiguo, es muy fácil darse cuenta de la diferencia de resistencia que a la vista ofrecen, pues mientras los primeros dan la sensación de robustez y seguridad, los segundos presentan un aspecto débil, y es quizá como mejor puede apreciarse a lo que obliga la moderna circulación por las vías férreas, en lo que se refiere a los tramos metálicos.

La Escuela de Caminos, que no escatima nada que redunde en beneficio de la enseñanza, dispuso que los alumnos de 5.º año visitasen estas obras el día 10 de diciembre pasado, por considerar el ilustre profesor de la misma, D. Domingo Mendizábal, que se encontraban en una fase de la construcción muy interesante para ser presenciadas por sus alumnos. Del resultado de esta visita son las anteriores notas

José MARÍN TOYOS

Alumno del 5.º año de la Escuela de Camino

## Anteproyecto de un plan general de electrificación de los ferrocarriles españoles

### I

#### Procedimiento para determinar el programa de electrificación de un país

Si examinamos la literatura técnica de nuestro país en los últimos cinco años, observamos que el tema objeto de estos artículos (que, comenzando por el análisis de los métodos más expeditos para la determinación de las líneas férreas a electrificar, ha de seguir por el estudio de la condición de mínima economía de una electrificación y terminar por la aplicación de tal fórmula económica a las líneas férreas españolas, formando así un programa de electrificación con las mayores garantías técnicas posibles) ha sido, salvo contados casos, poco estudiado e insuficientemente analizado, olvidando la verdadera trascendencia que tiene en el conjunto de la Economía patria. Del mismo modo, nada oficial, ninguna disposición Superior existe desde que, el año 1920, informó una Comisión de ingenieros nombrada al efecto (1), lo que ha dado lugar a la aparición sucesiva de varios programas de electrificación, que juzgamos en su mayor parte arbitrarios, ya que la simple formación de un plan de electrificación general no tiene valor intrínseco alguno si no va acompañada de estudios económicos bastantes a justificar, línea por línea, la necesidad de su electrificación, sobre todo en una materia tan propicia a la hipérbole. Así, primero debe demostrarse la conveniencia económica de la electrificación de una línea; después, su inclusión en el plan general es consecuencia lógica.

A este principio hemos tendido desde el comienzo de nuestras investigaciones (2), cuyo resultado, y sólo en síntesis, forma el contenido de éste y los sucesivos artículos, en los cuales desearíamos haber con-

cretado lo suficiente, aun dentro de la relativa exactitud de tal cuestión, para que la Superioridad (1) cuente con un elemento más en el enjuiciamiento de asunto tan complejo.

\* \* \*

El estudio de la electrificación de ferrocarriles ha evolucionado en los últimos años, pasando del carácter técnico propiamente al experimento, dando primacía sobre toda otra consideración a los resultados de la experiencia, a la economía de la tracción eléctrica comparada con la de vapor. La atención de los técnicos en los países de intensa electrificación, muy especialmente en los Estados Unidos, se ha concretado al examen más escrupuloso de los resultados económicos de la electrificación, en relación con el sistema de vapor sustituido. En efecto, el problema aparece técnicamente resuelto con las grandes electrificaciones llevadas a cabo, desde hace varios años, en los Estados Unidos, Suiza, Italia, Alemania, Francia, España, Suecia, Inglaterra, Brasil, Méjico, etc., etc. Y es únicamente la duda económica la que subsiste, es decir: las economías introducidas por la electrificación, ¿compensan las cargas del capital necesario para el establecimiento de la electrificación? O sea: los gastos y cargas del establecimiento eléctrico, ¿anularán las economías que tal sistema introduce, dados los elevados costes de locomotoras eléctricas, subestaciones, líneas de transporte y contacto, etc., teniendo además muy presente la más perfecta explotación por vapor de hoy en día, por consecuencia de los adelantos llevados a cabo en las máquinas de vapor? A esto responde, sin duda alguna, la actitud expectante de los técnicos americanos, traducida en una evidente paralización de nuevas electrificaciones en los Estados Unidos, hasta el punto de que sólo dos hechos importantes pueden citarse en los dos últimos años: nuevas locomotoras eléctricas para el ferrocarril del

(1) Compuesta por los Sres. Sánchez Cuervo, Prieto y Burgaleta, disconformes en sus conclusiones.

(2) El tema de éste y los sucesivos artículos es ampliamente desarrollado, y sus conclusiones demostradas, en un libro nuestro en prensa: *Análisis de la conveniencia económica de la electrificación de los ferrocarriles españoles*.

(1) Antes de ahora le es conocido el presente trabajo.

New-Haven y Detroit-Ironton, del sistema monocontinuo, 11 000 y 22 000 voltios, transformados a 600 voltios continuos en la locomotora misma, y la terminación de la electrificación del Virginian Railway, corriente monofásica a 11 000 voltios en la línea de contacto, transformada a trifásica en la locomotora, constituyendo las más potentes del mundo hasta la fecha (125 874 kg, 61 236 kg para los esfuerzos de tracción máximo y continuo a 22 km-h). Todo lo demás ha sido terminación de electrificaciones comenzadas; así, en el Great Northern, New-York Central, New-York-New-Haven-Hartford, Illinois Central, etc. (1). Algo han venido a concretar estas cuestiones enunciadas los resultados de la más importante electrificación mundial: la del Chicago-Milwaukee-St. Paul Railway (1 039 km), recientemente publicados, y que por la duración del estudio comparativo entre ambos sistemas de tracción (1916-1924) y la escrupulosidad de sus estadísticas, forman, sin duda alguna, el hecho más trascendental, desde el punto de vista de la experiencia, en la historia de la tracción eléctrica. A pesar de las condiciones bastante difíciles de la explotación en los últimos años, por consecuencia de la disminución de tráfico, las economías introducidas por la electrificación son de gran consideración, pues las economías brutas en el período 1916-24 suman la enorme cifra de 19 233 007 dólares, que es el 123 por 100 del coste neto de la electrificación, deducido el valor de las máquinas de vapor utilizadas en las secciones de la línea electrificada. De la misma importancia, relativamente, es la Memoria de la Compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España, sobre la electrificación más importante hasta hoy en nuestro país, la de la rampa de Pajares, y aunque el tiempo de experimentación sólo ha sido de un año y, por tanto, es posible exista algún error en sus conclusiones, da importantes cifras como medida de la economía total anual, de este modo:

|   |                    |
|---|--------------------|
| Coste de explotación de la tracción por vapor.....      | 3.813.355 pesetas. |
| Idem id. de la tracción eléctrica....                   | 2.619.921 "        |
| Economía anual.....                                     | 1.193.434 "        |
| Economía en el consumo de energía..                     | 55 por 100         |
| Idem en el recorrido de los tractores.                  | 47 por 100         |
| Idem en el tonelaje kilométrico del material mo.or..... | 83 por 100         |
| Idem gastos de conservación de las locomotoras.....     | 73,5 por 100       |
| Idem gastos del personal de éstas....                   | 63 por 100         |

Sin embargo, asunto de tal importancia para la Economía de un país, como el tratar de fijar un programa de electrificación, es preciso estudiarlo concretamente, a la vista de las condiciones de aplicación en cada caso: precio de los materiales, gastos de explotación, cuantía de los salarios, tráfico actual, tráfico probable una vez electrificadas las líneas, etcétera, etc. En una palabra, estudio económico de las electrificaciones a llevar a cabo.

### Conveniencia económica de una electrificación

Pero, además, es necesario tener en cuenta que algunos ferrocarriles deberán ser electrificados atendiendo principalmente a las dificultades de explota-

ción con la tracción de vapor, dependientes de las características especiales de su trazado: fuertes pendientes, túneles, etc. Lo que exige, como complemento de lo anteriormente dicho, un estudio especialmente técnico de algunas líneas en proyecto de electrificar. De este modo, el programa de electrificación de un país debe estudiarse a la vista de estas dos consideraciones:

a) Líneas cuya electrificación es conveniente, económicamente consideradas.

b) Líneas cuya electrificación es conveniente, por las dificultades técnicas de su explotación con la tracción de vapor.

Y esto, aun cuando casi siempre la condición b) determinará ventajas de índole esencialmente económica, una vez la línea electrificada.

\* \* \*

El estudio del primer punto, apartado a), puede concretarse de esta forma: *las economías brutas obtenidas con la electrificación de una línea deben compensar los gastos de interés y amortización del capital necesario para la electrificación, si ésta ha de ser conveniente económicamente considerada.*

Pero al obtener estas economías introducidas por la electrificación, se han seguido varios procedimientos que yo juzgo, sinceramente, incompletos, sobre todo al pretender fijar un plan general de electrificación de las redes de un país, y que enumeraré rápidamente:

#### 1.º Fórmulas de «Gastos de explotación»

Seguido casi únicamente por los ingenieros especialistas franceses, consiste en la obtención de una expresión general de los gastos de explotación por vapor, deducir de ésta la correspondiente para la explotación eléctrica y comparar ambos resultados, lo que dará el valor de la economía que introduce la tracción eléctrica. Pero hay gran dificultad en la obtención de las dichas fórmulas, y de ahí que hayan seguido varios procedimientos: en función del tráfico, del ingreso kilométrico (MM. Ricour, Baume, Aymot y, sobre todo, Picard), dando origen a la siguiente, apoyada en numerosas estadísticas:

$$E = a + bT \quad E = a + bI$$

Pero tiene el grave inconveniente de que no encierra el influjo de las pendientes de la línea, decisiva en una explotación por vapor, y ha sido modificada por MM. Baume, Noblemair, de Loynes, Jacquier, etcétera, encontrando que debía ser una función hiperbólica de la pendiente fundamental  $i$  de la línea. De este modo

$$K = \frac{52,5(1 + 0,4i)}{60 - i}$$

y deduciendo de aquí que la ley de variación de los gastos de explotación de una línea, por *kilómetro*, era de la forma siguiente:

$$E = [a + bT] \left( 1 + \frac{\lambda + \mu i}{i_0 - i} \right)$$

donde  $T$  es el tráfico de la línea, y los demás, coeficientes que varían de una línea a otra. Esta expre-

(1) Véase *Railway Age* (1 enero 1927, pág. 54) y *General Electric Review* (enero 1927).

sión, como cualquier otra obtenida por ese procedimiento de basarse en estadísticas numerosas, que varían de un país a otro, es inaceptable desde el punto de vista de la comparación de ambos sistemas de tracción, pues su gran generalidad impide el obtener los resultados precisos que exige un detenido estudio económico. De esta fórmula, M. Parodi obtiene una análoga para la tracción eléctrica y que, en nuestro sentir, adolece de los inconvenientes dichos, no dando cabida a los numerosos y distintos factores que influyen en la economía de una electrificación.

## 2.º Obtención parcial de la economía introducida por la tracción eléctrica

En este procedimiento los estudios se han limitado a encontrar parcialmente la economía resultante por el cambio de sistema, tomando como factor más importante la energía consumida y hallando la diferencia de costes de dicha energía en la tracción eléctrica y del combustible en la tracción por vapor. Pueden señalarse estos procedimientos:

a) *Combustible o energía en función del gasto de establecimiento de la electrificación.*—Según este criterio, M. Parodi, en trabajo recientemente publicado (1), ha deducido la fórmula siguiente

$$Q = \frac{P \cdot r}{100} \times \frac{1}{C(1 + 0,32)(1 + \varepsilon) + 3,57(1 + \varepsilon) - 100 \frac{p}{\lambda}}$$

en que  $P$  es el gasto de electrificación por kilómetro;  $C$ , precio de la tonelada de carbón sobre ténider;  $r$ , tanto por ciento de interés de  $P$  (aumentado en una unidad);  $p$ , precio de la energía eléctrica a la entrada de las subestaciones;  $\lambda$ , coeficiente dependiente del rendimiento de la tracción de vapor, y  $\varepsilon$ , coeficiente en por 100, dependiente del perfil de la línea.

Aunque muy interesante, esta fórmula adolece de lo dicho anteriormente y obtiene la diferencia de energía consumida sin tener en cuenta la influencia directa del tráfico, pendiente de la línea, condiciones de trabajo de los órganos motores, etc., atendiendo más directamente a los gastos de electrificación. Los resultados, pues, que se obtendrían aplicando esta fórmula a la comparación de los dos sistemas de tracción, no serían de una gran exactitud.

b) *Combustible o energía en función de la longitud virtual o pendiente de la línea.*—Las expresiones que se obtienen para la economía de una electrificación por cualquiera de estos dos procedimientos son bastante aceptables, puesto que tienen en cuenta las principales características de las líneas: pendiente, tráfico y longitud, de forma tan directa que las influencias de las variaciones de cualquiera de ellas se acusan con toda exactitud. Únicamente adolece este modo de calcular las economías producidas por una electrificación de que el problema sólo se resuelve en parte, y ésta, aunque constituya por sí misma el elemento fundamental de la economía global (combustible o energía), no es bastante a suministrar la cifra total de la economía probable que una electrificación introduce en la explotación de una línea o red. En efecto, junto a la diferencia del coste de

energía en ambos sistemas, debe colocarse la correspondiente a los gastos de tracción, diferentes del combustible, elemento también muy importante, y otros cuyo conjunto forma los «Gastos de explotación» de un ferrocarril. Así, los gastos de tracción de los ferrocarriles principales de España (red del Norte, Madrid, Zaragoza y Alicante, Andaluces y Madrid, Cáceres y Portugal) constituyen el 50 por 100, aproximadamente, de los totales de explotación; los de combustible, el 40 por 100 del total de material y tracción, o sea el 20 por 100 de los totales de explotación. Limitar, por tanto, el estudio comparativo de las tracciones eléctricas y de vapor a las economías en los consumos de combustible y energía eléctrica, es tratar asunto tan importante de un modo incompleto, cosa que no puede permitirse. Y aunque las dificultades de un estudio más general son grandes, debe, por lo menos, intentarse, lo que siempre nos llevará con un mayor grado de aproximación a la cuantía exacta de la economía buscada.

Las fórmulas correspondientes a las longitudes virtuales, pendientes medias y características, no pueden ser desarrolladas aquí (1). En todo lo que sigue es forzoso utilizar cualquiera de ellas al tener en cuenta la economía por combustible o energía, y razones que no son de este lugar (2) nos llevaron a adoptar las correspondientes a la pendiente característica de la línea.

\* \* \*

De todo lo que se ha dicho hasta aquí se deduce que el procedimiento que hemos seguido en los cálculos base del trabajo citado, para encontrar la economía que introduce una electrificación, ha sido *comparar en su mayor generalidad las diferencias de los gastos de tracción por vapor y por electricidad*. Y guiados del deseo de encontrar una expresión lo más general posible, con objeto de aplicarla a la determinación de las líneas que deben ser electrificadas en nuestro país, obtenemos una ecuación que en todo momento, y conocidas las características de la línea que se pretende electrificar, nos da la *condición de mínima economía de una electrificación*. De esta forma puede comprobarse rápidamente si una línea debe o puede electrificarse, económicamente considerada. Y aplicada sucesivamente, a modo de reactivo, a las líneas férreas de interés nacional de un país, por ejemplo, constituye un método expedito para determinar con suficiente aproximación el «Programa de electrificación» de los ferrocarriles españoles.

Las transformaciones sucesivas de dicha ecuación de mínima economía, y sus estados de aplicación práctica, son

$$[1] \quad G_v - G_e = C_e \quad G_v - G_e - C_e = 0$$

que nos expresa que la diferencia entre los gastos de explotación propiamente dichos por vapor y electricidad,  $G_v$  y  $G_e$ , deben compensar las cargas resultantes del capital necesario para el establecimiento de la tracción eléctrica,  $C_e$ .

(1) Ver el trabajo de mi compañero Sr. Lucia sobre longitudes virtuales (REVISTA DE OBRAS PUBLICAS, números 2 446, 2 447 y 2 448).

(2) Todo esto se desarrolla cumplidamente en mi trabajo en prensa antes citado.

(1) R. G. des Ch. de F. nov., 1925.—En. Fc. M., 1926.

$G_v - G_e - C_e < 0 \dots$  No puede, o debe, electrificarse la línea.  
 $G_v - G_e - C_e = 0 \dots$  La electrificación comienza a ser conveniente, económicamente coniderada.  
 $G_v - G_e - C_e > 0 \dots$  La electrificación es francamente conveniente.

otras condiciones de su trazado, o de su tráfico probable una vez electrificada, lo exigen. Y esto, que forma el aspecto b), puramente técnico, es el complemento que se necesita tener presente al querer fijar el «Plan general de electrificación» de nuestras líneas férreas (1).

Francisco JIMÉNEZ ONTIVEROS  
 Ingeniero de Caminos

Naturalmente, una línea cuya condición de economía sea la  $G_v - G_e - C_e = 0$ , o se aproxime a ella por defecto, puede ser conveniente electrificarla si

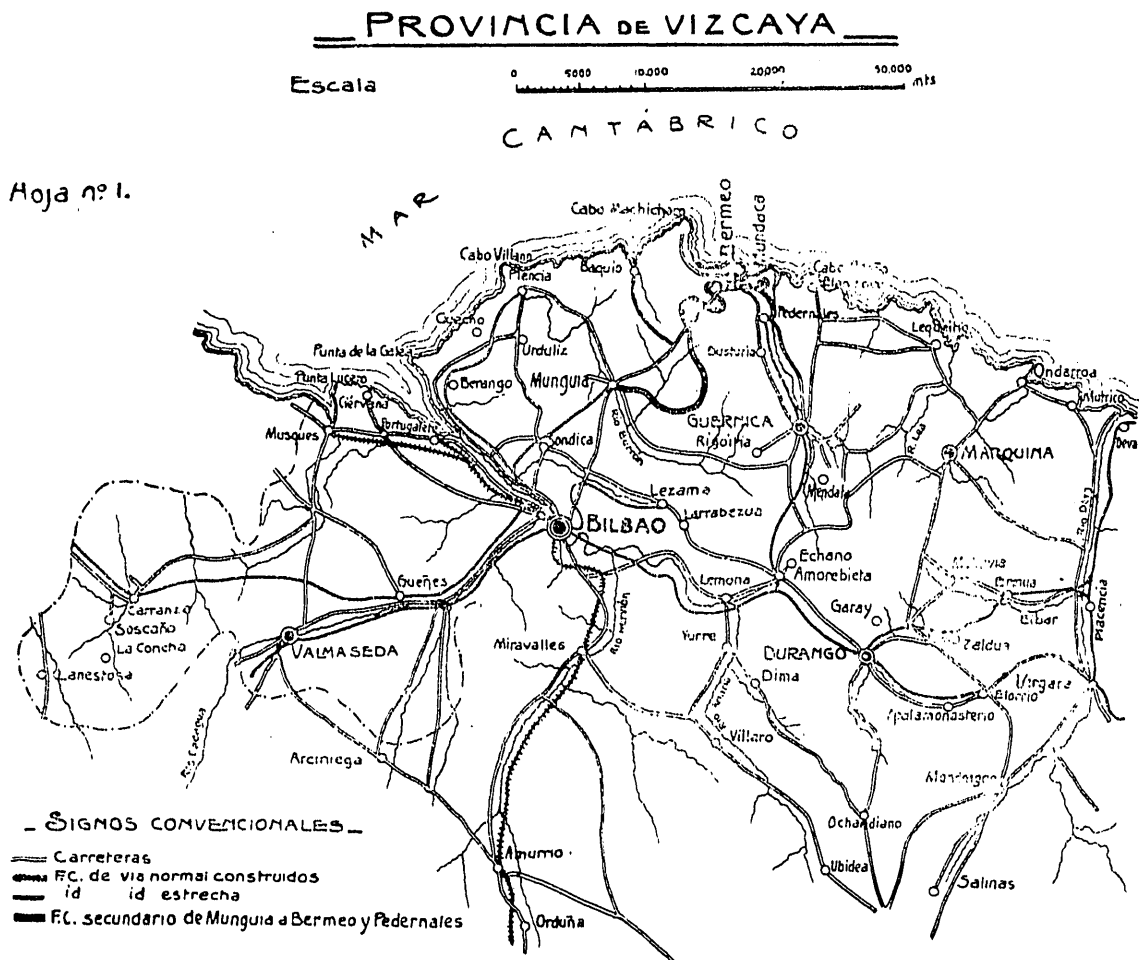
(1) Como veremos en algunas líneas de los Andaluces: Linares-Almería, Lorca a Baza, etc.

## Los ferrocarriles locales de Munguía a Bermeo y de Bermeo a Pedernales, en la provincia de Vizcaya

### Antecedentes

El año 1890, el ilustre ingeniero D. Ernesto Hoffmeyer (q. e. p. d.) fué encargado, por el Ayuntamiento de Bermeo y la Compañía del ferrocarril de Luchana a Munguía, de redactar un proyecto de

En los números de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS correspondientes al mes de abril de 1908 se hizo un resumen del proyecto, que fué redactado por el Sr. Hoffmeyer, y que después sirvió de base, con las variantes de mejora que se estimaron pertinentes para suavizar las rasantes y ampliar los radios de



ferrocarril que fuese la continuación hasta Bermeo de la línea de Luchana a Munguía, para cuya concesión se hallaba facultado el Gobierno por la ley de 14 de marzo de 1890, a favor de D. Manuel de Lecanda, y el 7 de agosto del mismo año también se señaló la misma facultad para la prolongación mencionada hasta el citado Bermeo.

las curvas alargando los túneles de paso obligado de las divisorias, para un proyecto, redactado por el Sr. Orbeago, entre Munguía y Bermeo, el año 1909, y para el que fué suscrito por mí, en 1918, abarcando la totalidad del secundario del plan vigente entonces, Munguía a Bermeo y Pedernales, toda vez que el de su primera sección, Munguía a