

ESTADO DE LA ELECTRIFICACIÓN DE FERROCARRILES EN ITALIA

POR RAMÓN M^a SERRET, PROFESOR DE LA ESCUELA

En los años 1937, 1939 y en el actual, han aparecido en *L'Energia Elettrica* una serie de artículos (debidos a Bajocchi) que reflejan, muy detalladamente, el estado de la electrificación de los ferrocarriles italianos, y que vamos a resumir y comentar por creer que constituyen una información de sumo interés.

I

Comparación entre la explotación con tracción de vapor y con energía eléctrica.

1) La red ferroviaria italiana de interés general explotada por el Estado tenía, en 30 de junio de 1937, una longitud de 16 898,97 km.; de ellos, 15 980,446 km., propiedad de aquél, y 918,52 km., de otras entidades.

De esta red, son de vía estrecha 595,602 km., y el resto, de ancho de vía internacional.

Además de la red citada, explotada por el Estado, se consideran de interés general 510,645 km., (de ellos, 237,053 km., de vía estrecha, y el resto, de ancho internacional), que son explotadas por entidades particulares.

En total, la red de interés general tiene una longitud de 17 409,615 km.; de ellos: 4 411,287 km., con doble vía, es decir, el 25,3 por 100.

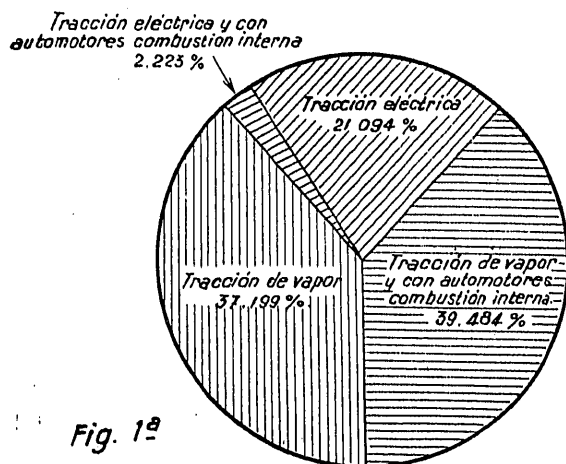


Fig. 1ª

La longitud explotada por el Estado es el 97 por 100 de la total de interés general.

2) La tracción en esta red se hace:

a) Solamente con vapor; b) con vapor y con automotores con motores de explosión; c) solamente con locomotoras y automotores eléctricos; d) con locomotoras eléctricas y con automotores con motores de explosión.

Las longitudes y tantos por ciento de red, en las que las tracciones son las anteriormente expresadas, son:

a)	6 476,228 km.	37,199 %
b)	6 864,100 "	39,484 "
c)	3 672,287 "	21,094 "
d)	386,900 "	2,223 "
TOTAL.	17 409,616 "	100,000 "

La figura 1.^a es la expresión gráfica de los anteriores tantos por ciento.

Se refieren todos los datos citados, así como los que posteriormente se enumeren, mientras otra cosa no se diga, al 30 de junio de 1937.

En las explotaciones con tracciones mixtas, b y d (vapor o energía eléctrica y motores de explosión), puede decirse que el 85,6 por 100 del tráfico se desarrolla con esa tracción mixta, y el 14,4 por 100 (solamente de viajeros) se hace exclusivamente con automotores con motor de explosión.

La explotación de la red, empleando automotores con motores de explosión, empezó en Italia en el año 1932, y la figura 2.^a expresa gráficamente el desarrollo de este sistema de explotación.

3) La explotación con tracción eléctrica se inició en Italia, de un modo real, por los años 1901-1902, y en la figura 3.^a puede verse el rápido desarrollo de la red, coincidiendo los máximos crecimientos en longitud de vía sencilla y doble electrificada con la implantación y desarrollo del régimen fascista.

La tangente de la recta que determina el crecimiento medio de longitud electrificada en los veintidós primeros años es del 36, y del 230, para los

catorce últimos años que figuran en el gráfico. Es decir, en los años de régimen fascista, 6,38 veces mayor que en los anteriores, desde que empezó la electrificación. La adopción de un plan, bien estu-

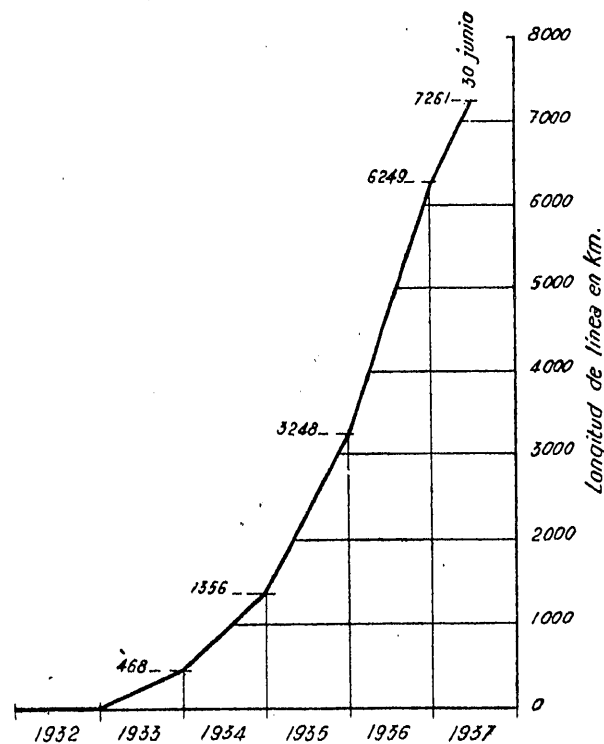


Fig. 2ª

diado y rígidamente cumplido, ha permitido estos resultados:

	VÍA	RED
En los años 1901-1902 existía electrificado	147 km.,	72,5 km.
En los años 1919-1920 existía electrificado	991 "	537,7 "
En los años 1929-1930 existía electrificado	3 371 "	1 639,0 "
En los años 1937-1938 existía electrificado	8 270,6 "	4 107,7 "

por lo tanto, los aumentos fueron:

	VÍA	RED
Del 1-2 al 19-20.	844 km.,	72,5 km.
" 20 al 30	2 380 "	1 101,3 "
" 30 al 38	4 899,6 "	2 468,7 "

o sea, en medias anuales:

	VÍA	RED
De 17 años (2 al 20)	49,6 km.,	4,3 km.
" 10 " (20 al 30)	238,0 "	110,1 "
" 8 " (30 al 38)	612,4 "	308,5 "

4) Cinco son los sistemas de electrificación ferroviaria actualmente existentes en Italia:

Corriente continua baja o media tensión	87,80 km.,	2,16 %
Corriente continua alta o media tensión	2 016,13 "	49,60 "
Corriente alterna trifásica, frecuencia ferroviaria	1 805,30 "	44,47 "
Corriente alterna trifásica, frecuencia industrial	118,20 "	2,91 "
Corriente monofásica. . . .	31,85 "	0,86 "
TOTAL. . . .	4 059,28 "	100,00 "

En el gráfico de la figura 4.ª se ve claramente la importancia que en toda la red electrificada tiene cada sistema.

Son, pues, la corriente continua de alta tensión (3 000 v.) y la alterna trifásica de frecuencia ferroviaria (16 2/3) las que casi exclusivamente pueden considerarse como empleadas en Italia para sus electrificaciones ferroviarias. La tendencia es que la corriente alterna trifásica con frecuencia ferroviaria sirva a la red norte-occidental de Italia y al trozo aislado Trento-Brennero (fig. 5.ª), y extender cada vez más la corriente continua de alta

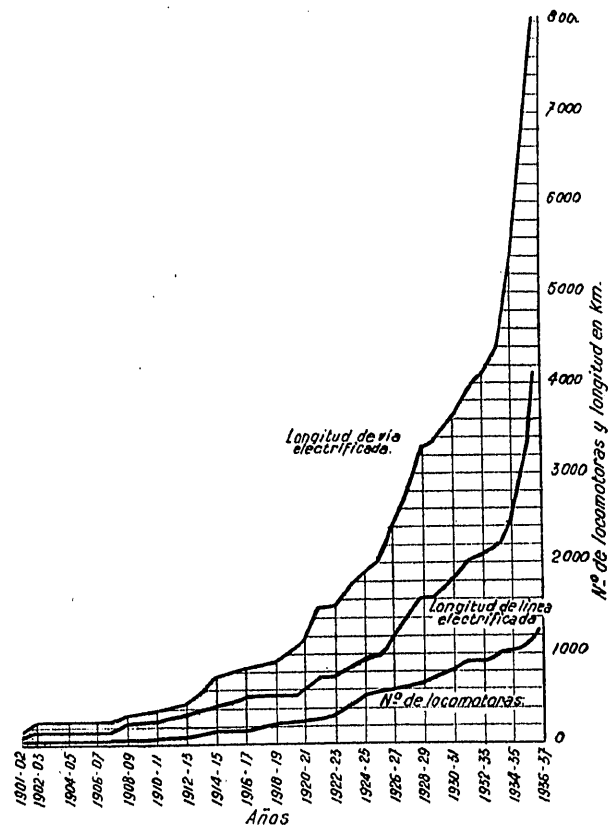


Fig. 3ª

tensión (utilizando convertidores-mutadores de mercurio), tanto en las nuevas electrificaciones como transformando algunas hechas en otros sistemas, como los 118,2 km. de Mandela-Sulmona,

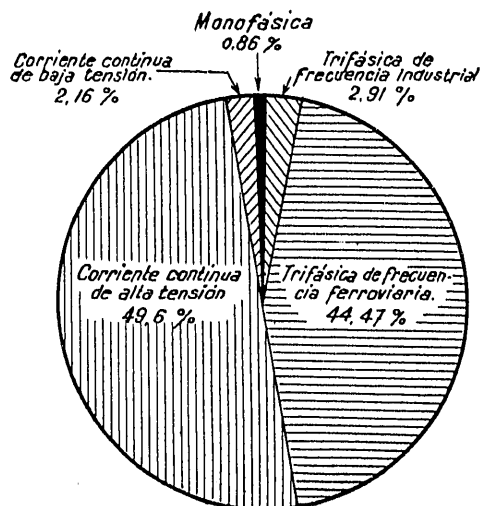


Fig. 4ª

actualmente en alterna trifásica con frecuencia industrial.

En 30 de junio de 1938, hay ligerísimas variaciones con relación a cada uno de los sistemas de electrificación, creciendo en 0,14 por 100 la electrificación en continua alta tensión, permaneciendo estacionaria la trifásica de frecuencia ferroviaria y decreciendo ligerísimamente el resto.

5) Para darse cuenta de la importancia relativa de las diferentes clases de tracción, no es suficiente el conocer la longitud de red explotada con cada una de ellas, puesto que puede ser, y lo es, en cada una muy distinta la densidad de tráfico.

Una idea más clara de como contribuye cada sistema a la explotación total puede obtenerse considerando el recorrido kilométrico de los trenes.

En el año 36-37, los recorridos kilométricos son en Italia:

Con vapor	88 504 046 km. - tren.
Con energía eléctrica	52 112 062 "
Con motores de explosión	15 946 359 "
TOTAL.	156 562 467 "

es decir, el 33,285 por 100 del recorrido kilómetro-tren se hizo con tracción eléctrica.

De los 15,94 millones de kilómetros-tren hechos

con tracción con motores de explosión, 14,64 lo fueron en tráfico exclusivamente de viajeros; 0,13, de mercancías, y 1,17, de material, maniobras y servicio.

Aún más que los kilómetros-tren, da una mejor idea de la importancia relativa de cada clase de tracción el número de toneladas/kilómetro virtuales remolcadas, puesto que son proporcionales al trabajo útil realizado.

La relación entre las toneladas/kilómetro virtuales remolcadas con energía eléctrica y las totales fué, en el año '35-36, del 37,34 por 100, subiendo casi al 50 por 100 (exactamente, el 44,777 por 100) en el año 36-37.

En el año 37-38, la relación anterior sube al 47,696 por 100. Las toneladas/kilómetro virtuales remolcadas son en este año:

Con vapor	32 393 422 300
Con energía eléctrica	29 539 652 200
TOTALES.	61 933 074 500

Si en el mismo año 37-38 se comparan las toneladas/kilómetro virtuales totales, la relación es del 41,455 por 100, y los valores para cada tracción son como sigue:

Con vapor	53 687 860 000
Con energía eléctrica	38 331 283 000
Con motores de explosión.	965 947 000
TOTALES.	92 985 090 000

En el año 36-37, las relaciones entre el número de toneladas/kilómetro reales remolcadas a la longitud de la red explotada con una y otra tracción, o sea la densidad de tráfico, valen:

Con vapor	$\frac{27\ 469\ 293\ 500}{13\ 340,328} = 2\ 057\ 575,506$
toneladas remolcadas a un kilómetro.	
Con tracción eléctrica	$\frac{19\ 903\ 488\ 300}{4\ 059,287} = 4\ 903\ 198,098$
toneladas remolcadas a un kilómetro.	

Es decir, que, en el año citado, el tráfico medio kilométrico en la red explotada con tracción eléctrica es el 238,3 por 100 del que corresponde a la red explotada con tracción de vapor.

Para toda explotación, es dato muy importante el peso medio de los trenes remolcados, siendo en Italia, para el año 36-37, de 315,135 toneladas en la tracción de vapor, y 381,936 toneladas en la

tracción con energía eléctrica, es decir, el 21,2 por 100 de aumento en esta última con relación a la primera.

6) Entre las mejoras que la tracción eléctrica lleva aparejadas, está el gran aumento conseguido en la velocidad comercial. Como ejemplo de ello, citamos la línea Roma-Regio-Calabria (688 km.), con velocidad comercial en el año 1928 de 37,7 kilómetros/hora y 65,52 km./h. en el año 1937, después de electrificada. Se obtiene un crecimiento en tanto por ciento del 73,7 por 100. Se espera llegar a una velocidad comercial de 81 km./h. al emplear automotores eléctricos, pasando desde 20,3 horas para el trayecto Roma-Regio-Calabria, en el año 1900, a 8,30 horas, bastante menos de la mitad.

7) Los gastos en los años 34-35, 35-36 y 36-37 ascienden, para elementos fijos de la electrificación, a 507,2 millones de liras, o sea una media anual de 167,5 millones.

En noviembre de 1938, entraron en servicio las electrificaciones siguientes, con un total de 811,8 kilómetros:

Roma-Livorno (315,3); Milán-Bolonia-Ancona (422,2); Florencia-Fornovo-Parma (47,7); Diramazione-Ponte Galera-Fiumicino (10,3); enlace de la estación de Pisa (9,3); Florencia-Salzemaggiore (9,00).

8) El parque de locomotoras útiles estaba formado el año 36-37 como sigue:

De vapor	4 669
Eléctricas.	1 281
Con motores de explosión.	305
Total.	6 255

Es decir, que las locomotoras de vapor hacen al año, cada una, 5,9 millones de toneladas-kilómetro reales remolcadas ($\frac{27\ 469\ 293\ 300}{4\ 669}$), y las eléctricas 15,5 millones de toneladas/kilómetro reales remolcadas ($\frac{19\ 903\ 488\ 300}{1\ 281}$). Por lo tanto, una locomotora eléctrica fué, en el año 36-37, equivalente en Italia a 2,62 locomotoras de vapor, entrando en este número las necesarias para reserva, reparaciones, etc., y comprendiendo en él tanto locomotoras como automotores.

El número anterior es sumamente interesante,

y está por encima del generalmente admitido, que oscila entre 1,5 y 2,0.

Ello es lógico y natural, pues las ventajas de una electrificación crecen a medida que es mayor el número de kilómetros electrificados, tanto como el de tonelaje kilométrico anual remolcado, y es en la red italiana en donde esto puede hacerse más ostensible, ya que figura a la cabeza entre las electrificaciones europeas.

El recorrido kilométrico de cada locomotora de vapor es de $\frac{88\ 504\ 046}{4\ 669} = 19\ 000$ km./año, y de las eléctricas $\frac{52\ 112\ 062}{1\ 281} = 41\ 462$ km./año, o sea que el recorrido de las eléctricas es $\frac{41\ 462}{19\ 000} = 2,18$ veces de una de vapor. Se han tenido en cuenta todas las locomotoras, o sea las en reparación, maniobra, etc., y los automotores. El número anterior es ligeramente inferior (0,44) al obtenido anteriormente, cosa natural, pues el tonelaje de los trenes eléctricos es mayor que el de los de vapor.

9) Los gastos específicos, para consumo de energía, por 1 000 toneladas/kilómetro virtuales remolcadas con vapor, son:

Año 34-35	53,7 kg. de antracita.
" 35-36	51,9 "
" 36-37	50,9 "

y para energía eléctrica:

Año 34-35	33,6 kw./h.
" 35-36	30,7 "
" 36-37	29,4 "

medidas del lado de alta en la central o nudo suministrador.

Las equivalencias entre carbón y kw./h. fueron en Italia, en los años citados, de 1,60, 1,69 y 1,71 kilogramos de carbón por kw./h. Los números anteriores están deducidos comparando tráficos y líneas distintas; unas, las explotadas con tracción de vapor, y otras, las explotadas con energía eléctrica, no pudiendo tomarse como equivalentes en la comparación de una misma línea.

La disminución de consumo específico de carbón (5,2 %) es debida a haberse retirado locomotoras anticuadas y sustituidas por otras de último tipo, y la de la energía eléctrica (12,5 %), al haberse puesto en explotación líneas de gran longi-

tud y gran densidad de tráfico (Florenia-Roma-Nápoles), a una mejor distribución de centros alimentadores de energía y al aumento hasta 120-130 kilowatios de la tensión en las líneas primarias.

El precio medio del carbón fué, en el año 35-36, 89,14 libras/tonelada, y el de la energía eléctrica, 0,157 libras/kw./h.

El coste de arrastre de las 1 000 toneladas/kilómetro virtuales remolcadas fué:

Con vapor.	$51,9 \times 89,14 / 1\,000 = 4,626$	libras.
Con energía eléctrica. $30,7 \times 0,157$	$= 4,820$	"
DIFERENCIA.	0,194	"

o sea, 0,194 libras por 1 000 t./km-v. r., más caro con tracción eléctrica que con vapor (desde luego, en líneas distintas), y, sin embargo, Italia sigue poniendo en práctica sus planes de electrificación, con la vista puesta en sus miras antárticas de no importar materias que precisa en gran parte pagar con oro y que, cuando no tiene más remedio que hacerlo, estudia cuál es preferible importar, y, por ello, trata de igual manera al carbón y a los carburantes, y estudia cuál tiene más ventajas técnicas y económicas en la explotación, *si ella no es conveniente hacerla con tracción eléctrica*.

Los gastos de tracción en el año 35-36 fueron:

Tracción con vapor. 0,01310 libras/T-km. virt.-remol. ^o			
Tracción con energía eléctrica	0,01060	"	"
DIFERENCIA.	0,0025	"	"

es decir, el 19 por 100 de economía con la tracción eléctrica sobre la de vapor, y para los 20 064 millones de toneladas/kilómetro virtuales remolcadas con tracción eléctrica, 50,2 millones de libras.

Aun con el aumento de 0,194 libras por 1 000 toneladas por kilómetro virtuales remolcadas hay economía explotando con tracción eléctrica.

El aumento de coste, por mayor precio de la tracción con energía eléctrica (si la de vapor y eléctrica se hubieran hecho sobre las mismas líneas), debido al precio de ésta, para los 20 064 millones de toneladas/kilómetro virtuales remolcadas, vale 3,9 millones de libras, resultando así la economía por tracción eléctrica, en el año 35-36, de 50,2 — 3,9 = 46,3 millones de libras. En el año 35-36, el número de kilómetros electrificados era de 7 020, y de 3 276,8 con 1 105 locomotoras.

En lo anterior no se han tenido en cuenta los intereses y amortizaciones del capital de establecimiento.

Los gastos tenidos en cuenta para encontrar las medias antes citadas son para tracción de vapor:

1.^o Dirección y personal de depósitos de locomotoras y parques de combustibles. Personal de maquinistas, fogoneros y encendido.

2.^o Recambios y reparaciones de locomotoras, carbón, engrases. Alumbrado de locomotoras, combustible o energía para motores fijos de depósitos de locomotoras. Aguadas. Calefacción de trenes.

3.^o Conservación de locomotoras y automotores de vapor.

Para la tracción eléctrica:

A) Dirección y personal de depósitos de tractores y automotores. Conductores de tractores y automotores.

B) Recambios y reparaciones de tractores y automotores. Energía eléctrica para tracción, engrases y alumbrado. Combustible para calefacción de trenes con furgón especial. Gastos varios.

C) Conservación de tractores y automotores.

D) Personal de explotación de instalaciones eléctricas.

E) Recambios y reparaciones en material de líneas de energía y de contacto. Gastos varios.

F) Conservación de líneas para la electrificación y de contacto.

Los gastos propios de tracción (A, B y C), aumentados de los intereses y amortizaciones de los gastos de adquisición de tractores y automotores, oscilan entre el 60 y el 65 por 100 del coste total, y el resto corresponde a los gastos propios de las instalaciones fijas.

Es, por lo tanto, *sumamente interesante el disminuir las causas que originan los primeros gastos citados*, lo que se consigue *disminuyendo todo lo posible el parque de locomotoras eléctricas*, e igualmente *disminuyendo los gastos de conservación*; ambas cosas se alcanzan, en gran escala, *unificando los tipos y aumentando la utilización diaria de los tractores y automotores* y llevando al máximo el recorrido posible entre dos grandes reparaciones.

En estos caminos, se ha empleado a fondo la ad-

ministración Estatal de los Ferrocarriles Italianos, obteniendo grandes resultados.

10) El gasto medio en el año 37 por kilómetro de vía sencilla electrificada ha llegado a 853 000 liras, de las cuales, aproximadamente la mitad, han sido absorbidas por las instalaciones fijas, o sea de las líneas primarias, subestaciones y líneas de contacto, y la otra mitad por las obras accesorias, o sean las de instalación de aparatos, centralización de señales, comunicaciones telegráficas y telefónicas, iluminación eléctrica de estaciones, refuerzo de puentes, sistematización de depósitos y de oficinas, sistematización de medios auxiliares en estaciones, etc. La cifra antes estampada no comprende, por lo tanto, tractores ni automotores.

La cifra citada ha sido ligeramente superada en la electrificación de la línea Battipaglia-Reggio-Calabria, recientemente puesta en explotación, con tracción eléctrica (longitud, 400 km.). En esta línea, el kilómetro de simple vía alcanzó la cifra (en las condiciones antes detalladas) de 867 500 liras. Además de los trabajos citados anteriormente, en esta electrificación se han reforzado y se ha reformado el trazado de muchos túneles. El importe total de esta electrificación se acerca a 350 millones de liras. Ni el importe total de estas obras, ni el elevado coste unitario hacen desistir a Italia de su plan de electrificaciones y mejora de los ferrocarriles.

11) El carril en las electrificaciones italianas es, en casi todas, nuevo, con pesos de 50,6 y 46,3 kilogramos por metro, y, excepcionalmente, viejo, de 36 kg./m.

La tendencia es de suprimir juntas, y en gran parte de la electrificación la vía está con carriles de 36 metros de longitud, sin soldadura, y en los túneles, de 90, con cinco soldaduras (5×18).

* * *

12) Desconocemos si actualmente se explotan eléctricamente las secciones Voghera-Ancona (54,0); Milán-Chiavasso (50,7) y Falconara-Orti (102,8); en total, 307,5 km., que debían inaugurarse en octubre del año 1939; suponemos que sí, puesto que las secciones anteriormente citadas, inauguradas el 12-XI-38, lo debieron ser en octubre del mismo año; esta exactitud en las fechas nos induce a creer que se habrá cumplido el pro-

grama del año 39. Si así fuera, el número de kilómetros de red electrificada sería de 5 217, o sea el 30 por 100 de los ferrocarriles de interés general.

El programa de electrificaciones comprende

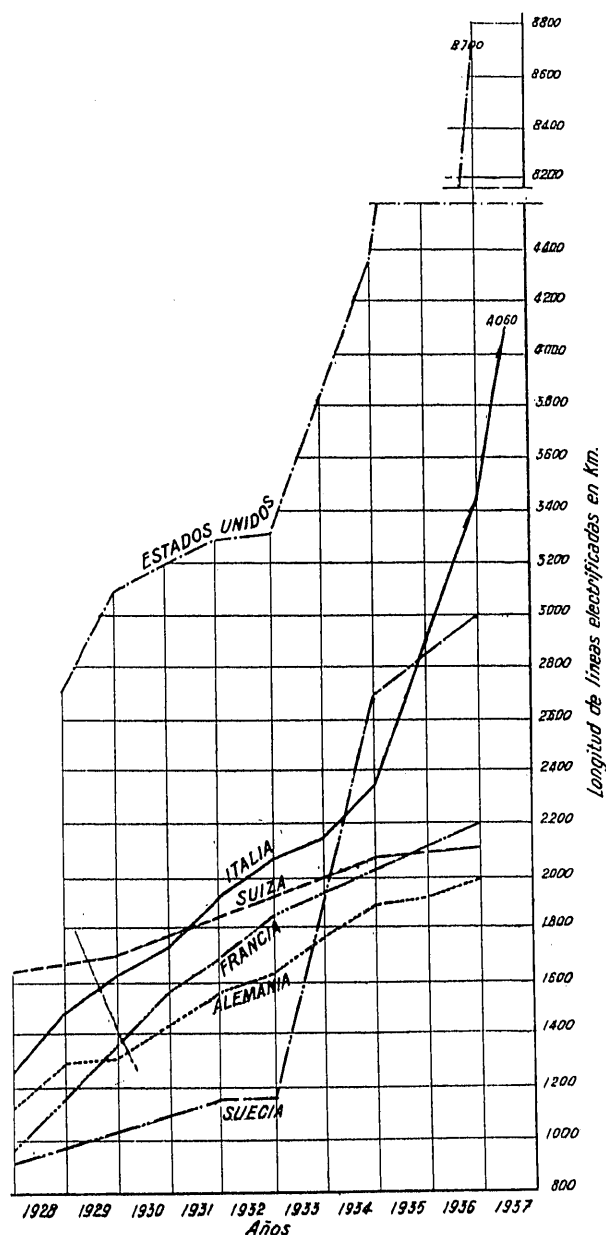


Fig. 6.º

9 000 kilómetros de red, que serían el 75 por 100 del tráfico total italiano; y, entre otras líneas, trata de electrificarse Bolonia-Trento, con lo cual (por estar electrificada ya hasta el sur de Italia) existirá en la línea Berlín-Reggio-Calabria la línea electrificada más larga del mundo.

El entonces ministro de Comunicaciones, S. E. Constancio Ciano, en 15 de enero de 1934, en el Senado del Reino, al comentar el presupuesto de las Comunicaciones, decía:

“Y ahora dividiremos la red en dos grandes categorías; una, que conservará el verdadero carácter ferroviario y será la de las grandes arterias nacionales, la red principal, y que será explotada con tracción eléctrica y con las mayores velocidades posibles; otra — que no querría llamar secundaria, pero que terminará por tener esta clasificación —, que será explotada con medios rápidos y sistema tranviario, que al ser más económico y más rápido, tendrá la posibilidad de aumentar su rendimiento.”

“.. se puede preveer que de los 16 731 km. de longitud de la red, 9 000 km. serán electrificados, y 7 731, explotados con automotores.”

Italia importa del extranjero el carbón y la gasolina; tanto le da una cosa como otra. Otra cosa sería su plan autártico si tuviera carbón.

El anterior programa de electrificación es digno del esfuerzo fascista, que ha querido resolver una serie de problemas ferroviarios y de economía nacional, que la electrificación cumplidamente resuelve.

Y ahora surge la pregunta: ¿cumplido el programa de los 9 000 km., que hará llegar al 51,7 por 100 la longitud de red electrificada, deberá seguirse? Y en caso afirmativo, ¿en qué secciones?

Razones de todo orden deben tenerse en cuenta

al resolver este problema, y ellas no son totalmente, ni mucho menos, ferroviarias.

En 1937, el gasto de carbón para toda Italia, importado del extranjero, ascendió a 1 056 609 000 de liras (9 864 421 toneladas, a 107,8 liras tonelada). De estas 1 805 018 toneladas, o sea unos 198 millones de liras, para los ferrocarriles.

13) En la figura 5.^a puede verse la red de ferrocarriles italianos y las secciones electrificadas; son éstas las de línea gruesa llena, y las en proyecto, de línea gruesa de puntos.

La figura 6.^a muestra gráficamente el desarrollo de las electrificaciones ferroviarias en el mundo. Este gráfico sólo es aproximado, por la diferente manera de agrupar los ferrocarriles en las distintas naciones. Desde luego, solamente figuran las redes principales, prescindiéndose de las secundarias, metropolitanas, suburbanas y tranvías. Para Suiza sólo se ha tenido en cuenta la red del Estado, de ancho normal.

Italia está en la vanguardia de las electrificaciones ferroviarias de Europa, y es la segunda del mundo.

Las electrificaciones en Italia eran, en 1927, de 1 022,195 km.; de 4 059 km., en 1937; es decir, en diez años, un crecimiento de 3 037 km., o sea de más de 300 km. al año.

En un próximo artículo se describirán las instalaciones fijas de la electrificación y los tractores y automotores.

• NOTA BIBLIOGRÁFICA •

La Industria del Cemento en España, por Patricio Palomar, Ingeniero Industrial. — Un volumen de 158 páginas con numerosos grabados. — Imprenta de A. Ortega, Arribau, 7. Barcelona.

El ilustre Ingeniero Sr. Palomar, que tan interesantes trabajos tiene publicados acerca del cemento, ha reunido en éste una porción de datos del mayor interés acerca del desarrollo técnico y económico de la industria del cemento durante los años de nuestra guerra de liberación.

Empieza recordando la situación de esta importante industria en nuestro país antes del Alzamiento, y presenta datos concretos de producción y consumo, continuando luego con un estudio detallado

de los terribles efectos destructores de la guerra y la revolución.

Después, entra de lleno en el problema actual, y estudia puntos tan interesantes como la relación de esta industria con la autarquía, así como las posibilidades de aumentar el consumo en España y fomentar la exportación del cemento. Señala también las perspectivas que este problema presenta en nuestro país, y termina dedicando un capítulo al Centro de Investigaciones sobre Cementos y Hormigones.

En un anexo publica el pliego general de condiciones y otras disposiciones sobre arenas, así como un artículo de Peña Boeuf, publicado en 1936 en la revista *Cemento*.