

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

Electrificación de ferrocarriles ⁽¹⁾

POR

D. JOSÉ LUIS VALENTÍ Y DORDA

Ingeniero de Caminos.

Alemania.—Imposible es tratar de cualquier ramo del progreso humano sin que este nombre escape á nuestros labios: por enemigos que seamos de algunos extravíos del espíritu germano, admiramos profundamente sus cualidades de laboriosidad y ansia de perfeccionamiento bien claramente demostradas en lo que á tracción eléctrica se refiere.

Puede asegurarse sin temor á error que Alemania es el país que junto con los Estados Unidos, más ha contribuido al perfeccionamiento de la técnica en este ramo, y en los datos históricos que, figuran anteriormente, puede comprobarse este aserto; especialmente el sistema monofásico puede decirse que allí nació, allí fué ensayado y de allí ha partido su grandioso desarrollo.

Con comarcas extensísimas privadas de energía hidráulica en cantidad aprovechable, pero ricas en turbas y otros combustibles de escasa capacidad calorífica que no sufragan bien los gastos de transporte, claro es que conviene emplear las Centrales productoras de energía en los yacimientos de estos combustibles, y como las distancias de transporte hasta los puntos de aplicación pueden ser considerables, de ahí que convenga elevar la tensión en las líneas de transporte y disminuir el número de subestaciones, condiciones á las que se presta admirablemente el sistema monofásico. Esta, unida á las otras ventajas características de este sistema, son las que han aconsejado su adopción á la administración de los ferrocarriles del Estado de Prusia.

La administración de los ferrocarriles del Estado de Baviera decide también emplear el sistema monofásico para la electrificación de su red utilizando la energía hidráulica almacenada en sus montañas, y el Estado de Sajonia sigue su ejemplo, pudiendo asegurarse que en Alemania el sistema que cuenta con más decididos partidarios es el monofásico con producción directa de energía en dicha forma.

Las electrificaciones efectuadas últimamente son las de Magdeburgo-Leipzig-Halle (126 kilómetros) y de Lauban Koenigszell (269 kilómetros) ambas con corriente monofásica á 15.000 voltios y $16 \frac{2}{3}$ periodos.

Suiza.—Con posterioridad á la electrificación con corriente trifásica de algunas líneas de montaña y del túnel del Simplón, y con corriente monofásica del túnel de Loetschberg, se nombró una Comisión, varias veces citada en esta Memoria, que decidió que el aprovechamiento de la energía hidráulica, allí tan abundante, en forma de corriente monofásica á alta tensión, tensión rebajable en las subestaciones, era el sistema indicado para la electrificación; el informe del Ingeniero Mr. Thorman, sobre los favorables resultados de la electrificación de la línea del Loetschberg con corriente monofásica á 15.500 voltios, instalación en la que el rendimiento global anual, incluido el consumo de los circuitos auxiliares, es de un 66 á 68 por 100, ha venido á corroborar la opinión favorable á este sistema; Mr. Thorman, en la reunión de representantes del Consejo Federal, del Ministerio del Interior y de la Dirección de los ferrocarriles federales suizos, habida recientemente, se ha mostrado partidario de que la generación de la energía para la tracción sea independiente de la destinada á luz y otros servicios, y que la razón de la más fácil transformación en las subestaciones no debe influir en la elección de sistema; creo que en esta última afirmación hay evidente exageración, pues la fácil transformación de la corriente se revela muy directamente en la economía del ferrocarril y constituye por esto consideración muy atendible. Claro es que al afirmar esto Mr. Thorman procura defender el sistema monofásico frente al trifásico con argumentos innecesarios y exagerados.

Wyssling afirmó en la misma reunión que, financieramente considerada la electrificación de la red federal, no suponía gran economía, pues si bien ésta alcanzaría á unos 25 millones de francos anuales en los gastos de explotación, como habrá que pagar de interés por el capital de establecimiento de ésta de 15 á 25 millones anuales, el beneficio real será probablemente nulo, pero que la electrificación es conveniente por el aumento de riqueza grande en otros órdenes, que producirá en el país por consideraciones de índole social, etc. La primera línea del Estado que se electrificará con arreglo al plan aprobado será la del Gotardo, cuyas obras han comenzado ya.

Inglaterra.—Siendo el distintivo de este país su riqueza hullaera, casi tan considerable como su pobreza de energía hidráulica, y el gran tráfico de sus líneas, fácil es comprender que, siendo factible el disponer Centrales de vapor productoras de energía á poca distancia de los grandes núcleos ferroviarios, lo que evita la necesidad de la elevada tensión en las líneas de transporte y de contacto principal, ventaja del sistema monofásico, sea el sistema de corriente continua el más desarrollado en este país, á elevada tensión para las líneas de gran longitud; sigue, pues, la misma

(1) Véase el número anterior.

tendencia americana, y justo es decir que un poco á remolque.

La electrificación con corriente continua del ferrocarril Londres-South-Western (Sudeste), en unas 250 millas del nuevo trazado, está muy adelantada; igualmente progresa la electrificación de la línea entre Euston y Watfor en el ferrocarril Londres-North-Western (Noroeste) y la ampliación del de Londres á Brighton con corriente monofásica se ha demorado por la guerra europea, porque el motor y el equipo de regulación fué hasta entonces suministrado por la A. E. G. de Berlín. Una mejora interesante es la que representa el Post Office Railway, de Londres, en el que los trenes postales serán accionados eléctricamente por reguladores á distancia.

Italia.—Es este país de gran riqueza en energía hidráulica y pobre en carbón, de condiciones muy análogas á nuestra España, la concentración de la producción de energía en las Centrales hidráulicas hace necesario el empleo de tensiones elevadas en las líneas de transporte, y como se ha adoptado el criterio de adquirir la energía de Empresas particulares que engendran la energía en forma de corriente trifásica á alta tensión, claro está que el sistema trifásico es el que requiere más sencilla transformación; unido esto á que una de las primeras líneas á electrificar fuera la del túnel del Giovi, en la que la recuperación de energía ofrecía grandes ventajas, por lo que el sistema trifásico fué el adoptado con excelente resultado, han sido motivos suficientes para decidir al Estado italiano por elegir este sistema para la electrificación de las líneas Savona-S. Giuseppe-Ceva y Lecco-Monza.

Sin embargo, el sistema monofásico tiene también partidarios, y buena prueba de ello es que es el adoptado para la electrificación de los ferrocarriles secundarios y complementarios de Sicilia; las razones que aconsejan esta electrificación son las siguientes:

Con tracción de vapor los 4.562.000 trenes kilométricos que se realizarían al año significarían un consumo de carbón (teniendo en cuenta los servicios auxiliares) de 70.000 toneladas, que á 50 liras la tonelada supondrían 3.500.000 liras al año, de las cuales sería Italia tributaria al extranjero.

Los gastos para el suministro de la energía eléctrica para el transporte de 450 millones anuales de tonelada-kilómetro (que corresponde al presunto servicio con tracción de vapor, aumentando con el 20 por 100 en consideración al mayor tráfico) resulta de 2.400.000 liras al año, que recaerán por completo en provecho de la industria nacional.

La diferencia de 1.100.000 liras al año entre los gastos para la adquisición del carbón y los del suministro de la energía se reparte del modo siguiente: medio millón por la menor subvención gubernativa establecida en la ley de 21 de Julio de 1911 y el remanente de 600.000 liras destinadas al mayor costo de la mano de obra y al aumento del personal ferroviario especial, requerido por la electrificación y por la intensificación del servicio en general.

Los gastos para la electrificación de toda la red ascenderán á 31.250.000 liras, que corresponden á 25.000 liras el kilómetro.

La primera dotación de material móvil para la tracción eléctrica de los ferrocarriles secundarios, comprendido el material ordinario, importará 12.898.000 liras, ó sea 16.122 liras por kilómetro, con un aumento total de 3.335.000 liras sobre el necesario para la tracción por vapor.

El material móvil de los ferrocarriles complementarios costará 5.840.000 liras.

En resumen, el sistema trifásico no se ha empleado hasta ahora en Italia más que en líneas de escasa longitud, puertos, rampas, tráfico pesado de mercancías y velocidades moderadas, y

hasta que sea utilizado en ferrocarriles de características más generales no se podrá comprobar con fundamento su hasta ahora excelente resultado; el sistema que indudablemente alcanzará en Italia su gran desarrollo en las líneas de no gran longitud y mucho tráfico es el de corriente continua á alta tensión, y muchísimos ejemplos de ferrocarriles suburbanos que lo han adoptado podrían exponerse.

La resistencia por el Estado italiano á emplear el sistema monofásico obedece á causas muy complejas, entre las cuales figura el temor á perturbaciones en las líneas telegráficas y telefónicas.

Francia.—Aquí el sistema trifásico no ha sido empleado y el sistema de continua es el que ha alcanzado mayor desarrollo; la Compañía de Orleáns, la del Oeste y la de París-Lyón-Mediterráneo han electrificado las líneas de París-Juvisy, París-Versalles, Le Fayet Chamonix con este sistema que va á ser extendido al conjunto de la línea de arrabales del Ouest-Etat.

La Compañía del Midi ha equipado con corriente continua la línea Villefranche á Bourg Madame y prosigue la electrificación con corriente monofásica en las líneas de Perpiñán-Tarbes, Lourdes, etc., hecho que no debemos olvidar cuando tratemos de estudiar el sistema de electrificación más conveniente para nuestras líneas.

Otros países.—Suecia adopta la corriente monofásica para la electrificación de sus redes y pone en explotación la línea Kiruna Ricksgransen.

Noruega sigue su ejemplo en la línea del Rjukan; Austria, siguiendo la tendencia alemana, electrifica asimismo con monofásica el ferrocarril Viena-Presburgo, y en Holanda se emplea análogo sistema en el Rotterdam-Hague-Scheveningen, y puede decirse que en Europa es el sistema favorito para las líneas de gran longitud, y únicamente en las líneas de escasa longitud y gran tráfico se acude á la corriente continua.

Como resumen de lo dicho, á continuación damos una estadística de los principales ferrocarriles eléctricos existentes en 1913.

España y la tracción eléctrica.

Insuficiencia de nuestra red ferroviaria.—Puede asegurarse, sin temor á error, que España posee una red de comunicaciones insuficiente á todas luces, dada la extensión de su territorio, el número de habitantes y la creciente potencialidad económica; las mallas de esa red, los caminos vecinales, las carreteras y los ferrocarriles se han desarrollado sin aquella solidaridad mutua que debía existir, considerando á los caminos vecinales como elementos de afluencia á la carretera, y desempeñando este papel análogo ante la línea férrea y se ha llegado, por el contrario, á una feroz competencia entre estos órganos para el reparto equitativo del presupuesto de Fomento.

El número de caminos vecinales, propiamente tales, susceptibles de una circulación regular, en 1.º de Enero de 1912, era solamente de 2.195 kilómetros, bastante menor que el de carreteras provinciales. El Estado, dándose cuenta después del desastre que sin caminos no era posible integrar la economía urbana y la economía rural, intentó poner un límite á la construcción de carreteras, cuya red actual, en igual fecha ascendía á 44.332 kilómetros, aproximadamente la mitad del plan general aprobado, entre carreteras construidas (y muchas ya inservibles), en construcción, proyectos aprobados, estudiados y sin estudiar asciende á 87.165 kilómetros. Francia hizo las carreteras en el siglo de las carreteras, que fué el siglo XVIII; y España por no hacerlas en el siglo XVIII tuvo que hacerlas en el siglo XIX, que fué el de los

ferrocarriles, y continuándolas está en el siglo XX, que es el de la navegación aérea y submarina. En 1789 poseía Francia 40.000 kilómetros de carreteras, y Prusia, que en 1837 no tenía más que 12.888 kilómetros, en 1895 tenía 83.000 kilómetros; en Alemania el período culminante de la construcción de carreteras coincide con el comienzo del establecimiento de los ferrocarriles, con lo cual éstos se encontraron al nacer con sus órganos de afluencia ya construídos.

En España, desde la inauguración de la primera línea de Barcelona á Mataró el 24 de Octubre de 1848, el incremento de nuestra red ferroviaria ha sido excesivamente lento, y esta lentitud se ha exagerado lamentablemente en estos últimos años; el término anual de kilómetros abiertos á la explotación por decenios es el siguiente:

	Kilómetros.
Primer decenio desde 1846 á 1856.....	86
— — 1856 á 1866.....	453
— — 1866 á 1876.....	130
— — 1876 á 1886.....	290
— — 1886 á 1896.....	329
— — 1896 á 1906.....	161
— — 1906 á 1916.....	70

De aquí se deduce que el promedio de la construcción en el decenio 1896-1906; que coincide con nuestra restauración económica, es aproximadamente igual al del (1866-1876) decenio de revoluciones y guerra civil, y en el último decenio, el estancamiento de la construcción es bien manifiesto. En Alemania el incremento medio anual en los últimos sesenta años ha sido de 930 kilómetros, y en Francia, donde el desarrollo de la red ferroviaria no ha sido tan regular como en Alemania, con perturbaciones y períodos de estancamiento, han alcanzado sin embargo un incremento medio anual de 858 kilómetros.

Los siguientes datos de la Dirección de Obras públicas ponen de manifiesto cómo la potencialidad económica de España ha aumentado en estos últimos años mucho más rápidamente que su red ferroviaria:

AÑOS	MILLONES DE VIAJEROS	MILLONES DE TONELADAS
1907	51,58	30,80
1908	53,00	31,13
1909	51,41	31,46
1910	51,91	55,81
1911	57,15	60,72

De 1907 á 1911 el número de viajeros ha aumentado en un décimo y la masa circulante de mercancías casi se ha duplicado, y en este mismo período de tiempo el incremento de la red ha sido únicamente de 238 kilómetros. Si la masa de viajeros y mercancías crece con más intensidad que la potencialidad circulatoria de la red, el tráfico tendrá forzosamente que estancarse como en la actualidad acontece en límites inaceptables; si bien recrudescen el mal, circunstancias algo accidentales, y el arma de dos filos que pretenden manejar las Empresas concesionarias para vivir en monopolio ó lograr la prórroga de las concesiones como lograron en Francia con el segundo Imperio, las perjudicará por de pronto á ellas por detenerse en su crecimiento natural los ingresos.

Cuando hay conciencia del mal, como sucede en este caso, por parte de las Empresas, la culpabilidad es doble respecto de los intereses que administran y de la nación ó el Estado de quien son

concesionarias; y es que, por desgracia, los ferrocarriles españoles son actualmente *ferrocarriles financieros* en vez de ser *ferrocarriles nacionales*, y tienden á hacerse parlamentarios, como las carreteras. Cuando en las Empresas de circulación y transporte lo que fundamentalmente prevalece es el lucro personal ó colectivo (pero de interés privado), en vez de preponderar el interés nacional, han de surgir forzosamente, con intermitencias más ó menos largas, esas huelgas, como la reciente, que en determinadas circunstancias pueden determinar verdaderas embolias en la economía nacional. Cuando el ferrocarril es un medio de circulación genuinamente nacional, el obrero no tiene conciencia del peligro de su explotación por la Compañía, que con un criterio financiero lo explota, porque se siente parte alicuota, tanto para los provechos como para las pérdidas, y, además, en la ética de la jornada considera el *sabotage* como un crimen y la negligencia ó falta de interés como motivo para recriminarse á sí mismo.

Si á estos peligros, que forzosamente implica el pernicioso sistema de considerar desdoblados en nuestro régimen ferroviario el factor económico, el político y el administrativo, mientras que en la realidad son unos y únicos, se añade la calidad del capital que explota nuestras líneas, que es en su mayoría extranjero, á los conflictos de orden interior, como la huelga, se pueden añadir otros de orden exterior ó internacional. Todos los protectorados ó mediatizaciones que una nación ejerce sobre otra en la época moderna, reconocen como móvil, motivo y ocasión la previa actuación económica del país que interviene en el país intervenido, y esto basta para confirmar la necesidad urgente de nacionalizar los ferrocarriles.

El capital extranjero invertido en ferrocarriles es de francos 628.575.000 en acciones y 1.675.000.000 de francos en obligaciones; pero como los dos tercios de las acciones del Norte, Alicante y Andaluces, al tipo que cotizan nuestras Bolsas, no excede de unos 270 millones de pesetas, descontando unos 100 millones ya en poder de españoles, con un desembolso máximo de 170 millones de pesetas, España recuperaría la dirección suprema de las tres Empresas ferroviarias más importantes. Júzguese ante la pequeñez del esfuerzo, del patriotismo de nuestros capitales y hombres de Gobierno.

Pero volviendo al tema de la insuficiencia de nuestra red ferroviaria, las siguientes cifras vendrán á prestarnos nuevos argumentos: Francia, en 1911, poseía 40.635 kilómetros de ferrocarril, con un producto bruto por kilómetro de 46.700 pesetas; Italia, en 1913, poseía 18.039 kilómetros, con un ingreso kilométrico de 45.913 pesetas, y en España, en 1911, con 14.203 kilómetros, el ingreso kilométrico fué de 25.642 pesetas. Pero de hecho, este coeficiente no corresponde á la realidad, pues es mucho mayor habida cuenta de estos tres factores, grandes distancias entre los centros de producción y consumo, escasez de la población, defectos de organización, contextura y desarrollo de la red; y si á esto se añade la insuficiencia, podemos calcular muy bien que la masa circulante en España representa los dos tercios de la masa circulante en Francia y en Italia, y que exige, por lo tanto, en proporción, los dos tercios de la red proporcionalmente á la población y al territorio de Francia y de Italia.

El aumento preciso en la red se puede determinar sumando la red francesa y la de Italia duplicada (por ser poco más de la mitad en territorio), obteniendo el tercio del promedio en ambas y sumándolo consigo mismo. Así resulta para el año 1913 que los dos tercios exigirían para España la construcción de 28.898 kilómetros; como el número de los kilómetros existentes en 1.º de Enero de 1915 era de 15.186 kilómetros, resulta que hay que construir 13.712 kilómetros.

Como comprobación de lo dicho, á continuación damos el

siguiente estudio comparativo de la red ferroviaria de varios países europeos en 1913:

NACIONES	Número de kilómetros de vía férrea.	Extensión en kilómetros cuadrados.	POBLACIÓN	Número de metros por kilómetro cuadrado.	Número de metros por habitante.
Alemania.....	63.621	540.857	67.812.000	119	0,93
Austria.....	46.962	676.616	51.390.223	69	0,91
Francia.....	51.531	536.564	39.603.258	96	1,30
Italia.....	17.634	286.686	35.238.997	65	0,50
España.....	15.337	504.547	20.353.986	30	0,70

Es indudable que uno de los primeros objetivos que ha de cubrir la red ferroviaria española es el contribuir eficazmente á la defensa nacional en caso de conflicto armado. Von Bernhardt, en su obra *Dentschland und die naxte Krieg*, estudia las condiciones necesarias para ello, y afirma que la capacidad de una línea de vía sencilla puede ser en velocidad algo más de la mitad de vía doble, y la virtualidad circulante algo menos. Según los trabajos publicados por Jevenois en *Nuestro Tiempo*, en caso de movilización se necesitarían quince días para poner Cataluña y los Pirineos orientales al abrigo de una ofensiva francesa. Huelva, Gibraltar y Almería son tres puntos de penetración indicados para una ofensiva inglesa en Andalucía, y como la línea de Madrid á Puertollano y á Almorchón es sencilla, mientras cualquiera nación enemiga colocaba al Sur de Castilla la Nueva tres cuerpos de ejército por tres líneas distintas, en igualdad de tiempo nosotros sólo podríamos oponerle uno. Para la defensa de Galicia, las vías dobles son tanto más necesarias cuanto más distante se encuentra esta región del centro de la península; desde La Coruña á Southampton la distancia es próximamente igual que desde La Coruña á Madrid y la capacidad de transporte de un transatlántico es diez veces mayor que la de un tren militar. Desde Lisboa á Portas Rodao (frontera española) la distancia de 200 kilómetros puede recorrerse en tres horas, y desde Madrid á Valencia de Alcántara hay doble distancia y se tarda cerca de tres veces más; una línea estratégica por la cuenca del Tíetar y del Tajo salvaría la distancia de Madrid á Portas Rodao y en tiempo más corto siendo doble línea, etc.

España para poseer una red que satisficiera las exigencias de nuestro territorio y población, habría de disponer de líneas radiales, partiendo del centro á la periferia, líneas de Norte á Sur, líneas de Este á Oeste, y por último, líneas de la frontera pirenaica á la frontera portuguesa y el Estrecho, y de los puertos del Atlántico y Cantábrico y del Estrecho al litoral Mediterráneo.

Las líneas radiales existentes habían de ser rectificadas, pudiendo así acortarse como se indica en el siguiente cuadro expresado en kilómetros:

RECORRIDOS	Actuales.	Rectificados.
Madrid-Irún.....	631	500
Madrid-Bilbao.....	557	455
Madrid-Santander.....	503	434
Madrid-Gijón.....	585	515
Madrid-Vigo.....	769	600
Madrid-La Coruña.....	776	660
Madrid-Sevilla.....	572	450
Madrid-Badajoz.....	507	391
Madrid-Alcázar.....	744	646
Madrid-Málaga.....	616	531
Madrid-Valencia.....	489	338 (a)
Madrid-Barcelona.....	685	600
Madrid-Puigcerdá.....	»	640 (b)
Madrid-Pamplona.....	494	406 (c)

- (a) Proyecto de ferrocarril eléctrico directo.
 (b) Proyecto de ferrocarril eléctrico Ripoll-Puigcerdá, que coloca Perpignan á 740 kilómetros de Madrid.
 (c) Proyecto de ferrocarril eléctrico directo de Madrid á la frontera francesa, que acorta la distancia París-Madrid en 178 kilómetros.

Otro tanto de lo que hemos dicho de las líneas radiales, había que repetirlo de todo el sistema imperfecto é incompleto y si se rectificara éste con el mapa á la vista, fácil será ver que en la mayoría de los trazados puede economizarse un 20, un 30 y hasta un 40 por 100, y si esto se hiciera había de repercutir beneficiosamente en las tarifas y en el tráfico. Hasta ahora podemos decir que la red sólo ha respondido á la primera etapa de la red alemana y la red francesa, que es unir las ciudades con Madrid, los centros de producción con las capitales de provincia y con los puertos, y el territorio nacional con los dos países vecinos en los puntos indispensables. El desarrollo normal de la red, para que aumente de valor, ha de hacerse pensando en la disminución de los trazados existentes y en el establecimiento de ferrocarriles transpeninsulares, meridianos y paralelos, según hemos indicado.

Ahora bien, la mayoría de las líneas á construir serán líneas que pretenden acortar recorridos, y como los trazados de las líneas existentes son los que ofrecían la naturaleza del suelo patrio en más fáciles condiciones, la mayor parte de las líneas complementarias, secundarias y estratégicas á construir, serán líneas de fuertes rampas obligadas y radios de curva mínimos en los que la tracción eléctrica aparecerá como indispensable si la explotación quiere hacerse en buenas condiciones. Casi todas estas líneas que han de construirse cogerán los valles de través, siguiendo direcciones normales á nuestras corrientes fluviales, y dicho se está que en este caso las fuertes pendientes son indispensables.

Por otra parte, en 1.º de Enero de 1912 sólo existían en España 518 kilómetros de doble vía, y aunque desde entonces esta cifra ha aumentado considerablemente, la capacidad de la mayor parte de las líneas en explotación es muy insuficiente para el tráfico que han de realizar y la electrificación incrementando notablemente esta capacidad puede constituir una solución del problema evitando la instalación de doble vía (costosísima algunas veces). Un ejemplo de esto lo tenemos en la línea de Pajares, en la que habiéndose llegado al límite de la capacidad de circulación de la simple vía, y siendo la doble vía de costosísima construcción, la electrificación se impondrá (1).

Así, pues, en España la tracción eléctrica puede contribuir á aumentar la capacidad de las líneas existentes, capacidad á todas luces insuficiente, haciendo posible además la construcción y explotación de líneas complementarias, secundarias y estratégicas por terrenos accidentados, líneas cuya necesidad se hace sentir. Los Gobiernos han sentido este problema, aunque, hoy por hoy, no le hayan dado una acertada solución, y el país clama por la construcción de estas líneas, unas en proyecto, muchas en tramitación y muy pocas en construcción. El estado de nuestras líneas secundarias y estratégicas en Junio de 1816 era el siguiente:

LÍNEAS	Longitud. Kilómetros.	Capital garantizado. Pesetas.
En explotación.....	492	82.757.026
En construcción.....	1.011	173.948.253
Subastados sin resultado.....	1.426	345.467.500
Con proyecto aprobado.....	1.822	399.623.454
En tramitación (solicitados)...	4.525	967.538.759
Sin solicitar.....	3.064	
SUMA.....	12.340	19.774.334.997

A estos 1.974 millones de pesetas los garantiza el Estado un interés del 5 por 100 anual. Los 12.339 kilómetros que suman de

(1) Posteriormente á la redacción de esta Memoria, se ha aprobado una ley para hacer esta electrificación con el apoyo del Estado.

longitud estas líneas, son aproximadamente los mismos que decíamos era necesario construir en España para completar su red ferroviaria; pero las líneas que eran más indispensables no son precisamente muchas de las que figuran en ese plan de ferrocarriles secundarios y estratégicos.

Otra ventaja que produciría la electrificación de nuestra red sería la del mejor aprovechamiento del material móvil, hoy insuficiente por el mayor recorrido anual posible de coches y vagones.

El problema del carbón.—En España, si bien no falta el elemento carbón, este es de inferior calidad en su mayoría, y nuestras instalaciones de extracción, no estando dotadas de los perfeccionamientos precisos, no dan la producción indispensable para el consumo nacional, y el arranque resulta caro, lo que eleva el precio del combustible. Mejor que yo pudiera hacerlo, expone el estado del problema la comunicación de los hulleros españoles a los organismos madrileños en ocasión de la tasa motivada por la excesiva codicia de los intermediarios:

«Antes de la guerra, nuestra industria hullera no podía desarrollarse, entre otras muchas razones que omitimos por no fatigar la atención del lector, por la competencia del carbón inglés, competencia imposible de vencer por las circunstancias especialísimas en que se realizaba el negocio entre España é Inglaterra. Bastará señalar un hecho para que los menos enterados se den cuenta de las ventajas que tenían los carbones ingleses al poder venir á nuestros puertos como lastre en los vapores que se llevaban el mineral de hierro; en estas condiciones, el flete de carbón de Inglaterra á Bilbao no excedía de 3 ó 4 chelines la tonelada, y con un precio tan enormemente bajo, resultaba el carbón inglés más barato que lo que costaba arrancar el nuestro de la mina.

La guerra vino á mejorar la situación del negocio, y desde entonces todo el mundo se ha echado á calcular las fabulosas ganancias que estarían realizando los mineros, dado el aumento de precio de los carbones. Pero á nadie se ha dicho lo que vamos á decir nosotros para que lo sepa todo el mundo, y es que con el aumento de precio vinieron los aumentos de jornales y de los materiales que se emplean en la explotación, y, sobre todo, lo que más enaltece á las empresas mineras, que en vez de atesorar las ganancias para compensar los malos tiempos pasados, en que hubo Sociedad que aun explotando un millón de toneladas no pudo pagar sus cargas hipotecarias, y en que las más favorecidas no tuvieron un beneficio mayor de 25 céntimos por tonelada, en vez de atesorar, repetimos, y en vez de pensar solamente como otras muchas industrias en el reparto inmediato del dividendo, lo que han hecho ha sido gastar de un golpe, sólo en la cuenca asturiana, más de 12 millones de pesetas en beneficio de su personal, en mejorar sus instalaciones, en la apertura de pozos, adquisición de perforadoras y martillos picadores, construcción de barrios obreros, escuelas, hospitales, establecimiento de cooperativas de consumo, administradas por los propios obreros y pagando las Empresas los gastos de alquiler y personal, lo que permite vender todos los artículos al mismo precio que antes de la guerra y el pan 10 céntimos más barato que el precio de coste.

Sobre esos 12 millones ya invertidos se han de gastar durante tres años, en la misma cuenca asturiana y con arreglo al plan aprobado, otros 25. por el deseo muy legítimo de aumentar la producción y hacer frente en el porvenir á todas las necesidades del consumo nacional, con lo cual podrá indudablemente el negocio hullero encontrar la recompensa que merece, pero España entera habrá aumentado enormemente su riqueza y habrá echado los cimientos de una independencia que ningún país puede obtener ni política, ni geográfica, ni económicamente, si no tiene asegurado el combustible para la vida.

España consume uno y medio millones y medio de toneladas de carbón, y sólo producía antes de la guerra de 3 y medio á 4 millones, lo que significaba un déficit de cerca de 4 millones de toneladas. Pues bien: en lo que va de guerra, el esfuerzo de las Empresas ha de subir la producción á 5.200.000 toneladas, y es indudable que sin esto hubiéramos necesitado traer de fuera 4 millones de toneladas, que, al precio mínimo de 90 pesetas en que, según dicen, puede obtenerse el carbón americano, representa nada menos que 360 millones de pesetas en oro enviados al extranjero. ¿Es que no se quiere que este dinero quede en España y que sigamos en esto, como en tantas cosas, siendo tributarios del extranjero? El haber llegado á una producción de 5 millones y medio de toneladas que, al precio medio de 40 pesetas, valen 220 millones, que, capitalizados al 6 por 100 supone una riqueza positiva de 3.500; supone, además una inmensa ventaja para el país, porque al reducir nuestras necesidades de carbón extranjero á 2 millones y medio de toneladas, resulta que sólo tendremos que pagar al extranjero 225 millones de pesetas, la mitad casi de lo que antes gastábamos en cubrir nuestro déficit de hulla. Y de continuar la explotación con la misma intensidad y de realizarse los planes aprobados por las Empresas, no está lejano el día en que no habrá necesidad de importar ni una sola tonelada de carbón extranjero, y podremos decir con orgullo, que España, merced á sus minas de hulla, cuenta con una riqueza positiva de 5 á 6 millones de pesetas», y á continuación dice:

«Pero no hemos de omitir nuestra opinión de que el problema del abastecimiento del carbón no es de precio, sino de insuficiencia de producción, y, por el momento, de transporte y abastecimiento. ¿Contamos con barcos para reanudar normalmente el cabotaje y abastecer los puertos del litoral, descongestionando el tráfico terrestre? ¿Contamos ya con los vagones necesarios para el transporte por el interior? ¿Es que alguien ignora que las minas tienen esperando carga miles y miles de toneladas, sufriendo el perjuicio de las mermas que produce el almacenar y apilar grandes cantidades, dándose el caso, que es público y notorio, de que se hayan destruido por espontánea combustión, sin poderlo evitar, muchos miles de toneladas?»

Vemos que también en el problema del carbón la insuficiencia de nuestra red ferroviaria ejerce su influencia desfavorable, insuficiencia puesta ahora más de relieve por el encarecimiento de los fletes de cabotaje, lo que ha impelido hacia los ferrocarriles este tráfico especial, la carencia de material móvil ya endémica entre nosotros y deficiente distribución del material y organización de los servicios. Para un buen aprovechamiento de la riqueza hullera de nuestro país, que no excede de unas 175 toneladas por hectárea de suelo patrio (siendo así que en Inglaterra y los Estados Unidos alcanza a 5.265 y 4.167 toneladas respectivamente), es preciso la construcción de líneas férreas que permitan un fácil y económico transporte á los centros de consumos.

Según datos de la Junta de Defensa del Consumo Hullero, la producción de hulla en los pasados años ha sido la siguiente:

PROVINCIAS	EN TONELADAS		
	1913	1914	1915
Oviedo.....	2.413.509	2.457.613	2.700.000
Córdoba.....	351.975	328.246	275.539
León.....	328.246	313.950	217.250
Palencia.....	127.916	151.498	175.250
Ciudad Real.....	369.375	403.185	453.761
Sevilla.....	178.000	204.000	201.000
Barcelona y Girona.....	11.193	10.241	7.587
TOTALES.....	3.783.214	3.868.693	4.034.387

La importación de carbones minerales durante los mismos años fué la siguiente:

PAÍSES DE ORIGEN	EN TONELADAS		
	1913	1914	1915
Alemania.....	167.034	127.561	3.075
Estados Unidos.....	33.861	21.796	81.202
Francia.....	18.498	15.374	2.087
Gran Bretaña.....	2.438.233	2.305.559	1.638.921
Holanda.....	41.673	34.234	80
Los demás países.....	1.614	461	967
TOTALES.....	2.700.913	2.504.985	1.726.332

En conjunto, el consumo nacional de carbón es de unos 7 millones de toneladas anuales, y aunque las excepcionales circunstancias por que atravesamos han favorecido el aumento de la producción nacional (1), sería preciso, para que en un plazo de cinco á seis años ésta cubriera las necesidades nacionales, un gasto en instalaciones y útiles de unos 150 millones de pesetas y el adiestramiento de unos 20.000 obreros más, ó sustituir la mano de obra por energía hidráulica ó de los mismos residuos carbonosos y combustibles de ínfima calidad.

Como el consumo anual de carbón de nuestra red ferroviaria asciende casi á un millón y medio de toneladas, claro es que con la electrificación de nuestra red, utilizando energía hidroeléctrica, se conseguiría evitar la importación de carbón extranjero, que este año ascenderá próximamente á esa cantidad, y así se evitaría el gasto de 150 millones preciso para el aumento de nuestras instalaciones mineras. Por otra parte, como nuestra red ferroviaria ha de ser considerablemente aumentada, el consumo de carbón por nuestros ferrocarriles aumentaría progresivamente y la electrificación evitaría que el consumo nacional, que también sigue una marcha ascendente en otros órdenes de nuestra actividad industrial, llegara á ser tan considerable que no pudiera nunca ser cubierto por la producción nacional, pese á todos los aumentos posibles de ésta.

Como el carbón es un elemento indispensable para la independencia industrial y económica de una nación, júzuese de la importancia trascendental que habrían de dar los Gobiernos á este problema, y que cualquier sacrificio pecuniario que representase su solución podría darse por muy bien empleado.

Energía para la tracción—En España hay abundancia de energía hidráulica, aunque justo es reconocer que siendo tan poco constante el régimen de los ríos, ríos con fuertes pendientes y de difícil regularización porque los buenos embalses no abundan, la mayor parte de los aprovechamientos hidráulicos han de sufrir estiajes muy duros, lo que obliga á contar con instalaciones en exceso para poder hacer frente á estas escaseces transitorias.

Esta necesidad de las Centrales de reserva encarece la energía eléctrica en muchos casos, hasta extremos inaceptables con precios normales de carbón, pues resulta solución más económica la de establecer Centrales de vapor ó gas; este es uno de los motivos de que no hayan sido aceptados los varios proyectos que se han presentado á la Compañía del Norte para la electrificación de Pajares, pues en lugar de establecer una ó varias Centrales, en las que se aprovecharan los residuos carbonosos ó combustibles de ínfima calidad de aquella cuenca minera, en grandes calderas tubulares ó en motores de gas, se proponía el aprovechamiento hidráulico con Central de reserva, solución de costosísimo establecimiento.

(1) Sólo en Puertollano se producirán en breve un millón de toneladas anuales.

Si la electrificación del conjunto de la red española se hiciera con Centrales productoras de energía en las que se quemara carbón, la economía media que se obtendría en el consumo de éste sería, aproximadamente, de un 50 por 100 dada las características de nuestras principales líneas y lo dicho anteriormente.

Veamos ahora la cantidad de energía necesaria para la electrificación de la red española y para ello calculemos el total de toneladas-kilómetros transportados por nuestra red, pues por desgracia faltan datos estadísticos que nos los proporcionen.

La Compañía del Norte, en el año 1915, con 3.681 kilómetros de vía en explotación, un ingreso bruto de 154 millones de pesetas y unos gastos de explotación de 78,4 millones de pesetas, ha realizado un tráfico de 23.469.904 trenes-kilómetros, con un total de toneladas-kilómetros (incluidas locomotoras) de 8.102.235.533.

El recorrido de trenes de la línea de M. Z. A., que tiene 3.664 kilómetros de vía en explotación, ha sido casi el mismo, 21.556.976 kilómetros, y como el peso de los trenes es aproximadamente el mismo, podemos suponer que se ha realizado un tráfico aproximado de 7.500.000.000 de toneladas-kilómetros, que le produjo un ingreso de 134,6 millones de pesetas, de los cuales la explotación gastó 67,9 millones.

El resto de la red (incluidas las líneas de vía estrecha), cuya longitud de vías es de 7.216 kilómetros, ingresa un 39 por 100 del ingreso total de nuestras dos grandes Compañías, gasta en explotación un 48 por 100, y el recorrido kilométrico de los trenes es el 61 por 100, y como los trenes son más ligeros, estimamos el número total de toneladas-kilómetros efectuadas en un 45 por 100 del total de las dos grandes Compañías, ó sean 7.021 millones.

El total de toneladas-kilómetros efectuadas por nuestra red será, pues, aproximadamente:

	Millones de toneladas-kilómetros.
Líneas del Norte.....	8.102
Líneas de M. Z. A.....	7.500
Resto de la red.....	7.021
TOTAL.....	22.623

En los cálculos de electrificación del ferrocarril directo de Madrid á la frontera francesa con rampas máximas de 20 milésimas (límite ordinario de nuestras grandes líneas) el consumo de vatios-horas por tonelada-kilómetro en la subestación resultó ser de 34 vatios-hora; en el proyecto de ferrocarril eléctrico directo de Madrid á Valencia, el consumo por tonelada-kilómetro, comprendidos los consumos auxiliares y dadas las rampas de 30 milésimas existentes en el trazado, asciende á 60 vatios-hora.

Teniendo en cuenta esto, y recordando lo dicho en otro lugar, estimamos que, dadas las condiciones del tráfico en los ferrocarriles españoles, se debe partir de un consumo de 40 vatios-hora por tonelada-kilómetro en subestaciones transformadoras (comprendidos los consumos auxiliares) para el cálculo de la energía necesaria para la electrificación de nuestra red.

Admitidas las cifras de tráfico y de consumo de energía, la potencia media necesaria se calcula sencillísimamente y resulta ser $\frac{22.623 \times 106 \times 40}{8.760 \times 10^3}$ kilovatios = 103.330 kilovatios = 140.490 caballos.

Suponiendo que la relación entre la potencia máxima y la media sea 3 (seguramente sería menor disponiendo Centrales de gran capacidad) llegamos á una cifra de unos 420.000 caballos

como potencia á instalar en Centrales y subestaciones para la electrificación de toda la red ferroviaria española.

Indudablemente en España existe energía hidráulica más que suficiente para poder electrificar nuestra red por mucho que esta aumente, pues aunque por desgracia faltan datos estadísticos y ahora se está procediendo á sumar las potencias de los aprovechamientos hidráulicos para fuerza motriz sin consumo de agua, concedidos y en explotación hasta 1.º de Enero de 1912, esa estadística tardará en estar terminada; sin embargo, para nuestro objeto basta con saber que hay sinnúmero de saltos de agua concedidos y sin explotar, que hay también muchos que aun no han sido encontrados ni estudiados y que solamente en Cataluña y Huesca se estima que habrá una energía disponible de un millón de caballos, pues sólo entre la Sociedad Catalana de Gas y Electricidad la energía eléctrica de Cataluña y Riegos y Fuerza del Ebro contarán pronto con 400.000 caballos, la Hidráulica tiene aún en estudio los saltos del Júcar y el Duero, quizá los de mayor potencia de España, y puede asegurarse que hoy por hoy existe gran cantidad de energía hidráulica sin explotar.

La Comisión de ferrocarriles Transpirenaicos que estudió el proyecto de ferrocarril directo de Madrid á la frontera francesa, encontró saltos en el Tajo, en el Sorbe, en el Bornoba, en el Duero (Pantano de la cuerda del Pozo y en el Sinova), en el Esca, en el Gállego, etc., con más de 50.000 caballos de potencia total, y saltos todos sin conceder. También para la electrificación del directo Madrid-Valencia se han ofrecido saltos con una energía en estiaje de unos 12.000 caballos, saltos situados en el Guadiela y el Júcar, que están sin construir.

Puede, pues, asegurarse que España cuenta con la energía hidráulica suficiente para la electrificación de su red ferroviaria; pero queda por resolver si esta energía ha de ser aprovechada directamente por la Empresa explotadora del ferrocarril (sistema suizo), ó ha de ser adquirida de Empresas especialmente dedicadas á la producción de energía (sistema italiano); ya explicamos en páginas anteriores cómo la solución que se adopte puede influir en la elección de clase de corriente para la electrificación.

En una Memoria presentada por Mr. Hobart á la Asamblea del Instituto Americano de Ingenieros electricistas, dice lo siguiente:

«En virtud del principio de que la especialización y la centralización de los esfuerzos son ordinariamente factores que actúan en el interés de una economía bien entendida, se puede formular la recomendación general siguiente: siempre que ninguna ventaja considerable y evidente resulte para el ferrocarril del hecho de que posea y explote la Central y generatriz con tal que pueda obtener la corriente en condiciones aceptables de un proveedor independiente, es preferible que la Compañía del ferrocarril compre la energía eléctrica y concentre la actividad de sus Ingenieros sobre los problemas del servicio de tracción propiamente dicho. Es además lo más frecuente que la fábrica, independiente, pueda dar la corriente á un precio muy razonable, porque el consumo anual del ferrocarril será generalmente un cliente importante de su producción de energía eléctrica, destinada á alumbrado y á motores diversos. Otra consideración importante es que este consumo se reparta ordinariamente en tales horas que resulte un mejoramiento del factor de carga de la Central.» «Sobre las líneas en que el tráfico consiste en un pequeño número de trenes pesados y rápidos, una Central generatriz, construída y explotada solamente para las necesidades de este tráfico, sólo podría producir la corriente necesaria mediante un desembolso que excedería muy sensiblemente del precio á que se podría comprar la energía á Centrales que ya suministraran una gran cantidad para el alumbrado y la fuerza motriz.»

Ya hemos tratado en otro lugar de este mismo asunto, é indudablemente la solución de compra de energía á una ó varias hidroeléctricas ofrece ventajas, pero se lucha muy á menudo con la excesiva codicia de estas Empresas y con la sujeción que este elemento extraño impone. Yo opino que al estudiar la electrificación de la red española, debía procurarse llegar á un acuerdo con las grandes Empresas hidroeléctricas ya constituídas ó que pudieran constituirse entonces, pero sin renunciar, si la actitud de éstas no fuera la que conviniera, á que la Empresa explotadora del ferrocarril tuviera sus Centrales propias.

En España el coste medio del kilovatio instalado, comprendidas las líneas de alimentación, oscila entre 800 y 1.500 pesetas, lo que supone un coste para el kilovatio-año de 80 á 150 pesetas (el interés y amortización y los gastos de explotación suponen un 10 por 100 anual aproximadamente) si pudiera aprovecharse esa energía de una manera continua, pero como así no se aprovecha más de la mitad ó tercera parte, el usual del kilovatio-año es bastante mayor. La Hidroeléctrica Española ha pedido para el suministro de energía eléctrica al ferrocarril directo de Madrid á Valencia, 440 pesetas por el kilovatio-año en jornada de veinticuatro horas, 220 pesetas por el kilovatio-año en jornada de dieciocho horas elegidas por la Empresa y 270 pesetas en jornada de dieciocho horas elegidas por el cliente; para el cálculo del coste concurso de energía en el proyecto de ferrocarril directo de Madrid á la frontera francesa, se partió del precio de 150 pesetas por el kilovatio-año *instalado*.

Como un kilovatio-año equivale á 8.760 kilovatios-hora, los precios ofrecidos por la Hidroeléctrica Española oscilan entre 2,5 y 5 céntimos el kilovatio-hora. El Canal de Isabel II cede su energía del salto de Torrelaguna á 5 céntimos el kilovatio-hora, con un factor de consumo mínimo de $\frac{1}{2}$, y en general, este es el precio de la energía hidroeléctrica en España, bastante superior al que alcanza en algunos otros países más favorecidos que nosotros por la naturaleza, como Noruega, por ejemplo, en donde la energía para el ferrocarril eléctrico de Rjukan cuesta solamente poco más de un céntimo el kilovatio-hora (el factor de consumo en la Central es muy favorable); en Alemania los motores Diesel han abaratado bastante la producción de energía, y puede asegurarse que España es uno de los países en que ésta resulta más cara. Recordemos que en los Estados Unidos la energía para el Butte Anaconda Railway les es suministrada á 2,4 céntimos el kilovatio-hora.

Si en España fuera posible que el Sindicato de Hidroeléctricas que se formara ofreciera la energía á precios que oscilaran entre 3 y 4 céntimos el kilovatio-hora en la Central, ó 5 céntimos á la salida de las subestaciones, ya transformada, convendría indudablemente deslindar las dos Empresas productora de energía y explotadora del ferrocarril; pero de ser los precios ofrecidos superiores á los indicados, opino que la instalación de Centrales hidroeléctricas ó Centrales de carbón por la Empresa explotadora, había de ser la solución preferible. Sirva de ejemplo la conducta seguida por nuestras grandes Compañías del Norte y M. Z. A. adquiriendo la concesión de yacimientos carboníferos, que explotan por su cuenta, con lo cual su situación respecto al mercado carbonífero del mundo es más independiente.

Sistema de electrificación.—Dadas las características de nuestras principales líneas y la gran extensión de la red á electrificar, siendo así que sería sumamente conveniente la unificación de sistemas, como el sistema de corriente monofásica á alta tensión es el que mejor se adapta á las condiciones generales de nuestra red, el elegido para los ferrocarriles directos de Madrid á la frontera de Francia y Madrid á Valencia y el utilizado en la línea

Pamplona-Sangüesa, estimo que las líneas españolas debían electrificarse con corriente monofásica en la línea aérea de contacto, á 1.500 voltios y 16 $\frac{2}{3}$ periodos. No expongo aquí las razones de esta elección por no repetir lo que ya se ha dicho en el curso de esta Memoria, pero bastará con afirmar que las líneas españolas, siendo líneas de no gran tráfico, pues el ingreso kilométrico medio ha sido de 27.602 pesetas en el año 1915, y tratándose de electrificar una gran red el sistema monofásico es el indicado. Dada la importancia del consumo de energía de la red ferroviaria podría obligarse á las Empresas contratantes de ésta á producirla directamente en forma de corriente monofásica y sería fácil llegar á obtener un buen factor de consumo, con una buena distribución de las Centrales, sin necesidad de unir este servicio á los de luz y fuerza para otros usos.

Además, teniendo el sistema monofásico la ventaja de su menor coste de establecimiento, pues la influencia desfavorable del material tractor no tiene gran importancia dada la relativamente pequeña cantidad necesaria de éste para servir á nuestro tráfico, es más fácil animar al Estado y á los capitales, pues en España, Empresas de escaso capital de establecimiento y grandes gastos de explotación, resultan más simpáticas á la masa y más fáciles de acometer que aquellas otras obras en que siendo mayor el coste de establecimiento la economía está en la explotación, y la razón de esto no hay que buscarla en que el interés del dinero sea muy elevado, pues en condiciones normales siempre ha tendido el Banco de España á mantener bajo dicho interés, y hay que confesar que lo ha conseguido, y de ahí la emigración de capitales al extranjero más de notar á partir de 1908, época de la baja del cambio y de la crisis industrial.

Coste de la electrificación.—En las líneas de vía ancha y gran velocidad de circulación, disponiendo una línea de contacto sobre postes de hormigón armado análoga á la del ferrocarril directo de Madrid á Valencia, que permite velocidades máximas de circulación de 100 kilómetros por hora, y cuyo coste por kilómetro de vía, comprendidas las vías de estaciones, es de 19.000 pesetas en vía sencilla y 30.000 pesetas en doble vía; suponiendo que de los 11.442 kilómetros de vía ancha 1.000 sean de doble vía, el coste de la línea de contacto será de $(19.000 \times 10.442 + 30.000 \times 1.000)$ pesetas = 228.398.000 pesetas. El coste de la línea de contacto en los ferrocarriles de vía estrecha se puede fijar en pesetas 15.000 por kilómetro, y como hay 3.119 kilómetros, el coste sería de 15.000×3.119 pesetas = 46.785.000 pesetas, y el coste total de las líneas de contacto sería de 275.183.000 pesetas.

Si la distancia media entre subestaciones transformadoras es de 80 kilómetros, distancia permitida por la pérdida de tensión en la línea de contacto, dada la elevada tensión en ésta, y que nuestros trenes ni son muy pesados ni tan frecuentes que coincida la carga de muchos de ellos en una subestación, el número total de subestaciones necesarias sería de unas 182, número que podemos reducir á unas 150 disponiendo muchas de éstas en las estaciones de empalme ó nudos ferroviarios, y si el coste medio de cada subestación es de unas 200.000, el gasto total que suponen las subestaciones es de 30 millones de pesetas; hemos supuesto la energía engendrada directamente en las Centrales en forma de corriente monofásica á alta tensión y subestaciones simplemente rebajadoras de tensión, porque en caso de ser engendrada la energía en forma de corriente trifásica, las subestaciones serían casi cinco veces más costosas.

Las líneas de alimentación que ha de correr á todo lo largo de las líneas podrá tener un coste kilométrico medio de 6.000 pesetas, disponiéndola sobre partes de hormigón arenado, y este capítulo de gastos ascenderá á 14.561×6.000 pesetas = pesetas 87.366.000.

En resumen los gastos de electrificación serán:

	Pesetas.
Para la línea de contacto.....	275.183.000
Para las subestaciones.....	30.000.000
Para la línea de alimentación.....	87.366.000
TOTAL.....	392.549.000

En 1.º de Enero de 1912 había en España 2.122 locomotoras de vía ancha, de las cuales correspondían á la Compañía de M. Z. A. 765, y 626 locomotoras de vía estrecha ó sea un total de 2.748 locomotoras. Como en 1.º de Enero de 1916 la Compañía de M. Z. A. tiene 859 locomotoras en servicio y 26 locomotoras Compound pendientes de suministro, según esta proporción, puede calcularse que existen hoy en España unas 3.100 locomotoras, y si tomamos un margen de diez años para la electrificación de nuestra red, podemos suponer que el número de locomotoras de vapor existentes en España en el año 1926 será de unas 3.600 á 4.000 locomotoras. Estas locomotoras, cuyo valor será, aproximadamente, de unas 80.000 pesetas, incluido el tender, suponen un capital de 288 á 320 millones de pesetas, que podemos tomar de 300 millones de pesetas como término medio.

Para sustituir á este material móvil había que adquirir unos 3.000 tractores eléctricos, que supuestos de 55 toneladas de peso medio (los proyectados para los ferrocarriles directos de Madrid á Francia y Madrid á Valencia pesan de 70 á 80 toneladas y son líneas de fuertes rampas), á 2.500 pesetas la tonelada, representan un gasto de adquisición de 412,5 millones de pesetas. Suponiendo que las locomotoras de vapor pudieran emplearse en otras líneas ó ser vendidas en condiciones aceptables, reintegrándose de unos 200 millones de los 300 millones que representan, sólo quedaría un desembolso de 200 millones, como necesario para la adquisición de material móvil, y sumando este gasto al propio de la electrificación llegamos á un gasto total de 600 millones de pesetas como coste de la electrificación de la red española.

Economía de la explotación.—Aplicando los coeficientes de economía con la electrificación de Burch, á los gastos de explotación de la Compañía del Norte de España en su línea de Madrid á Irún, hemos calculado el siguiente cuadro, en el cual incluimos la proporción de gastos de los ferrocarriles de vapor en los Estados Unidos, proporción estudiada por una Comisión especial del comercio.

CONCEPTOS	ESTADOS UNIDOS	NORTE DE ESPAÑA	
	Tracción de vapor. Por 100.	Tracción de vapor. Por 100.	Tracción eléctrica. Por 100.
Conservación de la vía.....	19,7	18,8	17,0
Conservación del material.....	21,1	10,9	9,1
Maquinistas y personal de depósito...	9,4	9,8	6,3
Combustible.....	11,5	19,0	»
Agua.....	0,7	0,7	0,2
Otros consumos de locomotoras.....	0,6	1,6	1,0
Vigilancia y señales.....	4,5	1,2	1,2
Trenes.....	8,0	8,2	8,0
Estaciones.....	7,0	16,2	16,0
Reclamaciones, accidentes y pensiones.	3,1	3,0	3,0
Telégrafo.....	1,8	»	»
Dirección é Inspección y otros.....	12,6	10,6	10,0
Economía con tracción eléctrica.....	»	»	28,2
TOTALES.....	100,0	100,0	100,0

Según estos coeficientes de economía en los gastos de explotación de la línea Madrid á Irún, sería de un 28,2 por 100, y recordemos que la economía en los ferrocarriles americanos resul-

taba ser de un 24 por 100 (17 por 100, más 7 por 100 de coste de energía y reparación y conservación de la línea de contacto), y la causa de que la economía que pueda esperarse con la electrificación de esta línea española sea mayor que la que pueda ofrecer el término medio de los ferrocarriles americanos, radica en que en esta línea se gasta en proporción más en combustible y estaciones (sobre todo el combustible es el elemento predominante en la economía) aunque se gaste menos en conservación del material y en vigilancia y señales de la vía; para poner esto de manifiesto es por lo que hemos incluido en el cuadro la proporción de gastos en los ferrocarriles americanos.

A esta economía del 28 por 100 hay que agregar la producida por el mejor aprovechamiento del material y menor peso muerto de tractores que permite con las mismas toneladas-kilómetros realizadas servir mayor tráfico, lo que se traduce en un momento en los ingresos, y de esta economía total habrá que deducir el coste de la energía eléctrica, el de reparación y conservación de las instalaciones de la electrificación y el interés y amortización del capital que ésta representa.

La línea del Norte tiene en el total de su red, aproximada-

mente, la misma relación de gastos que en su línea de Madrid á Irún y, por lo tanto, á toda ella será aplicable la cifra de economía obtenida. Veamos lo que sucede con las otras Compañías.

Tengamos en cuenta para ello que la Compañía del Norte consumió en el año 1915 544.513 toneladas de carbón, que representaron un gasto de 18.169.336 pesetas, al precio medio de 33,35 pesetas la tonelada. La Compañía de M. Z.A gastó en consumo de máquinas 18.171.998 pesetas, y en carbón 3.450.000 más que en el año anterior, por haber subido el coste de combustible 9,82 pesetas por tonelada. Puede asegurarse, pues, que en circunstancias normales el gasto de carbón de nuestras dos grandes Compañías es de unos 30 millones de pesetas, y de 45 á 50 millones para el total de la red española; agregando á esta economía unos 20 á 25 millones por la influencia beneficiosa de la electrificación, en los otros capítulos de los gastos de explotación, podemos contar con una economía total de 70 á 75 millones, que representa, aproximadamente, el 30 por 100 de nuestros gastos de explotación.

(Continuará.)

REVISTA EXTRANJERA

El empleo en las locomotoras de carbón pulverizado (Conclusión).

Las principales dificultades que se han encontrado para quemar el carbón pulverizado en las locomotoras han sido las siguientes:

1.^a Es difícil mantener una combustión suficientemente intensa para desarrollar una capacidad de sobrecarga elevada de la caldera, ó bien para recorridos intermitentes mantener un fuego débil y volver á encender el combustible después de haber interrumpido la alimentación.

2.^a Se depositan en las paredes tubulares escorias procedentes del azufre y del óxido de hierro en fusión contenidas en las cenizas.

Estas dificultades se han resuelto con feliz éxito, pero el empleo de cada combustible exige la resolución de un problema especial, y hasta el presente no se ha llegado todavía á determinar la relación de los elementos variables de la combustión según el solo análisis del combustible. Se han realizado, sin embargo, progresos suficientes para facilitar esta adaptación. Una vez regulado el hogar para un combustible dado, se puede admitir una variación bastante grande en la composición del combustible entregado por la mina sin que sea necesario proceder á una nueva regulación.

Tal vez sea interesante recordar que los primeros ensayos para quemar petróleo bruto en las locomotoras fueron muy descorazonantes y sólo después de un estudio concienzudo de los métodos de combustión y de esfuerzos prolongados para la regulación de los aparatos fué cuando se hizo posible mantener la intensidad de combustión necesaria para obtener buenos resultados de evaporación.

Además de la posibilidad de emplear combustibles de poco valor, el empleo del carbón pulverizado permite aumentar el rendimiento de la caja de fuego en un 20 á un 25 por 100, gracias á la facultad de interrumpir la combustión cuando la máquina está parada ó su marcha en vacío.

Experimentos comparativos, hechos con locomotoras del mismo tipo empleadas en el mismo servicio, han probado que para realizar el mismo trabajo, la locomotora cargada á mano

ha consumido 1.000 kilogramos de combustible, mientras que la que quemaba carbón pulverizado no ha quemado más que 565 kilogramos. La economía más sensible se realiza durante el período de inflamación.

En el servicio regular de viajeros se obtuvieron resultados tan satisfactorios, como con la hulla, con el lignito pulverizado conteniendo 1,75 por 100 de humedad, 47 por 100 de materias volátiles, 41 por 100 de carbono, 9,5 por 100 de cenizas, ó 75 por 100 de azufre, y produciendo 5.950 calorías por kilogramo.

Resulta de los ensayos efectuados hasta el día que la cantidad de vapor vivo necesario para mover la maquinaria de alimentación es, próximamente, 1,5 por 100 del vapor producido á plena marcha. Esta cantidad es sensiblemente inferior á la necesaria para mover un cargador mecánico ó á la utilizada en el chorro de vapor de los mecheros de petróleo, la cual es, próximamente, el 6 por 100 de la producción.

Ensayo en una locomotora Ten Wheel de diferentes combustibles pulverizados.

	COMBUSTIBLE PULVERIZADO		
	1	2	3
Humedad, por 100.....	0,40	0,81	0,59
Materias volátiles, ídem.....	23,42	36,07	24,16
Carbón graso... } Carbono, ídem.....	67,43	57,00	64,05
} Cenizas, ídem.....	6,85	5,44	10,36
} Azufre, ídem.....	1,90	0,68	0,84
} Calorías, por kilogramo.....	8.100	7.850	7.850
Longitud total de los trayectos, kilómetros.....	2.128	682	637
Número de vagones por tren, término medio.....	61	65	60
Carga media por tren, toneladas.....	1.550	1.630	1.580
Velocidad media de marcha, kilómetros por hora.	42	40	38
Presión media (máximum 14), atmósferas.....	13,9	13,6	13,8
Temperatura del vapor, grados centígrados.....	312	318	308
Consumo de carbón por hora, kilogramos.....	1.490	1.390	1.575

Este cuadro indica los resultados obtenidos con una locomotora Ten Wheel, empleada para trayectos de 145 á 220 kilómetros con trenes de mercancías directos, en el curso de los ensayos efectuados con el objeto de comparar diferentes combustibles en las mismas condiciones de explotación.