

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.

Fiesta de la ingeniería española.

Enterados ya nuestros lectores personalmente y por la Prensa del grandioso acto realizado por los Ingenieros el día 21 del pasado Junio en la Escuela de Caminos, y á fin de condensar en un sólo número la actuación de dicho día y las realizadas como consecuencia del mismo en varias regiones, daremos amplia información de todo en un número extraordinario que estamos preparando.

Electrificación de ferrocarriles ⁽¹⁾

POR

D. JOSÉ LUIS VALENTÍ Y DORDA

Ingeniero de Caminos.

Preliminares.

España, se ha dicho repetidas veces, es país esencialmente agrícola, y á desarrollar la agricultura deben tender nuestros esfuerzos, porque todo lo que sea soñar con una España industrial constituye insigne locura.

Y fiados en esta aparente oposición entre los intereses agrícolas e industriales, los gobernantes y con ellos casi todo el país, han prestado solícito interés á todo lo que agricultura suponía, y han abandonado la actividad industrial en manos extranjeras, sin dedicarla aquel estudio y el estímulo preciso para su desenvolvimiento, olvidando que el progreso de la agricultura ha de ir hermanado con el de la industria, si se quiere obtener de aquélla todos los frutos que hay derecho á exigirle.

En estos momentos en que la convulsión trágica de la guerra mundial ha dejado abandonadas á sus propios recursos á algunas naciones y ha dificultado extraordinariamente las relaciones é intercambio de productos entre todas: en estos momentos en que la visión de la catástrofe, cebándose en tierras vecinas, nos obliga á un reconocimiento de pasados errores y á la firme resolución de una enmienda para el porvenir, bien claramente percibimos el estado de nuestra España con una industria apenas naciente y

(1) De la Memoria presentada al concurso de la Asociación de Ingenieros de Caminos.

una agricultura insuficiente para proporcionarnos el pan necesario para nuestro consumo.

Hoy comprendemos cómo, preocupados tan sólo por la agricultura, descuidamos las industrias químicas y no tenemos abonos, las industrias mecánicas y no hay máquinas, las obras de pantanos, encauzamiento, defensas fluviales, y el agua es el peor enemigo del campo debiendo ser su mejor amigo. Hoy vemos cómo aun teniendo trigos, no podríamos transportarlos por escasez de nuestro sistema de comunicaciones, y por fin parece que empezamos á presentir que no podremos tener agricultura mientras la industria no proporcione riegos, abonos, máquinas y medios de transporte.

Especialmente la importancia de los medios de transporte es primordial y bien claro lo atestiguan tanta y tanta riqueza sin explotar por la imposibilidad de dar salida á los productos. Los americanos tendieron sus líneas férreas por comarcas inexploradas muchas de ellas, y los ferrocarriles convirtieron en productivos campos y ciudades populosas aquellas selvas vírgenes. Nosotros aguardamos pacientemente á que se haga el milagro de que una región se enriquezca por sí misma, para llevar á ella una línea férrea, y cada día los milagros son menos frecuentes, y á seguir con este criterio nuestra red ferroviaria aumentará bien poco, y el progreso general seguirá la misma marcha lenta.

Y esto es muy de lamentar, tratándose de un país como España con escasísimas vías fluviales de navegación, y en el que la navegación costera sólo puede resolver una parte muy pequeña del problema general de nuestros transportes. De ahí la ineludible necesidad de procurar por todos los medios factibles la mejora de nuestra red ferroviaria, posibilidad única de un desarrollo de la riqueza nacional que sea base de nuestra independencia económica y que permita, en caso de conflicto armado, la movilización y concentración de nuestros esfuerzos en aquel punto en que la defensa de los intereses patrios lo haga necesario.

El Sr. Sánchez de Toca, en los preliminares de un folleto sobre la ley de ferrocarriles secundarios, se expresa en estos términos: «El hecho social que se destaca ya como más culminante para el nuevo período, aunque todavía borroso para la visión de parte muy considerable entre las mismas clases gubernamentales, consiste en haberse producido definitiva demostración en punto á que la servidumbre económica es incompatible con el mantenimiento de la soberanía política de las naciones. Los pueblos se sienten notificados de que, reducidos á constitución económica meramente agraria, difícilmente se sustraen á la esclavitud». Estas palabras constituyen la más rotunda ratificación de nuestras afirmaciones.

Los Gobiernos comienzan á darse cuenta de la existencia de estos problemas y tratan de acudir á su resolución con leyes de carácter aduanero, pero para aplacar esta crisis de encarecimiento y falta de subsistencias y materias primas para la industria, crisis ya latente en España en épocas normales y que la guerra europea ha exacerbado cruelmente, se tropieza como obstáculo principal con la dificultad de los transportes. Esta dificultad, aumentada accidentalmente por la falta de material móvil ferroviario, debida á causas que no pretendemos aquí analizar, radica esencialmente en la insuficiencia de la capacidad de nuestra red ferroviaria.

Un método para desarrollar esta capacidad, lo constituye el aumento de kilómetros de líneas ferroviarias en explotación y á ello se tiende con los proyectos de ley de ferrocarriles secundarios que actualmente se discute en nuestras Cortes, pero como puede conseguirse el aumento de capacidad de una línea, acudiendo á su electrificación, éste es un aspecto del problema que debe estudiarse con detenimiento y para ello procuraremos aportar en esta Memoria lo que nosotros estimamos como jalones más precisos.

A más del problema de la dificultad de transportes, la carencia de carbón constituye una preocupación constante, dada la importancia capital que el carbón tiene como productor de energía casi generalmente utilizado y elemento indispensable para muchas industrias. Nación sin carbón suficiente para sus necesidades, es nación de independencia económica imposible y política muy difícil; y en España constituye un hecho innegable la falta de carbón preciso para las necesidades actuales. Esta situación angustiosa puede aliviarse cuidando de aumentar la capacidad de transporte de algunas líneas ferroviarias, lo que permitirá explotar en mejores condiciones algunos yacimientos (1), construyendo líneas nuevas que permitan la explotación de nuevos yacimientos y procurando substituir el carbón por otros elementos para aquellos fines que no es indispensable ó procurando economizarlo en lo posible, utilizando los progresos de la ciencia contemporánea. Entre estos progresos, los del ramo de la electricidad merecen lugar preferentísimo, pues permiten substituir el carbón por la fuerza hidráulica, como elemento productor de energía, y en caso de no ser esto posible, permite, centralizando la producción, engendrar la misma energía con considerable economía en cantidad y calidad de carbón.

La influencia favorable de la electrificación de nuestra red ferroviaria sobre su capacidad de transporte y sobre el problema del carbón, pone de relieve la trascendental importancia de este asunto. El Instituto de Ingenieros Civiles, representación genuina de la técnica española, no podía permanecer indiferente ante cuestión de tan vital interés, y abriendo un concurso de Memorias sobre el tema «Conveniencia y posibilidad de electrificar los ferrocarriles españoles», ha dado una vez más muestras de su preocupación constante por todas aquellas cuestiones relacionadas con el progreso de la técnica y el bienestar del país, elementos ambos que siempre caminaron juntos.

Consagrado desde que conseguí el título de Ingeniero á las cuestiones ferroviarias y eléctricas, á las que siempre profesé gran afición, y habiendo estado pensionado en Alemania y viajado por el continente para el estudio de estos asuntos, he tenido ocasión de visitar las instalaciones de la mayor parte de los ferrocarriles eléctricos existentes en Europa; por otra parte, mi entrañable amistad con notabilísimos Ingenieros compatriotas y extranjeros que, dedicados especialmente á estos asuntos desde hace muchos años, han alcanzado gran práctica en la construcción del mate-

rial eléctrico de tracción, y en el proyecto de instalaciones de esta índole han reunido gran acopio de datos que han tenido la bondad de poner á mi disposición, permitiéndome seguir de cerca todos sus trabajos, y por último, el haber tenido el honor de colaborar en aquellos estudios de electrificación, que por su importancia harán que, de llegar á ser una realidad, España ocupe en este ramo de la ingeniería el puesto que tan legítimamente le corresponde, son mis únicos títulos para emprender la labor que sirve de encabezamiento á esta Memoria. No aspiro en ella más que á sentar los jalones que puedan servir de ayuda para la visión del conjunto del problema de la electrificación de los ferrocarriles españoles, sin pretender dar una norma fija para cada caso particular, y si únicamente en la exposición de datos que acompañe, puede algún compañero encontrar auxilio para un estudio de electrificación, me daré por muy satisfecho con el resultado de mi modesto trabajo.

Comenzaré éste con unas notas de carácter histórico, para dar idea del enorme desenvolvimiento de la tracción eléctrica en las postrimerías del siglo pasado y principios de éste; luego trataré de hacer un detenido estudio comparativo de las tracciones eléctrica y de vapor, dejando para final la cuestión de la elección de sistema, una exposición del estado actual del problema en los diferentes países y la aplicación de todos los principios expuestos á las condiciones peculiares de nuestra España.

Historia de la tracción eléctrica.

Próximamente en el año 1835, es decir, poco después de la aparición de la locomotora de vapor, Tomás Davenport, de Brandon (Vermont), construyeron más de cien modelos de automotores eléctricos con acumuladores, utilizando un tercer carril para la toma y el retorno de corriente. En la patente de invención especificaba que «la generación del movimiento de rotación era debida á repetidos cambios de polaridad de las magnetos», cambios producidos por un conmutador.

Más tarde, en 1842, Davidson construyó un coche de dos ejes para el ferrocarril de Edimburgo á Glasgow, movido por baterías de hierro y cinc en ácido sulfúrico y electroimanes, alcanzando una velocidad de cerca de 8 kilómetros por hora. Apoyándose en los mismos principios hicieron también ensayos Hall, Page y muchos otros, sin conseguir el resultado apetecido.

El descubrimiento de los generadores eléctricos, comúnmente llamados dinamos, empleables asimismo como motores, dió un nuevo impulso á los trabajos de los investigadores. En 1867, Moses G. Farmer consiguió mover un coche con motor y una dinamo.

En 1879, Siemens y Halske presentaron en la Exposición Industrial de Berlín una pequeña locomotora que arrastraba consigo tres coches, utilizando una dinamo generadora de corriente y un motor de 3 HP. á 160 voltios con tercer carril para la toma.

En 1880, Tomás Edison hizo experiencias en Menlo Park (New-Jersey), casi simultáneamente con las de Stephen D. Field en Massachusetts, utilizando ambos dinamos generadoras, y Siemens acudió ya á las Exposiciones de París (1881) y Viena (1885), empleando la toma de corriente de conductor aéreo. Este mismo sistema con algunas innovaciones empleó Van Depoele en un pequeño ferrocarril eléctrico expuesto en Chicago.

Desde esta época, el progreso de la tracción eléctrica se acentúa, y reducida como estaba ésta á tímidos ensayos, pasa á invadir el campo de los servicios públicos. Siemens y Halske construyeron en 1881 una línea de tranvía en Lichterfelde, próximo á Berlín, y en 1883 electrificaron el ferrocarril de Portrush, en

(1) La escasez actual de material ferroviario se hace sentir lamentablemente en algunas de nuestras cuencas carboníferas.

el Norte de Irlanda, de vía estrecha y 10 kilómetros de longitud, utilizando la energía de un salto de agua que movía una dinamo serie á 250 voltios con tercer carril para la toma. Se multiplican las aplicaciones de la electricidad á la tracción, y sólo en América, desde 1884 á 1888, se implantan 30 líneas de tranvías eléctricos, bien es verdad que de escasa importancia, pues entre todas no sumaban una longitud mucho mayor de 100 kilómetros.

La primera instalación práctica de tranvía eléctrico, muy semejante á las ejecutadas en nuestra época, es la del tranvía de Richmond, de 18 kilómetros de longitud y 10 por 100 de pendiente, debida á la Sprague Railway Motor C.^o Una central de vapor con una máquina de 300 HP. y una dinamo de 450 voltios de corriente continua, proporcionaba la potencia necesaria, que era transmitida por conductores de cobre á pequeños automotores equipados con dos motores serie de 7 HP. En Julio de 1888 había 30 coches en explotación.

Sprague y sus asociados emprendieron la tarea de convencer á los directores de las Empresas de que la tracción eléctrica podía substituir económicamente á la tracción animal de vapor ó por cable, y consiguieron instalar multitud de líneas de tranvías eléctricos. La Thomson Houston Electric C.^o adquirió las patentes y derechos de Van de Depeele, é hizo instalaciones bastante análogas á las de la Sprague C.^o En 1892 se constituyó la General Electric C.^o como fusión de la Thomson, la Sprague y la Edison C.^o, y tanto esta entidad como la Westinghouse, la Siemens, la A. E. G. y otras varias Empresas conocidísimas en el mundo de la electrotecnia, han venido laborando por el progreso de la tracción eléctrica.

En los primeros tiempos hubieron de atenerse á la base del motor de corriente continua de poca potencia y bajo voltaje, único conocido entonces como propio para el servicio de tracción; pero esto significaba una limitación que dificultaba extraordinariamente el que la tracción eléctrica rebasara el campo de los tranvías urbanos é invadiera el del arrastre de grandes pesos á largas distancias. Como en este caso se hacía sentir la necesidad de usar el material móvil ordinario, era preciso concentrar la energía de arrastre en una ó varias unidades especiales, y así nació la locomotora eléctrica.

Al hablar de los principios de la tracción eléctrica hemos hablado ya de los de la locomotora eléctrica; únicamente debemos añadir que, aun luchando con las dificultades apuntadas en 1893, habían ya construido la Baldwin C.^o y la Westinghouse C.^o una locomotora de 60 toneladas para el North American C.^o; con cuatro motores de 200 HP., de 225 revoluciones á 800 voltios con corriente continua, acoplados en serie para el arranque y en paralelo durante la marcha. Las magnetos de los motores tenían el arrollamiento en *compound*, y las vueltas en paralelo eran únicamente las suficientes para mantener la velocidad dentro de límites razonables, con cargas pequeñas.

Los motores estaban dispuestos para la recuperación de energía en las bajadas.

Coincidió esto con el progreso de la electrotecnia de la corriente trifásica, y puede decirse que la divulgación del sistema Tesla, de transporte económico de energía á grandes distancias, hizo posible el desarrollo de los ferrocarriles eléctricos interurbanos. Conviene recordar que la energía de las cataratas del Niágara no fué transportada á Buffalo, distante 35 kilómetros, hasta el 16 de Noviembre de 1896.

La corriente trifásica, utilizada para el transporte de energía, permitía ó bien emplear motores trifásicos para la tracción, á lo que correspondieron los ensayos de Siemens, en Charlottemburgo (Berlín), en 1892 con un motor trifásico de 600 voltios, 1.500 revoluciones y 50 períodos, ó bien transformar la corriente trifá-

sica en corriente continua con grupos convertidores en subestaciones ó en la misma locomotora y seguir utilizando los motores de corriente continua con sus innegables ventajas y poco peso. La primera línea electrificada, obedeciendo á este último principio, fué la del Lowell Suburban Railway, inaugurada en 1895, con energía transmitida en forma de corriente trifásica á 5.500 voltios y cuatro grupos convertidores de 75 kilovatios, 900 revoluciones y 30 períodos.

Este año de 1895 marca una etapa memorable en la historia de la tracción eléctrica: la Compañía del ferrocarril Baltimore Ohio electrificó el túnel y la línea de Baltimore Belt utilizando cinco locomotoras de 96 toneladas y 1.040 HP. de potencia para remolcar toda clase de trenes de viajeros y mercancías, dándose así el primer paso en la lucha entre la tracción eléctrica y la de vapor. En el mismo año se instaló la tracción eléctrica en el ferrocarril Interurbano de Cleveland Akron (65 kilómetros), los ferrocarriles subterráneos de Boston y Central de Londres, los ferrocarriles elevados de Chicago y Brooklyn, las líneas del Sacramento y Fresno en California (de 37 y 56 kilómetros de longitud, respectivamente), la línea de Portland en el Oregón y otras varias. El año 1896 es igualmente brillante para la tracción eléctrica; se implanta ésta en varias líneas y la Brown Boveri monta los tranvías de Lugano, utilizando la corriente trifásica para la alimentación directa del motor. Dos años más tarde, con el mismo sistema instala esta Compañía tres ferrocarriles de cremallera en Suiza, entre ellos el famoso de la Jungfrau, y en 1899 electrifica de análoga manera la línea de Burgdorf-Thun (42 kilómetros). Aun cuando los voltajes usados en un principio son modestos (entre 500 y 750 voltios) en estas instalaciones de corriente trifásica, las principales dificultades estaban vencidas: con éxito satisfactorio eleva el voltaje hasta 3.000 voltios la Ganz Electric C.^o en su instalación para el ferrocarril de la Valtellina inaugurada en 1902, y el Estado italiano adopta este sistema para la electrificación de sus líneas, aplicándolo á las del Giovi, Savona-San Giussepe y el túnel de Saint-Cenis. En España poseemos un brillante ejemplo de este sistema de tracción en la línea Santa Fe-Gérgal (trozo del de Linares á Almería) que ha sido la primera línea electrificada en nuestro país; utiliza corriente trifásica á 5.500 voltios y 25 períodos, estando hecha la instalación por la Sociedad Brown-Boveri.

Vemos, pues, que el sistema trifásico rivaliza ya con el sistema de corriente continua, y en la lucha de ambos sistemas aparece como elemento que puede ser decisivo el aumento de voltaje. Con el sistema trifásico este aumento está limitado por la necesidad de un suficiente aislamiento entre los dos conductores aéreos de distinta fase, y el voltaje límite no excede de unos 6.000 voltios.

Con el sistema de corriente continua la limitación nace del necesario aislamiento en el motor, entre delgas de colector, buena conmutación, etc., y el empleo de motores de corriente continua con polos auxiliares, doble colector y otras disposiciones de las que más adelante hablaremos, ha permitido elevar notablemente el voltaje en la línea aérea; la casa Siemens Shuckert ha contribuido notablemente á este progreso construyendo, á partir de 1906, más de catorce instalaciones de voltaje superior á 1.000 voltios, con una longitud total de más de 350 kilómetros; pero realmente es en América donde más incremento ha alcanzado este sistema, pues en 1912 existían ya doce líneas con un desarrollo total de 1.010 millas y un voltaje de 1.200 voltios y dos líneas con 239 millas y 1.500 voltios.

Hasta ahora no hemos tratado más que de la tracción eléctrica en corriente continua ó alterna trifásica, pero no por ser la de más reciente aplicación es la corriente alterna monofásica la

menos empleada para la tracción. El principio fundamental de que los motores de continua, con núcleos polares laminados, eran utilizables para corriente monofásica, fué ya publicado en 1884 por Alexander Siemens, y hacia principios del año 1890 construían Ganz y Eichenmeyer motores monofásicos con arrollamiento compensador y potencias hasta de 50 HP.; simultáneamente nace el motor monofásico de Eliu Thomson, y en 1892 Oerlikon ensaya el primer motor-repulsión. Todos estos ensayos, así como los efectuados en Minneapolis en el año 1898, no dieron gran resultado, y mientras no se logró perfeccionar suficientemente el motor monofásico, no pudo pensarse seriamente en su aplicación á la tracción; por eso hasta 1903 no se inauguró la primera línea de ferrocarril electrificada con corriente monofásica, que fué la de Niederschoeneweide-Spindlersfeld, en los alrededores de Berlín. Las locomotoras construídas por la A. E. G. estaban provistas de motores Winter-Eichberg, con transformadores que rebajaban la tensión de 6.000 voltios de la línea de contacto. Al año siguiente la Westinghouse electrificó también con monofásica un trozo de ferrocarril de la Compañía Indianópolis-Cincinnati.

Cuatro años más tarde existen ya 1.800 kilómetros de ferrocarril electrificados con corriente monofásica, y el buen resultado obtenido que permite utilizar tensiones hasta de 20.000 voltios, es causa de que este sistema se desarrolle rápidamente, adoptándose por los Estados de Prusia, Baviera, Suecia, Suiza y Austria para la electrificación de sus redes en España para la línea Pamplona-Sangüesa y los proyectados ferrocarriles eléctricos directos de Madrid á la frontera francesa y de Madrid á Valencia.

Con lo dicho creemos que hay suficiente para darse cuenta de las fases por las que ha pasado la tracción eléctrica hasta alcanzar ese admirable desarrollo que es asombro de nuestros contemporáneos. La historia de la tracción eléctrica es corta; pero es tan gloriosa como corta, y lástima es que en ella España haya escrito tan pocas páginas.

Estudio comparativo de las tracciones eléctricas y de vapor.

Rara será la revista técnica que no cuente en sus índices de estos últimos años multitud de artículos dedicados á debatir esta trascendental cuestión. ¿Cuál es la más económica? ¿Cuál es la preferible técnicamente entre las tracciones eléctrica y de vapor? Claro es que estando escritos la mayoría de estos artículos desde un punto de vista partidista y fijándose casi exclusivamente en algún caso particular, con pretendidas generalizaciones, más contribuyen á enturbiar que á esclarecer este difícil problema.

Y la razón de ello está en que, siendo relativamente reciente el enorme desarrollo de la tracción eléctrica, no hay abundancia de datos estadísticos, y el trabajo de recopilación de éstos resulta excesivamente arduo y laborioso. De ahí que pocos publicistas hayan tratado este asunto con toda la amplitud que merece, y en los pocos libros publicados sobre tracción eléctrica suelen encontrarse detalles constructivos de alguna Casa constructora (detalles que resultan ya anticuados cuando el libro se publica), pero es raro hallar elementos de juicio para un acertado estudio económico que decida la electrificación de una línea ferroviaria.

Esta laguna, que á nuestro parecer existe en la bibliografía de la técnica de la tracción eléctrica, es la que pretendemos llenar en este capítulo dentro de la modesta escala que nuestros escasos medios permiten.

La tracción eléctrica comparada con la tracción de vapor presenta ventajas é inconvenientes: empecemos analizando estas ventajas y quede para final el estudio de los inconvenientes, tan fantásticamente exagerados en nuestro país por el esfuerzo imagi-

nativo de algunos técnicos, que claman indignados por el supuesto dislate, siempre que de tracción eléctrica se trata.

Si nos atenemos á los tres aspectos: técnico, económico y social que presenta toda cuestión, podremos dividir en: 1.º Ventajas técnicas. 2.º Ventajas económicas; y 3.º Ventajas sociales, las que presenta la tracción eléctrica sobre la tracción de vapor, sin que se pretenda dar excesivo valor á esta clasificación, pues sobrado sabido es que en este mundo todos los fenómenos de la vida industrial tienden á manifestarse en forma de muchas ó pocas pesetas, por proceso bien semejante á todos los de transformación de la energía física, en los que siempre aparece el calor y á veces es lo único que resta. Así, pues, inclinémonos ante la razón postrera de las pesetas y que esta preocupación sirva de norte en nuestro estudio.

Ventajas técnicas.

La tracción eléctrica supone, comparada con la tracción de vapor, un aumento de capacidad, sencillez, flexibilidad y seguridad de las instalaciones y organizaciones ferroviarias: á continuación veremos que se justifica sobradamente nuestro aserto.

Capacidad.—El tractor eléctrico á igualdad de peso del tractor de vapor proporciona potencias y esfuerzos motores mucho más considerables. Esto obedece á la sencilla razón de que el tractor de vapor ha de engendrar en sí la energía que desarrolla, arrastrando á más de ello cierta cantidad de carbón como energía en estado potencial que en el tractor ha de convertirse en dinámica; por el contrario, el tractor eléctrico no ha de engendrar energía, siendo únicamente un órgano transformador de la energía eléctrica, engendrada en Centrales en energía mecánica aprovechable en el gancho de tracción.

En el cuadro que acompaña damos algunos datos de tipos de locomotoras eléctricas y de vapor; y de ellos es fácil deducir que los 75 á 110 kilogramos de peso de las locomotoras de vapor por caballo producido en la llanta, se reducen de 30 á 60 kilogramos para las locomotoras eléctricas por caballo unihorario producido en la llanta; es decir, que la reducción de peso es de un 50 por 100 aproximadamente, y que una locomotora eléctrica da la misma potencia que una de vapor de doble peso, incluyendo, naturalmente, en éste, el del tender. Pero esta superioridad se acentúa cuando se tiene en cuenta la resistencia debida al arrastre de la locomotora: en una locomotora de vapor estas resistencias pueden alcanzar hasta 18 kilogramos por tonelada para una velocidad del émbolo de 7 metros por segundo (25 kilómetros por hora), cifra obtenida en las pruebas hechas con las locomotoras francesas tipo Pacífico de la línea de Orleans (dió 1.800 HP. en la llanta y únicamente 1.200 HP. en el gancho de tracción á una velocidad de 100 kilómetros por hora, siendo su peso de 92 toneladas).

En las locomotoras eléctricas, aunque la resistencia al arrastre es notablemente superior á la de un coche remolque, dista mucho de alcanzar esos límites.

La inferioridad de la locomotora de vapor respecto á la eléctrica es mayor con velocidades de marcha moderadas que con grandes velocidades, porque la potencia por tonelada aumenta con la velocidad en las locomotoras de vapor é inversamente acontece en las eléctricas.

En América se ha llegado á construir locomotoras de vapor sumamente potentes; pero para evitar la dificultad del gran número de ejes acoplados, dificultad mal vencida y únicamente para pequeñas velocidades de marcha, por las disposiciones articuladas Mallet y otras semejantes se han visto obligadas á reconcentrar los pesos, llegando á una potencia de 1.000 HP. y una carga

de 30 toneladas por eje motor; como en Europa nuestras vías y obras de fábrica no están dispuestas para una carga tan enorme, de ahí que nuestras locomotoras de vapor no alcancen la potencia de las americanas.

Tratándose de las locomotoras eléctricas, como no existe la dificultad del gran número de ejes acoplados, pues disponiendo varios motores no es preciso acoplar todos los ejes, pueden construirse locomotoras potentísimas, sin que la carga por eje motor sea excesiva, disponiendo el número suficiente de éstos; claro es que al disminuir la carga por eje la potencia por eje no puede ser muy elevada, y aun en las modernas locomotoras trifásicas del Simplón, de cuatro ejes acopladas, como la carga por eje no pasa de 18 toneladas, la potencia no excede de 750 HP. por eje.

La tendencia moderna en tracción eléctrica es la de disminuir la carga por eje, aumentando el número de motores: buen ejemplo de ello tenemos en las locomotoras de ocho ejes motores dispuestos en cuatro bogías del New-York Central, en la que cada eje motor tiene su motor unido á él por engranaje, y análoga disposición es la adoptada por la Casa Jeumont para sus locomotoras monofásicas construídas para el Midi francés.

(Continuará.)

Algunas materias primas necesarias en la industria eléctrica.

EL TUNGSTENO

por

DÉSIRÉ PECTOR

Administrador de Sociedades coloniales.

(CONTINUACIÓN) (1)

En América: Bolivia—De la América latina es este país el reputado actualmente como más rico en producción de tungsteno.

Existe principalmente hubnerita, tungstato doble de manganeso y de hierro (TuO³. MnFe) formado de anhídrido tungstico, de 17,20 por 100 de Mn y 36 por 100 de Fe.

El mineral de tungsteno ó scheelita se halla en la cadena oriental de los Andes ó Cordillera Real y en los contrafuertes de ésta. Lo más frecuentemente, este mineral se halla próximo á las formaciones de estaño y también en los mismos filones de estaño, como en Uancio, en Huanuco, en Oruro y en otras partes. Según el Ingeniero griego Miltiade Armas, los filones de tungsteno están frecuentemente amalgamados con esquistos y con cuarcitas paleozoicas. Son fracturas más ó menos perpendiculares en la estratificación y de potencias muy variables: desde algunos centímetros, hasta 1 ó 2 metros. El relleno es de cuarzo, en el que se halla el tungsteno diseminado muy irregularmente y combinado con otros minerales.

La principal mina de tungsteno de Bolivia es la de Kami, departamento de Cochabamba, cerca de la ciudad del mismo nombre y es propiedad del Sr. Simón Patiño. Produce de 20 á 25 toneladas mensuales. Merece también citarse el mineral de tungsteno de estaño y de bismuto de Milluni (á 40 kilómetros de La Paz) explotados por la Sociedad Huanay-Potosí-Milluni y los hermanos señores Huet.

(1) Véase el número anterior.

La producción total de Bolivia ha sido en:

	Toneladas.
1903.....	70
1910.....	210
1912.....	497
1913.....	564
1914.....	276
1915.....	793

La exportación de 1915 se ha valorado en 1.497.845 pesos bolivianos, equivalente uno de éstos á 1,85 pesetas.

En 1916 los precios anormales inesperados alcanzados por este mineral en Europa dieron lugar á la explotación de pequeños filones de algunos centímetros apenas de potencia. Así la producción de los cuatro primeros meses de este año fué de 755 toneladas, con un contenido medio del 65 por 100 de anhídrido tungstico TuO³ y valorada en 1.502.559 pesos bolivianos; ahora bien, desde entonces, la baja de los precios en Europa llevó consigo la disminución de la explotación y de la producción de Bolivia, que en todo el año 1916 no alcanzó más que á 920 toneladas.

Estados Unidos.—Este país produce principalmente scheelita tungstato de calcio TuO³Ca.

Los principales centros de explotación son en la actualidad: en el *Estado de Colorado*, sobre todo en el condado de Boulder, donde existe tungsteno y hubnerita combinados con cuarzo. En 1907 se extrajeron 1.200 toneladas de anhídrido tungstico. Las principales Sociedades explotadoras son: la Wolf Tongue Mining Co., Stein Baricke Co., Boulder County Co., Colorado Tungsten. Además hay muchos pequeños propietarios que tratan el mineral por su cuenta.

En Colorado se cita igualmente los yacimientos de San Juan (tungsteno combinado con fluorina y sulfuros), de Ward (hubnerita) y de Nederland (tungsteno con rastros de oro y de plata); en el *Estado de Nevada*: yacimiento de Osceola que en 1900 produjo 45 toneladas de hubnerita, de Bulder (hubnerita); en el *Estado de Connecticut* (Munroe y Long Hill); en el *Estado de Washington* (Loomis); en la *Carolina del Norte* (Misouri); en los *Estados de Montana, Nuevo México, Oregón, South Dakota, California* (cuproscheelita).

Según el *Geological Service* de los Estados Unidos, este país ha producido concentrados del 60 por 100 de mineral de tungsteno (en «short tons» de 907 kilogramos cada uno en la forma siguiente:

Años.	Short tons.	Valor total en dólares.
1910.....	1.821	832.922
1911.....	1.139	407.985
1912.....	1.330	502.158
1913.....	1.637	572.118
1914.....	990	435.000
1915.....	2.332	4.100.000
1916.....	7.459	31.500.000

Para más detalles respecto á los Estados Unidos, puede consultarse la excelente obra de W. H. Weede: *The Mines hand book and Copper Handbook*.

Argentina.—Existen varias cuencas de producción situadas todas en la vertiente de la cordillera de los Andes, hacia la parte septentrional de ésta. El yacimiento más importante es el de «Los Cóndores», en la provincia de San Luis, cerca de la estación de Concoran. Esta propiedad pertenece á una Sociedad alemana. El filón de esta mina, situado entre rocas graníticas de la época paleozoica, alcanza una extensión de 1.200 metros. Su potencia media es de 1 y 1/2 metros. El tanto por 100 del mineral TuO³ va-