

La electrificación de ferrocarriles en Europa

4
POR

CÁRLOS VALENZUELA CRUCHAGA

Las ventajas de la tracción eléctrica sobre la a vapor i la palabra oficial de los gobiernos europeos.—La elección del sistema mas favorable.—La transmision.—La locomotora eléctrica.—Los recientes trabajos de electrificación en las grandes líneas europeas.—Conclusion.

I

La aplicación de la tracción eléctrica a las grandes líneas, servidas hasta ahora con tracción a vapor, constituye un acontecimiento trascendental en la historia ferroviaria del mundo, cuya repercusión se hará sentir intensamente en la economía humana.

No se trata aquí solamente del aspecto inmediato que comporta la aplicación del nuevo sistema: ganancia de tiempo, de dinero i de comodidad con las mayores velocidades, los menores de costo de explotación i la supresión del humo en los túneles i en las estaciones; sino tambien del aspecto inmediato que guarda relación con la economía de aquellos pueblos abundantes en fuerzas hidráulicas, pero que han sido hasta hoy tributarios del carbon extranjero, sea por el bajo poder calorífico de los carbones nacionales, sea por su carencia en absoluto. Para ellos la aplicación del nuevo sistema de tracción es promesa cierta de un brillante porvenir.

Así se explica el creciente interes que le dedican a esta materia los diversos gobiernos europeos, sea nombrando comisiones de estudio anexas al servicio ferroviario, sea instalando nuevas líneas de ensayo, sea equipando con el sistema eléctrico las viejas líneas plétóricas de tráfico. Es digno de mencionarse aquí los prolijos ensayos que en este sentido han realizado los gobiernos de Alemania, Italia, Suiza i Suecia, países en que la electrificación ferroviaria ha encontrado un vasto campo de aplicación.

Esos ensayos han demostrado en forma incontrovertible que en debidas condiciones la tracción eléctrica es mas económica que la a vapor. En efecto, sea que se genere la energía eléctrica con fuerzas hidráulicas baratas o con carbon, el solo hecho

de centralizar la producción de la energía en un punto determinado i de producirla con máquinas de alto rendimiento, significa ya una gran economía. Pero todavía queda la posibilidad de hacer marchar la central con carbones de calidad inferior. Este es el caso, por ejemplo, en la gran línea Magdeburgo-Leipzig-Halle, que atraviesa los yacimientos hulleros de Sajonia i Turinja: en la central de Muldenstein se usan lignitas de 2 500 a 2 700 calorías, que cuestan dos marcos la tonelada.

La experiencia enseña que los gastos de conservación i mantenimiento de la locomotora eléctrica son menores que los de su similar a vapor. Así en la línea Dessau-Bitterfeld se gastó en el último semestre 71,24 Mk por 1 000 locomotora-kilómetros con tracción eléctrica i 81,94 Mk con tracción a vapor para el mismo servicio. Este hecho encuentra su explicación tanto en el menor número de locomotoras con que es posible hacer el servicio eléctrico a igualdad de tráfico, como en la mayor sencillez i fácil recambio de las piezas que integran las locomotoras eléctricas. Además, la presencia del tender con su consiguiente demora en el aprovisionamiento de carbon i agua, la limpieza i puesta en presión i, sobre todo, las enfermedades de que adolece la caldera en la locomotora a vapor, disminuyen el tiempo útil de explotación, limitando el recorrido anual alrededor de los 40 000 Km en promedio. Entre tanto, en el corto trayecto de Dessau-Bitterfeld, de 26 Km, las locomotoras eléctricas del Estado prusiano han recorrido mensualmente 7 500 i 4 000 Km con trenes de carga i de pasajeros, respectivamente, lo que hace esperar fundadamente que una vez terminada toda la línea ese kilometraje alcanzará anualmente a 91 500 i 52 500 Km. A este respecto mencionemos aquí el hecho de que los wagones motores del ferrocarril Colonia-Bonn recorren 100 000 Km por año.

Según el último informe que semestralmente pasa al Ministerio respectivo la administración de Halle, se ha comprobado que las locomotoras eléctricas requieren anualmente 65 i 55 días para reparaciones en las maestranzas, al paso que las locomotoras a vapor exigen 85 i 71 para el mismo servicio, esto es en promedio un 70% mas de tiempo.

Campean todavía a favor de la locomotora eléctrica el menor peso muerto arrastrado i el mayor peso adherente. Mas aun, como la locomotora eléctrica carece de masas animadas de movimiento alternativo es posible construir sus ruedas motrices con diámetros menores sin temor de dañar la superestructura aunque se aumente la velocidad. Además, el motor eléctrico es susceptible de un alto grado de sobrecarga. De ahí resulta que con la locomotora eléctrica puedan formarse trenes mas pesados que con la locomotora a vapor i pueda tambien alcanzarse una aceleración i, finalmente, una velocidad comercial notablemente mas elevada. Así, en Suiza, la aceleración de los trenes espresos i de pasajeros es de 0,15 m por segundo al cuadrado, con servicio a vapor al paso que los trenes eléctricos desarrollan 0,30 i mas. La consecuencia final es un aumento notable en la capacidad de acarreo de la línea.

Como ya lo mencionamos de paso, el equipo eléctrico es mas favorable a la conservación de la vía que el a vapor, en atención a que en él no existen las acciones derivadas de las masas con movimiento alternativo: en la locomotora eléctrica todos

los movimientos son circulares. Además existe la posibilidad de un frenaje económico con auxilio de la recuperación. En las líneas del Giovi, por ejemplo, se calcula en 150 000 liras la economía anual solo en rieles, llantas i zapatas de freno que se obtiene con el empleo del material eléctrico. La ausencia de chispas i de humo que ataca los techos de las estaciones i que exige muchas veces en los túneles costosas instalaciones de ventilación es otra ventaja que abona la locomotora eléctrica. Es así que tienen servicio eléctrico los túneles del Giovi, del Simplon, del Lötschberg, del Cascade, del Saint-Clair, i recientemente el Mont Cenis.

Agreguemos, para terminar, que el manejo de la locomotora eléctrica es mas sencillo e infinitamente mas cómodo que el de la locomotora a vapor. Las señales se hacen mas perceptibles durante la noche gracias a la ausencia del hogar. La tracción múltiple es así mismo fácil de realizar mas económicamente que con servicio a vapor. Finalmente las grandes centrales que sirven las líneas eléctricas favorecen el desarrollo de la industria privada con la venta a bajo precio, de la energía eléctricas.

Estas ventajas, que en forma sumaria hemos espuesto, no son consideraciones teóricas: son hechos efectivos que la práctica ferroviaria de varios países ha probado en forma absoluta, incontestable. No es extraño pues que el último Congreso Internacional de Ferrocarriles, reunido en Berna en 1910, al que se remitieron estensas memorias oficiales relativas a esta materia, aprobara unánimemente las siguientes conclusiones:

1.º Los grandes progresos realizados por la tracción eléctrica en estos últimos años la capacitan para resolver técnicamente en forma satisfactoria el problema de la explotación de las grandes líneas, sea por medio de automotrices, sea por medio de locomotoras, si hai que desarrollar grandes velocidades o arrastrar trenes pesados.

2.º Este objetivo puede alcanzarse con varios sistemas: la elección de uno o de otro es cuestion de conveniencia local.

3.º El Congreso invita a las administraciones que tienen el propósito de aplicar la tracción eléctricas en sus líneas a facilitar el intercambio del material.

Hasta aquí el Congreso de Berna.

Entre tanto, i aunque ello parezca paradojal, quien se eche a sumar el kilometraje total de las líneas eléctricas en servicio i aun de las en construcción encontrará que su numero es reducido, a pesar de sus grandes ventajas. La lentitud relativa en el progreso de la electrificación estriba ante todo en los grandes costos que significa la implantación de la tracción eléctrica. Mostremos con algunos números la verdad de este acerto.

1) Línea *Lauban-Königszell* (520 kilómetros en construcción).

1. Central: 18 400 Kw de potencia a 300 Mk el Kw.....	5,50 mill
2. Cuatro sub-estaciones 80 000/15 000 volts, de 13 400 KKVA de potencia a 56 Mk el KVA.....	0,75 *

3. Alimentadores: 168 kilómetros doble alambre.....	1,60 mill
4. Conductor aéreo a 15 000 volts de tension, 520 kilómetros de largo a 11 500 Mk el kilómetro.....	6,00 »
5. Locomotoras: 20 locomotoras tipo I. C. I. para trenes espresos i de pasajeros de 1 800 caballos de potencia i 41 para trenes de carga tipo I. D. I. de 2 500 caballos del Estado prusiano.....	7.40 »
Total.....	21,25 mill

de marcos. (Central hidro-eléctrica).

2) Línea *Kiruna-Rinksgränzen* (Suecia) (149 kilómetros en construccion).

1. Cental hidro-eléctrica.....	14 861 000 Mk
2. Cuatro sub-estaciones 80 000/15 000 cada una para una potencia de 3 000 KVA.....	2 260 000 »
3. Alimentadores a 80 000 volts.....	3 600 000 »
4. Conductor aéreo, 149 kilómetros a 15 000 volts.....	900 000 »
5. Trece locomotoras de carga tipo C C.....	2 030 000 »
6. Dos locomotoras para trenes de pasajeros.....	210 000 »
Total..	23 861 000 Mk

Conviene tener presente que esta gran central ha sido proyectada tanto para el ferrocarril *Kiruna-Rinksgränzen*, como para suministrar energía eléctrica a la industria del salitre sintético.

3) Línea *Magdeburgo-Halle-Leipzig* (123 kilómetros de doble vía).

1. Central termo-eléctrica.....	5 636 200 Mk
2. Nuevos edificios.....	134 000 »
3. Sub-estaciones.....	817 000 »
4. Alimentadores i conductor aéreo (229 kilómetros).....	13 887 000 »
Total...	20 474 200 Mk

Vienen despues razones de órden estratégico: la destruccion de una central en caso de guerra paralizaria todo el servicio de la línea. Ya se comprende que por este motivo un gran número de líneas no pueden cambiar un sistema de traccion. En seguida hai numerosos sistemas i naturalmente cada uno tiene la pretencion de ser el mejor. Esa mútua concurrencia unida a los crecidos intereses que se han formado al lado de la locomotora a vapor retardan la implantacion de la traccion eléctrica.

Finalmente, i esta causa no es la menor: no hai que olvidar el misoneisimo: el

horror a lo nuevo. Sobre todo a lo nuevo que viene aparejado con problemas técnicos complejos, cuya resolución es tan fácil de evitar cuando se adopta el partido de esperar el resultado de la experiencia en cabeza ajena.....

II

Como se sabe el ejercicio de la tracción eléctrica en las grandes líneas requiere una central, en que se genera la energía a gran voltaje, una transmisión, varias subestaciones distribuidas a lo largo de la línea a fin de bajar la tensión en el conductor aéreo a límites convenientes i finalmente el equipo motor: automotrices o locomotoras.

La decisión sobre el sistema por adoptar, esto es, por la clase de corriente con que se quiere hacer marchar la instalación, es cuestión de capital importancia, en un proyecto de tracción. A este respecto hai que advertir que esta materia ha dado margen a infinitas discusiones i polémicas apasionadas entre los partidarios de cada sistema, discusiones en que no siempre la sinceridad i la honradez han sido las normas invariables de conducta. Felizmente la experiencia de varios años de ejercicio ferroviario con todos los sistemas ha venido a desvirtuar con hechos claros i concretos las suposiciones mas o ménos antojadizas que se hicieran al respecto.

De los dos sistemas de corriente en que se utiliza la energía eléctrica, a saber continua i alterna, en las grandes líneas de Europa se usa esclusivamente el segundo sistema, ya sea en forma de corriente monofase o de corriente trifase. La corriente continua ha encontrado en cambio un vasto campo de aplicación en los tranvías urbanos, en los metropolitanos i en los ferrocarriles interurbanos o vecinales de corta extensión con gran intensidad de tráfico i trenes livianos. En tales casos este sistema es insuperable. Pero en las grandes líneas no ocurre lo mismo en atención a que el motor a corriente continua no se presta al trabajo con voltajes elevados, característica fundamental que debe tenerse muy presente al proyectar una transmisión a fin de economizar en el peso de cobre. Tampoco existe un transformador estático para corriente continua. De manera que precisa hacer la transmisión a corriente trifase i convertirla en continua. Ahora bien, esas estaciones provistas de convertidores rotatorios son caras i costosas en su mantenimiento. En resumen se ha descartado el sistema a corriente continua en las grandes líneas europeas por considerársele ménos económico que los demas.

Quedan, pues sobre el tapete de la discusión el sistema monofase i el sistema trifase.

Por lo que respecta a la potencia de la locomotora i al torque de partida que es capaz de desarrollar el motor, ámbos sistemas satisfacen sobradamente las exigencias ferroviarias. Ya están desde largo tiempo en servicio locomotoras eléctricas de 2 000 caballos i mas en las líneas del Giovi. Las nuevas locomotoras del Lötschberg tienen 2 500 caballos i a la velocidad normal de 50 kilómetros por hora son capaces de desarrollar en el collar de la locomotora un esfuerzo de 10 000 kilogramos. El esfuerzo a

la llanta de la rueda es de 13 500 kilogramos. En el arranque la locomotora puede desarrollar 18 000 kilogramos.

La superioridad en la energía del torque desarrollado por el motor trifase sobre el del monofase queda contrabalanceada con la sensibilidad del motor trifase a las variaciones de tension, como quiera que su momento de torsion varia proporcionalmente al cuadrado de la caída del voltaje. Sin embargo, el punto no tiene tanto interes en las grandes líneas como en los tranvías o metropolitanos.

Los dos sistemas son capaces de cumplir con los horarios mediante el aumento de la velocidad. Como se sabe el motor trifase tiene una velocidad constante cualquiera que sea el perfil de que se trate: su velocidad es funcion de la frecuencia i del número de polos. Para hacerla variar se utiliza el acoplamiento en cascada o la permutacion del número de polos. En el motor en serie a colector, que es como el motor en serie a corriente continua autoregulator de potencia, la variacion de velocidad se realiza de una manera sencilla por el transformador, a saber: variando la tension. La fijeza en las velocidades del motor trifase tiene el inconveniente de que si no se dispone de un escalon de reserva no es posible recuperar el tiempo perdido por cualquier atraso. En todo caso este punto no ha dado lugar a observaciones por parte de la administracion de las líneas del Giovi i esto que allí las locomotoras marchan solamente con dos velocidades: 22,5 i 45 kilómetros por hora.

La experiencia ha enseñado que en ámbos sistemas es posible sin mayores dificultades la traccion múltiple, sea manejando todos los motores desde un solo punto del tren, sea colocando una locomora a la cabeza i otra al fin del tren servidas por sendos maquinistas.

Queda a favor del sistema trifase la ventaja del menor peso de la locomotora a igualdad de potencia con la monofase, por lo ménos de un 20%. Las locomotoras trifases del Giovi, por ejemplo, desarrollan 2 000 HP con 60 toneladas de peso, en tanto que las monofases del Lötschberg desarrollan la misma potencia con ochenta toneladas.

En cambio el sistema monofase tiene a su favor la simplicidad i economía en el conductor aéreo: el sistema trifase necesita por lo ménos dos alambres en la transmision aérea, mientras tanto que el monofase no requiere mas que uno solo. Además, los cambios i cruzamientos resultan con el sistema trifase mas complicados que con el monofase. El conductor aéreo único i el transformador ambulante permiten al sistema monofase una mayor elevacion de tension (15 000 volts) que al sistema trifase (3 000), lo que significa un mayor alejamiento i, por lo tanto, un menor número de estaciones de transformacion. En cambio los aisladores se encarecen con la elevacion del voltaje. Así mismo, la locomotora monofase a causa del transformador, que no posee la trifase, resulta mas pesada i mas cara.

A favor del sistema trifase hai que mencionar la recuperacion de las pendientes de alguna importancia. I este punto no sólo por la economía misma en el consumo, sobre todo cuando se compra a terceros la energía eléctrica, sino tambien por la seguridad i economía en el frenaje: ya dijimos que en las líneas trifases del Giovi se estima

en 150 000 libras la economía anual en rieles, llantas i frenos. La recuperacion con el sistema monofase aún no es cuestion resuelta.

Finalmente, en la eleccion de un sistema no hai que perder de vista el conjunto. Esto vale decir, que por razones inútiles de esponer aquí, es altamente conveniente disponer de un sistema único en toda la red por electrificar. I en favor de este propósito bien pueden sacrificarse algunas ventajas que pudieran presentar la aplicacion de otro sistema a algunas lineas aisladas. Prolijos estudios realizados en esta materia aquí en Alemania han decidido al Gobierno Imperial a aceptar el sistema monofase en todas las lineas por electrificarse, con una tension de 15 000 volts. En Suecia i Austria se ha adoptado tambien el sistema monofase. La Compañía Meridional de Ferrocarriles en Francia ha hecho otro tanto. En Inglaterra, la London-Brighton and South Coast Railway ha adoptado tambien el sistema monofase. En Italia, en cambio, se ha dado preferencia al sistema trifase a 3 000 volts.

En resumen, por las consideraciones anteriores creemos dejar en claro que no es posible pronunciar un juicio a priori sobre la superioridad o inferioridad de un sistema sobre otro. Es esta materia delicada que debe estudiarse cada caso particular, i cuya resolucion depende de numerosos factores, no siendo por cierto el menor de ellos el factor de los gastos.

III

Como ya hemos mencionado, la energía eléctrica se trasmite en forma de altos voltajes, 60 000 volts i mas en los alimentadores i hasta 15 000 volts en el conductor aéreo.

En estas condiciones, si bien es cierto que aumentan las dificultades i los costos del aislamiento, tambien es cierto que la economía en el peso del cobre compensa con creces aquellos mayores gastos.

Otro capítulo importante en el estudio de la transmision es la cuestion de la frecuencia. La frecuencia elevada influye favorablemente sobre las dimensiones de los jeneradores, determinándolos mas livianos i baratos. En cambio influye desfavorablemente sobre la transmision, provocando mayores pérdidas en la línea. El motor monofase requiere imprescindiblemente bajas frecuencias para realizar una buena conmutacion. En el sistema trifase la baja frecuencia es asinismo favorable para las velocidades pequeñas, i a fin de reducir la impedancia de la fase a tierra. Comparando las ventajas i desventajas de las unas al frente de las otras, se ha adoptado en Alemania i Austria la frecuencia 50.3, $= 16 \frac{2}{3}$, i en Suiza e Italia la de 15 períodos por segundo, como la mas favorable.

El conductor de donde recibe el vehículo motor la energía necesaria es o bien un tercer riel aislado paralelamente dispuesto a la vía o bien un alambre aéreo sostenido por postes metálicos. El tercer riel presenta grandes ventajas desde el punto de vista de su resistencia mecánica i fácil acceso, pero su aislamiento es difícil de realizar a una tension superior a 1 000 volts. Por otra parte es caro en su mantenimiento i peligroso en las estaciones. Sobre todo el punto de la tension relativamente baja, como su

gran impedancia para conducir la corriente alterna lo inhabilitan en las grandes líneas. Su esfera de aplicacion queda restringida a los metropolitano i ferrocarriles interurbanos con tensiones de 600 a 660 volts.

El otro sistema, en cambio, se ha jeneralizado en todas las grandes líneas en Europa. El conductor aéreo presenta en este caso dificultades mucho mas serias que en el caso ordinario de los tranvías, ya sea debido a la gran velocidad con que se desliza a lo largo de él con cierta presion el toma-corriente, sea la accion de la temperatura i del viento, sea al aislamiento. El primer punto exige que el alambre se mantenga rigurosamente horizontal a fin de evitar los esfuerzos de cizalle que agregados a las chispas concluirían por deteriorar prematuramente todo conductor que presentara ondulaciones. Se agrega a la anterior dificultad la accion de la temperatura ambiente, sujeta a oscilar en climas rigurosos entre límites bastante grandes, i la presion del viento que unida a la accion anterior puede provocar en distancias de 100 metros solicitaciones peligrosas. Finalmente la tension elevada requiere un aislamiento seguro.

Las diversas firmas que se ocupan de estos trabajos en Europa han satisfecho completamente los requisitos anteriores mediante una serie de soluciones ingeniosas, cuyo principio espondremos aquí brevemente.

Hai dos sistemas de suspension para el alambre, a saber: la suspension lonjitudinal i la suspension trasversal. La primera se ha aplicado en las trasmisiones monopolares, la segunda en las bipolares. En principio, la suspension lonjitudinal se compone de un cable de acero aislado, soportado por torres metálicas cada 75 o 100 metros, que suspende un alambre ausiliar al que se sujeta el conductor aéreo. En el sistema de Siemes-Schuckert, por ejemplo, hai tres alambres dispuestos sucesivamente a cierta distancia unos de otros. El alambre inferior es un conductor de cobre duro, de seccion perfilada, jeneralmente con 100 milímetros cuadrados de superficie. Este conductor va suspendido al alambre ausiliar de hierro colocado inmediatamente arriba de él por medio de pinzas de bronce, que le permiten deslizarse lonjitudinalmente manteniendo siempre la horizontalidad. Finalmente el alambre ausiliar va sostenido por alambres verticales que en largos proporcionados a la flecha lo ligan al cable de acero superior. Este cable se suspende desde un principio dándole una flecha bastante grande, de tal manera que las variaciones en el largo provocadas por las diferencias de temperaturas no lo influencien sensiblemente. Para impedir las oscilaciones laterales del conductor se le liga conjuntamente con el alambre ausiliar en cada poste a una tornapunta formada de un tubo de gas, aislado eléctricamente del poste i susceptible de jirar vertical i horizontalmente con la presion del conductor. El conductor aéreo no tiene soldaduras: son largas tiradas de alambre de unos 600 metros que se rematan en pesos convenientemente proporcionados. Estos pesos por intermedio de una rondana mantienen automáticamente la tension requerida en el alambre. Con dispositivos semejantes al descrito anteriormente resuelven el mismo problema las otras firmas.

Esta trasmision tiene la ventaja de permitir grandes distancias entre los postes con lo que se obtiene una economía en la trasmision.

La suspension trasversal soporta únicamente los dos conductores. En Italia tales trasmisiones se han hecho de tubos Mannesman dispuestos cada 25 o 30 metros.

Digamos para terminar que jeneralmente los postes metálicos sostienen tambien los alimentadores de alto voltaje. Creemos interesante esponer aquí lo que cuesta el mantenimiento anual de una línea con suspension lonjitudinal. Tomamos por caso la Hamburgo-Altona-Blanquenes-Olsdorf, que hemos visitado detenidamente. En esa línea se ha constatado que el paso de un millon de «toma corrientes» desgasta el alambre de medio milímetro. Admitiendo una seccion de 100 milímetros cuadrados para el conductor la esperiencia de seis años de explotacion en aquella línea de gran tráfico enseña que resulta mas práctico cambiar el alambre cuando se ha gastado 5 milímetros que atender a sus constantes reparaciones. El mantenimiento de la trasmision cuesta 575 Mk por kilómetro distribuidos como sigue:

Material.....	36	Mk
Salario de operarios.....	231,40	
Pago de pintores.....	57	
Cambio de alambre.....	164	
Revision e inspeccion.....	85,70	
	574,10	Mk

La línea en cuestion tiene 70 kilómetros de largo.

IV

El rápido perfeccionamiento de la locomotora eléctrica resume, por decirlo así, el progreso cada vez mayor de la traccion eléctrica en su aplicacion a las grandes líneas. Los primeros ferrocarriles fueron los tranvías urbanos, cuyo radio de accion se extendió con el progreso de la técnica eléctrica a los metropolitanos i despues a los ferrocarriles vecinales.

Pronto se vió que la formacion de trenes pesados con wagones motores sucesivamente dispuestos uno detras de los otros no solucionaba económicamente el problema. Ello se ve claro si se piensa en la complicacion a que dan lugar las conexiones de los numerosos motores entre si, como en la accion desfavorable que ejerce sobre la vía la presencia de masas pesadas colocadas en una situacion baja del vehículo como ocurre en las automotrices. Se pensó entonces en elevar el centro de gravedad del vehículo, como en la locomotora a vapor, disponiendo el motor a cierta distancia encima de los ejes. Consecuencia de la nueva disposicion fué el mayor espacio disponible que permitió emplazar motores mas grandes impotentes i obtener al mismo tiempo mejores condiciones para la ventilacion i abordabilidad de los diversos órga-

nos. Descartados los engranajes como medio de transmision, se pasó a usar la biela i manivela i se acoplaron los ejes motores entre si: la locomotora estaba terminada en sus grandes líneas.

El atalaje de accionamiento entre el motor i los ejes ha sido construido en dos formas diferentes. La primera forma, ideada por el eminente ingeniero von Kando que se usa en las locomotoras eléctricas del estado italiano, transmite directamente el movimiento de los motores a los ejes por medio de un cuadro rígido triangular. Se le reprocha la situacion relativamente baja del motor en el bastidor. La otra forma empleada en Alemania usa un falso eje colocado a ambos lados del bastidor de la locomotora a la altura de los otros ejes i unidos con estos por medio de bielas horizontales i con el motor por bielas inclinadas. Este dispositivo amortigua suficientemente las reacciones sobre las manivelas i permite obtener una situacion elevada para el motor i para el centro de gravedad de toda la locomotora. Ello implica sin embargo, un aumento en el trabajo de rosamiento. Al revés de lo que ocurre en la locomotora a vapor, el atalaje de accionamiento entre el motor i los ejes describe ahora únicamente movimientos circulares. La fuerza centrífuga de la biela se equilibra de una manera sencilla por medio de contrapesos, lográndose en definitiva una marcha mas suave i regular que con la locomotora a vapor.

La disposicion i arreglo de los ejes es ahora mas favorable que antes, sobre todo en lo que respecta a la reparticion simétrica del peso. Varía como es natural, con la velocidad que debe desarrollarse. Asi para locomotoras de grandes velocidades se recomienda el empleo de bogies de dos ejes cuyo centro de rotacion está colocado entre ambos ejes. Para velocidades menores se usa el bogie tipo Krauss-Helmholtz compuesto de un eje portante i de un eje motor o bien simplemente ejes susceptibles de orientarse radicalmente. Por fin en las locomotoras para trenes de carga los ejes portantes quedan suprimidos. De ordinario los ejes se disponen simetricamente, de tal manera, que el vehículo pueda marchar a voluntad hacia adelante o hacia atras, con lo que se evitan las pérdidas de tiempo en las tornamesas. En las líneas abundantes en curvas de corto radio la inscripcion se facilita construyendo la locomotora en dos unidades separadas, articuladas entre si i eléctricamente acopladas.

En cuanto a su forma exterior la locomotora eléctrica se construye o bien con la casilla para el conductor en medio i los motores en las estremidades protegidos por construcciones adecuadas, o bien en forma de automotrices con igual alto en todo su largo. La primera forma presenta menor resistencia al empuje del viento, en cambio los órganos eléctricos son menos accesibles. En la segunda forma, al contrario, la visita de los motores es posible aun durante la marcha del vehículo. Los compartimentos del conductor están ubicados en tal caso en ambos extremos. Allí tiene a la mano los diversos órganos de mando: rehostato de arranque o trasformador, freno, tacómetro, voltmetro, amperémetro, etc. Unicamente la esfera de los aparatos está alumbrada durante la noche: el compartimento mismo permanece oscuro a fin de favorecer la visibilidad de las señales.

Sobre los motores i transformadores en el techo de la locomotora existen obtura-

ciones que permiten extraer fácilmente estos órganos, sea para cambiarlos o para atender a sus reparaciones.

La ventilacion de los motores i transformadores es una cuestion mui importante, como quiera que ella está íntimamente ligada a la potencia permanente que es capaz de desarrollar la locomotora. Para este fin se han dispuesto en la parte delantera del vehículo grandes ventanas protegidas por sendas persianas, que proyectan sobre el motor i el transformador una fuerte corriente de aire. Válvulas especiales instaladas en el techo favorecen tambien la ventilacion.

No entramos en la descripcion detallada de los demas órganos que constituyen la locomotora, tales como el toma-corriente, transformador, relais, motor, freno i demas accesorios porque su enorme variedad nos llevaria a una esposicion que sale del cuadro entre cuyos límites nos hemos propuesto tratar la cuestion. Esta variedad de órganos, aún dentro de un mismo sistema, da márgen a múltiples incomodidades para las administraciones ferroviarias que deben amaestrar personal especial para cada tipo diferente. Por esta razon la administracion de Halle ha propuesto al Ministerio de Ferrocarriles la fusion de los diversos tipos: Siemes-Schuckert A. E. G. Bergmann, etc., en un «standard» único.

V

Por fin para terminar esta memoria espongamos aquí sumariamente los recientes trabajos de electrificacion en las principales líneas de Europa. En Alemania están ya mui avanzados los trabajos de la gran línea Magdeburgo-Leizig-Halle con 123 kilómetros de doble vía, de la cual una corta seccion, la Dessau-Bitterfeld (26 kilómetros) ha estado en servicio durante dos años con traccion eléctrica. Durante esos dos años se han llevado a cabo una serie de experiencias concluyentes tanto en lo que respecta a la trasmision, como al material rodante, llegándose una vez mas a dejar establecido lo mismo la bondad del sistema que la superioridad del servicio eléctrico sobre su similar a vapor. Así mismo hacen grandes progresos los trabajos sobre la línea de montaña Lauban-Königszell (518 kilómetros) en Silecia, a tal punto que se espera entregarla al tráfico en el próximo año. Hace pocos meses i apesar de la ruda oposicion que le hiciera la industria de locomotoras a vapor, el Reichstag aprobó la electrificacion de las líneas de circunvalacion, urbanas i vecinales de la ciudad de Berlin, destinando 50 millones de marcos para las nuevas instalaciones por construir i 73 millones para el material. En todo, 430 kilómetros de doble vía principal i 125 de vias secundarias.

El ferrocarril del Wiesenthal (48,4 kilómetros) en el Gran Ducado de Baden está ya en explotacion desde fines del año pasado. En Baviera la línea Salsburg-Berchtesgaden (40,5 kilómetros) se entregará en breve al servicio. El ferrocarril del Mittenwald (115 kilómetros) en la frontera con Austria hace el servicio regular hasta Innsbruck desde fines de la primavera pasada.

En Austria-Hungría aparte de la línea Pölten-Mariazell (91,3 kilómetros) en

esplotacion desde 1912 i de la Waitzen-Budapest Gödöllő (91,6 kilómetros) se entregará pronto al servicio la línea Viena-Presburgo (68 kilómetros). Este ferrocarril tiene la particularidad de ofrecer en el recinto de la ciudad servicio con baja tension (corriente continua a 600 volts) i fuera de la ciudad alta tension: corriente monofase a 15 000 volts i 16 $\frac{2}{3}$ períodos.

Pronto se iniciarán los trabajos en la líneas Viena-Brün (140 kilómetros) como en la Salzkammergut (64 kilómetros) ambas con corriente monofase.

En Suiza recientemente se ha agregado a la seccion Spietz-Frütigen, ya en esplotacion desde 1910, la seccion Frütigen-Brieg, a traves del gran túnel del Lötschberg, ambas secciones con un largo total de 73 kilómetros. Por primera vez se emplean 15 000 volts de tension en la electrificacion de un túnel: la esperiencia dirá si hai ventaja en usar tensiones tan elevadas en casos parecidos. La línea St. Moritz-Samedan-Pontresina de 62 kilómetros de largo va a ser electrificada con corriente monofase a 10 000 volts i 16 $\frac{2}{3}$ períodos de frecuencia. La comision de estudios para la esplotacion eléctrica del San Gotardo ha demostrado ya la gran economía que hai en electrificar aquel túnel. Los trabajos comenzaran por la seccion Erstfeld-Biaska (90 kilómetros). Se utilizará fuerza hidráulica i corriente monofase a 15 000 volts.

En Rusia se han consultado en los últimos presupuestos la suma de 34,5 millones de marcos para electrificar la línea San Petersburgo-Oranienbaum (130 kilómetros de doble vía) tambien con corriente monofase de 12 a 15 000 volts de tension.

Suecia entregará al servicio en el próximo año la línea Kiruna-Rikagränsen (129 kilómetros) con corriente monofase a 15 000 volts jenerada por fuerza hidráulica, particularmente interesante por las grandes dificultades a que ha dado lugar su situacion en la zona polar.

En Francia se prosiguen por la Compañía Meridional de Ferrocarriles interesantes ensayos en la seccion Perpignan-Villefranche sobre recuperacion con sistema monofase.

En Noruega se continuan los trabajos para electrificar el ferrocarril del Rjukan, con un largo de 46 kilómetros para la esplotacion del salitre artificial. La regulacion del Maaneelven permitirá producir 250 000 caballos de fuerza que en su mayoría se utilizarán en la produccion del salitre sintético. El costo del kilómetro es ahora de 1, 1 pfennig.

En Italia los progresos de la traccion eléctrica son tambien considerables. Aparte de las líneas del Giovi acaban de terminarse las instalaciones trifases del Mont-Cenis en la frontera con Francia, de la que ya una seccion, la Bussoleno-Bardonecchia, está en actual esplotacion. La línea Savona-San Giuseppe (21 kilómetros) está asimismo en construccion con el mencionado sistema. Se prosiguen los trabajos de la línea que unirá a Lecco, en el ferrocarril de la Valtellina, con Milan.

Pronto comenzará la electrificacion de otra serie de líneas, en total 20 000 kilómetros.

VI

En resumen, vemos que los diversos gobiernos europeos, convencidos de las enormes ventajas que significa la implantación del sistema eléctrico en los ferrocarriles comienzan a aplicarla de una manera sistemática i en grande escala en sus líneas de primer orden. Esta experiencia no debemos perderla de vista en nuestro país, que acaso mejor que ninguno otro se presta a la adopción del nuevo sistema: sus líneas desarrolladas en trazados difíciles con fuertes gradientes i curvas, su pobreza en carbón de buena calidad, su abundancia en fuerzas hidráulicas, todo en fin, hace prever que con la electrificación de algunas de nuestras mas importantes líneas comenzará una nueva era para nuestros ferrocarriles, mas favorable que la actual.

Quizá aquel aprovechamiento de nuestras grandes energías hidráulicas para los fines de la electrificación sea tambien el despuntar de una aurora de vastas proyecciones en el desarrollo de nuestra incipiente industria nacional.

Charlottenburgo (Berlin), 13 de Octubre de 1913.

BIBLIOGRAFÍA.—Bull. des Internationalen Eisenbahn-Kongress Verbandes, 1910.—(Weissenbruch Bruselas).

Elektrische, Kraft Betriebe und Bahnen.—1909, 1910, 1913.

Elektrotechnische Zeitschrift.—1913.

Franz Stein.—Zusammensetzung der elektrisch betriebenen Haupt und Nebenbahnen Europas nach dem Stande Mitte, 1911.—(Julius Spring, Berlin, 1911.

Siemens-Schuckert.—Wechselstrom-Lokomotiven für Vollbahnen.

Siemens-Schuckert.—Fahrleitungen mit Vielfachaufhängung.

L'Elettrificazione delle Grandi Linee Ferroviarie.

La trazione monofase e la trazione trifase sulle linee de gran traffico.—Ambos opúsculos del señor G. Calzolari.

Orlikon.—Chemin de Fer du Lötschberg, 1913.