

rior transversal de la presa y que se comunicaba con la torre de maniobra de las compuertas por una cañería de 65 decímetros cuadrados de sección.

Bajo el empuje de las tierras la torre había sido derribada y arrastrada; la cañería de hormigón había resistido, pero estaba obstruida por los escombros y su entrada estaba cubierta por 18 metros de tierra, de manera que era imposible utilizarla para evacuar el agua que estaba acumulada hacia agua arriba, y cuyo volumen era, próximamente, de 13 á 14 millones de metros cúbicos. Era urgente evacuar esta agua, cuyo volumen podía aumentar de un momento á otro.

Con este objeto se construyó fuera de la presa un túnel de 75 decímetros cúbicos de sección y 450 metros de longitud en la roca y capaz de dar salida á un volumen de agua de 43 metros cúbicos por segundo. Una vez evacuada el agua, se ha prolongado el túnel hasta el punto conveniente para establecer en él la presa.

Una segunda precaución que tenía que tomarse era llenar lo más rápidamente posible la depresión que se había producido hacia el centro de la presa y que corría el riesgo de ser invadida por las aguas, con gran perjuicio para el terraplén de agua abajo; llenóse, en efecto, con tierras comprimidas por el rodillo. Si bien este terraplén se ha juzgado casi impermeable, se construirá más tarde para mayor seguridad un muro de protección del lado de agua arriba.

En fin, una tercera precaución ha sido colocar un cajón sin fondo en el emplazamiento de la antigua torre para desalojar la cañería central de hormigón y asegurar así una corriente suplementaria de 44 metros cúbicos por segundo, cuando el nivel del agua llegue á 18 metros por encima de la toma del túnel.

Se podrá entonces reconstruir la presa hasta la altura proyectada, porque las causas que produjeron el accidente no existirán ya. Sin embargo, se tendrá cuidado de eliminar una parte de las tierras blandas que se reemplazará por tierras más compactas. Se necesitará más de un millón de metros cúbicos para terminar la presa. Este terraplén se hará en seco, ó bien por el sistema hidráulico por medio de grava, si este procedimiento es más económico. Tal vez se emplearán también esquistos que se encuentran en la parte oriental del valle, á la proximidad de la presa, y que parece que deben ser más ventajosos que los materiales precedentemente empleados. En todo caso, se excluirán completamente las tierras susceptibles de transformarse en una especie de arcilla de granos muy finos al contacto con el agua.

Electrificación de ferrocarriles ⁽¹⁾

POR

D. JOSÉ LUIS VALENTÍ Y DORDA

Ingeniero de Caminos.

Ventajas económicas.

Si nos atenemos á la natural clasificación del aspecto económico de toda Empresa en ingresos, gastos de establecimiento y gastos de explotación, y estudiamos la influencia que sobre estos capítulos de una Empresa ferroviaria pueda tener la utilización de la tracción eléctrica, claro es que se habrán puesto de relieve todas las ventajas económicas que ésta pueda ofrecer. Al inten-

tarlo no haremos en general más que glosar los principios ya expuestos al tratar de las ventajas técnicas de la electrificación.

Ingresos.—Indudablemente es en este capítulo en el que la electrificación ejerce su mas favorable influencia, por la posibilidad, merced al aumento de capacidad de las instalaciones, de servir las necesidades del tráfico de una manera más perfecta. Especialmente en las líneas en las que domina el tráfico de viajeros, la preferencia del público por la tracción eléctrica es innegable y obedece á las mayores velocidades comerciales posibles con ésta, más exactitud, frecuencia y seguridad del servicio, la comodidad y limpieza, etc., lo que es causa de que actualmente sean ya pocos los ferrocarriles de turismo en los que no se adopte ó estudie la electrificación (el Estado suizo pretende electrificar toda su red) y que ésta esté ya implantada en casi la totalidad de los ferrocarriles de tráfico urbano y suburbano. Muchos de ellos han duplicado sus ingresos en un periodo de diez años merced á la electrificación, mejorando notablemente el coeficiente de explotación.

Muchas estadísticas podríamos citar comprobadoras de este aserto, pero tratándose de una cuestión en la que hay que atender á tantísimas circunstancias, no sería fácil que ningún dato estadístico tuviera aplicación al caso que la práctica pudiera ofrecer. El problema de calcular los ingresos probables de un ferrocarril es enormemente complicado y unas cuantas estadísticas de esta índole poco podrían facilitarlas: baste saber que la electrificación de una línea se traduce seguramente en un aumento apreciable de los ingresos, y la proporción de ese aumento ha de estudiarse detenidamente en cada caso particular, no olvidando las peculiaridades que el tráfico á realizar por la línea pudiera ofrecer. Creemos que en las páginas anteriores y en algunas de las que siguen hay datos y apreciaciones que pueden servir de guía en este trabajo.

Gastos de establecimiento.—Hay dos casos fundamentales distintos en todo problema de electrificación, según se trate de construir una línea ferroviaria con tracción eléctrica ó haya que instalar ésta en una línea ya construída y explotada con vapor. En el primer caso, claro es que la tracción eléctrica imprime sus especiales y favorables características á todos los elementos que han de utilizarse para el transporte, pues desde el trazado á elegir para la línea hasta los depósitos del material tractor, disposiciones de seguridad, calefacción de los vehículos, etc., en todo deja sentir su influencia; pero el caso más general, sobre todo hasta ahora en que la tracción eléctrica contaba muy pocos años de existencia, es el de que se trate de electrificar una línea ya construída, teniendo que adaptar gran parte de instalaciones y material, y abandonando ó deshaciéndose de otra parte, no siempre en buenas condiciones: así pues, en este segundo caso, á la pérdida que supone la falta de aprovechamiento de todas las ventajas de la tracción eléctrica en el establecimiento de la línea, hay que agregar el gasto que supone la modificación y abandono ó desprecio de material é instalaciones. Estudiemos primeramente los gastos propios de electrificación de todo ferrocarril y luego trataremos de evaluar estas ventajas y pérdidas.

Los gastos inherentes á toda electrificación son los de adquisición del material tractor é instalación de la línea de contacto; el coste de las subestaciones transformadoras, líneas de transporte de energía y centrales productoras de ésta, no siempre corre á cargo de la Empresa explotadora del ferrocarril, pues puede ésta adquirir la energía de otra entidad y no correr á su cargo el total ó parte de dichos gastos.

A continuación damos unos cuadros con precios de adquisición de material tractor eléctrico:

(1) Véase el número anterior.

Coste de locomotoras eléctricas.

| FERROCARRIL | Clase de corriente. | Potencia. — HP. | Servicio. | Peso. — Toneladas | Precio. — Pesetas. | Coste por tonelada. |
|------------------------|---------------------|-----------------|-------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| New-York Central..... | Continua. | 2.200 | Viajeros. | 95 | 135.000 | 1.421,05 |
| Chicago-Milwaukee.... | " | 2.200 | " | 115 | 165.000 | 1.434,78 |
| Pennsylvania..... | " | 2.200 | " | 256 | 625.000 | 2.441,41 |
| Baltimore-Ohio..... | " | 2.500 | " | 157 | 325.000 | 2.070,06 |
| Illinois-Tracción..... | " | 800 | Mercancías. | 80 | 95.000 | 1.187,50 |
| Milano-Varese..... | " | 360 | " | 40 | 70.000 | 1.750,00 |
| Galt-Preston..... | " | 640 | " | 99 | 60.000 | 1.538,46 |
| Paris-Orleans..... | " | 400 | " | 50 | 80.000 | 1.600,00 |
| Great-Northern..... | Trifásica. | 1.000 | Viajeros. | 55 | 100.000 | 1.818,18 |
| Simplón..... | " | 1.700 | General. | 115 | 200.000 | 1.739,13 |
| Giovì..... | " | 1.700 | " | 68 | 137.500 | 2.022,05 |
| New-York-New-Haven. | Monofásica | 2.000 | " | 60 | 140.000 | 2.333,33 |
| Boston-Maine..... | " | 1.000 | Viajeros. | 102 | 225.000 | 2.205,88 |
| Grand-Trunk..... | " | 1.350 | Mercancías. | 140 | 300.000 | 2.142,85 |
| Gotardo..... | " | 1.380 | General. | 130 | 250.000 | 1.923,07 |
| | " | 720 | " | 66 | 132.500 | 2.007,57 |
| | " | " | Viajeros. | 100 | 230.000 | 2.300,00 |
| | " | " | Mercancías. | 80 | 180.000 | 2.333,33 |

Coste de automotores eléctricos.

| FERROCARRIL | Clase de corriente. | Número de asientos | Peso en toneladas. | Equipo. — HP. | Coste. — Pesetas. | Coste por tonelada. |
|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| West-Jersey..... | Continua. | 58 | 48 | 2-240 | 61.000 | 1.270,83 |
| Pennsylvania..... | " | " | 52 | 2-240 | 97.500 | 1.875,00 |
| Interboro..... | " | 68 | 75 | 2-210 | 92.500 | 1.233,33 |
| Boston-Albany..... | " | 500 | 350 | 14-240 | 550.000 | 1.571,42 |
| Boston-Eastern..... | " | " | " | 2-240 | 59.150 | " |
| Milano-Varese..... | " | " | " | 2-165 | 81.250 | " |
| Burgdorf-Thun..... | Trifásica. | " | 45 | 4-160 | 68.000 | 1.511,11 |
| New-Haven..... | Monofásica. | 76 | 82 | 4-55 | 25.000 | 781,25 |
| Gotardo..... | " | " | 87 | 4-150 | 150.000 | 1.734,13 |
| | " | " | 68 | 1-100 | 155.000 | 2.279,41 |
| | " | " | 46 | 400 | 86.000 | 2.086,95 |

La conversión de un coche de 38 toneladas, tipo americano, en automotor, cuesta 19.000 pesetas. El coste de un coche americano con cuatro motores de 125 HP., en corriente continua, es de 95.000 pesetas, y de 122.500 pesetas si es de corriente monofásica. (Datos de E. Burch).

Coste de automotores eléctricos, según Rziha.

PESETAS

| | |
|--|-----------------|
| Un automotor sin control, de 16 á 20 asientos, sin motores, dos ejes..... | 7.500 á 8.750 |
| Un coche remolque de 16 á 20 asientos..... | 7.500 |
| Una instalación eléctrica para automotor sin control, de dos motores de corriente continua, de 20 á 25 HP. y 500 á 600 voltios..... | 6.250 á 7.500 |
| Una instalación análoga, con motores de 30 á 40 HP. | 7.500 á 10.000 |
| Una instalación eléctrica para automotor sin control, de dos motores de corriente monofásica de 40 HP., 40 periodos y 6.000 voltios de tensión en la línea. | 13.750 á 15.000 |
| Una instalación eléctrica para automotor sin control, de dos motores de corriente monofásica de 80 HP., 25 periodos y 6.000 voltios de tensión en la línea. | 20.000 á 22.500 |
| Una instalación análoga, con cuatro motores de 75 HP..... | 32.500 á 36.250 |
| Un automotor con control, con puertas para cada departamento, de 70 asientos, sin instalación eléctrica, 4 ejes..... | 35.000 á 41.250 |
| Una instalación eléctrica para automotor, de dos motores de corriente continua, de 120 HP., órganos de control, para 500 á 600 voltios en la línea..... | 21.250 á 23.750 |
| Una instalación eléctrica para automotor, de dos motores de corriente monofásica, de 150 HP., 25 periodos y órganos de control para 6.000 voltios en la línea..... | 42.500 á 47.500 |
| Una instalación análoga, con dos motores de 200 HP. | 50.000 á 55.000 |
| Una idem id., con cuatro idem de 80 HP..... | 45.000 á 48.750 |
| Una idem id., con cuatro idem de 150 HP..... | 72.500 á 77.500 |
| Una idem id., con cuatro idem de 200 HP..... | 87.500 á 92.500 |

El precio medio de las locomotoras eléctricas oscila entre 1,50 á 2,50 pesetas el kilogramo y en España se acercará siempre más á este último límite que al primero, puesto que no estando aquí implantada con suficiente desarrollo la fabricación (los talleres de la Siemens Industria Eléctrica de Cornellá han hecho algunos ensayos) es necesario importarlas y aunque el Estado concediera

la exención de los derechos de Aduanas, el coste del transporte es elevado. En las presentes circunstancias, dada el alza enorme de los precios de hierro, cobre, etc., á consecuencia de la guerra europea, dicho coste está que las locomotoras eléctricas como todos los restantes elementos de la electrificación, han experimentado un aumento enorme de coste, aumento que es de temer que no desaparezca en su totalidad al restablecimiento de la paz en Europa.

El precio medio de las locomotoras eléctricas es casi doble á igualdad de peso del de las locomotoras de vapor; pero la desigualdad real es mucho menor, puesto que á igualdad de potencia la locomotora eléctrica es más ligera como ya hemos indicado.

El precio de los coches automotores es muy variable, por depender no tan sólo de su armamento eléctrico, sino de las comodidades que quieran concederse al viajero. Los cuadros de precios que acompañamos pueden servir para dar una idea aproximada de costes.

Con estos datos, y el conocimiento del número y clase de locomotoras y coches automotores que precisan para la electrificación de una línea, cuyo número puede determinarse teniendo en cuenta las razones expuestas al tratar de las «ventajas técnicas», se puede calcular aproximadamente el gasto total de adquisición del material móvil. Si hubiera que desprenderse de locomotoras de vapor y *tenders*, á ese gasto habría que agregar el de amortización ó pérdida en la venta de ese material.

El coste de la línea de alimentación de los tractores es sumamente variable, según se trate de tercer carril ó línea aérea, influyendo también la tensión y clase de corriente: al aumentar la tensión aumenta el número y precio de los aislamientos, pero disminuye la sección de hilo de contacto, y si la corriente es trifásica el aislamiento y suspensión de los dos hilos necesarios es sumamente costoso. El número de vías á electrificar, la naturaleza del sistema de apoyo utilizado (postes, ménsulas, puentes rígidos, cables transversales.....), las luces entre apoyos, la velocidad de circulación de los trenes, composición y carga de éstos, son factores cuya influencia es innegable en el costo de la línea de alimentación.

En las instalaciones de toma de corriente por tercer carril pueden tenerse en cuenta los siguientes precios:

| FERROCARRIL | Peso del carril. — Kilogramos por metro. | SISTEMA | Precio por kilómetro. — Pesetas. |
|-------------------------|--|-----------------------|----------------------------------|
| Michigan United..... | 30 | Contacto superior... | 9.000 |
| California Traction.... | 20 | — inferior.... | 9.800 |
| Boston Eastern..... | 45 | Protegido ó inferior. | 14.100 |
| West Jersey..... | 45 | Sin protección..... | 13.000 |
| Baltimore..... | 45 | — | 12.000 |
| Milano Varese..... | 45 | — | 13.200 |

Según Armstrong, la instalación de un tercer carril de 35 kilogramos por metro cuesta en total 13.400 pesetas por kilómetro á un precio de 0,17 céntimos el kilogramo de carril de acero. Con carriles de 50 kilogramos, el costo de la instalación total asciende á 16.200 pesetas por kilómetro.

Afirma la Compañía de Michigan United Railway que su instalación con tercer carril cuesta, aproximadamente, lo mismo que la de una línea aérea de hilo de 80 milímetros cuadrado de sección con *feeder* de 200 milímetros cuadrados y postes distantes 11 metros y que la instalación con tercer carril tiene una capacidad 50 por 100 veces mayor. El carril usado fué un carril Carnegie, con poco carbono, de 30 kilogramos por metro, que costó á 17,5 céntimos el kilogramo, montado sobre bloque de arcilla vitrificada como elemento aislador.

Según Rziha, el coste de la instalación de un kilómetro de tercer carril de 40 kilogramos por metro cuesta 13.750 pesetas. Para deducir el peso aproximado de una línea aérea de contacto pueden servir los siguientes datos:

Precio de líneas aéreas por kilómetro.

| FERROCARRIL | CORRIENTE | SISTEMA | Número de vías | Luces. | | Precio. |
|-----------------------------------|--------------|----------------------------------|----------------|---------|---------|---------|
| | | | | Metros. | Pesetas | |
| Hamburgo Altona..... | M. 6.000 v. | Catenaria con puentes..... | 2 | 45 | | 15.000 |
| Seebach-Wettingen..... | M. 12.000 v. | — con postes de madera..... | 1 | 50 | | 12.300 |
| Rotterdam-Hague-Scheveningen..... | M. 10.000 v. | — con postes de celosía..... | 2 | 45 | | 16.350 |
| New-York New-Haven.. | M. 11.000 v. | — en recta..... | 6 | 90 | | 120.000 |
| — | M. 11.000 v. | — en curva máxima..... | 6 | 90 | | 178.000 |
| — | M. 11.000 v. | — en recta..... | 4 | 90 | | 76.000 |
| — | M. 11.000 v. | — en curva máxima..... | 4 | 90 | | 123.000 |
| — | M. 11.000 v. | — en recta..... | 2 | 90 | | 58.000 |
| — | M. 11.000 v. | — en curva máxima..... | 2 | 90 | | 100.000 |
| — | M. 11.000 v. | — sencilla en recta..... | 2 | 90 | | 40.000 |
| — | M. 11.000 v. | — en curva máxima..... | 2 | 60 | | 87.000 |
| Madrid-Valencia (1)..... | M. 15.000 v. | — con postes de cemento armado.. | 1 | 70 | | 17.000 |
| Baltimore Annapolis.... | M. 6.600 v. | Pequeña velocidad..... | 1 | 70 | | 6.900 |
| Grand Trunk..... | M. 3.300 v. | — | 1 | 70 | | 15.000 |
| Great Northern..... | T. 600 v. | — | 1 | 70 | | 16.500 |
| Burgdorf Thun..... | T. 750 v. | — | 1 | 70 | | 7.000 |
| Valtellina..... | T. 3.000 v. | — | 1 | 70 | | 15.000 |
| Giovi..... | T. 3.000 v. | Con línea de alimentación. | 2 | 70 | | 50.000 |

(1) En proyecto.

Precios, según Burch, de líneas de contacto por kilómetro.

| TIPO DE FERROCARRIL | SISTEMA | Número de vías. | Luces. | | PRECIOS |
|------------------------|-----------------------------|-----------------|---------|----------|-----------------|
| | | | Metros. | Pesetas. | |
| Interurbano t. pesado. | M. con ménsulas | 1-2 | 45 | | 6.500 |
| — t. ligero.. | — | 1 | 45 | | 6.000 |
| Grandes líneas..... | M. con puentes. | 2 | 90 | | 14.500 á 16.500 |
| — | — | 4 | 90 | | 21.000 á 30.000 |
| — | Trifásica no catenaria..... | 1 | 90 | | 24.000 |

Precios de Rziha para líneas aéreas con hilo de contacto de 53 milímetros cuadrados por kilómetro de longitud:

| | |
|---|-------------------------------------|
| Catenaria con ménsulas para simple vía..... | Postes de madera... 7.500 pesetas. |
| | Postes de celosía... 10.000 — |
| Catenaria con puente para doble vía..... | Postes de madera... 15.000 pesetas. |
| | Postes de celosía... 19.000 — |

Estos datos estimamos que son suficientes para dar una idea del costo de las instalaciones de alimentación: á este costo hay que agregar el de la unión eléctrica de los carriles, que oscila entre 500 y 1.000 pesetas por kilómetro de vía.

Pasando ahora á estudiar el coste de instalación de las subestaciones transformadoras, hay que hacer notar que si éstas son meramente transformadoras, su coste oscila entre 25 y 45 pesetas por kilovatio instalado; pero si son realmente subestaciones convertidoras, su coste se eleva á 100 y hasta 200 pesetas por kilovatio instalado; á continuación damos algunos precios:

| FERROCARRILES | CLASE DE SUBESTACIONES | Coste por kilovatio en pesetas. |
|--------------------------|------------------------|---------------------------------|
| West Jersey..... | Convertidoras..... | 144,50 |
| — | — | 121,50 |
| Baltimore Annapolis..... | Transformadoras..... | 25 |
| Boston Eastern..... | Convertidoras..... | 150 |
| Burgdorf Thun..... | Transformadoras..... | 25 |
| Gotardo..... | — | 40 |
| Giovi..... | — | 42 |
| Madrid-Valencia (1)..... | Convertidoras..... | 185 |

(1) En proyecto.

En el costo de las líneas de transporte influye no solamente la distancia; también la cantidad de energía transportadora, la clase de corriente, la tensión, clase de postes y distancia entre ellos, han de tenerse en cuenta.

Según Kohn, sube el coste por kilómetro de línea de 4.000 á 30.000 pesetas cuando la potencia á transportar varía de 1.000 á 20.000 HP. Burch da los precios siguientes por kilómetro para líneas trifásicas:

| | |
|--|----------------|
| Con postes de madera y 13.000 voltios.... | 6.000 pesetas. |
| Con — — y 60.000 voltios.... | 9.000 — |
| Con castilletes de celosía y 60.000 voltios. | 11.200 — |

A continuación damos los costos por kilómetro de las líneas de transporte de algunos ferrocarriles eléctricos:

| | |
|---------------------|----------------|
| Burgdorf Thun..... | 3.300 pesetas. |
| Great Northern..... | 6.000 — |
| West Jersey..... | 10.445 — |
| Boston Eastern..... | 12.000 — |
| Paris Orleans..... | 14.700 — |
| Gotardo..... | 25.000 — |

En España el coste de las líneas de transporte de energía en forma de corriente trifásica á alta tensión con postes metálicos ó de cemento armado, oscila entre 6.000 y 8.000 pesetas el kilómetro.

En caso de que el ferrocarril utilice Centrales propias para la generación de energía, á los efectos de electrificación hay que agregar el coste de éstas. Si la Central es de vapor ó gas, el coste oscila entre 500 y 800 pesetas por kilovatio instalado. En las Centrales Hidroeléctricas, en España el precio del kilovatio instalado varía entre 800 y 1.600 pesetas, sin poder dar cifras exactas, que dependen casi exclusivamente de las circunstancias peculiares de cada caso.

En resumen, los gastos de electrificación varían entre límites muy amplios, según el tráfico, longitud de línea, condiciones del trazado, clase de corriente adoptada para la electrificación y que ésta se haga en Centrales productoras propias ó con energía comprada. Al estudiar la posible electrificación de nuestra red ferroviaria, haremos un cálculo aproximado del coste que esto podrá suponer.

Hemos hablado de la influencia bienhechora de la electrificación en los gastos de establecimiento totales de un ferrocarril á construir y en los gastos de perfeccionamiento ó ampliación de instalaciones, en un ferrocarril ya en explotación, y como este influjo favorable de la tracción eléctrica puede alcanzar gran importancia, voy á tratar de especificar las causas de ello y la probable extensión de los efectos.

a) La posibilidad económica de las fuertes rampas con tracción eléctrica permite disminuir la longitud de la línea y la importancia de las obras de fábrica con la consiguiente economía en el capital de establecimiento: buen ejemplo de ello lo constituye el ferrocarril del Mittenvald (pág. 18); en el *Colorado Springs and Cripple Creek Railway* la tracción eléctrica ha permitido adoptar una rampa media de 30 milésimas y máxima de 50, no excediendo la longitud de la línea de 35,2 kilómetros, en tanto que el ferrocarril de vapor que une las mismas estaciones terminales, tiene 96,2 kilómetros de longitud de vía y 31,5 kilómetros de cable aéreo.

En Suiza se trataba de unir Berna con el Simplón, utilizando la línea construida hasta Frutigen, y para atravesar los Alpes Berneses se presentaban dos soluciones: ó bien con tracción de vapor y rampa de 15 milésimas, lo que requería un túnel de 24 kilómetros ó tracción eléctrica con rampas de 27 milésimas y un túnel (el de Loetschberg, ya construido y en explotación) de 14,6 kilómetros. Esto significaba una economía de 30 millones

de pesetas sólo en la construcción del túnel, y fué la solución adoptada.

Para unir directamente Madrid y Valencia, la tracción eléctrica con rampas de 30 milésimas exige una longitud de trazado únicamente de 338 kilómetros: el proyecto de trazado, con tracción de vapor y rampas de 20 milésimas (ya muy desfavorable para este sistema de tracción) supone un alargamiento de cuarenta y tantos kilómetros.

b) La supraestructura puede ser más barata con tracción eléctrica, porque el menor peso por rueda de las locomotoras y la supresión de los movimientos perturbadores permiten disminuir el peso de los carriles, número de traviesas, espesor de balasto, adoptar menor ancho de vía, etc.

c) El mejor aprovechamiento del material móvil con tracción eléctrica permite una economía considerable en los gastos de adquisición de éste: aunque las locomotoras eléctricas son más caras á igualdad de peso que las de vapor, como aproximadamente tres de aquéllas sustituyen á cinco de éstas bastante más pesadas, también en los gastos de adquisición de material tractor se consigue economía.

d) Las estaciones terminales de las grandes ciudades pueden disponerse con vías subterráneas ó superponiendo vías (puesto que desaparece el inconveniente del humo), y esto supone una economía grandísima en adquisición de terreno, carísimo en el centro de las grandes ciudades, emplazamiento obligado hoy de dichas estaciones terminales. Ya hemos dicho que esta es la razón fundamental de multitud de electrificaciones: en Barcelona ya se estudia la construcción de un Metropolitano (cuyos túneles están ya preparados en la Nueva Gran Vía) y la electrificación de la vía de acceso de la línea de Reus á Barcelona, cubriendo la zanja de la calle de Aragón, se hará pronto precisa. En Madrid se ha aprobado recientemente un proyecto de Metropolitano y no será posible el acceso de las vías de nuestras grandes líneas al centro de la población si no se recurre á la electrificación. En el proyecto de ferrocarril directo de Madrid á Miraflores y Fuenfría, se utiliza la tracción eléctrica, y así puede disponerse la estación de partida subterránea en el Páco del Prado.

e) La mayor capacidad de las instalaciones ferroviarias con tracción eléctrica puede evitar en casos de aumento de tráfico la realización de gastos considerables. Ya hemos citado en las páginas 17 y siguiente multitud de ejemplos que justifican este aserto.

Una vez expuestas, á mi juicio, todas las formas en que puede influir la tracción eléctrica en los gastos de establecimiento de un ferrocarril, vamos á buscar esta misma influencia en los gastos de explotación.

Gastos de explotación.—En los gastos de conservación de la vía la tracción eléctrica influye favorablemente, por el menor peso y mejor distribución de la masa de los tractores, supresión de las plataformas rígidas y movimientos perturbadores, el frenaje eléctrico que aminora desgastes, etc. En algunos ferrocarriles electricados han aumentado los gastos de conservación de vía á consecuencia del incremento del tráfico y velocidad de circulación.

Los gastos de reparación y conservación del material móvil son también menores con tracción eléctrica por el menor número de locomotoras y vehículos necesarios, más fácil inspección, disminución de accidentes y catástrofes, mayor sencillez y menores rozamientos y desgastes en los tractores y supresión del humo con economía en corrosiones y limpieza.

En el Grand Trunk Railway el coste de reparación de las locomotoras ha disminuído desde 41 á 13 céntimos por tren-kilómetro efectuado; á consecuencia de la electrificación: en el Mersey Railway esta disminución ha sido solamente de 16,6 á 13,7 cénti-

mos, y en la línea de Dessau Bitterfeld de 10,25 á 7,9 céntimos por locomotora-kilómetro. Como término medio, aunque con grandes variaciones, el coste de conservación de las locomotoras eléctricas por locomotora-kilómetro es de unos 15 céntimos, siendo de 24 céntimos el de las locomotoras de vapor: los coches automotores eléctricos tienen un gasto de conservación que oscila entre 3 y 9 céntimos por coche-kilómetro.

En los gastos de personal, la electrificación, aunque en el período de implantación del sistema ejerce influencia desfavorable, una vez normalizada la explotación lleva consigo una economía muy apreciable y las razones son las siguientes:

I. Con tracción eléctrica, el conductor no necesita, generalmente, ayudante, puesto que puede haber y existen disposiciones para que si por accidente, abandonan la palanca de maniobra el tren se detenga automáticamente; sin embargo, en algunas líneas de gran tráfico y enormes velocidades, la complicación de vías y señales puede ser excesiva para un solo hombre. En algunos ferrocarriles alemanes (Subterráneo de Berlín) é italianos, el encargado del cierre de portezuela, voces de mando, etc., cubre el puesto de ayudante durante la marcha, y realmente los trenes constituidos por coches automotores no necesitan más personal que el conductor, el jefe del tren y el encargado de los frenos.

II. Los salarios del personal del tren resultan mejor aprovechados por el mayor recorrido diario de los mismos, y como igualmente el salario del conductor puede ser menor que el de un maquinista, por requerir menos conocimientos y fatigas, todo ello da un buen margen para economías.

III. La doble tracción no requiere más que un solo conductor.

Así se explica que el Gran Trunk Railway haya economizado con la electrificación un 15 por 100 en los salarios de conductores y un 23 por 100 en gastos de personal del tren: en el Metropolitano de Londres, la economía obtenida es de un 20 á 25 por 100.

La economía introducida en el consumo de energía es la más importante de las registradas en este Capítulo de gastos, como debidas á la electrificación: hay una enorme diferencia entre quemar carbón en las locomotoras, en las peores condiciones para la producción de energía, á engendrar ésta en grandes Centrales de vapor ó gas ó en Centrales hidroeléctricas, aunque la transmisión de la energía hasta los tractores suponga indudables pérdidas.

Se ha pretendido perfeccionar la locomotora de vapor como generador térmico y transformador de la energía térmica en dinámica, y merced al vapor recalentado y á la doble expansión algo se ha logrado en este sentido, pero siempre con consumos de carbón mayores de un kilogramo por caballo-hora producido en la llanta, y en una buena Central de vapor puede obtenerse esta misma energía con un consumo de 0,5 á 0,6 kilogramos de carbón: las locomotoras en servicio suburbano con paradas y arranques frecuentes, consumen unos 3 kilogramos de carbón por caballo-hora; en servicio de viajeros este consumo baja hasta unos 2 kilogramos, y en arrastre de trenes de mercancías, con pocas paradas, escasa marcha y régimen casi uniforme, el consumo no es mayor de unos 1,3 kilogramos por caballo-hora. Si tomamos como término de comparación el consumo por cada 100 toneladas-kilómetros arrastradas, pueden darse las siguientes cifras como término medio.

40 kilogramos de carbón por 100 toneladas-kilómetros en servicio de maniobra.

16 ídem de íd. íd. suburbano.

8 ídem de íd. íd. de viajeros.

4,5 ídem de íd. íd. de mercancías.

Estas cifras son modificables por la calidad del carbón, ram-

pas y curvas de la línea, etc. En los ferrocarriles de la Unión Alemana el consumo de carbón por 100 toneladas-kilómetros es de unos cuatro kilogramos, en Francia algo más elevado y nuestras Compañías del Norte y M. Z. A. llegan á 7 y 8 kilogramos.

Vamos á tratar de determinar la economía probable en el consumo de energía, debida á la electrificación. Burch la calcula en un 50 por 100 y Carlier obtuvo un valor análogo para los ferrocarriles del Estado belga; mi humilde opinión es que tales proporciones, aplicadas á nuestro país, resultarían muy exageradas, y que en cada caso particular debe hacerse un cálculo especial, y procuremos poner un ejemplo que encierre toda la posible generalidad.

Si suponemos una línea férrea á electrificar, con unas características y una clase de tráfico tal que requieran para su servicio vencer una resistencia media á la tracción de 10 kilogramos por tonelada arrastrada (comprendido el arranque, pendientes, curvas, etc.), esta resistencia exige una potencia de $\frac{10 \times 1.000 \times 100}{75}$ caballos-segundos = $\frac{10 \times 1.000 \times 100}{75 \times 3.600}$ caballos-hora = 3,7 caballos-hora por cada 100 toneladas-kilómetros efectuadas; el consumo de carbón para engendrar esta energía en las llantas, varía muchísimo en las locomotoras de vapor, según la clase de servicio, y si suponemos que las condiciones medias de éste, por tratarse de una línea de gran longitud, son las corrientes del servicio ordinario de viajeros, tomando dos kilogramos de carbón consumido por caballo-hora producido, tendremos un consumo total de carbón de 7,4 kilogramos por cada 100 toneladas-kilómetros efectuadas, que es el consumo medio de nuestras grandes líneas. Con tracción eléctrica, como el rendimiento entre las Centrales generadoras y la llanta de la rueda del tractor es aproximadamente de un 60 por 100, para tener 3,7 caballos horas en la llanta, es necesario engendrar en la Central 6,2 caballos-hora ó 4,6 kilovatios-hora.

Así, pues, para efectuar el trabajo del transporte de una tonelada á 100 kilómetros es preciso en nuestro caso quemar 7 kilogramos de carbón en la locomotora de vapor ó producir 4,6 kilovatios en la Central generadora, pero ahora bien, como con tracción eléctrica el peso muerto es menor, para transportar el mismo número de toneladas útiles se transporta un 10 por 100 menos de tonelaje total; luego los costes que hay que comparar son el de 7 kilogramos de carbón en la locomotora de vapor y unos 4 kilovatios en la Central generadora. Si en la Central el kilovatio-hora no requiere más de 0,8 kilogramos de carbón para ser producido, la economía es de $\frac{7-3,2}{7} = 54$ por 100; pero si la Central es hidroeléctrica, suponiendo que el coste del carbón puesto en la locomotora sea de unas 30 pesetas tonelada (1), todo lo que sea el precio de producción del kilovatio más barato de $\frac{3 \times 7}{4}$ céntimos = 5,25 céntimos, supone economía.

La economía en combustible aumenta con lo accidentado del trazado; pues en las bajadas, la locomotora de vapor algo consume, y la eléctrica puede hasta recuperar energía, con el número de paradas, arranques, etc.

Monsieur D'Aste, en sus cálculos de la economía probable en combustible con la electrificación de los ferrocarriles franceses, llega á cifras análogas á las nuestras para líneas de menor pendiente (en las que la economía habría de ser menor y para las líneas suburbanas la estima en 70 por 100; así que no se nos puede acusar de exagerados ni optimistas en la exposición de las ventajas de la tracción eléctrica.

(1) En las presentes circunstancias el precio es más del doble del citado, y no es probable que al cesar la guerra europea volvamos á tener carbón á dicho precio.

Que estas cifras no son exageradas lo comprueba igualmente el resultado de las electrificaciones efectuadas. *El ferrocarril Elevado de Manhattan (New-York)* consumía 14 kilogramos de carbón por 100 toneladas-kilómetros remolcadas. Cuatro años más tarde, merced á la electrificación, el carbón quemado en la Central era únicamente de 6 kilogramos por 100 toneladas-kilómetros ó una economía de un 62 por 100. La realización de recorridos á igualdad de consumo era de 2,6, y aumentó hasta 3 al aumentar la velocidad de los trenes. Esta economía de carbón alcanza á un millón de toneladas al año; como se trata de una línea de tráfico suburbano, la economía es mayor de la que calculamos.

Los informes de Murray sobre la electrificación del New-York-New-Haven Hartford Railroad, dan los siguientes consumos medios durante un periodo de dieciocho meses de tracción de vapor entre New-York y New-Haven:

| CLASE DE SERVICIO | Kilogramos de carbón por Hh.-hora. | Kilogramos de carbón por toneladas-kilómetro. | Peso medio de trenes. — Toneladas. |
|------------------------|------------------------------------|---|------------------------------------|
| Expreso de viajeros... | 1,2 á 1,97 | 0,060 | 475 |
| Ómnibus..... | 2,07 á 2,10 | 0,104 | 283 |
| Mercancías..... | No se tomaron datos. | 0,054 | 838 |

Murray estimaba en 40 por 100 la economía en combustible que se obtendría con la electrificación, pero la realidad sobrepujo á sus cálculos, llegando la economía á un 50 por 100. Se trata de una línea de bastante longitud y tráfico de viajeros.

El Gran Trunk Railway dice en su informe de electrificación: El gasto de combustible para locomotoras de vapor, durante los últimos seis meses, en los que hizo el servicio con vapor, fueron de 24.780 pesetas al mes por término medio. Los gastos de combustible para los seis primeros meses de servicio con electricidad, fueron de 5.763 pesetas por término medio. Las locomotoras de vapor consumían carbón de antracita de 30 pesetas tonelada. En la Central eléctrica se usa carbón de antracita bituminoso de 10 pesetas la tonelada.

El New-York Central Railroad proporciona los siguientes datos de interés sobre economía de combustible: Las locomotoras de vapor consumían 0,37 kilogramos de carbón por tonelada-kilómetro de coche; las locomotoras eléctricas, descontando los gastos de explotación, interés y amortización de la instalación eléctrica, para la cual se asigna al kilovatio hora el precio de 13 céntimos, producen una economía de 28 por 100 en los gastos de combustible.

El ferrocarril Elevado del Sur de Chicago, que en 1908 explotaba su red con modernas locomotoras Baldwin-Compound, obtuvo una economía en el consumo de carbón de 2.500 pesetas diarias al proceder á la electrificación.

En la línea de Liverpool á Southport del Lancashire, Yorkshire Railway, la economía en carbón obtenida con la electrificación es de un 48 por 100.

El Mersey Tunnel Railway de Inglaterra consumía una tonelada de carbón (de 20 pesetas tonelada) para remolcar 3,54 toneladas-kilómetros de tren á una velocidad de 28,5 kilómetros por hora; con la electrificación el consumo bajó, y una tonelada de carbón (de 10,9 pesetas la tonelada) basta para remolcar 3,66 toneladas-kilómetros de tren á una velocidad de 35,6 kilómetros-hora. La economía neta fué de un 55 por 100 (Saw).

Otros consumos en los que la tracción eléctrica supone economía, son los de grasa y agua; el consumo de grasa es un 50 por

100 menor en las locomotoras eléctricas, por disminuir el número de órganos á engrasar y ser de más fácil y económico engrase. El consumo de agua cesa en las locomotoras eléctricas, aunque algunas llevan una pequeña caldera destinada á la calefacción del tren, y al cesar únicamente habrá que preocuparse en algún caso de abastecer de agua las Centrales de energía, abastecimiento siempre mucho más económico: aun en el caso más de favorable, la economía puede ser de un 70 por 100; y si la Central es hidroeléctrica, el consumo de agua se anula.

Ahora bien; la tracción eléctrica requiere instalaciones que llevan consigo un gasto anual de reparación, conservación y amortización, y esto puede representar una cantidad tal, que compense en gran parte las ventajas económicas que la tracción eléctrica supone. Los gastos anuales de conservación y reparación de las líneas de transportes asciende por término medio á un 2 por 100 del capital de establecimiento de las Centrales y Subestaciones, se estiman en 1 por 100 del capital de establecimiento que representan. Para la amortización de las instalaciones eléctricas se suele destinar un 2 á un 2,5 por 100.

Burch, teniendo en cuenta la proporción de los gastos de explotación de los ferrocarriles americanos, y asignando á cada concepto la probable economía por la electrificación, ha calculado el siguiente cuadro:

| CONCEPTOS | Tracción de vapor. | Tracción eléctrica. | Economía. | Proporción de economía. |
|--|--------------------|---------------------|-----------|-------------------------|
| Conservación de vía..... | 11,98 | 10,00 | 1,98 | 16,53 por 100 |
| Reparación y renovación de tractores..... | 7,66 | 4,00 | 3,66 | 47,78 por 100 |
| Gastos de personal..... | 9,37 | 6,00 | 3,37 | 35,97 por 100 |
| Combustible y energía para los trenes..... | 11,48 | 6,00 | 5,48 | 47,74 por 100 |
| Otros gastos..... | 59,51 | 56,00 | 3,51 | 5,90 por 100 |
| Reparación y conservación de la línea de alimentación..... | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,0 |
| TOTALRS. | 100,00 | 83,00 | 17,00 | 17,00 por 100 |

Según este cuadro la economía producida por la electrificación en los gastos de explotación es de un 17 por 100, y con ella hay que pagar el interés y amortización del capital representado por las instalaciones eléctricas, reparación y conservación de Centrales, etc. En la práctica las cifras obtenidas varían entre límites bastante amplios.

(Continuará.)

REVISTA EXTRANJERA

Instalaciones sobre vagones para el transporte de granos.

El transporte neumático de los granos ha recibido durante los últimos años numerosas aplicaciones.

Es uno de los sistemas de transporte más cómodo, y sin duda el más flexible.

Para hacer estas instalaciones todavía más eficaces se les ha montado algunas veces sobre una chalana, lo que les permite servir un punto cualquiera del puerto y descargar un barco en lanchones aun lejos de los muelles. Más recientemente se ha tenido la idea de instalar estos aparatos de transporte sobre vagones de ferrocarril.

Dos de las primeras instalaciones de este género son las que nos proponemos describir resumiendo un artículo de M. P. C. publicado en *Le Genie Civil*. Pero antes recordaremos el principio general según el cual funciona esta clase de aparatos.

El principio general del transporte neumático es, como se sabe, realizar el arrastre de los granos por una corriente de aire en una tubería. Este principio puede aplicarse de dos maneras: por aspiración ó por impulsión.

Se emplea la aspiración en el caso más frecuente: en que se debe recibir el grano procedente de diferentes puntos en un depósito central desde donde se le aspira; se emplea, por el contrario, la impulsión cuando se quiere distribuir hacia diversos lugares el grano contenido en un almacén central.

En el primer caso, una bomba aspirante colocada en el extremo de una tubería produce una aspiración en ésta, mientras que el otro extremo flexible se introduce en el grano que se ha de transportar. El grano se entrega á un descargador inserto en la cañería y en el cual se separa de la corriente de aire. El aire, abandonando al descargador, arrastra el polvo y los residuos ligeros diversos, de que es necesario desembarazarle antes de que llegue á la bomba aspirante para evitar que se ensucie. Con

este objeto se dispone un separador filtrador en la tubería de aspiración para detener este polvo. Este filtro puede ser de dos tipos diferentes: cuando las materias separadas no tienen que conservarse, se puede emplear un filtro húmedo en el cual se aglomeran los polvos por el agua y se evacúan en estado de barro; cuando, por el contrario, se debe conservar el polvo, para verificar, por ejemplo, el peso total del cargamento, se emplean filtros secos, constituidos principalmente por unas especies de sacos de algodón especial.

En las instalaciones que funcionan por impulsión se puede suprimir el filtro separador. Si se quiere, sin embargo; desembarazar al grano del polvo que lo ensucia, se puede emplear un aparato separador del tipo ciclón. En este aparato la corriente de aire y de grano llega lateralmente de manera que se produce un movimiento de torbellino en la masa gaseosa. En estas condiciones el grano cae al fondo del aparato y el aire cargado de polvo le abandona por la parte superior.

Instalación de descarga montada sobre vagones, sistema Robert Boby.—Se acaba de poner en servicio recientemente, en Ipswich (Inglaterra), esta instalación notable principalmente por su movilidad.

Se ha establecido para la Administración de Obras públicas británica por M. M. Robert Boby Limited. La ventaja de esta instalación es que puede servir á un puerto cualquiera al que es fácil enviarla de antemano por vía férrea para que espere á los barcos cargados de granos que deben venir á arribar á aquél. Esta instalación está montada sobre dos vagones: el vagón-bomba y vagón-filtro. El primero lleva la bomba aspirante, que produce la aspiración en la cañería y el motor que la mueve; el segundo lleva al separador de granos y á los filtros á través de los cuales pasa el aire antes de llegar á la bomba.

La figura 1.^a muestra la disposición general de la instalación. La maquinaria montada sobre el vagón *W*, se une por la cañería *E* al tubo de aspiración flexible *B* terminado por el chupa-