

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA 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.

ALGUNOS PROBLEMAS COMERCIALES

RESUELTOS POR LA TRACCIÓN ELÉCTRICA DE LOS FERROCARRILES⁽¹⁾

En el mundo de la electricidad, y aun me atrevo á decir en el mundo entero de la ingeniería, no hay tema que más absorba la atención, que más cerebros inteligentes mantenga en actividad, que más entusiasmos despierte y que más amplio campo de estudios ofrezca, que el de la tracción eléctrica. Hasta nuestra patria llegan sólo lejanos, aunque sensibles rumores, del fuerte estruendo revolucionario; pero quien como el que esto escribe, por estímulos de su cargo, sigue atentamente el desarrollo inesperado y fecundísimo de esta rama del progreso y la actividad humanas, camina de sorpresa en sorpresa, y ve ante sus asombrados ojos horizontes inmensos reducidos é insignificantes, sin embargo, al compararlos con lo que para un próximo porvenir adivina, si contempla la marcha acelerada con que invaden y cubren todo lo que demás intangible é inmutable se reputaba.

Nacido hace apenas veinte años á sus aplicaciones francamente industriales, el motor eléctrico absorbe y anula hoy por completo á todos los medios de propulsión conocidos y ensayados como de posibilidad comercial aceptable. Esta invasión del campo ajeno es, no obstante, de secundaria importancia junto á lo que por su fecundidad propia ha creado; junto á los campos nuevos abiertos á la explotación y al empleo de actividades y capitales; junto al progresivo desarrollo y comodidad que presta á la vida en las ciudades y suburbios, hasta tal punto que volver la vista atrás causó sorpresa y asombro. Los antiguos límites de las poblaciones, cuando los tranvías eran arrastrados por caballos y los ferrocarriles suburbanos marchaban á remolque de la locomotora de vapor, están definitivamente borrados. No se trata sólo de una mejora, sino más bien de una revolución, que no por su agradable carencia de brusquedad deja de ser radicalísima. Si es verdad que con ella se logran economías, este aspecto es secundario junto á muchas otras ventajas, que son las que han determinado su maravilloso desarrollo y propagación.

Numerosísimos é interesantes en alto grado son los problemas de carácter técnico que la tracción eléctrica abre al

(1) Memoria presentada á la Asociación para el progreso de las Ciencias.

estudio y reflexión; pero todos ellos, á medida que se presentan, son hábil y prontamente resueltos por el Ingeniero. Cualquiera de estos problemas técnicos me ofrecería agradable tema para disertar sobre él, si el espacio de que dispongo no fuera tan reducido y si las monografías y completos tratados especiales no suplieran con gran ventaja mi silencio. Por el contrario, y aunque constituya en mí osadía bien poco fundamentada, voy á ocuparme de otros aspectos del problema menos accesibles á la fácil investigación, pero tanto más interesantes cuanto que afectan no sólo á los técnicos puros, sino también á los que llamados por su cargo y situación á cuidar de la marcha comercial de las Empresas, necesitan para el desarrollo de sus iniciativas sopesar escrupulosamente factores y elementos bastante alejados de los que al hombre de ciencia conmueven.

Doy, pues, por sabido que ni la Mecánica ni la Física han dejado vacío alguno en los problemas de la tracción eléctrica, y sí, por el contrario, han realizado en ellas sus más brillantes y fecundos milagros. Con este punto de partida sólo consagraré atención en cuanto siga, excusándome anticipadamente de que la obligada brevedad me impida documentar las afirmaciones que tenga ocasión de hacer, á los aspectos comerciales que tal tema ofrece, aspectos que son de carácter primordial y decisivo para el gerente de una explotación ferrocarrilera.

I

Tráfico y condiciones locales.

Las características que hasta hace poco tiempo se estimaban como determinantes del fallo favorable para la tracción eléctrica, consistían en una densidad relativamente grande del tráfico unida á una frecuencia sensible de los trenes. Pocos eran los ferrocarriles que en tan estrecho campo tenían cabida; pero la evolución rápida de las ideas, basadas en los resultados de la experiencia, lo han ensanchado hasta tal punto, que muy pocas serán las líneas y Empresas importantes de cualquier país que puedan juzgarse exentas de prestar atención y estudio á la cuestión.

No ya sólo en líneas de carácter urbano ó suburbano que hacen posible la vida de las grandes poblaciones al servir de sistema circulatorio á la sístole y diástole de su palpitación diaria; pocas, muy pocas, son las grandes líneas de interés general sobre las cuales, al ojeirlas rápidamente, no se dis-

tingan secciones ó trozos en los que pudiera servirse con gran ventaja un tráfico local mediante el empleo de trenes eléctricos rápidos y relativamente frecuentes, de preferencia á los pesados, lentos y espaciosos trenes que emplean el vapor como medio de propulsión. Estos trozos son los situados en la proximidad de los centros de población que, por su importancia política, industrial y comercial, ó por otras razones especiales, dan lugar á un tráfico activo, intenso y constante con los pueblos próximos. San Sebastián, Bilbao, Barcelona, Valencia y la poblada región asturiana, próxima á la costa, son de ello ejemplo en nuestro país. Ambas clases de trenes, eléctricos y de vapor, pueden marchar por las mismas vías sin molestarse ó perturbarse mutuamente, y la duplicidad de servicio, lejos de originar complicaciones, equivale á una racional aplicación del *sumum cuique*; equivale á vestir á la medida servicios que medidas distintas requieren.

Mas aparte de esas secciones de intenso tráfico, que para éste constituyen en el servicio normal estrangulaciones que lo laminan y de las que forzosamente se ha de resentir, hay otras en las que motivos de índole particular militan á favor de la tracción eléctrica, como son las secciones que se desarrollan en regiones montañosas de fuertes pendientes, que obligan á la tracción doble ó al empleo de máquina en cola, ó bien en las que el considerable número de túneles hace á la vez molesta y peligrosa la tracción á vapor. De estos casos son característicos ejemplos en España las líneas de la vertiente marítima de la cordillera cantábrica, y muy especialmente la asturiana. No sólo es en ellos adecuada y económica la tracción eléctrica, sino que para igualdad en los gastos de explotación deciden á favor de aquélla las muchas ventajas accesorias que consigo lleva. No es raro tampoco encontrar en estas regiones facilidad para el aprovechamiento de saltos de agua que ayuden á la económica resolución del problema.

II

Potencia tractora y capacidad de locomotora.

Si dejamos á un lado el tráfico local ó de especiales condiciones, y nos fijamos en el general de trenes pesados, aun de mercancías, encontramos, igualmente, casos en los que obstáculos insuperables pueden cerrar el paso á la tracción por vapor y dejarlo franco á la eléctrica. Se caracteriza ó define la locomotora por el máximo esfuerzo de tracción de que es susceptible, ó lo que es lo mismo, por su peso y el número de ejes adherentes. Este esfuerzo tractor no es, sin embargo, en una máquina más que uno de los dos factores de la potencia ó capacidad, siéndolo el otro la velocidad máxima á la cual puede desarrollarse aquel esfuerzo. Pues bien; en la locomotora de vapor, este producto ó capacidad está forzosamente limitado por el generador de energía, por la caldera y caja de fuego, que imponen una velocidad crítica máxima si el esfuerzo adherente ha de ser plenamente utilizado. Así una locomotora de vapor de 90 toneladas, sobre los ejes motores, desarrolla un esfuerzo tractor de 20 toneladas á la velocidad de 16 kilómetros por hora, y sólo un esfuerzo de 6.600 kilogramos á 48 kilómetros por hora; el esfuerzo tractor es en el primer caso $1/4,5$ del peso de la locomotora, y en el segundo, de $1/13,7$, es decir, una pequeña fracción del esfuerzo para que está prevista y que su peso permite desarrollar. Como es dicho esfuerzo tractor lo único

que rige ó determina la cuantía de la carga remolcada, se deduce de lo que precede la imposibilidad de independizar la buena utilización del peso de una locomotora de vapor, de su velocidad de marcha, existiendo obligadamente para cada tipo de locomotora, según su caldera, una velocidad crítica que no puede ó debe exceder en pro del buen rendimiento.

No cabe tampoco, sino dentro de límites restringidos, apelar al aumento de potencia de las locomotoras por la variación de su tipo ó modelo, conservando el mismo peso adherente y acudiendo á obtener una mayor velocidad mediante la disminución del número de ejes motores y elevación del peso total. Los inconvenientes que este procedimiento ofrece son de consideración, y, aparte de otros, ejemplo de ellos encontramos en la costosa necesidad reconocida en nuestras líneas, y en vías de ser satisfecha, de obligarse á modificar, reforzándolo, todo un sistema, aún joven, de numerosos puentes metálicos, cuya vida hubiera podido prolongarse aún mucho tiempo por sólo sencillos y normales trabajos de conservación.

La locomotora eléctrica, por el contrario, no es su propia generadora de energía, sino una simple transformadora en cinética de la que recibe bajo forma eléctrica. Cada uno de sus ejes adherentes está equipado con su correspondiente motor eléctrico, la potencia del cual no tiene otros límites que los que le imponen la velocidad á que debe marchar (acción directa ó reducción por engranajes), el ancho de vía y el diámetro de las ruedas. Basta sólo prever el necesario número de ejes adherentes, sin enlace alguno mecánico, para que la locomotora eléctrica pueda desarrollar el mayor esfuerzo tractor deseado á cualquier velocidad que hagan admisible las consideraciones de seguridad y de conservación de la vía. Y conste que, puesto que tratamos de trenes pesados de mercancías, no aludimos siquiera al sistema de explotación por unidades múltiples, para el cual, dentro del tema presente, no hay limitación práctica alguna.

En lo antes dicho, si atentamente se examina, reside, á juicio de quien esto escribe, la ventaja de más importancia que la locomotora eléctrica puede alegar en el tráfico de mercancías al ponerse en parangón con la de vapor, ventaja que se resume en la posibilidad de aumentar la velocidad suficientemente para duplicar, y aun en algunos casos triplicar, la capacidad en toneladas transportadas, ó lo que es lo mismo, el rendimiento ó capacidad kilométrica de la vía.

La locomotora de vapor más potente actualmente en función, tipo Mallet Compound, articulada, de 12 ruedas (en realidad, dos locomotoras unidas), que presta servicio en el «Ferrocarril de Baltimore & Ohio», desarrolla su máximo esfuerzo tractor de 35.500 kilos aproximadamente, funcionando en Compound á la velocidad de unos 16 kilómetros por hora. La locomotora eléctrica de ocho ejes, de igual peso adherente, puede desarrollar igual esfuerzo de tracción á una velocidad tres veces mayor. La característica apuntada de ser aquélla simple transformadora y no creadora de energía, permite acumular, no en proyectos más ó menos hiperbólicos, sino en tipos ya construidos y experimentados, una potencia de 2.400 HP. para un peso total de locomotora de 110 toneladas y un peso adherente de 80, cifras fantásticas é imposibles de alcanzar remotamente para la locomotora de vapor, y aún más si se tiene en cuenta la elasticidad de los motores eléctricos, susceptibles de sobrecargas instantáneas de 100 por 100, y durante algunos minutos de 50 por 100.

III

Rendimiento ó economía en el consumo de carbón.

El estudio de los gastos de explotación de los ferrocarriles con locomotoras de vapor demuestra que la importancia que en ellos tiene el gasto de combustible crece paralelamente y en relación directa con la distancia de la línea á los centros productores. Las líneas en las que es elevado el kilometraje de los trenes de mercancías, comparado con el total de la explotación, ponen de relieve también un mayor tanto por ciento de los gastos de explotación en el capítulo del combustible con respecto á aquellas en que el mencionado kilometraje de mercancías es reducido, comparado con el total. Las mismas cifras, confirmando lo anterior, acusan un consumo de carbón considerablemente mayor por caballo-hora para los trenes de mercancías que para los trenes rápidos de viajeros. Es, pues, totalmente equivocada la idea que como indiscutible se pregona de que la electricidad no tiene apenas probabilidades favorables de vencer al vapor sino en el tráfico de viajeros; la verdad es que si para este último las ventajas á favor de aquella son numerosas y de índole variada, la economía figura con importante peso al estudiar su aplicación al servicio de mercancías, sólo por el mayor consumo de combustible que los trenes de mercancías requieren respecto á los de viajeros.

Basta examinar las curvas características de los motores normales de tracción para convencerse de la amplia escala de trabajo, dentro de la cual se mantiene un alto rendimiento. Per ejemplo, la locomotora de seis ejes del «New-York Central», con peso de 100 toneladas, conserva un rendimiento superior á 90 por 100 (los inducidos de los motores van directamente montados en los ejes) para una variación del esfuerzo tractor entre 2.500 y 10.000 kilos, es decir, prácticamente en toda su escala de trabajo normal. Concediendo el margen preciso para compensar todas las pérdidas y rendimientos intermediarios desde una central generatriz, alimentada por vapor, hasta el gancho tractor de una locomotora eléctrica, el caballo-hora, medido con dinamómetro, puede requerir un consumo de buen carbón, igual á 1,75 kilos en las condiciones más desfavorables de rampas fuertes, aceleración rápida y enlaces con otras líneas ó ramales. La cifra anterior incluye todas las pérdidas atribuibles al establecimiento ó esperas, puesto que la locomotora eléctrica no consume energía cuando no trabaja. Para la misma unidad de trabajo útil, las locomotoras Compound modernas no consumen menos de 2,25 kilos de carbón en las mejores condiciones, y hasta 4 y 5 kilos cuando intervienen rampas fuertes, sin que en las cifras anteriores se incluyan los consumos en pura pérdida, mientras que la locomotora permanece estacionada, sea por paradas normales, sea por esperas en empalmes ó cambios de máquina donde hay depósito. Es, sin embargo, sorprendente y de relativa importancia este último consumo; en las notas de quien esto escribe figura una locomotora de mercancías de poco más de 4 metros cuadrados de superficie de parrilla, que consumía 150 kilos de carbón por hora, mientras esperaba en una vía apartado el momento de entrar en servicio; nada tendría de exagerado suponer que incluyendo el encendido y puesta en presión, dicha locomotora gastaba mensualmente 15 á 20 toneladas de carbón sin equivalencia alguna de trabajo útil.

Tal vez parezcan exageradas las cifras comparativas antes apuntadas; pero para su exacta apreciación debe tenerse

muy en cuenta que una central generadora que alimente una línea férrea con 20 locomotoras en circulación, no requiere, ni mucho menos, disponer de una potencia igual á la suma de las 20 locomotoras, sino solamente de la correspondiente al consumo medio simultáneo de éstas, con elasticidad suficiente para las sobrecargas momentáneas de corta duración y aparte la unidad de reserva que siempre se acostumbra á prever. En un estudio llevado recientemente á cabo por el autor de esta Memoria, en línea de carácter accidentado, la potencia de la central generadora no requería ser superior al tercio de la suma de las potencias de los tractores en servicio.

Es indudable que tanto mejor queda resuelto por el servicio eléctrico el problema de la economía en la explotación, cuanto más subdividido es el tráfico. Si en vez de un tren que requiere una potencia de 1.000-HP., se ponen en circulación diez de 100 HP., los conductores, y en general el sistema distributivo de energía, en lugar de estar previsto para suministrar en cualquier punto de la línea la energía representada por la primera cifra, lo estará sólo para la segunda, diez veces menor, y la capacidad de la central se aproximará mucho á la ordenada media de la curva de trabajo en la integración del absorbido por la carga total suelta concentrada.

De todas suertes, y como consecuencia de las razones apuntadas en este epígrafe, las estadísticas de explotación de ferrocarriles eléctricos muestran una reducción que varía entre un 20 y un 40 por 100 en el consumo de carbón por tonelada-kilómetro con respecto á los de vapor.

IV

Buena utilización del material.—Recorrido medio.

Constituye el buen aprovechamiento del material tractor otro de los problemas comerciales mejor resueltos con la tracción eléctrica, permitiendo elevar el recorrido medio anual y disminuir el número de locomotoras necesarias para realizar un determinado servicio.

Para una locomotora de vapor son numerosas é inevitables las causas de forzada inmovilización que la sustraen á su única misión útil de remolcar trenes. Las paradas á que obliga el tomar agua y carbón; las frecuentes visitas al cocherón para encender ó retirar el fuego, limpiar los tubos y otros servicios análogos; las reparaciones numerosas de la caja de fuego y los tubos de la caldera y los cuidadosos y detenidos repasos que su mecanismo requiere, contribuyen á reducir prácticamente la utilización de una locomotora á límites muy bajos. Para un recorrido mensual de unos 5.000 kilómetros, he podido comprobar en una importante línea que la locomotora sólo permanecía remolcando los trenes durante un 28 por 100 del tiempo total, correspondiendo un 50 por 100 á las esperas con presión en los términos de línea ó depósitos.

La locomotora eléctrica está siempre disponible sin que requiera gastar los tiempos muertos antes enumerados. Es también mucho menor el que supone su permanencia en visita ó reparación, limitándose al necesario para renovar ó reparar algunos órganos sujetos á desgaste ó á avería. Si se comparan entre sí los recorridos anuales de las locomotoras eléctricas y de vapor, se verá que los correspondientes á las primeras exceden próximamente en un 50 por 100 á los efectuados por las segundas.

V

Gastos de conservación

No hay en la locomotora eléctrica caldera, caja de fuego, cilindros ni órganos sujetos á movimiento alternativo; no hay bielas motoras ni de acoplamiento, y las únicas partes sujetas á desgaste ó renovación son las ruedas, escobillas, cojinetes, engranajes (cuando los hay) y algunos otros pequeños y poco importantes detalles del equipo eléctrico (fusibles, lámparas, contactos del regulador, etc.). La renovación de estos órganos es fácil y económica, y si su selección ha sido objeto de atento estudio, pueden alcanzar dilatada vida; por ejemplo: 250 á 300.000 kilómetros como promedio para los cojinetes y engranajes, que son de aquéllos los órganos más importantes entre los peculiares de la locomotora eléctrica.

Los datos estadísticos asignan á una locomotora eléctrica de cien toneladas, sujeta á condiciones medias de servicio, un gasto de conservación que no excede de unos seis céntimos y medio de franco por locomotora-kilómetro, y llega á ser tan sólo de cuatro céntimos para una locomotora de 50 toneladas.

Las cifras anteriores son la tercera parte de las correspondientes á locomotoras de vapor equivalentes, y aunque no se pueda afirmar de un modo absoluto y garantizado, los especialistas están de acuerdo en que la relación entre dichas cifras no excede de 0,4. La capitalización de las economías así realizadas puede por sí sola cubrir ampliamente el coste inicial de una locomotora eléctrica.

VI

Gastos totales de explotación.

Como consecuencia de lo que precede, una ventaja comercial de sensible importancia á favor de la locomotora eléctrica reside en la economía que introduce en los gastos de explotación.

Una información detenida llevada á cabo por M. de Murralt sobre los ferrocarriles americanos de Pensilvania y central de Nueva York, mostró que las economías á realizar con la sustitución de la electricidad al vapor, por los conceptos de reducción en el gasto de combustible, grasas algodones, etc.; supresión del agua de alimentación, sueldos de personal y reparación de locomotoras, capitalizadas al 5 por 100, representaban una suma doble, por lo menos, de la necesaria para los gastos de electrificación.

M. Armstrong, después de realizar muy completos estudios de ferrocarriles en condiciones muy variadas, de perfil, de peso y de velocidad de trenes, de modo á poder llegar á la generalización de conclusiones, obtiene una economía en los gastos totales de explotación, á favor de la tracción eléctrica, igual respectivamente á 25, 30 y 38 por 100, según sean los trenes de 1.000, de 500 ó de 250 toneladas.

El estudio de la remuneración que la electricidad puede proporcionar al capital suplementario que su adopción requiere, es bastante complejo y sujeto á grandes diferencias, según el tipo y velocidad de trenes que se adopte y el número de trenes diarios que en cada sentido circulen. Si nos ocupamos primero del capital necesario para la electrificación, dentro de un mismo tipo de tren, la velocidad influye relativamente poco, y tanto menos cuanto más ligero es el

tren. Aún eleva menos el coste relativo de la electrificación el número de trenes diarios que circulan, y tanto menos cuanto más ligero sea dicho tipo. Así, dentro del tipo de trenes de 250 toneladas, el coste de la electrificación (comprendido todo, es decir, central, subestaciones, línea de trabajo, conexiones de la vía, etc.), está representado por las cifras siguientes: 1 para un servicio de 10 trenes diarios en cada sentido á la velocidad de 16 kilómetros por hora; 1,35 para el mismo servicio á 80 kilómetros por hora; 1,14 para la primera de dichas velocidades y 20 trenes diarios en cada sentido, y 1,57 para este mismo número de trenes á 80 kilómetros.

El dividendo ó interés que la electrificación proporciona al capital en ella invertido es, como hemos dicho, muy variable con las hipótesis mencionadas de peso, velocidad y número diario de trenes. Dentro de la constancia de este último factor, el interés es tanto mayor cuanto los trenes sean menos pesados, y para un mismo peso, rápidamente mayor cuanto menor sea su velocidad, á partir de cierto límite. El número diario de trenes en cada sentido es el que mayor influencia ejerce dentro de un mismo tipo de tren y de una misma frecuencia.

Dentro del juego de estos tres factores, el interés puede variar desde cero ó un valor insignificante para el caso de trenes muy pesados, escasos en número y á gran velocidad hasta más del 30 por 100 en el supuesto de 20 trenes diarios en cada sentido, con peso de 250 toneladas y á una velocidad pequeña de unos 20 kilómetros por hora. Los cálculos anteriores son siempre complicados y se hace necesario comenzarlos para cada precio de carbón, que es el elemento variable, cuyo coste influye en la explotación lo bastante para no poderlo dar como una constante. El autor tiene en preparación interesantes gráficos que acusan claramente la influencia de los diversos y variados factores que intervienen en el problema.

VII

Incremento ó desarrollo del tráfico.

De importancia capital es la resolución de este importante problema comercial, que basta por sí solo para hacer ó no viable una explotación. Todas las cifras que anteceden hacen omisión completa de la principal característica de la tracción eléctrica que, como se dice al principio de la presente Memoria, es el notable aumento de tráfico que á ella siempre sigue, pues tanto en viajeros como en mercancías, los aumentos de los beneficios son en mucha mayor proporción, debidos á la elevación de los ingresos más que á la reducción de los gastos. Tan axiomático se considera este principio en Norte América, que muchos casos existen de ferrocarriles electrificados sin más estudio ni preparación en que basar tan importante medida. Ferrocarriles eléctricos hay en ese progresivo y admirable país que, marchando paralelamente y en competencia con otros á vapor, poseen un tráfico propio, casi creados por ellos, que antes no existía; ferrocarriles cuya vida sería imposible y sólo se alimentaran del tráfico «capturado», por así decirlo, á las antiguas líneas con que compiten.

No quiere esto decir que la competencia no cause perjuicios de entidad á las líneas explotadas con vapor. Las cifras presentadas por el ilustre Ingeniero J. G. White en el Congreso de San Luis, fueron bien significativas á este propó-

sito; la línea de Cleveland (Ohio) á Oberlín, de unos 55 kilómetros de longitud, transportó con su servicio á vapor unos 200.000 viajeros en 1895. En 1902, ya establecido un servicio eléctrico entre los mismos puntos, dicho ferrocarril no transportó más que unos 90.000 viajeros, es decir, menos de la mitad, mientras la línea eléctrica alcanzó cerca de 3 millones de pasajeros. La misma proporción puso de relieve M. White para los ferrocarriles de Cleveland á Painesville y de Cleveland á Lorain.

Es siempre en el movimiento de viajeros para trayectos relativamente cortos donde de un modo más acentuado se refleja el influjo de la tracción eléctrica en los ferrocarriles. Tal hecho es consecuencia lógica de las razones que rigen el aumento de tráfico, y que, según las ideas del notable Ingeniero M. Davis, pueden resumirse del modo siguiente, partiendo del postulado de que, como leyes fundamentales, el público viaja siempre ó por necesidad, ó por gusto ó capricho, y que el estímulo á viajar más ó menos á menudo depende de las causas siguientes:

1.ª *Coste total del billete de ida y vuelta.*—Á medida que este coste se reduce, ambas leyes ó razones fundamentales determinan un aumento de número de viajeros, aumento que es, lógicamente, menos que proporcional á la reducción del precio del viaje. Nótese que lo que al público interesa es el coste total y no el del viajero kilómetro.

2.ª *El tiempo total necesario para hacer el viaje redondo ó de ida y vuelta.*—También por las dos causas fundamentales aumenta el tráfico á medida que el tiempo requerido por el viaje es menor; y ese aumento es igualmente menos que proporcional á la reducción del tiempo. El viajero, por regla general, se preocupa del tiempo en su valor absoluto, pero casi nada de la velocidad; le es indiferente, bajo este aspecto, marchar á 100 que á 20 kilómetros por hora. Las paradas excesivas en estaciones le mortifican siempre.

3.ª *Comodidades ó ventajas ofrecidas al viajero, las cuales pueden subdividirse en las siguientes:*

a) Proximidad de los puntos de salida y llegada á los lugares, que por céntricos ó por otra causa de ellos deben ir los viajeros á tomar el tren ó á ellos les interesa llegar. Cuanto más se aproxime á lo que pudiéramos llamar *servicio á domicilio*, tanto más aumenta el tráfico, siguiendo una ley poco conocida en función de la distancia que falte para llegar á ese *desiderátum*. Una regla ó ley aproximada dada por Wellington hace tiempo y con referencia á los ferrocarriles de vapor, se expresa diciendo que los ingresos brutos de una línea disminuyen por cada milla que la estación se aleja del centro de la población, desde un mínimo de 10 por 100 hasta un máximo ordinario de 25 por 100, aunque en circunstancias especiales dicho tanto por ciento pueda ser elevado y aun llegar al 100 por 100.

Claro es que esto no tiene aplicación á los tranvías, cuyo éxito estriba precisamente en su servicio rápido y frecuente, que tome á los viajeros á la puerta de su casa, en el café, en los centros de contratación y, en general, donde quiera que el deseo de una mayoría lo evoque. Hablar de una milla como distancia á recorrer á pie para tomar un tranvía sería ridículo. Cree quien esto escribe que la distancia que un viajero se decida á recorrer á pie para servirse de una línea de tranvías puede estimarse, según el clima, tarifas y otras circunstancias, que varía entre 5 y 25 por 100 del recorrido total á efectuar

b) *Frecuencia del servicio.*—El tráfico de viajeros crece

siempre cuando disminuye la pulsación ó estacionamiento en cabeza de línea, aunque el crecimiento del primero es menos que proporcional á la reducción del segundo. En realidad, el efecto de la mayor frecuencia puede referirse al empleo de menos tiempo *total*, de que antes hemos hablado.

c) *Aspecto y comodidades de las estaciones, bondad del material, etc., y en general cuanto se refiere á condiciones externas ó aparentes.*—La línea que ofrezca al mismo precio y con igual tiempo de viaje un mayor *confort*, ó aun lujo, al viajero, es evidente que no sólo llevará ventaja en la competencia, sino que creará por sí misma un tráfico propio que antes no existía. El empleo en la línea de Barcelona á Mataró de cómodos trenes-tranvías con intercomunicación completa, disponiendo de un *wagon-bar* para almuerzos y refrigerios, ha sido un aliciente de tal resultado, que inmediatamente se vió subir en medida muy sensible el movimiento de viajeros.

CONCLUSIONES

Como resumen de cuanto anteriormente queda dicho, el autor cree poder establecer las siguientes conclusiones:

1.ª La tracción eléctrica aplicada á los ferrocarriles mejora, comercialmente, las condiciones de la explotación tan pronto como la intensidad del tráfico alcanza determinado valor, más reducido de lo que como creencia general se estima ser necesario. Un cambio tan radical como el que supone la implantación del sistema, es causa de la timidez con que al principio se acomete, como con todos los progresos humanos ha ocurrido en la esfera industrial. En plazo breve el estudio atento y la suficiente experiencia permitirá aunar la prudencia con la acometividad en esta clase de empresas, abriendo vías fecundísimas al progreso.

2.ª Las mejoras que en la explotación se introducen afectan de un modo inmediato y en mayor escala al servicio de viajeros que al de mercancías. Dependen, en parte, de las economías que el sistema introduce y, en mayor escala aún, del incremento por él determinado en el tráfico. El resultado que en escala modesta y para el pequeño radio urbano hemos visto tan de relieve en los servicios de tranvías, es aplicable al de ferrocarriles, pues siempre iguales causas producen iguales efectos.

3.ª En nuestro país existen líneas para las que de un modo indubitable, con la absoluta convicción que da la certeza, cabe preconizar el cambio en el sistema de tracción. Á ello pueden únicamente oponerse razones que pudieran llamarse de tesorería, ya por la falta de las necesarias reservas de capital, ya por la dificultad de contratar empréstitos, pues el interés del dinero invertido será sobradamente remunerado, siempre que por la Hacienda pública ó el fisco no se busque en el naciente florecimiento de esta esfera del progreso una nueva materia contribuable, poniendo trabas á su desarrollo é impidiendo la explosión de sus energías, como en tantos otros casos ha ocurrido.

Como ejemplos de líneas á transformar, el autor coloca en primer término las de Barcelona á Mataró, las de Bilbao á Arenas y Portugalete y la de San Sebastián á Irún.

4.ª Próxima la reversión al Estado de líneas importantes, éste debe preocuparse del atento estudio de la cuestión, para en su día encontrarse en situación de abordarla, siguiendo en esto las huellas de otras Naciones europeas, como Italia, Alemania y Francia. En relación con este estudio, debe también acometer el de las abundantes fuentes

naturales de energía disponibles, llegando en caso preciso á la expropiación de concesiones otorgadas. Como punto interesante y de pronta resolución aparece el de los largos túneles próximos á ser perforados en las líneas internacionales que han de unir á España y Francia, para las cuales, á semejanza del Simplón, no cabe en el actual estado de la industria otra solución cuyo acierto pueda remotamente ser comparado con la adopción de la tracción eléctrica.

LUIS SÁNCHEZ CUERVO,
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

LA REGIÓN ÁRIDA DE LOS ESTADOS UNIDOS (1)

Topografía y clima.

Las condiciones climatológicas de los Estados Unidos de América son muy variadas, como puede inferirse de la vasta extensión de su territorio (7.851.000 kilómetros cuadrados, sin Alaska), comprendido aproximadamente entre los paralelos 26° y 49° y los meridianos 65° y 125°, Oeste de Greenwich, de su situación entre los dos Océanos y, sobre todo, del relieve de su suelo y disposición de sus sistemas orográficos con relación á las corrientes atmosféricas predominantes.

De Norte á Sur, y paralelamente á la costa del Pacífico, se extiende Sierra Nevada, y á alguna distancia hacia el Este, la conocida con el nombre de Montañas Roquizas, constituyendo entrambas el sistema orográfico de las cordilleras, situado todo él al Oeste del meridiano 105°, con un relieve considerable que llega en algunos puntos á alturas de unos 4.600 metros sobre el nivel del mar, y un desarrollo superior á 8.000 kilómetros, desde Alaska hasta Méjico, ocupando más de un tercio de la América del Norte. El sistema de los montes Apalaquianos comprende las cordilleras que corren al Este, no lejos de la costa del Atlántico, desde Nueva Escocia, en el Canadá, hasta el Estado de Alabama, en una longitud de unos 2.500 kilómetros, con un ancho medio que no llega á un quinto del de las cordilleras y un relieve medio inferior á la mitad del de éstas.

Comprenden los dos sistemas de montañas el amplio valle del Misisipi, cuya cuenca, que mide nada menos que 3.225.000 kilómetros cuadrados, está formada por sabanas inmensas.

Entre Sierra Nevada y las Montañas Roquizas existen también anchas llanuras, situadas á una altura media de 1.500 metros, llegando las más elevadas á 1.800, gran parte de las cuales vierten sus aguas en varios lagos enclavados en los estados de Nevada y Utah, constituyendo la llamada Cuenca interior. Otras planicies más pequeñas, pero más elevadas aún, forman las mesas que con frecuencia se encuentran en esta parte del territorio americano.

No existe ninguna cordillera, en el sentido de los paralelos, que pueda obstruir ó dificultar el paso de los vientos procedentes de las regiones árticas y ecuatoriales, lo que es causa de que los fríos del invierno y los calores del verano sean comparativamente más intensos que los que existen en Europa en parajes situados en la misma latitud.

(1) De *Las obras de riego de los Estados Unidos de América*, por don José Nicolau y D. Narciso Puig de la Bellacasa.

Caracteriza el suelo de Norte América, en gran parte del territorio situado al Oeste de los montes Apalaches, al que se contraen principalmente nuestras observaciones, lo dilatado de las llanuras, la suavidad y amplitud de sus ondulaciones y lo moderado de la pendiente de sus laderas aun en las partes elevadas de los grandes macizos; allí son casi desconocidos los valles estrechos y profundos, cual los que se encuentran en Asturias y Suiza, y fuera de algunos cauces que á modo de surcos profundísimos han labrado las corrientes en el terreno, éste suele presentarse abierto, con espesa capa de material laborable, aun en aquellos parajes de gran extensión fuera de las cumbres de las montañas que desde remotos tiempos, sin duda, carecen de cubierta forestal, y que sólo protege una vegetación pobrísima.

La amplitud de las variaciones termométricas es considerable: se han registrado, á la sombra, temperaturas desde 49° centígrados bajo cero á 49° sobre cero, y la media que reina en los diversos Estados llega á acusar diferencias de más de 22°.

La dirección dominante de las corrientes atmosféricas es de Oeste á Este, y de aquí que los vientos de Poniente, saturados de humedad á consecuencia de su paso por el Océano Pacífico, sean causa de condensaciones frecuentes, principalmente en invierno, al elevarse en la atmósfera, con el enfriamiento consiguiente, por efecto de la barrera que á su paso opone, muy cerca de la costa, la Sierra Nevada. Las lluvias son muy abundantes en los altos de ésta.

De ordinario, estos mismos vientos, desprovistos de humedad, corren luego por las desiertas llanuras que aprisionan las dos cordilleras occidentales, dando lugar á la sequía que en ellas reina casi siempre y que es la causa de su esterilidad. Sólo en verano, caldeadas las montañas contiguas á la costa, consiguen franquearlas los vientos de Poniente sin que se produzcan precipitaciones acuosas en sus laderas ni en sus cumbres, dando lugar, sobre todo en California, á las sequías estivales características de esta región.

Las cimas más elevadas de las Montañas Roquizas interceptan los vientos del Oeste no desprovistos por completo de vapores acuosos, produciéndose en estas partes altas precipitaciones relativamente frecuentes y abundantes, mientras en la región baja impera con persistencia la sequía.

Caracteriza el régimen pluviométrico de la región situada al Sudeste de California y Sudoeste de Arizona y Nuevo Méjico la escasez é irregularidad, efecto, sin duda, de que en esta parte no dejan sentir su benéfica influencia las sierras del sistema de las Cordilleras, porque no alcanzan en ella desarrollo y elevación suficientes para provocar en invierno condensaciones abundantes.

La cantidad de lluvia va en aumento desde el pie de las Montañas Roquizas con dirección al Este ó, mejor, hacia el Sudeste, teniendo su máxima intensidad junto á las costas del golfo mejicano, en los Estados de Alabama y Misisipi. La influencia del Atlántico y de los montes Apalaches resulta preponderante en toda la parte oriental.

El mapa esquemático que se acompaña dará una idea general de la distribución de las lluvias medias en los Estados Unidos; él indica claramente que en la región situada al Oeste del meridiano 100° la altura media pluviométrica no suele llegar á 50 centímetros, si se exceptúan algunas fajas de la vertiente del Pacífico. Esta zona de lluvias mínimas, conocida con el nombre de región árida, se extiende principalmente por los Estados y territorios de Arizona, California, Colorado, Idaho, Kansas, Montana, Nebraska, Ne-