

ANTEPROYECTO
DE
Ferrocarril movido por Electricidad

ENTRE
PAMPLONA, ESTELLA Y LOGROÑO,
presentado á la Excm. Diputación

POR EL INGENIERO DE CAMINOS

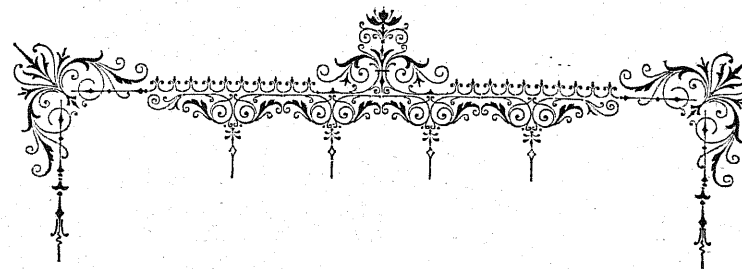
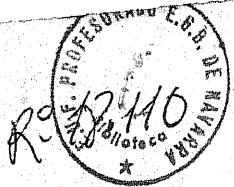
D. Emilio Azarola.



PAMPLONA.
IMPRESA PROVINCIAL.

á cargo de J. Ezquerro.

1896.



ANTEPROYECTO

DE

Ferrocarril movido por Electricidad,

ENTRE

Pamplona, Estella y Logroño.

I.

«Una red de ferrocarriles es un aparato que hace circular la savia industrial al través de todas las partes de un mismo territorio» y una región á quien la falta del incesante movimiento de sus trenes no permita verter sus productos en las corrientes comerciales de primer orden de la nación y absorber de ellas en reciprocidad todos los indispensables á su desenvolvimiento, no podrá entrar jamás en el concierto activísimo de la vida de los pueblos modernos. Verdad es esta tan luminosa, que puede deslumbrarnos; porque la riqueza que acrecientan y difunden los ferrocarriles, no la crean ellos, es preciso que su germen exista, y si estas costosas obras ayudan á su desen-

volvimiento, exigen en cambio de la misma que sobrelleve la carga de retribuir los cuantiosos capitales que se gastaron en su construcción. Por eso, frente á la utilidad incontestable de las vías férreas, se debe considerar atentamente si no son muchas veces un instrumento desproporcionado en relación con el trabajo que se les ha de encomendar. Es claro que los ferrocarriles han sido el factor principal del progreso humano en este siglo; pero no obstante, en muchas ocasiones ¡cuánto idealismo engañoso ha hecho construir líneas, que han absorbido parte principalísima de la riqueza á que habían de comunicar febril actividad, y que luego están condenadas á soportar una lánguida existencia, abrumando el derroche de la fortuna pública, al imprudente país que lo cometió! Muchos desengaños hicieron falta para que la atención de los hombres entendidos en estas materias se dirigiera á profundizar en sus causas y se llegase á la conclusión de que las condiciones onerosísimas de la construcción de la vía de 1 m 45 normal entonces en casi todos los ferrocarriles europeos, obligaban á desterrarla en muchas ocasiones y de que sólo reduciendo aquella anchura de entrevía, se lograría dar vida próspera á un ferrocarril allí donde el tráfico no alcanzara las proporciones inusitadas de las corrientes principales del comercio de una nación. La cuestión quedó, pues, planteada en estos términos: para las arterias de primer orden, vía ancha, con pendientes no mucho mayores de 1 por ciento, y curvas de más de 300 metros de radio, con obras de arte construídas en previsión del paso de locomotoras hasta de 60 toneladas, estaciones espaciosas y bien servidas y material móvil con toda la amplitud y comodidades que cada vez va exigiendo con más ahinco el público; para las corrientes de tráfico secundarias y para las afluentes á las de primer orden, vía que se llamó estrecha, de 1 m de anchura, por ejemplo, con pendientes de 2,25, curvas de 120 metros de radio, estaciones económicas y material móvil de peso reducido.

¿Quedó resuelto el problema en todos los casos? De ninguna manera. Unas veces por errores (inevitables por otra parte) cometidos en la compulsación del tráfico probable, (1) otras porque forzosamente la vía de un metro

(1) Muchas líneas francosas de interés local, arrojaron luego de cons-

era aún demasiado cara para poderla aplicar en todos los casos, los desengaños sufridos al poner en explotación nuevas líneas, siguieron su curso.

Y ¡qué fatales errores los que se cometieron! Los tesoros derrochados en la construcción de ferrocarriles desproporcionados con el tráfico que habían de servir han oprimido luego al país que se aventuró imprudentemente en dar ayuda ó en garantizar el interés de tan cuantiosos capitales. (1). Sin ir más lejos, en busca de ejemplos abundantísimos, aquí, en nuestra misma España, ¿cuántas de esas líneas de vía ancha de interés general arrastran á duras penas la anémica vida que les proporciona un movimiento de viajeros y mercancías, que á las mismas velocidades, podrían servir vías de metro? Tal vez ellas no hubieran sufrido tal penuria en su desenvolvimiento ni el comercio español las gabelas de todo género y la elevación de tarifas que sufre para lograr trasportes lentos é inseguros; ni oiríamos (aunque otras causas concurren á producirlos) esos clamores de auxilio que hoy mismo escuchamos de parte de los tenedores de esos inmensos capitales cuyos intereses emigran anualmente al extranjero. Si cuando se construyeron los ferrocarriles generales, ni en muchos años después, era de esperar que el desarrollo industrial y comercial de España necesitase de tan poderosos medios de transporte, ¿á qué recargar el entonces infantil organismo industrial de España con el pesado tributo del interés de su valor?

Considérese, pues, la importancia inmensa que para toda región tiene el aventurarse en la construcción de su red de ferrocarriles sin meditar antes detenidamente cuál ha de ser el poder industrial, por decirlo así, que ha de poseer ese medio seguro de su prosperidad.

Y nunca más apropiado que hoy, en que los votos fer-

truídas un rendimiento bruto de una tercera parte tan sólo, del calculado por previsiones basadas en el número de vehículos que frecuentaban las carreteras próximas al trazado.

(1) Bien se ve que la utilidad que un ferrocarril presta á la comarca que atraviesa puede ser mucho mayor que la que guarde para sí la empresa; pero eso no justifica las demasiado amplias proporciones que se asignan á muchas vías, como no justificarían análogas consideraciones la construcción de un puente de grandes líneas en un camino vecinal, por ejemplo. Toda economía es de importancia en las condiciones actuales de la lucha por la vida.

vientes de varias comarcas navarras que carecen de vías férreas; llevan trazas de verse cumplidos, pueden los que poseen autoridad suficiente para determinar una solución, meditar sobre la que haya de resolver el problema en el caso particular en que nos hallamos.

Mi objeto es exponer aquí á la consideración de los interesados cuál sea en mi humilde opinión, el camino por donde debe llegar la industriosa región de Estella á conseguir un lazo de unión con las vías férreas de Pamplona y Logroño con las cualidades indispensables para llenar las necesidades del tráfico probable hoy, y en muchos años adelante.

El sistema que primeramente se nos ofrece es el de una vía económica de un metro de anchura, con plataforma especial, como se ha adoptado generalmente de bastantes años á esta parte cuando se ha querido servir un tráfico insuficiente para necesitar vía ancha, pero capaz de llenar las esperanzas de posible retribución del capital interesado: viéndose después de comprometida la construcción, ajustado en muchos casos á la necesidad sentida y á la conveniencia general, y en otros, por el contrario, desproporcionado con la magnitud del tráfico. El origen de la ambigüedad que surge en cada caso para decidirse por el pro ó el contra, estriba precisamente en la dificultad que existe para fijar *á priori* la entidad del tráfico existente en la comarca, antes de la inauguración de la futura vía, además de desconocerse qué parte del mismo ha de afluir á ella y qué parte no ha de abandonar los caminos por donde circula. Fijemos algunos guarismos para este caso en la fundada hipótesis de que ese ferrocarril de Logroño á Pamplona de vía de 1 metro y plataforma especial y con todos los detalles técnicos que han proyectado los distinguidos ingenieros que por encargo de la Excm. Diputación Foral han estudiado tan interesante problema, cueste 65.000 pesetas por kilómetro, inclusión hecha del material móvil y de tracción. Contentémonos con una retribución del 5 %. Para que el ferrocarril no pida ayuda ó compensación al tesoro de la Provincia se necesita una ganancia anual de 3.250 pesetas por kilómetro. Ahora bien; ¿qué rendimiento bruto ha de proporcionar esta ganancia? Imposible fijarlo á no admitir cierta proporción entre las corrientes de viajeros y mercancías y tarifas medias para

ambos componentes de la circulación total. Los datos de otras regiones corresponden á otras costumbres y otras necesidades; pero por analogía, establezcamos que por término medio un 35 p. % corresponderá á los viajeros y un 65 p. % á la pequeña velocidad; y adoptemos como tarifas medias 0,12 ps. por tonelada y 0 ps. 08 por viajero kilométrico. Y escogiendo entre muchas fórmulas igualmente hipotéticas que nos dan el beneficio en función del rendimiento bruto, la que nos dice que aquél es igual á $\frac{2}{3}$ de éste disminuidos en una suma fija de 1.500 pesetas, llegaremos á la conclusión de que para esta línea no sea gravosa al tesoro de la Provincia ó á los de los Municipios, es indispensable aproximadamente una corriente diaria kilométrica de 86 viajeros y 105 toneladas.

¿Es de esperar tal resultado? Sólo poseyendo datos estadísticos completos acerca del movimiento actual por las carreteras afluentes á la línea de Pamplona á Logroño, se podrá aventurar una respuesta ya que no categórica, por lo menos dentro de los resultados probables. Debe naturalmente tenerse en cuenta el aumento que experimentará, á no dudarlo, la circulación, al abrirse fáciles salidas á la riqueza de la comarca; pero no debe olvidarse que parte no despreciable del movimiento actual no abandonará los trillados caminos que hoy día sigue. Con tarifas más económicas, hará falta más circulación que la indicada; con las que se han fijado y con todas, gran parte de los productos que se trasportan escapan al radio de acción de un ferrocarril como el de que se trata. Todos los trasportes que se verifican entre pueblos próximos, y mucho más si las estaciones quedan algo alejadas por necesidades del trazado de los núcleos de vecindario, despreciarán una vía que les ofrece las molestias de la conducción de los productos desde el poblado á la estación, á la salida y vice versa á la llegada. Asimismo gran parte del tráfico actual de vinos, por ejemplo, que se dirige á las provincias vascas por la carretera de Vitoria á Estella no pasará á alimentar la proyectada vía, y finalmente ésta habrá de luchar para tráficos constantes y regulares que desde la región media de la línea afluyan á tomar la vía férrea de Zaragoza á Alsasua con la competencia en muchos casos en condiciones favorables de la conducción por las ca-

reteras que entroncan con el citado camino de hierro en la estación de Tafalla.

No me atreveré á afirmar, á falta de datos categóricos, que el caudal de mercancías y viajeros antes indicado no pueda conseguirse; pero sí que la duda de que así sea ha de retraer forzosamente á los capitales que se hayan de comprometer en la empresa.

¿Habrá por eso de renunciarse ó dilatar siquiera á un plazo lejano la ejecución de la idea? De ningún modo, á mi parecer; porque gracias á la experiencia, bien costosa por cierto, de las aventuras que corrieron algunos de los ferrocarriles construidos tiempo ha; y gracias á las geniales soluciones que muchos eminentes ingenieros han aportado, después de minuciosos estudios y brillantes pruebas al problema de los ferrocarriles económicos, se nos ofrece un maravilloso medio de transporte que, como intentaré demostrar, satisface cumplidamente á la necesidad sentida y que siendo inmensamente más económico que el ferrocarril de que me he ocupado anteriormente, se contenta con un tráfico mucho menor; y puede, caso de desarrollarse éste hasta límites más dilatados, beneficiar al capital arriesgado con un interés más alto, y á la comarca que le dé vida con el goce de tarifas mucho más económicas.

Me refiero á un ferrocarril de vía de 0 m 75 asentado sobre la carretera de Logroño á Pamplona y cuyos trenes sean movidos por la electricidad, engendrada por saltos de agua próximos al trazado.

Al solo enunciado de tal disposición preguntarán muchos, pero ¿es posible que tan estrecha vía sea suficiente á trasladar á velocidades aceptables, numerosos viajeros y pesadas mercancías sin que frecuentes desarreglos la inutilicen? ¿Es posible que á tan largas distancias se amolde la electricidad á procurarnos esfuerzos tan grandes á veces, tan variables á cada momento, como los que necesita un tren sobre tan rápidas pendientes? Y la decisión de muchos estará tomada si la contestación es afirmativa y convincente.

Pues bien; sí, es posible. De 60 centímetros es la famosa vía del Festiniog en el país de Gales, la más antigua tal vez de esta anchura que explotada con locomotoras trasportaba ya en 1869 100.000 viajeros y 140.000 tonela-

das de mercancías anuales á una velocidad que para aquéllos llega á 40 y 50 kilómetros por hora (verdad es que la conservación de todo el material fijo y móvil, está admirablemente conseguida). Pero sobre todo, donde brillaron las cualidades de resistencia y capacidad de este ancho de entavía, desautorizando todo argumento en contra, fué en la doble vía de viajeros establecida en la última Exposición Universal de París, que trasportó con seguridad y sin accidente alguno en el breve período de seis meses 6.000.000 de viajeros con una velocidad media de 30 kilómetros por hora. Estos son hechos incontestables y ningún prejuicio puede aminorar su elocuencia.

No he de renovar aquí los argumentos técnicos que los partidarios de vías estrechas de 60 y 75 centímetros oponen á la costumbre y á la experiencia sancionada de otros anchos; pero sí afirmaré, en vista de muchas pruebas concluyentes, que con un ancho de 75 centímetros y una conservación de la vía medianamente esmerada, es posible servir todo el tráfico de una línea de la importancia de la que se trata y que la reducción de la entavía nos permite establecerla sobre una carretera tan amplia como la de Pamplona á Logroño.

Y sentado esto, que apoyaré con ejemplos más adelante, reflexionemos algo sobre las ventajas de esta disposición.

La primera entre todas es, por decirlo así, su poder absorbente de todo tráfico cercano al trazado. Ya no existen en ella aquellas trabas que para transportes á corta distancia opone toda línea forzosamente alejada más ó menos de los núcleos de población y que por cualidades esenciales suyas necesita para la carga y descarga de las mercancías en los vagones, el trasbordo y la conducción de los productos desde el punto de expedición al muelle de mercancías y vice versa en el punto de destino. Con esta vía de 0,75, que la industria ofrece á los particulares en trozos manejables, en que la unión rígida de carriles y traviesas metálicas, permite establecerla de un modo provisional sobre cualquier terreno sin obras casi de explanación, allí donde haya un centro que con cierta regularidad exporte é importe mercancías, una fábrica importante, un pueblo próximo al trazado, por ejemplo, se puede establecer con poco gasto una vía empalmada en la general y que explotada con fuerza animal vaya á buscar el tráfico en

sus mismas fuentes. La empresa misma podía alquilar material fijo para ciertas explotaciones con carácter provisional. De aquí que se pueda afirmar que para la región donde se implante, reporta más utilidad, como susceptible de un aprovechamiento más general, una vía de 0,60 ó 0,75 centímetros que una de metro de entrevía.

La segunda ventaja es la economía de las tarifas como resultante del menor gasto de instalación y explotación. Esta economía es un beneficio que jamás se apreciará bastante y que ha de gozar toda industria establecida en la zona servida por la línea. A su sombra, en medio de la crisis que hoy atraviesan tantas industrias y de las condiciones excepcionales que alcanza la competencia en todos los ramos de la producción, podrán sostenerse y revivir tal vez parte de las explotaciones hoy amortiguadas y crearse otras nuevas. No es aventurado suponer y creo que de ello se convencerá el que lea lo que a propósito de tal punto expreso en lo sucesivo, que en la forma que propongo, este ferro-carril podrá establecerse por un gasto total de 33.300 pesetas el kilómetro, que exigirá como retribución al 5 por 100, 1.665 pesetas; y admitiendo que los gastos forzosamente más reducidos que en el caso de tracción á vapor sean una suma fija de 1.000 pesetas, más una tercera parte del rendimiento total y las tarifas siguientes 0'10 por viajero y 0'152 por tonelada kilométrica que dan el mismo resultado para el coste total del arrastre que las que más arriba se fijaron; puesto que el recorrido es menor en la proporción de 88 á 112, resultará que para aquella ganancia se necesita un transporte kilométrico diario de 38 viajeros y 47 toneladas. Al sólo enunciado de tales cifras mínimas del tráfico remunerador, 38 viajeros y 47 toneladas, resalta la evidencia de que los límites que permiten vivir holgadamente á este ferro-carril, son demasiado mezquinos para aquél con quien le ponemos en parangón.

La tercera ventaja es la facilidad para organizar el servicio plegándose á las necesidades sentidas en cada momento y en cualquier trozo de la red. Nace esta ventaja de que, como es sabido, cada vehículo lleva sus motores propios y en cualquier instante puede ponerse en movimiento sin más que ejecutar las sencillas maniobras que requiere el iniciar la marcha. Sea cualquiera el número

de viajeros ó el peso de las mercancías que se ofrezca al transporte; allí donde haya vehículos para cargarlos se pueden aceptar, en la pequeña cantidad suficiente para aprovechar un vagón, ó en la necesaria para abastecer un tren completo. En el hilo que desarrollado á lo largo de la línea suministra corriente para los vehículos, está reservada para cualquier instante la energía necesaria para el movimiento de un tren entero como el mayor de los previstos, y esto reporta un más eficaz aprovechamiento del material móvil.

En las condiciones en que se halla esta provincia aún encontramos gran ventaja en aprovechar como se propone una faja de las carreteras para establecer servicios ferroviarios, por cuanto se da una utilización más activa á los caminos ordinarios de que tan bien provista está, y sobre todo por cuanto el personal que actualmente se dedica á la conservación de los mismos, podrá sin inconveniente ayudar al cuidado de la vía férrea. Sin encontrar perjuicio alguno, salvo el estrechar algún tanto la plataforma de las carreteras, lo que equivale en otros términos á reducir las á un orden inferior, cosa que no puede estar más puesta en razón desde el momento en que se pretende absorber gran parte del tráfico que por ellas se verifica. No debemos desechar, á mi juicio, el ejemplo que sobre esto nos da el extranjero, particularmente Italia, en cuya parte septentrional más de 3.000 kilómetros de tranvías á vapor trasladan entre ciudades y pueblos, viajeros y mercancías á velocidades que pasan á veces de 25 kilómetros por hora.

Ventajosa es asimismo una disposición que nos ofrece para talleres de reparación, estaciones cabezas de línea, y alguna otra de regular importancia, medios sencillísimos de organizar la carga, descarga, y trasbordo de mercancías por medio de gruas ú otros aparatos movidos por la electricidad que se nos brinda en abundancia de la misma fuente común de donde toman energía todos los vehículos.

Y ¿qué diremos de la seguridad que para los accidentes de choque de trenes nos ofrece y puede ofrecernos sobre todo en lo futuro el sistema que preconizo? Un jefe de estación puede juzgar, mediante la observación, de la energía que está circulando por los cables que pasan fren-

te á la que regentea, si hay algún tren en movimiento entre ella y las inmediatamente próximas, ó si aquella energía es mayor que la que debe absorber el tren á su salida; y lo que es más aún, puede detenerlos desde su gabinete sin más aviso. Y los inventores que se ingenien en descubrir nuevos mecanismos para evitar aquel desastroso accidente, ¿qué más quieren que mover, por decirlo así, desde las estaciones los trenes y tener á su servicio esa vibración misteriosa que se llama electricidad?

La conservación estable de trincheras y terraplenes y obras de arte, está garantida en el camino ordinario por la prueba de largos años atrás: no es así con los nuevamente construídos, sobre todo, cuando como sucede en los de los ferrocarriles, es preciso algunas veces turbar profundamente el equilibrio actual de las capas del terreno y conservar la nueva disposición que se les asigne, quizás á fuerza de costosos trabajos.

El peso muerto correspondiente á los mecanismos de tracción, es asimismo menor; porque aun tenido en cuenta el incremento de resistencia que es indispensable proporcionar á los bastidores de coches y vagones para soportar el peso de los motores eléctricos, el conjunto de éstos es más ligero que el de una locomotora de igual potencia á vapor.

La distancia recorrida es menor por la carretera que en un trazado especial para ferrocarril; más corta, más amena y más cómoda para los viajeros la estancia en él.

Por último, un hecho sobre el que deseo particularmente llamar la atención es, que una red de vías férreas á vapor, hará emigrar anualmente de la provincia la regular cantidad que supone la adquisición del carbón necesario. Análogas contribuciones son uno de los males que afligen á España.

Y en fin; ¿á qué rebuscar en las minucias del asunto ventajas que no escapan á cualquiera? Desde el momento en que se cuenta con fuerza hidráulica suficiente (1), sólo la costumbre inveterada de no adoptar procedimientos nuevos hasta que en el extranjero nos guíe alguien que

(1) Se ha ofrecido á la Excm. Diputación Foral de Navarra por don Vicente Fernández, fabricante en Estella, el uso de un poderoso salto de agua, que tiene debidamente denunciado.

marche veinte años adelante en el camino del progreso, puede detenernos; pero que nuestros hombres públicos reflexionen maduramente sobre las inmensas ventajas del mecanismo de que voy á dar una somera idea, y que mejor que yo podrán estudiar minuciosamente los ingenieros afectos á este servicio; y entonces sí, Navarra figurará en primera línea en el ramo de ferrocarriles entre las provincias españolas, y aun entre muchas comarcas extranjeras á quienes la Naturaleza negó las condiciones que aquélla posee, para el establecimiento de sus vías de comunicación.

II.

Veamos ahora cómo pueda darse realidad á esta concepción en que yo no he inventado nada nuevo, sino tan solo combinado disposiciones que se nos ofrecen por doquier. Bosquejaré con este fin un anteproyecto sin más pretensiones que las de una primera aproximación: no me propongo formular en todas sus partes el mecanismo modelo, sino tan solo un modelo de mecanismo cuya realización sea posible. Al efecto, supondré que la energía necesaria haya de engendrarse en las potentes cascadas del nacedero del río Udaba, á 18 kilómetros de Estella, punto céntrico de la línea.

Se tomará la energía en este punto y se distribuirá por corrientes trifásicas á lo largo de la línea, hasta diversos centros de transformación en donde convertidores de aquellas corrientes en continua, rebajen la tensión y establezcan una diferencia de potencial permanente entre un hilo de contacto desarrollado á lo largo del recorrido, y la línea de carriles en comunicación con tierra.

He aquí un *spécimen* de las dimensiones de esta distribución:

Distancia hasta Estella 18 kilómetros.

Línea aérea establecida de modo que en una sección transversal, las de los hilos ocupen los vértices de un triángulo equilátero. El retardo de fase y caída de potencial

debidos á la inductancia, serán los mismos para las tres corrientes; la simetría se conservará por ende, y hasta se podría evitar aquellos efectos con el empleo de condensadores. Los aisladores serán del modelo de fluido y bien protegidos. El aislamiento del conjunto se fijará en previsión de una corriente de fuga poco apreciable.

Fuerza electro-motriz media en el origen 12.000 volts (semejante á la de Lauffen-Francfort y á la de varios trasportes construídos por casas alemanas, suizas é inglesas.)

Sección total de los hilos 100 milímetros cuadrados. Resistencia á corrientes de 80 períodos por segundo 14 ohms 91, adoptando para resistencia específica la de 1,616 microhms (Matthiessen); conductibilidad 98%; temperatura 30°; y para relación de la resistencia á corrientes continuas á la resistencia para las alternativas 1.00 según la fórmula de Sir W. Tomson para el diámetro de 0,0065 ms., é hilos macizos.

Para una densidad de corriente media de 1,5 amperes por milímetro, la línea conducirá 600.000 wats con una pérdida de 745 volts.

A falta de datos sobre el movimiento de trenes real, supondremos, en cuanto á la pérdida de voltaje en la línea, que hay que conducir la energía necesaria en su totalidad hasta 30 kilómetros de Estella hacia Pamplona y Logroño.

La línea desde aquel punto á derecha é izquierda, será análoga á la anterior. Sección total 100 milímetros cuadrados. Resistencia 24 ohms 9. La pérdida de voltaje para 1,05 amperes de densidad de corriente media, será de 878 volts y la línea transportará así una energía de unos 365 kilowatts que se pueden utilizar como mínimo en el punto más desfavorable.

La línea podrá hacerse subterránea, si así se estima conveniente, en las proximidades de los centros de distribución.

Estos serán seis: en Viana, Los-Arcos, Estella, Cirauqui, Pamplona y en un punto próximo al puerto de la principal elevación del trazado, la sierra del Perdón, por ejemplo. En cada una de estas estaciones se realizará la conversión de la corriente trifásica en continua, poseyendo cada centro una capacidad de 200.000 wats.

Los bornes positivos de todos los convertidores se unirán á tierra, los negativos al hilo de contacto. Con eso evitaremos las acciones electrolíticas de consecuencias perniciosas para los carriles. Se debe advertir que estos transformadores no deben suministrar una fuerza electromotriz constante. Sino que su característica será una curva fijada de antemano y que se elevará rápidamente á medida que sea menor el consumo. De esta manera serán varias las estaciones que suministrarán energía á un tren en movimiento.

2.º *Vía.*—Se propone de un ancho de 0,75 ms. con carriles de 12 kilos por metro, solidarios con traviesas metálicas de 1 m. 30 de longitud; vía de un peso lineal de 43 kilos. Conceptúo mejor para ese ancho y especialmente para tracción eléctrica las traviesas metálicas que darán más solidez y más franco paso á la corriente eléctrica. En cuanto al peso, téngase en cuenta que el máximo de un vehículo es 9.800 kilos. La plataforma en uno de los paseos del camino ordinario, va elevada sobre el nivel del firme, salvo en las travesías de los pueblos, en que se propone vía de tranvía Humbert. La zona ocupada por el balasto será de 2 m. 00 de anchura. El espesor del mismo bajo el borde inferior de las traviesas 0 m. 15 en el punto más próximo al eje de la carretera.

Se establecerá perfecta conexión eléctrica entre los trozos de vía por el sistema ordinario, y de distancia en distancia buena comunicación entre la vía y tierra.

El hilo de contacto de cobre endurecido, correrá por encima de todas las vías, apoyado en tensores fijados á las fachadas de los edificios en las travesías, y en postes para lo restante del trazado. Su diámetro será unos 8 milímetros; su resistencia kilométrica á 30,º 0,364 ohms., y su potencial sobre el de los carriles unos 2.000 volts poco más ó menos, según los casos.

3.º *Material móvil.*—Se compondrá de coches y vagones automotores, para lo cual cada vehículo llevará dos motores eléctricos que comunicarán movimiento á todos los ejes; irán sostenidos en la forma más usada, ó sea apoyados por un extremo sobre el eje por medio de dos cojinetes, y suspendidos por el otro del bastidor por medio de resortes; el eje del inducido quedará ligado al del vehículo por medio de ruedas de engranaje que reducirán

la velocidad en la proporción conveniente; las masas polares inductoras se prolongarán con material diamagnético para formar una caja primática que encierre el conjunto del motor y la transmisión, preservada así del polvo y de los choques.

Los motores estarán excitados en serie. El arrollamiento de los inductores se compondrá de dos partes montadas en tensión, pudiéndose dejar inactiva una de las dos secciones del hilo inductor. De este modo se dispondrá de poder variar en una proporción considerable la intensidad del campo magnético, y en las pendientes darán los motores toda su fuerza á una velocidad reducida, sin que el peso de los mismos sea desproporcionado. Como el plano neutro de los motores será muy variable, los frotadores de carbón irán colocados en una posición media.

Los motores trabajarán normalmente á 1.000 volts, é irán acoplados en tensión los de cada vehículo. Esta disposición parece preferible apesar de la dependencia de ambos motores á causa de la economía que reporta. Cada coche irá provisto además, de resistencias de reglaje y de los aparatos corrientes. Llevará en el extremo de una percha, dotada de movimientos parciales en el plano vertical y alrededor de un eje de la misma dirección, el *trolley* que podrá ser simplemente una polea ú otro modelo que se estudie para hacer imposibles los descarrilamientos del mismo. De los distintos contactos del reostato de cada coche, partirán hilos que reunidos en un mismo haz, podrán enchufarse en contactos de otro haz análogo del coche anterior en el caso de formar tren con varios vehículos.

La corriente para un solo coche en marcha, pasará de los carriles á las ruedas; luego á un conmutador que tiene el objeto que más adelante se dirá; después á la resistencia intercalada en aquel momento, al conmutador de maniobra, pararrayos, corta-circuitos, percha trolley é hilo de contacto. Caso de formar varios vagones un tren, los contactos de los reostatos de todos estarán ligados de extremo á extremo del mismo por medio de la disposición antes indicada, y la maniobra podrá ejecutarse desde cualquier punto del tren, y asimismo estarán relacionados los contactos de los conmutadores colocados entre las ruedas y los motores, de manera que en las bajadas largas,

cortando el circuito entre las perchas y los reostatos y entre los carriles y los motores y cerrándolo sobre las resistencias de reglaje, éstas absorberán la energía engendrada entónces por los motores, y se constituirá así un freno poderoso.

Los coches podrán ser mixtos de dos clases, del tipo de dos trucks y llevar cada uno dos semicompartimientos en sus extremos; uno, para furgón de equipajes, y otro, para los aparatos de maniobra y alojamiento del wattman. Se les asigna una capacidad de 40 asientos y un peso muerto de 6.800 kilogramos incluso el de los motores (1.800 kilos) de fuerza de 25 caballos cada uno.

Los vagones podrán ser de dos modelos. El 1.º de tres toneladas de carga sobre dos ejes con un peso muerto de 2.000 k. incluso los motores que desarrollarán una fuerza de 8 caballos cada uno. El 2.º de cinco toneladas de carga sobre dos trucks con peso muerto de 4.000 kilos y dos motores de 15 caballos cada uno.

Veamos ahora qué resultados podemos esperar de la disposición dada á todos estos elementos, que ya han llegado á ser tan corrientes y tan prácticos que en cualquier país de los eminentemente industriales podemos ver numerosos ejemplos de todos ellos.

Refiriéndome en primer lugar al servicio de mercancías, y tomando como ejemplo el vagón de nueve toneladas de peso total, veamos qué velocidad podrá adquirir.

1.º En una pendiente de 6 ‰, y curva de 100 metros de radio, para vencer la resistencia á la rodadura, (1) á 3 kilos 5 por tonelada, necesita un esfuerzo de 315 kilos; por la pendiente de 60 ‰, 540 kilos; y por la curva de 100 metros radio 5 kilos por tonelada, 45 kilos. En total 616 kilos, y como se cuenta con un trabajo de 2.250 kilogrametros, se le comunicará una velocidad de 3^m 65 por segundo, ó sean 13 kilómetros por hora.

2.º Cálculos análogos para una rampa de 3 ‰, con curva de 50 metros de radio.

(1) El cálculo respecto á este extremo debiera hacerse bajo bases distintas por cuanto las condiciones de transmitir movimiento al eje por medio de un par casi constante ó por una fuerza que obre sobre la plataforma del vagón, son distintas. No habiéndose hecho experiencias relativas á este punto, se adopta el método consignado sin error sensible que en todo caso sería en sentido favorable.

Resistencia á la rodadura á 4 kilos.	36
Por la pendiente de 3 ‰	270
Por la curva	90

Total. 396

Velocidad que se le puede comunicar, 20 kilómetros por hora.

3.º En recta y horizontal se podría llegar á una velocidad que la vía no consiente.

Se puede, pues, adoptar si se desea, una velocidad de 20 kilómetros por hora.

Los coches de viajeros subirán una pendiente de 8 ‰ en recta, con una velocidad de 16 kilómetros; una de 4 ‰ con la de 31 kilómetros; y para la horizontal análoga observación á la de más arriba. Velocidad media 30 kilómetros por hora.

La energía necesaria para el movimiento de un vagón de 5 toneladas de carga útil, sería: de 27.600 wats con un rendimiento de 0,80 por ciento de los motores, y transmisiones en junto (1) en las pendientes de más de 3 ‰; en horizontal, ó pendiente de 1 ‰ por ejemplo, tan sólo necesita de unos 6.000 wats.

Para un coche de viajeros, análogos cálculos darían 46.000 wats en las pendientes y 4.400 en horizontal.

Nos resta saber con estos elementos á qué tráfico total podremos responder, y como la distribución del movimiento no nos es conocida en los distintos trozos de la línea, haré la hipótesis de que aquella sea uniforme, en la inteligencia de que si así no fuese, los mismos favorables resultados que vamos á obtener podrían esperarse.

Así, pues, organicemos el servicio regular en esta forma:

1.º Para las mercancías dispondremos siempre dos trenes de 30 toneladas útiles y 54 de peso bruto, circulando por la vía que se sigan cuando marchen en la misma dirección, con un intervalo de la mitad de la longitud de la línea y que se crucen alternativamente hacia el punto medio de Pamplona-Estella y Pamplona-Logroño; ó sea el

(1) Téngase en cuenta que los electros de los motores trabajan con una inducción muy elevada.

servicio en lanzadera por un tren, superponiendo otro servicio igual, solo que dando la salida en una estación con el intervalo de distancia marcado. Estos trenes invertirán seis horas en el recorrido total. Dispondremos, pues, de cuatro trenes en cada sentido, ó sea 120 toneladas si la carga fuera completa; reduzcamos este resultado á 100 toneladas, teniendo en cuenta que esta hipótesis es imposible; pero que la pequeñez é independencia en el movimiento de los vagones hacen fácil aproximarse á ella. Lograremos aún una circulación de 200 toneladas kilométricas con servicio durante todo el día.

Para los viajeros contemos con dos coches diarios en cada sentido. (Advirtiendo que el cruce de éstos se verificará hacia la estación de Estella cuando los trenes de mercancías marchen ambos en la misma dirección.) Podremos trasladar diariamente 80 viajeros en cada sentido.

Pero pudiera suceder que la capacidad de las estaciones de distribución y las dimensiones del material de tracción eléctrica, estuvieran estrechamente calculadas para este servicio. La ocasión más desfavorable es evidentemente cuando en las proximidades del cruce de dos trenes de mercancías cerca de una estación, ambos estén remontando las más fuertes pendientes del trazado. Nos hallaremos en presencia de la siguiente disposición: 2 trenes que requieren en junto 330 kilowats frente á uno de los centros de distribución y á 15 kilómetros poco más ó menos de otros dos (hagamos caso omiso de los restantes) situados á derecha é izquierda, que como suministran mayor fuerza electromotriz que el primero, concurrirán al movimiento de ambos trenes en una proporción que dependerá de la característica de los convertidores de corriente trifásica en continua que se establezcan. Si estos dan 2.000 volts para 150 kilowats y 2.220 para 90, la estación de cruce suministrará los 150 kilowats y las cercanas 90 cada una, contando con una caída de potencial de 180 volts para 45 amperes para el hilo de ida (mejor dicho de vuelta) desde cada punto situado á 15 kilómetros, y 40 para la vuelta por los carriles; número á que no llegará, probablemente.

Véase pues la amplitud con que están calculados todos los mecanismos que concurren al arrastre de los trenes.

En resumen; puesto que aún cabe establecer servicios

parciales en cortos trayectos y combinar el movimiento de manera que la estancia en las pendientes más ásperas no sea concordante para dos trenes cuando vayan á cruzarse, llegamos á la conclusión práctica de que podremos satisfacer ampliamente en una jornada de 14 horas, un movimiento kilométrico de 150 toneladas y 100 viajeros á velocidades medias de 20 y 30 kilómetros por hora, respectivamente.

Si un proyecto semejante á éste se llevase á cabo, ¿qué más desearían los accionistas ó la empresa sino verse obligados á amplificar algunos aparatos para responder á un tráfico de mayor importancia cuando el justamente remunerador es tan solo de 38 viajeros y 48 toneladas?

Pero veamos ahora qué capital es necesario para implantar todos estos mecanismos. Aquí es donde la falta de un proyecto con todo detalle ha de producir mayor indeterminación en los resultados; mas espero que el que esto leyere no me tachará de exagerar las cifras de mi argumentación. (1) Calcularé el coste suponiendo que la energía se suministra en Estella bajo la forma de electricidad y dividiré el total en tres partes. 1.º Vía y construcciones accesorias (incluso estaciones, telégrafos, etcétera). 2.º Material eléctrico análogo al de tracción; y 3.º Material móvil.

He aquí un cuadro resumen de lo que se hubiera de exponer.

(1) Los gastos de explanación y expropiación de terrenos no existen, á no ser que se incluya en aquéllos la fácil preparación del asiento de la vía en la carretera.

		Pesetas.	Pesetas.		
VÍA	88.000 metros de vía de 0 m. 75 de anchura, de carriles de 12 kilos por metro, roblonados á traviesas metálicas (sin el material de agujas, cruces, cambios, etc.)	3.784 toneladas á Psts. 235— c/u	889.240		
	Balasto y colocación, á 3.000 pesetas por kilómetro		264.000		
	Estaciones (edificios y accesorios)		250.000		
	Talleres de reparación y depósito de carruajes		60.000		
	Telégrafo		30.000	1.493.240	
MATERIAL DE TRACCIÓN	Línea para la distribución de la energía é hilo de contacto	Postes—88 kilómetros á 40 postes por kilómetro 3.520 postes, á 16 psts. c/u completo con aisladores. Hilo—sección total 160 m ² —, 123 toneladas de cobre electrolítico endurecido á 2.300 psts. ton. Montaje del mismo	56.320 282.900 1.800	341.020	
	Material eléctrico de los centros de conversión de corrientes trifásicas en continuas	6 estaciones de una capacidad de 200.000 wats cada una, compuestas de transformadores para rebajar la tensión y convertidores de corriente trifásica en continua y aparatos de maniobra y medida completos, incluso cimentación y colocación, á 80.000 pesetas cada una.	480.000		
	Motores de coches y vagones	20 motores de corriente continua de 25 caballos para 10 coches de viajeros de 40 asientos, incluso transmisiones de engranaje y aparatos de maniobra, á 6.500 pesetas 80 motores de 9 caballos para 40 vagones de 3 toneladas de carga, id. id. á 2.800 psts. c/u 20 motores de 15 caballos para 10 vagones de 5 toneladas, id. id. á 4.200 pesetas	130.000 224.000 84.000	918.000	
	MATERIAL MÓVIL	Material móvil	10 coches de viajeros de 40 asientos de 2 clases (vehículos sólo) á 10.000 pesetas 40 vagones mercancías, de 3 toneladas de carga, á 1.250 pesetas 10 id. id. de 5 toneladas, á 3.000 psts	100.000 50.000 30.000	180.000
					2.932.260

III.

En ingeniería, cuando se haya de adoptar nuevos procedimientos para utilizar una fuerza, aprovechar una primera materia nueva ó servir una necesidad sentida, no es el número extraordinario de experiencias favorables lo que nos debe decidir á la reforma, sino lo concluyentes que sean las que se ejecuten en algunas condiciones apropiadas al caso análogo del que se tiene que resolver; porque el que espera á que la nueva resolución de un problema práctico se *universalice*, marcha siempre rezagado en el camino del progreso humano, y no aprovecha en toda su utilidad las enseñanzas que dan los hechos.

Muchos ejemplos se podría citar que, aunque no absolutamente idénticos al ferrocarril que he procurado bosquejar en el párrafo anterior, patentizan que, en el terreno de la práctica, los distintos mecanismos que concurren á formarlos, corresponderían á las esperanzas que de ellos se tuvieran. Dejando aparte el transporte de la energía á gran distancia que se realiza según es sabido con toda facilidad, tres son las conclusiones que apoyaré con ejemplos, y son, á saber: 1.^a *que el ancho de la vía propuesto es suficiente*; 2.^a *que la circulación por la carretera de trenes á velocidades como las que se proponen, no ocasionará en la práctica accidentes lamentables*; y 3.^a *que la tracción eléctrica vence las dificultades que al movimiento de un tren ofrezcan las fuertes pendientes*.

Las poderosas sociedades industriales que construyen material para vías estrechas y para tranvías y ferrocarriles eléctricos, podrán dar centenares de ejemplos; aquí solo citaré cuatro que por lo instructivos podrán convenir á cualquiera; y son: la antigua vía del Festiniog en Inglaterra, que ha servido de modelo á los ferrocarriles de vía estrecha; la victoriosa prueba del ferrocarril Decauville que en la última exposición de París unía el Campo de Marte y la explanada de los Inválidos; los tranvías á vapor por las carreteras en Italia, y el tranvía eléctrico de Marsella.

El ferrocarril del Festiniog es una vía sencilla de 0,60 metros de anchura que se estableció para explotarla como tranvía con fuerza animal para dar salida á los productos de una cantera de pizarra, situada á unos 25 kilómetros del puerto de Port-madoc, en el País de Gales. En 1863 se adoptó por recomendación de Mr. Spooner el ingeniero de la línea, como fuerza motriz el vapor.

Durante el otoño de 1864 la empresa empezó á llevar viajeros de balde como mero experimento, y en 1865 se comenzó en toda regla el tráfico de viajeros. «La línea,» dice Mr. Sévene el eminente profesor de la escuela de Puentes y Calzadas, «atraviesa un país muy accidentado. Gracias á su pequeña anchura y á inflexiones pronunciadas se la ve desarrollarse por laderas de montañas escarpadas y deslizarse por el terreno casi sin obras de tierra. Se puede apreciar en este recorrido la inmensa ventaja de la vía muy estrecha desde el punto de vista de la facilidad y economía de la instalación: y este hecho se muestra allí patente á los espíritus más precavidos en contra». Por su parte «The Engineering» (29 Diciembre de 1891) dice: «Debemos confesar que nosotros mismos antes de viajar por dicha línea, escuchábamos con alguna incredulidad las descripciones que nos hacían de la facilidad y estabilidad extraordinarias con que recorrían los trenes las curvas (de 35 metros de radio mínimo) del ferrocarril del Festiniog; pero habiendo tenido ocasión de experimentar personalmente esta facilidad, es justo que expiemos nuestra anterior incredulidad apoyando con nuestro testimonio, la experiencia de los demás.»

La vía se compone de carriles de 24 kilos de peso por metro y traviesas de alerce de 1.^m 30 de longitud. El material fijo está admirablemente conservado, y así se explica que los trenes de gran velocidad circulen á 40 y 50 kilómetros por hora. El peso muerto de los coches para viajeros descende hasta 120 y 100 kilos por persona, y el de los vagones á 300 por tonelada.

Las locomotoras pesan 22 toneladas. Respecto al tráfico que desempeña, los datos estadísticos del año 1877 arrojaban un producto bruto de 682.000 francos, de los cuales 175.000 correspondían á 195.000 viajeros.

El ferrocarril Decauville, de la Exposición de París, era una vía doble de 0,60 metros de anchura, de carriles

que pesaban 9 1/2 kilos por metro y traviesas de acero. El trazado tenía una rampa de 0,028 coincidiendo con una curva y contracurva de 30 metros de radio y otra de 0,025 en curva de 42 metros. Los coches de viajeros de 1.^m 70 de anchura y montados en dos trucks ofrecían asiento á 56 viajeros. Más de 100.000 trenes circularon por esta vía á velocidad de 30 kilómetros por hora, habiendo resistido perfectamente tan enorme tráfico todo el material fijo de carriles, cruces, cambios, etc.

En lo referente á los tranvías á vapor por las carreteras de Italia, hé aquí datos extractados de una comunicación dirigida por M. Amoretti á la «Sociedad de ingenieros civiles ingleses»: —En los últimos quince años se ha construído una red de más de 3.000 kilómetros de tranvías á vapor en Italia, y particularmente en el Piamonte y la Lombardia es donde las mallas de esta red son más cerradas. Allí estos tranvías suplen los ferrocarriles que no podrían encontrar tráfico suficiente. Un gran número de vías tienen un ancho de 0.^m 748 y 0.^m 900. Los carriles adoptados pesan de 17 á 21 kilos por metro lineal, según el peso de las máquinas que hayan de circular que generalmente está comprendido entre 8 y 16 toneladas y llega á veces á 20. Se maniobra las agujas por medio de palancas con contrapeso; en las ciudades, en medio de la calle, la palanca está encerrada en una caja de fundición que aflora al nivel del suelo y lleva un pedal y un resorte antagonista. Los vagones de mercancías son de la forma habitual; cargan 6 á 8 toneladas y sus taras son de 2,5 á 4 toneladas. La velocidad fué limitada por reglamentos á 13 y 14 kilómetros y (hecho significativo) ha sido elevada por tolerancia á 17, 18, 19, y, últimamente, á más de 24 kilómetros por hora. El coste medio kilométrico es de 40.800 francos, de los cuales 25.100 para la construcción, 5.500 para terrenos y edificios, 7.850 para el material móvil y 2.350 para gastos diversos. En cuanto á la parte financiera, las empresas están, por lo general, en un estado floreciente y prestan los mayores servicios á los pueblos, al comercio y á la industria, facilitando los cambios y el movimiento de viajeros y mercaderías.

Respecto á la facilidad para remontar las fuertes pendientes por medio de la tracción eléctrica, muchos ejemplos de tranvías se pudiera citar con pendientes de más de

8 p. ‰; pero aquí sólo citaré algunas palabras de una nota de M. Denizet, ingeniero de puentes y calzadas, acerca del tranvía eléctrico de Marsella; hablando de la marcha de los vehículos dice: con sus nuevos motores (de 17 caballos de fuerza cada uno) estos vehículos funcionan de un modo notable; pueden remontar la rampa de 6 p. ‰ de la calle de Aix, con carga y sobrecarga de viajeros (60 y hasta 70), á una marcha de cerca de 15 kilómetros por hora; y alcanzan muy facilmente, fuera de los sitios de aglomeración, la velocidad máxima de 20 kilómetros tolerada por los reglamentos.—

La tracción es muy suave, lo que resulta de la constancia casi absoluta del par motor; esta constancia no existe en las locomotoras ni en otras máquinas de cilindro y émbolo que acciona una manivela. Las arrancadas y detenciones se verifican muy progresivamente y sin sacudidas. Los coches eléctricos están provistos de dos frenos: 1.º El freno ordinario que es de un efecto sencillo, rápido y enérgico. 2.º Un freno especial de seguridad. Pero además, se puede, sin cambiar el sentido de la corriente en el inductor, cambiarlo en el inducido y por tanto el par motor que pasa á ser resistente. *Se puede por este medio detener el vehículo lanzado á 6 ú 8 kilómetros por la pendiente de la calle de Aix, 6 ‰, en unos cuantos metros y arrancar inmediatamente hacia atrás como si el coche hubiera rebotado contra una masa elástica.* Como se ve, la invisible electricidad no es un lazo flojo en estas ocasiones.

