

este dictamen para los demás Ingenieros propuestos, se publique íntegro en la *Gaceta*.»

Lo que se publica en este periódico oficial en cumplimiento de la condición 3.^a del preinserto dictamen y de lo dispuesto en la Real orden de esta fecha. Madrid 21 de Marzo de 1919.—El Director general, *Asqueta*.

Breves palabras sobre la electrificación de los grandes ferrocarriles DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

por

J. CARLIER

El problema de la electrificación de los ferrocarriles, ó por lo menos su oportunidad, es todavía en la actualidad objeto de grandes controversias. Por este motivo es interesante señalar algunos hechos de lo ocurrido en los Estados Unidos con el fin de disipar las dudas poco fundadas en general.

Preámbulo.—La electrificación de los ferrocarriles se ha desarrollado extraordinariamente en los Estados Unidos de América hasta el año 1915.

Sin embargo, no se han cumplido las predicciones que han hecho la mayoría de los ingenieros electricistas y las demás personas que han asistido á los primeros experimentos de tracción eléctrica.

Consistían estas predicciones en que todos los ferrocarriles de vapor se electrificarían en un porvenir relativamente próximo.

Estas previsiones no han sido realizadas, porque estaban basadas sobre un conocimiento imperfecto de la magnitud de la empresa y sobre una falsa valoración de la enorme cantidad de dinero, necesaria para su ejecución.

La situación de las electrificaciones americanas en fin de Diciembre de 1915 (habiendo la guerra europea limitado mucho las transformaciones de tracción de vapor en eléctrica en 1916), es aproximadamente la que resumimos á continuación.

Entre las redes en estado de transformación en 1916 y 1917 son las principales la del Chicago Milwaukee and Saint-Paul Railway y la línea del Pennsylvania Railroad de Altoona á Johnstown.

El Sr. Norman Wilson Storer General Engineer de la Westinghouse Electric and Mfg Co. East Pittsburgh, Pa (U. S. A.) á quien hemos tenido la buena suerte de encontrar en East Pittsburgh en 1916, nos ha resumido la situación con mucha claridad y precisión.

Es necesario recordar que el Sr. Storer es el autor de un sistema de tracción de corriente continua bajo 5.000 voltios de tensión en el hilo de trabajo, cuyo sistema en 1916 ya funcionaba muy bien desde hacía más de un año en una sección del Michigan Railways.

I. La expansión de la electrificación de los ferrocarriles.—Durante el curso de estos últimos años se han construido miles de kilómetros de ferrocarriles eléctricos; en una gran parte prestan un servicio análogo al de los ferrocarriles de tracción por vapor, bien sea por medio de automotores, bien por locomotoras. Sin embargo, hasta 1915 no se habían transformado en los Estados Unidos más que un poco más de 3.000 kilómetros de ferrocarriles que antes se explotaban por vapor.

Aunque estas cantidades sean relativamente pequeñas, comprenden sin embargo un conjunto de instalaciones de las que la mayoría pertenecen á importantes líneas principales.

Esto demuestra que las ventajas de la tracción eléctrica se aprecian igualmente por las grandes Compañías y que las instalaciones en explotación son sencillamente preliminares de más importantes desarrollos, los que se efectuarán en el momento en que se fijen los datos descados del problema y cuando se haya demostrado que las extensiones de electrificaciones podrán dar un rendimiento económico de importancia.

II. Motivos favorables á la electrificación.—Las razones que hasta el presente han hecho adoptar la tracción eléctrica son las siguientes:

1.^a La desaparición del humo y de los gases en los túneles largos.

2.^a El aumento de la capacidad de transporte y la mejora de la circulación del tráfico en las proximidades de las grandes estaciones.

3.^a El aumento de la capacidad de transporte de viajeros y de mercancías en los ferrocarriles de montaña.

4.^a El elevado precio del combustible por una parte y por otra lo barato de la energía eléctrica que se obtiene con los saltos de agua.

5.^a El aumento de la capacidad de transporte, la mejor explotación y un servicio más regular en las líneas principales congestionadas, y

6.^a La legislación.

1. *Túneles.*—Es un hecho bien conocido que el uso de locomotoras de vapor en los túneles va acompañado de grandes molestias para los viajeros y de un relativo peligro para la salud del personal. Si sucede el caso de que un tren pesado tenga que detenerse en el interior de un túnel, existe realmente el peligro de asfixia.

Un largo túnel de ferrocarril es habitualmente el «cuello de botella», es decir, el punto donde existe la mayor congestión del tráfico, por razón de la dificultad que proviene del humo y de los gases. Por esta razón no debe sorprendernos el hecho de comprobar que esto haya sido la causa de la electrificación de los ferrocarriles que actualmente utilizan la tracción eléctrica.

El Baltimore and Ohio Railroad fué el primer ferrocarril que ya hace más de veinte años emprendió la electrificación del túnel de Baltimore. Desde entonces, el Grand Tunnel Railway ha instalado locomotoras eléctricas en el túnel bajo el río Saint Clair en el puerto de Hurón, en el Michigan; el Grand Northern ha electrificado el Cascade Tunnel; el Boston and Maine el Housac Tunnel; el New York Central and Hudson el túnel de Park Avenue en Nueva York; el Michigan Central Railway el Detroit y el Pennsylvania Railroad los nuevos túneles que pasan bajo los dos ríos que separan la península de Manhattan de Nueva Jersey.

En todos los casos que acabamos de indicar la desaparición del humo ha sido el objetivo principal.

Otro túnel de importancia, el de Elkhorn, ha sido sin embargo electrificado recientemente en el Norfolk and Western Railway, cerca de Bluefield W. Va., sin que el fin perseguido haya sido en este caso el de evitar los inconvenientes del humo, sino aumentar la capacidad del tráfico de la línea, limitado á la vez por la existencia del túnel y una rampa muy fuerte y muy larga.

En todos los casos ha conseguido la electrificación el mayor éxito; de lo desagradables y peligrosos que eran los túneles para los viajeros y de los impedimentos que presentaban permanentemente al aumento de la circulación, se han convertido con la electrificación en agradables para los viajeros y su capacidad de tráfico es completamente igual al de cualquier otro punto de la línea.

2. *Estaciones de término.*—Aparte del aumento de la capa-

cidad y de las facilidades de manutención del material móvil necesario para asegurar el tráfico suburbano, se hallan como resultado de la electrificación otro gran número de ventajas.

La carencia de humo y de gases deletéreos, así como la disminución bastante considerable del ruido producido por los trenes, aumentan el valor de los terrenos contiguos á los ferrocarriles, igualmente que el de la propiedad del mismo ferrocarril.

Prácticamente hablando, resulta también posible superponer á las vías edificios de toda especie: oficinas, fondas, casas de pisos, almacenes, etc.; de hecho, toda clase de edificios necesarios.

El género de utilización que conviene particularmente á esta clase de construcción, son las oficinas de los ferrocarriles, almacenes de mercancías pesadas y á expedir por gran velocidad, oficinas de correos y fondas.

Si se disponen los almacenes de mercancías encima de las vías, y de los patios de mercancías de las estaciones, sería posible conducir los camiones hasta un piso del edificio más ó menos elevado, de modo que se efectuase la carga ó descarga con mucha rapidez y de permitir igualmente que los camiones quedasen libres en el plazo más corto posible.

En esta forma aumentaría considerablemente el valor de la propiedad de un ferrocarril y con los productos de estos edificios se podría pagar una gran parte de los gastos de electrificación, de apropiación de las estaciones de término y de la construcción combinada de esta suerte.

El aumento de la capacidad de una estación de término se debe, en gran parte, al uso de trenes de unidades múltiples para responder á las exigencias del tráfico. Estos trenes se componen de coches motores y de coches remolcados que todos transportan viajeros. Cada uno de estos coches posee aparatos de gobierno, de modo que los trenes pueden formarse del número de coches correspondiente á las necesidades de explotación; pueden conducirse desde uno ú otro extremo del tren.

En esta forma se anulan las maniobras de las locomotoras en las estaciones de formación; también se disminuyen mucho las de los trenes.

En este género de ideas pueden señalarse los ferrocarriles de penetración en el mismo Nueva York: el Long Island Railway, por ejemplo, que no lleva casi exclusivamente más que unidades múltiples; el New-York Central Hudson River Railroad y el New-York New-Haven and Hartford Railway, que utilizan la magnífica estación del Great Central Terminal en la calle Cuarenta y dos y que hacen el tráfico suburbano por medio de trenes de unidades múltiples, el primero hasta Harmon, en un recorrido de 32 millas, y el segundo hasta New-Haven, en un recorrido de 37 millas; en fin, existe también el Pennsylvania Railroad, cuya estación situada en la calle Treinta y tres recibe los trenes del Long Island Railway, como antes se ha dicho, y recibe igualmente los que llegan del Oeste.

El New-York Central remolca los trenes de tránsito por medio de locomotoras eléctricas, y sus trenes de mercancías (aparte del túnel de Nueva York), por medio de locomotoras de vapor.

El New-York, New-Haven and Hartford asegura el remolque de todos los trenes por medio de automotores y locomotoras eléctricas. Los trenes rápidos de tránsito se remolcan con locomotoras eléctricas de gran velocidad y la tracción de los trenes pesados de viajeros y la de los de mercancías, se asegura con locomotoras de velocidad moderada; en fin, para las maniobras en las estaciones se emplean locomotoras de pequeña velocidad.

El Pennsylvania remolca, desde la estación de Manhattan Transfer á Nueva York (nueve millas de distancia), todos los trenes de la línea por medio de potentes locomotoras eléctricas ca-

paces de arrastrar trenes de 500 á 800 toneladas americanas de peso, por rampas del 20 por 100, á una velocidad de 30 á 40 millas por hora, y sobre horizontal á razón de 30 á 60 millas por hora.

El Pennsylvania Railroad, entre Filadelfia y Paoli, separadas por una distancia de 20 millas, ha asegurado igualmente desde Septiembre de 1915 un servicio completo de trenes suburbanos remolcados por automotores, pero utiliza todavía el vapor para los trenes de tránsito y para los de mercancías.

3. *Ferrocarriles de montaña.*—En la actualidad la opinión se ocupa principalmente de los ferrocarriles de montaña. Las rampas que varían entre 10 y 30 milímetros por metro presentan grandes dificultades de explotación, igualmente que los túneles largos.

La potencia de la locomotora, á causa de la limitación en la producción de vapor de su caldera, se detiene necesariamente á un muy pequeño peso remolcado, ó bien debe disminuirse la velocidad. Habitualmente, el peso remolcado y la velocidad deben disminuirse á la vez, y los trenes que ordinariamente van arrastrados en horizontal ó en pequeña pendiente por una sola máquina deben ser remolcados en las rampas por una, dos y á veces tres locomotoras suplementarias, á una velocidad todavía muy reducida.

En una rampa de 20 milímetros por metro, lo que es muy corriente en las regiones montañosas, la velocidad de un tren de mercancías, arrastrado por locomotoras de vapor, no excede de 7 á 8 millas por hora, mientras que con locomotoras eléctricas, que no tienen que llevar sobre sí el origen de producción de potencia, pueden alcanzar los trenes velocidades de 25 millas por hora y más, según la importancia de la potencia económica que pueda gastarse para cada tren.

Otra gran ventaja de la locomotora eléctrica en el remolque de los trenes en las líneas accidentadas, consiste en la facultad de mantener el tren á una velocidad determinada, utilizando, á manera de regenerador, los motores de las locomotoras que pueden enviar energía á la línea de aducción y cooperar así á la alimentación de algún otro tren que remonte la rampa, aliviando en otra tanta cantidad á la fábrica central.

El interés del sistema de recuperación no reside tan sólo en la cantidad de energía economizada ó recuperada, sino también en la mayor seguridad con que los trenes pueden descender la pendiente, visto que los frenos de aire que deben utilizarse en toda la longitud de la pendiente en el caso de las locomotoras de vapor, no se utilizan en los trenes eléctricos más que para las paradas y casos de urgencia.

Además, el uso continuo de los frenos produce un recalentamiento excesivo y un deterioro rápido de las zapatas y de las llaves, lo que es causa de toda clase de retrasos.

En fin, la recuperación permite el aumento de la velocidad en las pendientes, gracias á lo que puede aumentarse igualmente la velocidad media. Puede, pues, sacarse en consecuencia que existirá mayor puntualidad en la marcha del tráfico y que el servicio será mucho más regular. Tanto un ferrocarril de montaña electrificado, como un ferrocarril eléctrico en túnel, no serán más considerados que como el gollete de la botella de un ferrocarril.

Lo dicho anteriormente, y aun más, está ampliamente experimentado y probado en la explotación del Norfolk and Western Railway.

4. *Energía producida por saltos de agua.*—Otras líneas y en particular la Spokane and Island Empire Railway, así como la Butte, Anaconda and Pacific, hacen un tráfico más ligero y por declives generalmente más suaves.

Ahora bien, lo mismo que el Chicago Milwaukee and Saint-

Paul, que ya explota una primera sección de las 440 millas de línea en vías de electrificación, son todos ferrocarriles de montaña, en los cuales el carbón es costoso y las locomotoras de vapor son de entretenimiento gravoso, mientras que allí existen abundantes saltos de agua.

El Spokane and Island Empire Railway se electrificó al construirse y su explotación durante estos últimos ocho años ha sido de las más fructuosas. Es de una sola vía de 120 millas de longitud.

La explotación del Butte, Anaconda and Pacific se efectúa desde hace más de tres años con resultado muy fructuoso con un tráfico mineral, realmente pesado, en una longitud de línea de 33 millas aproximadamente. Es por lo demás por la razón de estos éxitos, que el Chicago Milwaukee and Saint-Paul se ha decidido á emprender la electrificación de una parte de la línea de Chicago á Saint Paul, esperando que la economía en el gasto de energía motriz, el menor coste de la conservación y las otras ventajas que de ello se derivan, serian ampliamente beneficiosas respecto al nuevo capital que se inmoviliza.

Es preciso por lo demás observar que el consumo del combustible quemado en las calderas de las centrales eléctricas de vapor sólo es aproximadamente la mitad de la cantidad consumida en las calderas de las locomotoras de vapor para el mismo servicio en los dos casos. Cuando el combustible está caro es cuando realmente puede uno darse cuenta inmediatamente de la importancia de esta consideración y en particular cuando se tiene á su disposición hulla blanca en abundancia, como sucede en la región montañosa atravesada por la línea de Chicago á Saint-Paul.

5. *Líneas principales.*—El único ferrocarril que ha extendido su explotación eléctrica á toda clase de servicios, y que al mismo tiempo constituye en los Estados Unidos el único ejemplo de electrificación total de una línea principal abierta á un gran tráfico de viajeros y de mercancías, es el New-York, New-Haven and Hartford Railway.

Las locomotoras eléctricas remolcan regularmente trenes rápidos y pesados de viajeros á velocidades de 60 á 75 millas por hora y trenes de mercancías á velocidades comprendidas entre 30 y 45 millas por hora.

Las maniobras en las estaciones de formación importantes se efectúan por medio de locomotoras eléctricas que trabajan continuamente durante muchos días, efectuando el mismo trabajo que el que sería practicado por doble número de locomotoras de vapor.

En este ferrocarril así como en su subsidiario el New-York Westchester and Boston para servir el tráfico suburbano se utilizan trenes de unidades múltiples.

Los resultados conseguidos con esta explotación, descritos ya con mucha frecuencia, no dejan lugar á duda respecto á las considerables ventajas que resultan de la explotación eléctrica.

6. *Legislación.*—La electrificación de la estación llamada la Gran Central de término de Nueva-York, se acordó, como ya se ha dicho, por la ciudad de Nueva-York á raíz de un accidente ocurrido en el túnel.

Parece ser que otras poblaciones han renido la intención de hacer lo mismo, pero por ahora no ha pasado de proyecto. En efecto, la electrificación de los ferrocarriles de vapor en las grandes poblaciones no se reduce únicamente á un cambio en la forma de la energía motriz, y se desea alcanzar todas las ventajas posibles, es preciso no emprenderla apresuradamente ó estando mal aconsejada.

Semejante obligación podría en efecto llevar consigo ó la confiscación de la propiedad del ferrocarril ó el aumento de las tarifas de transporte de viajeros y de mercancías con el fin de pagar los intereses del capital comprometido.

Un principio que exige ser reconocido, es que los ferrocarriles no se vean obligados á electrificar sus líneas hasta que ellos puedan ver con claridad el modo de poner en balance los nuevos gastos. Habiendo llegado muy pocos á este punto, esperarán á verse, forzados á ello.

III. *Resultados.*—Los resultados ya alcanzados en las líneas electrificadas existentes demuestran que en toda clase de servicios es indiscutible que la electricidad se presta infinitamente mejor que el vapor para el transporte de toda clase de tráfico.

Visto el estado actual de progreso de la tracción por vapor, este hecho tiene mucha mayor importancia que hace una veintena de años, porque desde entonces la locomotora de vapor se ha perfeccionado considerablemente.

La locomotora de vapor.—Pocas personas saben los considerables progresos que se han conseguido en la locomotora de vapor desde que se ha aplicado el motor eléctrico á la tracción de los trenes de los ferrocarriles.

Anteriormente, con dificultad podía desarrollar una potencia de 1.000 caballos durante un tiempo bastante largo. El tipo de locomotora Atlantic más moderno, dotada de caldera más grande, un peso más elevado en las ruedas motrices, un recalentador de vapor y cargadores mecánicos, puede desarrollar hasta 2.000 caballos durante una hora y á gran velocidad.

En fin, el tipo Pacific, con tres ejes motores en vez de dos de 60.000 á 70.000 libras (27.210 y 31.756 kilogramos) de peso por eje motor y dotada de una caldera todavía mayor que la precedente y de otros perfeccionamientos, es capaz de desarrollar 3.000 caballos á la velocidad de 70 millas por hora.

El rendimiento de la locomotora de vapor también se ha aumentado mucho, pero el gasto de entretenimiento se ha conservado, sin embargo, elevado y el recorrido kilométrico sin parada intercalada es todavía pequeño. Además, la locomotora de vapor esparce el humo y cenizas y su potencia es bastante menor que la que, comparativamente, está concentrada en una locomotora eléctrica en el extremo de un tren y conducida por un sólo personal.

Es preciso tener también en consideración que la locomotora de vapor ha llegado á su actual estado de perfeccionamiento, tan admirable por lo demás, después de ochenta años, mientras que la locomotora eléctrica lleva solamente de existencia una cuarta parte de ese tiempo.

IV. *El problema de la electrificación.*—El problema de la electrificación alcanza á otros muchos más puntos distintos del que se refiere á las locomotoras.

El referente á la producción de la energía es por sí mismo de grandísima importancia. Mientras que la locomotora de vapor es independiente y puede circular por cualquier vía durante todo el tiempo que esté provista de carbón y de agua, la eléctrica no puede hacer nada por sí misma; le es preciso una fábrica central con todos los aparatos intermedios entre el combustible y la locomotora.

a) *La producción de la energía.*—Durante estos últimos años se han construido formidables fábricas, bien sea para la producción de energía eléctrica por medio de saltos de agua (como en Niagara Falls ó en la región montañosa del Oeste) ó bien para la producción por carbón por medio de turbinas de vapor de enorme potencia.

El resultado económico de esta situación ha sido la desaparición progresiva de las pequeñas centrales, y la extensión continua de las redes y líneas de transmisión de las grandes fábricas en que se practican concentraciones de potencia.

Resulta de esto que los ferrocarriles no han podido soportar la carga económica de la creación de las centrales, y, además, el

precio á que les resulta la energía eléctrica disminuye de más en más.

Esta política económica es, por consiguiente, un estimulante para la electrificación de las redes férreas.

b) *La forma de la corriente de tracción.*—El problema de la elección de la mejor forma de energía eléctrica á emplear en la tracción ha sustituido durante mucho tiempo un gran impedimento para la electrificación.

Los dos sistemas que principalmente se disputan el dominio de la tracción eléctrica de los trenes de los ferrocarriles son el monofásico y el continuo. El sistema trifásico casi no se tiene en cuenta para esto.

Como ninguno de ambos sistemas ha podido hasta ahora ganar completamente la batalla, demostrando su superioridad irrecusable sobre el otro, las Compañías de ferrocarriles han empezado durante mucho tiempo el resultado, y ya en la actualidad parece ser que empieza á vislumbrarse la situación con mayor claridad.

Ahora bien, esta competencia ha disminuido mucho desde que por ambos lados se ha intentado demostrar la superioridad de cada sistema, sustituyendo la teoría por la práctica. Compararemos sucintamente los tres sistemas en sus aplicaciones á los ferrocarriles americanos.

El trifásico.—Este sistema no puede convenir en los Estados Unidos de un modo general por muchos motivos (doble línea de trolley, servicio muy intenso que exige, por consecuencia, una grande flexibilidad, trenes muy pesados, etc., en fin, el perfil de las líneas, no es general, lo suficientemente muy accidentado para desde este punto de vista justificar las grandes ventajas de la tracción eléctrica, como sucede el caso en Italia, por ejemplo).

Existe, sin embargo, una pequeña instalación de esta clase en los Estados Unidos. En Suiza, una ó dos aplicaciones, y en Italia es de uso corriente este sistema por las razones antes expuestas.

Corriente continua.—Esta corriente, á la tensión de 650 voltios, es la universalmente empleada en los tranvías por las calles de las poblaciones, por los ferrocarriles metropolitanos y por los suburbanos.

La tensión de 650 voltios (que hasta hace pocos años era el límite) ha podido con posterioridad elevarse considerablemente, gracias a los progresos conseguidos en la concepción y construcción de los motores, y, sucesivamente, han resultado de uso corriente y práctico las tensiones de 1.200, 1.500, 2.400, 3.000 y muy recientemente la de 5.000 voltios (en Jakson, Michigan, en el Michigan United Traction Railway).

Con la elevación de la tensión de alimentación se ha adoptado más bien la línea de aducción aérea, aunque en muchos casos se haya hecho uso del tercer carril con satisfactorios resultados y aún, en un caso, se ha puesto en servicio corriente la tensión de 2.400 voltios y sobre el tercer carril.

De la sucesión de la elevación de la tensión hasta 3.000 voltios y aun hasta 5.000, el uso de corriente continua se ha extendido igualmente á las líneas de gran tráfico. Un ejemplo de esto es la línea del Chicago Milwaukee and Saint-Paul Railway.

Gracias á la tensión elevada resulta en efecto posible coleccionar en la línea del trolley importantes cantidades de energía sin pérdidas intermedias demasiado considerables, y las estaciones de transformación pueden situarse á distancias comprendidas entre 25 y 50 millas una de otra.

Económicamente hablando se saca de ello, en consecuencia, que el gasto para la instalación de las subestaciones y de las líneas de transporte de energía resulta entonces de una importancia lo suficientemente pequeña para que sea posible la electrificación de largas líneas por medio de corriente continua.

Hasta el presente no se ha practicado más que una sola elec-

trificación de gran línea con corriente continua a 3.000 voltios. Es la del Chicago Milwaukee and Saint-Paul Railway.

Si la tracción de los trenes puede hacerse también con regularidad, es ciertamente más recomendable una tensión más elevada de la corriente continua. Es de esperar, por lo demás, que muy pronto se fijará definitivamente la tensión más conveniente (técnica y económicamente hablando) a la tracción de los trenes por las líneas largas y por medio de corriente continua, con el fin de evitar el gran número de tensiones que marcan sus etapas de progreso.

La ventaja de la corriente continua está principalmente en el motor serie. Económicamente hablando, es sencillo y su construcción resulta relativamente barata. Eléctricamente hablando, posee características de velocidad y de esfuerzo de tracción que particularmente sirven muy bien para el género de trabajo á que se aplica: acelera rápidamente la velocidad de los trenes pesados con un mínimo de consumo de energía, y á gran velocidad asegura su remolque en las mejores condiciones de rendimiento.

Por lo demás, automáticamente se produce una distribución de la carga entre todos los motores de un mismo tren, aún con las mayores diferencias en los diámetros de las ruedas. El rendimiento del motor es además elevado y su regularidad de funcionamiento así como sus cualidades propias hacen que sea el más extendido de todos los tipos de motores de ferrocarril.

Por otra parte, hasta hace poco tiempo, el motor serie no estaba bien apropiado por sí mismo para la recuperación de la energía en el descenso de las pendientes ó en las paradas y este es el motivo de ser preferido el motor trifásico en los ferrocarriles de perfil accidentado (en Italia por ejemplo). Ahora bien, modernamente se ha aplicado un método que le permite efectuar la generación en las pendientes y en las paradas, en idéntica forma que los motores trifásicos; la electrificación del Chicago Milwaukee and Saint Paul Railway emplea este método con el mayor éxito.

La gran objeción á la conversión de la corriente de transmisión normalmente trifásica en corriente continua se ha remediado igualmente en gran parte en el sistema continuo de alta tensión, porque ha podido disminuirse considerablemente la distancia entre las estaciones de transmisión, sin dejar por ello de asegurarles un mejor factor de carga y una menor vigilancia.

Sistema monofásico.—Consisten sus ventajas en la posibilidad del empleo de una tensión eléctrica muy elevada en el hilo del trolley, mientras que es mucho más débil la tensión de la corriente en los motores y aparatos de arrancada que están colocados en el vehículo.

La alta tensión de la corriente en el hilo del trolley reduce hasta un mínimo el coste de la instalación aérea y de los *feeders* de alimentación, y además pueden dejarse sin vigilancia las estaciones de transformación instaladas todo lo largo de la vía.

La tensión más generalizada es de 11.000 voltios y la frecuencia es de 25 períodos por segundo. Los ejemplos más importantes son los del New-York, Westchester and Boston, el Hoosac Tunnel, el Saint-Clair Tunnel, el Spokane and Island Railway, la línea de Filadelfia á Paoli del Pennsylvania Railroad y la Elkhorn Grade División del Norfolk and Western Railway.

En los ferrocarriles de Europa se han adoptado las tensiones de 12.000 voltios á 16.000, con 15 á 16 $\frac{2}{3}$ períodos por segundo.

Los motores empleados son en general del tipo de colector, excepto en el Norfolk and Western, donde se ha adoptado el motor trifásico; entre la línea de alimentación y los motores existe un grupo convertidor.

La locomotora del Norfolk and Western posee dos velocidades: 14 y 28 millas por hora.

c) *Particularidades de la locomotora eléctrica.*—Uno de los problemas más difíciles de resolver en la locomotora eléctrica es de orden puramente mecánico. Es el referente al sistema de transmisión entre los motores y las ruedas motoras.

La transmisión por engranajes del motor á los ejes es completamente satisfactoria en los tranvías y aún en los coches de unidades múltiples de los ferrocarriles suburbanos.

Hasta un cierto punto, este sistema puede también ser utilizado en las grandes locomotoras, pero tiene la desventaja de hacer cargar directamente sobre los ejes sin muelles intermedios un poco muy considerable; cuando el tráfico es de gran velocidad, resulta de ello un rápido deterioro del asiento de la vía.

En las locomotoras de gran velocidad es de uso corriente unir los motores á los ejes-motores, de modo que sus velocidades angulares sean las mismas.

Esto puede hacerse, bien sea fijando directamente la armadura del motor á los ejes, como se ha realizado en las locomotoras de corriente continua del New-York Central, bien montando la armadura sobre un árbol hueco que deja pasar el eje, como se ha aplicado en las locomotoras de gran velocidad, de los trenes de viajeros, con corriente monofásica, en el New Haven, ó bien sea también fijando el motor sobre el bastidor de la locomotora, y uniéndolo á las ruedas motoras por medio de bielas y de manivelas, como se ha realizado en la locomotora del Pennsylvania en la estación de Nueva York.

Pueden idearse todavía otras variaciones en los sistemas de transmisión.

Hace algunos años se creía que sería sencillo en extremo el unir los motores á las ruedas motoras, porque engendran su potencia por rotación. Se creía también, que el bajo centro de gravedad de la locomotora eléctrica le aseguraba en las grandes velocidades una gran seguridad, pero más tarde se reconoció que el centro de gravedad elevado en las locomotoras de vapor constituía una buena cualidad, la que, dentro de lo posible, debía introducirse en la locomotora eléctrica.

También hubo que reconocer que el enlace metálico entre el motor y las ruedas motoras es uno de los problemas de resolución más complicada.

V. *El porvenir de la electrificación.*—Es satisfactorio reconocer que los progresos han llegado en la actualidad á un punto, en el que es posible hacer los estudios de las electrificaciones más importantes, con la certeza más completa de llegar á conseguir un resultado, no sobrepasado en ningún otro género de trabajos mecánicos.

Existen especialistas para cada una de las ramas del trabajo de electrificación, desde la estación central hasta la locomotora, y con los esfuerzos de todos, convenientemente coordinados, pueden seguramente alcanzarse los resultados más felices.

Para terminar, recordemos que 3 millas corresponden á 5 kilómetros y que una tonelada americana vale 1.016 kilogramos.

II.

REVISTA EXTRANJERA

Empleo de cajones trapezoidales de hormigón armado para la construcción de un rompeolas en Racine (Wisconsin, Estados Unidos) (Conclusión).

El hormigón se vierte de una vez y fragua durante diez días, antes de sacarlo de los moldes. Los cajones, una vez fuera de los moldes, se lanzan como barcos, lateralmente. Con este objeto, están contruidos en un taller inclinado á 1 de altura por 8 de base, y están montados sobre un zócalo de madera que permite contruirlos verticalmente. El taller se prolonga hasta una profundidad de 6 metros por debajo del agua, de modo que los cajones le abandonan antes de haberle sobrepasado longitudinalmente.

Los cajones se construyen en un sitio distante cerca de 40 kilómetros del rompeolas que se está estableciendo. Tan pronto como se los lanza, se los vara al borde del lago, llenándolos parcialmente de agua; después, en el momento de remolcarlos por grupos, se los cubre con un puente ó piso de madera.

Para constituir las fundaciones de los cajones se ha excavado en el emplazamiento del rompeolas una trinchera llena de piedras de dimensiones crecientes, como se ve en la figura 1.^a Las escolleras de la parte superior tienen un peso de 25 á 100 kilogramos y se ha protegido la fundación por piedras de 250 á 500 kilogramos. Cada cajón, llevado al lugar que ha de ocupar, se le vara primero llenándole de agua, después se vierte en él arena y piedras hasta 1,20 metros, próximamente, de la parte superior. Encima de este relleno se vierte una primera capa de hormigón de 15 centímetros de espesor, luego se construye la masa superior del rompeolas, de hormigón macizo, que solidariza los diversos cajones. En este macizo se han dispuesto unos pozos destinados á permitir ulteriormente verificar si el nivel de la arena con que se ha llenado permanece lo mismo, ó si, en caso contrario, no se han producido grietas por las cuales se saldría la arena.

Mejoras recientes del puerto de Singapur.

Singapur es la capital de la colonia inglesa de los *Establecimientos del Estrecho* en el extremo meridional de la península de Malaca. Es un puerto muy activo de cerca de 200.000 habitantes, situado al Sur de la isla del mismo nombre, separada del continente por el estrecho de Jahore. La rada, casi enteramente cerrada por varios islotes, es muy tranquila, y la proximidad del ecuador la pone al abrigo de las tempestades que devastan al Océano Indico. Su situación en la ruta del extremo Oriente ha hecho de ella un centro comercial de gran actividad, porque sirve de depósito á todo el comercio de cabotaje de las comarcas colindantes.

Sin embargo, hasta hace poco, las facilidades que este puerto ofrecía á la navegación consistían únicamente en los muelles de la Compañía de Tanjong Pagar Dock, de una longitud, próximamente, de 2.300 metros. Los barcos de cabotaje preferían anclar en la rada y transbordar sus mercancías en unos lanchones que las transportaban á bordo de los buques amarrados al muelle, ó á los almacenes situados á lo largo del río de Singapur.

La importancia comercial cada vez mayor de este puerto, sobre todo desde que el Gobierno inglés le ha hecho centro de su potencia marítima en el extremo Oriente en lugar del puerto de Hong-Kong, hacía urgente la realización de obras para mejorar la situación. Desde el año 1901 se había redactado un programa con este objeto, que consistía en la ejecución de las obras siguientes (fig. 1.^a):

1.^o Construcción en Telok Ayer de una dársena para embarcaciones ligeras y de muelles para los barcos de cabotaje, abrigados por un rompeolas.

2.^o Reconstrucción á título permanente de una gran parte de los muelles de la Tanjong Pagar Dock Co., y construcción de otra dársena provista de muelles.