

VENTAJAS QUE SUPONDRIA UNA ELECTRIFICACION FERROVIARIA EN CORRIENTE ALTERNA DE ALTA TENSION A FRECUENCIA INDUSTRIAL (*)

Por ADOLFO GONZALEZ OLIVEROS

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
de la Empresa AEG Ibérica de Electricidad, S. A.

Durante bastante tiempo se han utilizado ampliamente las instalaciones de tracción eléctrica en corriente continua. La aparición de los semiconductores industriales, hace pocos lustros, ha permitido eliminar las subestaciones rectificadoras, efectuando la rectificación en las propias locomotoras, mediante tiristores, y utilizando los elásticos motores de corriente continua. En el artículo se destacan las peculiaridades de estas electrificaciones y su previsible futuro.

En estas notas preliminares se pretende dar una visión general de conjunto de los problemas que se derivarían de una instalación para electrificación de una línea de ferrocarril por medio de un sistema de corriente alterna monofásica a 25 kV, 50 Hz y estudiar, asimismo, las ventajas que se podrían derivar de dicho sistema, el cual es ampliamente utilizado y probado en el resto de Europa, con excelentes resultados técnicos y económicos.

Es cierto que si pretendemos realizar una prolongación de una línea ya construida en c. c. (corriente continua), el sistema de alta tensión no será probablemente el más indicado, ya que siendo el capítulo del costo de las locomotoras uno de los más importantes de un sistema de electrificación (~ 40 por 100), las locomotoras de c. c. no serían utilizables en la ampliación, y habría que recurrir al suministro de locomotoras bitensión, lo cual encarecería probablemente demasiado el proyecto. Es decir, en el caso de prolongación sería preciso renovar el parque de maquinaria de la línea, con el correspondiente gasto.

Dejando el caso anterior, es interesante estudiar el problema, bajo la hipótesis de una electrificación completamente nueva. El primer punto a considerar es el de la frecuencia de la red.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la redacción de esta Revista hasta el 31 de enero de 1972.

Las frecuencias utilizadas normalmente en este sistema de tracción son 16 2/3 ó 50 Hz; la primera es utilizada cuando los motores serie de colector son alimentados directamente con ese tipo de tensión, ya que si se piensa rectificarla y alimentar motores serie de corriente continua, sería un absurdo generarla a esa frecuencia. No obstante, diremos que el motor serie de colector mejora su rendimiento a bajas frecuencias, y es en corriente continua donde tiene su mejor funcionamiento. De todo ello se deduce que podemos valernos de ambas ventajas: generar la tensión a 50 Hz, es decir, tomar la energía de la red general, alimentar la catenaria en alta tensión de 25 kV, rectificarla en la locomotora por medio de modernos sistemas de rectificadores y alimentar los motores serie de corriente continua, tomando las debidas precauciones para una correcta conmutación "sin chispas".

Veamos ahora el asunto desde el punto de vista de las instalaciones fijas. Debido a la alta tensión de 25 kV, la corriente que circula por la catenaria es aproximadamente 1/13 de la que circula por la catenaria a 1 500 V, c. c. y alrededor de 1/6 de la que circula por la catenaria de 3 000 V, c. c., para análogas potencias transportadas. Según eso, la sección de cobre es el 45 por 100 de la sección correspondiente a c. c. Debido a ello, la catenaria es mucho más ligera y, por consiguiente, las cimentaciones, soportes, estructuras, etc., son menores, consiguiéndose

una gran economía en cobre y obras civiles. Como consecuencia de ser las intensidades menores (por la alta tensión), las caídas de tensión son menores y, por tanto, las subestaciones pueden espaciarse más, hasta una distancia de unos 70 Km, aproximadamente, en comparación a la separación de unos 10 Km. en 1 500 V, c. c. y unos 25 Km en 3 000 V, c. c.; siguiendo este orden de ideas, dada la gran separación entre subestaciones, la energía puede ser sacada de la red general en estos puntos aisladamente, por medio de cortas derivaciones generalmente, evitando con ello la necesidad de que el trazado vaya cercano a una línea de transporte suministradora de la energía, encareciendo la instalación general. En cuanto a los aisladores, su coste varía poco respecto al sistema tradicional. Las pérdidas de potencia en forma de calor en la catenaria serían alrededor de 25 veces menores, y con ello se consigue una mejora del rendimiento eléctrico. Asimismo, debido a toda la simplificación anterior, el telemando preciso se simplificaría grandemente, así como la señalización.

Veamos ahora el problema desde el punto de vista del material rodante. Las grandes y macizas resistencias que ocupan un gran espacio y tienen un gran peso en las locomotoras alimentadas en c. c., no son necesarios en este sistema para reducir la tensión en el arranque, ya que esto puede ser realizado por medio de un transformador monofásico de relación de transformación variable con la carga; según, esto, las pérdidas en esas resistencias son eliminadas prácticamente, elevándose el nivel de eficiencia de la locomotora. Un estudio a fondo del problema del arranque demostraría que la adherencia mejora frente al sistema tradicional. Las locomotoras modernas de c. a. (corriente alterna), son superiores a sus semejantes en c. c., pues constan de esencia de un transformador reductor, un cambiador de tensión de transformación y un grupo de rectificadores de silicio, siendo ya anticuados los rectificadores a ignitrones, excitrones, etc. El método más moderno para aplicación a la tracción es la utilización de la corriente alterna monofásica a 25 kV, 50 Hz, con motores de corriente continua accionados a tiristores para regulación de la tensión, si bien es posible que en un futuro próximo se imponga la alimentación por corriente alterna monofásica con motores asíncronos trifásicos, por medio de

convertidores tiristorizados, que a mi juicio puede ser un sistema todavía mejor, pues se aprovecharían las buenas cualidades eléctricas del motor asíncrono si se llega a poder regular su velocidad por medio de tiristores. Una locomotora eléctrica es 2 a 3 veces más potente que una Diesel y 4 a 6 veces más potente que una de vapor, a igualdad de tamaño. Otra notable ventaja de la tracción en c. a. es que, aunque la locomotora puede producir altos pares de arranque, la potencia tomada de la catenaria es sólo una pequeña fracción de su plena capacidad. La potencia tomada se incrementa proporcionalmente a la velocidad, hasta que a unos 60 Km/h, la locomotora está a plena carga. Todo esto es debido a que con tensiones alternas puede ser escalonada la tensión a la salida del transformador, con escasas pérdidas, a valores bajos para alimentación de los motores serie en el arranque. En la figura 1 se puede comparar la curva velocidad-potencia tomada de la catenaria, por una locomotora monofásica y por una de corriente continua. Esto es muy importante, pues resulta que con el sistema de alta tensión, es mucho más difícil sobrecargar una zona, cosa que ocurre a menudo en continua. Debido, pues, a esas mejoras, para una misma carga remolcada, la locomotora de 25 kV requiere una potencia menor que la de corriente continua, y consiguientemente, a igualdad de potencia, la primera puede transportar mayor carga que la segunda.

Finalmente veamos las posibles ventajas de este tipo de electrificación, desde el punto de vista económico. Ya hemos visto que en lo que se refiere a instalaciones fijas puede obtenerse diversas economías en la catenaria, postes, cimentaciones, estructuras, etc., ya sea por reducción del número, por reducción de sus dimensiones, o por ambas cosas a la vez. También habrá una gran economía por la reducción del número de subestaciones, así como por su simplificación. En consecuencia, puede decirse que hay una reducción sustancial de los gastos de conservación y mantenimiento generales del sistema. Los gastos en señalización en el sistema de alta tensión son menores que en el sistema tradicional. Además, debido a las simplificaciones y mejoras introducidas en las modernas locomotoras, se deduce que los costos de una de 25 kV, c. a. y otra de 3 000 V, c. c., son del mismo orden; pero teniendo en cuenta que a igual

carga remolcada, las primeras son el 13 por 100 más baratas, resulta globalmente que éstas son más económicas. Y además, un resultado inmediato de todos los anteriores factores es que la electrificación de zonas que tienen relativamente bajas densidades de tráfico pueden también ser

sobre el sistema de alimentación, debido a una potencia monofásica tomada de una red netamente trifásica, desequilibrio que puede dar lugar a un mal funcionamiento de los alternadores que la generan, y de los elementos trifásicos rotativos de otros consumidores. Sabemos que

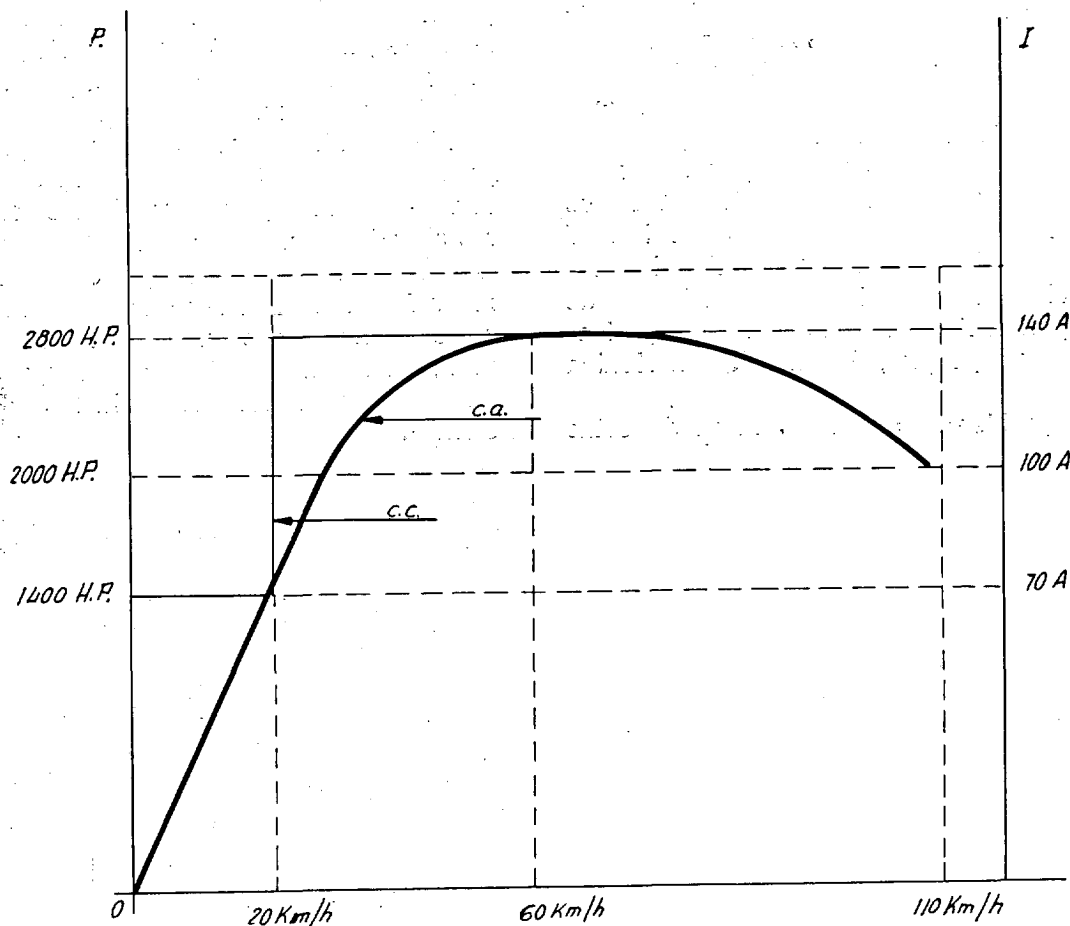


Fig. 1. — Características potencia-velocidad e intensidad-velocidad de dos locomotoras eléctricas (c.a. y c.c.) de iguales potencias de régimen.

ahora rentables, lo cual sería imposible en c. c. Debido a todo ello, el coste de una electrificación en alta tensión es alrededor del 50-60 por 100 del de una a 1500 V, c. c., o el 60-70 por 100 de una en 3000 V, c. c., lo cual, además, la hace competir con la tracción Diesel en condiciones sólidas.

Una vez establecidas algunas de las ventajas del sistema en 25 kV y 50 Hz, podemos indicar ahora sus efectos adversos superables. El primero es el desequilibrio causado, en principio,

se define por "grado de disimetría" de un sistema trifásico como la relación en tanto por ciento entre el valor de la componente inversa de la tensión y el de la componente directa de la misma en el punto considerado. La práctica demuestra que los efectos en la maquinaria de la red son despreciables si el grado de disimetría no es mayor que el 4 ó 5 por 100. Aproximadamente este grado de disimetría puede venir definido, bajo ciertas condiciones, por la relación en tanto por ciento entre la potencia apa-

rente monofásica absorbida y la potencia de corto circuito de la línea trifásica en el punto considerado. Cuando no se cumple el límite anterior, se recurre a medios conocidos perfectamente para reducir o al menos limitar ese desequilibrio. El segundo problema a considerar es el de las interferencias en las líneas de telecomunicación adyacentes que pueden llegar a ser importantes, pero también existen procedimientos para reducir o limitar estos efectos perjudiciales, y que no gravarían excesivamente el presupuesto. Otro problema es el de la corriente pulsatoria posterior a la rectificación, y que por supuesto puede ser eliminado por medio de reactancias de alisamiento y circuitos colectores en el circuito de corriente continua, con lo cual los motores serie pueden verse libres del efecto perjudicial de las ondulaciones armónicas de orden superior. Podríamos indicar otros problemas, los cuales, repito, tienen solución técnica factible.

Otros problemas que caen fuera de estas

notas son los financieros, o los de la zona del conformismo.

De las notas expresadas en los párrafos precedentes se deduce que una electrificación nueva realizada con corriente alterna monofásica a 25 kV y 50 Hz, presenta grandes ventajas de tipo técnico y económico en todos los aspectos, y una serie de problemas que afortunadamente pueden ser resueltos a plena satisfacción. Los alemanes, franceses, soviéticos, etc., se encontraron en una situación análoga a la nuestra hace dos décadas y media, y supieron superar los problemas iniciales satisfactoriamente. Nosotros podemos hacerlo igual, pues contamos primero con nuestra materia gris, y además con la experiencia adquirida en c. c. en España, y la adquirida en Europa en este tipo de electrificación monofásica. Es una ley natural de la presente era científica que los sistemas viejos o pasados de moda se rindan ante los nuevos, y este continuo proceso renovador es la llave de la eficiencia.