

INTERFERENCIAS ELÉCTRICAS EN LOS SISTEMAS DE SEÑALAMIENTO FERROVIARIO

De Ceglia, Pablo ^a; Vilella, Daniel ^a; Olivera, Carla ^a; Villaflor, Alejandro ^a; Barone, Marcelo ^a
A: Grupo de investigación en Levitación Magnética, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Haedo
e-mail: colivera666@alumnos.frh.utn.edu.ar

Resumen

La necesidad de modernizar el sistema de transporte ferroviario con tecnologías que permitan el uso de energías renovables que cumplan con el objetivo de transportar personas y cargas en forma segura y eficiente, motiva el estudio de distintas soluciones. Como es sabido, los ferrocarriles electrificados son un medio de transporte que se adapta a las condiciones de las grandes ciudades y aportan sustentabilidad energética y ambiental. En los sistemas ferroviarios, la seguridad de las instalaciones como de pasajeros, presenta los mayores desafíos para los operadores. Es fundamental disponer de un sistema de señalamiento ferroviario que cumpla con estas condiciones. En muchos casos los entornos ferroviarios, cuyas condiciones de mantenimiento no son las adecuadas, muestran deterioro del material que hacen que las prestaciones de seguridad de los sistemas de señalamiento se vean disminuidas. Una consecuencia muy repetida es la fuga de corrientes de tracción interfiriendo con los sistemas de señalamiento a través de las traviesas causando falsas ocupaciones de circuitos de vía, afectando gravemente la seguridad del sistema. En este trabajo se detallan y caracterizan los parámetros eléctricos más relevantes de los circuitos de tracción y señalamiento que determinan las condiciones de funcionamiento de los mismos. Además, se presentan los cálculos de los sistemas y equipos con las propiedades electromagnéticas que deben cumplir los mismos para ayudar a la normalización y el correcto funcionamiento de las instalaciones. Este trabajo se presenta como una guía a ser considerada en la etapa de diseño de los sistemas de señalamiento ferroviario.

Palabras clave: señalamiento ferroviario, interferencias eléctricas, seguridad.

Introducción

En esta investigación se analizará la compatibilidad electromagnética y la afectación de los sistemas de señalamiento debido a corrientes armónicas generados por los sistemas de tracción en las líneas ferroviarias.

El motivo del trabajo se genera a partir de la problemática que representa para las administraciones ferroviarias actuales, ya que estas perturbaciones generan en el sistema de señalamiento indicaciones erróneas en los semáforos del tráfico ferroviario. Esta problemática es particularmente importante porque lleva a situaciones inseguras en la circulación de los trenes y puede traer problemas operativos con aquellas líneas que cuenten con sistemas de frenado automático de trenes, donde al recibir una señal que no corresponda o una falsa ocupación en la sección de bloqueo, podría generar frenadas intempestivas en las formaciones, estas generan retrasos en el servicio y malestar de los pasajeros, también podría generar falsas actuaciones de los sistemas de barreras en los Pasos a Nivel generando situaciones inseguras para el público, lo que deriva en una problemática muy grave para la operación ferroviaria.

Es un tema desafiante dado que los sistemas de análisis y de modelado son muy complejos debido a la cantidad de elementos que componen el sistema ya que se mezclan sistemas de corrientes débiles con sistemas de altas corrientes de tracción que comparten sistemas de transmisión como lo son los rieles de las vías. También representa una gran dificultad la determinación de los parámetros reales por la dificultad que representará tomar mediciones en campo de un servicio público que está en funcionamiento y que comprende equipos de seguridad en la operación ferroviaria que son sensibles.

Objetivos

Los objetivos del presente proyecto de investigación es la de detectar el origen y determinar la distorsión armónica de las líneas ferroviarias que cuentan con equipos de tracción en corriente continua de alta potencia y su afectación a los sistemas de señalamiento de corriente alterna de corrientes débiles, así como también realizar recomendaciones para ayudar a las administraciones ferroviarias a evitar estas

perturbaciones y ayudarlas a desarrollar normativa referida a esta problemática.

Métodos

El primer análisis armónico se ha realizado analizando los dos tipos de rectificadores, que son los puentes rectificadores de onda completa de seis pulsos y de doce pulsos. Se los analizó como elementos individuales utilizando el programa Matlab. Se ha simulado el circuito y luego se la ha solicitado realizar la transformada rápida de Fourier (FFT) (Brigham, 1988).

Se está trabajando con el programa Simulink de MatLAB donde se está modelizando de manera completa una sección tipo de alimentación del ferrocarril entre dos subestaciones incluyendo todos los sistemas. Dada la complejidad del sistema se busca analizar la problemática desde el cálculo por elementos finitos ya que todos los elementos que pueden ser generadores de armónicos son elementos no lineales.

Para este modelo en principio se estará modelizando con parámetros calculados y luego se intentará tomar los parámetros reales de los dispositivos utilizados en el ferrocarril, el sector elegido es en el ferrocarril Sarmiento entre las estaciones Caballito y Villa Luro debido a su simplicidad en la infraestructura que solo consta de una vía doble.

Debido a que necesitamos conocer la demanda de potencia de las formaciones eléctricas de la línea Sarmiento, se ha podido conseguir de sus manuales las características del sistema de tracción de las formaciones. Luego para el cálculo de la potencia que requiere el tren en este sector se ha realizado un modelado de la Línea Sarmiento mediante Opentrack que ha determinado la necesidad de potencia de la formación tipo entre las dos subestaciones. El programa para esta tarea utiliza las fórmulas de resistencia al avance dadas por Sauthoff (Lichtberger, 2007).

$$R_{LP} = g \cdot \left\{ \left[1,9 \cdot \frac{m}{1000} \right] + \left[k_{sa1} \cdot v \cdot 3,6 \cdot \frac{m}{1000} \right] + \left[k_{sa2} \cdot (n + 2,7) \cdot ((v + \Delta v) \cdot 3,6)^2 \right] \right\}$$

Donde:

R_{LP} = Resistencia para coches de pasajeros [N]

g = aceleración debido a la gravedad $9,81 \frac{m}{s^2}$

m = masa de los coches de pasajeros [kg]

n = numero de coches de pasajeros [un]

v = velocidad del tren $\frac{m}{s}$

Δv = Resistencia al viento $\left[\frac{m}{s} \right]$

k_{sa1} = coeficiente de resistencia $0,0025 \left[\frac{s}{m} \right]$

k_{sa2} = coeficiente de resistencia $0,00696 \left[\frac{s}{m} \right]$

En otra línea se está analizando la normativa existente referida a distorsiones armónicas en sistemas de alimentación civiles y buscando normativa referida al ferrocarril. También se está realizando un análisis de las soluciones que han adoptado las administraciones europeas respecto a la compatibilidad electromagnética entre sistemas de tracción eléctrica y sistemas de señalamiento ferroviario.

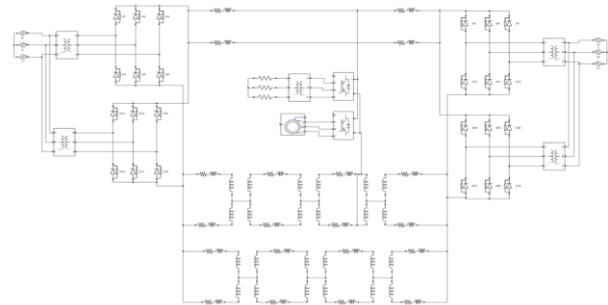


Figura 1. Diagrama de bloques del modelo matemático de tracción en Simulink.

Resultados

Los primeros resultados que se hallaron en el modelo matemático de los rectificadores, a priori, es que no se ha detectado una distorsión armónica apreciables en la tensión de salida de los rectificadores, se ha hecho una simulación de rectificadores de 6 pulsos y de 12 pulsos. Donde el primer armónico apreciable es a partir de los 300Hz en 29 Volts, cabe destacar que el sistema de análisis de señalamiento es de una red de 110V de 25Hz con relés de seguridad ferroviaria, los cuales no deberían verse afectados por esta perturbación.

Por lo tanto, luego se continuo analizando la influencia de la carga no lineal que representan los trenes tomando carga en las secciones de vía a estudiar y las distorsiones que puedan generar sus sistemas electrónicos de control de velocidad que tienen las formaciones y el convertidor estático del sistema de alimentación de los servicios auxiliares del tren, especialmente en el momento donde el tren se encuentra acelerando y frenando que es donde hay mayor solicitud del sistema eléctrico de retorno.

Con el Opentrack se ha determinado la potencia que requiere el tren y luego se ha obtenido la potencia que deberá aportar cada subestación utilizando la

formulación de los autores Manuel Carmona Suárez y Jesús Montesinos Ortuño. (Carmona Suárez & Montesinos Ortuño, 2013). También se ha utilizado las indicaciones de la Norma UNE EN 50327 (Asociación Española de Normalización, 2024) para el cálculo de las caídas de tensión de un sistema electrificado.

$$P_A = \sum \frac{P_{Ti}(l_i - l_a)}{l_b - l_a}$$

$$P_B = \sum \frac{P_{Ti}(l_b - l_i)}{l_b - l_a}$$

P_A = Potencia aportada por la Subestación A [kW]

P_B = Potencia aportada por la Subestación B [kW]

P_{Ti} = Potencia consumida por el Tren i [kW]

l_A = Progresiva de la Subestación A [km]

l_B = Progresiva de la Subestación B [km]

l_i = Progresiva del Tren [km]



Figura 2. Distribución de potencias entre las subestaciones Flores, Floresta y la formación.

En lo que a normativa en compatibilidad electromagnética refiere, se ha investigado que en el caso de ADIF España mediante la norma INIS10050 (Administración de Infraestructuras Ferroviarias, 2010) en conjunto con la norma UNE EN 50238 (Asociación Española de normalización, 2024) ha determinado el tipo de señalamiento que se debe instalar según el tipo de tracción y viceversa.

Discusión y conclusiones

Según lo indicado anteriormente y el análisis realizado observamos que el rectificador en sí, no es un gran generador de armónicos y debemos empezar a buscar estas perturbaciones de corriente en otros elementos del sistema.

Sabemos que la carga del sistema no es de carácter lineal ya que las formaciones tienen una curva de carga variable en todo su recorrido entre estaciones. Mientras todo eso ocurre el tren se encuentra en movimiento por lo que la impedancia del circuito de alimentación está variando.

Las nuevas formaciones han tenido un cambio de tecnología respecto a las formaciones anteriores de

motores de CC a motores de CA asíncronos, lo que implica un cambio del sistema de control. Con todo lo mencionado determinamos que el consumo es completamente alineal y se deberá analizar con métodos de elementos finitos la generación de armónicos de este sistema. El pico de corriente llega a 8000 A y que comparte circuito de retorno con el sistema de señalamiento de 110V de CA de 25 Hz. Sumado a que las condiciones reales debido a las inclemencias climáticas complican estimar los parámetros teóricos contra los parámetros reales.

Bibliografía

- [1] Administración de Infraestructuras Ferroviarias. (26 de febrero de 2010). Especificación sobre circuitos de vía de ADIF. *INIS10050: Compatibilidad entre el material rodante y los circuitos de vía*. España.
- [2] Asociación Española de normalización. (22 de junio de 2024). *UNE EN 50327*. www.une.org. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tunorma/norma?c=N0031040>
- [3] Asociación Española de Normalización. (22 de junio de 2024). *UNE EN 50238*. www.une.org. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tunorma/norma?c=N0031042>
- [4] Brigham, O. E. (1988). *Fast Fourier Transform and Its Applications*. Londres: Prentice-Hall.
- [5] Carmona Suárez, M., & Montesinos Ortuño, J. (2013). *Sistemas de alimentación a la tracción ferroviaria*. Madrid: Formarail.
- [6] Lichtberger, B. (2007). *Manual de vía. Infraestructura, superestructura, conservación, rentabilidad*. Alemania: Eurailpress.