

# Optimización de la captación de corriente con catenaria rígida

*B. Suarez, J. Paulin y C. Vera*

La catenaria rígida presenta algunas características que la hacen especialmente apropiada para su montaje en líneas de metro, si bien el aumento del límite de velocidad de los vehículos destinados a las líneas modernas exige un diseño más eficiente para estos sistemas. En este trabajo se ha analizado el comportamiento dinámico de este tipo de sistemas de captación, a fin de diseñar un nuevo carril conductor con un comportamiento dinámico superior al de los ya existentes. Esto implica la posibilidad de aumentar la velocidad de circulación o la distancia entre soportes, con el consiguiente ahorro del coste de instalación. A tal fin, se ha modelizado un sistema pantógrafo-catenaria real, empleando técnicas avanzadas de modelado y simulación. Se ha realizado un estudio de sensibilidad, para analizar la influencia de cada variable de diseño sobre el comportamiento dinámico del conjunto, y se ha diseñado un carril conductor con mejores prestaciones que el actual.

*Esta es una versión electrónica de un artículo publicado en las Actas del I Congreso Nacional de Innovación Ferroviaria, Calatayud, España, 5-6 Octubre, 2004.*

***Para citar este artículo, hacer referencia al artículo publicado:***

***B. Suarez, J. Paulin y C. Vera, Optimización de la captación de corriente con catenaria rígida. Actas del I Congreso Nacional de Innovación Ferroviaria, Calatayud, España, 5-6 Octubre, 2004.***

# Optimización de la captación de corriente con catenaria rígida

BERTA SUAREZ<sup>1,2</sup>, JENNY PAULIN<sup>2</sup> y CARLOS VERA<sup>3</sup>

## RESUMEN

La catenaria rígida presenta algunas características que la hacen especialmente apropiada para su montaje en líneas de metro, si bien el aumento del límite de velocidad de los vehículos destinados a las líneas modernas exige un diseño más eficiente para estos sistemas.

En este trabajo se ha analizado el comportamiento dinámico de este tipo de sistemas de captación, a fin de diseñar un nuevo carril conductor con un comportamiento dinámico superior al de los ya existentes. Esto implica la posibilidad de aumentar la velocidad de circulación o la distancia entre soportes, con el consiguiente ahorro del coste de instalación.

A tal fin, se ha modelizado un sistema pantógrafo-catenaria real, empleando técnicas avanzadas de modelado y simulación. Se ha realizado un estudio de sensibilidad, para analizar la influencia de cada variable de diseño sobre el comportamiento dinámico del conjunto, y se ha diseñado un carril conductor con mejores prestaciones que el actual.

## 1. INTRODUCCIÓN

A petición de Metro de Madrid, S.A., el Centro de Investigación en Tecnologías Ferroviarias (CIFEF), en colaboración con el Grupo de Ingeniería de Metro, ha abordado un estudio enfocado hacia el diseño de un nuevo perfil de catenaria rígida, cuyo comportamiento dinámico sea superior al del sistema instalado actualmente. De este modo puede lograrse, bien un incremento de las velocidades de circulación, que en la actualidad no supera los 110 km/h, bien un aumento en la distancia entre los soportes de la catenaria rígida, con el consiguiente ahorro de coste en la instalación.

## 2. TÉCNICAS DE MODELADO Y SIMULACIÓN

Las cada vez más frecuentes instalaciones ferroviarias, con mayores velocidades de circulación, requieren un estudio detallado del comportamiento dinámico de la interacción pantógrafo-catenaria, a fin de optimizar el diseño de la catenaria rígida, así como seleccionar el tipo de pantógrafo más adecuado.

---

<sup>1</sup> Autor de contacto: Berta Suárez Esteban, CITEF - ETSII Madrid, C/ José Gutiérrez Abascal nº 2, ES-28006 Madrid, SPAIN, e-mail: citef.bsuares@etsii.upm.es.

<sup>2</sup> CITEF - Centro de Investigación en Tecnologías Ferroviarias.

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, E.T.S. Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid.

Las técnicas de modelado y simulación permiten analizar sistemas aún no construidos, pudiendo llevarse a cabo estudios de sensibilidad que faciliten la optimización de los nuevos sistemas, y la mejora de los ya existentes, lo que las convierte en herramientas realmente útiles.

El estudio presentado en este artículo se ha llevado a cabo mediante técnicas de simulación. Se ha trabajado con los programas ANSYS, de modelado por elementos finitos, y SIMPACK, de análisis de sistemas multicuerpo.

### 3. DESARROLLO DE LOS MODELOS DE CATENARIA RÍGIDA

#### 3.1. Generación de los modelos

Atendiendo a su comportamiento elástico, el modelo de catenaria se ha generado directamente en ANSYS. Seguidamente, las características mecánicas de este modelo se han introducido en SIMPACK, donde se han introducido las condiciones de la interacción con el pantógrafo, que se ha considerado como un mecanismo.

- **Modelo de catenaria:** el carril conductor, el hilo de contacto, y las bridas de unión se han modelado mediante elementos finitos unidimensionales, y los soportes por muelles. Las primeras frecuencias y modos de vibración se han transferido al programa de simulación de sistemas multicuerpo, donde se han definido otras características de la catenaria, como el descentramiento y el cambio de seccionamiento.
- **Modelo de pantógrafo:** se ha optado por un modelo tridimensional de pantógrafo, que incluyese todas las características del mecanismo real, con 4 grados de libertad de movimiento: elevación del mecanismo del pantógrafo, y movimientos de vaivén, balanceo y cabeceo de la mesilla.
- **Interacción entre ambos componentes:** se han definido las condiciones de contacto entre el hilo y los frotadores del pantógrafo, que avanza con velocidad constante.

#### 3.2. Ajuste y Validación del modelo

Los distintos parámetros que definen las características del modelo se han ajustado mediante medidas experimentales, tomadas sobre la catenaria rígida (Furrer+Frey) actualmente montada en la Línea 8, y sobre un pantógrafo real (ADTranz). El modelo completo se ha validado experimentalmente con un pantógrafo auscultador del mismo tipo, sensorizado por otro grupo de trabajo del CITEF y que, al igual que el presente estudio, es fruto de un proyecto de colaboración entre el CITEF y Metro.

La siguiente figura muestra el modelo completo con el que se ha trabajado, y el sistema auscultador empleado.



Fig. 1. Modelo del sistema completo (izda.). Pantógrafo auscultador (dcha.).

### 3.3. Análisis estadístico de la fuerza de contacto

Tras validar los modelos, pueden llevarse a cabo con ellos las simulaciones que se consideren pertinentes. Entre otros resultados, se obtiene la fuerza de contacto entre los frotadores y el hilo de contacto. Sobre este resultado se aplica un tratamiento estadístico, que se contrasta con los criterios de estimación de la calidad de captación de corriente recomendados por las distintas normativas europeas.

## 4. SENSIBILIDAD DE LOS DISTINTOS PARÁMETROS DE DISEÑO

Se ha estudiado la sensibilidad del comportamiento dinámico de la catenaria al variar diversas variables de diseño, habiéndose duplicado estas una por una. Los parámetros considerados son: el momento de inercia geométrico del carril conductor respecto al eje vertical,  $I_{VER}$ , y al horizontal,  $I_{HOR}$ , el módulo de elasticidad,  $E$ , la densidad,  $\rho$ , el ancho de los soportes,  $D$ , y el amortiguamiento de la catenaria,  $d$ .

### 4.1. Resultados comparativos

Una de las principales variables que caracterizan la calidad de la captación de corriente es la desviación típica,  $s$ , de la fuerza de contacto. Es deseable que ésta sea pequeña, dado que una fuerza de contacto homogénea favorece el proceso de captación.

La siguiente figura muestra la desviación típica obtenida al analizar cada uno de los casos ya citados.

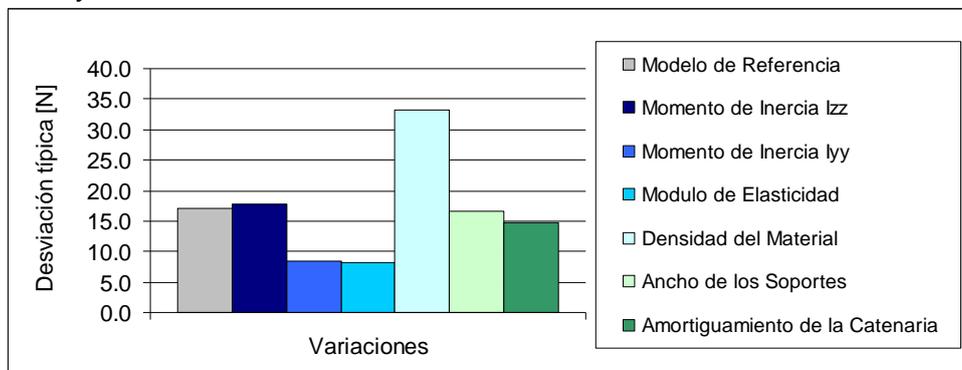


Fig. 2. Desviación típica,  $s$

## 4.2. Conclusiones acerca de la influencia de los parámetros variados

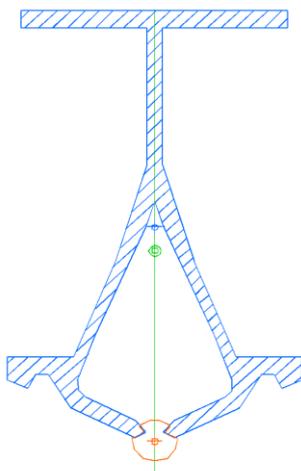
En vista de los resultados obtenidos (Fig. 2), puede afirmarse que resulta favorable aumentar el momento de inercia,  $I_{HOR}$ , y el modulo de elasticidad, mientras que un incremento de la densidad empeora el comportamiento dinámico. Los restantes parámetros apenas influyen en el comportamiento dinámico del conjunto.

## 5. DISEÑO DE UN NUEVO PERFIL DE CATENARIA RÍGIDA

De las tres posibilidades vistas para mejorar el comportamiento dinámico, la mejor alternativa, al no alterar las propiedades del material ni reducir el área de la sección conductora, es el aumento del momento de inercia del carril conductor, por lo que el diseño más apropiado sería un perfil en I. Partiendo de esta idea, se ha buscado un perfil cuya sección, aparte de aumentar el momento de inercia  $I_{HOR}$ , sea capaz de sujetar el hilo de contacto. Adicionalmente, la fuerza necesaria para abrirlo durante el proceso de montaje del hilo no debe originar deformaciones plásticas en el material.

### 5.1. Nuevo diseño

Entre todos los diseños considerados, se adoptó, para su fabricación como prototipo y para la solicitud de patente formal, un perfil con forma de Y invertida, cuyo momento de inercia es un 74% superior al del perfil que se venía utilizando:



Propiedad	Incremento del nuevo perfil respecto al anterior
Área equivalente	- 1.24%
Densidad equivalente	+ 0.14%
Momento de inercia $I_{VER}$	- 4.25%
Momento de inercia $I_{HOR}$	+72.04%

Fig. 3. Nuevo Diseño: Perfil METRO\_730, y propiedades geométricas.

### 5.2. Comparación del comportamiento estático

Se ha verificado, mediante un modelo tridimensional por elementos finitos, que las tensiones alcanzadas en el proceso de apertura del carril para el montaje del hilo, no superan el valor crítico. En la siguiente figura se muestra la distribución de tensiones obtenidas en la sección central.

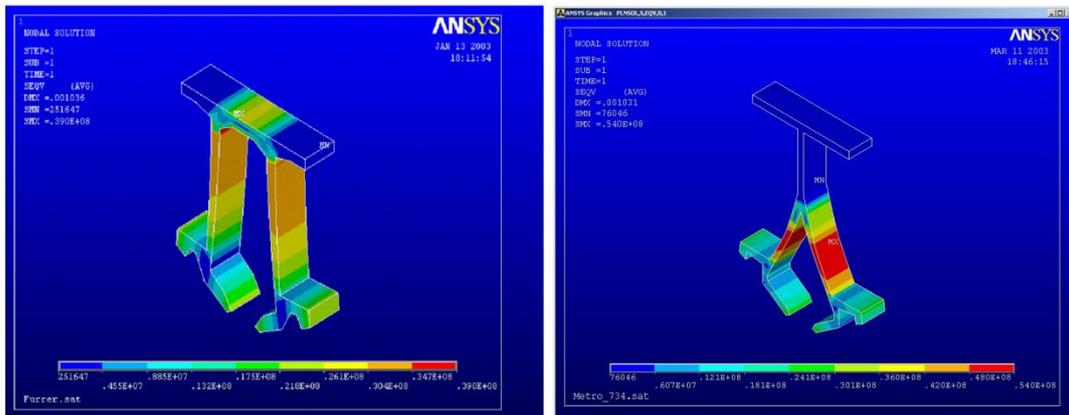


Fig. 4. Tensión de Von Mises, en el perfil anterior (izda.) y el nuevo (dcha.).

### 5.3. Comparación del comportamiento dinámico de ambos perfiles

Para comparar el comportamiento dinámico del nuevo perfil con el anterior, se han realizado diferentes simulaciones en SIMPACK, que se describen a continuación.

#### 5.3.1. Comparación entre el perfil original y el nuevo diseño

Se ha realizado una comparación directa entre ambos perfiles, simulando su comportamiento dinámico para una distancia entre soportes de 10 m, y una velocidad de 110 km/h. En esta comparación se observa que la desviación típica se reduce a la mitad, lo que indica que el comportamiento del nuevo diseño es sensiblemente mejor.

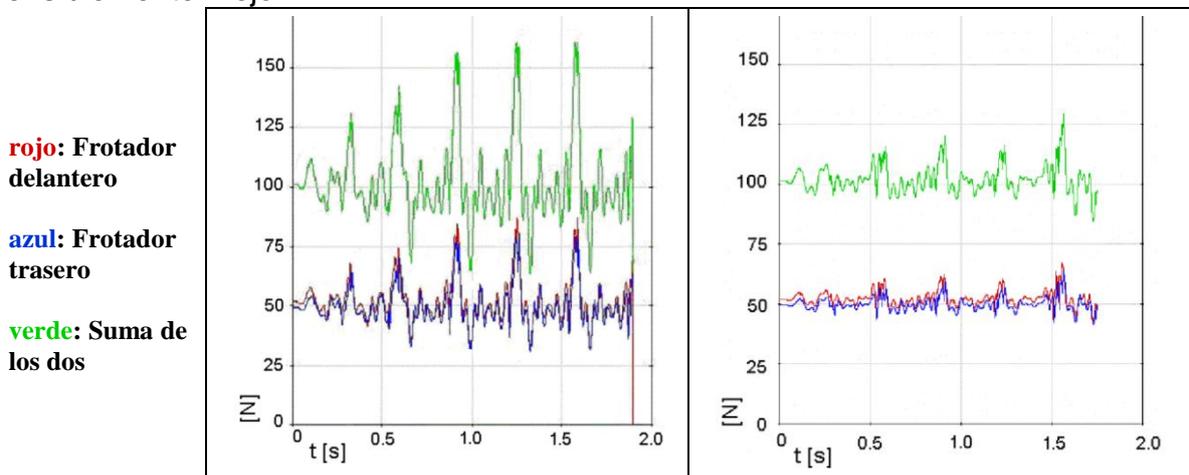


Fig. 5. Fuerzas de contacto: perfil antiguo (izda.), perfil nuevo (dcha.)

#### 5.3.2. Determinación de la distancia máxima entre soportes

Para determinar la distancia entre soportes del nuevo diseño que permita obtener un comportamiento dinámico similar al actual, a 110 km/h, se han comparado el carril actual, con soportes a 10 m, y el nuevo carril, con distancias de 12 y 14 m. Se ha observado que para el nuevo perfil con 12 m, se obtiene un comportamiento muy similar al de referencia, si bien con 14 m hay un empeoramiento apreciable.

### 5.3.3. Determinación de la velocidad máxima alcanzable

Para determinar la velocidad máxima que podría alcanzarse con el nuevo perfil, obteniendo un comportamiento dinámico semejante al actual, con soportes a 10m, se han comparado el carril actual, a 110 km/h, con el nuevo carril, a 150 km/h. Se ha observado que ambos casos presentan un comportamiento bastante similar, si bien las fuerzas en el nuevo perfil son más suaves.

## 6. CONCLUSIONES

En la Línea 7 de Metro se montó un prototipo de esta nueva catenaria en un tramo experimental de 500 m, sobre el que se tomaron medidas con el ya citado pantógrafo auscultador, habiéndose encontrado una respuesta totalmente satisfactoria, en concordancia con las predicciones realizadas.

El empleo de este nuevo diseño de catenaria rígida permite alcanzar mayores velocidades o montajes con distancias entre soportes ligeramente superiores. Puede decirse, pues, que el nuevo diseño, que ya ha sido recientemente instalado en la ampliación de la Línea 3 de Metro, mejora simultáneamente la captación de corriente y la eficiencia económica. Esto redundará en que en el futuro sea, no sólo la referencia a utilizar en el Metro de Madrid, sino también a escala mundial.

## REFERENCIAS

1. Poetsch, G., Evans, J., Meisinger, R., Kortüm, W. et al.: Pantograph/Catenary Dynamics and Control. *Vehicle System Dynamics*, Vol. 28, pp. 159-195, 1997.
2. prEN 50367, "Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead contact line", CENELEC, 2002.
3. prEN 50318, "Validation of simulation of the dynamic interaction between pantographs and overhead contact line", CENELEC, 1999.