

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/338345989>

# Characterization of the Dynamic Behavior of Transition Systems between Rigid and Flexible Catenary

Conference Paper · October 2019

CITATIONS  
0

READS  
181

4 authors:



**Juan de Dios Sanz Bobi**  
Universidad Politécnica de Madrid

45 PUBLICATIONS 73 CITATIONS

SEE PROFILE



**Aranzazu Berbey-Alvarez**  
Universidad Tecnológica de Panamá

136 PUBLICATIONS 138 CITATIONS

SEE PROFILE



**Alvaro Calvo-Hernandez**  
Universidad Politécnica de Madrid

7 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE



**Jessica Guevara**  
Universidad Tecnológica de Panamá

40 PUBLICATIONS 51 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Diseño de un modelo de evaluación de la gestión del conocimiento, innovación y transferencia de tecnología de programas académicos y empresas asociadas al tecnoparque internacional de Panamá en a Ciudad del Saber [View project](#)



railway engineering textbook in spanish [View project](#)

# Characterization of the dynamic behavior of transition systems between rigid and flexible catenary

Juan de Dios Sanz Bobi  
 Universidad Politecnica de  
 Madrid, España  
 juandedios.sanz@upm.es  
<https://orcid.org/0000-0002-8039-8527>

Aranzazu BerbeyAlvarez  
 Universidad Tecnologica de  
 Panamá, Rep. de Panamá  
 Aranzazu.berbey@utp.ac.pa  
<https://orcid.org/0000-0003-4278-5478>

Alvaro Calvo-Hernandez  
 Univesidad Politecnica de  
 Madrid, España  
 Alvaro.calvo@upm.es  
<https://orcid.org/0000-0002-7379-6711>

Jessica Guevara-Cedeño  
 Universidad Tecnologica de  
 Panamá, Rep. de Panamá  
 Jessica.guevara@utp.ac.pa  
<https://orcid.org/0000-0002-7273-6848>

*Resumen—El estudio que se presenta tratará sobre el comportamiento dinámico que existe ante la transición que se produce a la entrada y salida de un túnel cuando en este último se ha instalado catenaria rígida mientras en el exterior se mantienen sistemas de catenaria flexible. La viga de transición utilizada es un elemento que pretende mitigar las diferencias dinámicas en la fuerza del contacto que se produce entre ambos tipos de catenaria. Su geometría está basada en la viga de rígida, teniendo el mismo perfil inicial y reduciendo su sección para disminuir la rigidez. Los mecanismos actuales de catenaria rígida y transición no permiten el paso a velocidades por encima de 100 km/h, produciéndose pérdidas de contacto y arcos eléctricos que aumentan el desgaste de los componentes considerablemente. El presente trabajo se centra en la caracterización del comportamiento dinámico de los sistemas de transición actuales entre tipos de catenaria y propone una configuración alternativa que permita reducir la pérdida de contacto entre componentes para velocidades por encima del límite conocido. Esto permitirá aumentar el rango de velocidades de explotación y la instalación de catenaria rígida en un mayor ámbito, reduciendo las necesidades de galibo y en consecuencia el diámetro de los túneles a crear.*

*Palabras claves—catenaria rígidas, catenaria flexibles, comportamiento dinámico.*

*Abstract-- The study presented will deal with the dynamic behavior that exists before the transition that occurs at the entrance and exit of a tunnel when a rigid catenary has been installed in the latter while flexible catenary systems are maintained abroad. The transition beam used is an element that aims to mitigate the dynamic differences in the strength of the contact that occurs between both types of catenary. Its geometry is based on the rigid beam, having the same initial profile and reducing its section to reduce stiffness. The current rigid catenary and transition mechanisms do not allow passage at speeds above 100 km / h, resulting in loss of contact and electric arcs that increase the wear of the components considerably. This paper focuses on the characterization of the dynamic behavior of current transition systems between types of catenary and proposes an alternative configuration that allows reducing the loss of contact between components for speeds above the known limit. This will allow increasing the range of operating speeds and the installation of rigid catenary in a larger area, reducing the needs of gauge and consequently the diameter of the tunnels to be created.*

*The study presented will deal with the dynamic behavior that exists before the transition that occurs at the entrance and exit of a tunnel*

*when a rigid catenary has been installed in the latter while flexible catenary systems are maintained abroad. The transition beam used is an element that aims to mitigate the dynamic differences in the strength of the contact that occurs between both types of catenary. Its geometry is based on the rigid beam, having the same initial profile and reducing its section to reduce stiffness. The current rigid catenary and transition mechanisms do not allow passage at speeds above 100 km / h, resulting in loss of contact and electric arcs that increase the wear of the components considerably. This paper focuses on the characterization of the dynamic behavior of current transition systems between types of catenary and proposes an alternative configuration that allows reducing the loss of contact between components for speeds above the known limit. This will allow increasing the range of operating speeds and the installation of rigid catenary in a larger area, reducing the needs of gauge and consequently the diameter of the tunnels to be created.*

*Keywords-- rigid catenary, flexible catenary, dynamic behavior*

## I. INTRODUCCION

La historia reciente demuestra una tendencia a evolucionar en el transporte con la intención de realizar los desplazamientos cada vez más rápido. Dicha evolución se hace patente en todos los aspectos, tanto sociales, como de avances científicos y, por supuesto, en el transporte de personas y mercancías, grupo en el cual podremos incluir el ferrocarril. Un ejemplo de esto, corresponde al presentado por Monrroy *et al.*, [1] el cual menciona el caso del crecimiento de la población panameña y la mala distribución de las carreteras en la ciudad, lo que genera la búsqueda de medios de transportes alternativos, como es el metro. Una parte importante a la hora de diseñar una obra de tal magnitud es la red de distribución eléctrica, ya que de esto dependerá en gran parte el funcionamiento eficaz de un metro. Se deben estudiar distintos aspectos, basándose en obras existentes, estudios al sitio de instalación y equipos existentes; para así conseguir el mejor diseño posible de la red eléctrica, por ejemplo mediante estudios de caracterización de una línea de metro para el dimensionamiento energético [2].

El ferrocarril permite el transporte de gran cantidad de personas y mercancías, conectando dos puntos geográficos

distantes con una determinada periodicidad. Es posible que entre ellos se haga necesario superar obstáculos naturales, como son las montañas, o artificiales, como puedan ser las ciudades. Es en estos casos donde es necesario recurrir a túneles, cuya limitación de altura los convierte en lugares con características especiales respecto al resto de la vía. Las innovaciones que se han ido implantando en este sector buscan mejorar la rentabilidad del mismo y la vida útil de sus componentes, para lo cual es necesario buscar soluciones que sean económica y técnicamente favorables, considerando siempre como aspecto esencial el mantenimiento de las condiciones de seguridad necesarias para la explotación [3]–[5].

La necesidad de disponer de un transporte de calidad que permita los desplazamientos a media y larga distancia aumenta con el paso del tiempo, especialmente motivada por el aumento de la población que establece su residencia en ciudades de primer nivel.

La estructuración de las ciudades debida a estos movimientos poblacionales hace cada vez más necesario un sistema de transporte que combine la disponibilidad con tiempos de transporte razonables[6]. Este último criterio resulta ser de especial peso para aquellos que tienen la opción de decidir entre el uso del transporte privado y el transporte colectivo[7][8].

Dentro del ámbito ferroviario existe una característica que distingue especialmente los medios dedicados al transporte urbano de los transportes interurbano, esta característica está basada en el tipo de catenaria que compone la infraestructura. En el caso del transporte urbano, y describiendo concretamente el utilizado en ciudades de elevada población, este suele basarse en el uso de sistemas subterráneos o metros que, por simplicidad del sistema, tanto a la hora de instalarlo como durante el mantenimiento, suelen implicar el uso de sistemas de catenaria rígida[9][10]. Para el caso de transporte interurbano en superficie, el sistema de catenaria que se suele emplear es el de tipo flexible, que permite el uso de puntos de apoyo con mayor distanciamiento entre los mismos.

Esta diferenciación establece una nueva problemática que es la interacción entre sistemas dadas las numerosas diferencias existentes entre ellos, especialmente el hecho de que la catenaria flexible requiere sistemas de compensación mecánica que mantengan un determinado nivel de tensión longitudinal en los cables, tanto el sustentador como el de contacto[1][11][12]. Por el contrario, el sistema de catenaria rígida no requiere de un tensado longitudinal del cable de contacto, motivo que permite un mayor porcentaje de desgaste del cable[13]–[15], pero que requiere de una viga de aluminio para mantener la cota del hilo de contacto lo más horizontal posible. El problema que se propone se afronta actualmente de dos maneras:

Por un lado se impone el transbordo de pasajeros entre sistemas ferroviarios, de este modo las instalaciones son completamente independientes, tanto mecánica como eléctricamente, por lo que se podrán emplear sistemas basados en tecnologías de electrificación diferentes.

Por otro lado, se puede establecer una zona de paso en la que se produzca una transición de un sistema de catenaria a otro, manteniendo la continuidad mecánica y del sistema de electrificación. El principal atractivo de este sistema es la ausencia de transbordos para el viajero, por lo que el tiempo de trayecto se ve reducido significativamente.

El sistema de transición empleado en estos casos es el objetivo principal de este estudio, donde se presenta los resultados realizados por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) basados en la simulación del comportamiento dinámico del sistema de transición

## II. PRESENTACION DEL PROBLEMA

De acuerdo a Villaronte [11], la electrificación es el sistema de alimentación de tracción, por el cual la energía eléctrica proveniente de la una línea exterior de alta tensión pasa por la subestación; circula por el elemento conductor instalado a lo largo de la línea (LAC o tercer riel), penetra en la locomotora a través del captador de corriente (pantógrafo o tercer riel), alimenta los motores y retorna cerrando el circuito por los rieles y feeders negativos, si los hubiera, y solo accidentalmente por tierra. De acuerdo a la norma UNE-EN 50119[16], se denomina sistema de línea aérea de contacto a la red de apoyo para proporcionar energía eléctrica a unidades de alimentación electromotrices. La misma norma, indica que la línea aérea de contacto es aquella en la que los conductores están colocados por encima o por el lado límite superior del gálibo de los vehículos. El término gálibo, designa las dimensiones máximas, tanto de altura como de anchura, que pueden tener todos los vehículos. También se utiliza para hacer referencia a la zona geométrica que debe estar libre de obstáculos alrededor de un sitio[17], es decir, es un contorno de referencia con unas reglas de aplicación[18]. El galibo es un área en la sección transversal de una línea ferroviaria, dentro de la cual el vehículo ferroviario debe poder transitar. Si un vehículo excede en tamaño el gálibo de una línea, no será autorizado para circular por la misma[19]. De acuerdo a Arranz[20] la catenaria es la parte del sistema de cables de cobre, que tendidos sobre la vía tiene forma de curva catenaria, también llamado hilo sustentador. Junto con el hilo aéreo de contacto, péndolas, etc., el hilo catenario forma el sistema para la captación de corriente del material motor de los trenes mediante su pantógrafo[21]. De acuerdo a Calvo *et al.*, [22]–[24], la catenaria es la forma que adopta un hilo suspendido entre dos puntos. La flecha central disminuye con el aumento de la tensión mecánica del hilo. La catenaria consiste en una línea aérea compuesta por un cable sustentador, el que adopta la forma de catenaria y que es el que soporta mediante péndolas a un segundo cable de alimentación que suele ser de cobre y doble para mejorar la toma de corriente.

El sistema de transición de catenaria actual se basa en la utilización de una viga de aluminio cuya sección inicial es equivalente a la viga de catenaria rígida[13]–[15], [25], [26] y que a medida que avanza hacia el lado de catenaria flexible va reduciendo su sección tal y como se muestra en la figura 1.

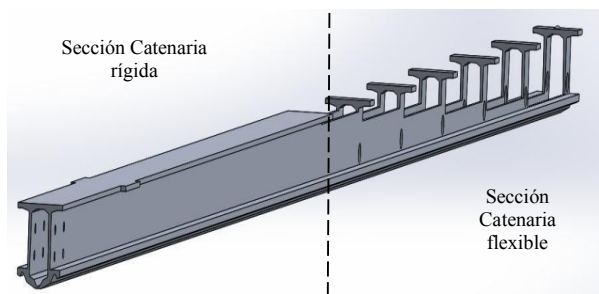


Figura 1. Sistema de transición entre catenaria rígida a flexible. Cortesía: UPM.

A priori, la solución parece ser la más adecuada, ya que se pasa de un sistema con una elevada masa por unidad de longitud a uno que apenas tiene. Esto afecta directamente a la dinámica del sistema, teniendo mucha más inercia en su desplazamiento vertical el sistema de catenaria rígida que el sistema de catenaria flexible[13]–[15], [25]–[28][29].

La variación progresiva de sección permite ajustar gradualmente la resistencia vertical que el sistema de catenaria supone para el pantógrafo de un tren que circule por las instalaciones. Para favorecer este efecto, además, la viga de transición se instala en voladizo desde el lado de catenaria rígida, disminuyendo la rigidez vertical del extremo perteneciente a la catenaria flexible. Este efecto puede comprobarse en la figura 2, en la que se muestra el esquema básico de instalación de la viga de transición.

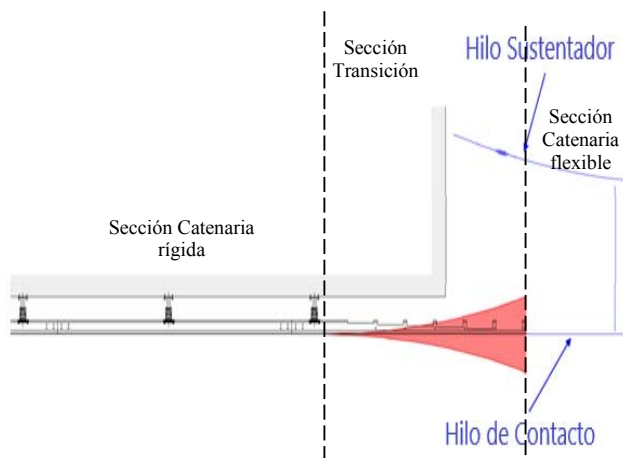


Figura 2. Sistema de transición entre catenaria rígida a flexible. Cortesía: UPM.

El principal problema que presenta esta instalación es que la punta con menor masa de la viga de transición, durante el paso del pantógrafo aplicando la correspondiente fuerza de contacto, produce oscilaciones de gran amplitud que hacen que la fuerza de contacto que garantiza la transmisión de corriente eléctrica entre componentes no sea constante.

Que la fuerza de contacto entre pantógrafo y catenaria sufra pequeñas variaciones durante el desplazamiento del primero es algo habitual, que afecta en mayor o menor medida a la calidad de contacto en función de la dispersión de dicho valor respecto a su valor medio. Derivado de la variación de la sección y de la forma en la que la viga está instalada, dicha

variación de fuerza se hace especialmente significativa al paso por esta zona.

Las variaciones de la fuerza de contacto hacia valores superiores suponen un aumento significativo del desgaste de componentes debido a la fricción existente entre los mismos. Por el contrario, la disminución de la fuerza de contacto produce también una disminución de la sección a través de la cual circula la corriente eléctrica, suponiendo una resistencia al paso de esta y generando calor en el punto de contacto.

Si la disminución de la fuerza es tan grande que se llega a perder el contacto físico entre pantógrafo y catenaria, generalmente ocurre un arco eléctrico, que produce un aumento de temperatura brusco sobre el cable de contacto y sobre las pletinas del pantógrafo. Este aumento de temperatura puede superar la temperatura de fusión de los materiales que componen el sistema de captación, generando proyecciones de material, que pueden quedar adheridos en otras zonas, y o queda tanto en los cables como en las pletinas.

Ambos desperfectos mencionados se traducen en un empeoramiento de la calidad de la transmisión de corriente que conlleva la aparición de más arcos eléctricos a medida que aumenta el uso de la instalación.

Por todo ello, el estudio que se presenta ha tratado de describir cuál sería la configuración más recomendable para las vigas de transición que permitiría reducir el riesgo de generar estos efectos adversos sobre las instalaciones

### III. DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA SOLUCIÓN

Para el desarrollo de las simulaciones que se mostrarán a continuación se ha empleado el software SolidWorks[30], que ha permitido la realización de las mismas de manera satisfactoria, al comparar los resultados obtenidos en diferentes configuraciones de catenaria con mediciones reales de la fuerza de contacto, siguiendo el procedimiento de validación por comparación recogido en la norma UNE EN 50318[31].

Una vez comprobada la validez del método se ha procedido a modelar la situación concreta que se somete a estudio, incluyendo en la simulación el sistema de catenaria rígida, que incluye tanto la viga de catenaria como el cable de contacto, y el sistema de catenaria flexible, compuesto por el primer tramo de hilo de contacto que circula más allá del final de la viga de transición. El modelado del pantógrafo se ha basado en el sistema multicuerpo recogido en la norma UNE EN 50318[31], siendo este una simplificación de un modelo real que queda finalmente compuesto por tres masas que se relacionan mediante sistemas de muelle y amortiguador.

Los resultados que se obtienen de la simulación se pueden representar de forma gráfica tal y como se muestra a continuación en la figura 3.

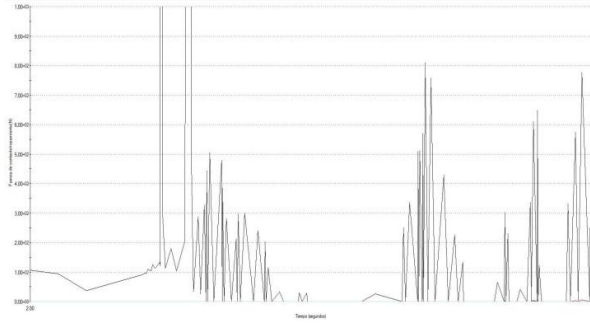


Figura 3. Resultados de la situación.

En la parte izquierda de la gráfica se puede observar una variación suave de la fuerza de contacto correspondiente al discurso del pantógrafo a lo largo de la zona que cuenta con catenaria rígida. Acto seguido se aprecia un aumento de las oscilaciones que se debe al comienzo de la zona de voladizo, hasta alcanzar la punta de la viga de transición donde se pierde el contacto totalmente al reducirse la fuerza de contacto a un valor por debajo de 0 Newton. Por último, y ya en la zona de catenaria flexible, se producen impactos y rebotes que tardan bastante tiempo en estabilizarse de nuevo, alternando la formación de arcos eléctrico por pérdida de contacto con picos de fuerza muy por encima de los 120 Newtons que se han considerado como valor medio para la fuerza aplicada en situaciones normales de explotación.

Si la simulación se realiza en sentido opuesto, es decir, comenzando desde el lado en el que se encuentra instalada la catenaria flexible y accediendo al lado de catenaria rígida, el resultado será el mostrado en la figura 4 donde, además de la fuerza percibida por la mesilla del pantógrafo se puede observar el efecto de la misma fuerza (en negativo) sobre el hilo de contacto.

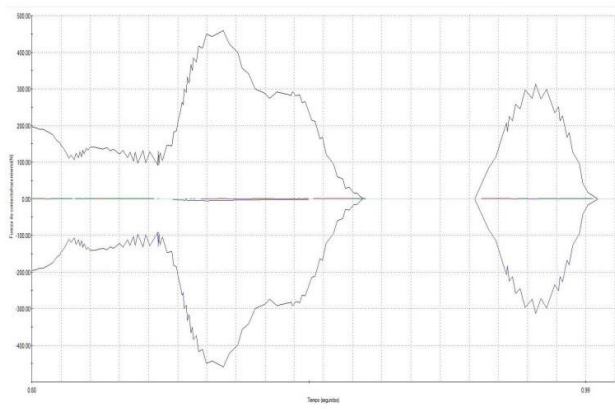


Figura 4. Resultado del experimento.

En esta ocasión, alcanzar la punta de la viga de transición supone un impacto fuerte, con su correspondiente aumento de la fuerza de contacto, que posteriormente conlleva una pérdida de contacto entre componentes.

Ante estos resultados, resulta evidente que, aunque la instalación actual permite que la formación de arcos eléctricos sea de pequeña duración, la probabilidad de que estos

aparezcan es muy elevada, reduciendo notablemente la calidad del proceso de transmisión de corriente eléctrica.

Para reducir el efecto que se observa, se propone la instalación de un soporte similar al empleado en la catenaria rígida en el extremo de la viga de transición, pero que en este caso pueda incluir entre sus componentes un sistema de muelles y amortiguadores que permitan disipar las oscilaciones que de forma natural se producen en este punto. Con esto se pretende reducir también la variación de cota de este punto, lo que permitirá una transición más suave entre un sistema y el otro.

### III. PROPUETA DE SOLUCION Y RESULTADOS

La propuesta que se describe puede verse de manera simplificada en la figura 5:

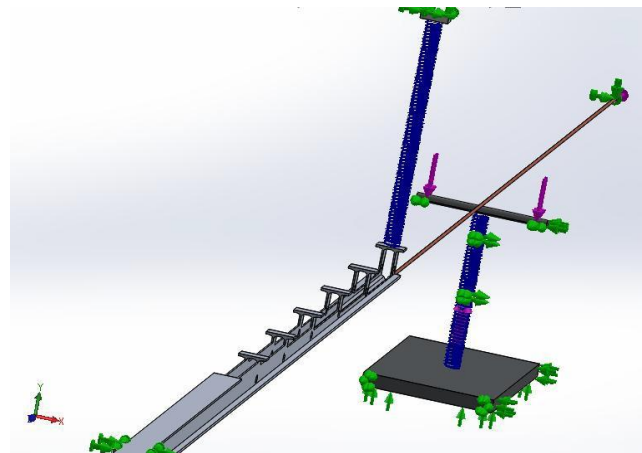


Figura 5. Esquema de solución propuesta.

Para poder estimar la configuración que mejor resultados pueda ofrecer, se han estudiado los resultados para diferentes valores de rigidez del sistema y de capacidad de amortiguación. Para ambos parámetros se ha partido del valor nulo y aumentado dichos valores se han buscado las primeras zonas que podrían conducir a resultados válidos. Estas primeras zonas quedan delimitadas superiormente al seguir aumentando dichos valores hasta alcanzar de nuevo zonas donde el comportamiento se sale de los rangos deseados (Ver tabla 1).

Tabla 1. Resultados experimentales de la simulación.

C (Amortiguamiento)	K (Rigidez)				
	100 N/m	500 N/m	750 N/m	1000 N/m	2000 N/m
140Ns/m	+10000 N	+10000 N	+10000 N	+10000	+10000 N
	0 N	0 N	1 N	0 N	0 N
	Incorrecto	Incorrecto	Incorrecto	Incorrecto	Incorrecto
110Ns/m	257 N	320 N	200 N	180 N	180 N
	0 N	0 N	1.62 N	1 N	0 N
	Incorrecto	Incorrecto	Correcto	Correcto	Incorrecto
90Ns/m	800 N	175 N	184	180 N	200 N
	5 N	0 N	0.56 N	0 N	0 N
	Incorrecto	Incorrecto	Correcto	Correcto	Incorrecto
70Ns/m	258 N	328 N	280 N	213 N	+10000 N
	0 N	0 N	0 N	0 N	0 N
	Incorrecto	Incorrecto	Incorrecto	Incorrecto	Incorrecto
10Ns/m	1619	542 N	780 N	903 N	1780 N
	0 N	16 N	15.5 N	14.7 N	14.047 N
	Incorrecto	Incorrecto	Incorrecto	Incorrecto	Incorrecto

Los valores de interés para las diferentes pruebas quedan recogidos en la tabla 1, donde cada celda recoge tres criterios, en primer lugar la fuerza máxima registrada en las simulaciones, en segundo lugar la fuerza mínima registrada y por último la valoración que sobre dicha configuración se obtiene en función de los valores registrados.

De la tabla 1 se interpreta que existen determinadas configuraciones que ofrecen resultados significativamente mejores que otras. En este sentido se han considerado como valores correctos para su instalación aquellos que ofrecen una fuerza mínima mayor o igual a 0 Newton y una fuerza máxima por debajo de 350 Newton, valor que es considerado como límite de garantía de un contacto correcto. Por encima de 350 Newton puede producirse deformación plástica de los materiales y fusiones de material, conocidos como “enganches” y que pueden tener consecuencias destructivas al arrastrar el pantógrafo toda la infraestructura de catenaria.

### CONCLUSIONES

A la vista del problema expuesto y de las pruebas realizadas para la solución propuesta se puede concluir lo siguiente: Primero, la configuración actual permite su uso de manera eficiente, pero puede producir pérdidas de contacto debidas a la diferencia de masa existente entre ambos sistemas de catenaria.

Segundo, el uso de sistemas complementarios para la estabilización de la viga de transición puede resultar de

utilidad si se instalan con determinadas características dinámicas de rigidez y de amortiguamiento. Para el caso expuesto, la rigidez deberá estar comprendida  $K \in [750, 1000]$  (N/m) y el amortiguamiento  $C \in [90, 110]$  (Ns/m). Con estos valores establecidos se propone la mejor configuración para la viga de transición a utilizarse basada en la comparación y caracterización según su comportamiento dinámico.

### RECONOCIMIENTO

Los autores de estos artículos queremos agradecer a la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y a la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) por el apoyo para la elaboración de este artículo científico.

### REFERENCIAS

- [1] A. Monrroy, Dariel Domínguez, E. González, G. García, J. Burgos, and A. Berbey-Alvarez, “Suministro de la Energía Eléctrica de la Línea 2 del Metro de Panamá: Ingeniería Conceptual comentada Supply of the Electric Power of Line 2 of the Panama Metro: Conceptual Engineering commented,” in *2018: 3er Congreso Internacional de Ciencias y Tecnologías para el Desarrollo Sostenible 2018*, 2018, p. 17.
- [2] A. Berbey Álvarez, F. Merchan, J. Guevara Cedeño, A. Cogley Brown, and R. J. Caballero George, “Caracterización de la Línea 1 del Metro de Panamá,” in *Proceedings of the 13th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology Engineering Education Facing the Grand Challenges What Are We Doing?*, 2015, pp. 0–8.
- [3] TIFSA., “Proyecto Constructivo para la instalación de catenaria rígida y actuaciones complementarias en los túneles urbanos de cercanías de Barcelona.”, Madrid, España, 2019.
- [4] AENOR., “Tecnología para competir. Desarrollos tecnológicos que han impulsado a la empresa española” *Depósito Legal: M-23096-2011*. 2011.
- [5] M. de Fomento., “Estudio informativo de integración del ferrocarril en Sant Feliu de Llobregat.” 2010.
- [6] S. Grava, *Urban Transportation Systems. Choices for communities*. The McGraw-Hill Companies., 2004.
- [7] C.Zamorano, JM.Bigas, and J. Sastre, *Manual de tranvías, metros ligeros y sistemas de plataforma reservada*. Madrid, 2006.
- [8] D.Vuchic, *Urban Transportation Systems. Choices for communities*. 2004.
- [9] M. Melis y F. Gonzalez., *Ferrocarriles metropolitanos. tranvías, metros ligeros y metros convencionales (3ª edición, ampliada, revisada y con nuevos y actualizados contenidos académicos)*. Tercera ed. Madrid, España.: Colección de ingenieros de caminos, canales y puertos. Colección señor 29., 2008.
- [10] Francisco Javier González Fernández. González et al., *Ingeniería Ferroviaria. Unidad didáctica*. UNED, 2008.
- [11] J. Villaronte Fernández-Villa., *Tecnología de la vía. Ingeniería y tecnología ferroviaria.*, Segunda Ed. Madrid, España.: Publicaciones Delta., 2010.
- [12] Juan Antonio Villaronte Fernández-Villa, *Ingeniería y tecnología ferroviaria. Procedimientos constructivos e instalaciones. Segunda Edición. ISBN 978-84-92453-85-6. Publicaciones Delta. 2011*. Delta, 2011.
- [13] ASLTOM., “Rigid Catenary.” Alstom, Roma, Italy, p. 2, 2016.
- [14] RAILTECH-KLK., “Catenaria rígida.” 2019.
- [15] Electrificación y Estudios Ferroviarios S.L., “Características generales del sistema de catenaria rígida.”
- [16] UNE, “UNE-EN 50119. Aplicaciones ferroviarias Instalaciones fijas Líneas aéreas de contacto para tracción eléctrica. 2002.” UNE, Madrid, España, 2002.
- [17] Wikipedia, “Wikipedia. Definición de Galibo.” *Definición de Galibo.*, 2018. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Galibo>.
- [18] A. L. Pita., *Infraestructura ferroviaria*. Barcelona, España, 2006.
- [19] Ferropedia, “Ferropedia. Ferropedia, la enciclopedia colaborativa del ferrocarril. Galibo.” *Vocabulario Ferropedia*, 2018. [Online].

- Available: <http://www.ferropedia.es/wiki/Gálibo>.
- [20] V. Arranz, *501 términos español-inglés, inglés-español de Señalización Ferroviaria moderna explicados*. Madrid, España, 2011.
  - [21] Manuel Carmona Suarez. Jesús Montesinos Ortuño., *Sistemas de alimentación a la tracción ferroviaria*. FormaRail, 2013.
  - [22] F.Calvo-Poyo, R.Jurado-Piña, J.Lorente-Gutiérrez, and J.De Oña-López, *Diseño y característica de la vía ferroviaria.*, Primera Ed. Granada, España: Grupo Editorial Universitario, 2005.
  - [23] F.Calvo-Poyo, J.Lorente-Gutiérrez, and J. de Oña-López., *Funcionamiento y explotación de la infraestructura ferroviaria.*, Segunda Ed. Granada, España.: Grupo Editorial Universitario., 2006.
  - [24] F. Calvo-Poyo, R.Jurado-Piña, J.Lorente-Gutiérrez, and J. de Oña-López., *Ferrocarriles.*, Primera ed. Granada, España.: Editorial Godei., 2011.
  - [25] Friedrich Kiessling, R. Puschmann, and Axel Schmieder., “*Contact Lines for Electric Railways.*” Germany: SIEMENS, 2009.
  - [26] Furrer Frey., “‘Transition bar for conductor rail’.” Furrer Frey, p. 1.
  - [27] T.Kobayashi, M.Shimizu, and A.Oya., “‘Transition structures between Rigid Conductor Line and Catenary Overhead Contact Line’.” Railway Technical Research Institute, Tokyo, Japan.
  - [28] Furrer Frey., “‘The overhead conductor rail system.’” Furrer+Frey AG, Switzerland, p. 32, 2012.
  - [29] Kiessling / Puschmann / Schmieder / Vega, *Líneas de contacto para ferrocarriles electrificados: Planificación, Diseño, Instalación y Mantenimiento*. SIEMENS, 2008.
  - [30] SolidWorks, “SolidWorks.” Dassault Systemes SolidWorks Corporation, 2019.
  - [31] UNE, *Norma UNE-EN 50318. Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de captación de energía de corriente. Validación de la simulación de la interacción dinámica entre ógrafo y las líneas aéreas de contacto. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en enero. España, 2018.*