



Rail vehicle passing through a turnout: Influence of the track elasticity

Rodrigo F. Lagos-Cereceda ^a, Kenny L. Alvarez-C. ^a, Jordi Vinolas-Prat ^b & Asier Alonso-Pazos ^c

^a Escuela de Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. rodrigo.lagos@ucv.cl, kenny.alvarez.c@mail.ucv.cl

^a Escuela de Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. kenny.alvarez.c@mail.ucv.cl

^b Escuela Politécnica Superior y Escuela de Arquitectura, Universidad Antonio de Nebrija, Madrid, España. jvinolas@nebrija.es

^c Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas - CEIT, San Sebastián, España. aalonso@ceit.es

Received: September 27th, 2013. Received in revised form: June 24th, 2014. Accepted: September 16th 2014

Abstract

In recent years, the different transport systems have been largely improved. However, some problems need to be still solved if railways want to be the transport of the future. Among others: the high cost of infrastructure and its maintenance, the requirements to assure low noise levels and low transmission of vibration.

The turnouts, one of the most critical elements on the track, are studied in this paper. Mathematical models have been developed in order to analyse in detail a vehicle passing through a turnout. These models are used to implement multibody models, which reproduce the phenomena of the vehicle/turnout interaction.

The research analyses the validity and accuracy of multibody tools and how they could allow improving the design process of turnouts. In particular the influence of the turnout geometry and track elasticity has been investigated and also how these parameters could be optimized.

Keywords: Turnouts; switches and crossings; track geometry; track elasticity; dynamic vehicle–turnout interaction; railway; PAD; multibody models.

Influencia de la elasticidad de vía al circular por un desvío ferroviario

Resumen

En la actualidad, el transporte ferroviario en sus diversas formas se encuentra en pleno auge. Sin embargo, algunos problemas aún deben ser resueltos si se desea que sea el transporte del futuro. Algunos de estos problemas son: el alto costo de la infraestructura y su mantenimiento, los requisitos para asegurar bajos niveles de ruido y baja transmisión de las vibraciones en las zonas.

Los desvíos ferroviarios es uno de los elementos más críticos en la vía, y se estudian en este trabajo. Modelos matemáticos se han desarrollado con el fin de analizar en detalle un vehículo que por un desvío. Estos modelos se utilizan para implementar modelos multicuerpo, que reproducen los fenómenos de la interacción vehículo/desvío.

La investigación analiza la validez y exactitud de herramientas multicuerpo y cómo podrían permitir mejorar el proceso de diseño de los desvíos. En particular, la influencia de la geometría de la participación y la elasticidad de la vía ha sido investigada y también cómo estos parámetros podrían ser optimizados.

Palabras clave: desvíos ferroviarios; elasticidad de vía; dinámica ferroviaria; PAD; geometría de vía; interacción vehículo-vía; modelos multicuerpo; ferrocarril.

1. Introducción

Actualmente el transporte ferroviario está en constante crecimiento debido a sus cualidades únicas como por ejemplo: economía, rapidez, bajas emisiones contaminantes, etc. Un ejemplo de estas ventajas se puede observar en el trayecto Barcelona – Madrid, este corredor pasó de tener una cuota de mercado del 13,7% el año 2007 a un 45,6% el

año 2010, dos años después de la inauguración del corredor de Alta Velocidad (Fuente: Renfe y Comisión Europea). Otros ejemplos se pueden ver en [1-3].

Es por ello que en las últimas décadas se ha potenciado exponencialmente la investigación con el objetivo de mejorar las condiciones de funcionamiento y así lograr un mejor servicio a la sociedad.

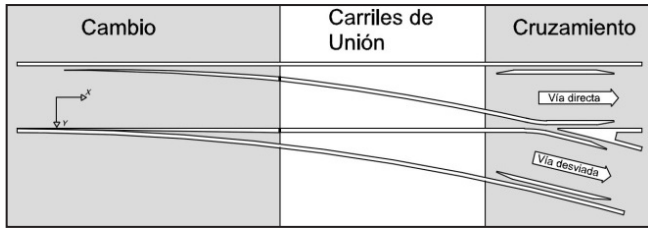


Figura 1: Partes de un desvío típico
Fuente: Elaboración propia.

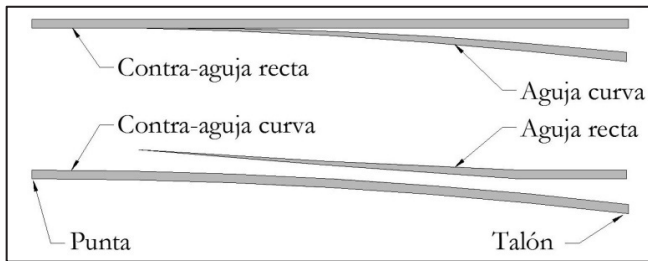


Figura 2: Partes de un desvío típico, zona del cambio
Fuente: Elaboración propia.

Uno de los elementos propios que componen un sistema ferroviario son los carriles o vías, que permiten la circulación del vehículo. Dentro de las vías, diversos estudios, han identificado los desvíos como un elemento crítico durante la circulación. Los desvíos son dispositivos que se encuentran directamente en la vía y permiten que el vehículo circule de una línea a otra, ya sea convergente o divergente. Estos aparatos son responsables directos de diversos fenómenos dinámicos como por ejemplo: contaminación acústica en las zonas colindantes al desvío, vibraciones que se transmiten tanto al vehículo como a la infraestructura y restricciones en las velocidades de circulación. En general, estos fenómenos afectan principalmente tanto al confort, como a la vida útil del desvío y del vehículo. Diversos estudios han demostrado lo crítico de estos aparatos, por ejemplo García Díaz de Villegas en su trabajo [4] demostró la importancia que presentan el guiado de las agujas en el comportamiento de los ejes y el desgaste producido en las agujas producto de un guiado deficiente. Por otra parte, Kassa y Andersson fueron de los primeros investigadores desarrollar modelos que intentaban predecir la problemática de los desvíos, no obstante sus estudios evidencian la necesidad desarrollar estudios de mayor complejidad que considerasen frecuencias más amplias.

Los desvíos están compuestos principalmente por tres zonas: cambio, carriles de unión y cruzamiento (véase Fig. 1).

La zona de cambio se compone de dos conjuntos principales: agujas y contra-agujas. Las agujas son las partes móviles que inducen la circulación de una vía a otra, siendo una recta y la otra curva. Cuando la aguja recta se encuentra en contacto con la contra-aguja curva, la aguja curva se encuentra separada de la contra-aguja recta, permitiendo que el tren circule por vía directa. En cambio, cuando la aguja curva se encuentra en contacto con la contra-aguja

recta, y la aguja recta separada, el vehículo circulará por vía desviada. Es por esto que la zona de cambio es la que define si el tren circula por vía desviada, o vía directa (véase Fig. 2).

Por otra parte, la zona de carriles de unión tiene por objetivo permitir la continuidad entre la zona del cambio y de cruzamiento. En general, el perfil de vía en esta zona es el mismo que el carril convencional.

La zona de cruzamiento es considerada una de las zonas más críticas, debido a su compleja forma geométrica y los fenómenos que aquí se producen. Las principales partes que componen esta zona son: corazón, pata de liebre y contracarril (véase Fig.3). Se pueden distinguir distintos tipos de cruzamiento, pueden ser con corazón fijo, móvil, o con pata de liebre móvil.

Varios investigadores han demostrado extensamente la importancia que presenta la elasticidad de la vía durante la circulación de un vehículo [3,5-7]. No obstante, la relevancia de este parámetro en los desvíos aún no ha sido estudiado en profundidad.

2. Elasticidad de Vía

La elasticidad global de vía está compuesta, en general, por la elasticidad del conjunto de elementos que componen la vía [8,9]. Por lo tanto, la elasticidad de vía depende del tipo de carril, soportes elásticos (PADS), balasto/placa, sub-balasto, traviesas, etc. (véase Fig. 4).

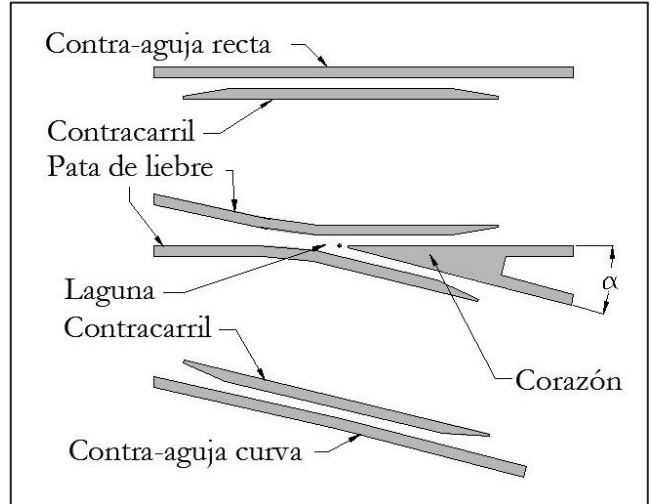


Figura 3: Partes de un desvío típico, zona del cruzamiento
Fuente: Elaboración propia.

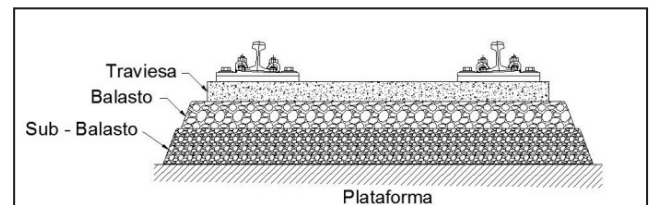


Figura 4. Esquema de vía sobre balasto
Fuente: Elaboración propia.

Cuando un vehículo circula por vía convencional, la elasticidad está definida por los elementos mencionados anteriormente, pero en un desvío, la elasticidad se ve afectada por los cambios geométricos que se producen producto de las agujas, el corazón y demás elementos que componen un desvío.

Para lograr un adecuado análisis de la influencia de la elasticidad, esta investigación se dividió en dos partes:

- En la primera se buscó determinar el efecto que presenta el cambio de la elasticidad en los desvíos y para ello se desarrollaron dos modelos de desvío en un software multicuerpo (Simpack), desvío A y B, simulando la circulación de un vehículo tipo metro. En cada modelo de desvío se realizaron variaciones de la elasticidad nominal de vía y con ello se obtuvieron las fuerzas verticales máximas en cada zona de interés, producidas por la circulación del vehículo. Es importante destacar que el software multicuerpo no considera (por defecto) las variaciones geométricas de la vía, por lo que la elasticidad de la vía no cambia, cuando la geometría varía.
- En la segunda parte del estudio, una vez analizada la influencia del valor de la elasticidad, se procedió a modelar por el método de elementos finitos el desvío A, para así determinar la elasticidad teórica en cada punto de la vía, considerando así los cambios geométricos producto del desvío. Una vez conocida la variación de la elasticidad a lo largo de la vía, esta se utilizó para complementar el modelo multicuerpo de Simpack permitiendo así considerar los cambios de elasticidad producto de los cambios de geometría inducidos por la aparición del desvío. Con dichas consideraciones en el modelo se volvió a analizar la influencia de la misma en la circulación.

Para facilitar el estudio se analizaron dos tipos de desvíos denominados A y B. El desvío A ha sido modelado como un desvío optimizado con el sistema FAKOP y corazón de punta móvil, por otra parte el desvío B es un desvío convencional con corazón de punta fija. Ambos desvíos presentan un radio de 500 metros, con vía desviada hacia la derecha de la vía principal.

El sistema FAKOP consiste en desplazar lateralmente la contra-aguja recta hacia el exterior de la vía [4], dejando una concavidad hacia el interior de la vía tal y como se indica en la Fig. 5. Esta geometría permite una variación en el radio de rodadura, lo que provoca que el eje se desplace lateralmente hacia la concavidad, compensando así el cambio del radio, lo cual permite evitar el ataque de la rueda hacia la aguja recta. Además, la zona de cruzamiento está compuesta por un corazón móvil y pata de liebre fija.

3. Modelos multicuerpo con elasticidad de vía constante

Para simular la circulación de un vehículo por cada desvío se desarrollaron los respectivos modelos de vía/desvío y vehículo en el software multicuerpo Simpack [10-12] (véase Fig. 6), definiendo la rigidez y la elasticidad de vía mediante muelles y amortiguadores respectivamente. Primero se modelaron los desvíos A y B en Simpack, tanto para la circulación por vía directa como desviada (4

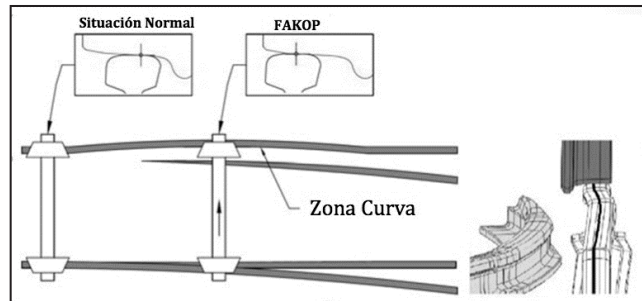


Figura 5. Sistema FAKOP
Fuente: Elaboración propia.

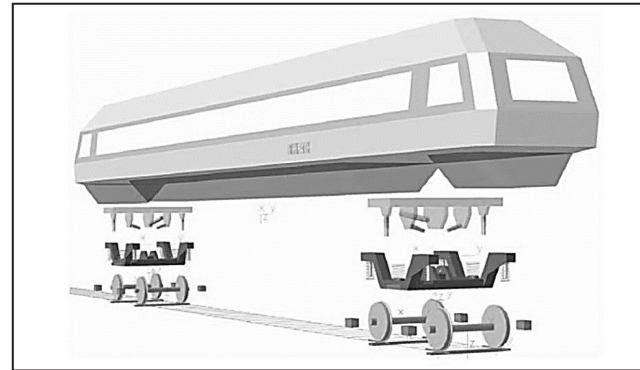


Figura 6. Comparación fuerzas verticales en desvío por vía directa
Fuente: Elaboración propia.

modelos en total). Luego, en cada modelo se definió un valor nominal de rigidez y amortiguamiento de vía mediante muelles y amortiguadores respectivamente. Y a partir de estos modelos “base”, se obtuvieron nuevos modelos a partir de la variación porcentual del valor nominal de amortiguamiento y rigidez de vía, con el objetivo de determinar así la influencia de la elasticidad en cada desvío (A y B). Las variaciones realizadas fueron de: -50%, -25%, 25% y 50% respecto del valor nominal de elasticidad.

Para poder obtener la influencia de la rigidez vertical, se calcularon las fuerzas que se producen en el punto de contacto rueda-carril en cada modelo desarrollado. Así se obtuvieron los picos de fuerzas en las zonas de cambio y cruzamiento. Para cada desvío, estos cálculos fueron graficados y comparados con los valores de una vía rígida, tanto como por circulación directa como por desviada para las zonas de cambio y de cruzamiento (véase Fig. 7 y 8).

En el caso de circulación por vía directa (véase Fig. 7), se distingue claramente que para ambos desvíos, A y B, la fuerza vertical se incrementa al aumentar la rigidez de la vía. Si se compara los resultados obtenidos de los dos modelos, se distingue que las magnitudes de las fuerzas verticales son mayores en el desvío B que en el A, y a su vez el modelo B presenta una gran sensibilidad a los cambios de rigidez.

El análisis de los resultados obtenidos al circular por vía desviada (véase Fig. 8), son semejantes a los anteriores, ya que se observa que la fuerza vertical aumenta cuando la rigidez es mayor. En ambos casos la fuerza vertical posee grandes variaciones en el desvío B, producto de la variación

en la rigidez vertical, principalmente en la zona de cambio.

Es importante destacar que las condiciones de carga para un desvío son recomendadas principalmente por cada fabricante de desvíos, y por los administradores de la vía, por lo que las condiciones de carga modeladas en el presente trabajo no se ajustan necesariamente a los requerimientos de cada administración o fabricante.

Como conclusión de esta parte del estudio, se puede observar que la magnitud de la fuerza vertical en la vía aumenta si la rigidez de la vía es mayor, además se puede observar que si se implementa el sistema FAKOP, es decir, si se realizan cambios geométricos en la zona de cambio y se implementa un sistema de corazón móvil, las fuerzas disminuyen considerablemente.

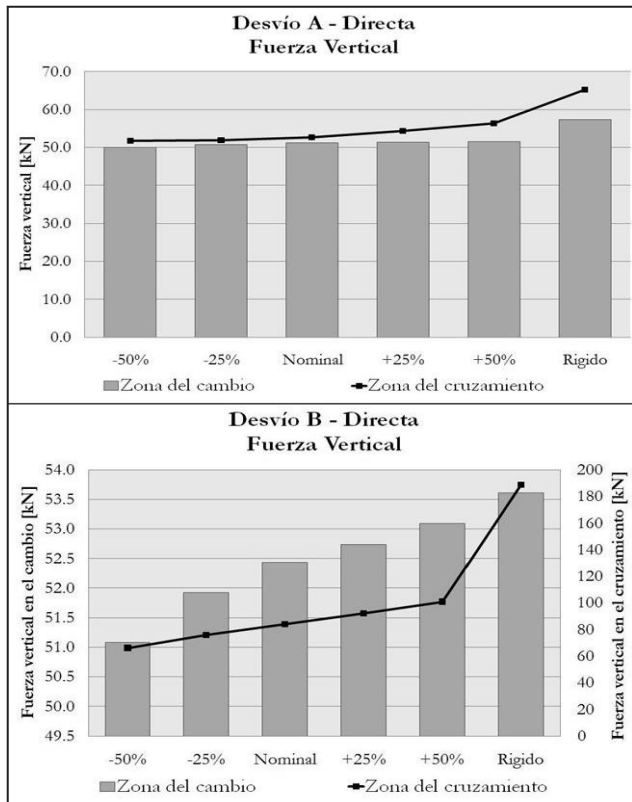


Figura 7. Comparación fuerzas verticales en desvío por vía directa Fuente: Elaboración propia.

4. Modelos multicuerpo con elasticidad de vía variable

Se ha demostrado al estudiar el comportamiento dinámico de un sistema convencional vehículo-vía que los cambios de rigidez son de segundo orden, y por lo tanto su influencia es menor en comparación de otras variables. Sin embargo, al estudiar la circulación por un desvío, las condiciones de elasticidad se ven alteradas drásticamente producto de los abruptos cambios geométricos existentes en un desvío [13].

Para poder estudiar el comportamiento de vía bajo condiciones de elasticidad variable, cosa que por defecto no permite Simpack, se desarrolló un modelo en ABAQUS [14-16] del desvío tipo A, para circulación por vía directa.

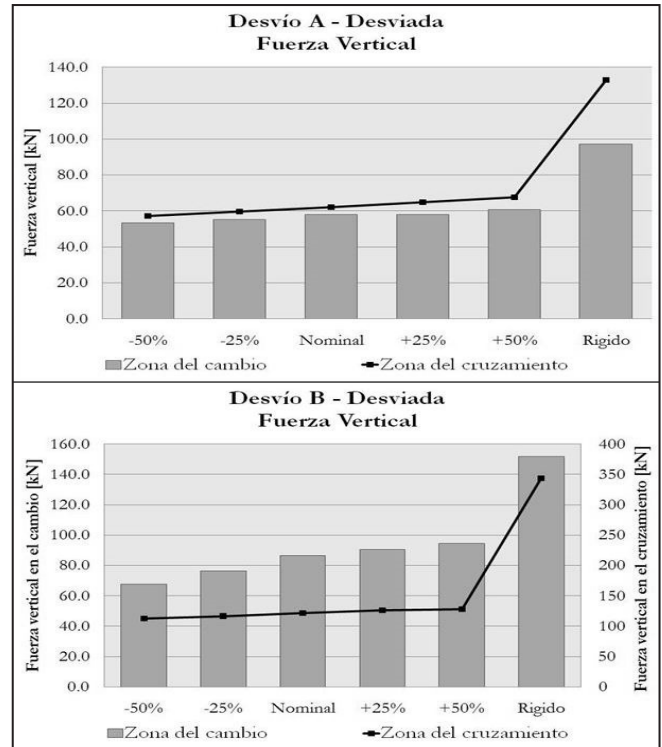


Figura 8. Comparación fuerzas verticales en desvío por vía desviada Fuente: Elaboración propia.

Con este objetivo se elaboró un modelo 3D para el carril derecho e izquierdo, y se cuantificó la rigidez vertical de vía por medio del método de elementos finitos [17], para luego utilizar dicha elasticidad en los modelos dinámicos en Simpack.

En estos modelos de elementos finitos se consideró la forma geométrica correspondiente a cada carril en el desvío, considerando la elasticidad de los soportes elásticos (PADS) y la distancia entre traviesas. Por otra parte, para simplificar el problema se consideró que las traviesas y placas poseían una rigidez infinita.

5. Cálculo de la elasticidad de vía

Una vez separada la vía en derecha e izquierda, cada carril fue dividido en secciones según la cantidad de zonas de interés. De esta forma el carril izquierdo se modeló en tres zonas, la zona de cambio, de carriles de unión y de cruzamiento. En cambio el carril derecho que requería una mayor partición debido a la complejidad que éste presenta, se dividió en seis zonas, dos divisiones para la zona de cambio, una para la zona de carriles de unión y tres para la zona de cruzamiento.

Una vez desarrollados los modelos, se asignaron las siguientes propiedades del material (acero): $E=210.000 \text{ N/mm}^2$, $\nu=0,3$ y $\rho=7.850 \text{ kg/m}^3$.

Para poder completar el modelo, fue necesario asignar la rigidez de vía, esta rigidez se definió por los soportes elásticos dispuestos en el patín del carril, es decir en la parte inferior del carril, espaciados según la distribución de las traviesas (proporcionada por el fabricante del desvío). La

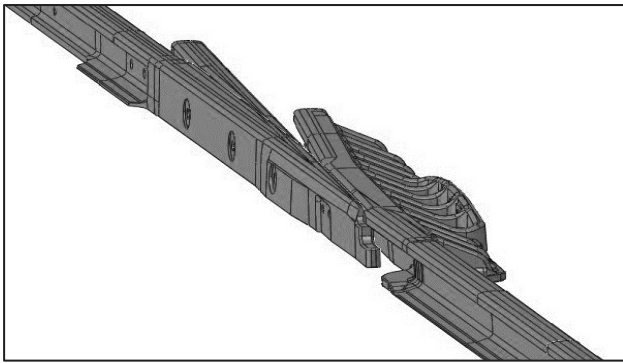


Figura 9. Parte del modelo en Abaqus de la zona del corazón de punta móvil
Fuente: Elaboración propia.

rigidez de estos soportes está dada por cuatro casos, tres casos con rigidez constante (200, 100 y 20 kN/mm) y uno con rigidez variable que cambia en función de la posición en la vía. Los valores utilizados en el caso de rigidez variables fueron considerados en función de los estudios iniciales y definidos arbitrariamente por el investigador, considerando que ocurren cambios geométricos en las vías. Lo anterior fue desarrollado para ambos carriles, derecho e izquierdo, obteniendo así ocho modelos en total.

El siguiente paso consistió en confeccionar el mallado de los carriles, siendo uno de los procedimientos más laboriosos del modelo, debido que para obtener resultados más precisos, fue necesario confeccionar un mallado muy fino, aumentando considerablemente los requerimientos computacionales. Es por este motivo que se decidió dividir los carriles aislando aquellas zonas de geometría más compleja (véase Fig. 9), de esta forma se logró definir un mallado fino en las zonas complejas, como por ejemplo en el corazón, y en las aquellas zonas de menor complejidad geométrica se optó por un mallado más basto. Con este procedimiento cada modelo no sobrepasó los 550.000 elementos.

Una vez definidos los modelos, se procedió a definir todas aquellas posiciones a lo largo del carril en los que se deseaba conocer la rigidez de la vía. Luego, para cada una de estas posiciones se procedió a calcular la rigidez vertical de la vía, para luego post-procesar los resultados e implementarlos en los modelos dinámicos Simpack.

El procedimiento para calcular la rigidez vertical del carril en cada posición consistió en aplicar una carga vertical estática sobre la cabeza del carril, y luego calcular la deformación de la vía en ese punto. Con la deformación obtenida producto de la aplicación de la carga se obtiene la rigidez vertical de vía. Este procedimiento se repite en todas aquellas posiciones en los que se deseaba conocer la elasticidad.

Para poder realizar los cálculos de las deformaciones verticales de vía, se creó una batería de cálculo en MATLAB, debido a que se necesitaban tantos cálculos como posiciones de aplicación de la carga. Es así como se creó un fichero con la información de cada punto de aplicación de la carga, para luego calcular la deformación del carril en cada punto de aplicación, de esta forma se pudo calcular la rigidez vertical de vía para ambos carriles en función de la posición.

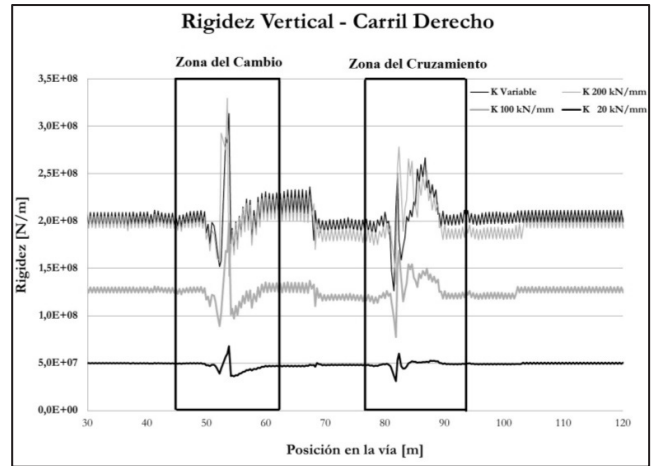


Figura 10. Rigidez vertical calculada en ABAQUS, carril derecho
Fuente: Elaboración propia.

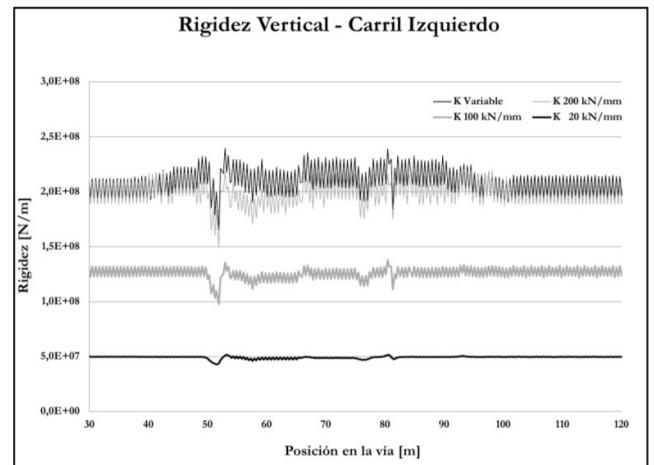


Figura 11. Rigidez vertical calculada en ABAQUS, carril izquierdo
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos, mostrados en las Fig. 10 y 11, se puede observar que en la zona de cambio y de cruzamiento, la rigidez vertical varía en función de la posición para cierta carga aplicada. Además, la magnitud de la rigidez de vía depende también de la rigidez de los soportes, si la rigidez de los soportes es mayor, la rigidez de vía también lo será, y por último si se compara los dos carriles para una misma rigidez, se observa claramente que las variaciones son mayores en el carril derecho que en el izquierdo producto que en el primero se observan los mayores cambios geométricos.

6. Introducción de la elasticidad en los modelos multicuerpo de Simpack

Una vez obtenida la rigidez en Abaqus, se incorporó dicha rigidez en los modelos de Simpack. Para considerar la elasticidad calculada previamente en Simpack se desarrollaron ocho ficheros de texto, cada uno con los valores de rigidez en cada posición del carril obtenidos en Abaqus (cuatro ficheros para el carril derecho y cuatro para

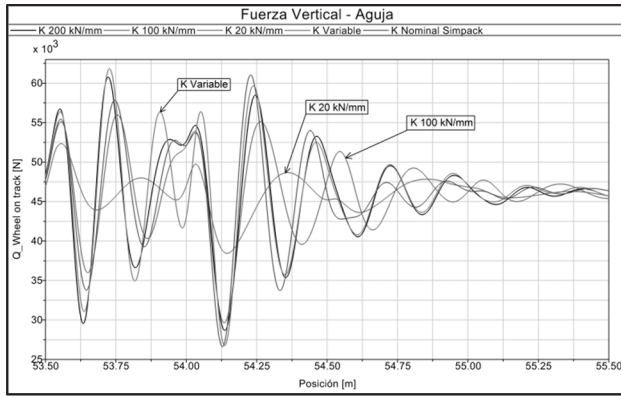


Figura 12. Fuerza vertical, zona de las agujas
Fuente: Elaboración propia.

el izquierdo). Una vez listos los ficheros, se crearon y definieron las respectivas funciones en Simpack dependientes de estos ficheros. De esta manera en cada modelo la rigidez vertical quedó definida por una determinada función exclusiva para cada caso de estudio.

La rigidez vertical de vía que se implementó en Simpack corresponde a las cuatro rigideces calculadas en Abaqus para los distintos tipos de rigidez de definidos en los soportes, y una quinta con la rigidez nominal constante proporcionada por Simpack.

Al analizar los resultados, se distinguen tres zonas irregulares a lo largo de los carriles, la primera corresponde a la zona de cambio y las otras dos a la zona de cruzamiento. En la zona de cambio representada en la Fig. 12, se observa que la fuerza varía considerablemente. Esta variación se debe principalmente a los cambios geométricos que posee la vía en esa zona, debido a que el vehículo se ve afectado repentinamente por la incorporación de las agujas. Además se observa que la magnitud de la fuerza disminuye cuando la rigidez es menor.

Por otra parte, en la primera zona de cruzamiento (Fig. 13), la dinámica del vehículo se ve afectada exclusivamente por la elasticidad de vía y no por sus cambios geométricos producto de la aparición del corazón como era de esperar. De esta figura se concluye que la las fuerzas en el contacto al internarse en la zona del cruzamiento se ven influenciadas por la rigidez equivalente de la vía.

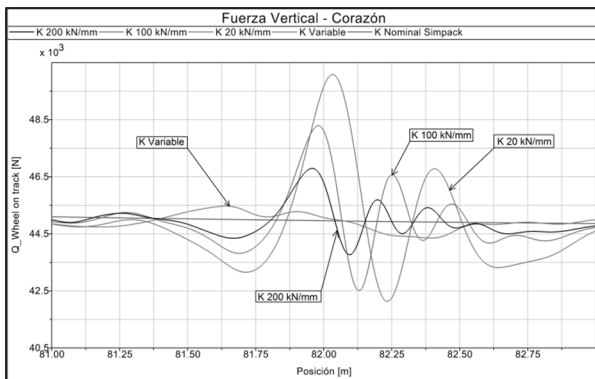


Figura 13. Fuerza vertical, zona de la punta del corazón, influencia de la elasticidad
Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la segunda zona de cruzamiento también se tienen variaciones de las fuerzas verticales (Fig. 14), se aprecia que las variaciones de la fuerza son semejantes entre una magnitud de rigidez y otra, por lo tanto la influencia de la rigidez en esta zona pasa a ser despreciable, y solamente se puede considerar que la variación de las fuerzas se debe en su totalidad al cambio geométrico de los carriles. Por lo tanto la geometría del carril en este punto es la que determina el comportamientos de la fuerzas.

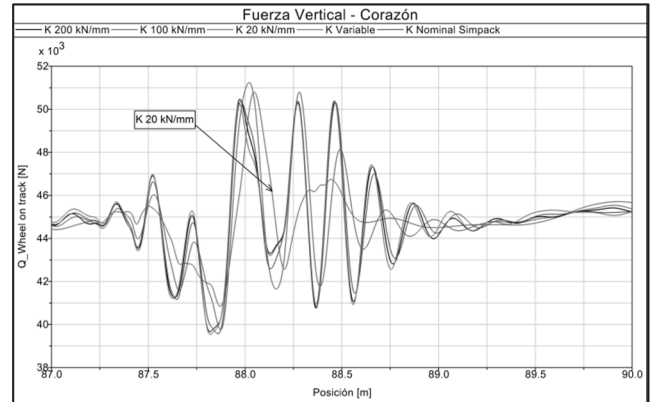


Figura 14. Fuerza vertical, zona del corazón, influencia geométrica
Fuente:Elaboración propia.

7. Comentarios finales y conclusiones

Al realizar un estudio del comportamiento dinámico del sistema, principalmente de la influencia de la elasticidad de vía en los desvíos ferroviarios, se pudo demostrar que el sistema FAKOP logra minimizar los efectos dinámicos ocurridos en las zonas de cambio y cruzamiento. Los efectos dinámicos se ven reflejados principalmente a través de las fuerzas que se inducen en la vía. En concreto, si se considera una vía rígida, o una rigidez constante, las fuerzas inducidas en la vía son mayores, y a la vez estas aumentan al aumentar la rigidez vertical.

Por otra parte, se desarrollaron modelos para calcular la rigidez variable de la vía por medio del método de elementos finitos, lográndose así obtener la rigidez de la vía para distintos valores de rigidez vertical, en función de la posición del carril. Esto se desarrolló con el fin de implementar estos resultados en un modelo de simulación para luego poder evaluar la influencia de ésta rigidez en la vía. Como resultado se obtuvo que al aumentar la rigidez de vía, considerando los cambios de la elasticidad producidos por el desvío, las fuerzas verticales aumentan, principalmente en la zona de cambio, y en la primera zona de cruzamiento. Otro fenómeno importante que ocurre en la zona de cruzamiento, es que los cambios abruptos de rigidez provocan aceleraciones verticales en el vehículo, lo que se traduce en un aumento en las fuerzas verticales.

Referencias

- [1] Button, K., Transportation economics: Some developments over the past 30 years, Transportation Research Forum, 45 (2), pp. 7-30, 2006.

- [2] Givoni, M. and Banister, D., Role of the railways in the future of air transport, *Transportation Planning and Technology*, 30 (1), pp. 95-112, 2007. <http://dx.doi.org/10.1080/03081060701208100>
- [3] Lagos, R.F., Alonso, A., Vinolas, J., and Perez, X., Rail vehicle passing through a turnout: Analysis of different turnout designs and wheel profiles, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Journal of Rail and Rapid Transit*, 226 (F6), pp. 587-602 2012. <http://dx.doi.org/10.1177/0954409712445114>
- [4] García-Díaz De Villegas, J.M. and Bugarín, M.R., Improvements in railway switches, *J. Rail Rapid Transit*, 216 (4), pp. 275-286, 2002. <http://dx.doi.org/10.1243/095440902321029226>
- [5] Kassa, E. and Nielsen, J.C.O., Dynamic interaction between train and railway turnout: Full-scale field test and validation of simulation models, *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 46 (Suppl.1), pp. 521-534, 2008.
- [6] Johansson, A., Pålsson, B., Ekh, M., Nielsen, J.C.O., Ander, M.K.A., Brouzoulis, J. and Kassa, E., Simulation of wheel-rail contact and damage in switches & crossings, *Wear*, 271 (1-2), pp. 472-481, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2010.10.014>
- [7] Gurule, S. and Wilson, N., Simulation of wheel/rail interaction in turnouts and special track work, *Vehicle System Dynamics*, 33 (Suppl.), pp. 143-154, 2000.
- [8] Lei, X.-Y. and Zhang, B., Analysis on dynamic behavior of ballastless track based on vehicle and track elements with finite element method, *Tiedao Xuebao, Journal China Railway Society*, 33 (7), pp. 78-85, 2011.
- [9] Remennikov, A.M. and Kaewunruen, S., Experimental investigation on dynamic railway sleeper/ballast interaction, *Experimental Mechanics*, 46 (1), pp. 57-66, 2006. <http://dx.doi.org/10.1007/s11340-006-5868-z>
- [10] Schupp, G., Netter, H., Mauer, L. and Gretzschel, M., Multibody system simulation of railway vehicles with SIMPACK, *Vehicle System Dynamics*, 31 (Suppl.), pp. 101-118, 1999.
- [11] Iwnicki, S., The Manchester benchmarks for rail vehicle simulation, *Vehicle System Dynamics*, 30 (S), pp. 295-313, 1998
- [12] Lagos, R.F., Alonso, A., Vinolas, J. y Sanchez, J.C., Simulación del comportamiento dinámico de vehículos ferroviarios a su paso por desvíos. Influencia de parámetros, XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Asociación Española de Ingeniería Mecánica, Ciudad Real, 10 P., 2010.
- [13] Iwnicki, S., *Handbook of railway vehicle dynamics*, CRC/Taylor & Francis, 2006.
- [14] Galeano, C., Mantilla, J., Duque, C. and Mejía, M., Herramientas de software con licencia pública general para el modelado por elementos finitos, *DYNA*, 74 (153), pp. 313-324, 2007.
- [15] Wiest, M., Kassa, E., Daves, W., Nielsen, J.C.O. and Ossberger, H., Assessment of methods for calculating contact pressure in wheel-rail/switch contact, *Wear*, 265 (9-10), pp. 1439-1445, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2008.02.039>
- [16] Wiest, M., Daves, W., Fischer, F.D. and Ossberger, H., Deformation and damage of a crossing nose due to wheel passages, *Wear*, 265 (9-10), pp. 1431-1438, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2008.01.033>
- [17] Messen, R. and Kik, W., Running through a switch - simulation and test, *Vehicle System Dynamics*, 23 (Suppl), pp. 378-389, 1994. <http://dx.doi.org/10.1080/00423119308969528>

R.F. Lagos-Cereceda, se recibió como Ing. Mecánico en 2004 en la Universidad de Santiago de Chile, Chile, en 2009 se recibe como Ing. Civil Industrial por la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. En 2012 obtiene el grado de Dr. en Ingeniería Industrial por la Universidad de Navarra, España. Desde 2003 a 2005 trabajó como ingeniero de proyectos, para luego desarrollarse como ingeniero calculista en el ámbito estructural y gerente de producción. A partir del año 2008 se especializa en el área ferroviaria. Y a partir del año 2012 forma parte del cuerpo docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile. Su investigación se centra principalmente en la interacción vehículo/desvío, desvíos ferroviarios, modelación multicuerpo, MEF.

K.L. Alvarez-C., desde el año 2012 participa activamente en diversos proyectos de investigación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile. En el 2013 participó

en la investigación Elasticidad de Vías Ferroviarias, modelando componentes estructurales en Abaqus. En la actualidad participa en el desarrollo de proyectos de viviendas energéticamente sustentables y estudios en dinámica ferroviaria. Además se encuentra preparando la defensa de su tesis de grado "Desarrollo y validación de una metodología para medición de ruido generado al paso de un vehículo ferroviario" para optar al Título de Ingeniero Mecánico, en la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

A. Alonso-Pazos, se recibió como Ing. Industrial en 2002 y en 2005 se recibe como Dr. en Ingeniería Mecánica, por la Universidad de Navarra, España. Desde el año 2002 es miembro del departamento de Mecánica Aplicada del CEIT, desarrollando su trabajo principalmente en el grupo de Dinámica Ferroviaria. Actualmente es jefe del laboratorio de ferrocarriles CAF-CEIT. Sus investigaciones se centran en el contacto rueda-carril, estabilidad dinámica de vehículos ferroviarios, transmisión de vibraciones, ruido ferroviario y caracterización de propiedades dinámicas en materiales viscoelásticos. Ha participado en la supervisión de 5 tesis doctorales, es autor o co-autor de más de 16 publicaciones indexadas ISI y ha participado y/o dirigido más de 14 proyectos de investigación nacionales y europeos.

J. Vinolas-Prat, es Ing. Mecánico por la Universidad de Navarra, España, obtuvo el Dr. en esta misma institución en 1991. Sus intereses científicos se han centrado en los campos de la dinámica de máquinas, ruido y vibraciones, dinámica ferroviaria e interacción con la infraestructura. Obtuvo la acreditación como profesor catedrático de la ANECA en 2010. En su haber consta la publicación de alrededor de 50 artículos científicos en revistas indexadas (ISI) en áreas tales como análisis estructural, dinámica ferroviaria, suspensiones activas, trenes basculantes, reducción de ruido, interacción rueda/carril y otros aspectos relacionados con la optimización de los componentes de vehículos y máquinas. Es miembro del comité científico de la Conferencia Internacional sobre ruido y vibraciones ISMA, miembro del Consejo Editorial de la Revista *IMEch Journal of Rail and Rapid Transit* y del Consejo Editorial de la Revista *International Journal of Rail Transportation (IJRT)*.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Ingeniería Civil

Oferta de Posgrados

- Especialización en Vías y Transportes
- Especialización en Estructuras
- Maestría en Ingeniería - Infraestructura y Sistemas de Transporte
- Maestría en Ingeniería - Geotecnia
- Doctorado en Ingeniería - Ingeniería Civil

Mayor información:

John Jairo Blandón Valencia
Director de Área curricular
asisaciac_med@unal.edu.co
(57-4) 425 5172

