

NOTA TECNICA
VALORACION DE LA SEGURIDAD DE LA CIRCULACION. L12
27.07.2021

En esta nota técnica se realiza una valoración de la seguridad de circulación de las unidades FE10 de CAF en las vías de la línea 12. La valoración permite obtener una visión cuantificada de los márgenes de seguridad existentes en el sistema tren-vía, aunque está supeditada a la información del estado de las vías que se ha podido recopilar en el limitado espacio de tiempo que se ha dispuesto, en un formato viable (digital) para los medios de cálculo correspondientes.

1.- Consideraciones preliminares sobre la Seguridad del sistema Tren-Vía

El análisis de la seguridad del sistema tren vía, de forma general requiere la realización de los siguientes pasos:

Cálculos dinámicos de diseño.

Las normas aplicables UIC518 / EN14363 fijan las condiciones de diseño del material rodante, de modo que sean adaptables a las vías (también normalizadas); dichas condiciones, cubren las diferentes variabilidades (hasta condiciones excepcionales) que puedan encontrarse en las vías y en el material rodante, y poder circular con márgenes de seguridad que cubran dichas eventualidades.

Ensayos en banco y vía

Los ensayos, incluyendo ensayos en banco verificando los parámetros de suspensión, como los ensayos en vía en condiciones reales, permiten certificar la seguridad de circulación del material rodante que se trate, y complementando y reforzando las predicciones de los modelos dinámicos.

En el caso de las unidades FE10 de CAF, se realizaron todas las fases de cálculo y ensayos en vía durante la puesta en servicio y se documentaron debidamente dando cumplimiento a los compromisos y certificando la seguridad de dicho tipo de material rodante en las vías de L12.

Estudios adicionales (campaña 2014-2015)

En el período 2014-2015 se realizó una extensa campaña de tanto estudios teóricos como de ensayos en vía, a raíz de los problemas de desgaste ondulatorio encontrados en algunas zonas de la vía. Al final de todo este proceso, se realizaron unas mejoras tanto en el material rodante como en las vías y la operación, orientadas fundamentalmente a la optimización del desgaste y la reducción de costes de mantenimiento, y al mismo tiempo se certificó la seguridad de todas las configuraciones ensayadas, mediante detallados ensayos con una completa instrumentación tanto en trenes como en vías.

Todo el proceso fue coordinado y finalmente validado por Systra, así como diferentes consultores y expertos de apoyo con los que se contó, cubriendo todos los diferentes aspectos de asistencia y asesoramiento, entre los que se pueden mencionar: SNCF, Vibratec, TSO, Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas (CEIT), Centro de Ensayos CETEST, así como expertos de reconocido prestigio internacional en desgaste ondulatorio (Dr Stuart Grassie) y aparatos de vías (Dr Miguel Angel Bugarin).

Planes de Mantenimiento

Los estudios y ensayos mencionados previamente certifican la seguridad del diseño y operación de una tipología de material rodante y vía, con lo que se habilita su puesta en servicio. A partir de ahí, la forma de cerrar el ciclo de la seguridad a lo largo del ciclo de vida descansa en los Planes de Mantenimiento.

Los planes de mantenimiento deben controlar la evolución así como actuar cuando proceda, para garantizar que todos los parámetros de afectan a la seguridad se mantienen en todo momento dentro de las tolerancias marcadas por sus respectivas normativas, y recogidas en sus planes de mantenimiento.

De esta manera, el aseguramiento de que las condiciones de seguridad se cumplen en todo momento no requiere la realización de cálculos dinámicos que han de ser actualizados con los datos del momento, sino que basta con asegurar que cada parte (material rodante/infraestructura/operación) cumple con sus compromisos de control de tolerancias a lo largo del tiempo. Ha de destacarse que el estado de material rodante e infraestructura es cambiante, y por tanto, un chequeo por cálculo de un instante de tiempo determinado, no asegura que con posterioridad se vayan a dar los mismos resultados.

Esta forma de proceder en la que cada parte asume su compromiso y responsabilidad de asegurar estar dentro de tolerancias, es lo habitual en las explotaciones ferroviarias, en las que con frecuencia circulan diferentes tipos de material rodante por las mismas vías, en muchos casos de diferentes fabricantes y con frecuencia también con diferentes operadores. No sería práctico en estos casos que cada fabricante de trenes en paralelo deba chequear su material en función del estado de las vías, sino que se entiende que asegurando cada uno las tolerancias de su parte se garantiza la seguridad, tal y como lo contemplan las normas al definir las condiciones a cada parte.

2.- Información disponible para análisis e hipótesis de cálculo

En el caso de las unidades FE10 sobre L12 se ha solicitado un análisis de la seguridad de la circulación en las condiciones reales de operación. Este análisis puede aportar una información adicional, de una forma cuantificada, de los márgenes de seguridad que pueden existir en un momento determinado.

En todo caso no habiendo dudas de tipo conceptual sobre la seguridad del diseño del material rodante y/o la infraestructura (habiéndose validado las mismas en estudios y fases anteriores como se ha explicado), ni habiendo un cuestionamiento de si cada parte cumple con sus tolerancias de mantenimiento, los resultados del cálculo dinámico no deberán sino confirmar lo que se espera, es decir, que los trenes en estas vías operan dentro de los márgenes de seguridad aceptables.

La realización de un análisis completo de la seguridad a lo largo de toda la vía en su estado real, requiere una información muy extensa, de una manera procesable, así como un conjunto amplio de estudios en diferentes escenarios de cálculo (riesgo de descarrilamiento, inestabilidades, esfuerzos máximos y ripado de vía, gálibo,). En cierta manera, sería como replicar una parte importante de los extensos estudios que se realizaron previamente, lo que requiere un cantidad importante de tiempo y recursos.

Teniendo en cuenta la urgencia de realizar una valoración en un corto espacio de tiempo, se ha enfocado el escenario de cálculo que cubra el riesgo que suele considerarse más habitual (la de mayor probabilidad dentro de una probabilidad muy pequeña), que es el análisis de la relación Y/Q (relación entre esfuerzo lateral y vertical en cada rueda) o coeficiente de descarrilamiento, al paso por una curva peraltada.

Dentro de este escenario, la condición más desfavorable suele ser recorrer la curva a baja velocidad (aceleración lateral negativa o hacia “dentro” de la curva), con el vehículo en Tara (menor esfuerzo vertical en contacto rueda riel) y la existencia de un defecto vertical en el riel exterior al comienzo de la transición de salida. Ahí es donde la rueda guía exterior puede tener más riesgo de descarrilarse, en caso de que la vía y/o el material rodante no cumplan con sus tolerancias. Este es el escenario que se ha adoptado en las simulaciones.

Por otro lado, y en relación a la vía, se ha dispuesto de una información completa del estado de la vía a lo largo de toda la línea, tanto la vía 1 como la vía 2, a través de unos registros del año 2019 de un tren auscultador. Desafortunadamente, los registros originales eran de un registrador gráfico en papel, y ahora se dispone de

documentos PDF escaneados, pero es impracticable convertir esta información en los registros digitales que requieren los programas de cálculo dinámico.

Ante ello, se ha procedido de la siguiente manera: se ha realizado un análisis visual de los registros identificando tipologías de defectos así como de sus valores máximos. Posteriormente se ha seleccionado una zona de la vía (una curva) considerable como más crítica desde el punto de vista de la seguridad, y se ha modelado manualmente misma, partiendo de su geometría nominal e incorporando los defectos máximos observados en la inspección visual de los registros. Es desfavorable considerarlo así por lo que está del lado de la seguridad.

La zona seleccionada corresponde a la curva 37, situada en el túnel, a la salida de la estación de Atlalilco, hacia Mexicaltzingo.

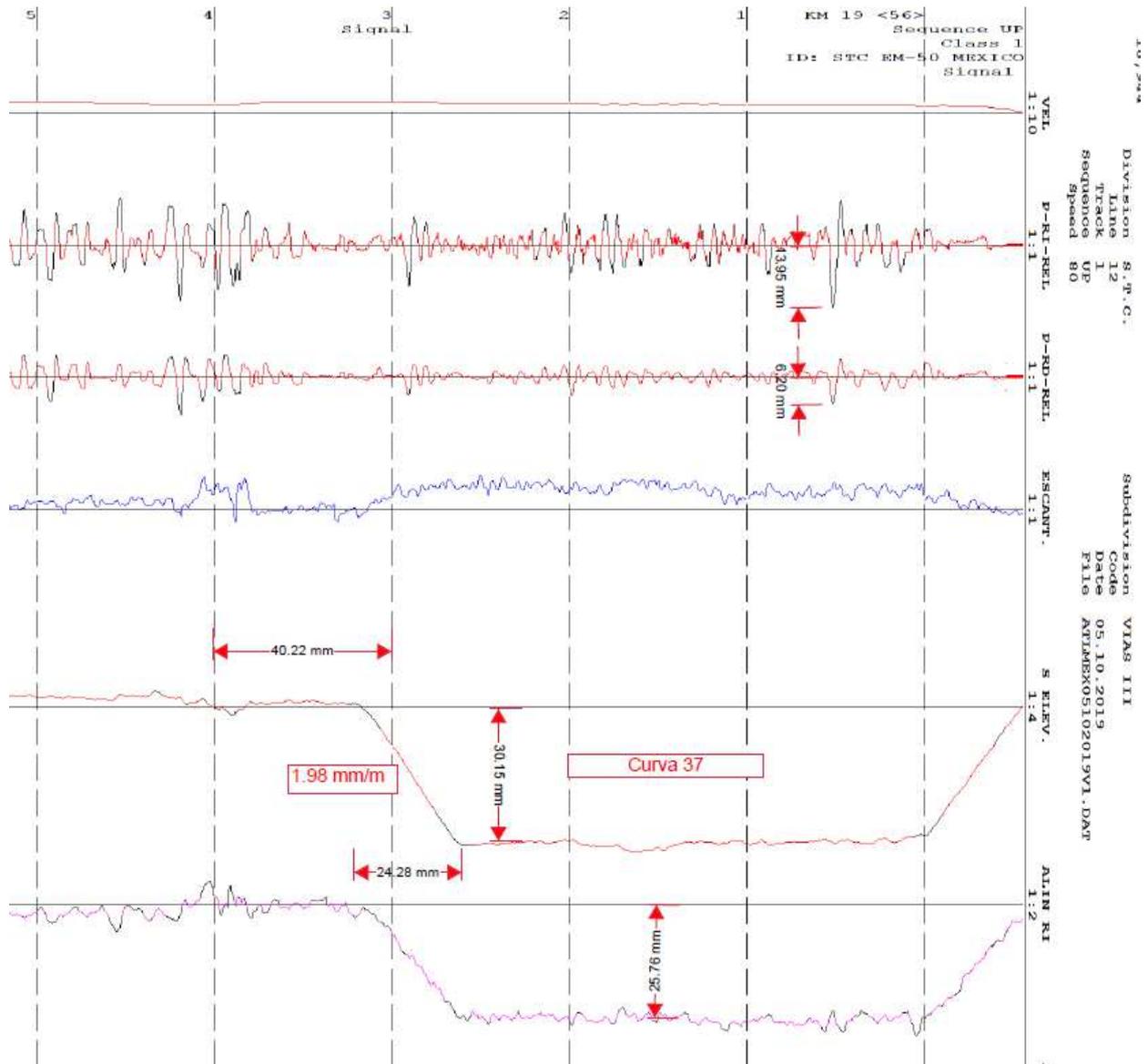


Figura 01. Extracto de los registros (2019) de geometría de vía. Estación de Atlalilco a la dcha de la gráfica

En la selección de esta curva se contó además con la información adicional facilitada por STC, que ya antes de este estudio ya la tenía considerada entre las curvas más críticas (junto con las siguientes curvas 43 y 44) debido a que tienen radio pequeño, y estas curvas (en túnel) no fueron rehabilitadas tras los estudios de 2015, como sí lo fueron las curvas similares en el viaducto, y por tanto continúan a día de hoy con los peraltes originales. De estas 3 curvas, el STC nos facilitó además una información digital (parcial) con los registros medidos de peralte real y trocha de vía, lo que ha facilitado su análisis, aunque la información sea incompleta.

La curva 37 es la que cuenta con el radio más cerrado ($R=200\text{ m}$) y con el desarrollo más largo, así como el peralte original ($P=114\text{ mm}$, siendo el valor $p=50\text{ mm}$ la modificación recomendada por Systra en 2015), por lo que ha sido la curva seleccionada y considerada como la más crítica para el cálculo. Se muestra la misma en la figura 02, en la que se incluye el tramo completo de túnel mostrando las curvaturas de las diferentes curvas.

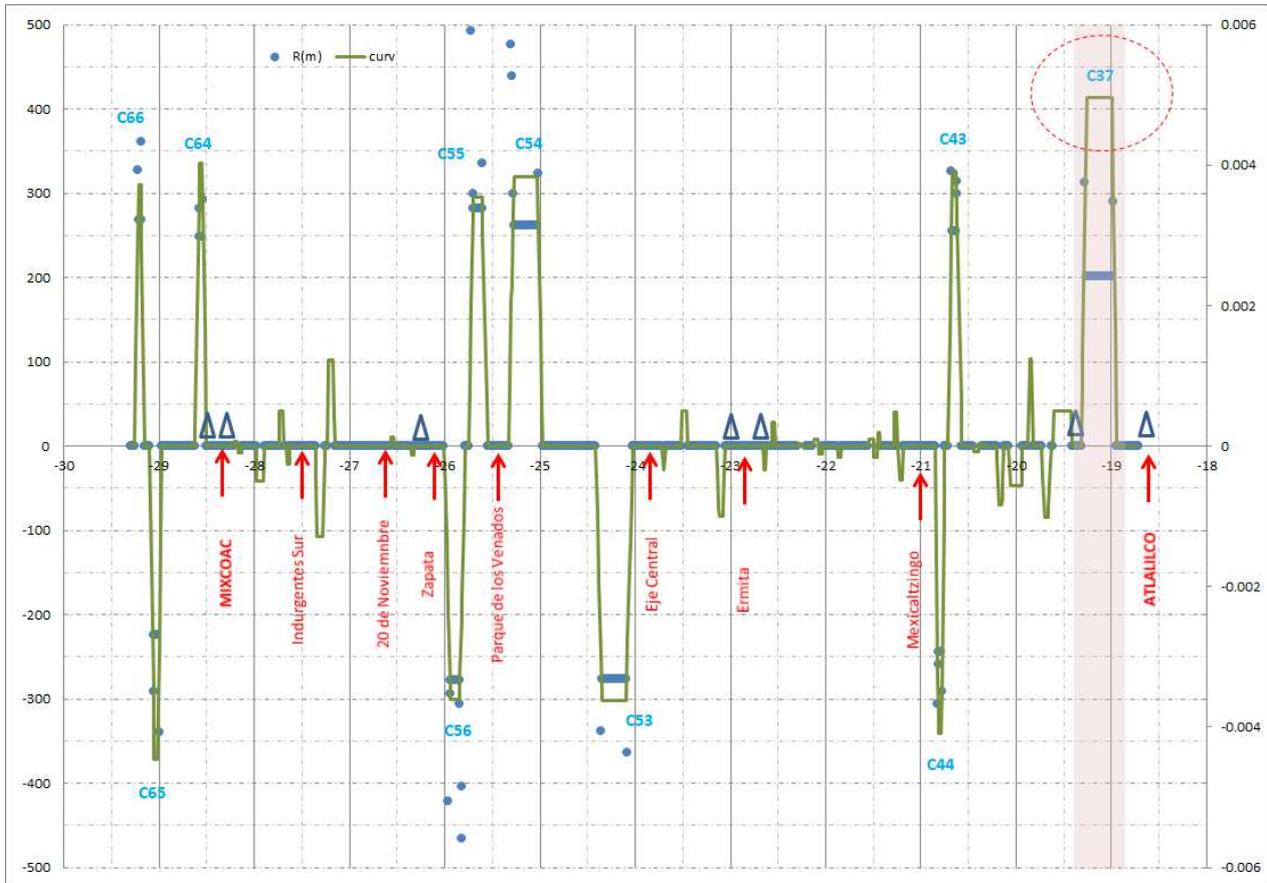


Figura 02

Por otro lado, los registros digitales facilitados por STC de los peraltes de la curva 37 muestran que los peraltes de las vías 1 y 2 son diferentes, correspondiendo el más alto a la vía 1 (promedio 114 mm) mientras que en la vía 2 el peralte es menor (promedio 92 mm). Al mismo tiempo la rampa de peralte (aspecto crítico en la seguridad frente al descarrilamiento) de la vía 1 es mayor, dando un valor de aproximadamente 2 mm/m .

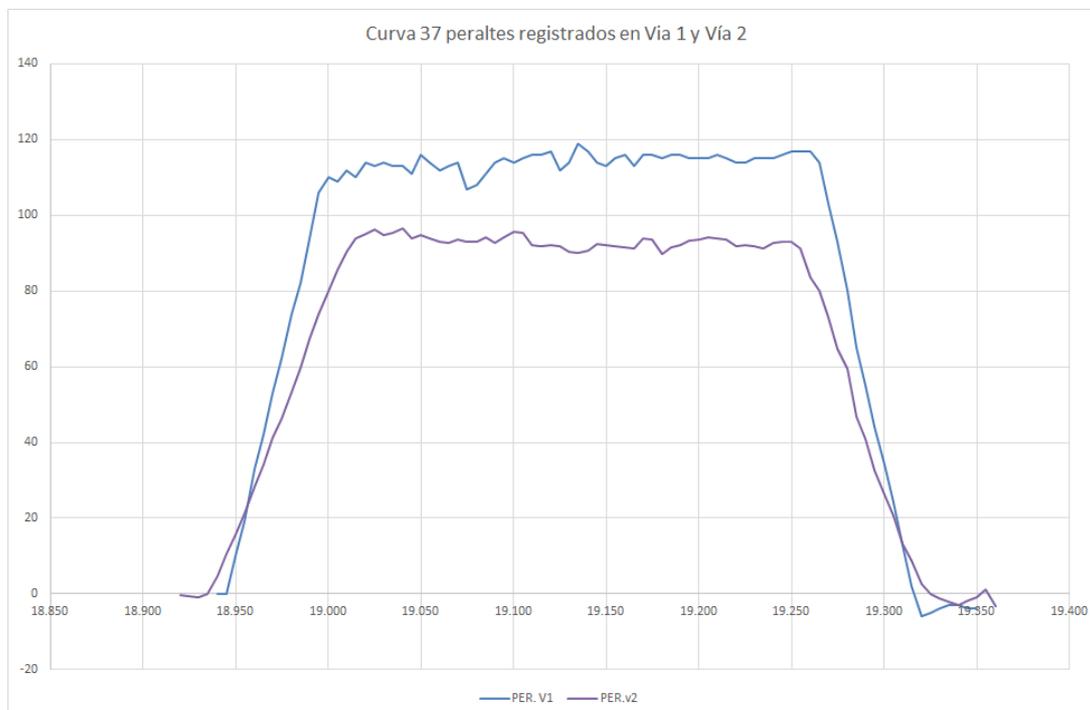


Figura 03. Peraltes facilitados por STC (en formato digital) en la Curva 37 (Vía 1 y Vía 2)

En el cálculo dinámico, a esta geometría de curva se le ha introducido un defecto de vía vertical, de orden de los mostrados en la figura 01 (las dos gráficas superiores), en el peor punto de la curva, es decir en el inicio de la transición de salida. La figura 04 ilustra el lugar de introducción de dicho defecto.

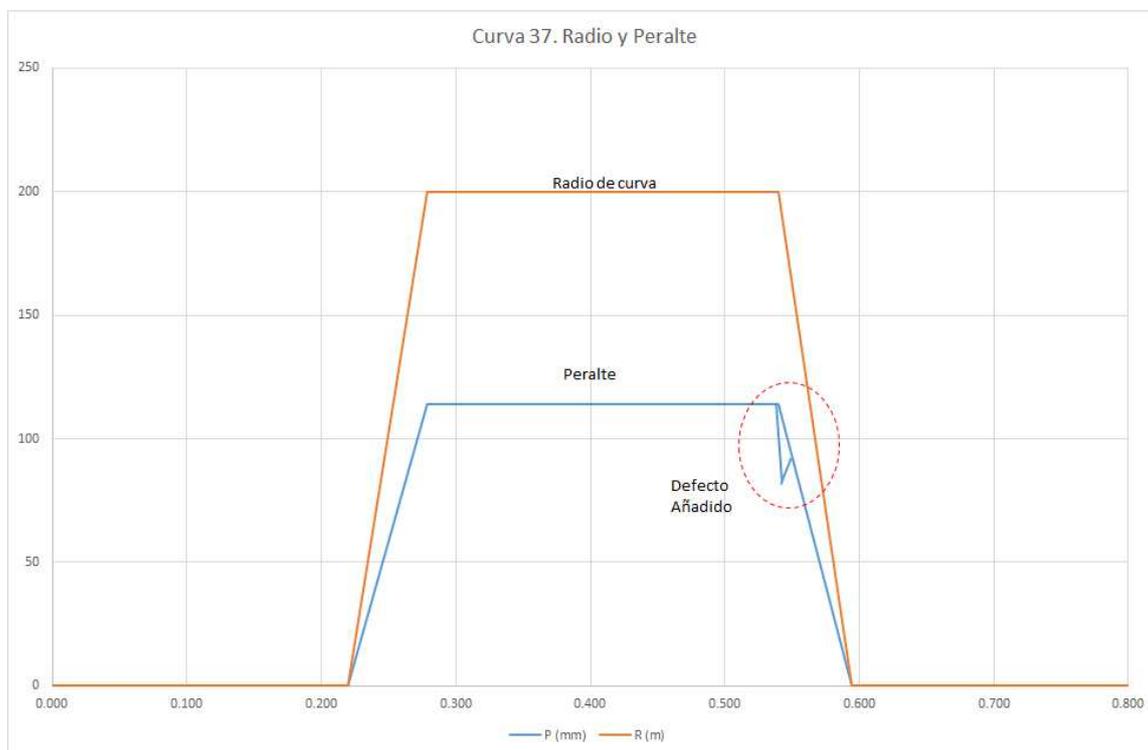


Figura 04. Se muestra el defecto añadido en la transición de salida de la curva 37

Ha de decirse que la introducción de este defecto de este nivel en ese punto es más desfavorable que lo observado en las figuras 01 y 03, en los que no se da la coincidencia de ese nivel de defecto en dicho punto. Por último, se han considerado dos niveles de defectos en dicho punto

Nivel A: con un orden de magnitud similar a lo observado en los registros de vía (ver figura 01)

Nivel B: con un orden de magnitud un 30% mayor. Este último caso se ha considerado con la idea de cubrir otros posibles variaciones y tolerancias no contempladas que pudieran existir.

3.- Cálculos dinámicos y análisis de resultados

Se han realizado cálculos dinámicos de circulación por esta curva considerada como crítica con un defecto añadido. La condición aplicada ha sido de tren en tara (el menor peso posible) y recorriendo la vía a 5 km/h, con lo que el peso del tren tiende a “caer” hacia el interior de la curva (aceleración lateral negativa) agravada por el peralte alto (curva no rehabilitada). De esta manera, las ruedas del riel exterior tienen una carga vertical menor, y sin embargo la carga lateral es necesaria para guiar a vehículo, para su giro o rotación) de modo que se produce el coeficiente de descarrilamiento Y/Q más alto.

En el Anexo se han incluido los resultados de los esfuerzos de contacto rueda riel, tanto en vertical (Q) como en horizontal (Y), del primer bogie del tren, el más crítico en este estudio, así como los coeficientes de descarrilamiento Y/Q resultantes de dichos esfuerzos.

Los escenarios calculados han sido 3:

- Curva con geometría nominal (R=200, peralte alto p=114, y rampa de peralte de 2 mm/m)
- Curva previa añadiendo un defecto de nivel A (nivel obtenido de los registros) en la transición de salida
- Curva con un defecto de nivel B (nivel ampliado un 30%) en la transición de salida

A continuación se analizan los resultados obtenidos.

En la figura 05 se muestran los índices Y/Q en la curva nominal. El peor punto se obtiene en la rueda 11 (YQ11) que es la rueda “guía” del primer eje, en el riel exterior, con un valor de $y/Q=0.63$ en la transición de salida. Todos los valores tienen un amplio margen hasta el valor límite considerado 1.20 (que se muestra en rojo)

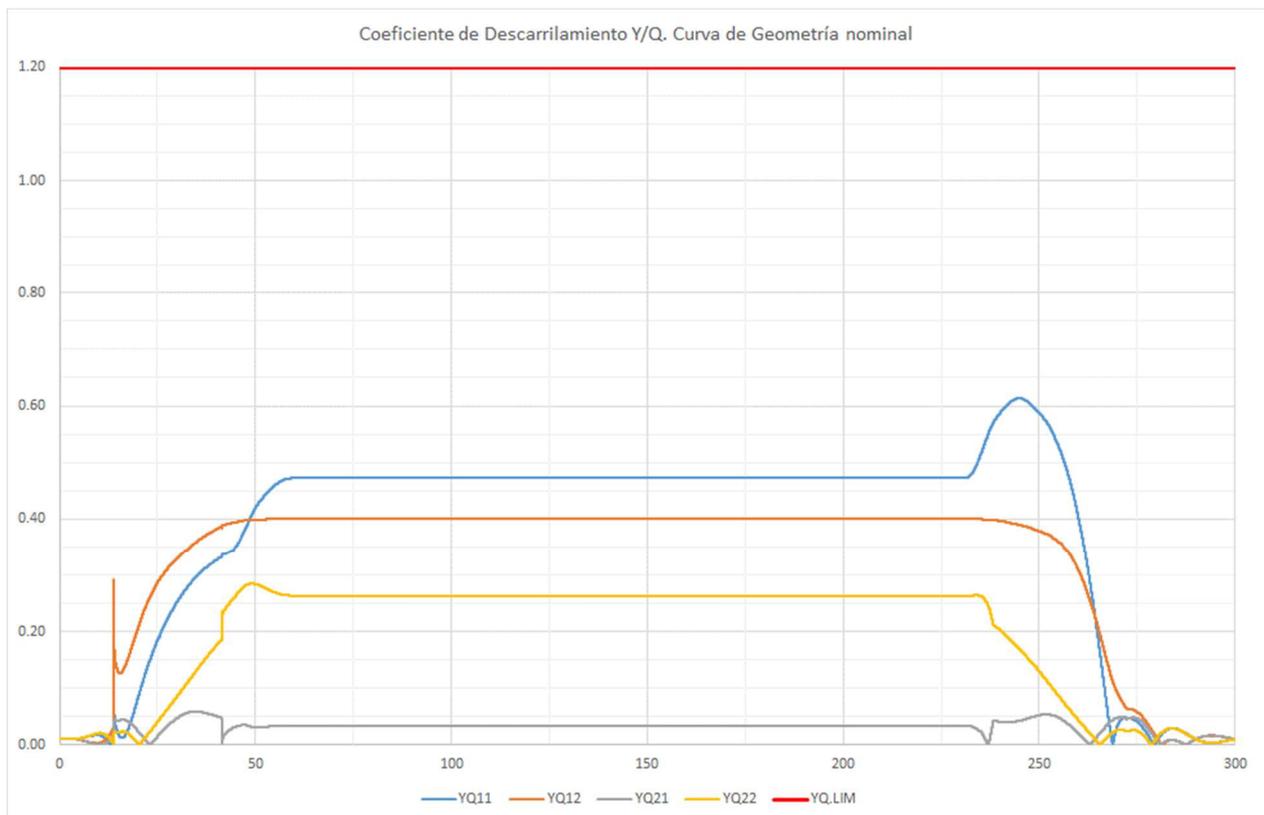


Figura 05

La figura 05 muestra que los valores de diseño proporcionan unos márgenes amplios frente a los límites

En la figura 06 se incluyen los resultados de Y/Q al incorporar un defecto de nivel A (obtenido de los registros de vía) en la transición de salida. Puede observarse con claridad el efecto puntual que produce (marcado con un círculo), en la rueda R11, al compararlo con la geometría nominal, dando un valor de Y/Q = 0.73. Tal y como se observa, sigue habiendo un margen amplio hasta el límite de 1.2.

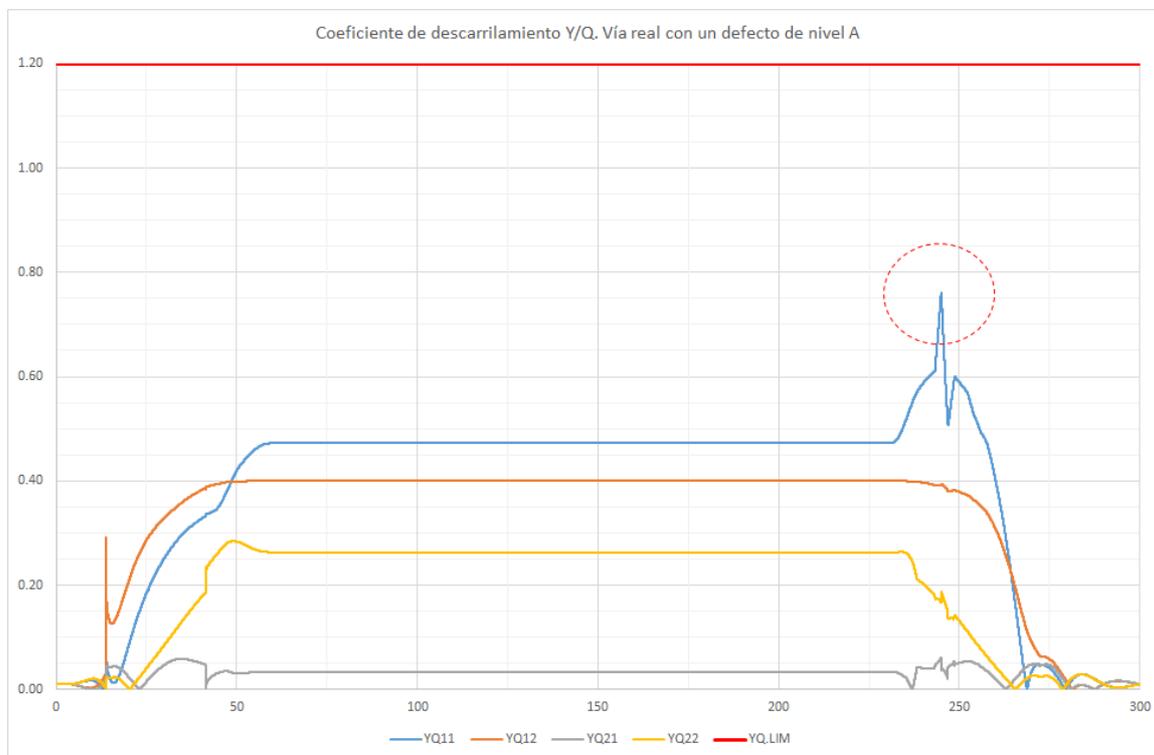


Figura 06

Con el objeto de cubrir otros posibles escenarios no previstos, y en vista de las limitaciones de tiempo e información para este estudio, se ha considerado otro escenario adicional aumentando un 30% el nivel de defecto de la figura 06, y pasando al nivel B.

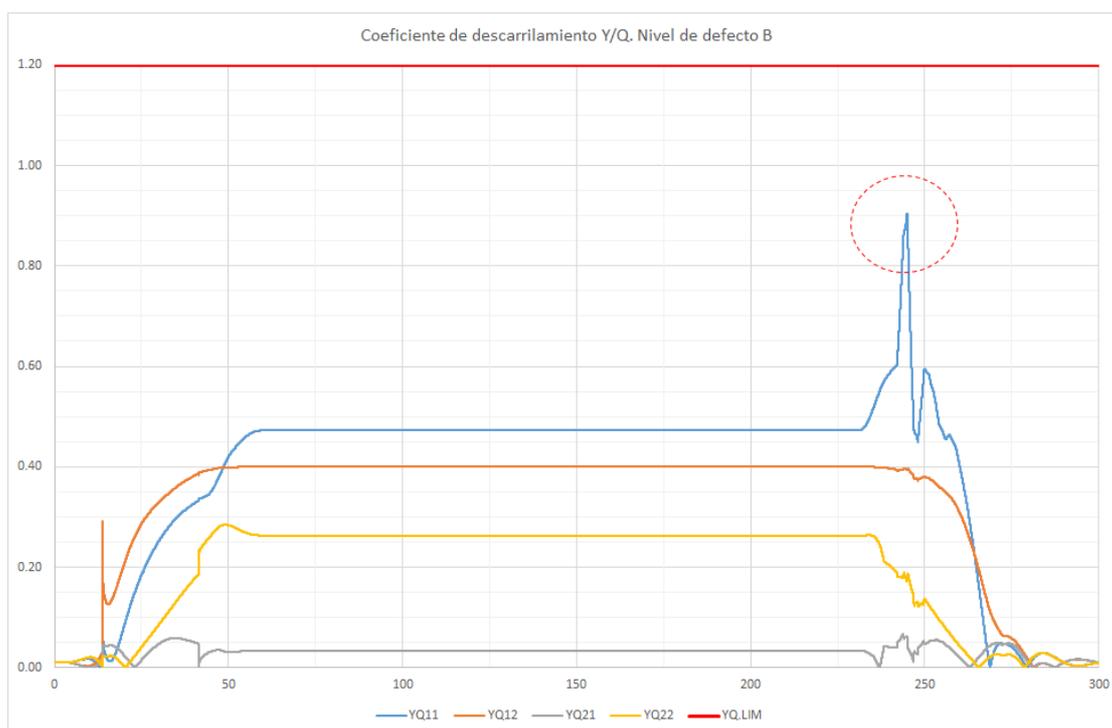


Figura 07

En la figura 07 se muestra el resultado obtenido con un defecto de nivel B en la rampa de salida. El pico en YQ11 se muestra más acentuado (valor pico $Y/Q=0.91$), aunque aún queda un margen de seguridad importante (hasta 1.20)

CONCLUSIONES

En la fases de diseño, fabricación y entrega de la unidades FE10 se realizaron todos los cálculos dinámicos y ensayos normativos que demostraron la seguridad de circulación de esta tipología de material rodante en las vías de L12.

Posteriormente en los años 2014-2014 se ampliaron los estudios y ensayos, con el objetivo principal de optimizar los desgastes y costes de mantenimiento, y al mismo tiempo garantizar la seguridad de circulación de todas las modificaciones planteadas para en material rodante y vías. Estos estudios fueron coordinados y validados por Systra, y contaron con la asistencia de numerosas entidades expertas en las temáticas cubiertas, como SNCF, Vibratéc, TSO, CEIT, CETEST, y expertos de reconocido prestigio internacional como Stuart Grassie.

Una vez asegurada la seguridad del tipo de tren y vía, son los planes de mantenimiento respectivos, mediante el control de parámetros dentro de sus tolerancias admisibles, los que garantizan la seguridad de circulación a lo largo de todo el ciclo de vida.

Se ha requerido una valoración adicional de la seguridad de circulación, en las condiciones de estado reales, mediante cálculos dinámicos. Con la información recabada en el limitado espacio de tiempo disponible, se ha realizado una valoración de un escenario de riesgo, que se ha considerado como el más crítico, en una zona de la vía considerada asimismo como representativa del caso más severo: se trata de una curva (curva 37) del tramo en túnel, que tiene radio reducido (200 m), y el peralte alto (114 mm). Esta curva no fue rehabilitada tras los estudios de 2015, en los que se propuso un peralte de 50 mm para esta tipología de curva (sí fueron rehabilitadas las curvas de este tipo del viaducto).

Los resultados obtenidos de los cálculos en este escenario de riesgo, muestran que existen unos márgenes de seguridad amplios, y se considera que razonablemente extrapolables al resto de la línea entendiéndose que no existen puntos con una severidad apreciablemente mayor que la considerada. En este sentido, puede considerarse que el cálculo realizado, a pesar de las limitaciones de alcance mencionadas, no arroja ningún signo que permita dudar de la seguridad de circulación, con la consiguiente alarma y actuaciones urgentes.

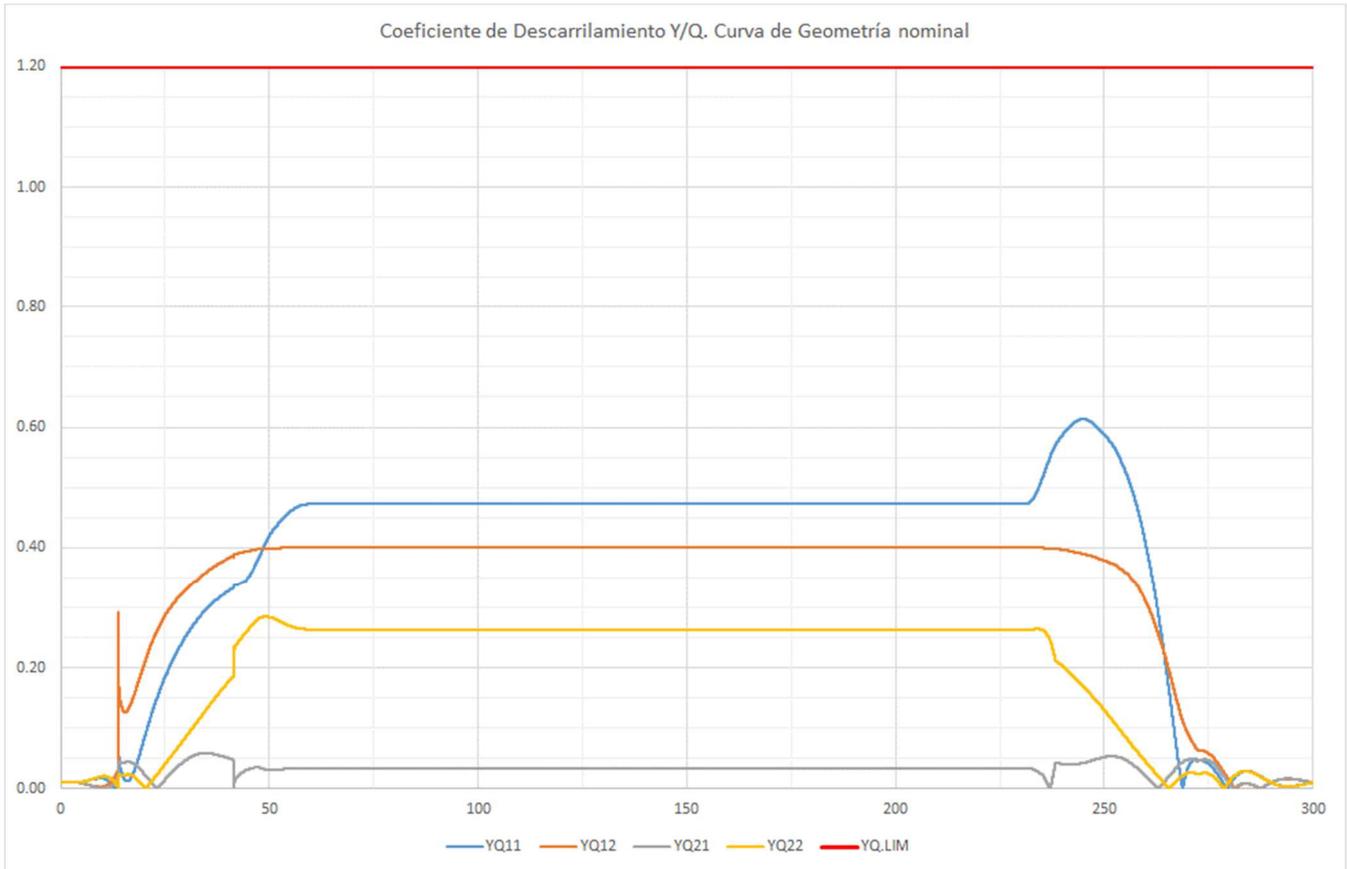
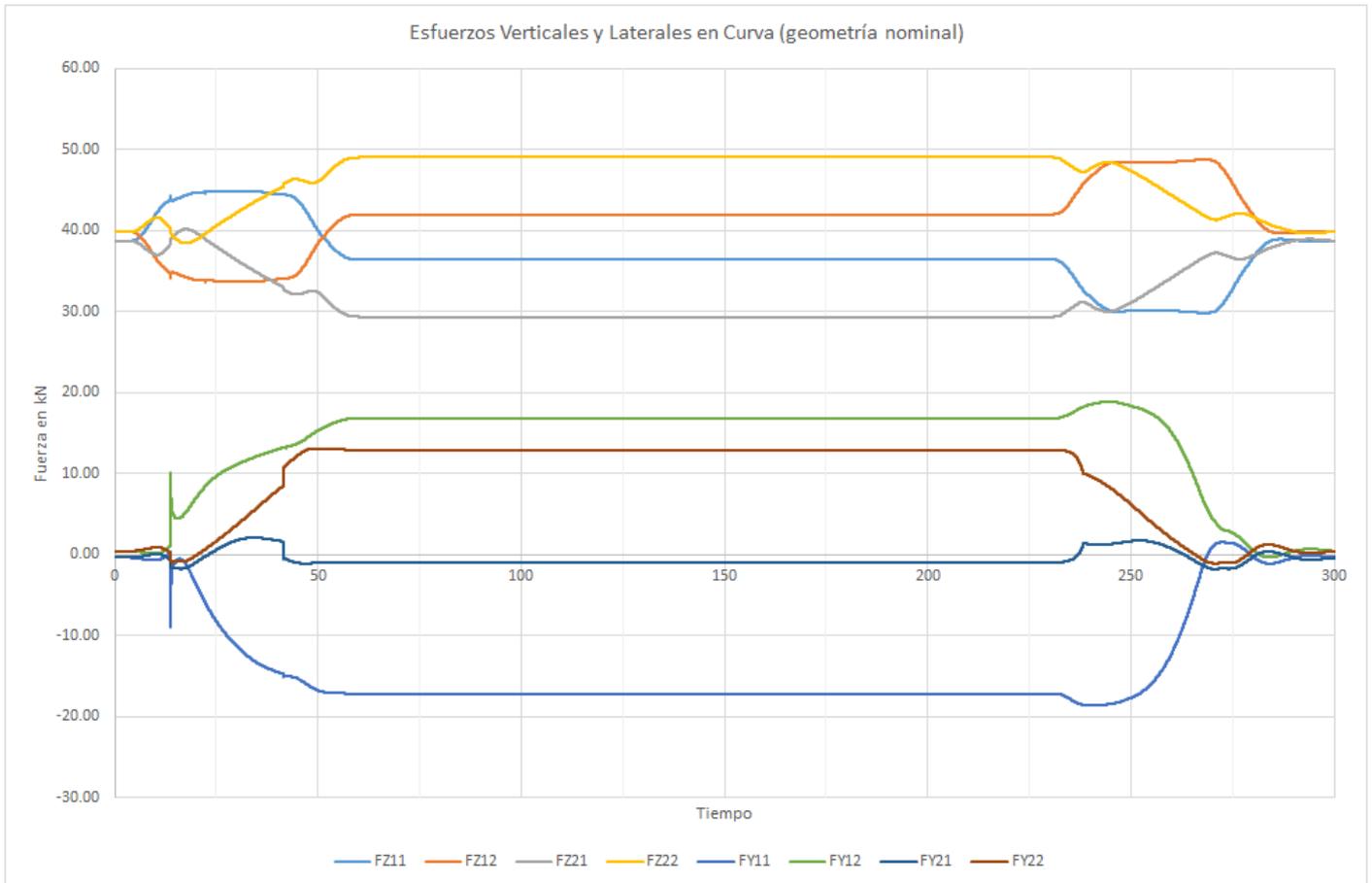
El resultado obtenido en este cálculo, no exime de las obligaciones de las tareas de mantenimiento a realizar con la regularidad necesaria tanto en material rodante como en las vías para el aseguramiento de las tolerancias, que es donde descansa verdaderamente la seguridad de la circulación a la largo de la vida en servicio

Si a pesar de ello, se quisieran reproducir los cálculos de 2015 para todo un estado de la vía actual, sería necesario recibir la información completa del estado de la vía en un formato (digital) para poder ser utilizada en los programas de cálculo dinámico, y a partir de ahí establecer el alcance de los estudios con el organismo de investigación correspondiente, como los realizados en su día con CEIT.

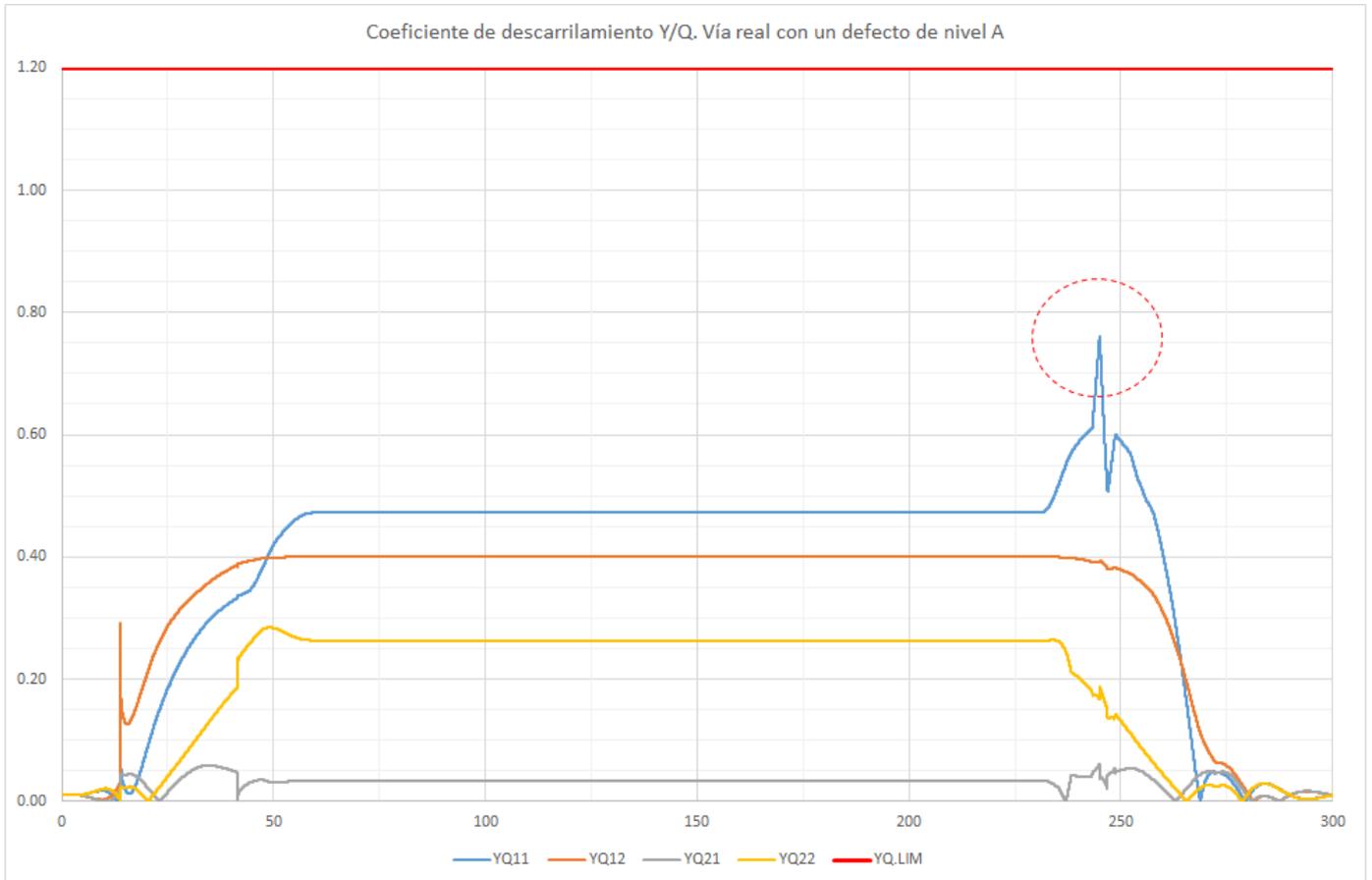
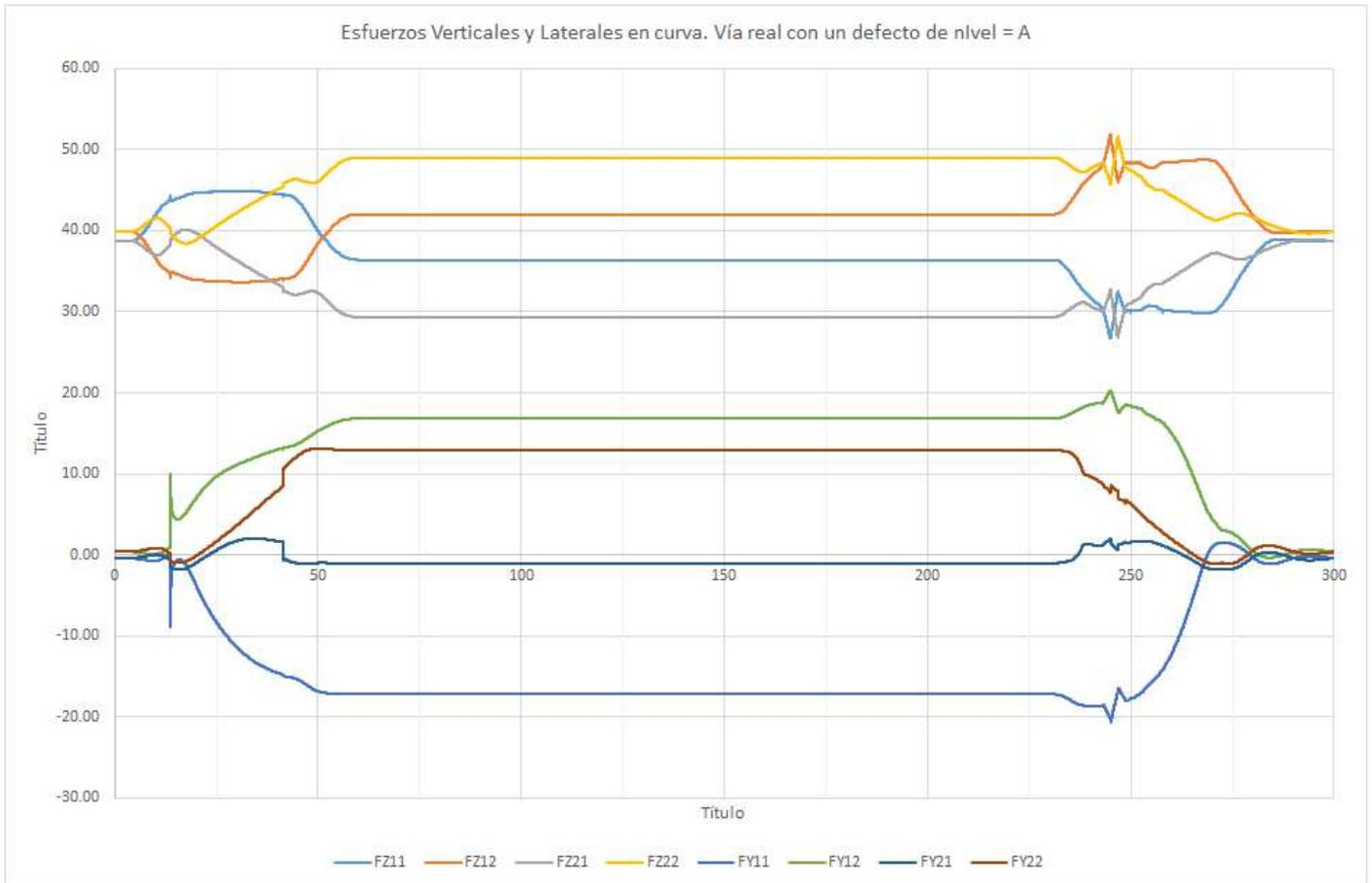
Probablemente podría resultar conveniente realizar los estudios una vez que el estado de la vía se actualice a los valores previstos siempre que estos nuevos valores difieran de los prescritos por Systra en 2015.

ANEXO FIGURAS RESULTADOS DEL CÁLCULO

GEOMETRIA NOMINAL



NIVEL DE DEFECTO A



NIVEL DE DEFECTO B

