



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Análisis del desempeño dinámico de configuraciones vehiculares de carga pesada combinando el uso de llantas supersencillas y sencillas en arreglo dual

Oscar Flores Centeno
Manuel de Jesús Fabela Gallegos
Carlos Sebastián Blake Cervantes
Luis Gerardo Sánchez Vela
Mauricio Eliseo Cruz Acevedo
José Ricardo Hernández Jiménez
David Vázquez Vega

Publicación Técnica No. 643
Sanfandila, Qro.
2021

ISSN 0188-7297

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural del Instituto Mexicano del Transporte, por el M.C. Oscar Flores Centeno, el Dr. Manuel de Jesús Fabela Gallegos, el Técnico Carlos Sebastián Blake Cervantes, el Ing. Luis Gerardo Sánchez Vela, el Ing. Mauricio Eliseo Cruz Acevedo, el M.C. José Ricardo Hernández Jiménez y el M.C. David Vázquez Vega.

Esta investigación es el producto final de los proyectos de investigación interna EI 19/13: Análisis del desempeño dinámico de configuraciones vehiculares de carga pesada combinando el uso de llantas supersencillas y sencillas en arreglo dual; y el proyecto EI 17/20: Análisis del desempeño dinámico de configuraciones vehiculares de carga pesada combinando el uso de llantas supersencillas y sencillas en arreglo dual (etapa II).

Se agradece la colaboración del Dr. Miguel Martínez Madrid, Coordinador de la CIVIE.

Contenido

	Página
Índice de figuras.....	v
Índice de tablas.....	ix
Sinopsis.....	xi
Abstract.....	xiii
Resumen Ejecutivo.....	xv
Introducción.....	1
1 Antecedentes.....	5
2 Metodología.....	13
3 Desarrollo.....	19
4 Resultados.....	31
Conclusiones.....	43
Bibliografía.....	45
Anexos.....	49

Índice de figuras

		Página
Figura I	Configuración circulando con llantas en arreglo dual y llantas de base ancha	2
Figura 1.1	Vehículo de finales del siglo XIX montando neumáticos	5
Figura 1.2	Principales tipos de construcción de llantas: diagonal (izq) y radial (der)	6
Figura 1.3	Neumáticos para diferentes aplicaciones	7
Figura 1.4	Evolución de llantas en arreglo dual	7
Figura 1.5	Comparativa de llantas de base ancha de primera (izq.) y segunda (der.) generación	9
Figura 1.6	Comparación del arreglo dual contra llanta de base ancha	9
Figura 2.1	Respuesta según condición de viraje en el seguimiento de una curva con ángulo direccional constante	14
Figura 2.2	Trayectoria generada en una prueba direccional tipo rampa	16
Figura 2.3	Trayectoria de prueba en cambio simple de carril	16
Figura 2.4	Estructura del programa de simulación TruckSim®	17
Figura 3.1	Arreglo de llantas para cada caso de estudio en vehículo C3	19
Figura 3.2	Arreglo de llantas para cada caso de estudio en configuración T3S2	20
Figura 3.3	Arreglo de llantas para cada caso de estudio en configuración T3S2R4	21
Figura 3.4	Dimensiones principales de vehículo de prueba C3 [m]	22
Figura 3.5	Dimensiones de la entrevía y peso de los ejes con ambos tipos de llantas para vehículo C3	22

Figura 3.6	Propiedades de viraje de llanta empleada en el eje direccional	23
Figura 3.7	Representación visual de los casos de estudio R1 y R2 en programa de simulación	24
Figura 3.8	Representación visual de los casos de estudio C1 y C2 en programa de simulación	24
Figura 3.9	Principales dimensiones de configuración T3S2 [m]	25
Figura 3.10	Entrevía y peso de los ejes con ambos tipos de llantas n configuración T3S2	25
Figura 3.11	Representación visual de los casos de estudio R1 y R2 en programa de simulación en configuración T3S2	26
Figura 3.12	Representación visual de los casos de estudio C1, C2, C3 y C4 en programa de simulación en configuración T3S2	27
Figura 3.13	Esquema de convertidor A con sus principales dimensiones [m]	27
Figura 3.14	Representación visual de los casos de estudio R1, R2, C1 y C2 de configuración T3S2R4 en programa de simulación	28
Figura 3.15	Representación visual de los casos de estudio C3, C4, C5 y C6 de configuración T3S2R4 en programa de simulación	29
Figura 3.16	Representación gráfica de escenarios de simulación	29
Figura 4.1	Vuelco del vehículo durante prueba rampa	31
Figura 4.2	Representación de diagrama de manejabilidad típico	33
Figura 4.3	Diagramas de manejabilidad para casos de estudio con vehículo C3	34
Figura 4.4	Diagramas de manejabilidad para casos de estudio con vehículo T3S2	35
Figura 4.5	Diagramas de manejabilidad para casos de estudio con vehículo T3S2R4	36
Figura 4.6	Visualización de prueba de cambio simple de carril	37

Índice de tablas

	Página
Tabla 3.1 Ancho y rigidez vertical de las llantas	23
Tabla 3.2 Peso de la configuración T3S2 para cada caso de estudio	26
Tabla 3.3 Peso de la configuración T3S2R4 para cada caso de estudio	28
Tabla 4.1 Umbral de vuelco vehículo C3	32
Tabla 4.2 Umbral de vuelco configuración T3S2	32
Tabla 4.3 Umbral de vuelco configuración T3S2R4	33
Tabla 4.4 Transferencia lateral de carga vehículo C3	38
Tabla 4.5 Transferencia lateral de configuración T3S2	38
Tabla 4.6 Transferencia lateral de configuración T3S2R4	38
Tabla 4.7 Amplificación del coleo configuración T3S2	39
Tabla 4.8 Amplificación del coleo configuración T3S2R4	39
Tabla 4.9 Distancia de frenado vehículo C3	40
Tabla 4.10 Distancia de frenado configuración T3S2	40
Tabla 4.11 Distancia de frenado configuración T3S2R4	41

Sinopsis

Las llantas de base ancha se han presentado como una alternativa de sustitución del arreglo dual tradicional de llantas sencillas en vehículos de carga pesada, ofreciendo ventajas como: menor peso, menor consumo de combustible y mejoras en el desempeño dinámico de los vehículos. Se han realizado estudios para analizar su comportamiento desde el punto de vista de seguridad vehicular y el efecto de daño sobre el pavimento. En su mayoría, los análisis consideran vehículos equipados con uno u otro tipo de llantas, sin incluir el uso combinado en un mismo vehículo. Para aportar información acerca del efecto del uso combinado de ambos tipos de llantas, en este trabajo se analizan las tres configuraciones vehiculares de mayor uso en México, empleando un programa computacional para simular el comportamiento de los vehículos. Los resultados muestran ligeras ventajas al usar llantas de base ancha, sobre todo, en el umbral de vuelco y la distancia de frenado; mientras que en otros parámetros no se observan diferencias significativas.

Abstract

Wide-base single tires are an alternative to replace conventional dual tire system on heavy vehicles. These tires offer some advantages; such as lower weight, lower fuel consumption and a better dynamic behavior of the vehicles. Many studies have been done to estimate the performance of wide-base tires from the point of view of vehicle safety and pavement damage. However, most of them consider vehicles with either one or another type of tire, without including the combined use of both types of tires on the same vehicle. To provide information about the effect of the combined use of both tires, in this work, the three most common vehicle configurations in Mexico are analyzed using a specialized computational program to simulate the dynamic behavior of vehicles. Results show slight advantages when using wide base tires especially in the rollover threshold, and the braking distance, while other parameters have no significant differences.

Resumen ejecutivo

Casi a la par del inicio de la producción y uso a gran escala de los vehículos automotores para la trasportación, tanto de personas como de mercancías, surge el empleo de llantas en arreglo dual en los ejes posteriores de vehículos de carga y autobuses. El uso de este arreglo dotó a los vehículos con la capacidad para soportar mayores cargas y satisfacer la creciente demanda de sus servicios.

Desde su conceptualización a principios del siglo pasado hasta nuestros días, el arreglo dual de llantas ha sido el estándar de uso común en vehículos de autotransporte a nivel mundial. En la década de los 70's surgió una alternativa de llanta buscando sustituir el arreglo dual, denominada llanta de base ancha en su primera generación. No obstante, las aparentes ventajas, esta innovación no logró el impacto deseado, ya que debido a su conformación constructiva y las altas presiones de inflado a las que operan estas llantas, presentaron efectos negativos en el confort del usuario, el desempeño y estabilidad del vehículo, así como mayor daño sobre la infraestructura carretera. Estas desventajas propiciaron que las autoridades de los distintos gobiernos restringieran su uso y, por ende, no tuvieron mucho éxito.

Después de años de investigación y desarrollo, a inicios del presente siglo surgió la segunda generación de llantas de base ancha, con la promesa de haber corregido los problemas de la primera generación. Estas nuevas llantas se especifican con dimensiones (excepto el ancho) y presiones de inflado similares a las tradicionales del arreglo dual y ofrecen ventajas en el consumo de combustible, en la estabilidad y la manejabilidad de los vehículos; así también, tiene vida útil mayor y causan un menor daño al pavimento. Diversos estudios comparativos realizados en diferentes partes del mundo han evidenciado las ventajas antes mencionadas, por lo que los gobiernos de algunos países, principalmente de Europa y Norteamérica (incluido México), han autorizado su uso con ciertas restricciones.

En el caso particular de México, la autorización para el uso de llantas de base ancha se otorgó inicialmente para vehículos unitarios, autobuses de tres ejes y configuraciones simplemente articuladas, condicionada a un peso máximo de 10 t por eje y excluyendo su uso en vehículos que transporten materiales o residuos peligrosos. Posteriormente, se extendió la autorización para configuraciones vehiculares doblemente articuladas con algunas restricciones adicionales, además de la prohibición del uso combinado de arreglos de llantas en un mismo vehículo; no obstante, el uso combinado de llantas de base ancha y llantas en arreglo dual en un mismo vehículo se presenta en la práctica real, principalmente en configuraciones vehiculares articuladas, donde es común intercambiar unidades de arrastre a un tractocamión, los cuales pueden estar equipados con distinto arreglo

de llantas o ser unidades que pueden pertenecer a diferentes compañías, razón por la cual es complicado tener control sobre la uniformidad de las llantas que utiliza cada unidad en la configuración vehicular.

Los estudios realizados para analizar el efecto del uso de llantas de base ancha se han enfocado principalmente en la comparación del comportamiento resultante del vehículo al utilizar uno u otro tipo de llantas en forma exclusiva, dejando de lado vehículos que combinan ambos tipos. Para subsanar parte de esta situación, se desarrolló el presente trabajo donde se analiza, con base en el empleo de modelos validados de simulación computacional, el efecto del uso combinado de llantas de base ancha y llantas sencillas en arreglo dual, considerando tres configuraciones vehiculares ampliamente usadas en carreteras mexicanas. El modelo se ejecuta bajo un programa comercial en el que se escenifican tres maniobras direccionales estandarizadas, cuya información permite determinar algunas de las principales medidas de desempeño dinámico de vehículos de carga pesada. El análisis parte de dos casos de referencia por cada configuración vehicular, uno utilizando exclusivamente llantas en dual tradicional y otro empleando llantas de base ancha. A partir de esas condiciones, se representan combinaciones posibles de arreglos de llantas en las diferentes posiciones de los ejes motrices y de arrastre.

En general, los resultados de la simulación muestran incrementos en el umbral de vuelco y reducciones en la distancia de frenado por debajo del 10%, en ambos casos, al incluir llantas de base ancha en combinación con tradicionales en arreglo dual, esto en comparación con el uso exclusivo de duales. En el caso de configuraciones vehiculares articuladas, las mejoras mencionadas se obtienen cuando las llantas de base ancha se colocan en las unidades de arrastre. Respecto a la manejabilidad, a la transferencia lateral de carga y a la amplificación del coleo, no se observaron diferencias significativas. Finalmente, se ratifican los resultados obtenidos en otros estudios referentes al desempeño con llantas de base ancha, ya que los casos de referencia donde solo se consideraron estas llantas fue el que obtuvo el mejor desempeño al comparar todas las situaciones analizadas.

Es de destacar que, el comportamiento resultante de los vehículos analizados, para todos los casos de estudio, fue adecuado, esto con respecto a los valores límites establecidos para las medidas estandarizadas de desempeño consideradas. Por tanto, se considera que el efecto del uso de arreglos combinados de llantas como los analizados, no repercuten negativamente en su desempeño, de acuerdo a esos criterios. Cabe mencionar que en el estudio se emplearon las propiedades de llantas sencillas y de base ancha de un mismo fabricante. Para el caso de las llantas de base ancha, éstas corresponden a las de tecnología de construcción denominada Infincoil™. Por tanto, los resultados son aplicables solo para llantas con propiedades y tecnologías constructivas similares a las utilizadas y no pueden ser generalizados para todos los tipos de llantas empleadas actualmente en los vehículos de autotransporte.

Introducción

El uso de neumáticos sencillos en arreglo dual en los ejes posteriores de vehículos de carga y autobuses, permitió que estos pudieran incrementar su capacidad para transportar mercancías o personas de manera masiva, logrando de esta manera poder satisfacer la creciente demanda de esta clase de servicios. El arreglo dual de llantas consiste en colocar dos llantas sencillas por cada lado del eje, pudiendo de esta forma soportar mayor carga, por lo que su uso se generalizó rápidamente desde sus inicios, al grado de ser empleado casi en la totalidad de los vehículos de carga y autobuses que circulan y han circulado alrededor del mundo.

Las llantas, al igual que los vehículos automotores desde su invención, han estado en constante innovación y desarrollo, buscando elevar los niveles de desempeño para satisfacer las cambiantes necesidades de los usuarios. Uno de estos casos de innovación es el de las llantas denominadas de base ancha, las cuales surgieron en su primera generación a finales de la década de los 70's y principios de los 80's, como alternativa de sustitución del arreglo dual. Esa generación mostró algunas desventajas, pero generaciones posteriores fueron mejoradas para tener un mejor desempeño. Este tipo de llantas son más anchas que las sencillas tradicionales, por lo que permiten colocar sólo una por lado de eje en sustitución del dual tradicional. Ofrece con ello ciertas ventajas como la reducción de peso, ahorro de combustible y, para ciertos casos, mayor estabilidad, entre otras.

El uso de llantas de base ancha ha venido ganando terreno poco a poco desde su lanzamiento, principalmente en países de Europa y Norteamérica. Las entidades regulatorias del transporte en esos países han permitido su empleo con ciertas restricciones sustentados en la evidencia obtenida de estudios enfocados en determinar los efectos en el comportamiento dinámico de las configuraciones vehiculares, así como su efecto sobre el daño producido a las carreteras. En el caso de México, debido a que este tipo de llantas no están contemplados en la normativa del transporte, los fabricantes interesados en comercializarlas han debido sustentar que sus productos no provocan mayor daño a la infraestructura, así como tampoco afectan de forma negativa el comportamiento dinámico de las configuraciones vehiculares. Esto, en comparación con su contraparte de llantas neumáticas en arreglo dual tradicional. Lo anterior, considerando las configuraciones vehiculares autorizadas para circular en el país y los pesos que pueden transportar.

Con el fin de proporcionar evidencia técnica para el sustento de la toma de decisiones, el IMT realizó una serie de estudios comparativos empleando configuraciones vehiculares unitarias y simplemente articuladas, equipadas con uno u otro tipo de llantas, todas de un mismo fabricante. Con base en los resultados de estos estudios, las autoridades reguladoras del autotransporte autorizaron en el

2008 el uso de llantas de base ancha XOne Michelin, excluyendo las configuraciones doblemente articuladas y aquellos vehículos que transporten materiales peligrosos.

Posteriormente, a petición del mismo fabricante de llantas, el IMT amplió sus estudios a configuraciones vehiculares doblemente articuladas. Los resultados fueron considerados para que en el 2016 se obtuviera la autorización para el uso de llantas de base ancha en sustitución del arreglo dual en configuraciones vehiculares doblemente articuladas. En esta autorización se indica la restricción del uso combinado de llantas para las configuraciones incluidas en dicha autorización.

Aun cuando el uso de forma combinada de llantas en arreglo dual y llantas supersencillas en ejes de carga y tracción no fue abordado en los estudios y esa situación no fue autorizada, en la práctica se presentan casos en que se combinan arreglos de llantas. Esto debido, entre otras cosas, a que en configuraciones articuladas es común intercambiar unidades, por ejemplo, remolques con diferentes tractocamiones y viceversa, como se observa en la Figura I.



Figura I. Configuración circulando con llantas en arreglo dual y llantas de base ancha

Para conocer las implicaciones en el comportamiento dinámico resultante de las configuraciones vehiculares que combinan ejes con uno u otro arreglo de llantas, se requiere del estudio de tales escenarios con los correspondientes niveles de desempeño en la operación de los vehículos de carga pesada. En ese sentido, en este escrito se presentan los resultados obtenidos de la evaluación del comportamiento dinámico resultante de tres configuraciones vehiculares al combinar el uso de los arreglos de llantas mencionados, en términos de las principales medidas estandarizadas del desempeño.

Para lo anterior, se hace uso de un programa comercial capaz de simular el comportamiento de configuraciones vehiculares de carga pesada bajo diferentes condiciones y escenarios de prueba. Las configuraciones analizadas corresponden a un vehículo unitario de tres ejes (C3), una configuración articulada formada por un tractocamión de tres ejes con un semirremolque de dos (T3S2) y una configuración

doblemente articulada conformada por un tractocamión de tres ejes y dos semirremolques de dos ejes unidos por un convertidor de dos ejes (T3S2R4). Estas configuraciones representan cerca del 63% del total de vehículos de carga que circulan por carretera [1], que además están autorizadas para emplear llantas de base ancha.

1. Antecedentes

Los neumáticos, mejor conocidos como llantas, desempeñan un papel de gran importancia en el comportamiento dinámico de los vehículos. Al ser los únicos componentes que se encuentran en contacto con la superficie del camino, son los encargados de soportar y transferir todo el peso, así como de proporcionar la adherencia y la fricción con el piso, necesaria para que el vehículo pueda desplazarse, frenar y cambiar de dirección; es decir, controlar al vehículo. No obstante, sus efectos en el desempeño son en general poco reconocidos por la mayoría de los usuarios.

Los neumáticos en sus comienzos no eran precisamente como se conocen hoy en día. Para llegar a ello han debido pasar por una larga evolución y desarrollo tecnológico. El invento de la rueda neumática se le atribuye al veterinario escocés John Boyd Dunlop, que quiso que el triciclo de su hijo fuera más confortable y aplicó a las ruedas originales un tubo de caucho sellado e inflado con aire comprimido, el cual fijó a las ruedas con cintas de caucho, [2]. Estos primeros neumáticos causaron furor entre los ciclistas, ya que las bicicletas, carentes de suspensión, eran realmente duras y el neumático consiguió mejorar notablemente la comodidad, al igual que en los vehículos de la época, como se observa en la Figura 1.1.

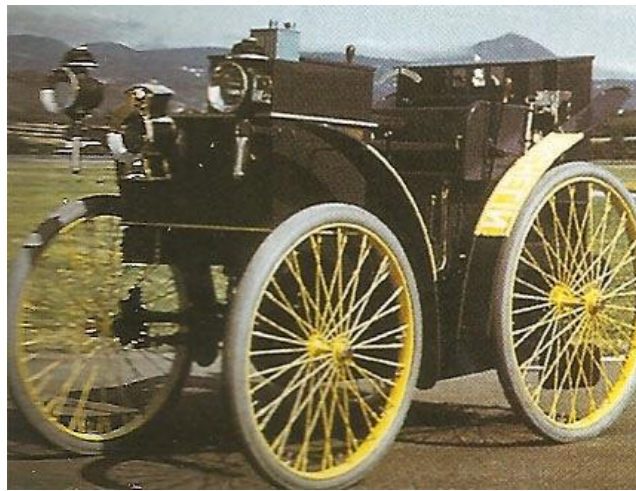


Figura 1.1. Vehículo de finales del siglo XIX con montaje de neumáticos

La primera gran evolución en la fabricación de neumáticos llegó con el descubrimiento del proceso de vulcanización, que permitió utilizar el caucho como materia prima. El siguiente paso fue dotar al neumático de un dibujo geométrico, en el que los surcos realizados en la banda de rodadura mejoraron el agarre y la estabilidad de los automóviles.

Desde entonces, los neumáticos no han cesado de evolucionar. Las carcasas con cuerdas de acero, los neumáticos radiales y sin cámara fueron las siguientes innovaciones. La mejora de la calidad del caucho se ha debido, en buena medida, a la investigación y la experimentación en las carreras de autos, donde se han probado innumerables compuestos y soluciones técnicas a lo largo de los años. Estas mejoras se han aplicado posteriormente a los neumáticos de producción en serie, [2].

Por su construcción, existen principalmente dos tipos de neumáticos, [3]:

- **Diagonales:** En su construcción las distintas capas de material que conforman la carcasa se colocan de forma diagonal, cruzándose unas sobre otras. También se conocen como bias-ply.
- **Radiales:** En esta construcción las capas de material se colocan unas sobre otras en línea recta sobre la banda de rodadura, sin sesgo, además de otro grupo de capas que van de costado a costado. Este sistema permite dotar de estabilidad y resistencia a la cubierta.

Estos tipos se muestran esquemáticamente en la Figura 1.2, siendo los de mayor uso. En ellos se indica el acomodo de las cuerdas, como característica distintiva principal.

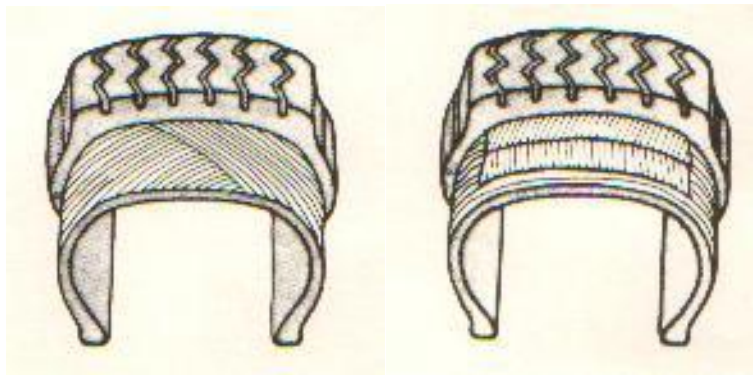


Figura 1.2 Principales tipos de construcción de llantas: diagonal (izq) y radial (der)

Dependiendo de las condiciones bajo las cuales se van a usar, así como del vehículo en el cual serán colocados, existen diversos tipos de neumáticos para cumplir con las diferentes necesidades de los usuarios. En su uso se debe identificar la capacidad de carga que soportarán, las velocidades de operación, el tipo de terreno y sus condiciones superficiales, entre otras. En la Figura 1.3 se pueden observar diferentes tipos, diseñados para diferentes condiciones de operación.



Figura 1.3 Neumáticos para diferentes aplicaciones

1.1 Arreglo dual de llantas y llantas de base ancha

A inicios del siglo XX se adoptó el uso del arreglo dual de llantas en los ejes posteriores de los vehículos de carga y autobuses. El arreglo consiste en colocar dos neumáticos por lado en los ejes de tracción o de arrastre, permitiendo con esta medida incrementar la capacidad de transporte de los mismos. Como ejemplo se muestra la Figura 1.4, donde se observa un vehículo de principios del siglo pasado usando llantas de la época colocadas en arreglo dual para el eje posterior y un arreglo dual con llantas actuales.

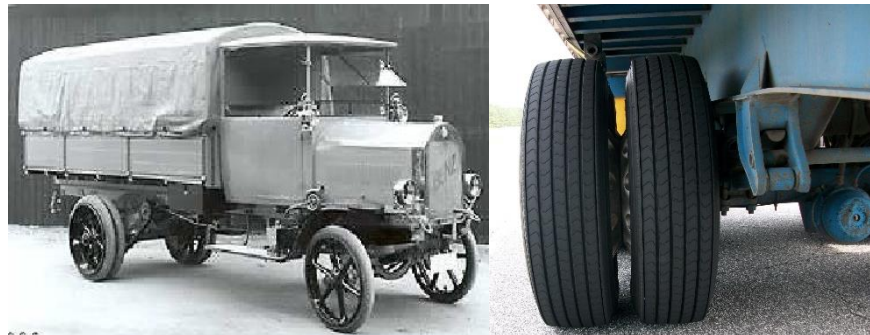


Figura 1.4 Evolución de llantas en arreglo dual

Desde su implementación y hasta la fecha, el uso del arreglo dual de llantas en vehículos de carga pesada ha sido generalizado. Sin embargo, como parte de la evolución y desarrollo tecnológico que han experimentado los neumáticos, a finales de la década de los 70's inicios de los 80's surge la primera generación de llantas denominadas como de "base ancha" o "supersencillas"; esto, debido a que tienen un ancho mayor que las llantas comúnmente empleadas. Estas primeras llantas de base ancha se fabricaron con las designaciones de medida 385/65R22.5 y 425/65R22.5; el primer número indica el ancho de la llanta en milímetros, el siguiente número representa la relación de la altura con respecto al ancho, la letra R indica que es de construcción radial y finalmente el último número representa el diámetro del rin en pulgadas.

Aunque en un inicio las llantas de base ancha fueron creadas con la idea de usarse en los ejes direccionales de algunos vehículos utilizados en la industria de la construcción, como las mezcladoras de cemento que soportan gran cantidad de carga en dicho eje, posteriormente se vio que podrían sustituir el arreglo dual en ejes posteriores. Esto ofrecía ventajas aparentes como menor consumo de combustible, al tener menor resistencia a la rodadura, además de permitir ahorros en peso, ya que el arreglo dual es de mayor peso que una de estas llantas. Esto se traduce en mayor capacidad de transporte de carga y, por lo tanto, mayor ganancia por viaje [4]. Sin embargo, diversos estudios encontraron que este tipo de llantas generan mayores esfuerzos sobre los pavimentos.

Utilizando instalaciones para la aplicación acelerada de carga simulando el paso del tránsito, Bonaquist [5] concluyó que esas llantas de base ancha tenían efectos negativos en el pavimento. Observó que, para la misma carga y presión de inflado, esas llantas indujeron mayores esfuerzos de compresión vertical en todas las capas, mayores esfuerzos de tensión en la capa inferior del concreto asfáltico y alrededor de dos veces más aparición de roderas que llantas en arreglo dual. Esto se reflejaba en que la vida por fatiga del pavimento se reducía a un cuarto.

Akram et al, [6], encontró que las llantas de base ancha dañan 2.8 veces más a los pavimentos delgados y 2.5 veces más a los pavimentos gruesos basado en una ecuación de diseño usando el esfuerzo de compresión vertical. Huhtala et al, [7], indicó que las llantas de base ancha dañan más que las llantas en arreglo dual en un factor de 2.3 a 4 en las mismas condiciones de pavimento. También se observó que cuando se incrementa la presión de inflado en 20%, el daño en términos del factor de carga equivalente se incrementó de un 10 a un 20%.

Algunos otros inconvenientes de esta primera generación de llantas de base ancha fueron encontrados por los usuarios. Por ejemplo, la altura y el centro de gravedad de los vehículos aumentaron, lo que afecta de forma negativa la estabilidad del vehículo. Por otro lado, el confort se vio disminuido y el riesgo de daño en las llantas por impacto fue mayor debido a las mayores presiones de inflado. Además, las posibilidades de poder someter la llanta a un proceso de renovado después de un cierto tiempo de uso, eran menores [4].

Como consecuencia de estos problemas presentados, la primera generación de llantas de base ancha no obtuvo la aceptación deseada, tanto de los usuarios como de las autoridades encargadas de regular el transporte. Sin embargo, los fabricantes de llantas continuaron con el estudio y desarrollo de nuevas tecnologías, propiciando el lanzamiento de la segunda generación de llantas de base ancha, con la promesa de haber subsanado los problemas de la primera generación.

Alrededor del año 2000 surge la segunda generación de llantas “supersencillas”, con anchos mayores y perfiles más bajos, en medidas 445/50R22.5 y 455/55R22.5. Entre sus características, estas llantas pueden trabajar a presiones de inflado similares a las llantas sencillas, debido a su construcción. En la Figura 1.5 se puede

observar una comparativa entre una llanta de base ancha de primera generación y otra de segunda generación.



Figura 1.5 Comparativa de llantas de base ancha de primera (izq.) y segunda (der.) generación

Con estas nuevas dimensiones también se vio mejorado el desempeño dinámico de los vehículos, ya que no se eleva la ubicación del centro de gravedad, como pasaba con la generación anterior de llantas “supersencillas”. También se vio mejorada la capacidad de someterlas a procesos de renovado, alargando de esta manera su vida útil y su rentabilidad. En la Figura 1.6 se observa comparativamente un arreglo dual tradicional y una llanta de base ancha de segunda generación, [4].



Figura 1.6 Comparación del arreglo dual contra llanta de base ancha

Estudios realizados para determinar el efecto del uso de la segunda generación de llantas de base ancha han demostrado algunos beneficios, entre los que se destacan: ahorros del 3 al 6% en el consumo de combustible [4], mejoras en el confort [8], mejoras en el comportamiento dinámico de los vehículos [9], así como presiones más uniformes en la zona de contacto [10]. Ante las evidencias encontradas en este tipo de estudios, las instancias regulatorias del transporte de algunos países han permitido el uso de llantas de base ancha con ciertas restricciones en cuanto al peso y/o tipo de vehículos y caminos. Tal es el caso de México, donde se autorizó el uso de este tipo de llantas fabricadas con la tecnología

Infinicool™ con medidas 445/50R22.5 y 455/55R22.5 en vehículos unitarios y simplemente articulados, con carga máxima por eje de 9000 kg, [11]. Posteriormente, con el sustento de la información proporcionada por estudios complementarios [12], se dio la publicación en el DOF [13] de la autorización para el uso de llantas supersencillas en tractocamiones doblemente articulados en sustitución del arreglo dual al que hace referencia la NOM-012-SCT-2-2014.

Cabe mencionar que en la primera de estas autorizaciones no se hace mención acerca de que los vehículos deban ser equipados en su totalidad con uno u otro tipo de llanta, por lo que queda abierta la posibilidad de utilizar de forma combinada ambos tipos de llantas de manera legal. Por otro lado, en la segunda autorización se menciona explícitamente que no se deberán combinar llantas sencillas con supersencillas en una misma configuración. Sin embargo, esta situación del uso combinado de llantas se está presentando principalmente en configuraciones vehiculares de más de una unidad, ya que es práctica común el intercambio entre unidades para conformar las configuraciones, es decir, que los tractocamiones y las unidades de arrastre no están “amarradas” entre sí para su uso exclusivo.

Esta situación del uso combinado de llantas puede afectar el comportamiento dinámico de los vehículos. Tras la revisión de la literatura abierta disponible, se encontró poca información de estudios que aborden estas circunstancias, siendo el único caso un estudio patrocinado por el Ministerio del Transporte de Ontario [14]. El estudio, basado en simulación numérica, considera varias configuraciones vehiculares de uso común en territorio canadiense, donde se analizan casos como el que sólo el tractocamión usa llantas de base ancha o sólo unidades de arrastre. En este trabajo se simularon maniobras estandarizadas para determinar medidas del desempeño dinámico. Los resultados muestran ligeras mejoras al usar llantas de base ancha en las medidas estudiadas. Sin embargo, en la realización del estudio existieron ciertas limitantes como el hecho de que no se contó con la información completa de las propiedades de las llantas, por lo que se tomaron propiedades de la primera generación de llantas de base ancha, complementado con propiedades de la segunda generación. Además, no se consideró el uso de ambos tipos de llantas en una sola unidad vehicular.

Con la intención de generar mayor información acerca de las implicaciones que conlleva la utilización de manera combinada de llantas de base ancha y duales tradicionales en el comportamiento dinámico de vehículos de carga pesada, se realizó el presente estudio. El estudio analiza, con base en el empleo de modelos validados de simulación computacional bajo un programa comercial, el efecto del uso combinado de ambos tipos de llantas en una configuración de camión unitario tipo C3, otra de tractocamión-semirremolque T3S2 y una configuración con un tractocamión que arrastra dos semirremolques unidos entre sí por un convertidor, siendo estas tres configuraciones las más utilizadas en carreteras mexicanas y que, además, están autorizadas para utilizar llantas de base ancha. Con el modelo se escenificaron tres maniobras direccionales estandarizadas, cuya información permite determinar algunas de las principales medidas del desempeño dinámico de los vehículos de carga pesada. Para ambas configuraciones se consideran dos

casos de referencia, considerando ejes de carga o tracción: utilizando exclusivamente duales tradicionales en un caso, o solamente llantas de base ancha en otro. A partir de esas condiciones se representan combinaciones posibles de llantas en las diferentes posiciones de los ejes motrices y de arrastre.

2. Metodología

La metodología seguida para la obtención de los resultados presentados en este estudio consistió básicamente de tres etapas. En la primera, además de establecer las características y propiedades de los vehículos necesarias para alimentar al modelo de simulación, se definieron las condiciones de prueba y las maniobras a ejecutar, mientras que en la segunda etapa se ejecutaron las pruebas. Finalmente, la tercera etapa consistió en el procesamiento de datos y la estimación de los indicadores estandarizados del comportamiento dinámico de vehículos de carga pesada, complementada con el análisis que dieron origen a la preparación de conclusiones.

Como base de la metodología, se describen brevemente las características del desempeño dinámico de vehículos de carga pesada, usadas para analizar el efecto del uso combinado de llantas en arreglo dual y llantas de base ancha. También se enuncian las maniobras direccionales que permiten el cálculo de las medidas de desempeño y se presentan algunas de las principales características del modelo de simulación empleado.

2.1 Parámetros para la caracterización dinámica de vehículos

El comportamiento dinámico de un vehículo es el resultado de la interacción de varios actores, siendo los principales el conductor, el vehículo, la carga y el medio ambiente. Las capacidades de respuesta propia de un vehículo se manifestarán de acuerdo a las condiciones de operación, al tipo de carga transportada y las condiciones externas durante su trayectoria. Para conocer estas capacidades, es necesario conocer ciertos parámetros de desempeño asociados con los sistemas y mecanismos de un vehículo, que permitan conocer o estimar su comportamiento dinámico global. Contar con información sobre la manejabilidad, la tendencia a la volcadura, la transferencia lateral de carga y desempeño al frenado, proporcionan parte importante de los medios para predeterminar la posible respuesta ante situaciones de emergencia repentina durante su operación.

2.1.1 Manejabilidad

Dentro de los grupos de características que definen el comportamiento dinámico de un vehículo, la manejabilidad se asocia directamente con la respuesta del mismo al movimiento, considerando básicamente el control de la dirección y su capacidad para estabilizarse. La manejabilidad se refiere a un conjunto de características involucradas en la forma en que el vehículo responde a cambios en la dirección, debidos a las acciones del conductor o a perturbaciones producidas por el medio

ambiente, como ráfagas de viento, imperfecciones del camino y condiciones climáticas, entre otras.

Uno de los propósitos de los estudios de manejabilidad es determinar las características de viraje. Esta condición se refiere a la respuesta de ajuste de la orientación del cuerpo del vehículo conforme a la trayectoria que se desea seguir, en función del ángulo de orientación de las llantas direccionales a una determinada velocidad. Atendiendo a esta capacidad del vehículo para alinearse a la trayectoria, es posible identificar tres condiciones de viraje: subviraje, viraje neutral y sobreviraje. El subviraje representa una respuesta lenta ante cambios en la dirección, manifestando ajustes de incremento en el ángulo de orientación. En contraparte, el sobreviraje implica que el vehículo responde rápidamente a los ajustes para alinearse a la trayectoria que se sigue, por lo que cambios pequeños en la orientación conducen a una rápida respuesta direccional. Estas condiciones se esquematizan en la Figura 2.1, ejemplificando el seguimiento de una curva con un ángulo constante en las llantas de la dirección. En configuraciones de carga pesada lo aceptable es un desempeño de subviraje. Para conocer la condición de manejabilidad de un vehículo generalmente se recurre a la maniobra direccional tipo rampa [15].

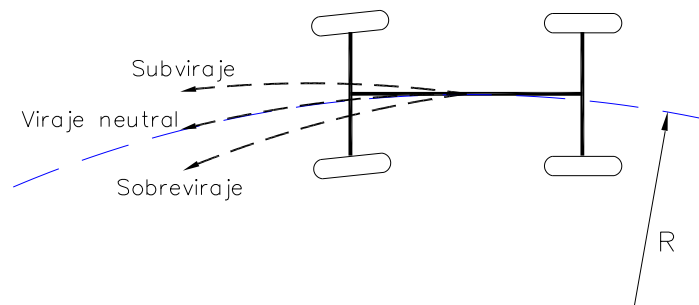


Figura 2.1 Respuesta según condición de viraje en el seguimiento de una curva con ángulo direccional constante

2.1.2 Tendencia al vuelco

Un indicador de la tendencia al vuelco de un vehículo, es decir, de la resistencia que puede oponer a volcar, es a través del umbral de vuelco. Este umbral denota el valor máximo de aceleración lateral al que puede estar sujeto justo antes de que las llantas de un lado del vehículo pierdan contacto con el piso. Esta aceleración lateral es, a la vez, un indicador del par necesario para producir que la unidad que conforma la configuración tienda a volcarse, es decir, el momento producido por la masa de la unidad y la aceleración lateral (fuerza aplicada en el centro de gravedad de la unidad) con respecto a la superficie del pavimento, el nivel sugerido es mayor a 0.35 g's [15]. Dicho parámetro puede ser determinado por medio de distintos métodos, siendo uno de ellos por la ejecución de una maniobra direccional tipo rampa.

2.1.3 Transferencia lateral de carga dinámica

Bajo una distribución uniforme de la carga transportada y el peso propio de un vehículo, el peso total se distribuye de manera que cada lado soporta el 50% de ese peso. Sin embargo, cuando el vehículo está en movimiento con cambios frecuentes de dirección o de geometría del camino, esta distribución no es constante, variando continuamente y hasta abrupta ante cambios bruscos de dirección. Esto es debido al efecto inercial producido por cambios en la trayectoria, lo cual produce que la carga se transfiera de uno a otro lado.

Esta situación se conoce como transferencia lateral de carga, la cual se cuantifica a través de una medida de desempeño dinámico conocida como Razón de Transferencia Lateral de Carga (LTR, Load Transfer Ratio), [15]. La LTR se define como la razón del valor absoluto de la diferencia entre la suma de las cargas soportadas por las llantas del lado derecho del vehículo, menos la suma de las cargas soportadas por las llantas del lado izquierdo, entre la carga total de todas las llantas, exceptuando las llantas direccionales. Se obtiene generalmente de una prueba rápida estandarizada de cambio de carril, considerándose recomendable un valor igual o menor a 0.6, [15].

2.1.4 Amplificación del coleo

En configuraciones vehiculares conformadas por dos o más unidades conectadas entre sí por medio de articulaciones se produce un fenómeno de oscilación durante maniobras de cambio de dirección, como en un cambio simple o doble de carril. En esta situación, la magnitud de la aceleración lateral experimentada por la última unidad de la configuración sufre una amplificación con respecto a la experimentada por la unidad guía. A esto se le conoce como Amplificación del Coleo (RWA, Rearward Amplification) y está relacionada con la posibilidad de la invasión de carriles adyacentes de tránsito con el riesgo asociado de accidente que esto conlleva. Se recomienda como valor máximo 2.2, [15].

2.1.5 Desempeño del frenado

Otro aspecto importante en el estudio de la dinámica de vehículos, tiene que ver con el desempeño ante el frenado. En los últimos años se han desarrollado diversos sistemas complementarios al sistema de frenos convencional con el fin de hacerlos más seguros. Entre estos sistemas se pueden mencionar el sistema antibloqueo (ABS), el sistema electrónico de frenado (EBS) y otros sistemas asistidos. Como un indicador parcial para evaluar la eficiencia del sistema de frenos de un vehículo, se mide la distancia necesaria para que un vehículo que circula a una velocidad dada, logre detenerse completamente. Esta maniobra puede ejecutarse (o simularse) bajo distintas condiciones de la superficie de rodadura del camino, con diferentes índices de fricción y de humedad, como seco y mojado, [15].

2.2 Maniobras de prueba

Las maniobras de prueba seleccionadas para la simulación correspondieron a una maniobra tipo rampa, a un cambio simple de carril y a un frenado en línea recta. La primera consiste en desplazar el vehículo a velocidad de avance constante, incrementando gradualmente el ángulo de orientación de las ruedas direccionales. Convencionalmente se ejecuta a 100 km/h, requiriendo de un giro a velocidad constante en el volante de la dirección, de manera que se produzcan incrementos en la aceleración lateral del centro de gravedad del vehículo en el intervalo de 0,005 a 0,01 g's/s, [15]. La trayectoria ideal resultante de la combinación del desplazamiento de avance y del giro progresivo de las llantas direccionales, es de forma espiral convergente, como se muestra en la Figura 2.2.

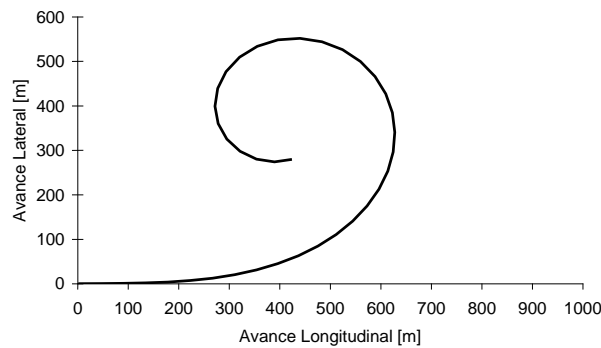


Figura 2.2 Trayectoria generada en una prueba direccional tipo rampa

La maniobra de cambio simple de carril simula el cambio repentino de carril en una carretera, parecido a una acción de evasión o de rebase. La trayectoria descrita por este cambio es aproximada a media onda sinusoidal, como se aprecia en la Figura 2.3. En su seguimiento, el vehículo se desplaza a una velocidad de avance de 100 km/h, constante durante toda la maniobra. Estas condiciones deben producir en el eje direccional una aceleración lateral cercana a 0.15 g's.

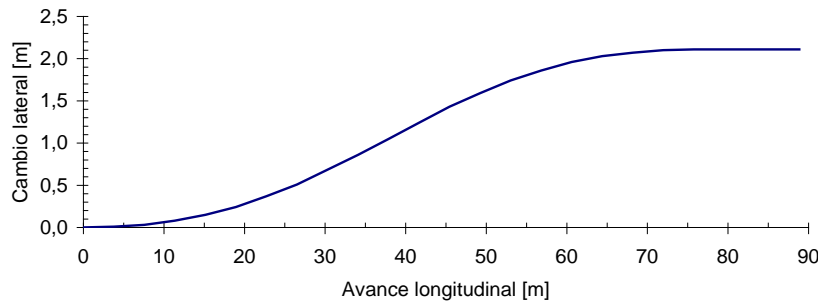


Figura 2.3 Trayectoria de prueba en cambio simple de carril

Con respecto a la maniobra de frenado, el vehículo se desplaza a 100 km/h en una trayectoria rectilínea y se aplica el freno de manera repentina hasta llegar al reposo. El sistema de frenos, supuesto para todos los casos de estudio, es del tipo convencional, sin apoyo de mecanismos o sistemas antibloqueo.

2.3 Programa de simulación

Para la realización del estudio se empleó un programa de simulación especializado para vehículos de carga pesada, el cual permite establecer la respuesta de los vehículos en función de la interacción de sus componentes, el operador y el camino por el que circula. Este programa se denomina TruckSim® y permite introducir los parámetros necesarios de una forma estructurada en una plataforma gráfica. Posterior a la solución numérica, es posible obtener una visualización gráfica de los resultados, así como una animación de la maniobra de prueba ejecutada. En la Figura 2.4 se esquematiza la estructura general del programa de simulación [16].

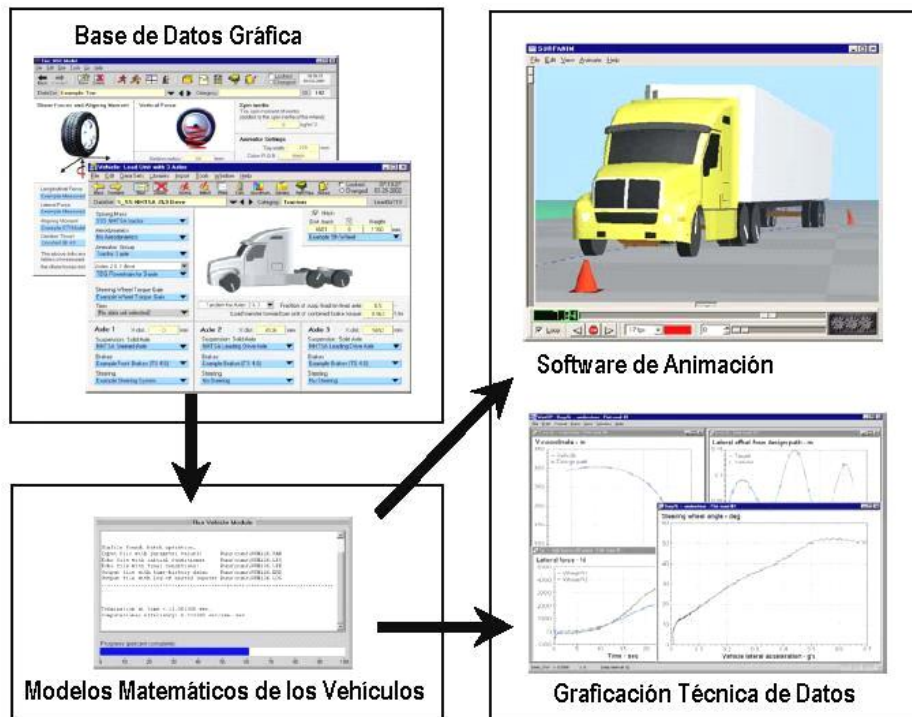


Figura 2.4 Estructura del programa de simulación TruckSim®

3. Desarrollo

Como se menciona en el capítulo anterior, para el desarrollo de este estudio primeramente se definieron las configuraciones vehiculares a analizar, así como las características y propiedades físicas y mecánicas de sus principales componentes. Esto, como principal información requerida como datos de entrada en el modelo de simulación. Relevante fue también establecer los casos de estudio que serían representados a través de la etapa de simulación, para finalmente analizar los resultados. Por tanto, a continuación, se describen brevemente los casos de estudio considerados y las configuraciones vehiculares, así como los escenarios bajo los cuales se llevaron a cabo las maniobras de prueba.

3.1 Casos de estudio

Para el estudio se consideraron un vehículo unitario de tres ejes (C3), una configuración de tractocamión-semirremolque de tres y dos ejes, respectivamente (T3S2), así como una configuración de tractocamión-semirremolque-remolque correspondientemente de tres, dos y cuatro ejes (T3S2R4). Esta selección obedece a que son parte representativa de los vehículos que circulan en carreteras federales, ya que, según estudios estadísticos del transporte, cerca del 63% del total de vehículos de carga corresponde a estas configuraciones, [1]. Además, están contempladas en las autorizaciones para usar llantas de base ancha.

Una vez definidas las configuraciones vehiculares, se procedió a la determinación de las combinaciones de llantas a analizar. Para el caso del vehículo C3 se determinaron dos posibles combinaciones, siendo una al utilizar llantas de base ancha en el segundo eje (contando a partir del eje direccional) manteniendo el arreglo dual en el tercer eje. La segunda es la inversa de la primera, es decir con llantas de base ancha en el tercer eje. Se consideran dos casos de referencia para este tipo de vehículo, con el primer caso cuando el vehículo es dotado solo con llantas en arreglo dual en los ejes posteriores y, como referencia complementaria, cuando usa llantas de base ancha. De forma esquemática, en la Figura 3.1 se muestran los arreglos de llantas para cada caso de estudio para el vehículo C3.

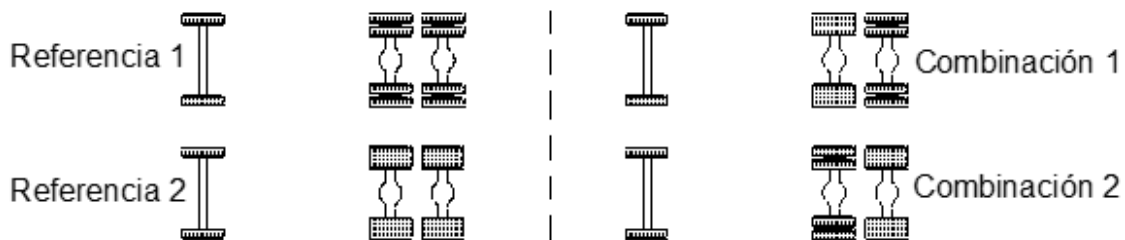


Figura 3.1 Arreglo de llantas para cada caso de estudio en vehículo C3

Con el objeto de facilitar la escritura al hacer alusión a alguno de los casos de estudio, se denotan los casos utilizando la letra inicial (R o C) seguida por el número de caso; por ejemplo, R1 indica Referencia 1.

Para la configuración vehicular articulada T3S2, compuesta por un tractocamión y un semirremolque, existen mayor cantidad de posibles combinaciones debido al mayor número de ejes. En este caso se consideran seis casos de arreglos de llantas como condiciones de análisis para la caracterización de su comportamiento dinámico. Los dos primeros corresponden a los casos de referencia utilizando solo un tipo de llantas a la vez. Los siguientes corresponden al uso de uno u otro tipo de llantas por unidad de la configuración. Finalmente, en los dos últimos se aborda el caso de la combinación de ambos tipos de llantas en una misma unidad. En la Figura 3.2 se observa a detalle el acomodo de llantas para los diferentes casos de estudio del vehículo T3S2. La nomenclatura para la identificación de cada caso sigue la misma lógica que para el vehículo C3.

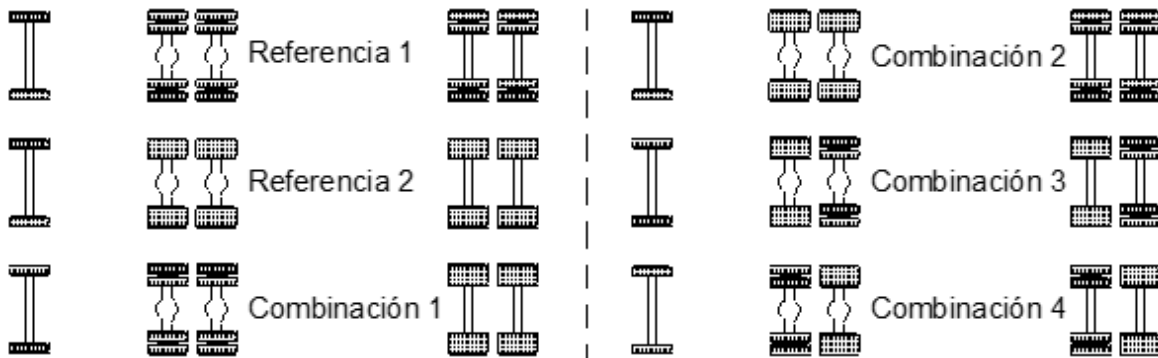


Figura 3.2 Arreglo de llantas para cada caso de estudio en configuración T3S2

Finalmente, para la configuración vehicular doblemente articulada se tienen ocho ejes en los cuales se pueden utilizar llantas supersencillas o arreglos duales ampliando enormemente las posibles combinaciones. Para limitar las combinaciones se acotó a analizar dos condiciones de referencia (R1 y R2) que emplean un solo tipo de llanta y seis combinaciones, designadas de C1 a C6, considerando tándem de ejes. En la Figura 3.3 se muestra gráficamente los arreglos de llantas de cada caso de estudio, donde se aprecia que la referencia 1 corresponde al uso exclusivo de llantas en arreglo dual y la referencia 2 usa sólo llantas supersencillas. Posteriormente, en la combinación 1 el tándem del segundo remolque emplea arreglo dual y el resto supersencillas; en la combinación 2 el convertidor y el segundo semirremolque utilizan duales, en la combinación 3 solo el semirremolque equipa supersencillas y, en los casos restantes, de la combinación 4 a la 6 el orden se invierte, como se indica en la figura.

Cabe mencionar que las llantas supuestas en la modelación de los vehículos fueron de designación 275/80R22.5 para llantas sencillas y 445/50R22.5 para las de base ancha. Además, en todos los casos se supuso que en el eje delantero direccional se empleaban llantas sencillas del mismo tamaño; es decir, 275/80R22.5.

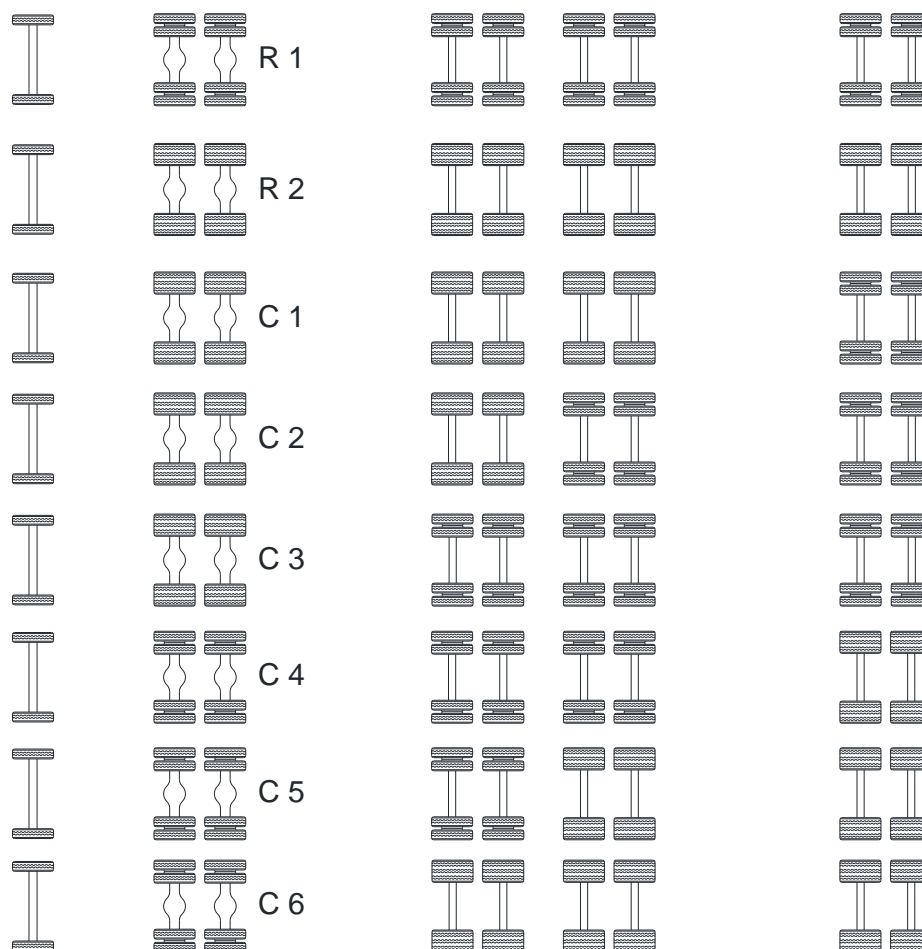


Figura 3.3 Arreglo de llantas para cada caso de estudio en configuración T3S2R4

3.2 Características de las configuraciones vehiculares analizadas

Para llevar a cabo el proceso de simulación es necesario establecer, entre otros parámetros, las principales propiedades y características geométricas y mecánicas de los componentes de las configuraciones a evaluar para alimentar al modelo de simulación. En ese sentido, a continuación, se presentan algunas de las principales características de los vehículos analizados.

3.2.1 Vehículo C3

El camión unitario C3 consta de tren motriz, habitáculo para operador y acompañante y el área destinada para la colocación de la carga, todo esto soportado por tres ejes. El primer eje corresponde al control de la dirección y los restantes son ejes motrices. El Peso Bruto Vehicular (PBV) máximo autorizado para estas unidades es de 240,4 kN (24,5 t) y un largo máximo de 14 m [17]. Las

principales dimensiones, así como la ubicación de los centros de gravedad (CG) del vehículo y de la carga utilizados para el modelo, se muestran en la Figura 3.4.

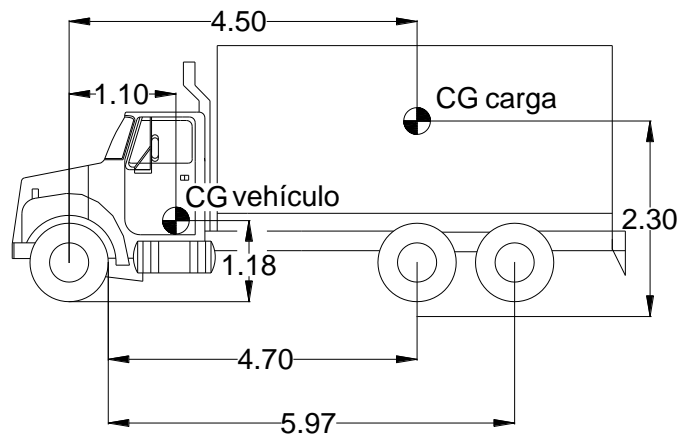


Figura 3.4 Dimensiones principales de vehículo de prueba C3 [m]

El peso del vehículo en vacío es de 83,4 kN (8,5 t) con llantas en arreglo dual y de 81,7 kN (8,3 t) con llantas de base ancha, lo que implica una diferencia de 1,7 kN. Para los casos que combinan ambos tipos de llantas el peso es de 82,6 kN (8,4 t). La carga se supone de 157,0 kN (16,0 t), logrando con ello obtener el PBV máximo autorizado en el caso R1. No solo el peso cambia con el uso de llantas de base ancha, también la magnitud de la entevía se ve afectada, incrementándose alrededor de 7 cm. Lo anterior se muestra en la Figura 3.5.

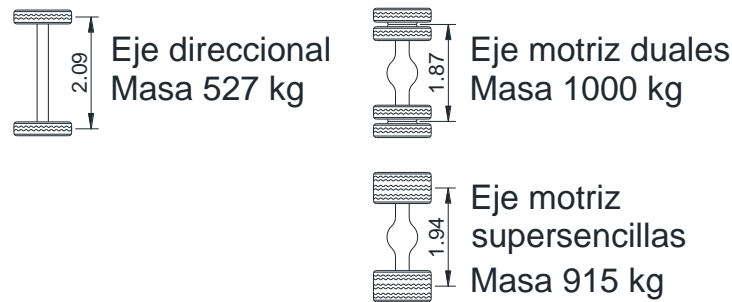


Figura 3.5 Dimensiones de la entevía y peso de los ejes con ambos tipos de llantas para vehículo C3

En la Tabla 3.1 se muestran el ancho y la rigidez vertical, supuesta lineal, de las diferentes llantas analizadas (direccional, motriz y carga). Es importante mencionar que ambos tipos de llantas utilizadas para el estudio (sencillas y de base ancha) son del mismo fabricante, y para el caso de las llantas de base ancha corresponden al tipo de fabricación autorizado para circular por carreteras mexicanas, es decir con tecnología Infinicoil™.

Tabla 3.1 Ancho y rigidez vertical de las llantas

Tipo de llanta	Ancho [mm]	Rigidez vertical [N/mm]
Direccional	282	927
Motriz dual	279	953
Carga dual	281	897
Motriz ancha	435	1177
Carga ancha	435	1200

Fuente: Base de datos del Grupo de Dinámica Vehicular del IMT

Otras propiedades importantes de las llantas que determinan en gran medida el comportamiento del vehículo en movimiento, son las denominadas propiedades de viraje (*cornering properties*). En la Figura 3.6 se muestra un ejemplo de gráficas características de estas propiedades que, para este caso, corresponden a la llanta empleada en el eje direccional. En la primera se muestra la respuesta longitudinal para diferentes cargas verticales conforme se incrementa la razón de deslizamiento; en la siguiente, se observa la respuesta de fuerza lateral en función del ángulo de deslizamiento y, finalmente, se presenta el par de autoalineamiento generado con el incremento del ángulo de deslizamiento.

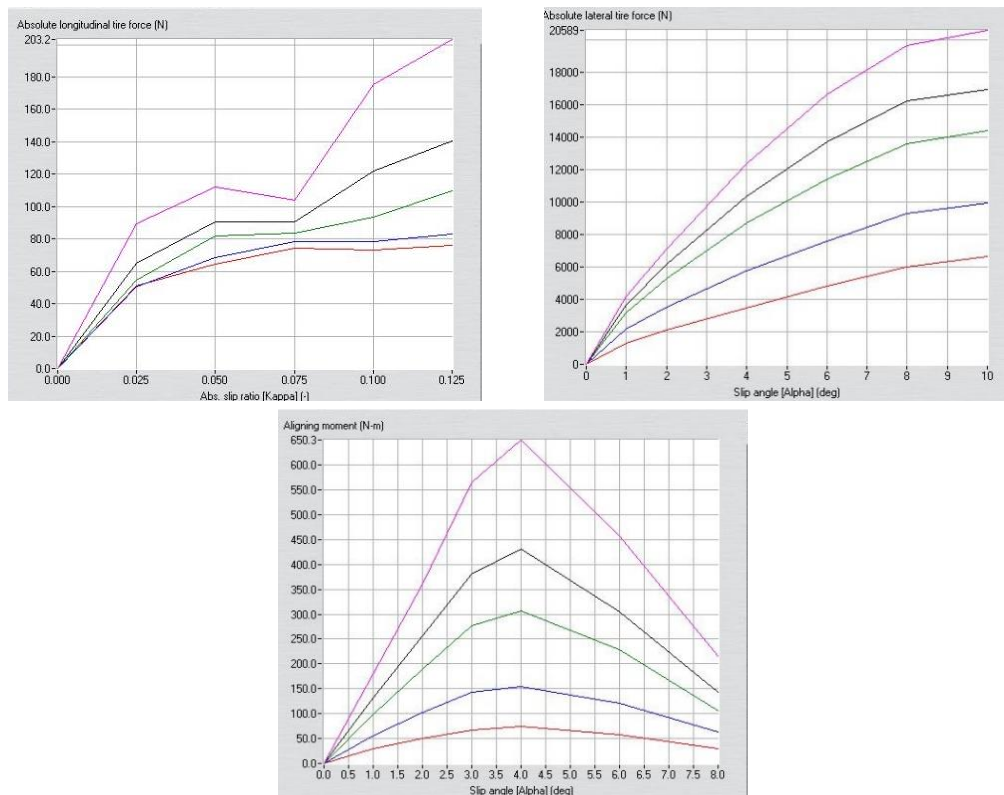


Figura 3.6 Propiedades de viraje de llanta empleada en el eje direccional

Una de las características del programa de simulación empleado, es la capacidad para mostrar visualmente las representaciones de los vehículos a analizar. Aprovechando esa capacidad, en la Figura 3.7 se muestran imágenes de los casos de estudio R1 y R2, en las que se puede apreciar la representación del arreglo de llantas sencillas en dual (R1) y el uso de llantas de base ancha (R2).



Figura 3.7 Representación visual de los casos de estudio R1 (arreglo dual) y R2 (base ancha) en programa de simulación

De manera similar, en la Figura 3.8 se presentan imágenes del vehículo en los casos de arreglos combinados. Así, en el vehículo del lado izquierdo se aprecia el uso de llantas de base ancha en el primer eje motriz, mientras que en el siguiente eje se montan llantas en arreglo dual. En el vehículo del lado derecho sucede lo contrario en cuanto a la disposición de los dos tipos de llantas.



Figura 3.8 Representación visual de los casos de estudio C1 y C2 en programa de simulación

3.2.2 Configuración T3S2

La configuración vehicular simplemente articulada T3S2 está compuesta de un tractocamión de tres ejes y un semirremolque de dos. El primer eje en el tractocamión es direccional de llantas sencillas y los posteriores, segundo y tercero, motrices, mientras que el semirremolque posee en su parte posterior dos ejes de carga. Esta combinación tiene un PBV máximo autorizado de 407,1 kN (41,5 t), [17]. En la Figura 3.9 se muestran de forma esquemática las unidades que conforman la

configuración con las principales dimensiones y la ubicación del centro de gravedad de las unidades y de la carga transportada utilizadas en el modelo.

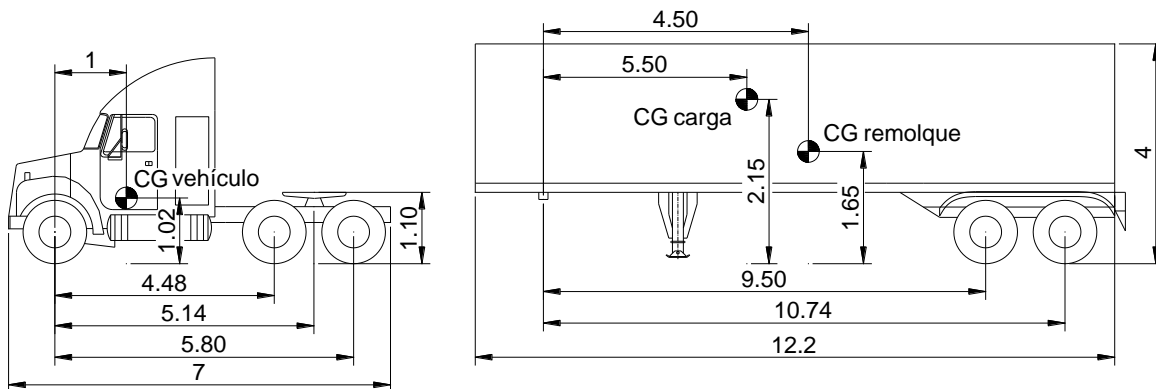


Figura 3.9 Principales dimensiones de configuración T3S2 [m]

Se establece el PBV máximo autorizado de 407,1 kN para el caso R1, donde todos los ejes, a excepción del eje direccional, emplean arreglo dual tradicional. Considerando que las llantas de base ancha tienen un peso menor en comparación que el dual tradicional, además de diferente ubicación en el eje, similar al caso del vehículo C3, se determinan los pesos y las entrevías para los distintos ejes usando cada tipo de llantas que se muestran en la Figura 3.10. Se observan diferencias de 85 kg de masa por eje y de 7 cm en la entrevía para ejes motrices y de 10 cm para ejes de carga, como se indica.

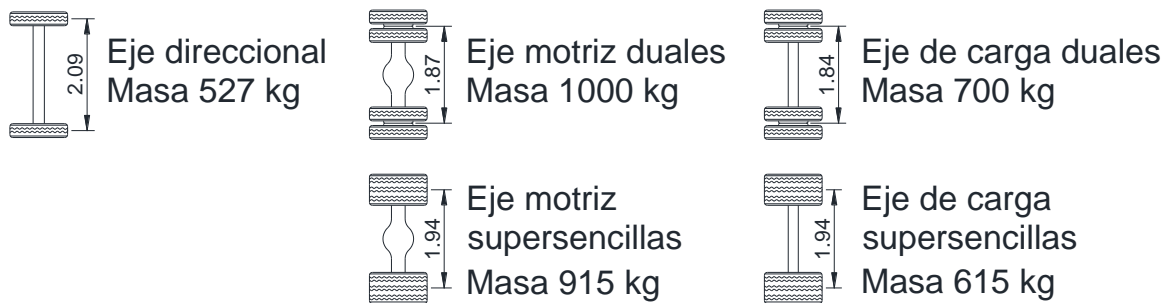


Figura 3.10 Entrevía y peso de los ejes con ambos tipos de llantas en configuración T3S2

Considerando los datos mostrados en la figura anterior, se determinan los pesos de la configuración vehicular para cada uno de los casos de estudio restantes. Esto es mostrado en la Tabla 3.2, donde se observan diferencias de peso de 3,3 kN (340 kg) entre los casos de referencia y de 1,7 kN (170 kg) entre R1 y los demás casos de combinaciones.

Tabla 3.2 Peso de la configuración T3S2 para cada caso de estudio

Caso de estudio	Peso [kN]		
	Tractor	Semi	Total
R1	90,52	316,60	407,12
R2	88,85	314,93	403,78
C1	90,52	314,93	405,45
C2	88,85	316,60	405,45
C3	89,68	315,76	405,45
C4	89,68	315,76	405,45

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.11 se muestra la vista del vehículo T3S2 generada mediante la herramienta de visualización del programa de simulación, ya una vez que se han introducido todas las características y propiedades de los componentes en el mismo. Del lado derecho se aprecia el caso R1 donde solo se usan llantas en arreglo dual y del lado izquierdo se muestra el caso R2 con el uso de llantas de base ancha.



Figura 3.11 Representación visual de los casos de estudio R1 y R2 en programa de simulación en configuración T3S2

Los casos C1, C2, C3 y C4 se muestran en la Figura 3.12. En la parte superior izquierda se encuentra el C1 donde el tractocamión usa llantas en arreglo dual y el semirremolque llantas de base ancha; en la superior derecha se aprecia el caso C2 que es a la inversa del C1 en cuanto al acomodo de las llantas. Complementariamente, en la parte inferior izquierda se presenta el caso C3 donde tanto el tractocamión como el semirremolque combinan el uso de ambos tipos de llantas, siendo los ejes 2 y 4 los que usan llantas de base ancha; finalmente en la parte inferior derecha se muestra el caso C4 que presenta un acomodo inverso de llantas respecto a la combinación anterior.

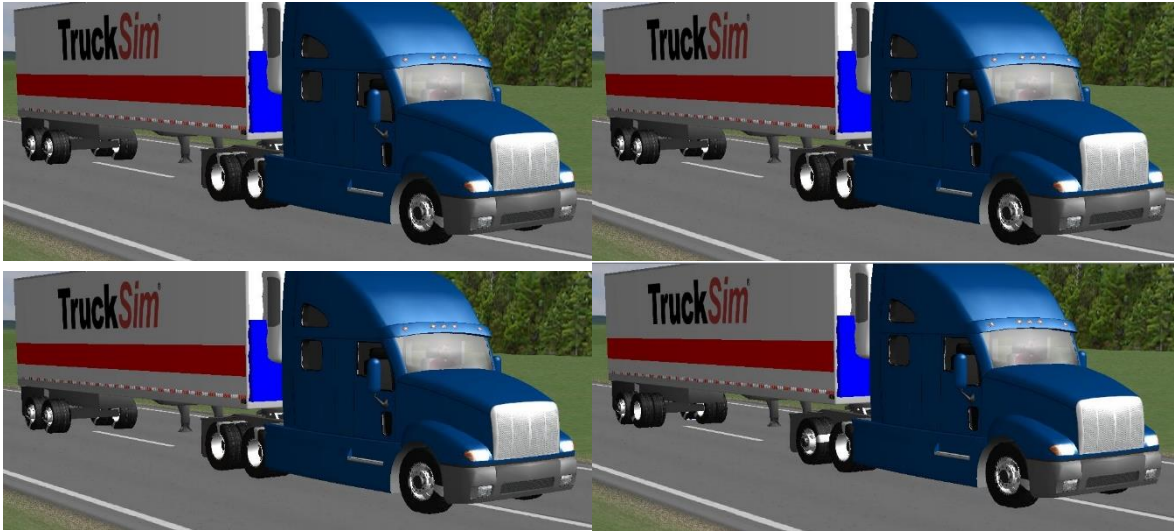


Figura 3.12 Representación visual de los casos de estudio C1, C2, C3 y C4 en programa de simulación en configuración T3S2

3.2.3 Configuración T3S2R4

Esta configuración vehicular se conforma de un tractocamión de tres ejes que arrastra dos semirremolques de dos ejes cada uno, unidos estos últimos entre sí por un convertidor o dolly de dos ejes. Para el armado de la configuración en el programa de simulación, se toma de base los parámetros de la configuración T3S2 agregando un segundo semirremolque con las mismas características que el primero y el convertidor del tipo A con un peso de 25,1 kN (2,6 t) y cuyas principales dimensiones se presentan en la Figura 3.13. Los parámetros de los ejes son iguales que los usados en los semirremolques.

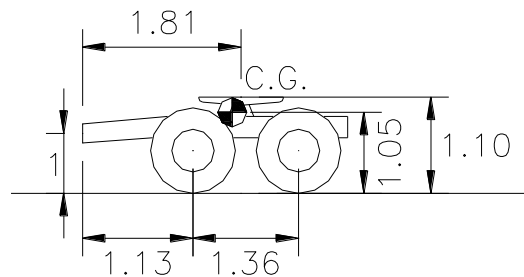


Figura 3.13 Esquema de convertidor A con sus principales dimensiones [m]

El PBV máximo autorizado para la configuración es de 740,7 kN (75,5 t), peso que se toma como base para el caso R1, donde todos los ejes equipan llantas duales, quedando de esta forma un peso del vehículo en vacío de 285,6 kN (29,1 t) y una carga útil de 455,1 kN (46,4 t) repartida entre los dos semirremolques. Para el caso R2 el peso es de 734,0 kN (74,8 t), es decir una diferencia de 6,7 kN (680 kg). Los pesos totales para todos los casos de estudio se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Peso de la configuración T3S2R4 para cada caso de estudio

Caso	Peso [kN]
R1	740,66
R2	733,98
C1	735,65
C2	737,32
C3	738,99
C4	738,99
C5	737,32
C6	735,65

Fuente: Elaboración propia

La representación gráfica de las combinaciones de estudio para la configuración T3S2R4 generada por el programa de simulación se muestra en las Figuras 3.14 y 3.15. En la primera se pueden observar los casos de referencia (parte superior), conformadas por un solo tipo de llantas y las combinaciones 1 y 2 donde se emplean de manera conjunta ambos tipos de llantas.



Figura 3.14 Representación visual de los casos de estudio R1, R2, C1 y C2 de configuración T3S2R4 en programa de simulación

En la Figura 3.15 se presentan el resto de las combinaciones, observándose en la parte superior las combinaciones 3 y 4, mientras que en la parte inferior de la figura se muestran las combinaciones 5 y 6.



Figura 3.15 Representación visual de los casos de estudio C3, C4, C5 y C6 de configuración T3S2R4 en programa de simulación

3.3 Escenarios de prueba

Para la realización de las maniobras de prueba, se requiere establecer previamente las condiciones del camino donde circulará la configuración vehicular. Para este estudio se establecieron dos escenarios de prueba, correspondiendo el primero a una superficie de asfalto de 1 km² sobre la cual se realiza la prueba tipo rampa direccional. El segundo escenario corresponde a un tramo de carretera con carpeta asfáltica con dos carriles de 3,5 m de ancho cada uno, sobre el cual se realizan las pruebas de cambio de carril y frenado.

En la Figura 3.16 se aprecian los escenarios dispuestos para la ejecución de pruebas. En la parte izquierda de dicha figura se muestra la representación de la superficie cuadrada para la prueba de rampa, mientras que en la derecha se muestra una imagen del camino para las pruebas de frenado y cambio de carril. Ambos escenarios cuentan con un coeficiente de fricción de 0,7 entre llanta y la carpeta asfáltica.

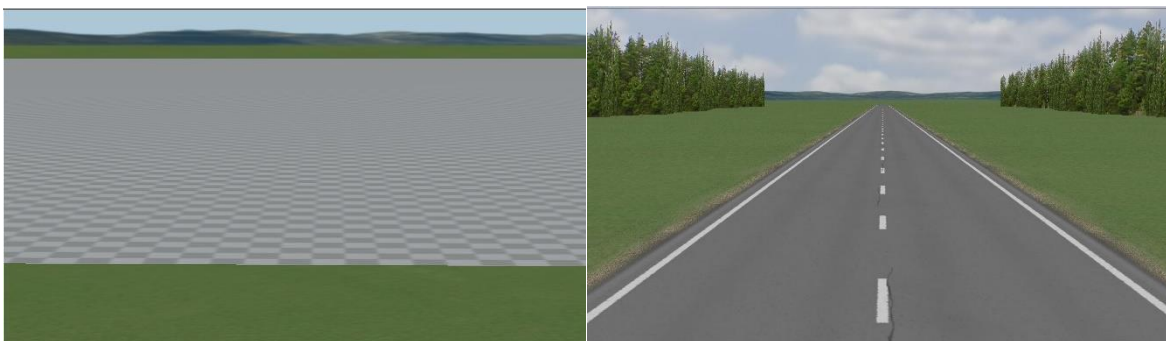


Figura 3.16 Representación gráfica de escenarios de simulación

4. Resultados

Después de llevar a cabo el proceso de simulación, se procedió al procesamiento y análisis de los datos obtenidos para la determinación de los valores para las medidas estandarizadas del desempeño de vehículos de carga pesada. Estos resultados procesados y analizados se presentan en esta sección, tomando de referencia para cada caso parámetros obtenidos de las principales medidas estandarizadas del desempeño dinámico.

4.1 Umbral de vuelco

El umbral de vuelco de los vehículos, como una medida de la estabilidad lateral, se obtiene de la maniobra direccional tipo rampa. En la Figura 4.1 se muestra la secuencia en bloques de la parte final de la maniobra, donde debido a la magnitud de la aceleración lateral soportada, la configuración vehicular sufre la pérdida total del control que finaliza con el vuelco de la unidad.

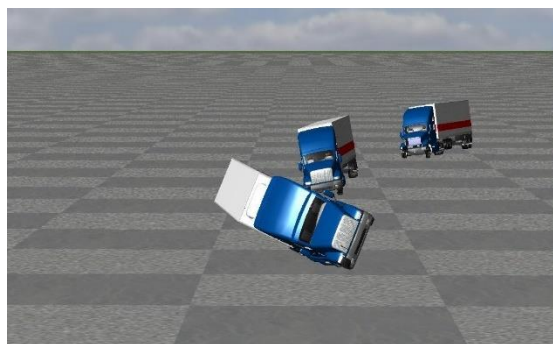


Figura 4.1 Vuelco del vehículo durante prueba rampa

4.1.1 Vehículo C3

Los resultados del umbral de vuelco alcanzado en los diversos casos de estudio para el vehículo unitario se presentan en la Tabla 4.1, en términos de la aceleración lateral como indicador de vuelco inminente. Como se puede apreciar, el valor más alto es obtenido por el vehículo de referencia R2, con un incremento cercano al 4 % con respecto a R1 que presentó el umbral más bajo. Posterior en el orden de decremento de valores, siguen C2 y C1 respectivamente, con valores muy similares.

Estos resultados hacen evidente el hecho de utilizar llantas de base ancha, ya sea de forma exclusiva o en combinación con ejes con arreglo dual de llantas, proporciona ligeras mejoras en la estabilidad lateral del vehículo unitario tipo C3. Esto, sin importar el eje que se equipe con llantas de base ancha.

Tabla 4.1 Umbral de vuelco vehículo C3

Caso estudio	R1	R2	C1	C2
Umbral [g's]	0,425	0,441	0,430	0,433

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Configuración T3S2

Respecto a la configuración articulada de tractocamión-semirremolque, la Tabla 4.2 presenta los valores registrados del umbral de vuelco para los casos de estudio con esta configuración. Como en el caso del vehículo unitario, el valor máximo se obtiene para R2 con diferencia de 0,032 g's con respecto a R1, que es prácticamente igual al caso de la combinación C4, seguido en forma descendente por C1, ligeramente mayor al umbral presentado por C2, mientras que el caso con el umbral más bajo corresponde a la combinación C3.

Tabla 4.2 Umbral de vuelco configuración T3S2

Caso estudio	R1	R2	C1	C2	C3	C4
Umbral [g's]	0,416	0,448	0,433	0,429	0,408	0,417

Fuente: Elaboración propia

En la configuración se observan ligeras mejoras al usar llantas de base ancha en toda la unidad o en forma combinada, aunque estas mejoras se revierten cuando se combinan ambos tipos de llantas en cada unidad y los arreglos duales se colocan en el último eje de cada unidad que conforma la configuración.

4.1.3 Configuración T3S2R4

En el caso de la configuración doblemente articulada, los valores de aceleración alcanzados antes de producirse el vuelco son mostrados en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Umbral de vuelco configuración T3S2R4

Caso estudio	R1	R2	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Umbral [g's]	0,385	0,408	0,392	0,398	0,380	0,391	0,391	0,412

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que los umbrales de vuelco más alto se obtuvieron para R2 y C6, ligeramente mayor para C6. Ambos casos representan el mayor uso de llantas supersencillas, siendo que R2 emplea sólo este tipo de llantas y C6, a diferencia de R2, equipa llantas en arreglo dual únicamente en los ejes motrices del tractocamión.

Por otro lado, el umbral más bajo se presentó para la combinación C3 y, ligeramente mayor, el de referencia R1, que corresponden a los casos que equipan la mayor cantidad de ejes con llantas en arreglo dual, con C3 utilizando solamente en el

tractocami3n llantas supersencillas. Estos resultados conducen a que, como se observ3 en las configuraciones simuladas C3 y T3S2, pareciera que el uso de llantas supersencillas sutilmente mejora el umbral de vuelco. Esto, considerando que la diferencia entre el umbral m3s alto y el m3s bajo para la combinaci3n T3S2R4 es de apenas 0,032 g's; es decir, menos de 10% de diferencia entre los valores extremos, lo cual refiere que los umbrales obtenidos para las combinaciones que emplean llantas en arreglo dual no afectan negativamente de manera significativa este par3metro en las configuraciones con las condiciones simuladas.

4.2 Manejabilidad

La manejabilidad se representa a trav3s de un diagrama donde se grafica el incremento en la aceleraci3n lateral soportada por la configuraci3n vehicular contra la relaci3n $\Omega_z L / V - \delta_f$. En esa relaci3n, Ω_z es la velocidad angular de la unidad, L es la distancia base entre ejes, V es la velocidad de avance y δ_f es el 3ngulo de orientaci3n de las llantas del eje direccional. En la Figura 4.2 se presenta un diagrama de manejabilidad t3pico que ilustra las tres condiciones de viraje que puede presentar un veh3culo y como 3stas pueden variar dependiendo del nivel de aceleraci3n lateral.

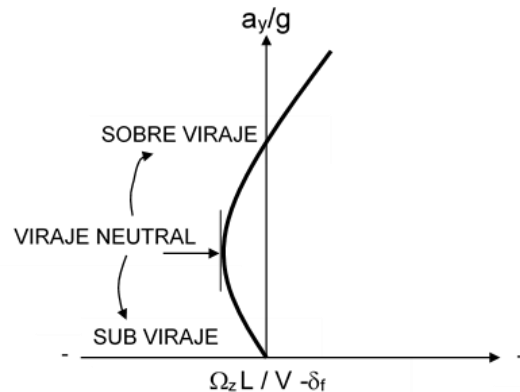


Figura 4.2 Representaci3n de diagrama de manejabilidad t3pico

A partir de la pendiente del diagrama de manejabilidad se establece la condici3n de viraje. Esta condici3n se refiere a la respuesta de ajuste de la orientaci3n del cuerpo del veh3culo conforme a la trayectoria que siguen las llantas direccionales a una determinada velocidad. Al igual que el umbral de vuelco, la manejabilidad se obtiene a partir de las variables estimadas durante la prueba tipo rampa.

4.2.1 Veh3culo C3

Los cuatro diagramas de manejabilidad obtenidos para el veh3culo unitario se pueden observar en la Figura 4.3, los cuales son muy similares. A baja aceleraci3n lateral, que en la pr3ctica corresponde com3nmente a un desplazamiento a baja velocidad, inicia con tendencia de sobreviraje que no es significativo. Esta tendencia cambia a subviraje despu3s de 0,1 g's de aceleraci3n lateral, finalizando con otro cambio de pendiente hacia el viraje neutral. Es en esta parte final donde se aprecian

algunas ligeras diferencias, siendo para los casos R2 y C1 más pronunciado el cambio.

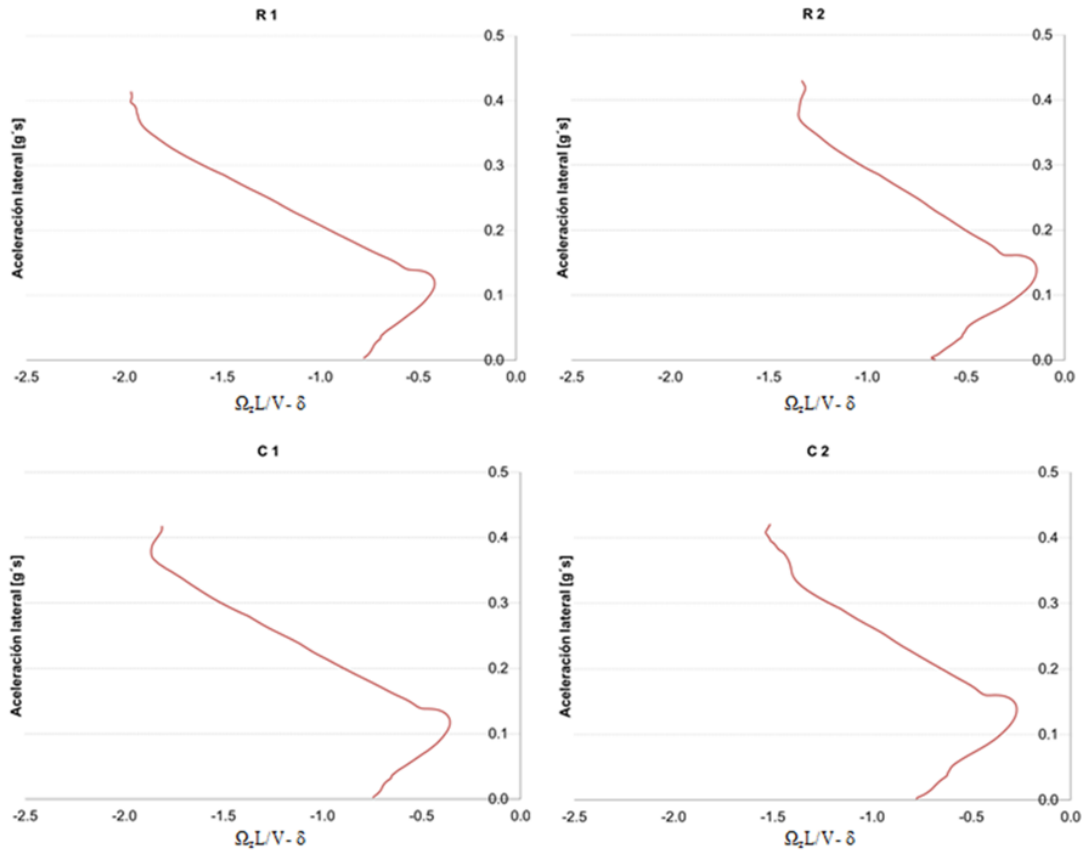


Figura 4.3 Diagramas de manejabilidad para casos de estudio con vehículo C3

4.2.2 Configuración T3S2

En la Figura 4.4 se presentan los diagramas de manejabilidad para la configuración T3S2. En este caso al ser dos unidades las que conforman la configuración, se muestran ambas líneas de tendencia por cada combinación. De estos diagramas se puede observar de las líneas de tendencia que el tractocamión tiene un comportamiento similar a las del vehículo unitario, presentándose sobreviraje a bajos niveles de aceleración lateral, común a bajas velocidades, para luego cambiar hacia subviraje en alrededor de 0,2 g's, mientras que al final del diagrama, cerca de 0,4 g's, cambia hacia viraje neutral. Además, es posible identificar dos grupos con mayor similitud entre sí, por un lado, están R1, C1 y C3, donde los dos primeros el tractocamión equipa exclusivamente arreglos duales, mientras que en el último el segundo eje motriz utiliza este tipo de llantas. Por otro lado, están R2, C2 que emplean solo llantas de base ancha y C4 que en el segundo eje motriz y en el segundo eje del semirremolque, utilizan este tipo de llantas. Analizando el semirremolque se observa que para bajos niveles de aceleración lateral se presentan tendencias de viraje neutral que, posteriormente, conforme se incrementa la aceleración, cambia a subviraje. Este cambio es más paulatino para los casos

donde se tiene llantas supersencillas en los ejes del semirremolque, como en R2 y C1, mientras que donde se tiene llantas en arreglo dual (R1 y C2) es más marcado el viraje neutral y al final del diagrama se presenta el cambio hacia el subviraje.

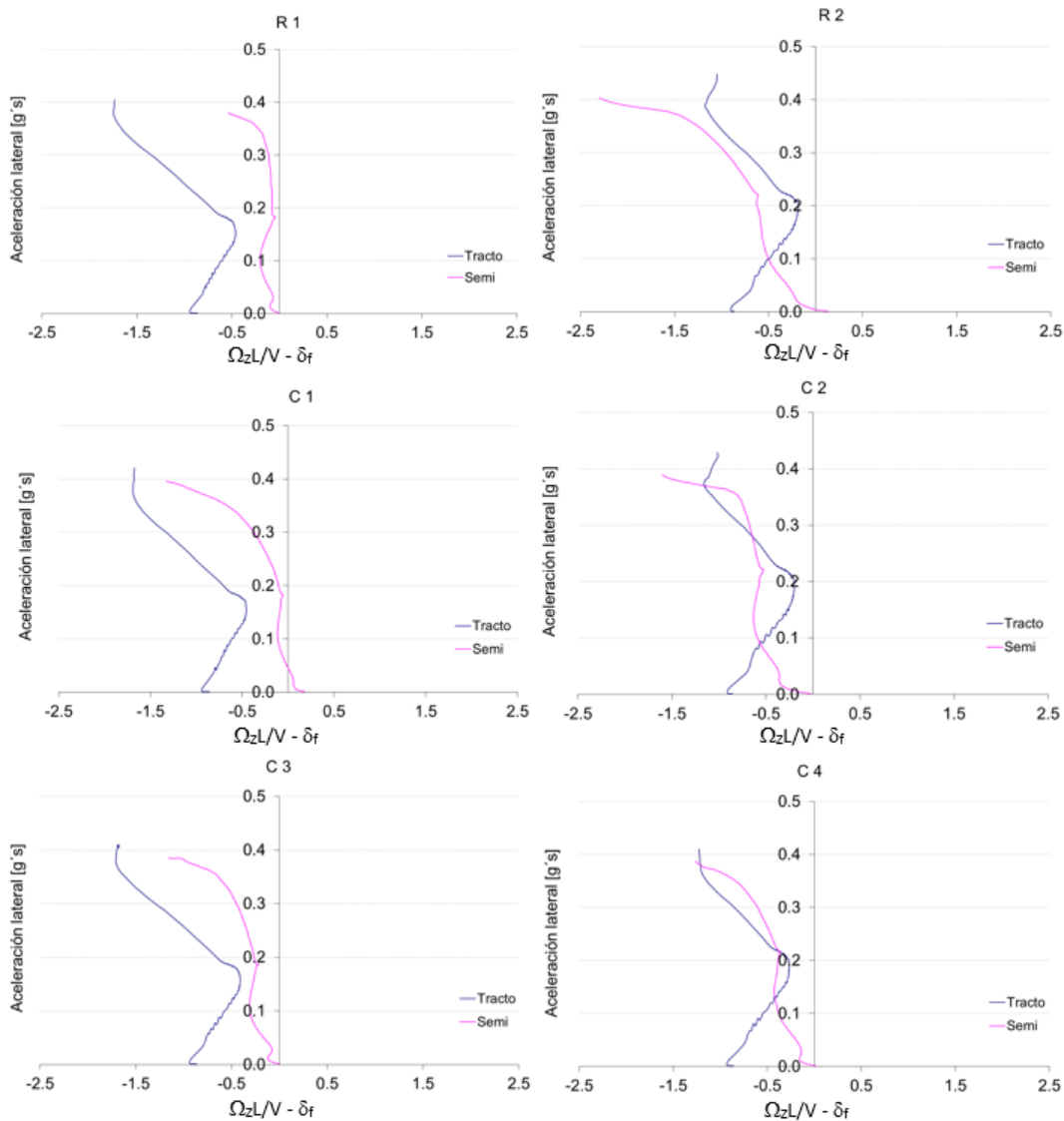


Figura 4.4 Diagramas de manejabilidad para casos de estudio con vehículo T3S2

La tendencia al subviraje se puede asociar a una respuesta más lenta ante cambios en la dirección, volviéndose, por lo tanto, más previsible para el operador.

4.2.3 Configuración T3S2R4

La Figura 4.5 presenta los diagramas de manejabilidad obtenidos para la configuración doblemente articulada. En este caso se incluyen tres líneas de tendencia, una por cada unidad de la configuración, exceptuando el convertidor.

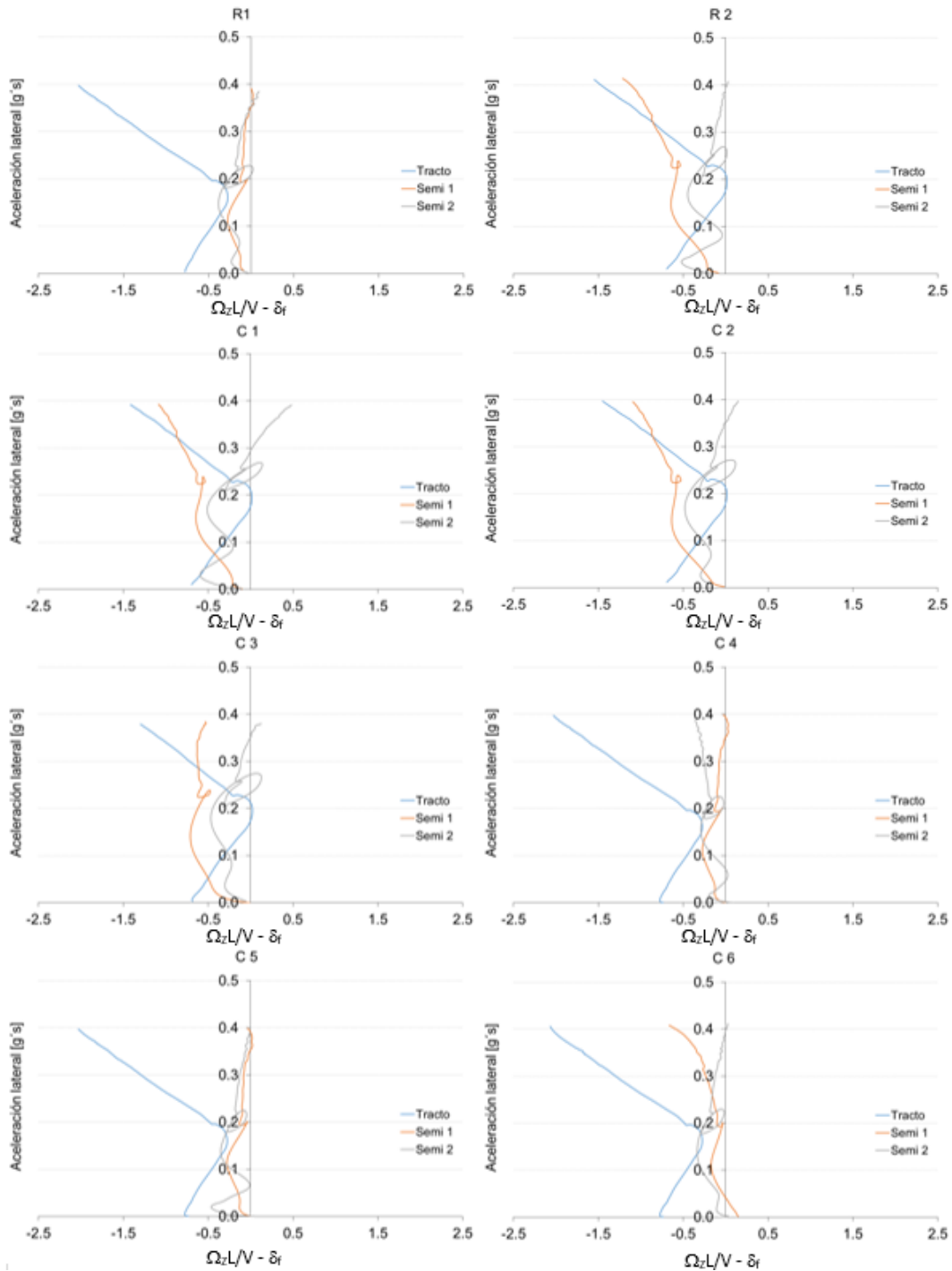


Figura 4.5 Diagramas de manejabilidad para casos de estudio con vehículo T3S2R4

Se puede observar de la figura que para los tractocamiones en esta configuración presentan comportamientos de manejabilidad muy similares a la configuración T3S2, con tendencia a sobre viraje a bajas aceleraciones laterales con un cambio a subviraje a un nivel de 0,2 g's, es decir, no representa cambio significativo el tipo de llantas que equipen esta unidad. Con respecto al primer semirremolque, los casos

donde están equipados con llantas duales (R1, C3, C4 y C5) presentan un comportamiento con tendencia marcada de viraje neutral principalmente conforme se incrementa el nivel de aceleración lateral, mientras que en los casos restantes (R2, C1, C2 y C6) la tendencia resultante es claramente de subviraje. Finalmente, en el segundo semirremolque los casos con llantas duales (R1, C1, C2 y C3) muestran a bajos niveles de aceleración lateral tendencias cambiantes que se pueden aproximar a un comportamiento de viraje neutral que posteriormente se vuelve ligeramente sobrevirado. Con respecto al uso de llantas supersencillas (R2, C4, C5 y C6) igualmente se presentan oscilaciones en la zona baja del diagrama, pero en general se puede identificar una tendencia de viraje neutral para todo el intervalo de aceleraciones laterales. Cabe mencionar que en todos los casos se presenta una zona de irregularidad en el viraje alrededor de 0,2 g's.

4.3 Transferencia lateral de carga

La transferencia lateral de carga (LTR, por sus siglas en inglés), se determina mediante la simulación de la prueba de cambio simple de carril a 100 km/h. En la Figura 4.6 se observa la configuración vehicular en diferentes posiciones durante el desarrollo de la prueba.



Figura 4.6 Visualización de prueba de cambio simple de carril

Esta transferencia se refiere a la cantidad de carga que es transferida de un lado al otro de la configuración durante un cambio de dirección, [10], definido por la siguiente expresión, exceptuando el eje direccional:

$$LTR = \frac{L_d - L_i}{L_T} \quad (4.1)$$

Donde L_d es la sumatoria de carga soportada por los neumáticos del lado derecho del vehículo, L_i es la sumatoria de la carga del lado izquierdo y L_T es la carga total. Para este análisis se exceptúa la carga soportada por el eje direccional.

4.3.1 Vehículo C3

Los resultados obtenidos para el LTR en el vehículo unitario muestran diferencias menores entre los diferentes casos de estudio, de alrededor del 5 % entre el menor

presentado por el caso C1 y el mayor del caso R2 (ver Tabla 4.4), con resultados similares para R1 y C2.

Tabla 4.4 Transferencia lateral de carga vehículo C3

Caso estudio	R1	R2	C1	C2
LTR [%]	48,42	49,72	47,10	48,69

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Configuración T3S2

La transferencia de carga durante la maniobra, expresado en porcentaje, se presenta en la Tabla 4.5 para los casos analizados. Se observa que las diferencias presentadas son mínimas salvo para el caso C4 que presenta el valor máximo obtenido, con diferencias cercanas a 7% respecto a los demás casos.

Tabla 4.5 Transferencia lateral de carga configuración T3S2

Caso estudio	R1	R2	C1	C2	C3	C4
LTR [%]	43,02	42,60	42,41	42,70	41,52	46,14

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Configuración T3S2R4

Para la configuración doblemente articulada, los resultados obtenidos con respecto al LTR se muestran en la Tabla 4.6. Al igual que en los casos anteriores las diferencias encontradas son menores al 10% considerando el valor máximo y el mínimo que se presentaron para C1 y C5, respectivamente. También, cabe mencionar que los valores están muy por debajo del valor recomendado para esta medida de desempeño que es del 60%, [15]

Tabla 4.6 Transferencia lateral de carga configuración T3S2R4

Caso estudio	R1	R2	C1	C2	C3	C4	C5	C6
LTR [%]	32,4	33,5	34,6	34,8	34,4	31,5	31,2	31,6

Fuente: Elaboración propia

En términos generales, para las tres configuraciones analizadas la transferencia lateral de carga no se ve afectada en gran medida debido al uso de llantas duales o supersencillas en forma exclusiva o en combinación de ambos.

4.4 Amplificación del coleo

La amplificación del coleo se obtiene igualmente de los datos obtenidos durante la ejecución de la maniobra de cambio de carril. Esta medida por su naturaleza es solo

aplicable para configuraciones conformadas por más de una unidad, por lo que solo se muestran los valores obtenidos para las configuraciones T3S2 y T3S2R4. Estos resultados representan un indicador de la estabilidad direccional, donde valores menores a 2.2 son recomendados, [15].

4.4.1 Configuración T3S2

La Tabla 4.7 muestra los valores obtenidos para cada caso de estudio de la configuración T3S2, de nueva cuenta se observan diferencias menores al 7 % por ciento considerando los valores máximo y mínimo que corresponden a C4 y C3, respectivamente.

Tabla 4.7 Amplificación del coleo configuración T3S2

Caso estudio	R1	R2	C1	C2	C3	C4
RWA	1,32	1,36	1,33	1,35	1,31	1,40

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Configuración T3S2R4

Los resultados de la amplificación del coleo de los casos de estudio para la configuración doblemente articulada se presentan en la Tabla 4.8. Al igual que la configuración anterior, presentan poca variación entre si siendo menor a 10% entre el máximo y el mínimo que corresponden a C5 y C2, respectivamente

Tabla 4.8 Amplificación del coleo configuración T3S2R4

Caso estudio	R1	R2	C1	C2	C3	C4	C5	C6
RWA	1,75	1,69	1,67	1,64	1,71	1,77	1,80	1,72

Fuente: Elaboración propia

Para ambas configuraciones articuladas los valores resultantes de la amplificación del coleo están por debajo de la recomendación de 2.2, lo cual refleja un adecuado desempeño sin importar el tipo de llanta que se use ya sea en combinación o no.

4.5 Distancia de frenado

La prueba para determinar la distancia de frenado, como se menciona anteriormente, consiste en desplazar el vehículo a velocidad constante, aplicando súbitamente los frenos a fondo hasta detener completamente la configuración, registrando posteriormente la distancia recorrida por el vehículo desde el punto de aplicación de los frenos hasta su completa detención. Para este estudio la velocidad de prueba se estableció en 100 km/hr.

4.5.1 Vehículo C3

A través de la medición de la distancia recorrida desde el momento de la aplicación de los frenos hasta lograr el reposo del vehículo, entre otros parámetros, es posible analizar el desempeño del sistema de frenado. La Tabla 4.9 muestra los resultados para el vehículo C3, donde las menores distancias se obtuvieron para C1 y R2 con valores similares, posteriormente sigue R1 con diferencia de 3,45 m con respecto a los primeros y finalmente C2 cuyo valor se dispara hasta tener diferencia mayor a 10 m en relación a C1 y R2. En base a esto resulta no ser aconsejable la combinación de llantas colocando los arreglos duales en el último eje.

Tabla 4.9 Distancia de frenado vehículo C3

Caso estudio	R1	R2	C1	C2
Distancia [m]	69,56	66,11	66,10	76,30

Fuente: Elaboración propia

4.5.2 Configuración T3S2

En la Tabla 4.10 se muestran los valores obtenidos para la distancia de frenado. La menor distancia se obtiene para C2, la cual usa llantas de base ancha en el tractocamión y duales en el semirremolque, mientras que la mayor distancia se presenta para C1, caso inverso en el acomodo de llantas que C2, la diferencia es de 5,67 m, la cual puede representar la diferencia entre evitar un accidente o no. Los demás casos se encuentran en la media entre C2 y C1, con diferencias menores a 1 m entre ellos.

Tabla 4.10 Distancia de frenado configuración T3S2

Caso estudio	R1	R2	C1	C2	C3	C4
Distancia [m]	75,35	74,55	77,85	72,18	74,96	74,96

Fuente: Elaboración propia

4.5.3 Configuración T3S2R4

Las distancias de frenado obtenidas con los casos de estudio de la configuración doblemente articulada son presentadas en la Tabla 4.11. La menor distancia se registró para R2 con una distancia de 92,1 m, mientras que la mayor distancia fue de 94,96 m con R1, lo que implica una diferencia de 2,86 (una diferencia del 3%), de manera que se ratifica la ligera mejora en el desempeño del frenado de los vehículos al equipar llantas supersencillas, ya que en general, considerando los casos que implican combinaciones, los desempeños son mejores conforme mayor es el número de ejes que montan llantas supersencillas, como el caso de C6 que presentó la segunda menor distancia y que utiliza llantas supersencillas en todos los ejes salvo los del tractocamión.

Tabla 4.11 Distancia de frenado configuración T3S2R4

Caso estudio	R1	R2	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Distancia [m]	94,96	92,10	93,16	93,43	94,16	93,83	93,25	92,83

Fuente: Elaboración propia

4.6 Discusión

En general, las tres configuraciones vehiculares estudiadas presentan un adecuado desempeño para todas las combinaciones de llantas con respecto a las medidas estandarizadas consideradas en este estudio, siempre por debajo de los valores límites sugeridos en la literatura, [15]. No obstante, es de resaltar que se observan ligeras mejoras en el desempeño cuando se utilizan llantas supersencillas, ya que se presentan umbrales de vuelco mayores, lo cual está relacionado con la mayor entevía que se puede obtener con estas llantas. Para la manejabilidad se presentan condiciones de viraje más orientadas al subviraje, principalmente en las configuraciones articuladas, menores niveles de transferencia lateral de carga, así como menores distancias de frenado. Sin embargo, estas diferencias en ningún caso fueron mayores al 10%.

5. Conclusiones

Del presente estudio, se desprenden las siguientes conclusiones:

En primera instancia, considerando las tres configuraciones vehiculares para las medidas de desempeño estandarizadas que se estudiaron, todos los indicadores analizados resultaron por debajo de los valores límites sugeridos en la literatura. Esto significa que el comportamiento dinámico es aceptable, independientemente del tipo de llanta utilizado, ya sea con dual de llantas sencillas o combinaciones con llantas de base ancha. Lo anterior, tomando en cuenta que los análisis con los modelos numéricos consideraron únicamente las propiedades de solamente un fabricante de llantas.

Comparando los casos de referencia, se presentaron ligeras mejoras en el desempeño en aquellos que emplean solamente llantas de base ancha, lo cual se observa en la mayoría de las medidas evaluadas para las tres configuraciones analizadas. En el caso del vehículo C3, en la evaluación del LTR la referencia R1 presentó ligeramente mejor desempeño. En el vehículo articulado la excepción se observa para la amplificación del coleo, con una marginal diferencia de 0,04 a favor de R1. Tomando en cuenta el vehículo doblemente articulado, la referencia equipada con llantas de base ancha presentó mejores resultados en todos los parámetros de comparación. Estas mejoras son más notorias en el umbral de vuelco y la distancia de frenado, favorecido el umbral de vuelco por la mayor entrevía que se puede obtener al equipar llantas supersencillas. Los resultados son acordes a lo encontrado en otros estudios que evidencian mejor desempeño con el uso de llantas de base ancha.

Considerando los demás casos de estudio, las diferencias más notorias, sin ser de gran magnitud, se observaron para el umbral de vuelco y la distancia de frenado. Para el umbral de vuelco en el caso del vehículo C3, los mejores resultados se presentan al utilizar llantas de base ancha, tanto de forma exclusiva como combinadas que corresponden a los casos R2, C1 y C2. Para el vehículo T3S2, los mejores resultados se obtuvieron para R2, C1 y C2; por el contrario, C3 obtuvo el umbral más bajo (llantas en arreglo dual y llantas de base ancha combinadas en tándem). En el vehículo T3S2R4, los umbrales más altos los obtuvieron R2 y C6.

En cuanto a la distancia de frenado para el vehículo C3, R2 y C1 presentaron las distancias menores y C2 la mayor, por lo que si se van a combinar ambos tipos de llantas se sugiere colocar las de base ancha en el penúltimo eje. Para el vehículo T3S2 los mejores resultados los presentaron R2 y C2. Finalmente, para la configuración doblemente articulada, al igual que en el umbral de vuelco, las distancias más cortas se presentan en R2 y C6.

Con respecto a los parámetros de comparación restantes, se puede decir que la manejabilidad, la transferencia lateral de carga y la amplificación del coleo (este último solo para vehículos articulados) no se ven afectados de forma significativa por el uso de uno u otro tipo de llantas, ya sea por separado o de forma combinada.

Cabe resaltar que, debido a las diferentes configuraciones de ejes donde van colocadas las llantas en conjunto con configuraciones disponibles de los rines utilizados para las llantas supersencillas, se pueden generar distintas dimensiones de la distancia de separación lateral de las llantas (entrevía). Estas entrevías pueden incluso ser menores al encontrado en ejes que emplean llantas en arreglo dual, con lo cual es posible que se modifique el desempeño, principalmente para parámetros como el umbral de vuelco, de manera que es necesario considerar estos aspectos en trabajos futuros.

En términos generales, para las propiedades de llantas utilizadas para la simulación, el desempeño dinámico resultante en las configuraciones vehiculares de carga pesada analizadas no presenta mayores alteraciones por usar de forma combinada llantas supersencillas y llantas de base ancha.

Finalmente, es importante resaltar la necesidad de evaluar todos los aspectos involucrados en el desempeño de nuevos productos, antes de asimilar su uso generalizado, sobre todo de productos que pueden influir de manera decisiva en la seguridad de los usuarios. Tal es el caso de las llantas, que al ser el único componente de los vehículos que está en contacto con la superficie por la cual se desplaza, desempeña un rol muy importante en el comportamiento de los vehículos.

Bibliografía

[1] Gutiérrez Hernández, J.L., Soria Anguiano, V.J., Dorado Pineda, M. L. Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional (2017), Instituto Mexicano del Transporte, Documento Técnico No 75, Sanfandila, Qro., 2018.

[2] <http://cochesmiticos.com/los-primeros-neumaticos-historia/>. Página de internet consultada en diciembre 2013.

[3] <http://es.wikipedia.org/wiki/Neum%C3%A1tico>. Página de internet consultada en diciembre 2013.

[4] Executive Report – Wide Base Tires The North American Council for Freight Efficiency NACFE December 2010 - ER1002.

[5] Bonaquist, R. 1992 , “An assessment of the increased damage potential of wide base single tires.” Proc., 7th Int. Conf. on Asphalt Pavements, Vol. 3, 1–16.

[6] Akram, T., Scullion, T., Smith, R. E., and Fernando, E. G. 1992. “Estimating damage effects of dual versus wide base tires with multidepth deflectometers.” Transportation Research Record, 1355, Transportation Research Board, Washington, D.C., 59–66.

[7] Huhtala, M., Philajamaki, J., and Pienimaki, M. 1989. “Effects of tires and tire pressures on road pavements.” Transportation Research Record, 1227, Transportation Research Board, Washington, D.C., 107–114.

[8] Trangsrud and E. H. Law, Ibrahim Janajreh “Ride Dynamics and Pavement Loading of Tractor Semi-Trailers on Randomly Rough Roads”, R&D Corporation, SAE International, 2004-01-2622.

[9] Economic Study: “Use of Supersingle Tires by Heavy Vehicles Operating in Quebec”, Final Report, Genivar for Ministry of Transportation Quebec, M08891, March 2005.

[10] Fabela Gallegos, M. J.; Hernández Jiménez, J. R.; Flores Centeno, O.; Vázquez Vega, D.; Martínez Madrid, M. “Efectos de la llanta Super Single X-One en los pavimentos”. Informe Final de Investigación IF EE 12/05. 9 de junio de 2006. Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural, Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Qro.

[11] Secretaria de Comunicaciones y Transportes. “Autorización para el uso de las llantas súper sencilla, modelo X-ONE de Michelin, en sustitución del arreglo dual al

que hace referencia la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-1995, Sobre el peso y dimensiones máximas con las que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal, o la que la sustituya”. DIARIO OFICIAL. Miércoles 5 de marzo de 2008. México, D. F.

[12] Fabela Gallegos, Manuel de Jesús; Vázquez Vega, David; Hernández Jiménez, José Ricardo; Flores Centeno, Oscar; Blake Cervantes Carlos. Informe Final de Investigación EE 10/12. “Evaluación de llantas supersencillas XOne para combinaciones doblemente articuladas utilizando convertidor tipo H” 05 de junio de 2012. Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural, Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Qro

[13] Secretaria de Comunicaciones y Transportes. “Autorización para el uso de llantas supersencillas X-ONE en tractocamiones doblemente articulados en sustitución del arreglo dual al que hace referencia la NOM-012-SCT-2-2014”. 22 de junio de 2016. México, D.F.

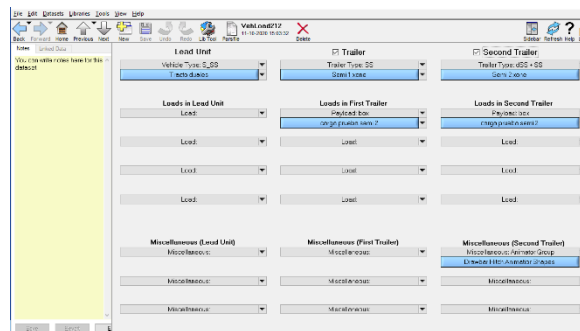
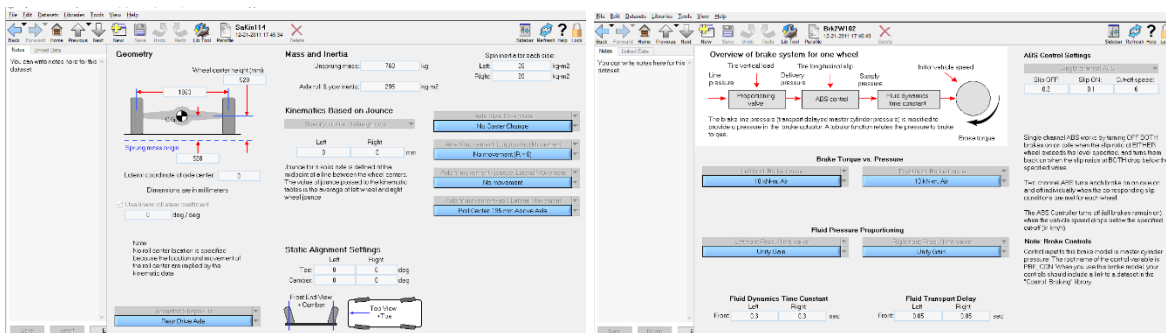
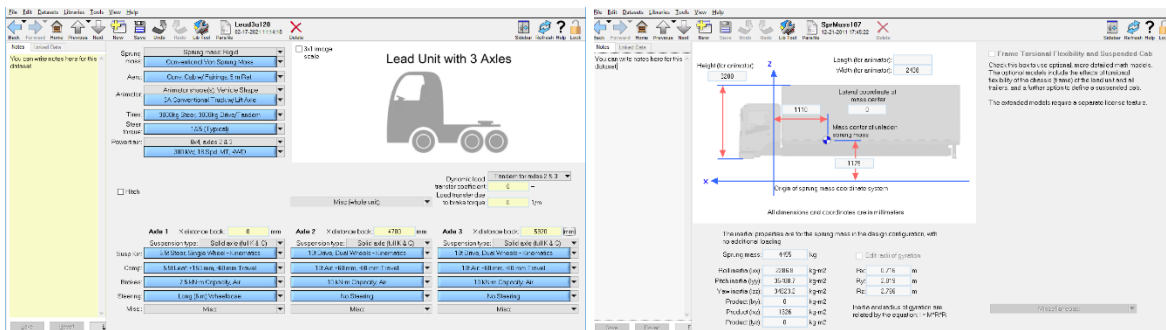
[14] Knowles, 2008, “Analysis of the Economic Costs and Benefits Related to Increasing the Ontario Weight Allowance for New-generation Wide-Base Single Truck Tires”, Knowles Consultancy Services Inc. for the Ministry of Transportation Ontario, St. Catharines, Ontario, 120 pages.

[15] El Gindy, M., An Overview of Performance Measures for Heavy Commercial Vehicles in North America. Int. J. of Vehicle Design, 16, pp. 441-463, 1995.

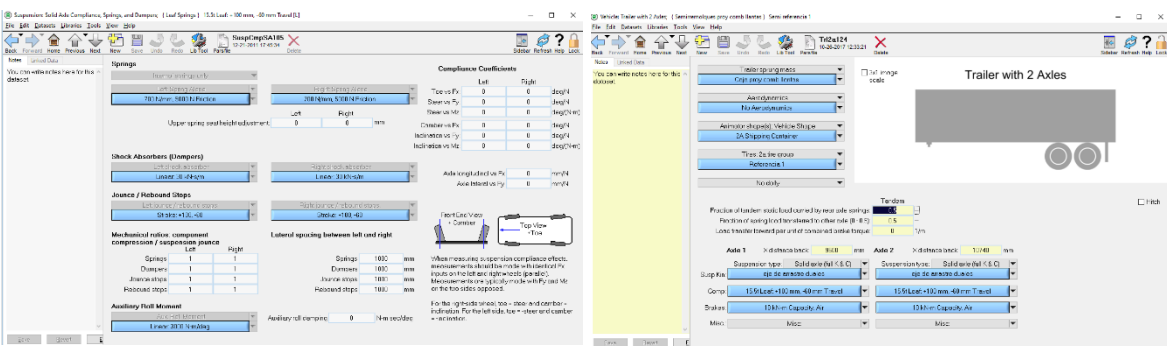
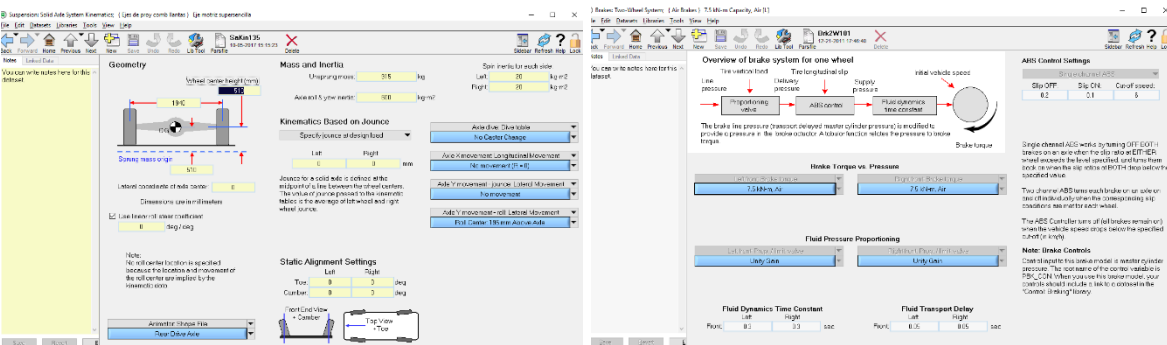
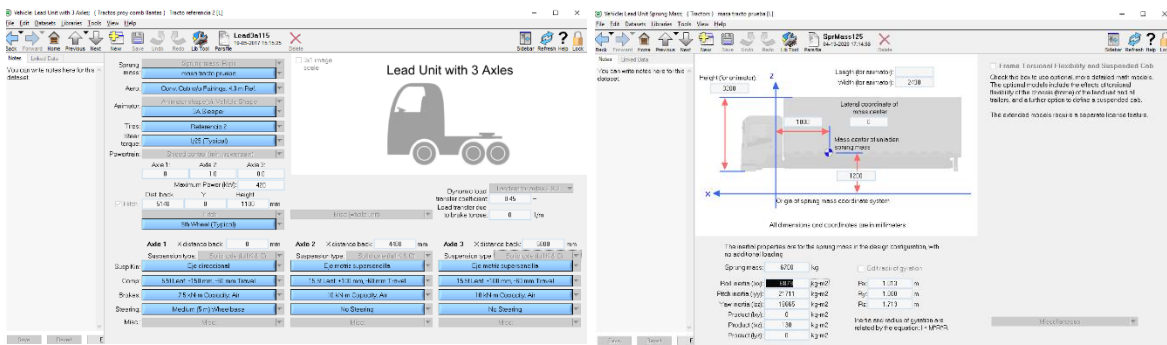
[16] CarSim and TruckSim. User Manual & Update. Version 8.1. Mechanical Simulation Corporation. October 2011.

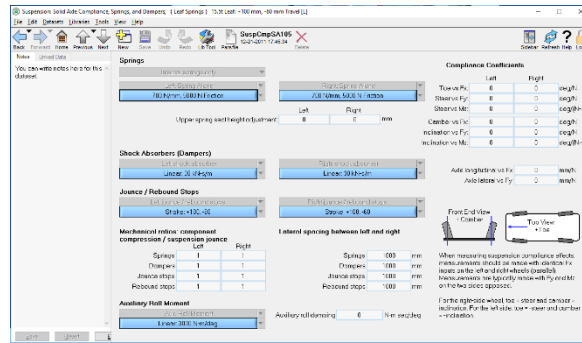
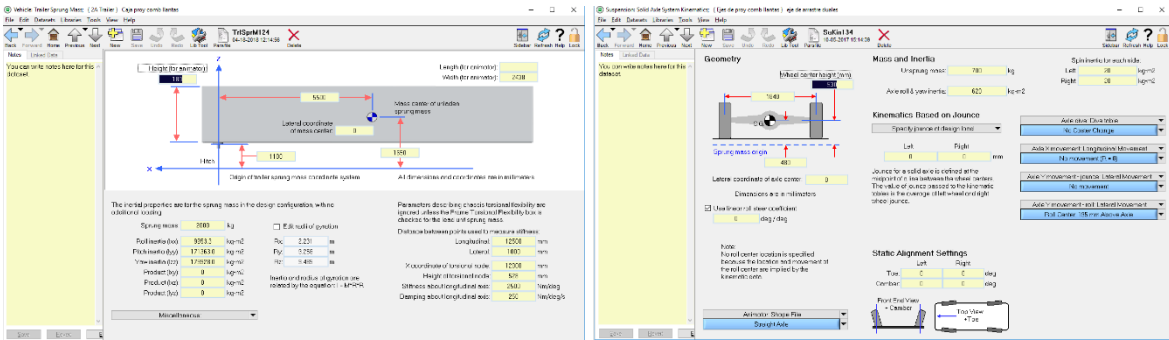
[17] Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017. Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal. Diario Oficial. Martes 26 diciembre de 2017.

Anexo 1. Introducción de parámetros en programa para vehículo C3

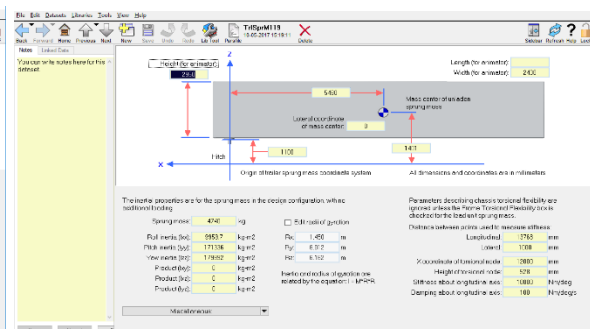
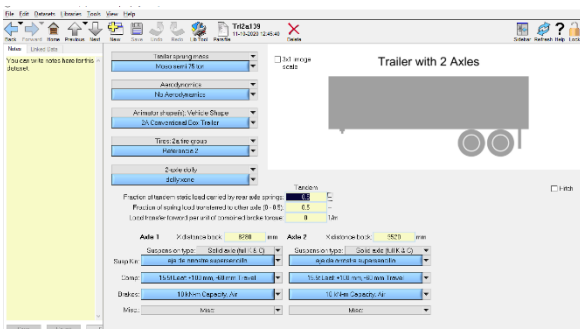
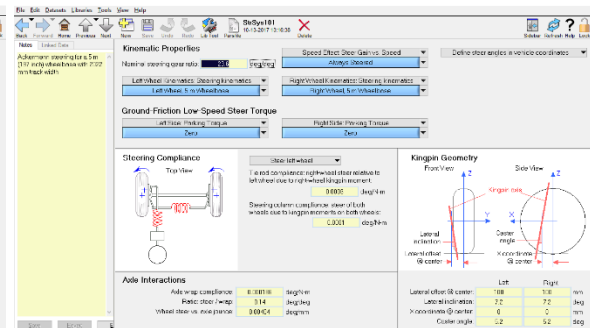
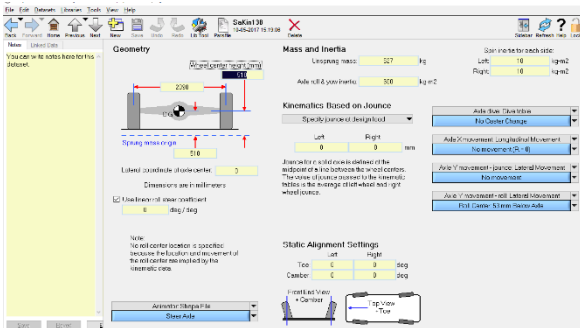
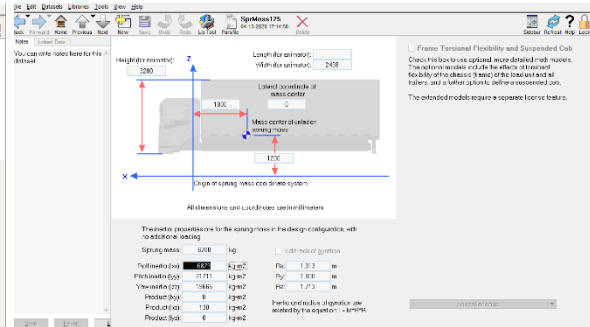
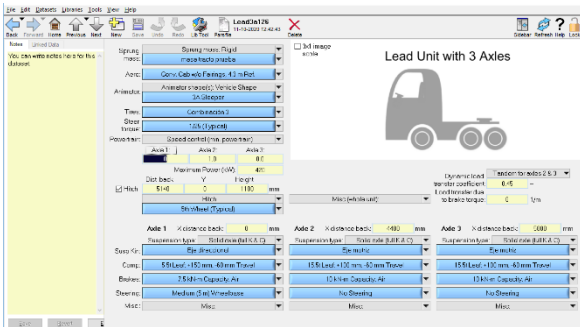


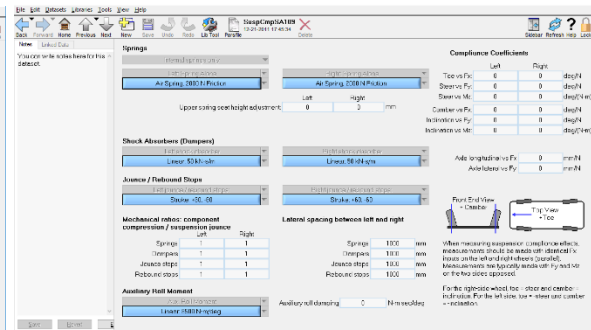
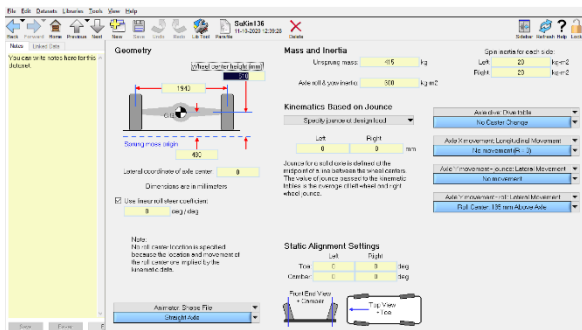
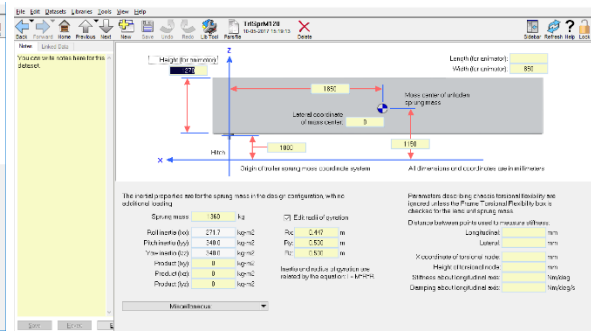
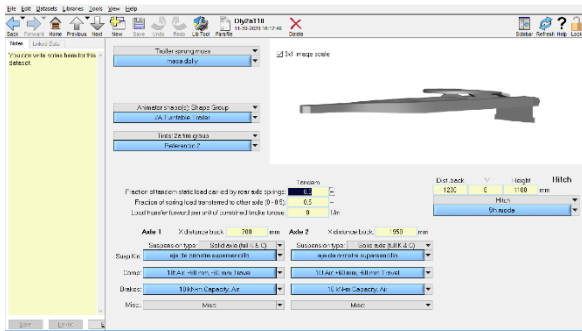
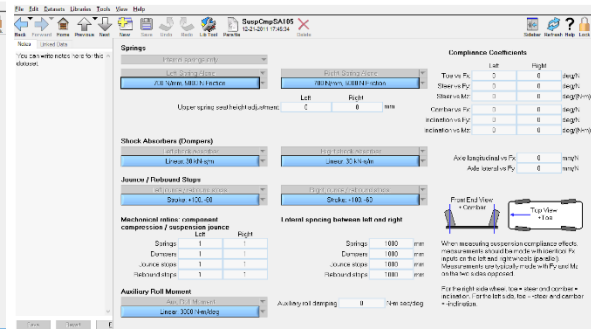
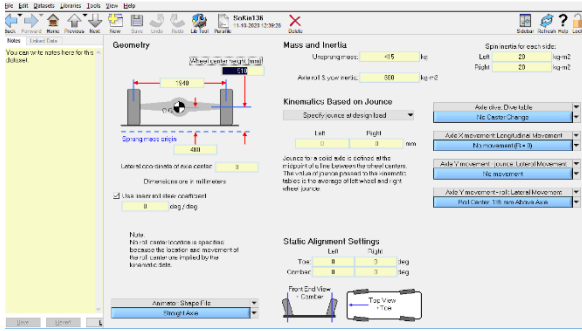
Anexo 2. Introducción de parámetros en programa para configuración T3S2





Anexo 3. Introducción de parámetros en programa para configuración T3S2R4







COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Km 12+000 Carretera Estatal 431 "El Colorado Galindo"
Parque Tecnológico San Fandila, Mpio. Pedro Escobedo,
Querétaro, México. C.P. 76703
Tel: +52 (442) 216 97 77 ext. 2610
Fax: +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>