



Certificación ISO 9001:2015

Análisis de la estabilidad direccional de unidades doblemente articuladas utilizando convertidores tipo \hat{A} y \hat{H}

Flores Centeno Oscar
Fabela Gallegos Manuel de Jesús
Vázquez Vega David
Hernández Jiménez José Ricardo
Sánchez Vela Luis Gerardo

**Publicación Técnica No. 473
Sanfandila, Qro, 2016**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Análisis de la estabilidad direccional de unidades
doblemente articuladas utilizando convertidores
tipo $\tilde{A}\tilde{o}$ y $\tilde{H}\tilde{o}$**

Publicación Técnica No. 473
Sanfandila, Qro, 2016

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 M.C. David Vázquez Vega, el M.C. José Ricardo Hernández Jiménez, y el Ing. Luis Gerardo Sánchez Vela.

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

Contenido

Resumen		iv
Abstract		vi
Resumen	Ejecutivo	viii
Introducción		1
Capítulo 1.	Antecedentes	3
	1.1 Configuraciones vehiculares conformadas por más de una unidad de carga	3
	1.2 Mecanismos de enganche de unidades vehiculares	6
	1.3 Convertidores (<i>dollies</i>)	8
	1.4 Uso de convertidores a nivel mundial	10
	1.5 Diferencias en el desempeño dinámico	12
Capítulo 2.	Metodología	15
	2.1 Parámetros para la caracterización dinámica de vehículos	15
	2.2 Maniobras de prueba	17
	2.3 Programa de simulación	19
Capítulo 3.	Desarrollo	21
	3.1 Configuración vehicular	21
	3.2 Casos de estudio	25
	3.3 Escenarios de prueba	25
Capítulo 4.	Resultados	29
	4.1 Maniobra de cambio simple de carril (CSC)	29

4.2	Maniobra de cambio doble de carril (CDC)	36
4.3	Maniobra direccional tipo rampa	42
4.4	Maniobra circular	47
4.5	Maniobra de frenado de pánico	55
Capítulo 5.	Conclusiones	61
	Bibliografía	63
	Anexo 1	65
	Anexo 2	67
	Anexo 3	69

Resumen

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos de la evaluación comparativa del desempeño dinámico de una configuración vehicular de carga pesada multiarticulada, denominada como T3S2R4, al utilizar convertidores tipo A y H. Para esto se emplea un programa de simulación, disponible comercialmente, capaz de representar el comportamiento de este tipo de vehículos.

La evaluación se realiza mediante la comparación de algunas de las principales medidas estandarizadas del desempeño dinámico de vehículos de carga pesada, obtenidas a través de la ejecución de cinco maniobras de prueba.

De los resultados obtenidos se puede establecer que el uso del convertidor H mejoró la estabilidad de la configuración vehicular ante circunstancias de cambio de dirección, esto debido a las disminuciones encontradas para la transferencia lateral de carga, la amplificación del coleo y el despiste lateral, durante las pruebas de cambio simple y doble de carril, aunado a los incrementos en el umbral de vuelco. Por otro lado, aspectos como el desempeño del frenado y la manejabilidad no presentaron cambios de consideración debido al uso de uno u otro tipo de convertidor.

Finalmente, será importante poder realizar pruebas experimentales con el fin de validar o rectificar los resultados aquí presentados, esto debido principalmente a las adecuaciones que fue necesario realizar en el modelo del convertidor A que está disponible en el programa de simulación para poder representar las características del convertidor H.

Abstract

In this paper the results of the comparative evaluation of the dynamic performance of a multitrailer vehicle, referred to as T3S2R4, using A-converter and H-converter dollies, are shown. For this, a simulation program commercially available, able to represent the behavior of such vehicles is used.

The evaluation is performed by comparing some of the major standardized measures of dynamic performance of heavy vehicles, obtained through the execution of five test maneuvers.

From the results it can be established that the use of H-dolly improved the stability of the vehicle configuration in change of direction maneuvers, this due to reductions found for lateral load transfer, rearward amplification and lateral offtracking, coupled with increases in the rollover threshold. Furthermore, aspects such as braking performance and handling showed no change due to the type of dolly.

Finally, it is important to perform some experimental tests in order to validate or correct the results presented here, this mainly due to the adjustments that were necessary in the model dolly available in the simulation program to represent the characteristics of H-dolly.

Resumen ejecutivo

Los vehículos de autotransporte tienen un rol preponderante en el transporte de mercancías entre los diferentes centros de producción y embarque hasta los consumidores finales. En México, alrededor del 80% de las mercancías se transportan por este medio, situación similar a lo que ocurre en muchas otras regiones del mundo, esto debido en parte a la versatilidad que representa este medio de transporte por la gran diversidad de tipos de configuraciones vehiculares disponibles, las cuales satisfacen los requerimientos de los interesados en transportar la carga.

Las configuraciones vehiculares multiarticuladas, forman un caso de la diversidad de configuraciones de carga disponibles. Estas configuraciones están conformadas por una unidad motriz la cual arrastra dos o más unidades de carga, con lo cual es posible trasladar mayor cantidad por viaje, proporcionando así beneficios tanto económicos como ambientales. Teniendo como limitantes, debido a sus dimensiones mayores, que no puedan circular por cualquier tipo de camino.

Para el armado de las configuraciones multiarticuladas existen diferentes sistemas de enganche entre las unidades que la conforman. Uno de estos sistemas son los denominados como convertidores, los cuales tienen un mecanismo de quinta rueda en su parte superior que sirve para enganchar un semirremolque y, en la parte frontal del convertidor, tienen un dispositivo para engancharse en la parte posterior de otra unidad. El primer convertidor en desarrollarse fue el denominado convertidor A, debido a la forma de la configuración del enganche delantero, donde se tiene una argolla al centro, lo cual proporciona cierta libertad para el movimiento angular relativo entre el convertidor y la unidad que lo arrastra. Posteriormente, como evolución del convertidor A, se desarrolló el tipo H, también conocido como C, el cual a diferencia del A, tiene dos argollas de enganche al frente, separadas por una cierta distancia sobre el eje transversal, con lo cual se restringe el movimiento relativo angular.

Debido a las diferencias entre ambos tipos de convertidores, el comportamiento dinámico de las configuraciones vehiculares tendrá modificaciones con el uso de uno u otro tipo de convertidor. Se han desarrollado algunos estudios en diferentes partes del mundo para analizar las diferencias en el desempeño de los vehículos debidos al tipo de convertidor que utilizan, encontrando ciertas mejoras al emplear el convertidor H. Sin embargo, en estos estudios se han analizado las configuraciones vehiculares con los pesos y dimensiones autorizados para circular por las carreteras del país donde se realizó cada estudio, así como las características de los convertidores típicos de esa región. Las configuraciones analizadas, por lo tanto, difieren de forma significativa con las dimensiones y

pesos autorizados en México; además, las características de los convertidores utilizados en el país difieren de los analizados en los estudios.

Por lo anterior, resulta necesario analizar los efectos en el desempeño de las configuraciones debidos al tipo de convertidor utilizado, considerando las configuraciones multiarticuladas autorizadas, con sus respectivos pesos y dimensiones máximas, para circular por carreteras nacionales. Esto con el fin de contar con información técnica que sustente la elaboración de recomendaciones y/o reglamentos que establezcan el tipo de convertidor a utilizar para, de esta forma, obtener el mejor desempeño dinámico de las configuraciones en aras de mejorar la seguridad vial.

En ese sentido, se desarrolló el presente estudio en el cual se aborda el efecto en el desempeño de una configuración multiarticulada del uso del convertidor H en comparación con el convertidor A. La configuración seleccionada consta de un tractocamión el cual arrastra dos semirremolques de carga, unidos entre sí por un convertidor, esta configuración se denomina como T3S2R4. La selección de este tipo de vehículo se debió a que, de las configuraciones multiarticuladas autorizadas para circular por el país, es la de mayor uso. Para el estudio se utilizó un programa de simulación en el cual se representaron diversas maniobras de prueba para determinar las medidas estandarizadas del desempeño dinámico de vehículos de carga pesada que sirvieron para realizar la comparativa.

De los resultados obtenidos se observa que para las maniobras de cambio simple y doble de carril, se presentaron disminuciones al comparar el comportamiento de la configuración con convertidor H con respecto al convertidor A, para todas las medidas analizadas como: para la transferencia lateral de carga, la amplificación del coleo y el despiste lateral. Estas diferencias encontradas son menores para los parámetros obtenidos durante la prueba de cambio doble de carril.

Con respecto a la prueba tipo rampa, los resultados mostraron incrementos en los umbrales de vuelco cuando se emplea el convertidor H en comparación con el convertidor A. Otro aspecto a resaltar es la forma en que se produjo el vuelco con cada tipo de convertidor, ya que con el convertidor A se aprecia cómo el segundo semirremolque es el primero en volcar, mientras que con el convertidor H el vuelco se produce en todas las unidades, casi simultáneamente. Con respecto a la manejabilidad, no se encontraron efectos significativos debidos al tipo de convertidor utilizado.

Durante la maniobra de prueba circular, la diferencia más notoria se presentó al determinar la velocidad máxima a la cual se pudo ejecutar la maniobra sin producir el vuelco, ya que, mientras con el convertidor A la velocidad máxima fue de 105 km/h, para la configuración con convertidor H esta velocidad se elevó a 117 km/h.

En lo referente al desempeño de frenado, se observó que el tipo de convertidor no tiene efectos significativos en él, ya que se obtuvieron diferencias despreciables para las distancias de frenado, aceleraciones longitudinales, velocidades

angulares de las distintas unidades y en los desplazamientos laterales de la unidad.

En general, se puede establecer que el uso del convertidor H mejoró la estabilidad de la configuración vehicular ante circunstancias de cambio de dirección. Sin embargo, para poder tener mayor certeza en los resultados de este estudio será importante poder realizar, más adelante, pruebas experimentales con el fin de validar o rectificar los resultados aquí presentados, esto debido principalmente a las adecuaciones que fue necesario realizar en el modelo del convertidor A que está disponible en el programa de simulación para poder representar las características del convertidor H.

Introducción

Las configuraciones vehiculares de carga pesada multiarticuladas son empleadas en diferentes partes del mundo debido a que, con el uso de una unidad motriz, se puede transportar mayor cantidad de carga, lo que genera beneficios tanto económicos como de reducción en las emisiones contaminantes liberadas al medio ambiente. Generalmente, cada país o región cuenta con reglamentación que regula los tipos de configuraciones autorizadas para circular por sus carreteras, así como los pesos y las dimensiones máximas que éstas pueden tener habiendo, por lo tanto, gran diversidad de tipos de configuraciones, dimensiones de las mismas y pesos que pueden transportar, alrededor del mundo.

De igual forma existen diferentes mecanismos empleados para unir las unidades vehiculares para formar las configuraciones multiarticuladas; dentro de estos mecanismos se encuentran los convertidores, también conocidos como *dollis*, los cuales permiten soportar encima de ellos la parte frontal de un semirremolque y, a la vez, engancharse en la parte posterior de otra unidad para ser remolcados.

El primer convertidor en ser utilizado fue el denominado tipo A, el cual cuenta con un mecanismo de quinta rueda en su parte superior para soportar un semirremolque y al frente cuenta con una argolla para unirse a una unidad que cuente con un mecanismo de gancho en el centro de su parte posterior. Esta configuración permite movimiento angular relativo, con respecto al eje vertical, entre la unidad que lo estira y el convertidor. Posteriormente se desarrolló el convertidor H, también conocido como convertidor C, el cual cuenta con dos argollas al frente, separadas transversalmente, para unirse a otra unidad, esta configuración de dos argollas con la separación entre ellas no permite movimiento angular relativo entre las unidades.

Es indudable que las diferencias en la configuración de enganche frontal de los convertidores proporcionarán diferencias en el comportamiento dinámico de la configuración. Al respecto, se han realizado algunos estudios para determinar las diferencias en el comportamiento dinámico de configuraciones multiarticuladas al utilizar uno u otro tipo de convertidor, mostrando ciertos beneficios al utilizar el convertidor H. Sin embargo, estos resultados no pueden ser generalizados para todos los casos, debido a las diferencias en las características físicas y mecánicas de los convertidores utilizados en las diferentes partes del mundo, así como las diferencias en las dimensiones y los pesos que transportan las configuraciones según cada reglamentación.

Para el caso de México, es necesario realizar mayores estudios que permitan identificar los efectos en el comportamiento dinámico de las configuraciones

multiarticuladas debidos al tipo de convertidor, estos estudios deben considerar las características de los convertidores más utilizados en el país, además de los pesos y dimensiones autorizados. Lo anterior con el fin de contar con fundamentos técnicos para la emisión de recomendaciones, reglamentos o normativas, lo cual redunde en mejoras en la seguridad vial.

Acorde con esto, en el presente trabajo se analizó las diferencias en el comportamiento dinámico de una configuración conformada por un tractocamión y dos semirremolques unidos entre sí por un convertidor, esta configuración es la de mayor dimensión y peso autorizada para circular por carreteras federales, además de ser la de mayor uso por los transportistas dentro de las configuraciones multiarticuladas autorizadas. La evaluación comparativa se realizó en términos de algunas de las principales medidas estandarizadas del desempeño dinámico de vehículos de carga pesada. Para la determinación de estas medidas se establecieron cinco maniobras direccionales y se empleó un programa de simulación comercial. En este documento se presentan los resultados obtenidos.

1 Antecedentes

Las unidades de autotransporte de carga juegan un rol muy importante en el traslado de mercancías entre los diferentes centros de consumo, tan solo en México, más del 80% de los productos se transportan por este medio, [1]. Existe una gran variedad de unidades vehiculares empleadas para el transporte de carga pesada, tanto por tamaño y capacidad como por tipo de carga (carga sólida, líquida, a granel, etc.), dentro de esta diversidad se ubican camiones unitarios, unidades motrices y unidades de carga. Las unidades motrices, por su función comúnmente llamados tractocamiones, requieren conectarse a unidades de carga (semirremolques), formando así una unidad articulada con capacidad automotriz, incluso es posible conectar varios semirremolques a un mismo tractocamión constituyendo de esta forma configuraciones multiarticuladas. En la Figura 1.1, se muestran ejemplos de diferentes vehículos de autotransporte, en la parte superior izquierda se observa un vehículo unitario, en la parte superior derecha una configuración articulada y en la parte inferior al centro una configuración doblemente articulada.



Figura 1.1 Configuraciones vehiculares para autotransporte de carga

1.1 Configuraciones vehiculares conformadas por más de una unidad de carga

Las configuraciones vehiculares conformadas por varias unidades, conocidas en algunas partes del mundo como trenes de carretera, ofrecen ventajas con respecto a las configuraciones de una sola unidad de carga, ya que se requieren menor cantidad de unidades motoras para transportar una misma cantidad de

carga, algunos estudios, [2,3] estiman que con el uso de trenes de carretera se logran reducciones de 15 % en el consumo de combustible y 15 % en la emisión de gases contaminantes, además de los beneficios económicos que esto conlleva para los transportistas, [3].





Cada país o región tiene sus propios reglamentos acerca de las configuraciones vehiculares autorizadas para circular por las carreteras de su territorio, así como los pesos y dimensiones máximas de dichos vehículos, existiendo grandes variaciones entre las diferentes legislaciones, ya que mientras por un lado está Europa donde la densidad de población y orografía de los territorios restringe las longitudes máximas para trenes de carretera, salvo excepciones en algunas regiones, a menos de 20 m y un peso bruto vehicular de alrededor de las 40 Ton (ver Figura 1.2 izquierda), se tiene, por otra parte, algunas regiones de Australia y Canadá donde existe muy poca población y los caminos son principalmente rectos, por lo que las configuraciones vehiculares multirremolques son autorizadas con longitudes mayores a 50 m y pesos de más de 100 Ton, (ver Figura 1.2 derecha), [2].



Figura 1.2 Configuraciones vehiculares de más de una unidad

En México, la NOM-012-SCT-2-2008 establece el tipo de configuraciones vehiculares de carga pesada y autobuses que pueden circular por carreteras federales, así como su peso y sus dimensiones máximas, [4]. En cuestión de vehículos multi-articulados se definen tres categorías en esta norma; la primera corresponde para las configuraciones conformadas por un camión y un remolque (C-R) que pueden incluir desde 4 hasta 6 ejes con PBV máximos desde 37,5 hasta 44,5 ton y longitud máxima de 31 m. Estos pesos y longitudes aplican para las carreteras con las más altas especificaciones, siendo menor para carreteras de menor clasificación. La Tabla 1.1 muestra las cuatro configuraciones camión-remolque consideradas en la norma.


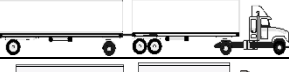








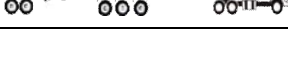
Tabla 1.1 Configuraciones camión-remolque autorizadas

NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS	CONFIGURACION DEL VEHICULO
C2-R2	4	14	
C3-R2	5	18	
C2-R3	5	18	
C3-R3	6	22	

Fuente: NOM-012-SCT-2-2008

Las siguientes dos categorías se conforman por un tractocamión que arrastra dos semirremolques, con diferencia en el mecanismo de enganche del segundo semirremolque con el primero, estableciéndose así las configuraciones tractocamión semirremolque-remolque (T-S-R). Esta configuración requiere de un convertidor y puede tener desde 5 hasta 9 ejes con PBV máximos desde 47,5 hasta 66,5 ton. Por otro lado, la configuración de tractocamión semirremolque-semirremolque (T-S-S) no emplean convertidor para enganchar el segundo semirremolque con el primero, pudiendo tener desde 6 hasta 8 ejes con PBV que va de 51,5 hasta 60 ton. En la Tabla 1.2 se pueden observar las 8 configuraciones T-S-R y las tres configuraciones T-S-S autorizadas para circular por carreteras nacionales.

Tabla 1.2 Configuraciones T-S-R y T-S-S autorizadas

NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS	CONFIGURACION DEL VEHICULO
T2-S1-R2	5	18	
T2-S2-R2	6	22	
T2-S1-R3	6	22	
T3-S1-R2	6	22	
T3-S1-R3	7	26	
T3-S2-R2 ⁽¹⁾	7	26	
T3-S2-R3	8	30	
T3-S2-R4 ⁽¹⁾	9	34	
T2-S2-S2	6	22	
T3-S2-S2	7	26	
T3-S3-S2	8	30	

Fuente: NOM-012-SCT-2-2008

1.2 Mecanismos de enganche de unidades vehiculares

Para el armado de las configuraciones vehiculares de más de una unidad, es necesario el uso de algún mecanismo de enganche que una las diferentes unidades que conformarán la configuración. Existen diferentes mecanismos para acoplar diferentes tipos de unidades, entre los más comunes se pueden mencionar los siguientes:

1.2.1 Quinta rueda (*Fifth Wheel*)

La quinta rueda es un mecanismo empleado para enganchar semirremolques, generalmente este mecanismo se coloca en tracto camiones y en convertidores, permitiendo movimiento angular relativo con respecto al eje vertical entre las unidades enganchadas. Un ejemplo de este tipo de mecanismo se puede observar en la Figura 1.3.



Figura 1.3 Quinta rueda

1.2.2 Perno rey (*Kingpin*)

El perno rey va colocado en la parte inferior delantera de los semirremolques, lo que permite enganchar con la quinta rueda de alguna unidad que los preceda en la configuración vehicular. Este mecanismo se muestra en la Figura 1.4.



Figura 1.4 Perno rey

1.2.3 Gancho de clavija (*Pintle hitch*)

Este mecanismo se coloca en la parte trasera de las unidades, permitiendo enganchar otra unidad que cuente con un mecanismo compatible con el gancho de clavija. Dependiendo de la configuración de enganche de la unidad que se vaya a conectar, puede ser necesario colocar uno o dos ganchos, en el primer caso se libertad de movimiento angular relativo entre las unidades enganchadas; mientras que para el segundo caso queda restringido este movimiento. Un ejemplo de gancho de clavija se presenta en la Figura 1.5.



Figura 1.5 Gancho de clavija

1.2.4 Argolla (*Pintle hook*)

La argolla permite el enganche con unidades vehiculares que, en su parte posterior, cuenten con gancho de clavija. Es un mecanismo muy simple que consiste básicamente en un aro metálico que entra en el gancho. La Figura 1.6 muestra este mecanismo.



Figura 1.6 Argolla

1.3 Convertidores (*Dollies*)

Los convertidores o *dollies*, son dispositivos que permiten formar configuraciones vehiculares de carga pesada multi-articuladas, uniendo básicamente dos semirremolques y permitiendo así incrementar la cantidad de carga transportada por unidad motriz. Los convertidores se conectan en la parte posterior de los camiones unitarios o de los semirremolques. Cuentan con una quinta rueda, mecanismo de acoplamiento, lo que permite que otro semirremolque sea soportado por el convertidor para ser remolcado. En la Figura 1.7 se muestra la representación esquemática de la conexión del convertidor.

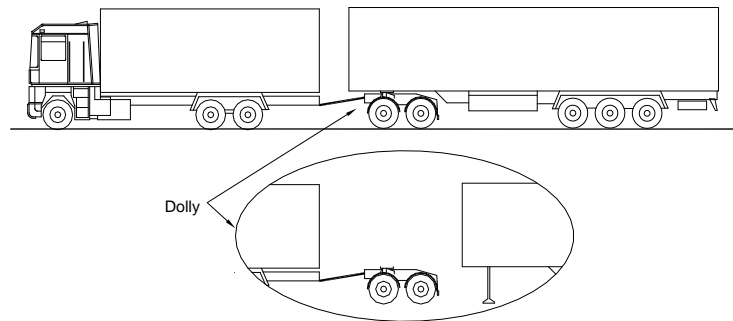


Figura 1.7 Conexión de semirremolque con el uso de un convertidor

Existen básicamente dos tipos de convertidores: el convertidor tipo A y el convertidor tipo H. Éstos se diferencian entre sí principalmente por el número de barras de jalón o lanzas que tienen para conectarse en su parte delantera. Además, la configuración de lanzas permite que haya una articulación más, para el caso del convertidor A, mientras que la doble lanza en el convertidor H la restringe. Ambos tipos pueden contar con uno, dos o incluso tres ejes.

1.3.1 Convertidor tipo A

El convertidor tipo A fue el primero en utilizarse, adquiriendo su nombre debido a la configuración de la barra de tirón, que asemeja la formación de la letra A. Cuenta con un solo punto de enganche en la parte delantera, lo que permite, para un cierto intervalo, libertad de movimiento angular en la dirección del eje vertical. En la Figura 1.8 se muestra la imagen de un convertidor tipo A con dos ejes, en el que se observa que el mecanismo de la quinta rueda queda encima de ambos ejes.



Figura 1.8 Convertidor tipo A

1.3.2 Convertidor tipo H^1

El convertidor tipo H^1 , también conocido como convertidor tipo H^2 en otras regiones del mundo, surge a principios de la década de los 80's como una mejora del convertidor H , con la promesa de ofrecer mejor desempeño dinámico de las configuraciones vehiculares multi-articuladas. Este tipo de convertidor, a diferencia del convertidor H , tiene dos barras de tirón paralelas, de donde proviene su nombre. Cada una cuenta en su extremo delantero con una bola para enganche, lo que restringe el movimiento angular con respecto al eje vertical.

En el caso de convertidores de dos ejes, este tipo de convertidores pueden contar, además, con ejes direccionales para reducir el arrastre durante maniobras a baja velocidad. Este mecanismo direccional debe ser anulado durante maniobras de reversa y durante la circulación a media y alta velocidad, por lo que los convertidores cuentan con un sistema para bloquear el movimiento direccional durante esas maniobras. En la Figura 1.9 se aprecia un convertidor tipo H^1 de un eje. Se puede observar que cuando el convertidor cuenta con un solo eje el mecanismo de la quinta rueda queda justo encima de éste.



Figura 1.9 Convertidor tipo H^1

1.4 Uso de convertidores a nivel mundial

El uso de convertidores para el armado de configuraciones vehiculares compuestas de varias unidades es generalizado a nivel mundial, aunque existen otros mecanismos que se emplean para este propósito, como es el caso del mecanismo de enganche utilizado para conformar la configuración vehicular denominada, en algunas regiones del mundo, como Train , en México se denomina como T-S-S , donde la T representa al tractocamión seguida por el número de ejes con que cuente, la siguiente S es por el primer semirremolque de igual forma seguida por el número de ejes y la siguiente S representa al segundo semirremolque con su número de ejes, [4]. Este mecanismo forma parte del primer semirremolque o del camión que jala al último semirremolque, en la Figura 1.10a

se muestra este tipo de mecanismo. Otra forma de armar configuraciones multi-articuladas es con el uso de remolques balanceados, estos remolques tienen los ejes en el centro del remolque y el mecanismo de enganche se une con la unidad que va al frente, en la Figura 1.10b se ve una representación de una configuración vehicular empleando uno de estos remolques.



Figura 1.10 Configuraciones multi-articuladas que no utilizan convertidor

En el caso de los convertidores, estos presentan variaciones en sus características físicas y geométricas según la región geográfica de que se esté hablando, siendo más significativas las diferencias entre los convertidores utilizados en Europa en comparación con los usados en América del Norte. En la Figura 1.11, se observan imágenes de algunos convertidores utilizados en Europa. Se aprecian diferencias con respecto a los usados en América del Norte (Figuras 1.8 y 1.9) principalmente en las dimensiones de la barra de jalón y algunos componentes del sistema de suspensión.



Figura 1.11 Ejemplos de convertidores utilizados en Europa

En Estados Unidos y Canadá se utilizan de forma más común los convertidores de un solo eje. En el caso de México, aunque no existen estadísticas al respecto, es más utilizado el convertidor de dos ejes. Esto resulta evidente al

observar las configuraciones doblemente articuladas que circulan por las carreteras federales.

1.5 Diferencias en el desempeño dinámico

Es indudable que debido a las diferencias entre ambos tipos de convertidores (A y H), el desempeño dinámico que tenga una unidad al utilizar uno u otro tipo de convertidor será diferente. Esta situación ha sido analizada en diversos estudios, que demostraron que, con el uso de convertidores tipo $\%B+$, se obtienen mejoras en el desempeño dinámico de las configuraciones vehiculares en comparación al utilizar convertidor $\%A+$, sobre todo en cuestiones relacionadas con los movimientos angulares del último semirremolque con respecto a los ejes verticales y longitudinales (yaw, roll) [5, 6, 7, 8]. Además, se encontró que estas mejoras en el desempeño son fuertemente dependientes del diseño del convertidor y del arreglo de la configuración. Otros estudios se han enfocado en desarrollar guías para el diseño y operación de este tipo de convertidores [9].

En estos estudios se consideraron algunas de las configuraciones vehiculares multi-articuladas de uso más común en Estados Unidos y Canadá, las cuales utilizan convertidores de un solo eje. En la Figura 1.12 se muestra esquemáticamente las configuraciones analizadas, las dimensiones de los semirremolques, así como su peso bruto vehicular máximo permitido (PBV).

Configuración	PBV (Ton)
	36.32
	54.48
	54.48
	47.67
	60.84
	52.21

Figura 1.12 Configuraciones analizadas en estudios

La configuración vehicular con el mayor peso y dimensiones, autorizada para circular por México, es la denominada como T3S2R4, con 66,5 ton que pueden incrementarse a 75,5 ton si se cumplen ciertas condiciones de equipamiento de los vehículos. Esta configuración está conformada por un tractocamión de tres ejes, dos semirremolques de dos ejes y un convertidor de dos ejes para unir ambos semirremolques, para la cual se establece una longitud máxima de 31 m

con la restricción de que se pueden utilizar dos semirremolques de 40 ft (12.2 m) de longitud como máximo. Algunos estudios, [10], demuestran que este tipo de configuración es la que mayor presencia tiene en las carreteras de todas las configuraciones vehiculares multi-articuladas, representando alrededor del 8% del total de los vehículos de carga a nivel nacional, mientras que el resto de las configuraciones multi-articuladas solo representan alrededor del 1% en conjunto. De igual forma, la configuración T3-S2-R4 tiene una participación del 22.3% en el movimiento de carga, sólo superada por la configuración T3-S2 que participa con el 41.2%.

Como se aprecia, la configuración T3S2R4 difiere en peso, dimensiones y número de ejes de las configuraciones más utilizadas en E.U.A. y Canadá, por lo que no es posible extrapolar directamente los resultados de los estudios realizados para determinar la diferencia del comportamiento dinámico de las configuraciones al utilizar diferentes tipos de convertidores. En el país se han realizado algunos estudios teóricos y experimentales para comparar el comportamiento de los vehículos al utilizar convertidores A y H, [10]. Sin embargo, estos estudios han considerado, además, el uso de otras tecnologías para incrementar la seguridad como los sistemas antivuelco, frenos ABS, entre otros, por lo que no se ha obtenido sólo las diferencias debidas al tipo de convertidor. Esto, aunado a que durante las pruebas experimentales los vehículos no contaron con los dispositivos de medición de las variables cinemáticas que permitieran una comparación objetiva del comportamiento resultante de las configuraciones.

Por lo anterior, es importante desarrollar estudios que permitan evaluar objetivamente el efecto independiente del tipo y configuración del convertidor en el comportamiento dinámico de configuraciones multi-articuladas. Los análisis, por tanto, deben incluir los diferentes tipos de convertidores de mayor uso por los transportistas, considerando las características físico-mecánicas de los vehículos que circulan por territorio nacional, así como las dimensiones y pesos autorizados por la NOM-012-SCT-2-2008. Los resultados podrán derivar en diversas recomendaciones y/o reglamentos con sustento técnico-científico, en aras de mejorar la seguridad vial en las carreteras nacionales.

En ese sentido, en este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la evaluación del comportamiento dinámico de una configuración vehicular doblemente articulada, denominada T3S2R4 al utilizar tanto convertidor tipo A como convertidor H. La evaluación se da en términos de la comparación de las principales medidas estandarizadas del desempeño dinámico de vehículos de carga pesada, obtenidas durante la ejecución de maniobras de prueba con uno y otro tipo de convertidor. Para lo anterior se emplea un programa comercial de simulación cuyo sustento ha sido ampliamente validado. El programa permite evaluar la interacción del conductor, el vehículo y el medio por el que se desplaza, representando para este estudio cinco maniobras direccionales y contemplando cuatro niveles de carga diferentes.

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.

A continuación se describen, brevemente, los parámetros del desempeño dinámico de vehículos de carga pesada utilizados para analizar el efecto del uso de convertidores A o H. 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

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 identificar ciertos parámetros de desempeño asociados con los sistemas y mecanismos de un vehículo que permitan saber o estimar su comportamiento dinámico global. En este caso, la evaluación del comportamiento del vehículo analizado se realizó mediante la determinación de la aceleración lateral máxima experimentada, la velocidad angular, la transferencia lateral de carga, la amplificación del coleo, despiste lateral y distancia de frenado. Estos parámetros se obtuvieron de las diferentes maniobras de prueba ejecutadas. A continuación se presenta una breve descripción de cada una de estas medidas del desempeño.

2.1.1 Aceleración lateral (A_y)

La aceleración lateral se puede definir como una fuerza que actúa de forma lateral sobre los vehículos durante maniobras de cambio de dirección, puede ser un indicador de qué tan demandante es una maniobra para un vehículo, valores altos incluso pueden producir un par tan alto que provoque el vuelco del mismo, la resistencia de un vehículo ante la acción de esta fuerza dependerá en gran medida de la altura del centro de gravedad (C.G.), la separación lateral de las llantas y las propiedades de rigidez del sistema de suspensión. La aceleración

lateral comúnmente se expresa en términos de unidades g, donde una g corresponde a la aceleración media debida a la fuerza de gravedad terrestre y que equivale aproximadamente a 9.81 m/s^2 .

2.1.2 Velocidad angular (*yaw rate*)

La velocidad angular se refiere al movimiento de rotación del vehículo con respecto al eje vertical del mismo experimentado durante maniobras de cambio de dirección, este parámetro en conjunto con la aceleración lateral máxima puede indicar de mejor manera la severidad de la maniobra y la respuesta del vehículo ante ésta.

2.1.3 Transferencia lateral de carga (*Load transfer ratio, LTR*)

En condiciones de estado estable, con el vehículo desplazando en línea recta, se puede considerar que el peso se distribuye de igual forma en ambos lados del mismo; sin embargo, en condiciones de cambio de dirección debido a la acción de la aceleración lateral y al movimiento de balanceo (movimiento de rotación con respecto al eje longitudinal) del vehículo, la carga se transfiere de un lado a otro del vehículo. A este fenómeno se le conoce como Transferencia lateral de carga, valores grandes de este parámetro pueden generar sobrecarga sobre las llantas y el posible vuelco del vehículo. Se recomienda que no se exceda del 60 % [12].

2.1.4 Amplificación del coleo (*Rearward amplification, RWA*)

Esta medida se refiere a la amplificación del movimiento de la última unidad con respecto a la primera en configuraciones articuladas y multi-articuladas, y se determina a partir de la razón de la máxima amplitud (positiva o negativa) de la aceleración lateral presentada en el último eje de la configuración vehicular con respecto a la obtenida en el primer eje. Valores muy altos para este parámetro pueden producir inestabilidades en las últimas unidades durante acciones de cambio de dirección, se recomienda que no se sobrepasen valores de 2.2 [12].

2.1.5 Despiste lateral (*Offtracking*)

El despiste lateral se refiere al desplazamiento lateral de las unidades posteriores de las configuraciones vehiculares articuladas y multi-articuladas con referencia a la trayectoria seguida por la unidad guía o a una trayectoria deseada. Desplazamientos laterales grandes pueden significar situaciones de peligro de ocurrencia de accidentes debido a la invasión de carriles adyacentes de circulación, Para este parámetro se recomienda un límite máximo de 0.80 m [12].

2.1.6 Umbral de vuelco (*Rollover Treshold*)

Una manera de indicar el umbral de vuelco de un vehículo, es por medio del 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) con respecto a la superficie del pavimento, supuesta plana y horizontal. Esta medida es un indicador de la estabilidad que posee un vehículo ante maniobras de cambio de dirección, ya que a mayor umbral, mayor será la estabilidad.

2.1.7 Manejabilidad (*Handling*)

La manejabilidad de un vehículo se puede definir como un conjunto de características involucradas en la forma que éste responde a cambios en la dirección, debido a las acciones del conductor o a perturbaciones producidas por el medio ambiente. Uno de los propósitos de los estudios de manejabilidad de un vehículo es determinar su condición de viraje. Esta condición se refiere a la respuesta de ajuste de la orientación del cuerpo del vehículo conforme a la trayectoria que siguen las llantas direccionales a una determinada velocidad. De esta forma es posible identificar tres condiciones de viraje: sub viraje, viraje neutral y sobre viraje. La primera de ellas se caracteriza por una respuesta lenta de la parte posterior del vehículo para alinearse a la trayectoria seguida por la parte frontal, por lo que es necesario incrementar el ángulo en las llantas direccionales para lograrlo. En el segundo caso, la alineación se da de forma automática. Finalmente, para el sobre viraje la respuesta es más rápida, por lo que es necesario reducir el ángulo de dirección para estabilizar al vehículo.

2.1.8 Distancia de frenado

Otro aspecto importante en el estudio de la dinámica de vehículos, tiene que ver con el desempeño ante el frenado. 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. Este indicador puede obtenerse para distintas condiciones de la superficie de rodamiento del camino, con diferentes índices de fricción y de humedad, como seco y mojado [12].

2.2 Maniobras de prueba

Para lograr la excitación del sistema, en este caso la configuración vehicular, se llevan a cabo diferentes maniobras de prueba, dependiendo de los parámetros a evaluar es la selección de la maniobra a realizar. Para este estudio se ejecutaron cinco diferentes maniobras, que correspondieron a: cambio simple y doble de carril, prueba tipo rampa, frenado de pánico y seguimiento de una trayectoria circular. A continuación se describen brevemente cada una de ellas.

2.2.1 Cambio simple de carril (CSC)

La maniobra de cambio simple de carril simula el cambio repentino de carril en una carretera, ajustando la trayectoria del vehículo con un desplazamiento lateral de 2.11 m al avanzar una distancia de 80 m. La trayectoria descrita por este cambio es aproximada a media onda sinusoidal. En su seguimiento, el vehículo se desplaza a una velocidad de avance constante durante toda la maniobra. Estas condiciones deben producir en el eje direccional una aceleración lateral cercana a $0,15 \text{ g} \cdot \text{s}$ [12].

2.2.2 Cambio doble de carril (CDC)

Esta maniobra de cambio doble de carril es similar a la anterior, con la diferencia que durante esta prueba el vehículo retorna a su carril original después de desplazarse durante 75 m en el carril adyacente, de igual forma se ejecuta a velocidad de avance constante. Esta prueba emula a la prueba del alce ejecutada para vehículos ligeros, con la salvedad de que para este caso la trayectoria es menos demandante por tratarse de vehículos pesados.

2.2.3 Prueba direccional tipo rampa

La maniobra tipo rampa consiste en desplazar al vehículo a velocidad constante, generalmente a 100 km/h, mientras se incrementa gradualmente el ángulo de giro de las llantas del eje direccional, de tal forma que se produzcan incrementos de alrededor de $0.015 \text{ g} \cdot \text{s/s}$ en la aceleración lateral, de esta forma se genera una trayectoria en forma de espiral. La prueba termina cuando se produce el vuelco del vehículo.

2.2.4 Frenado de pánico

Una forma de evaluar la capacidad de un vehículo para detener su marcha es mediante una prueba denominada de frenado de pánico, esta maniobra consiste en desplazar el vehículo a velocidad constante en línea recta para súbitamente aplicar los frenos a fondo, siempre manteniendo el control de la unidad, hasta detenerla completamente.

2.2.5 Seguimiento de trayectoria circular

Para la realización de esta maniobra se estableció una trayectoria correspondiente a una curva con radio de 225 m y 5% de sobreelevación, con zonas de transición a la entrada y a la salida de la misma, lo que da en total un recorrido de alrededor de 920 m. Esta maniobra pretende simular el comportamiento de la configuración vehicular en condiciones de operación cercanas a las encontradas en tramos carreteros reales.

2.3 Programa de simulación

En el estudio de la dinámica de vehículos, como en muchas otras áreas del conocimiento, el uso de modelos matemáticos validados de forma experimental ha sido de gran utilidad. El uso de programas validados permite tener mayor certidumbre en los resultados, con análisis rápidos y relativamente a bajo costo. Además, se pueden representar de forma segura situaciones que, en su ejecución práctica, serían sumamente riesgosas, tal como el vuelco de un vehículo. Estas características los convierten en herramientas de análisis útiles que pueden complementar la experimentación o ejecutar análisis de aproximación cuando no es posible cubrir las implicaciones que conlleva la realización de pruebas experimentales a escala real. Entre estas implicaciones están: altos costos económicos por renta o adquisición de vehículos de prueba, seguros, equipos e instrumentos de medición especializados, instalaciones adecuadas y los riesgos para el personal que realiza este tipo de pruebas.

Para la realización de este estudio se empleó un programa de simulación comercial que permite crear modelos detallados en tres dimensiones para analizar la respuesta del vehículo ante diferentes condiciones de conducción y entornos del medio por el que se desplaza [13]. El proceso de simulación consta de tres pasos básicos; en el primero, se alimenta al modelo con todos los datos necesarios referentes a las propiedades mecánicas e inerciales de los principales componentes del vehículo, así como las características del camino por el cual se va a desplazar y de la trayectoria que va a seguir; posteriormente se realiza el proceso numérico de solución de las ecuaciones de movimiento del sistema para, finalmente, interpretar y analizar los resultados, en este punto el programa proporciona un registro en el tiempo de todas las variables cinemáticas y cinéticas durante la maniobra ejecutada, además permite tener una visualización de la prueba mediante animaciones. En la Figura 2.1 se muestran algunas ventanas del programa representativas de cada una de las etapas mencionadas.

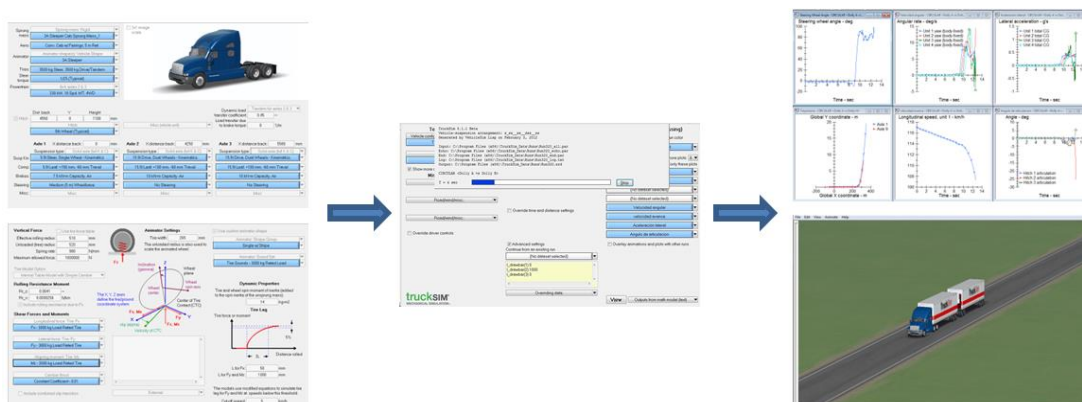


Figura 2.1 Estructura del programa de simulación TruckSim®

Como se indicó anteriormente, para la simulación el programa requiere de gran cantidad de datos y la confiabilidad de los resultados está directamente ligada con

la veracidad de los datos con que sea alimentado el programa. Sin embargo, mucha de la información requerida no es de fácil obtención, en este caso se utilizó información obtenida de forma experimental en estudios previos, complementada con datos característicos para este tipo de unidades. En la sección siguiente se describe brevemente las principales características del vehículo de prueba. Además, de los casos de estudio y el entorno de ejecución de las maniobras de prueba.

3 Desarrollo

A continuación se presenta un resumen con las principales características y propiedades de cada una de las unidades que conforman la configuración vehicular de estudio, así como las diferentes condiciones de carga consideradas. Además, se detallan las especificaciones del entorno en el cual se desarrollan cada una de las maniobras de prueba.

3.1 Configuración vehicular

La configuración vehicular seleccionada para la realización de este estudio está conformada por un tractocamión con tres ejes, el primero de ellos direccional y los dos siguientes motrices, el cual remolca dos semirremolques con dos ejes cada uno de ellos, conectados entre sí por un convertidor de dos ejes, esta configuración es conocida como $3\text{eje}+2$, aunque su denominación oficial es T3S2R4 [4]. En la Figura 3.1 se puede observar un ejemplo de una configuración de este tipo.



Figura 3.1 Configuración vehicular T3S2R4

En seguida se describen algunas de las características geométricas e inerciales de cada una de las unidades que forman la configuración vehicular de estudio, así como las propiedades de los principales sistemas que las conforman como lo son los sistemas de suspensión, llantas y tren motriz, esta información es requerida por el modelo de simulación y se obtuvo, en parte, de mediciones directas en vehículos reales durante estudios previos, complementada con estimaciones con base en valores característicos para este tipo de unidades vehiculares [14].

3.1.1 Tractocamión

El tractocamión es la unidad motriz y cuenta con un motor de 336 kW de potencia y 2224 N-m de torque, acoplado a una transmisión de 10 velocidades. Tiene una masa de 8954 kg (87.84 kN de peso), con momentos de inercia de 6879 kg-m² en la dirección I_{xx} , 21711 kg-m² para I_{yy} y 19665 kg-m² para I_{zz} . En la Figura 3.2 se muestran las principales dimensiones del tractocamión, además, la ubicación del punto de enganche (quinta rueda) y del centro de gravedad.

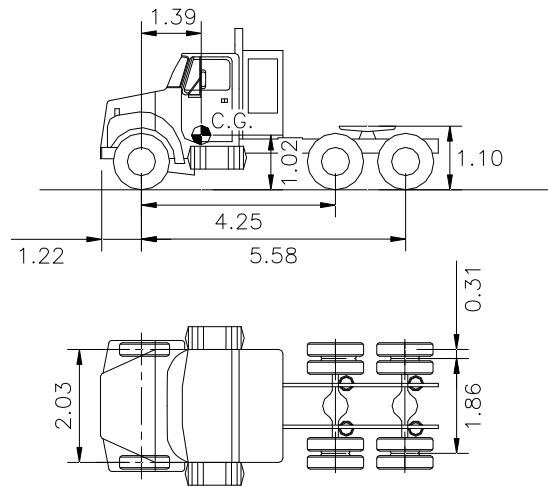


Figura 3.2 Principales dimensiones del tractocamión, [m]

En lo correspondiente al sistema de suspensión, el primer eje del tractocamión es direccional, cuenta con suspensión mecánica con rigidez vertical de 250 N/mm, constante de amortiguamiento a la compresión de 15 N*mm/s y momento auxiliar de balanceo de 500 N*m/°. Los ejes dos y tres son motrices y cuentan con suspensión del tipo neumática, con rigidez vertical de 700 N/mm, constante de amortiguamiento a la compresión de 30 N*mm/s y momento auxiliar de balanceo de 3000 N*m/°.

3.1.2 Semirremolques

Se consideran dos semirremolques idénticos, del tipo caja seca de 12.2 m de longitud (40 pies), con una masa en vacío de 8800 kg (86.33 kN de peso) cada uno, con momentos de inercia de 9959 kg-m² en la dirección I_{xx} , 171336 kg-m² para I_{yy} y 179992 kg-m² para I_{zz} . La vista de uno de los semirremolques y la ubicación de los ejes, centro de gravedad y los componentes de enganche (perno rey en la parte frontal y gancho de clavija en la parte posterior), así como su entrevía, es presentada en la Figura 3.3.

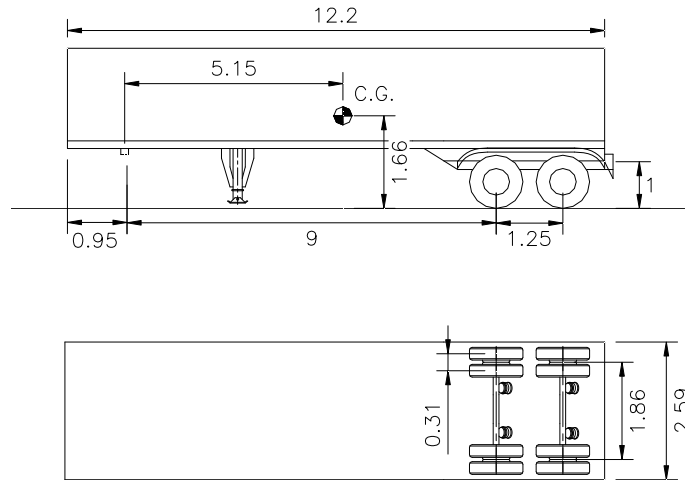


Figura 3.3 Principales dimensiones de los semirremolques, [m]

Los semirremolques cuentan con dos ejes de carga cada uno, con sistema de suspensión neumática con rigidez vertical de 700 N/mm, constante de amortiguamiento a la compresión de 30 N*mm/s y momento auxiliar de balanceo de 3000 N*m/°.

3.1.3 Convertidor (*dolly*)

Para unir ambos semirremolques se emplea tanto convertidor tipo A como H, uno y otro cuentan con las mismas características dimensionales, inerciales y mecánicas, la única diferencia, como se mencionó, es el enganche en la parte frontal. Para las propiedades inerciales, tienen una masa de 2560 kg (25.11 kN de peso) y momentos de inercia de 256 kg-m² en la dirección I_{xx} , 320 kg-m² para I_{yy} y 325 kg-m² para I_{zz} . Las dimensiones principales se pueden observar en la Figura 3.4.

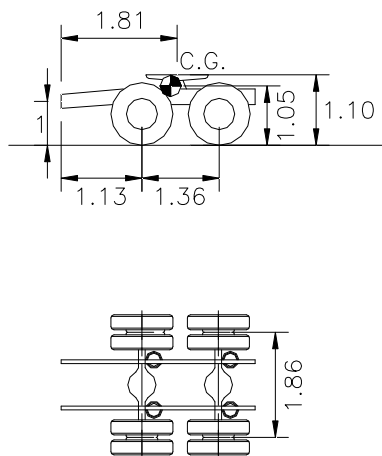


Figura 3.4 Principales dimensiones de los convertidores, [m]

Los ejes de ambos convertidores son de carga, con sistema de suspensión neumática con rigidez vertical de 700 N/mm, constante de amortiguamiento a la compresión de 50 N*mm/s y momento auxiliar de balanceo de 8500 N*m/°.

La diferencia entre los convertidores, como se describe anteriormente, es el número de puntos de enganche entre el convertidor y el semirremolque que va delante en la configuración vehicular, siendo que el convertidor A tiene solo una argolla que se une al gancho de clavija que va colocado justo al centro en la parte trasera del semirremolque, permitiendo de esta forma un movimiento angular relativo, con respecto al eje vertical, entre el convertidor y el semirremolque. Con respecto al convertidor H, éste emplea dos argollas separadas una cierta distancia transversalmente que se acoplan mediante dos ganchos al semirremolque delantero, la separación entre las argollas restringe el movimiento angular relativo entre estas unidades. En la versión disponible del programa de simulación, solo se cuenta con el modelo para la representación de convertidor A, donde se permite libre movimiento angular en la unión de la argolla del convertidor y el gancho del semirremolque, en un intervalo de 140°, en la Figura 3.5 se muestra esquemáticamente una vista superior de la unión del convertidor y el semirremolque donde se indica el intervalo de movimiento libre, más allá de este intervalo se restringe el movimiento mediante la aplicación de una rigidez torsional muy grande.

Ante la imposibilidad de representar los dos puntos de enganche del convertidor H en el programa, se optó por utilizar el modelo de convertidor A, restringiendo el movimiento angular relativo a un intervalo de 1°, representando así el movimiento que puede tener el convertidor H debido al juego entre las argollas y los ganchos. Esta restricción se realizó mediante la aplicación de un valor de rigidez torsional con respecto al eje vertical muy alto.

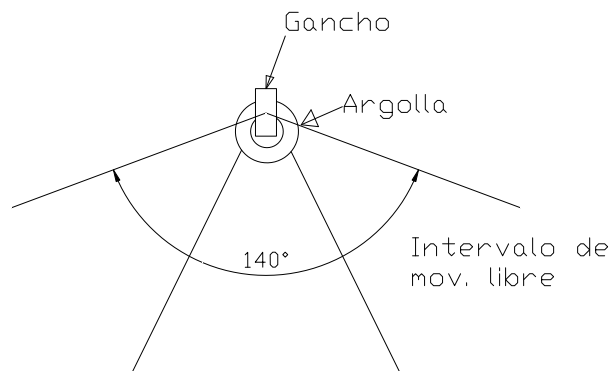


Figura 3.5 Movimiento angular relativo entre convertidor A y semirremolque

3.1.4 Configuración completa

La configuración ya armada tiene una masa total en vacío de 29114 kg (285.51 kN de peso) y una longitud total de 30.1 m, la cual está ligeramente abajo del límite

máximo autorizado para este tipo de configuraciones que es de 31 m [4]. En la Figura 3.6 se muestra la configuración armada y su longitud total.

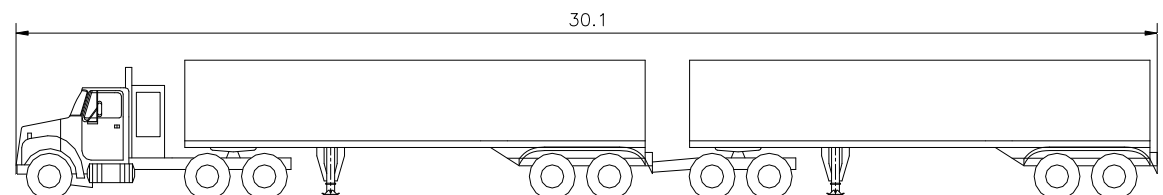


Figura 3.6 Configuración vehicular de estudio completa

3.2 Casos de estudio

Los casos de estudio consistieron básicamente en analizar comparativamente el comportamiento dinámico resultante de la configuración, durante las diferentes maniobras de prueba, al utilizar uno y otro tipo de convertidor (A y H) para cuatro diferentes niveles de carga. Estos niveles fueron a 100% (75.5 Ton), al 75% (63.65 Ton), al 50% (51.09 Ton), y en condición de vacío (peso de la configuración vehicular, 29.11 Ton).

3.2.1 Carga

Ambos semirremolques se lastran idénticamente, para lo cual se considera carga sólida, que para el nivel de 100% corresponde una masa de 23193 kg (227.52 kN de peso) y momentos de inercia respectivos de 17454 kg-m², 284474 kg-m² y 282815 kg-m² en las direcciones I_{xx} , I_{yy} e I_{zz} para cada uno de los semirremolques. Para el nivel de 75% corresponde una masa de 17270 kg (169.42 kN de peso) y momentos de inercia respectivos de 9955 kg-m², 210223 kg-m² y 212115 kg-m² en las direcciones I_{xx} , I_{yy} e I_{zz} , igualmente para cada uno de los semirremolques. Para el nivel de 50% la masa es de 10987 kg (107.78 kN de peso) y momentos de inercia respectivos de 4987 kg-m², 134446 kg-m² y 137116 kg-m² en las direcciones I_{xx} , I_{yy} e I_{zz} . Finalmente, para la condición de vacío, los semirremolques no cuentan con carga.

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 la ejecución de las maniobras se establecieron tres escenarios con diferentes características tanto geométricas como físicas. El primero de ellos es una plataforma cuadrada plana de 1 km de longitud por lado, constituida por concreto asfáltico con coeficiente de fricción uniforme de 0.85, en esta plataforma se desarrolló la maniobra tipo rampa. La Figura 3.7 presenta una vista generada por el programa de simulación de este escenario de prueba.

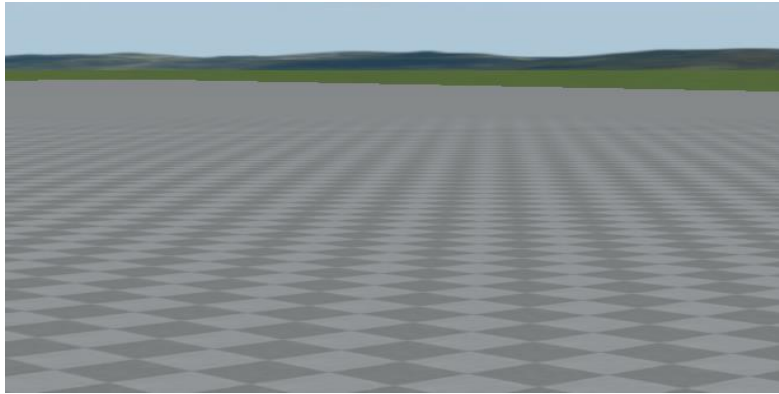


Figura 3.7 Plataforma cuadrada de concreto asfáltico

Las maniobras de cambio simple y doble de carril, así como la maniobra de frenado de pánico, se desarrollaron en un tramo de pista de concreto asfáltico completamente plano, es decir, sin pendiente longitudinal ni lateral, de 14 m de ancho y coeficiente de fricción uniforme de 0.75. En la Figura 3.8 se puede observar una vista generada por el programa de simulación de este escenario de prueba.

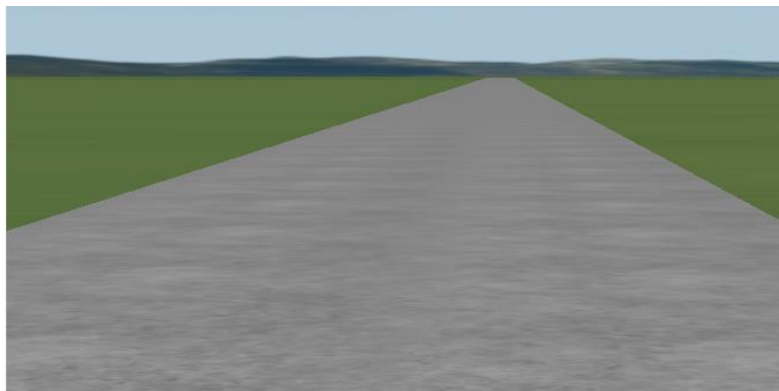


Figura 3.8 Pista para pruebas de cambio simple y doble de carril y frenado de pánico

Finalmente, la prueba circular se desarrolló en un tramo carretero de dos carriles, uno por sentido de circulación, de 3.5 m de ancho cada uno. El tramo corresponde a una curva con radio de 250 m, cuenta con zonas de transición a la entrada y a la salida de la misma. Se tiene un coeficiente de fricción uniforme de 0.50. La Figura 3.9 presenta una vista generada por el programa de simulación.



Figura 3.9 Vista de pista curva

4 Resultados

Una vez obtenidos y procesados los datos de simulación, se analizaron en términos de la comparación de los parámetros indicadores del desempeño para todos los casos de estudio. A continuación se presentan los resultados para cada uno de los parámetros durante las diferentes maniobras de prueba.

4.1 Maniobra de cambio simple de carril (CSC)

En primera instancia se presentan los resultados obtenidos de la maniobra de cambio simple de carril, ejecutada a 90 y 100 km/h en las cuatro condiciones de carga. En la Figura 4.1 se observa la trayectoria a seguir durante esta prueba.

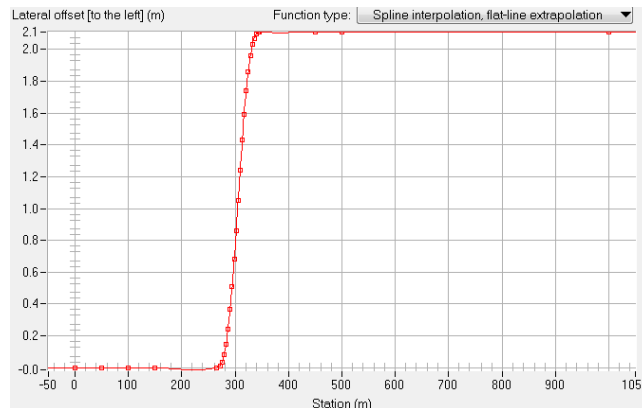


Figura 4.1 Trayectoria de cambio simple de carril

4.1.1 Transferencia lateral de carga (LTR)

La transferencia lateral de carga es un indicador de cuán demandante es una maniobra y cómo los valores altos pueden conducir, incluso, al vuelco. Los valores máximos obtenidos durante el cambio simple de carril para las dos velocidades de prueba y los diferentes niveles de carga se muestran en la Tabla 1. Se puede apreciar que los niveles de LTR estuvieron por debajo del límite recomendado de 60% [12]. En la comparación directa del comportamiento con uno u otro tipo de convertidor, los resultados muestran que la configuración vehicular obtuvo niveles ligeramente menores al utilizar el convertidor H, con diferencias que van desde poco más de 2%, para el caso de vacío a 90 km/h, hasta casi 10% para vehículo a 75% de carga a 100 km/h.

Tabla 4.1 Transferencia lateral de carga durante CSC

Velocidad [km/h]	% carga	Tipo de convertidor	LTR [%]	Diferencia	Diferencia [%]
90	100	H	32.4	-2.90	-8.22
		A	35.3		
	75	H	23	-1.60	-6.50
		A	24.6		
	50	H	17.8	-0.80	-4.30
		A	18.6		
0	H	14.5	-0.40	-2.68	
	A	14.9			
100	100	H	40.9	-3.80	-8.50
		A	44.7		
	75	H	29.7	-3.20	-9.73
		A	32.9		
	50	H	22.7	-1.70	-6.97
		A	24.4		
	0	H	18.1	-1.00	-5.24
		A	19.1		

En la Figura 4.2 se aprecian las diferencias en el LTR al comparar el comportamiento con ambos convertidores, es visible la tendencia a la baja al considerar como base el comportamiento con el convertidor A.

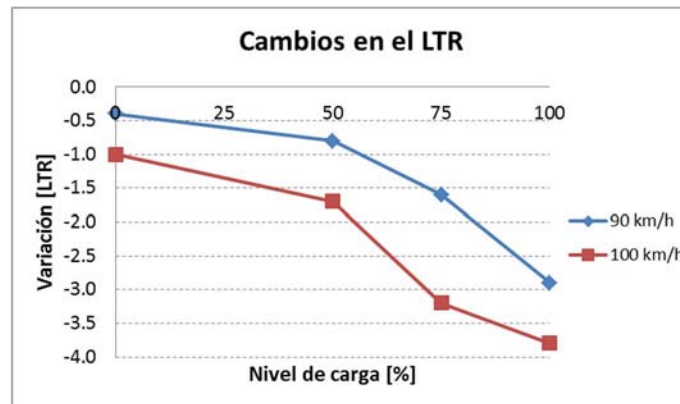


Figura 4.2 Cambios en el LTR, convertidor A vs convertidor H

Adicionalmente, se analizó el efecto del nivel de carga en el desempeño de la configuración vehicular para cada tipo de convertidor. Estos resultados para el caso de la transferencia lateral de carga se muestran en la Tabla 4.2; como era de esperarse, a mayor nivel de carga, mayor es el LTR, con incrementos cercanos al 100% para algunos casos y en otros mayor al 100%, entre el nivel de carga vacío y completamente cargado. También se puede apreciar que cuando la

configuración emplea el convertidor A estos incrementos son ligeramente mayores que al utilizar el convertidor H.

Tabla 4.2 Comparación del LTR para mismo tipo de convertidor por niveles de carga

Velocidad [km/h]	Tipo de convertidor	Nivel de carga [%]	LTR [%]	Diferencia	Diferencia [%]
90	H	100	32.4	9.40	40.87
		75	23	5.20	29.21
		50	17.8	3.30	22.76
		0	14.5		
	A	100	35.3	10.70	43.50
		75	24.6	6.00	32.26
		50	18.6	3.70	24.83
		0	14.9		
100	H	100	40.9	11.20	37.71
		75	29.7	7.00	30.84
		50	22.7	4.60	25.41
		0	18.1		
	A	100	44.7	11.80	35.87
		75	32.9	8.50	34.84
		50	24.4	5.30	27.75
		0	19.1		

La Figura 4.3 muestra esta tendencia al alza conforme se incrementa el nivel de carga. Además, se observa que estos incrementos son ligeramente mayores al incrementar la velocidad de avance.

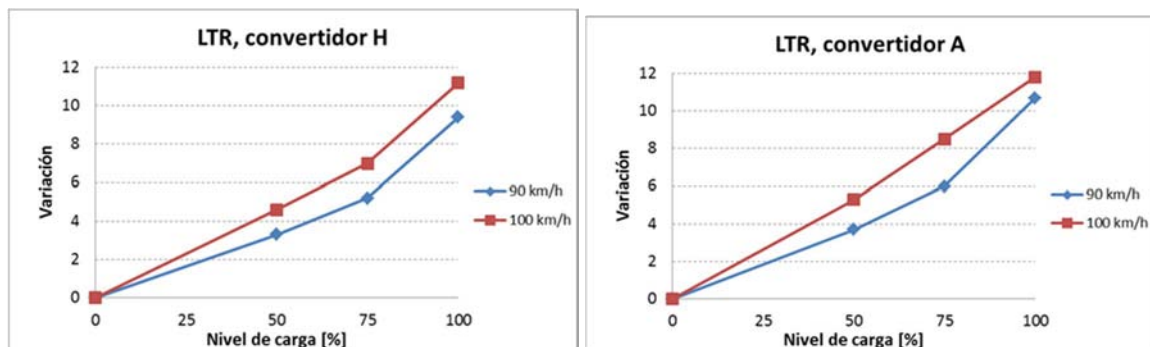


Figura 4.3 Cambios en el LTR, convertidor A (der.) y convertidor H (izq.)

4.1.2 Amplificación del coleo (RWA)

Con respecto a la amplificación máxima de la aceleración lateral experimentada por la última unidad de la configuración, con respecto a la de la primera unidad, los resultados se muestran en la Tabla 4.3, comparando el comportamiento con convertidor A y H. De nueva cuenta, se obtienen reducciones al utilizar el convertidor H, con diferencias que van desde arriba del 8% hasta casi 23%.

Tabla 4.3 Amplificación del coleo durante CSC

Velocidad [km/h]	% carga	Tipo de convertidor	Amplificación del coleo	Diferencia	Diferencia [%]
90	100	H	1.520	-0.45	-22.75
		A	1.968		
	75	H	1.432	-0.13	-8.49
		A	1.565		
	50	H	1.150	-0.23	-16.56
		A	1.378		
0	H	1.160	-0.11	-8.68	
	A	1.270			
100	100	H	1.742	-0.49	-21.82
		A	2.228		
	75	H	1.502	-0.41	-21.29
		A	1.908		
	50	H	1.324	-0.28	-17.25
		A	1.600		
	0	H	1.302	-0.16	-11.18
		A	1.465		

La Figura 4.4 presenta la tendencia a la baja para la amplificación del coleo al utilizar convertidor H en comparación con el convertidor A.

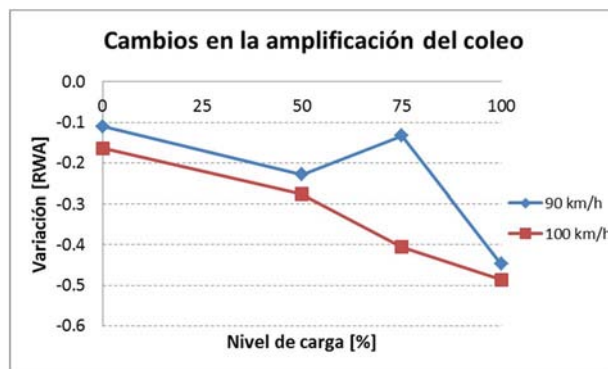


Figura 4.4 Cambios en el RWA, convertidor A vs convertidor H

Al hacer la comparación de los resultados para cada tipo de convertidor, nivel de carga y velocidad de avance, se aprecian incrementos para la amplificación del coleo al incrementar el nivel de carga y la velocidad, los cuales son mayores para el caso del convertidor A. Estos resultados se presentan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Comparación del RWA para mismo tipo de convertidor por niveles de carga

Velocidad [km/h]	Tipo de convertidor	Nivel de carga [%]	Amplificación del coleo	Diferencia	Diferencia [%]
90	H	100	1.520	0.09	6.14
		75	1.432	0.28	24.58
		50	1.150	-0.01	-0.92
		0	1.160		
	A	100	1.968	0.40	25.73
		75	1.565	0.19	13.59
		50	1.378	0.11	8.44
		0	1.270		
100	H	100	1.742	0.24	15.99
		75	1.502	0.18	13.43
		50	1.324	0.02	1.71
		0	1.302		
	A	100	2.228	0.32	16.77
		75	1.908	0.31	19.26
		50	1.600	0.13	9.17
		0	1.465		

Las tendencias observadas en los datos de la Tabla 4.4, se muestran con mayor claridad en la Figura 4.5, lado izquierdo para el convertidor H y lado derecho para convertidor A. Se aprecia mayor dispersión para el convertidor H mientras que el convertidor A presenta más uniformidad.

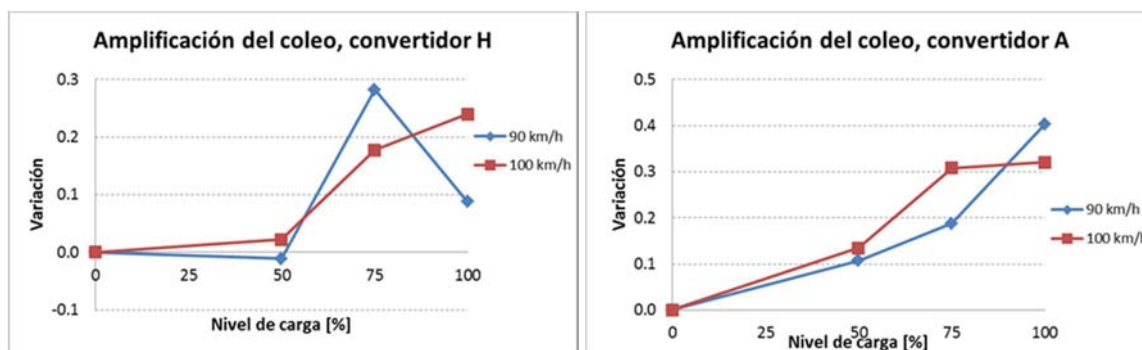


Figura 4.5 Cambios en el RWA, convertidor A (der.) y convertidor H (izq.)

4.1.3 Despiste lateral

Para configuraciones articuladas la diferencia en las trayectorias seguidas por la primera y la última unidad es una medida muy importante ya que, diferencias grandes pueden representar invasiones a los carriles adyacentes con el riesgo de producir accidentes con los vehículos que circulen por dichos carriles. El despiste lateral es un indicador de esa propensión que tengan las configuraciones a invadir carriles durante maniobras que impliquen cambio de dirección. La comparación del despiste lateral presentado con los diferentes convertidores, para las velocidades de prueba y niveles de carga analizados, se presenta en la Tabla 4.5. Los valores más altos se presentan al utilizar convertidor A, con diferencias que van desde 1 cm hasta 13 cm. En todos los casos los valores están muy por debajo del límite recomendado de 2.4 m, [12].

Tabla 4.5 Despiste lateral durante CSC

Velocidad [km/h]	% carga	Tipo de convertidor	Despiste lateral [m]	Diferencia	Diferencia [%]
90	100	H	0.214	-0.09	-30.74
		A	0.309		
	75	H	0.217	-0.02	-7.66
		A	0.235		
	50	H	0.207	0.01	5.61
		A	0.196		
	0	H	0.15	0.02	18.11
		A	0.127		
100	100	H	0.337	-0.13	-28.14
		A	0.469		
	75	H	0.286	-0.09	-24.54
		A	0.379		
	50	H	0.27	-0.07	-20.35
		A	0.339		
	0	H	0.271	-0.02	-6.87
		A	0.291		

En la Figura 4.6 se aprecian con mayor claridad las diferencias presentadas en el despiste lateral máximo para las velocidades de prueba y los diferentes niveles de carga, al comparar ambos tipos de convertidores.

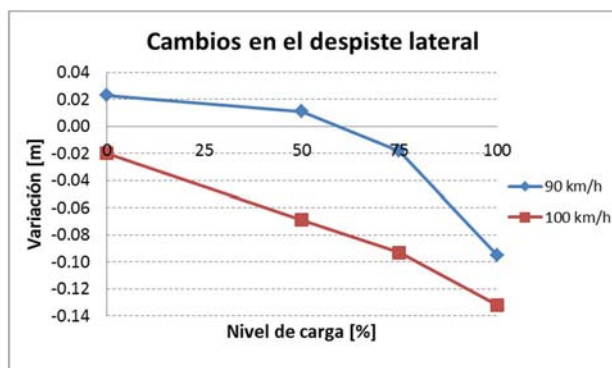


Figura 4.6 Cambios en el despiste lateral, convertidor A vs convertidor H

La Tabla 4.6 muestra la comparación por cada tipo de convertidor para las velocidades de prueba y los niveles de carga. Se observa que el despiste aumenta conforme se incrementa el nivel de carga y la velocidad de avance, así como que estos incrementos son mayores para el caso de convertidor A, con incremento máximo de 54% al pasar al nivel de carga del 50% desde el de vacío para una velocidad de 90 km/h.

Tabla 4.6 Comparación del despiste lateral para mismo tipo de convertidor por niveles de carga

Velocidad [km/h]	Tipo de convertidor	Nivel de carga [%]	Despiste lateral [m]	Diferencia [m]	Diferencia [%]
90	H	100	0.214	0.00	-1.38
		75	0.217	0.01	4.83
		50	0.207	0.06	38.00
		0	0.15		
	A	100	0.309	0.07	31.49
		75	0.235	0.04	19.90
		50	0.196	0.07	54.33
		0	0.127		
100	H	100	0.337	0.05	17.83
		75	0.286	0.02	5.93
		50	0.27	0.00	-0.37
		0	0.271		
	A	100	0.469	0.09	23.75
		75	0.379	0.04	11.80
		50	0.339	0.05	16.49
		0	0.291		

Para mayor claridad, los resultados anteriores se muestran en la Figura 4.7 en forma gráfica, lado izquierdo para el convertidor H y lado derecho para convertidor

A. Se aprecia mayor dispersión para el convertidor H mientras que el convertidor A presenta más uniformidad.

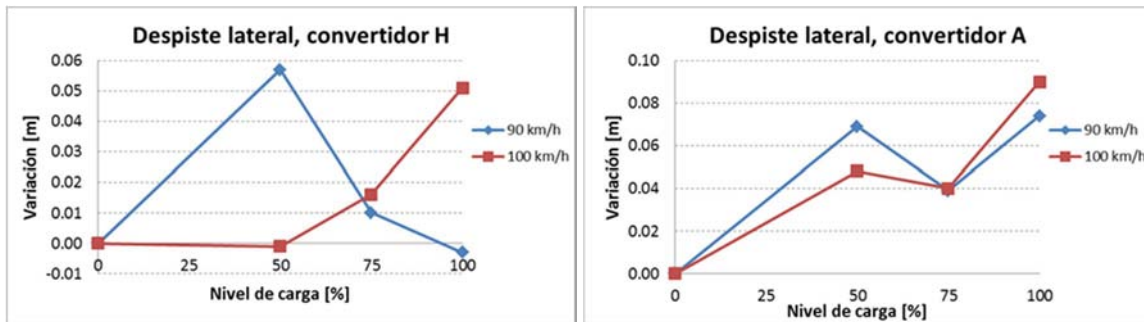


Figura 4.7 Cambios en el despiste lateral, convertidor A (der.) y convertidor H (izq.)

4.2 Maniobra de cambio doble de carril (CDC)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la maniobra de cambio doble de carril, ejecutada a 90 y 100 km/h en las cuatro condiciones de carga, al igual que para la maniobra de cambio simple de carril, los resultados corresponden a la transferencia lateral de carga, amplificación del coleo y despiste lateral. En la Figura 4.8 se observa la trayectoria seguida durante esta prueba.

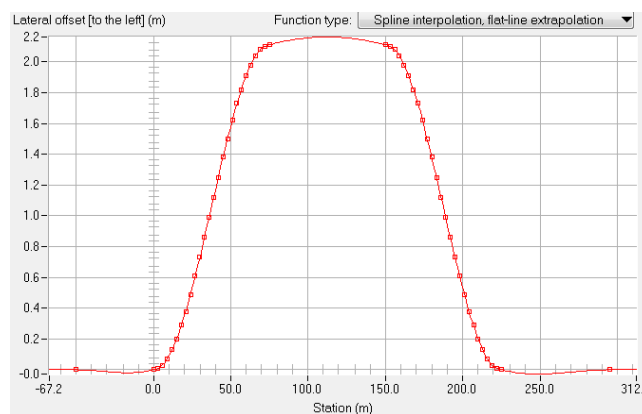


Figura 4.8 Trayectoria de cambio doble de carril

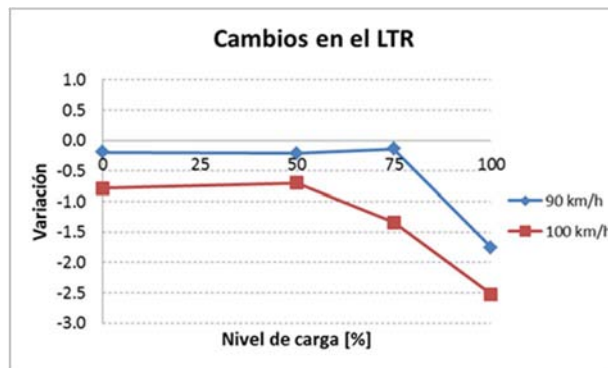
4.2.1 Transferencia lateral de carga (LTR)

En la Tabla 4.7 se pueden observar los valores máximos para la transferencia lateral de carga obtenidos durante la prueba de cambio doble de carril; de nueva cuenta, la configuración con convertidor H registra valores ligeramente menores que con convertidor A, siendo de 0.71% la menor diferencia para el nivel de carga a 75% con velocidad de avance de 90 km/h y la diferencia mayor de 6.53% para 100% de carga y 100 km/h. Todos los valores están por debajo del límite recomendado.

Tabla 4.7 Transferencia lateral de carga durante CDC

Velocidad [km/h]	% carga	Tipo de convertidor	LTR [%]	Diferencia	Diferencia [%]
90	100	H	27.30	-1.75	-6.02
		A	29.05		
	75	H	19.60	-0.14	-0.71
		A	19.74		
	50	H	15.31	-0.21	-1.37
		A	15.52		
0	H	12.33	-0.19	-1.52	
	A	12.52			
100	100	H	36.09	-2.52	-6.53
		A	38.61		
	75	H	25.78	-1.34	-4.94
		A	27.11		
	50	H	19.70	-0.69	-3.40
		A	20.40		
0	H	15.43	-0.78	-4.81	
	A	16.21			

La Figura 4.9 muestra una gráfica con las diferencias encontradas para la transferencia lateral de carga durante la maniobra de cambio doble de carril, al comparar el desempeño de la configuración vehicular con uno y otro tipo de convertidor para ambas velocidades de prueba.

**Figura 4.9 Cambios en el LTR, convertidor A vs convertidor H**

Al comparar el desempeño por separado para cada convertidor, con el fin de determinar el efecto del nivel de carga y de la velocidad de avance, se observan incrementos significativos para el LTR conforme se incrementa el nivel de carga, siendo estos incrementos mayores para el convertidor A, ya que se tiene hasta un 47% de incremento, mientras que con el convertidor H el incremento máximo es de 40%. Esto se observa en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8 Comparación del LTR para mismo tipo de convertidor por niveles de carga

Velocidad [km/h]	Tipo de convertidor	Nivel de carga [%]	LTR [%]	Diferencia	Diferencia [%]
90	H	100	27.30	7.70	39.29
		75	19.60	4.29	27.99
		50	15.31	2.99	24.22
		0	12.33		
	A	100	29.05	9.31	47.16
		75	19.74	4.21	27.15
		50	15.52	3.01	24.03
		0	12.52		
100	H	100	36.09	10.32	40.02
		75	25.78	6.07	30.82
		50	19.70	4.27	27.68
		0	15.43		
	A	100	38.61	11.50	42.40
		75	27.11	6.72	32.94
		50	20.40	4.19	25.82
		0	16.21		

Las diferencias en la transferencia lateral de carga por convertidor se presentan en la Figura 4.10, la gráfica de la izquierda corresponde al convertidor H y la gráfica de la derecha al convertidor A.

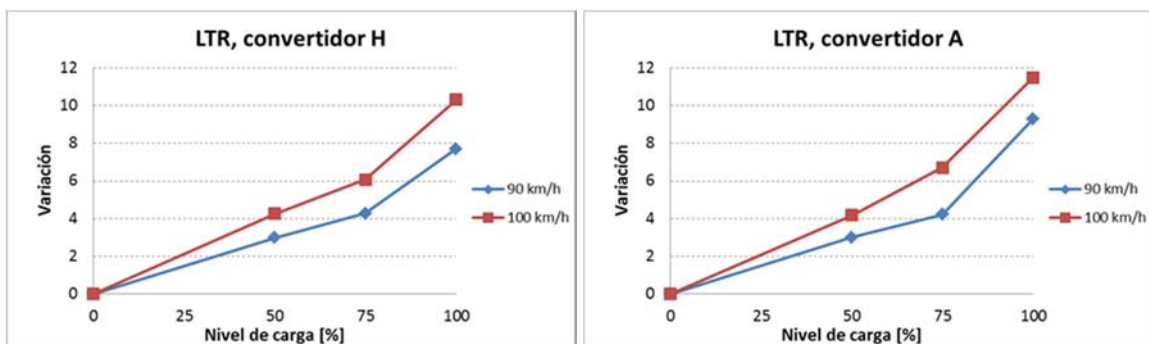


Figura 4.10 Cambios en el LTR, convertidor A (der.) convertidor H (izq.)

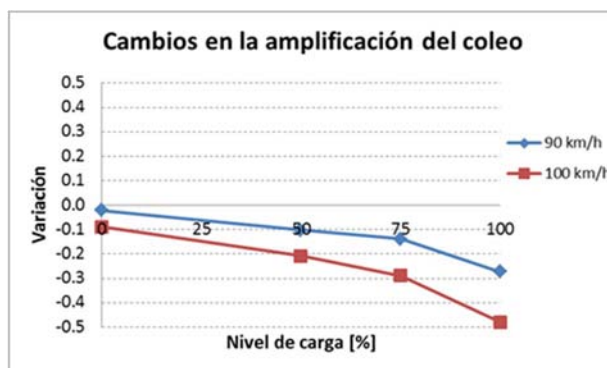
4.2.2 Amplificación del coleo (RWA)

La Tabla 4.9 contiene los resultados para la amplificación del coleo máxima experimentada durante el cambio doble de carril, se compara lo presentado por cada tipo de convertidor. El convertidor H presentó valores menores con respecto al convertidor A, con diferencias que van de 1% para vehículo vacío a 90 km/h, hasta 22% para vehículo completamente cargado y 100 km/h de velocidad.

Tabla 4.9 Amplificación del coleo durante CDC

Velocidad [km/h]	% carga	Tipo de convertidor	Amplificación del coleo	Diferencia	Diferencia [%]
90	100	H	1.462	-0.27	-15.75
		A	1.735		
	75	H	1.285	-0.14	-9.74
		A	1.424		
	50	H	1.187	-0.10	-7.83
		A	1.287		
0	H	1.193	-0.02	-1.63	
	A	1.213			
100	100	H	1.644	-0.48	-22.57
		A	2.123		
	75	H	1.468	-0.29	-16.41
		A	1.757		
	50	H	1.287	-0.21	-13.87
		A	1.494		
0	H	1.316	-0.09	-6.30	
	A	1.404			

La Figura 4.11 resume las diferencias encontradas para la amplificación del coleo durante la maniobra de cambio doble de carril al comparar los tipos de convertidores analizados, para ambas velocidades de avance.

**Figura 4.11 Cambios en el RWA, convertidor A vs convertidor H**

La comparación por separado para cada tipo de convertidor arroja los datos mostrados en la Tabla 4.10, en los cuales se aprecian incrementos en la amplificación del coleo conforme se eleva la carga y la velocidad de avance. Estos incrementos son mayores para el convertidor A, con un incremento máximo de casi 22%, mientras que el incremento máximo con convertidor H es casi del 14%.

Tabla 4.10 Comparación del RWA para mismo tipo de convertidor por niveles de carga

Velocidad [km/h]	Tipo de convertidor	Nivel de carga [%]	Amplificación del coleo	Diferencia	Diferencia [%]
90	H	100	1.462	0.18	13.75
		75	1.285	0.10	8.33
		50	1.187	-0.01	-0.56
		0	1.193		
	A	100	1.735	0.31	21.87
		75	1.424	0.14	10.62
		50	1.287	0.07	6.13
		0	1.213		
100	H	100	1.644	0.18	11.96
		75	1.468	0.18	14.09
		50	1.287	-0.03	-2.17
		0	1.316		
	A	100	2.123	0.37	20.86
		75	1.757	0.26	17.57
		50	1.494	0.09	6.43
		0	1.404		

El resumen de los incrementos en la amplificación del coleo para cada convertidor, debido al aumento en el nivel de carga y la velocidad, se muestran en la Figura 4.12, la gráfica de la izquierda corresponde al convertidor H, mientras que la de la derecha al convertidor A.

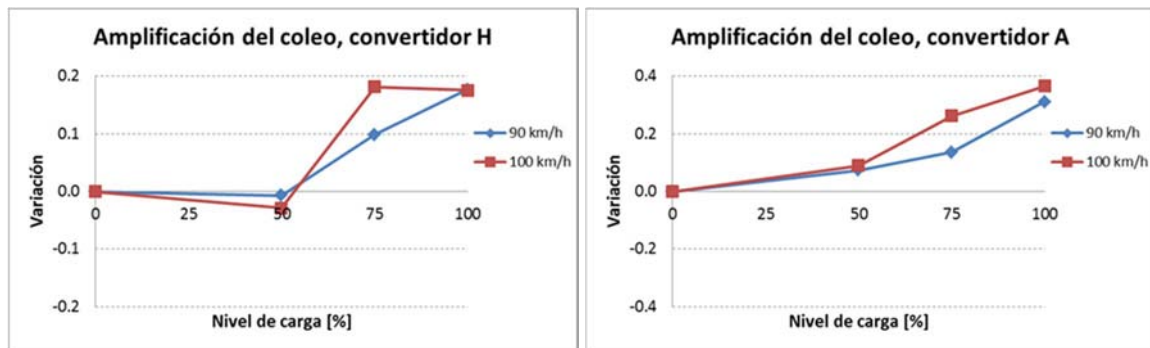


Figura 4.12 Cambios en el RWA, convertidor A (der.) y convertidor H (izq.)

4.2.3 Despiste lateral

Para el caso del despiste lateral, de nueva cuenta, al comparar el desempeño de uno y otro convertidor, se tienen reducciones al emplear el convertidor H con respecto al convertidor A, como se aprecia en la Tabla 4.11, donde se muestran

diferencias de hasta el 20%. Aunque para todos los casos se presentan valores muy por debajo del límite máximo recomendado.

Tabla 4.11 Despiste lateral durante CDC

Velocidad [km/h]	% carga	Tipo de convertidor	Despiste lateral [m]	Diferencia [m]	Diferencia [%]
90	100	H	0.18	-0.016	-8.16
		A	0.196		
	75	H	0.156	-0.017	-9.83
		A	0.173		
	50	H	0.108	-0.003	-2.70
		A	0.111		
0	H	0.009	-0.001	-10.00	
	A	0.01			
100	100	H	0.276	-0.069	-20.00
		A	0.345		
	75	H	0.235	-0.051	-17.83
		A	0.286		
	50	H	0.206	-0.011	-5.07
		A	0.217		
0	H	0.173	-0.003	-1.70	
	A	0.176			

La gráfica de la Figura 4.13 resume las diferencias encontradas para el despiste lateral en comparación directa de ambos tipos de convertidores, se observa una diferencia máxima de 8 cm.

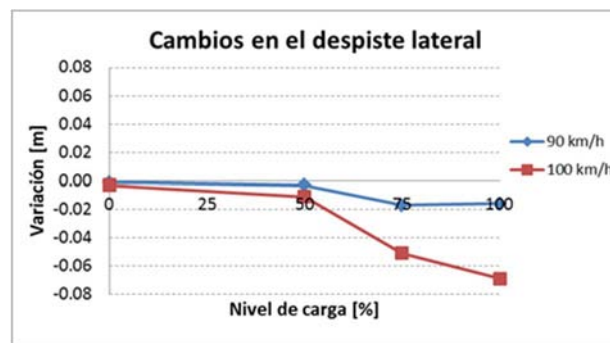


Figura 4.13 Cambios en el despiste lateral, convertidor A vs convertidor H

De la comparación por separado para cada tipo de convertidor, resultan los datos mostrados en la Tabla 4.12, en los cuales se aprecian incrementos en el despiste lateral conforme se eleva la carga y la velocidad de avance. Estos incrementos son mayores para el convertidor A.

Tabla 4.12 Comparación del despiste lateral para mismo tipo de convertidor por niveles de carga

Velocidad [km/h]	Tipo de convertidor	Nivel de carga [%]	Despiste lateral [m]	Diferencia	Diferencia [%]
90	H	100	0.18	0.02	15.38
		75	0.156	0.05	44.44
		50	0.108	0.10	1100.00
		0	0.009		
	A	100	0.196	0.02	13.29
		75	0.173	0.06	55.86
		50	0.111	0.10	1010.00
		0	0.01		
100	H	100	0.276	0.04	17.45
		75	0.235	0.03	14.08
		50	0.206	0.03	19.08
		0	0.173		
	A	100	0.345	0.06	20.63
		75	0.286	0.07	31.80
		50	0.217	0.04	23.30
		0	0.176		

El resumen de los incrementos en el despiste lateral para cada convertidor debido al aumento en el nivel de carga y la velocidad, se muestran en la Figura 4.14, la gráfica de la izquierda corresponde al convertidor H, mientras que la de la derecha al convertidor A.

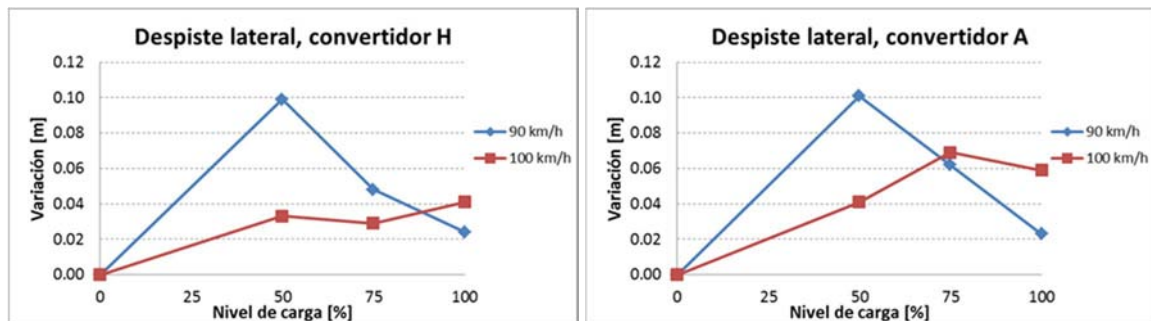


Figura 4.14 Cambios en el despiste lateral, convertidor A (der.) y convertidor H (izq.)

4.3 Maniobra direccional tipo rampa

La maniobra tipo rampa se ejecutó a una velocidad constante de 100 km/h con un incremento gradual del ángulo de orientación de las llantas del eje direccional de 0.16 %/s. De esta maniobra direccional, se obtuvieron los datos necesarios para

determinar el umbral de vuelco y las características de manejabilidad. En seguida se presentan los resultados obtenidos para estas dos medidas de desempeño.

4.3.1 Umbral de vuelco

El umbral de vuelco se refiere al nivel de aceleración lateral que soporta un vehículo justo antes de producirse la volcadura del mismo. Existen varias formas de evaluar este parámetro de desempeño; en este caso, se realizó mediante la maniobra tipo rampa. En la Tabla 4.13 se presenta la comparación de los umbrales obtenidos con cada uno de los convertidores analizados, para el tractocamión y cada uno de los semirremolques. En general, los umbrales alcanzados por la configuración utilizando convertidor H son ligeramente mayores, entre el 1 y el 5%, que cuando se utiliza el convertidor A.

Tabla 4.13 Comparación del umbral de vuelco por niveles de carga

% carga	Tipo de convertidor	Umbral de vuelco [g's]					
		Tracto	Diferencia	Semi 1	Diferencia	Semi 2	Diferencia
100	H	0.355	0.003	0.344	-0.005	0.339	-0.005
	A	0.352		0.349		0.344	
75	H	0.412	0.001	0.409	0.001	0.404	0.002
	A	0.411		0.408		0.402	
50	H	0.471	0.017	0.465	0.014	0.455	0.011
	A	0.454		0.450		0.445	
0	H	0.580	0.020	0.573	0.019	0.565	0.021
	A	0.560		0.555		0.545	

Las diferencias en el umbral de vuelco al comparar ambos convertidores se presentan en forma resumida en la gráfica de la Figura 4.15. Se aprecia que las diferencias más significativas ocurren para el nivel de carga vacío, con umbrales alrededor de 0.02 g's mayores para el convertidor H.

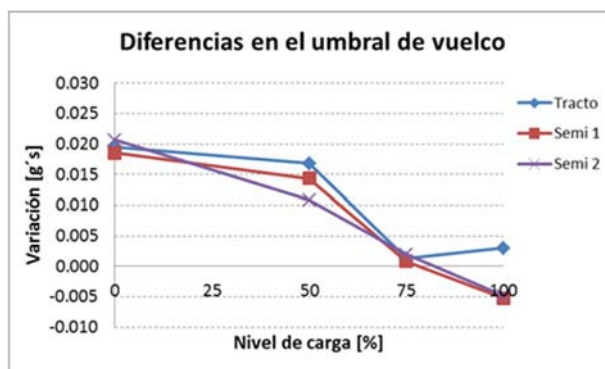


Figura 4.15 Diferencias en el umbral de vuelco, convertidor A vs convertidor H

Otra diferencia a destacar, encontrada durante la prueba de rampa, es la forma en que se produce el vuelco al utilizar diferente tipo de convertidor, ya que cuando se emplea el convertidor H el vuelco se produce de manera simultánea en todas las unidades de la configuración, como se muestra en la Figura 4.16 izq., mientras que cuando se utiliza el convertidor el segundo semirremolque vuelca primero que las otras unidades (ver Figura 4.16 der.), lo cual puede representar mayor tendencia al desprendimiento de la última unidad.

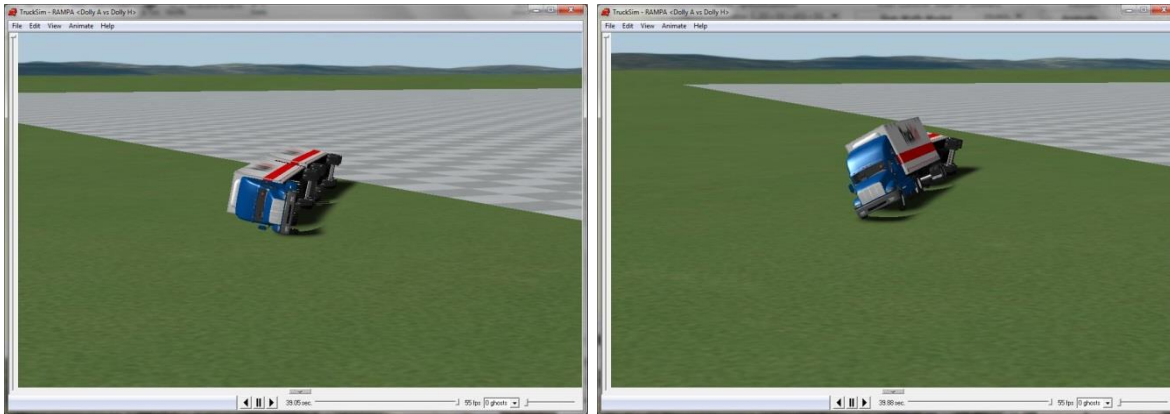


Figura 4.16 Posición final de vuelco, convertidor H izq. convertidor A der.

Mediante la comparación por separado para cada tipo de convertidor, se obtiene los datos mostrados en la Tabla 4.14, en los cuales se aprecian los decrementos en el umbral de vuelco conforme se eleva la carga y la velocidad de avance, los cuales son muy similares para ambos tipos de convertidores.

Tabla 4.14 Comparación del umbral de vuelco para mismo tipo de convertidor por niveles de carga

Tipo de convertidor	% carga	Umbral de vuelco [g's]					
		Tracto	Diferencia	Semi 1	Diferencia	Semi 2	Diferencia
H	100	0.355	-0.057	0.344	-0.065	0.339	-0.065
	75	0.412	-0.059	0.409	-0.056	0.404	-0.052
	50	0.471	-0.109	0.465	-0.108	0.455	-0.110
	0	0.580		0.573		0.565	
A	100	0.352	-0.058	0.349	-0.059	0.344	-0.058
	75	0.411	-0.043	0.408	-0.042	0.402	-0.043
	50	0.454	-0.106	0.450	-0.104	0.445	-0.100
	0	0.560		0.555		0.545	

El resumen de los decrementos en el umbral de vuelco para cada convertidor debido al aumento en el nivel de carga, se muestran en la Figura 4.17, la gráfica de la izquierda corresponde al convertidor H, mientras que la de la derecha al convertidor A. Es notoria la similitud entre las gráficas ya que, como se menciona anteriormente, los cambios debido al aumento de la carga para uno y otro tipo de convertidor son muy similares.

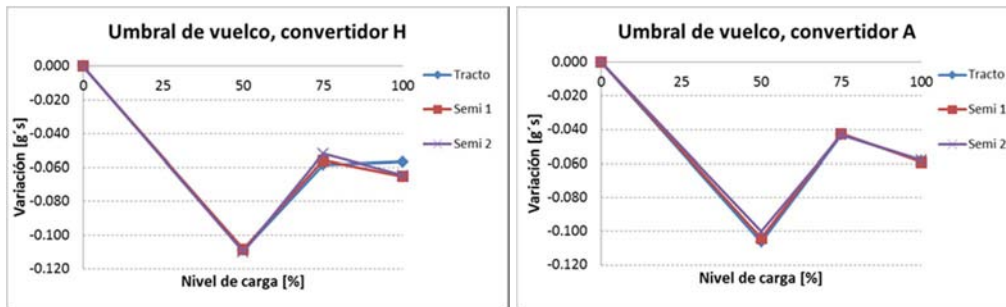


Figura 4.17 Cambios en el umbral de vuelco, convertidor A (der.) y convertidor H (izq.)

4.3.2 Manejabilidad

La manejabilidad se refiere a la velocidad de respuesta del vehículo para alinearse al seguimiento de trayectorias de cambio de dirección. Generalmente se indica mediante la condición de viraje, la cual se obtiene de la pendiente de la curva en un diagrama de manejabilidad. Esta condición de viraje puede variar conforme cambia el nivel de aceleración lateral que soporta el vehículo.

En la Figura 4.18 se muestran los diagramas de manejabilidad correspondientes al tractocamión para los cuatro niveles de carga analizados, tanto para convertidor A como H. Se observa que las curvas en todos los casos presentan una clara pendiente negativa, lo que representa condición de subviraje. Para ambos convertidores las condiciones son muy similares, es para la condición sin carga donde se observa mayor tendencia al subviraje con el convertidor A.

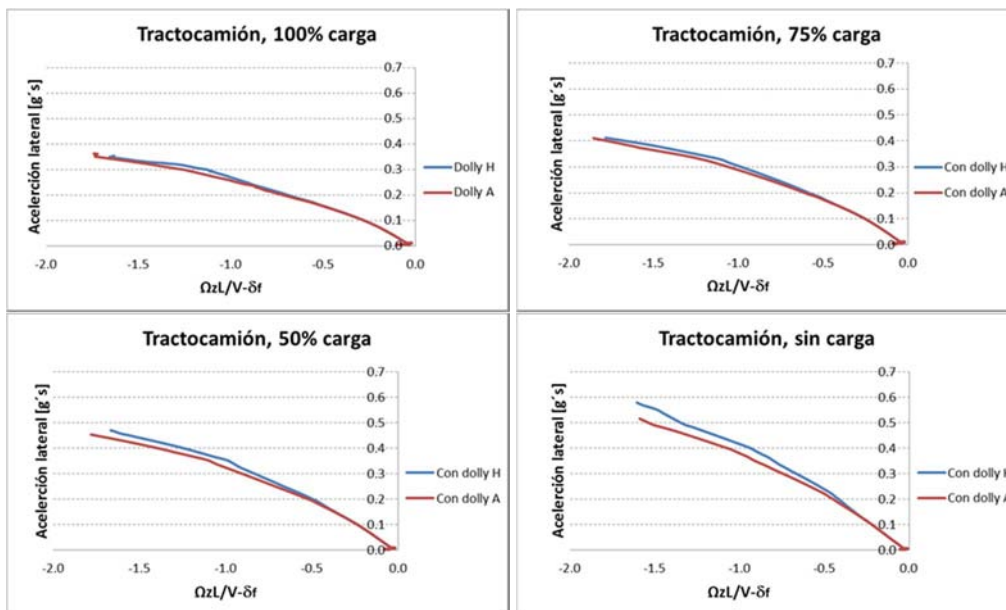


Figura 4.18 Diagramas de manejabilidad del tractocamión para los diferentes niveles de carga

Para el semirremolque 1, los diagramas de manejabilidad correspondientes se muestran en la Figura 4.19 para los cuatro niveles de carga analizados, tanto para convertidor A como H. En este caso, contrario que para el tractocamión, las curvas en todos los casos presentan una clara pendiente positiva, lo que representa condición de sobreviraje. Además, las diferencias presentadas entre convertidores son más notorias, teniendo la configuración vehicular con convertidor H mayor tendencia al sobreviraje.

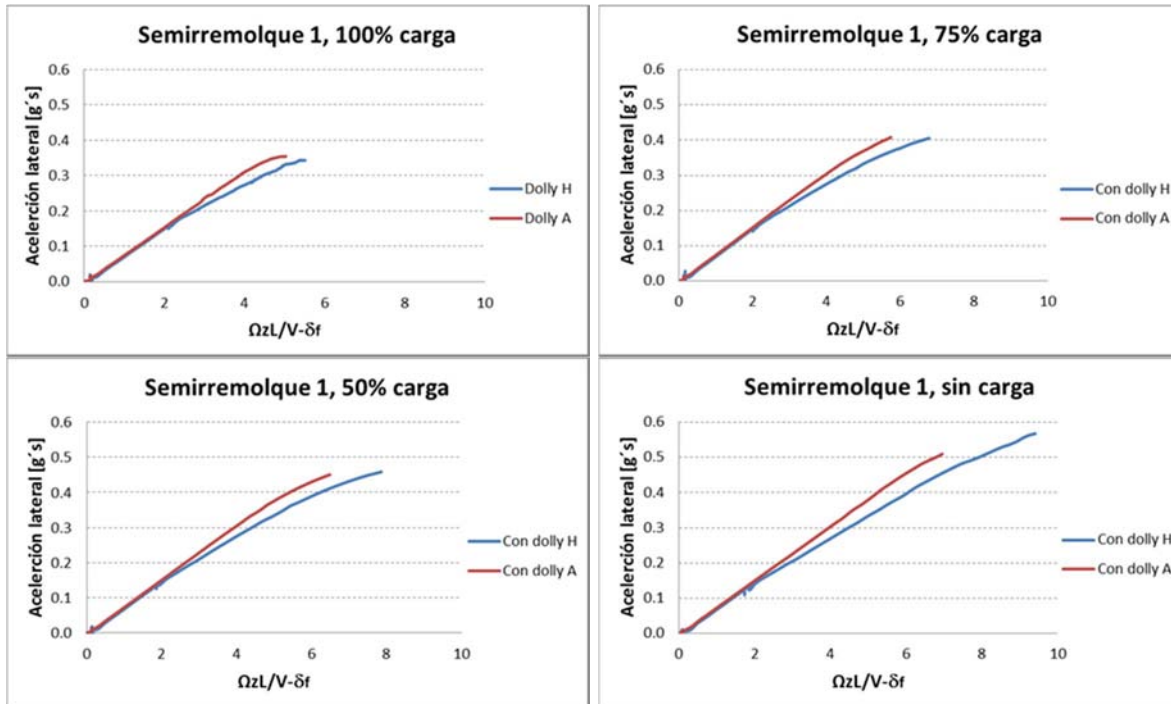


Figura 4.19 Diagramas de manejabilidad del semirremolque 1 para los diferentes niveles de carga

Finalmente, para el semirremolque 2, los diagramas de manejabilidad correspondientes se muestran en la Figura 4.20 para los cuatro niveles de carga analizados, tanto para convertidor A como H. Al igual que para el semirremolque 1, las curvas en todos los casos presentan una clara pendiente positiva, lo que representa condición de sobreviraje. Las diferencias presentadas entre convertidores son menos notorias teniendo la configuración vehicular con convertidor H ligeramente mayor tendencia al sobreviraje.

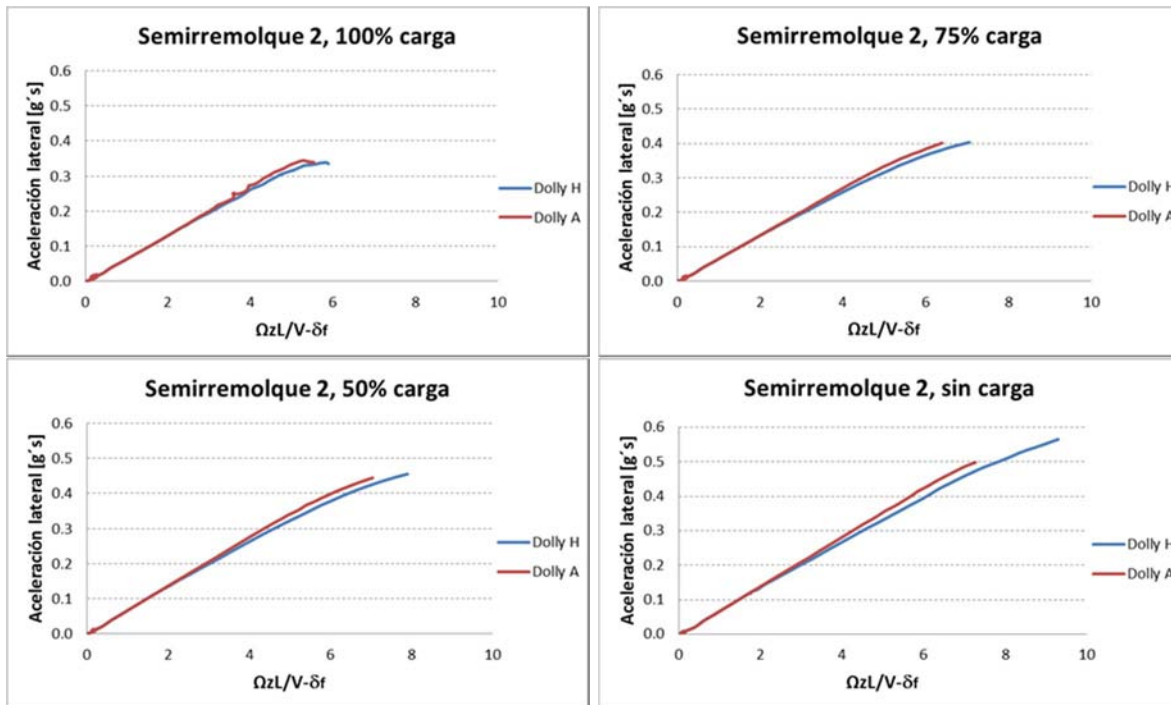


Figura 4.20 Diagramas de manejabilidad del semirremolque 2 para los diferentes niveles de carga

4.4 Maniobra circular

Esta prueba se realizó con la intención de escenificar, en la medida de lo posible, condiciones de operación normal, para ello se escenificó en el programa de simulación un tramo carretero correspondiente a una curva, con las características de sobreelevaciones, zonas de transición y fricción típicas para este tipo de caminos. En la Figura 4.21 se muestra la trayectoria de la curva.

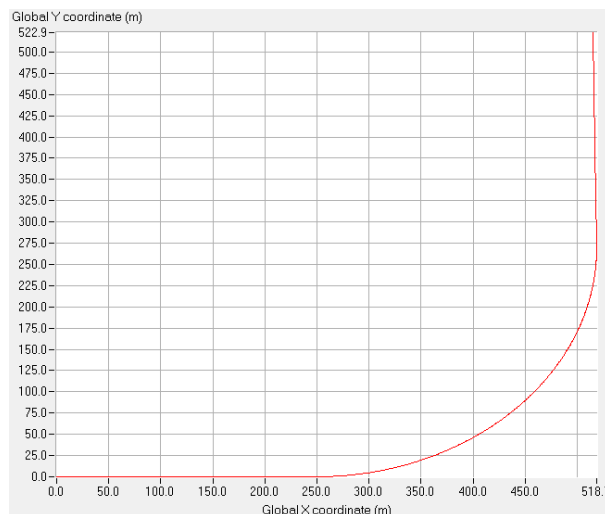


Figura 4.21 Trayectoria de la prueba circular

Esta maniobra se ejecutó a diferentes velocidades, siendo estas, 90 km/h, 100 km/h y a prueba y error se determinó la velocidad máxima a la que la configuración pudo ejecutar la maniobra sin sufrir el vuelco. A partir de los datos obtenidos se analiza la aceleración lateral máxima, la velocidad angular máxima y el despiste lateral.

4.4.1 Aceleración lateral máxima

En la Tabla 4.15 se muestra la comparativa para la aceleración lateral máxima que experimentó la configuración, con respecto a cada una de las unidades que la conforman, durante la maniobra circular, se observa que en general la configuración con el convertidor H presentó aceleraciones laterales mayores, también se destaca que con este convertidor se pudo ejecutar la maniobra a una velocidad máxima de 117 km/h, mientras que con el convertidor A fue posible a 105 km/h, esto es reflejo del mayor umbral de vuelco que proporciona el convertidor H.

Tabla 4.15 Comparación de la aceleración lateral máxima entre convertidores

Velocidad [km/h]	% carga	Tipo de convertidor	Aceleración lateral máxima [g's]								
			Tracto	Dif	Semi 1	Dif	Convertidor	Dif	Semi 2	Dif	
90	100	H	0.2703	0.01	0.3061	0.03	0.5647	0.12	0.2823	-0.06	
		A	0.2601		0.2808		0.4416		0.3378		
	75	H	0.2747	0.02	0.3212	0.04	0.5158	0.17	0.2835	-0.05	
		A	0.2505		0.2845		0.3461		0.3377		
	50	H	0.2847	0.02	0.3543	0.07	0.4526	0.11	0.2875	-0.04	
		A	0.2608		0.2831		0.3407		0.3309		
	0	H	0.2785	0.01	0.5823	0.30	0.3426	0.00	0.2902	-0.03	
		A	0.2652		0.2854		0.3422		0.3181		
	100	100	H	0.3267	0.00	0.3714	0.01	0.7675	0.19	0.3913	-0.04
			A	0.3314		0.3648		0.5810		0.4306	
75		H	0.3314	0.02	0.3861	0.03	0.8732	0.43	0.3674	-0.07	
		A	0.3101		0.3573		0.4462		0.4369		
50		H	0.3425	0.02	0.4275	0.07	0.9148	0.46	0.3861	-0.05	
		A	0.3206		0.3535		0.4567		0.4332		
0		H	0.3511	0.02	0.5074	0.15	0.8367	0.37	0.3786	-0.06	
		A	0.3321		0.3589		0.4709		0.4357		
117		100	H	0.4718		0.5563		1.0264		0.5035	
105		100	A	0.3710		0.4082		0.7173		0.4652	

Las diferencias indicadas en la Tabla 4.15, se muestran de forma resumida en las gráficas de la Figura 4.22, solo para las velocidades de 90 y 100 km/h. Se observa que las diferencias más significativas se presentan para la aceleración que soporta el convertidor a la velocidad de 100 km/h.

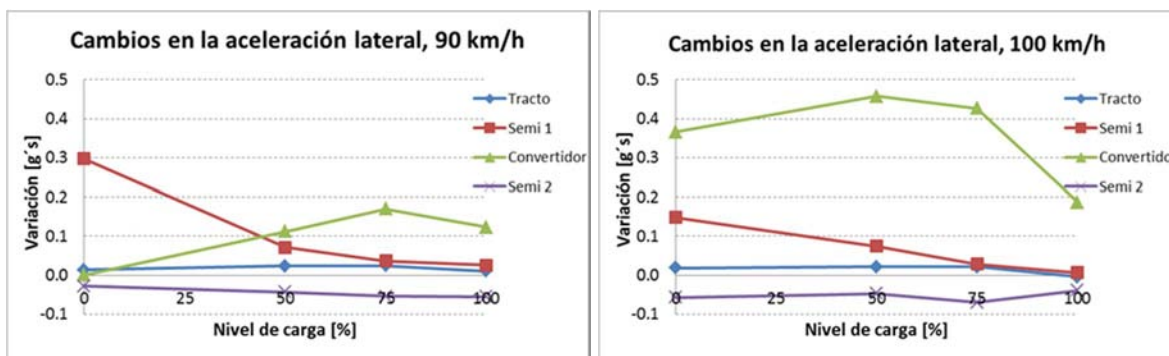


Figura 4.22 Diferencias en la aceleración lateral máxima

De la comparación por separado para cada tipo de convertidor, se obtienen los datos mostrados en la Tabla 4.16, en los cuales se aprecian las diferencias en la aceleración lateral máxima conforme se eleva la carga y la velocidad de avance, no se aprecian diferencias significativas.

Tabla 4.16 Comparación de la aceleración lateral máxima para mismo tipo de convertidor por niveles de carga

Velocidad [km/h]	Tipo de dolli	Nivel de carga [%]	Aceleración lateral máxima [g·s]							
			Tracto	Dif	Semi 1	Dif	Dolli	Dif	Semi 2	Dif
90	H	100	0.2703	-0.004	0.3061	-0.015	0.5647	0.049	0.2823	-0.001
		75	0.2747	-0.010	0.3212	-0.033	0.5158	0.063	0.2835	-0.004
		50	0.2847	0.006	0.3543	-0.228	0.4526	0.110	0.2875	-0.003
		0	0.2785		0.5823		0.3426		0.2902	
	A	100	0.2601	0.010	0.2808	-0.004	0.4416	0.096	0.3378	0.000
		75	0.2505	-0.010	0.2845	0.001	0.3461	0.005	0.3377	0.007
		50	0.2608	-0.004	0.2831	-0.002	0.3407	-0.001	0.3309	0.013
		0	0.2652		0.2854		0.3422		0.3181	
100	H	100	0.3267	-0.005	0.3714	-0.015	0.7675	-0.106	0.3913	0.024
		75	0.3314	-0.011	0.3861	-0.041	0.8732	-0.042	0.3674	-0.019
		50	0.3425	-0.009	0.4275	-0.080	0.9148	0.078	0.3861	0.008
		0	0.3511		0.5074		0.8367		0.3786	
	A	100	0.3314	0.021	0.3648	0.007	0.5810	0.135	0.4306	-0.006
		75	0.3101	-0.010	0.3573	0.004	0.4462	-0.011	0.4369	0.004
		50	0.3206	-0.012	0.3535	-0.005	0.4567	-0.014	0.4332	-0.003
		0	0.3321		0.3589		0.4709		0.4357	

En la Figura 4.23 se muestra el resumen de las diferencias en la aceleración lateral, para cada convertidor, debido al aumento en el nivel de carga, las gráficas de la izquierda corresponden al convertidor H, mientras que las de la derecha al convertidor A. se aprecia mayor uniformidad en las gráficas de la derecha.

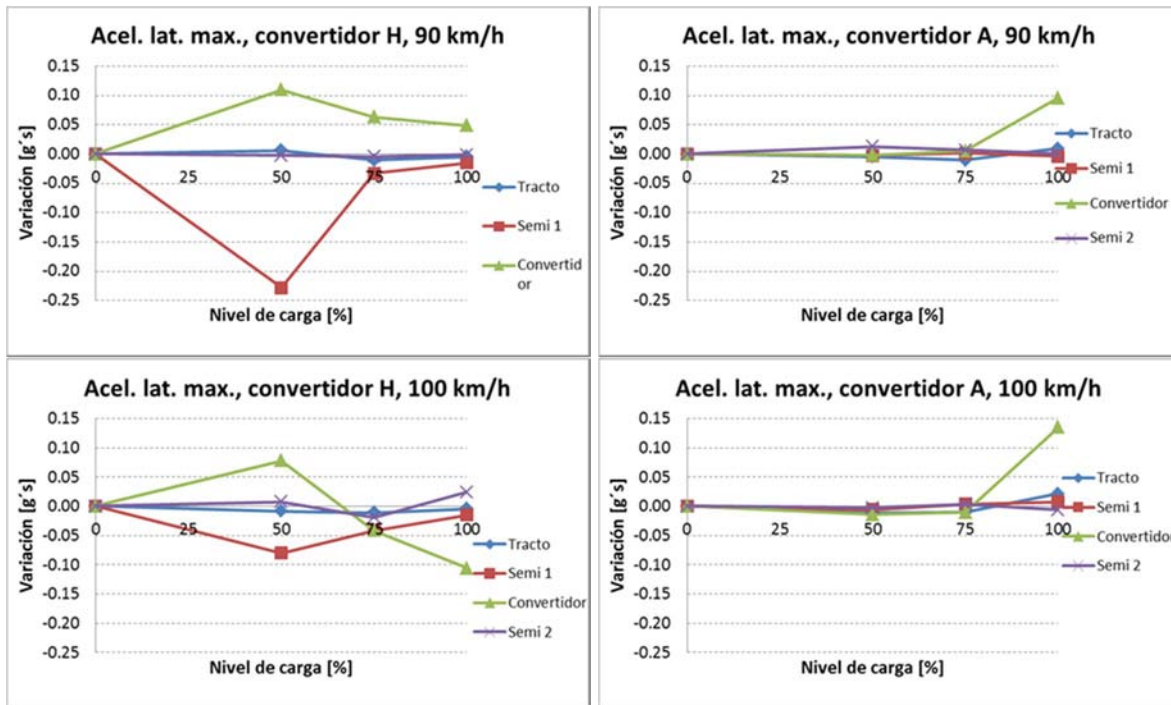


Figura 4.23 Cambios en la aceleración lateral, convertidor A (der.) y convertidor H (izq.)

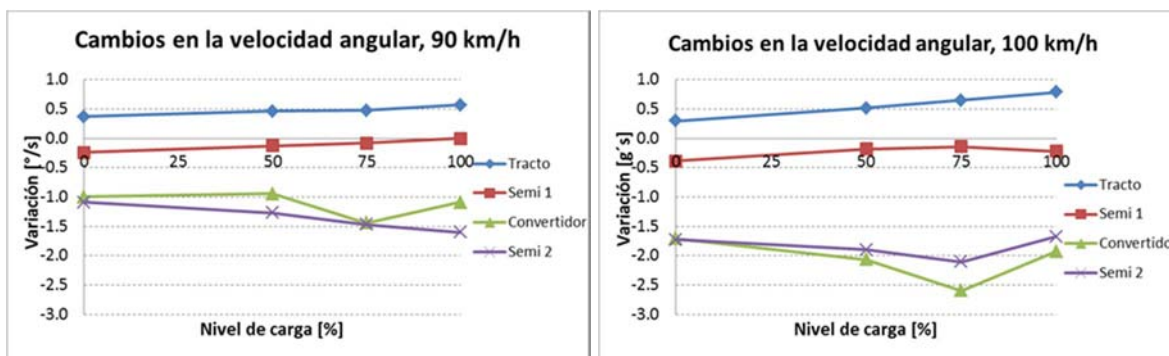
4.4.2 Velocidad angular máxima

En la Tabla 4.17 se muestra la comparativa para la velocidad angular máxima que experimentó cada unidad de la configuración durante la maniobra circular, se observa que, en general, la configuración con el convertidor H presentó valores de velocidad angular mayores para el tractocamión, mientras que para las demás unidades los valores son menores en comparación con su contraparte que emplea convertidor A.

Tabla 4.17 Comparación de la velocidad angular máxima entre convertidores

Velocidad [km/h]	% carga	Tipo de convertidor	Velocidad angular [°/s]							
			Tracto	Dif	Semi 1	Dif	Convertidor	Dif	Semi 2	Dif
90	100	H	6.708	0.57	6.401	0.00	6.999	-1.09	6.470	-1.60
		A	6.134		6.402		8.085		8.067	
	75	H	6.751	0.48	6.440	-0.08	7.034	-1.44	6.523	-1.47
		A	6.276		6.517		8.470		7.990	
	50	H	6.865	0.46	6.544	-0.13	7.175	-0.94	6.677	-1.27
		A	6.402		6.671		8.118		7.942	
	0	H	6.752	0.37	6.552	-0.24	7.294	-0.99	6.817	-1.09
		A	6.381		6.791		8.286		7.904	
100	100	H	7.870	0.79	7.718	-0.22	8.300	-1.93	8.337	-1.67
		A	7.080		7.936		10.226		10.008	
	75	H	7.955	0.65	7.747	-0.14	8.270	-2.59	8.171	-2.10
		A	7.306		7.884		10.863		10.275	
	50	H	7.991	0.52	7.872	-0.18	8.488	-2.06	8.332	-1.90
		A	7.473		8.054		10.552		10.228	
	0	H	7.925	0.30	7.944	-0.39	8.701	-1.70	8.556	-1.73
		A	7.629		8.331		10.405		10.281	
117	100	H	9.891		10.316		10.533		11.768	
105	100	A	7.525		8.628		11.571		11.307	

Las diferencias mostradas en la Tabla 4.17, se muestran de forma resumida en las gráficas de la Figura 4.24, solo para las velocidades de 90 y 100 km/h. Se observa que las diferencias más significativas se presentan para la aceleración que soporta el convertidor y el semirremolque 2 a la velocidad de 100 km/h.

**Figura 4.24 Diferencias en la velocidad angular máxima**

De la comparación por separado para cada tipo de convertidor, se obtuvieron los datos mostrados en la Tabla 4.18, en los cuales se aprecian las diferencias en la velocidad angular máxima conforme se eleva la carga y la velocidad de avance, no se aprecian diferencias significativas.

Tabla 4.18 Comparación de la velocidad angular máxima para mismo tipo de convertidor por niveles de carga

Velocidad [km/h]	Tipo de dolly	Nivel de carga [%]	Velocidad angular [°/s]							
			Tracto	Dif	Semi 1	Dif	Convertidor	Dif	Semi 2	Dif
90	H	100	6.708	-0.043	6.401	-0.038	6.999	-0.035	6.470	-0.053
		75	6.751	-0.114	6.440	-0.105	7.034	-0.142	6.523	-0.154
		50	6.865	0.113	6.544	-0.008	7.175	-0.119	6.677	-0.140
		0	6.752		6.552		7.294		6.817	
	A	100	6.134	-0.143	6.402	-0.115	8.085	-0.385	8.067	0.078
		75	6.276	-0.125	6.517	-0.154	8.470	0.352	7.990	0.047
		50	6.402	0.020	6.671	-0.120	8.118	-0.168	7.942	0.038
		0	6.381		6.791		8.286		7.904	
100	H	100	7.870	-0.084	7.718	-0.029	8.300	0.030	8.337	0.166
		75	7.955	-0.036	7.747	-0.126	8.270	-0.217	8.171	-0.161
		50	7.991	0.065	7.872	-0.072	8.488	-0.213	8.332	-0.224
		0	7.925		7.944		8.701		8.556	
	A	100	7.080	-0.225	7.936	0.052	10.226	-0.637	10.008	-0.267
		75	7.306	-0.167	7.884	-0.170	10.863	0.310	10.275	0.047
		50	7.473	-0.156	8.054	-0.277	10.552	0.147	10.228	-0.053
		0	7.629		8.331		10.405		10.281	

El resumen de las diferencias en la velocidad angular, para cada convertidor, debido al aumento en el nivel de carga se muestra en la Figura 4.25, las gráficas de la izquierda corresponden al convertidor H, mientras que las de la derecha al convertidor A. Se aprecia mayor uniformidad en las gráficas de la izquierda.

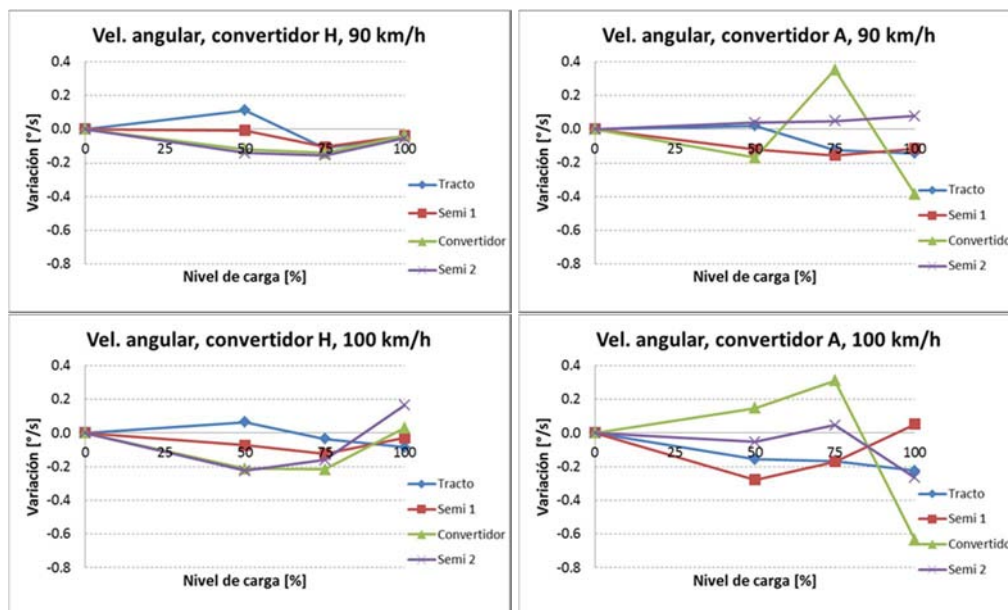


Figura 4.25 Cambios en la velocidad angular, convertidor A (der.) y convertidor H (izq.)

4.4.3 Despiste lateral

La comparación del despiste lateral máximo presentado por la configuración con los dos tipos de convertidores se observa en la Tabla 4.19. Los resultados muestran que, al utilizar el convertidor H, la configuración presenta niveles menores en el despiste lateral máximo, aunque estas diferencias no son muy significativas, solo unos cuantos centímetros, siendo la máxima diferencia de 13 cm, que se presentó para el nivel de carga al 100% y 90 km/h de velocidad. También, resulta notorio el incremento del despiste conforme se incrementa la velocidad, ya que cuando la configuración circuló a 117 km/h casi se triplicó el despiste presentado.

El resumen de las diferencias en el despiste lateral presentadas en la tabla, se muestran en la Figura 4.26. Se aprecia que la diferencia mayor se encuentra para el caso de 100% de carga y velocidad de avance durante la maniobra de 90 km/h.

Tabla 4.19 Comparación de la velocidad angular máxima para mismo tipo de convertidor por niveles de carga

Velocidad [km/h]	% carga	Tipo de convertidor	Despiste lateral [m]	Dif	[%]
90	100	H	0.28	-0.13	-31.71
		A	0.41		
	75	H	0.28	-0.08	-22.22
		A	0.36		
	50	H	0.28	0.01	3.70
		A	0.27		
0	H	0.15	-0.02	-11.76	
	A	0.17			
100	100	H	0.31	-0.05	-13.89
		A	0.36		
	75	H	0.31	-0.05	-13.89
		A	0.36		
	50	H	0.32	-0.01	-3.03
		A	0.33		
0	H	0.33	0.00	0.00	
	A	0.33			
117	100	H	0.97		
105	100	A	0.52		

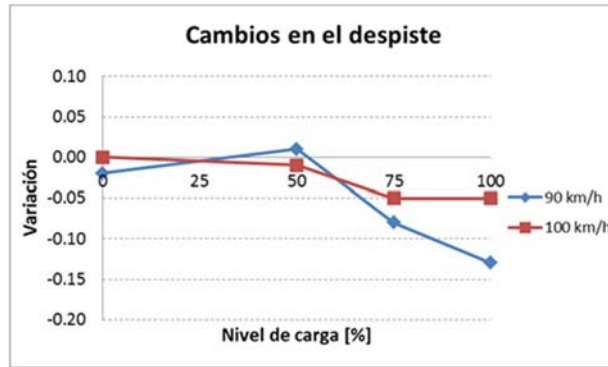


Figura 4.26 Diferencias en el despiste lateral máximo

Al realizar la evaluación del despiste lateral máximo, para cada tipo de convertidor por separado, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.20. En general, no se presentan grandes cambios conforme se incrementa el nivel de carga, salvo en el cambio de vehículo vacío al nivel de 50% carga para la velocidad de 90 km/h donde para ambos convertidores se tiene un incremento cercano al 100% en el despiste, aunque cabe mencionar que aún con este incremento los niveles de despiste son relativamente bajos.

Tabla 4.20 Comparación del despiste lateral máximo para mismo tipo de convertidor por niveles de carga

Velocidad [km/h]	Tipo de convertidor	Nivel de carga [%]	Despiste lateral [m]	Dif
90	H	100	0.28	0.000
		75	0.28	0.000
		50	0.28	0.130
		0	0.15	
	A	100	0.41	0.050
		75	0.36	0.090
		50	0.27	0.100
		0	0.17	
100	H	100	0.31	0.000
		75	0.31	-0.010
		50	0.32	-0.010
		0	0.33	
	A	100	0.36	0.000
		75	0.36	0.030
		50	0.33	0.000
		0	0.33	

La Figura 4.27 muestra las diferencias presentadas en la tabla anterior, la gráfica de la izquierda corresponde al convertidor H, mientras que la de la derecha al convertidor A. Como se menciona anteriormente no se presentaron grandes cambios en el despiste lateral máximo.

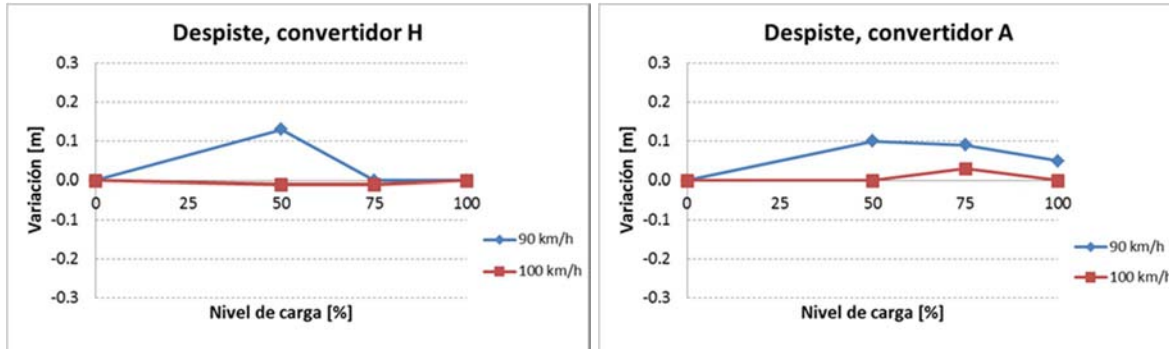


Figura 4.27 Cambios en el despiste lateral máximo, convertidor A (der.) y convertidor H (izq.)

4.5 Maniobra de frenado de pánico

Es importante evaluar la capacidad de los vehículos para detener su avance, ya que esto tiene grandes repercusiones en la seguridad vial. Para llevar a cabo la evaluación del desempeño de frenado con uno y otro tipo de convertidor y determinar así el efecto que representan los convertidores, se desarrolló la prueba de frenado de pánico en condiciones de piso seco, para velocidades de avance de 90 y 100 km/h, para las cuatro condiciones de carga. Los parámetros a evaluar fueron la distancia de frenado, la aceleración longitudinal, la velocidad angular de cada unidad y el desplazamiento lateral.

4.5.1 Distancia de frenado

La distancia de frenado es el principal indicador de la capacidad de un vehículo para detener su marcha, éste corresponde a la distancia recorrida desde el momento en que se aplican los frenos hasta que el vehículo queda completamente detenido. La comparación de los resultados obtenidos con ambos convertidores se puede observar en la Tabla 4.21, prácticamente las distancias obtenidas con uno y otro convertidor son iguales, con diferencias de pocos centímetros, con excepción del caso de 50% de nivel de carga a 90 km/h, donde la distancia es de 15 cm mayor para el convertidor H.

Tabla 4.21 Comparación de la distancia de frenado entre convertidores

Velocidad [km/h]	% carga	Tipo de convertidor	Distancia de frenado [m]	Diferencia [m]	Diferencia [%]
90	100	H	72.07	-0.01	-0.01
		A	72.08		
	75	H	67.94	-0.01	-0.02
		A	67.95		
	50	H	63.48	0.15	0.23
		A	63.33		
0	H	57.79	0.02	0.04	
	A	57.77			
100	100	H	87.51	-0.01	-0.01
		A	87.52		
	75	H	82.66	0.00	0.00
		A	82.66		
	50	H	77.92	-0.03	-0.03
		A	77.95		
	0	H	70.52	0.05	0.07
		A	70.47		

En la Figura 4.28 se observa el resumen de las diferencias en la distancia de frenado de la comparativa entre convertidores.

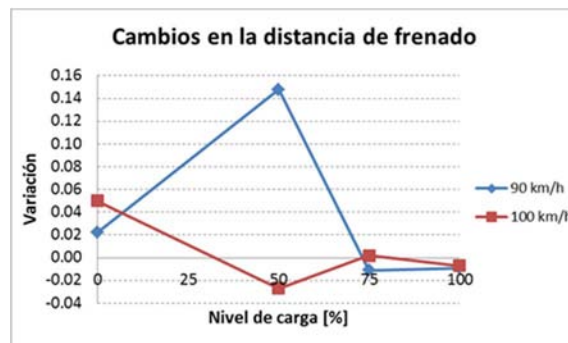


Figura 4.28 Diferencias en la distancia de frenado, convertidor A vs convertidor H

De la comparación por separado para cada tipo de convertidor, se obtienen los datos mostrados en la Tabla 4.22, en los cuales se aprecian las diferencias en la distancia de frenado conforme se eleva la carga y la velocidad de avance, se aprecian diferencias de alrededor del 5% de incremento en la distancia de frenado para cada 25% de incremento en el nivel de la carga para ambos convertidores.

Tabla 4.22 Comparación de la distancia de frenado para mismo tipo de convertidor por niveles de carga

Velocidad [km/h]	Tipo de convertidor	Nivel de carga [%]	Distancia de frenado [m]	Diferencia [m]	Diferencia [%]
90	H	100	72.071	4.13	6.09
		75	67.937	4.46	7.02
		50	63.481	5.69	9.85
		0	57.789		
	A	100	72.080	4.13	6.08
		75	67.948	4.62	7.29
		50	63.333	5.57	9.64
		0	57.767		
100	H	100	87.511	4.85	5.87
		75	82.660	4.74	6.08
		50	77.921	7.40	10.49
		0	70.522		
	A	100	87.518	4.86	5.88
		75	82.658	4.71	6.04
		50	77.948	7.48	10.61
		0	70.472		

En la Figura 4.29 se observan los incrementos en la distancia de frenado conforme se aumenta el nivel de carga, existe un incremento máximo, cercano al 8%, al pasar de vehículo vacío al nivel de 50%, posteriormente los incrementos son uniformes.

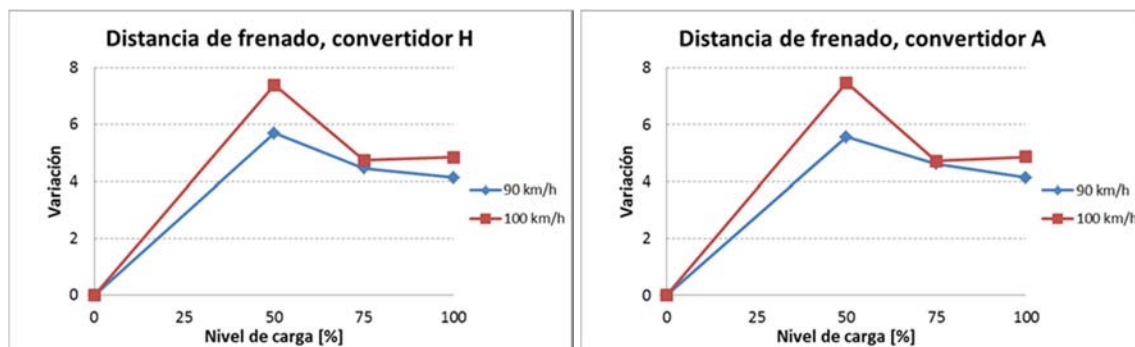


Figura 4.29 Cambios en la distancia de frenado, convertidor A (der.) y convertidor H (izq.)

4.5.2 Aceleración longitudinal

Cuando se aplican los frenos, se genera una aceleración en sentido contrario a la dirección de desplazamiento del vehículo, esta aceleración negativa o

desaceleración permite disminuir la velocidad de avance y, por ende, la detención del vehículo; por tanto, está ligada con la distancia de frenado, ya que a mayor desaceleración, menor será esta distancia. En la Figura 4.30 se presentan los historiales de la aceleración lateral, generada durante la prueba de frenado, para ambos convertidores para el nivel de carga de 100% y las dos velocidades de prueba, los historiales para las pruebas restantes se muestran en el Anexo 1. Como es de esperarse de las similitudes encontradas para la distancia de frenado, la aceleración longitudinal registrada es muy similar para todos los casos, con desaceleraciones máximas cercanas a 0.8 g's.

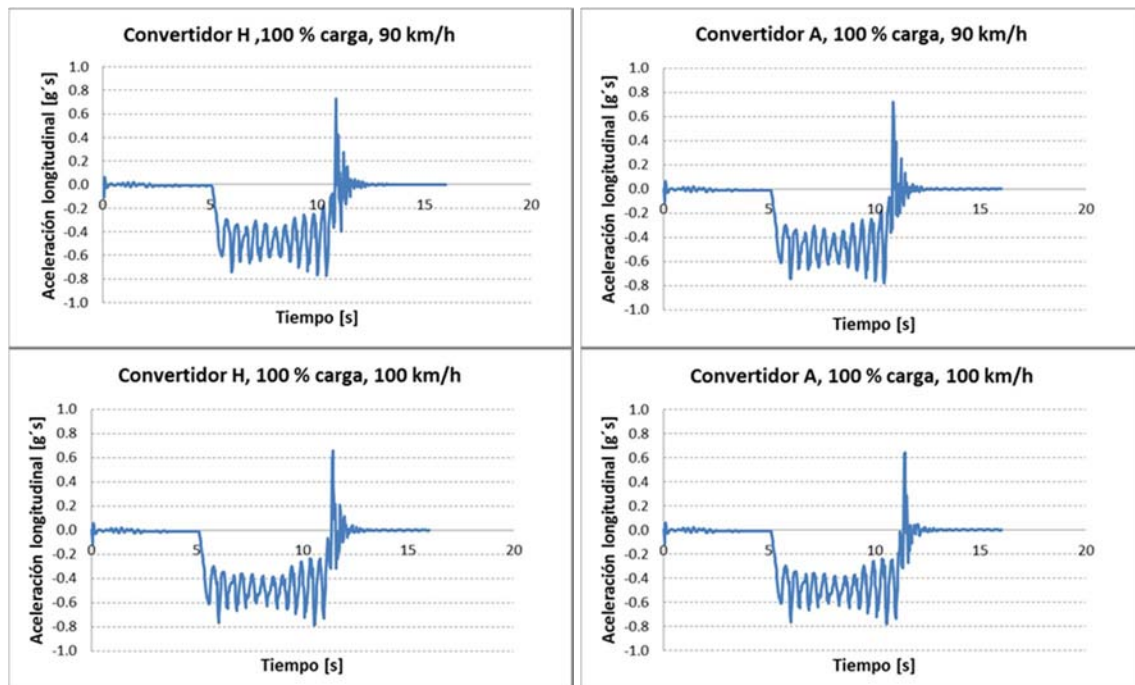


Figura 4.30 Aceleración longitudinal durante prueba de frenado, convertidor H (izq.), convertidor A (der.)

4.5.3 Velocidad angular

Otro aspecto importante a evaluar para el desempeño de frenado, es la trayectoria que el vehículo siga durante éste, para el tipo de prueba ejecutada en este estudio la trayectoria a esperar es en línea recta, desviaciones de esta trayectoria pueden representar riesgos de ocurrencia de accidentes, más aun, para unidades articuladas puede generar la pérdida de control en las unidades posteriores.

La velocidad angular que experimentan los vehículos durante la prueba de frenado puede ser un indicador de la propensión de estos para desviarse de la trayectoria recta. En la Figura 4.31 se observan los historiales de la velocidad angular durante la prueba para cada una de las unidades, en la izquierda se encuentran los casos para nivel de carga máximo y ambas velocidades de prueba para el convertidor H, mientras que en la derecha se encuentran los mismos casos para el convertidor A. Los niveles presentados de velocidad angular en todos los casos son muy

pequeños, solo al final de la prueba se aprecian ligeros incrementos en el tractocamión con niveles que no sobrepasan 0.15 °/s, señal de que la configuración no tiene tendencia a desviar la trayectoria. Las gráficas para los casos restantes se muestran en el Anexo 2.

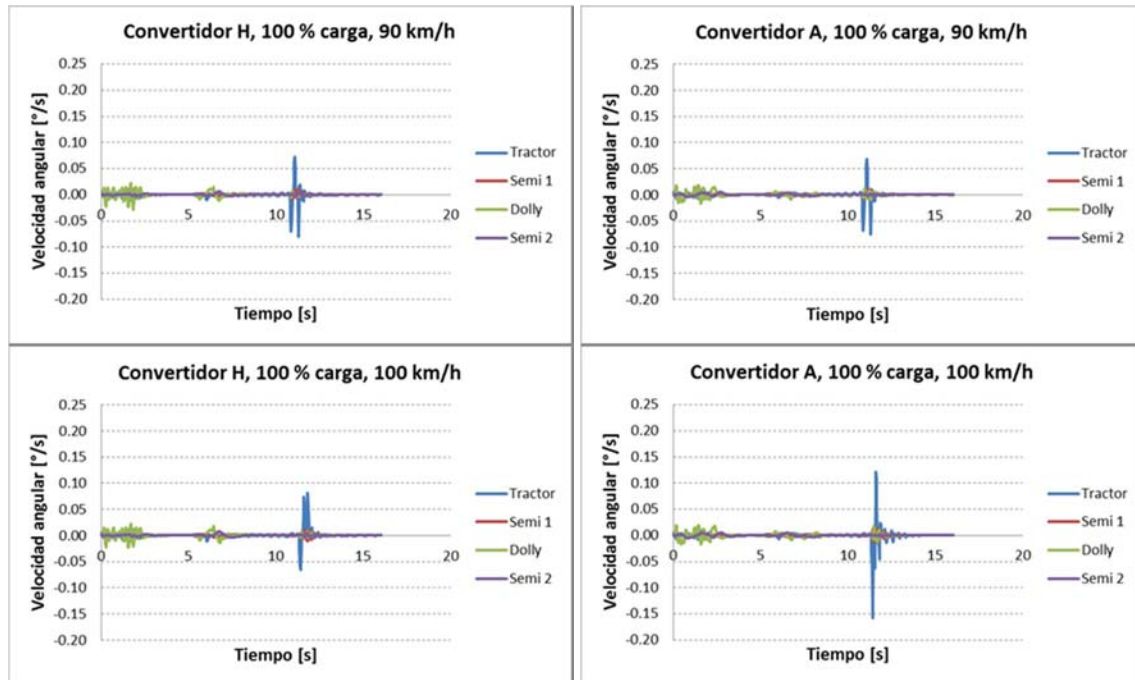


Figura 4.31 Velocidad angular durante prueba de frenado, convertidor H (izq.), convertidor A (der.)

4.5.4 Desplazamiento lateral

Como parte de la evaluación de la trayectoria seguida durante la prueba de frenado, se evaluó el desplazamiento lateral del vehículo conforme a una referencia que fue la línea central del camino. Los resultados se muestran en la Figura 4.32, en la izquierda para los casos con nivel de carga máximo y ambas velocidades de prueba para el convertidor H, mientras que en la derecha se encuentran los mismos casos para el convertidor A, se analizan el primero y el último eje de la configuración. Las desviaciones presentadas en todos los casos son menores a 1mm, por lo que se considera que la configuración vehicular no sufre desviación de la trayectoria recta. El resto de los casos se presenta en el Anexo 3.

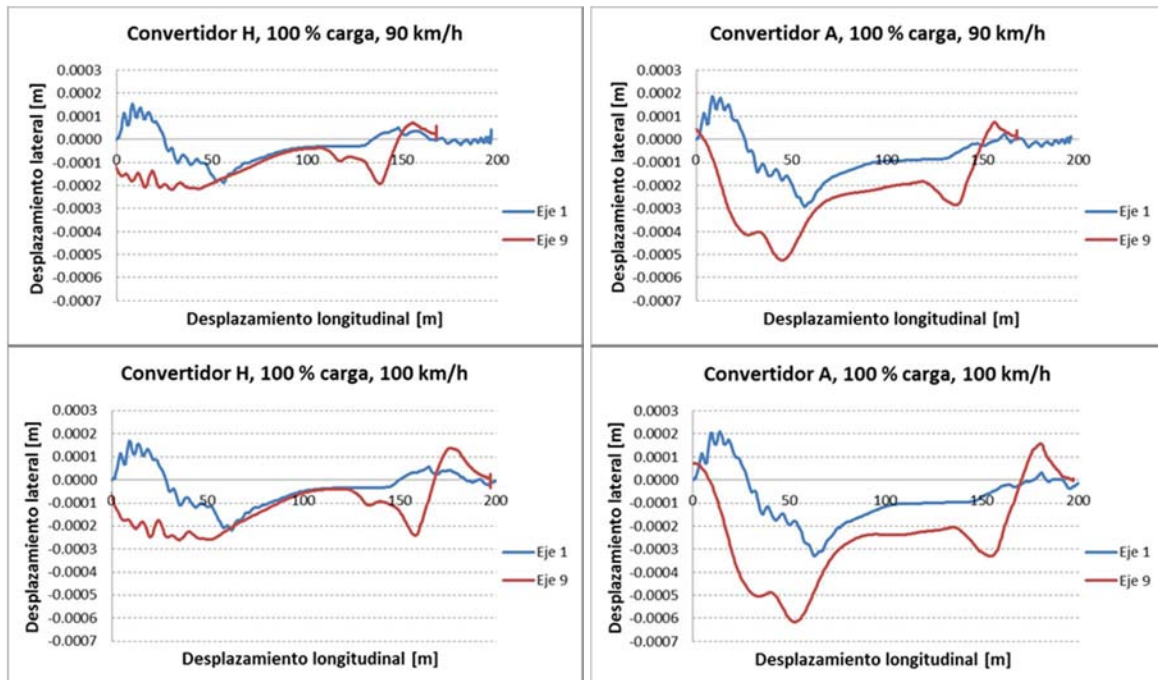


Figura 4.32 Desviación de la trayectoria durante prueba de frenado, convertidor H (izq.), convertidor A (der.)

5 Conclusiones

Del análisis de los resultados obtenidos se pueden mencionar las siguientes conclusiones:

Durante las maniobras de cambio simple y doble de carril, se presentaron disminuciones, al comparar el comportamiento de la configuración con convertidor H con respecto al convertidor A, para todas las medidas analizadas; para la transferencia lateral de carga las disminuciones van del 2 al 9% en la prueba de cambio simple y del 1 al 6% para la de doble cambio. En la amplificación del coleo las disminuciones son del 8 al 22% para cambio simple y del 2 al 16% para cambio doble. Finalmente, para el despiste lateral 5 al 30% para cambio simple y del 2 al 18% para cambio doble. Como se observó para la prueba de cambio doble de carril las diferencias fueron menores.

Con respecto a la prueba tipo rampa, los resultados mostraron incrementos en los niveles de aceleración lateral que soporta la configuración vehicular justo antes de producirse el vuelco cuando se emplea el convertidor H en comparación con el convertidor A. Otro aspecto a resaltar es la forma en que se produjo el vuelco con cada tipo de convertidor, ya que con el convertidor A se aprecia cómo el segundo semirremolque es el primero en volcar, mientras que con el convertidor H el vuelco se produce en todas las unidades. Esto puede ser un indicador de mayor tendencia a producirse desprendimientos del segundo semirremolque con el uso de convertidor A. En esta prueba también se evaluó la manejabilidad del tractocamión y de los semirremolques, observándose que para la primera unidad la condición de manejabilidad es completamente de subviraje, sin cambios importantes, debido al tipo de convertidor, mientras que para los semirremolques la condición es completamente de sobreviraje, ligeramente más acentuado cuando se emplea el convertidor H. Se puede decir que el tipo de convertidor no afectó la manejabilidad de la configuración.

En el transcurso de la maniobra de prueba circular, la configuración con convertidor H presentó niveles mayores de aceleración lateral que su contraparte con convertidor A para las mismas velocidades de avance, así como menores distancias de despiste lateral. Sin embargo, la diferencia más notoria se evidenció en la velocidad máxima a la que pudo ejecutar la maniobra la configuración con uno y otro tipo de convertidor, ya que, mientras con el convertidor A la velocidad máxima sin producir el vuelco fue de 105 km/h, para la configuración con convertidor H esta velocidad se elevó a 117 km/h, es decir, 15 km/h más con el convertidor H, es aquí donde se reflejó el mayor umbral de vuelco que proporciona el convertidor H.

En lo referente al desempeño de frenado, se observó que el tipo de convertidor no tiene efectos significativos en éste, ya que se obtuvieron diferencias despreciables para las distancias de frenado, aceleraciones longitudinales, velocidades angulares de las distintas unidades y en los desplazamientos laterales de la unidad.

Finalmente, se puede establecer que el uso del convertidor H mejoró la estabilidad de la configuración vehicular ante circunstancias de cambio de dirección, reflejado por las disminuciones en la transferencia lateral de carga, amplificación del coleo y despiste lateral y por el incremento en el umbral de vuelco. Sin embargo, para poder tener mayor certeza en los resultados de este estudio será importante poder realizar pruebas experimentales con el fin de validar o rectificar los resultados aquí presentados, esto debido principalmente a las adecuaciones que fueron necesarias realizar en el modelo del convertidor A, que está disponible en el programa de simulación, para poder representar al convertidor H.

Bibliografía

1. Martínez Antonio, J. J., et. al. *Manual Estadístico del Sector Transporte 2012*, Instituto Mexicano del Transporte, Qro, México, 2013.
2. Backman H., Nordström R., *Improved Performance of European Long Haulage Transport*, TFK Transport Research Institute, Sweden, (2004).
3. Ehrning U., *Transport in Change*, A sustainable transport vision for an enlarged Europe, A seminar jointly organized by the Volvo Group and the Polish Representation to the European Union, Brussels, (2004).
4. Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2008, 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.
5. Woodrooffe, J.H.F.; Billing, J.R. "Characteristics of truckcombinations with the double drawbar dolly", Roads and Transportation of Canada Research Series, 1983.
6. Ervin, R. D.; Guy Yoram. "The influence of weights and dimensions on the stability and control of heavy trucks in Canada - Part I", Vehicle Weights and Dimensions Study (RTAC), Report Volume 1; ISBN: 0-919098-79-7, 1986.
7. Billing, J .R. "Hitch slack and drawbar length effects on C-train stability and handling", Vehicle Weights and Dimensions Study (RTAC), Report Volume 6; ISBN: 0-919098-83-S, 1986.
8. Winkler, C.B., et al. *multitrai1er vehicles: UMTRI-86-26/l*, July 1986. "Improving the dynamic performance A study of innovative dollies", Volume S. KEE, D., Personal Communication. Of 1 UMTRI-86-26/l, July 1986.
9. Woodrooffe J., LeBlanc P., El-Gindy M., *Develofment of Design and Operational Guidelines for the C-Converter Dolly*, National Research Council of Canada.
10. Gutiérrez Hernández, J.L., Soria Anguiano, V.J. *Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional (2012)*, Instituto Mexicano del Transporte, Documento Técnico No 54, Sanfandila, Qro., 2013.
11. Nación Transporte, *¿Derrumba ANTP mitos sobre el uso de los bulles?*, 5 de septiembre de 2005.

12. 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.

13. TruckSim. User Manual Update. Version 8.1. Mechanical Simulation Corporation.

14. Fabela Gallegos, Manuel de Jesús; Vázquez Vega, David; Hernández Jiménez, José Ricardo; Flores Centeno, Oscar; Blake Cervantes Carlos. Informe Final de Investigación EE 10/11. %Evaluación del uso de llantas supersencillas XOne en configuraciones vehiculares tipo autotanque+ 25 de octubre de 2012. Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural, Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Qro.

Anexo 1.

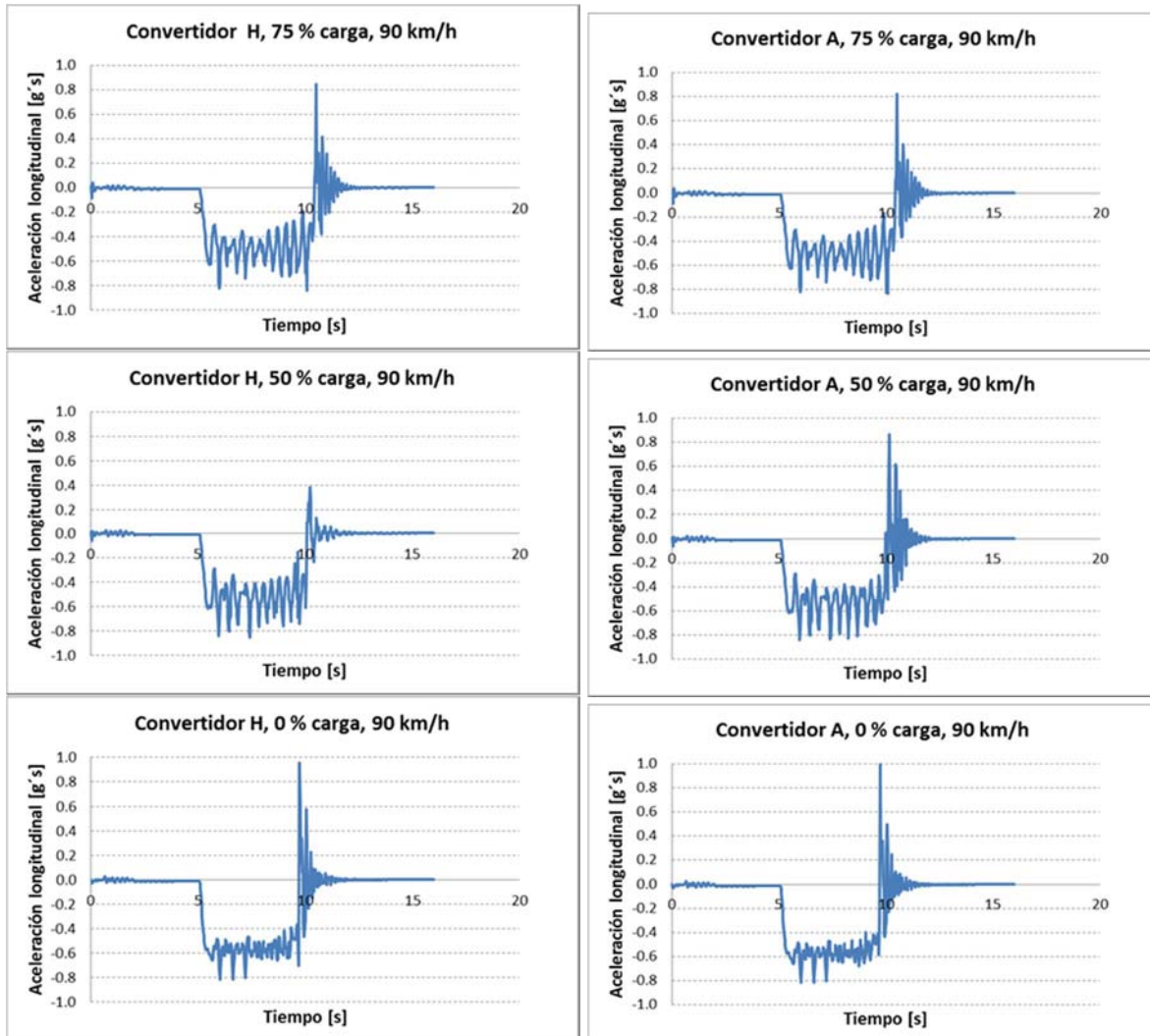


Figura A1.1 Aceleración longitudinal durante prueba de frenado a 90 km/h, convertidor H (izq.), convertidor A (der.)

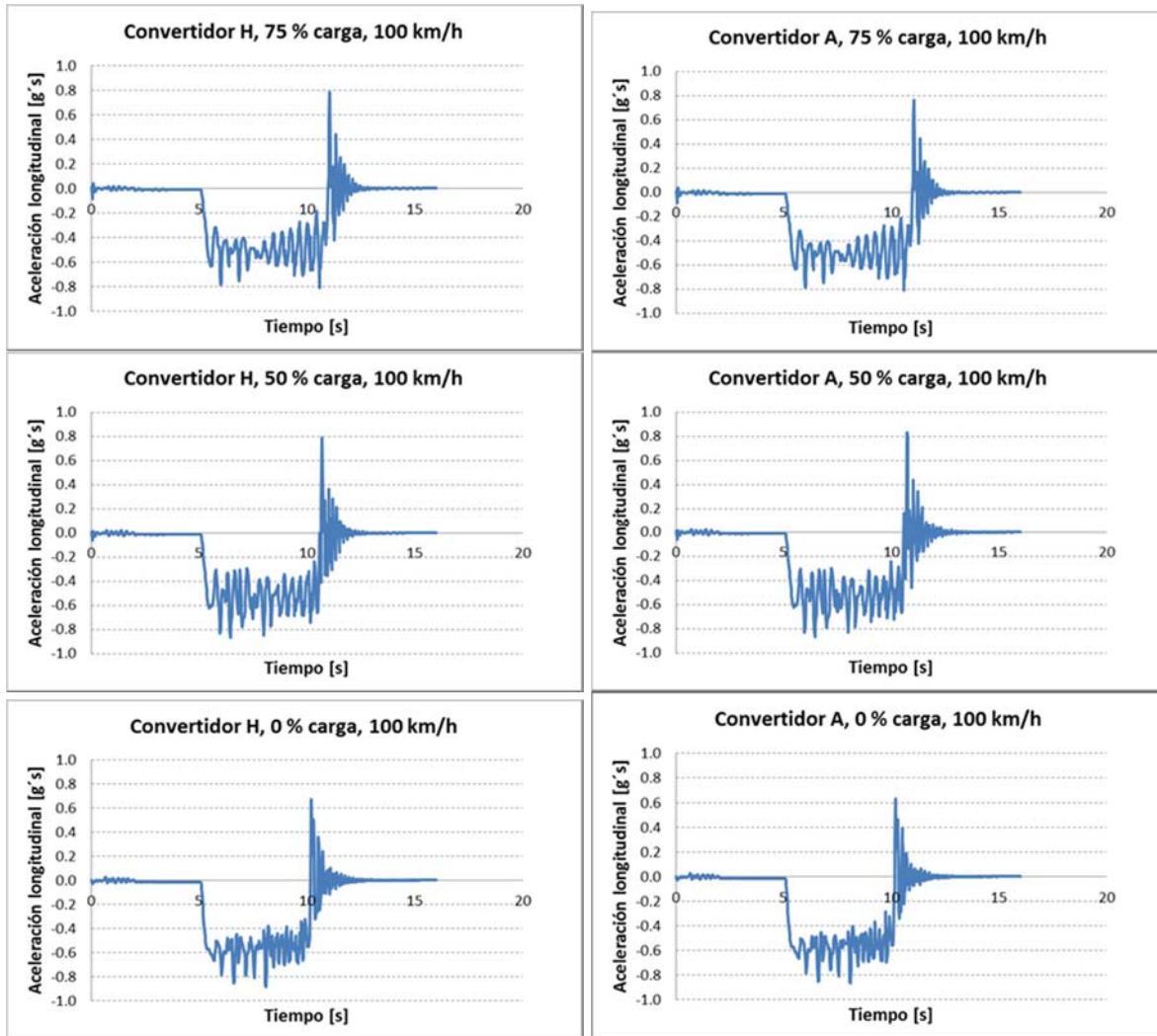


Figura A1.2 Aceleración longitudinal durante prueba de frenado a 100 km/h, convertidor H (izq.), convertidor A (der.)

Anexo 2.

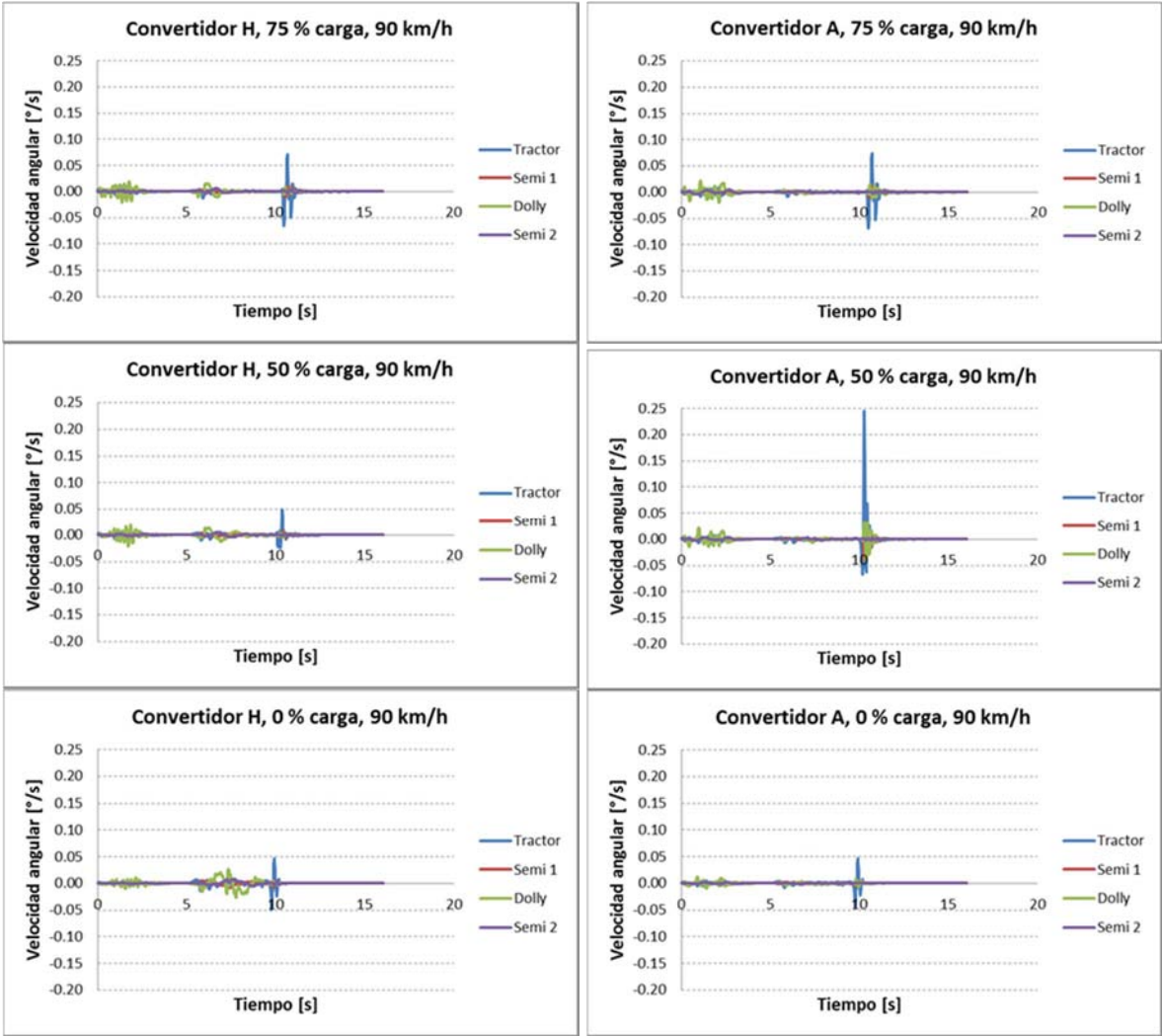


Figura A2.1 Velocidad angular durante prueba de frenado a 90 km/h, convertidor H (izq.), convertidor A (der.)

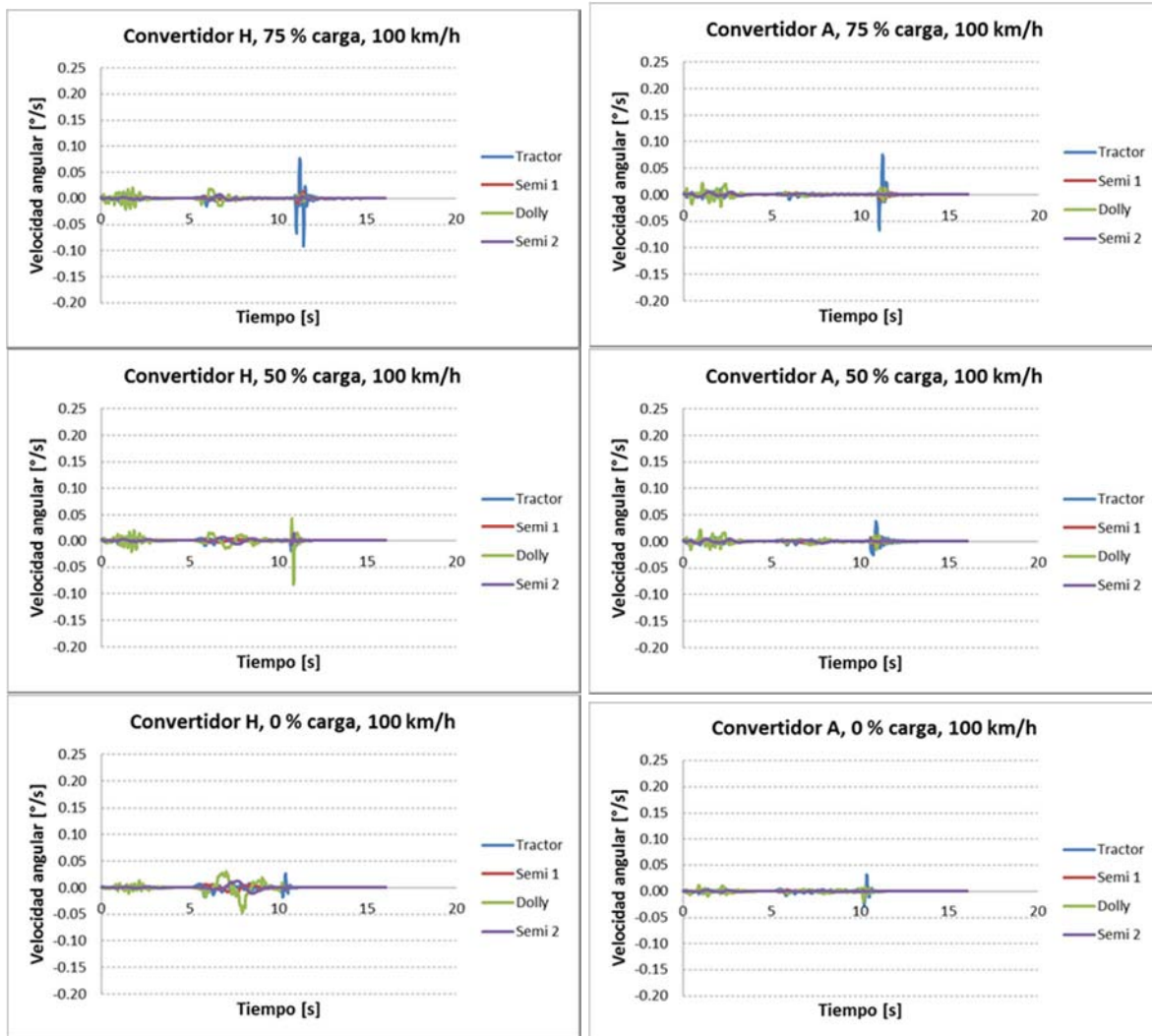


Figura A2.2 Velocidad angular durante prueba de frenado a 100 km/h, convertidor H (izq.), convertidor A (der.)

Anexo 3.

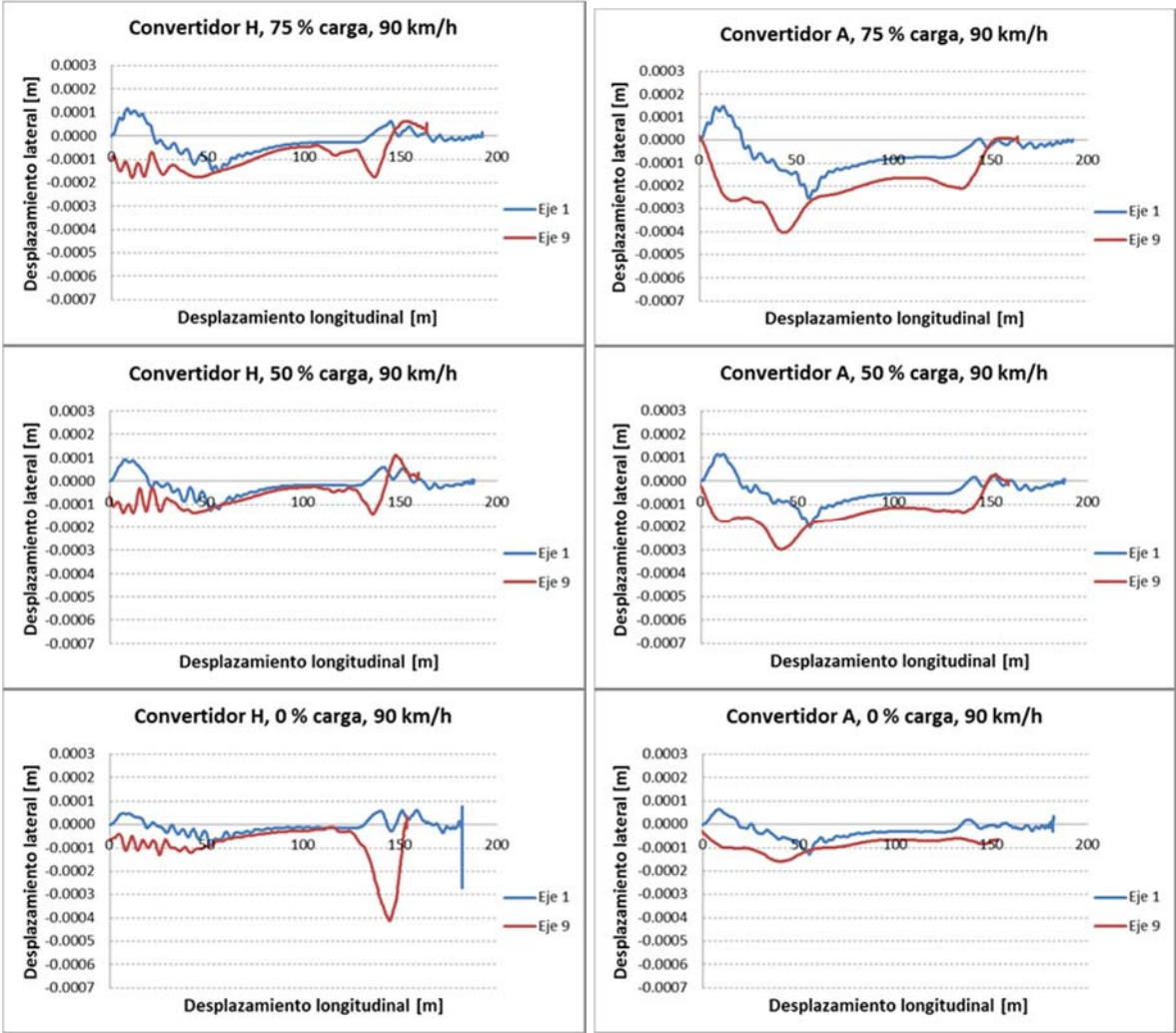


Figura A3.1 Desviación lateral durante prueba de frenado 90 km/h, convertidor H (izq.), convertidor A (der.)

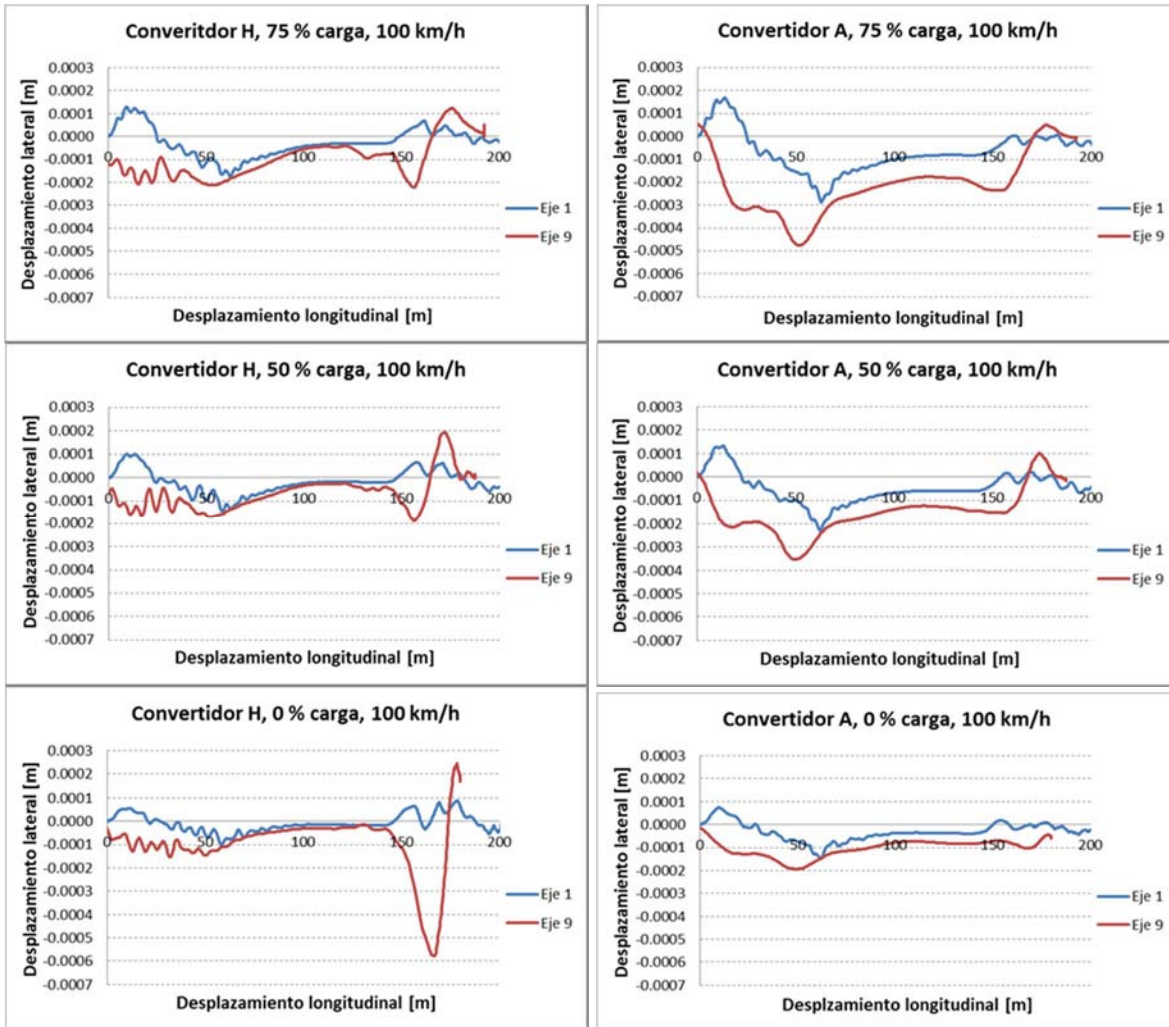


Figura A3.2 Desviación lateral durante prueba de frenado 100 km/h, convertidor H (izq.), convertidor A (der.)



Km 12+000 Carretera Estatal 431 %El colorado-Galindo+
Parque Tecnológico San Fandila
Mpio. Pedro Escobedo, Querétaro, México
CP 76703
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610
Fax +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

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