

ISSN: 1690-8627

Editor en Jefe
Nagib C. Callaos

Presidente del Consejo Editorial
Jorge Baralt

Patrocinado por:
International Institute of Informatics and
Systemics
Publicado por:
International Institute of Informatics and
Cybernetics

Consejo Editorial

Revisores de la Revista

Acceso para Revisores

Descripción y Objetivos

Áreas y Subáreas

Información para Contribuidores

Guía para Autores

Ejemplar Actual:

[Alfabetización en Informática para
Docentes de Educación de Postgrado.
Un Estudio de Caso Venezolano](#)
Evelyn C. Arreaza, Haydée G. Páez, Willdeia del M.
Vizcaya

[Alfabetización Tecnológica en el
Portal para Migrantes: Colimenses sin
Fronteras](#)
Juan Contreras-Castillo, Ricardo Acosta-Díaz, Ma.
Alejandra Rocha Silva

INFORMACIÓN GENERAL

Propósito Editorial, Estrategia y Metodología

Como se enfatizó en el Editorial de esta primera edición, el propósito fundamental de esta revista es colaborar en el proceso de **sistemización** del conocimiento y la experiencia generadas en las áreas de Sistémica, Cibernética e Informática. Este proceso de sistemización implica necesariamente un incremento progresivo y una expansión del grado de **interrelación** entre áreas asociadas o conexas, así como entre las respectivas disciplinas donde tienen cabida dichas áreas. Por tanto, un mejoramiento en la **comunicación interdisciplinaria** proveería un muy buen soporte al mencionado proceso de sistemización. Este es uno de los principales objetivos de esta revista cuya publicación iniciamos con este primer número y de hecho, nuestra política editorial estará acorde y en función de dicho objetivo.

Estamos tratando de sustentar el proceso de comunicación interdisciplinaria entre las áreas relativas a la parte de Sistémica, Cibernética e Informática a través de:

1. Proveer un **forum multidisciplinario** en las áreas relacionadas,
2. Estimular la **investigación interdisciplinaria** entre ellas,
3. La publicación de artículos relativos a conceptos de transdisciplinaridad, permitiendo la generación de diferentes perspectivas sobre el mismo concepto y,
4. Incentivar la comunicación entre disciplinas a través de **tutoriales interdisciplinarios**, y entre los sectores académico, público y privado a través de la publicación de información relativa a proyectos **multi e interdisciplinarios** que incluyan al menos dos de dichas áreas

En el contexto de este propósito fundamente, un objetivo básico e inmediato de esta revista es proveer un vehículo multidisciplinario para diseminar información sobre áreas diversas pero altamente relacionadas a través de un único medio común. La revista estará cubriendo un espectro bien amplio de áreas, sub-áreas y tópicos relativos a la Ciencia de Sistemas, Comunicación y Control de Organismos y Mecanismos (Cibernética), Ciencia e Ingeniería de la Computación, junto con Tecnología de la Información (Informática).

WMSCI 2009

The 13th World Multi-
Conference on Systemics,
Cybernetics and
Informatics

IMETI 2009

The 2nd International
Multi-Conference on
Engineering and
Technological Innovation

IMSCI 2009

The 3rd International
Multi-Conference on
Society, Cybernetics and
Informatics

Análisis del comportamiento de un vehículo de tracción 4 ruedas mediante Bond Graph

Juan Carlos Parra Márquez

Departamento de Sistemas de Información, Universidad del Bio-Bio, Concepción, CP 4081112, Región del Bio-Bio, Chile, jparra@ubiobio.cl

y

Josep Tornero Monserrat

Dep. Ing. de Sistemas y Automática, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, CP 46071, España, jtornero@isa.upv.es

RESUMEN

Uno de los grandes problemas en la conducción de un vehículo de doble tracción es como la distribución de la carga puede afectar su equilibrio, principalmente en las curvas de una carretera o caminos con defectos. Esto conlleva a ciertos riesgos no siempre visualizado por el conductor. Por lo anterior, es de interés de este trabajo presentar algunos análisis de comportamiento de un vehículo según se utilice o no la tracción de las 4 ruedas; con la finalidad de generar ciertas recomendaciones de uso. Para lo anterior, aquí se presenta el trabajo investigativo en el cual se ha obtenido un modelo de automóvil mediante Bond Graph, simulado mediante el software 20-Sim, que permite el análisis de estos aspectos dinámicos de un móvil de cuatro ruedas con doble tracción.

Palabras claves: vehículo, Bond Graph, dinámica, 20-Sim, multicuerpos.

1. INTRODUCCIÓN

En el tema de la simulación computacional del comportamiento dinámico de un vehículo [12] existen diferentes métodos utilizados por los investigadores según sea el tema en particular que se esté estudiando. Generalmente, estos métodos obtienen un conjunto de ecuaciones [7] que define los grados de libertad que se analizarán en el vehículo. Este conjunto de ecuaciones constituyen el modelo del objeto en estudio. En este contexto, los nuevos avances dictan que el modelamiento de un vehículo se esté realizando mediante la teoría de los multicuerpos [6] que permite que se puedan considerar subsistemas más allá de los que permiten los métodos clásicos de la mecánica [5]. En esta teoría el aporte que actualmente permite los grafos obtenidos mediante la herramienta de diseño Bond Graph [2] es de vital importancia. Los investigadores de la dinámica de vehículos, en su análisis del comportamiento de un móvil [9], por lo general utilizan el modelo clásico de la bicicleta (figura 1), tanto para vehículos de cuatro ruedas [11] o más [13], el cual tiene la limitante de ser una aproximación muy reducida del real comportamiento de un vehículo el cual posee 4 ruedas [1] y no 2 como es el caso de dicho modelo simplificado [19]; limitando así su eficiencia de análisis.

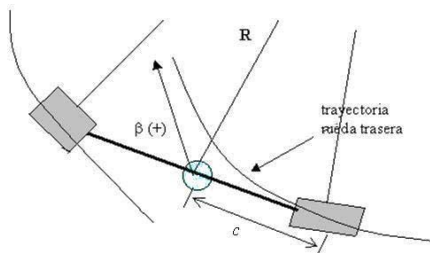


Figura 1. Modelo de bicicleta.

Por ello, en este trabajo se presenta el modelo Bond Graph de un vehículo, con algunas mejoras a los ya existentes [8, 14], que permite la simulación de aspectos tan relevantes del comportamiento de un vehículo [15] como es el caso de la simulación del comportamiento de un móvil que puede hacer uso de la tracción simple o doble tracción. Esta condición especial de este tipo de vehículos generará ciertas conductas dinámicas según esté maniobrando en línea recta o en una curva [18], lo cual es el interés de este trabajo el analizar.

Finalmente, en lo referido al computador, debemos destacar que en la última década se han estrenado una gran variedad de productos de software especialmente diseñados para el análisis de este tipo de mecanismos; entre estos, podemos destacar a *Adams*, *Simulink* o *20-Sim* [4] y que permiten trabajar con modelos que requieren las características de eficiencia mencionadas. En particular, esta investigación realiza sus simulaciones sobre el software 20-Sim el cual ha demostrado ya sus capacidades en muchos otros trabajos de investigación [11].

2. MODELO

El modelo real de un vehículo es aquel que se acerca lo más posible a la estructura de un móvil de cuatro ruedas. Este modelo debe considerar, en lo posible, todas las fuerzas (Figura 2) que se presentan en un vehículo en su comportamiento en carretera. Es así como para lograr una simulación lo más real posible se requiere que el modelo permita analizar la conducta de las cuatro ruedas al momento de realizar una maniobra como es el caso de tomar una curva [16]. En particular, la importancia de este movimiento radica en que es en éste en donde todas las propiedades dinámicas del móvil están en su etapa de máxima prueba de rendimiento; sin descartar otro de los casos sensibles como lo es el frenado.

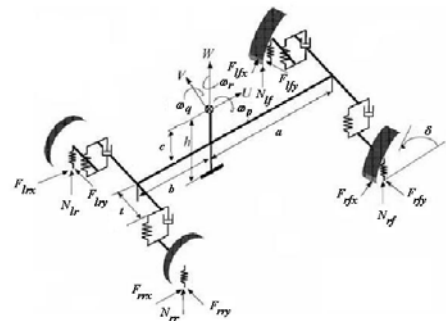


Figura 2. Modelo de vehículo de cuatro ruedas.

Para lograr el modelo se ha utilizado la herramienta Bond Graph [3] la cual se basa en el concepto de la conservación de la energía donde utiliza dos tipos de variables base: esfuerzo y

flujo. Para nuestro caso, en un modelo mecánico estas variables se define según sea el tipo de movimiento:

- a) Para traslación el esfuerzo corresponde fuerzas (F) y el flujo a velocidades (V).
- b) Para el movimiento de rotación el esfuerzo está dado por los pares de torsión (τ) y los flujos por las velocidades angulares (ω).

Según las consideraciones, anteriormente mencionadas, el modelo de cuatro ruedas (Figura 3) podemos mencionar que permite manipular como variables de control, entre otras, las siguientes: las fuerzas en el punto de contacto neumático-calzada (F_{rfx} , F_{lfx} , F_{lrx} , F_{rrx} en Figura 4) y el ángulo de viraje del vehículo ($delta1$ en Figura 5). Como variables principales de salida para el chasis tenemos las velocidades U , velocidad hacia delante; V , velocidad lateral; W , velocidad vertical; wp , velocidad angular de balanceo; wq , velocidad angular de cabeceo y; wr , velocidad de alabeo, entre otras variables. Para las ruedas, consideraremos las fuerzas verticales, F_z , caso de análisis de este trabajo. No consideraremos las otras variables aunque en este modelo se presentan más grados de libertad que los expuestos.

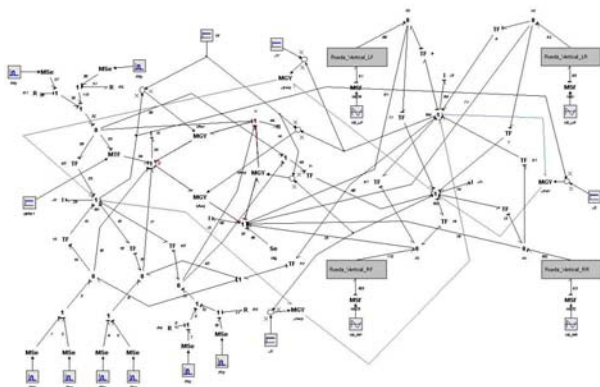


Figura 3. Modelo Bond Graph de vehículo de 4 ruedas.

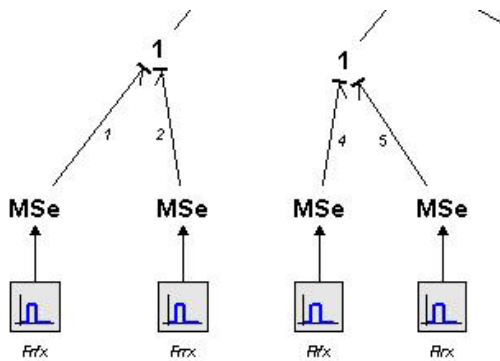


Figura 4. Fuerzas de tracción.

El modelo del vehículo consta de los siguientes parámetros:

- $K_{l,...,K}$ constante de amortiguamiento del neumático según sea la rueda.
- $R_{l,...,R_n}$ constante de resistencia al movimiento.
- M masa del chasis.
- m masa de las ruedas (neumático mas llanta).
- g aceleración de gravedad.
- CG Centro de Gravedad.
- a longitud desde el eje delantero al CG.
- b longitud desde el eje trasero al CG.

- t mitad de la longitud entre rueda izquierda y derecha en un eje (largo de medio eje).
- c altura desde el eje de ruedas al CG.
- h altura desde el suelo al CG.
- V_0 Velocidades presentes en el punto de contacto neumático-calzada producto de las imperfecciones de la calzada (carretera).

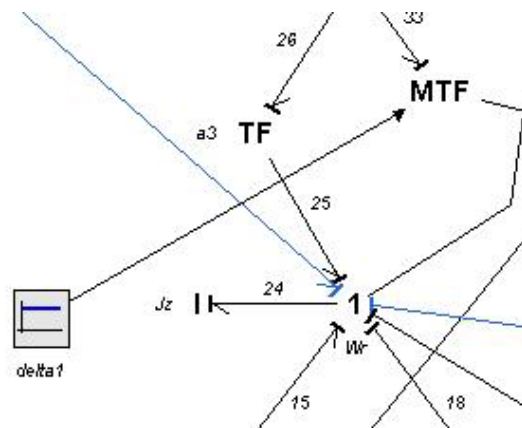


Figura 5. Ángulo de viraje, $delta1$.

Manipulando las variables de entrada mencionadas se generarán los análisis del comportamiento del vehículo bajo ciertas condiciones definidas por los parámetros.

3. RESULTADOS

Mediante el modelo descrito anteriormente se han realizado múltiples análisis siendo uno de ellos el correspondiente al comportamiento de un vehículo de 4 ruedas el tomar una curva. Para lo anterior se han utilizado los siguientes datos (sin modelo en particular):

distancia entre ejes	2.472 m
peso del vehículo, M	8100 N
peso de las ruedas, m	98 N
altura del centro de gravedad, h	1 m
coeficiente de rigidez vertical rueda, K_R	150000 N/m
inercia rueda	1.95 Kg m ²
coeficiente de amortiguación, C	475 N s/m
rigidez de la suspensión, K	14900 N/m
Inercia de la carrocería (Yaw o alabeo)	2345.53 Kg m ²
Inercia de la carrocería (Pitch o cabeceo)	2443.26 Kg m ²
Inercia de la carrocería (Roll o balanceo)	637.26 Kg m ²
Distancia entre ruedas ($2t$)	1.5 m
Distancia CG al eje delantero, a	1.3 m
Distancia CG al eje trasero, b	1.172 m

Como ya se ha mencionado anteriormente, las variables principales de control para las simulaciones son: F_{xi} , fuerzas de tracción en el punto de contacto calzada-rueda i ; con $i = LF$ (rueda delantera izquierda), RF (delantera derecha), LR (trasera izquierda), RR (trasera derecha); y $delta1$, ángulo de viraje de las ruedas delanteras.

Las variables de las ruedas sobre las cuales se centraran las simulaciones son las F_{zi} , fuerza vertical en el punto de contacto entre chasis y amortiguador de la rueda i ; con $i = LF, RF, LR, RR$.

Lo primero es verificar las curvas de las variables a simular en su estado de reposo (Figura 6 y Figura 7). Para las variables del chasis, todas ellas son cero, mientras que las velocidades y fuerzas verticales de las ruedas corresponden a los valores que se tiene en reposo pero luego de que logran su equilibrio por efecto de la amortiguación, resortes y efecto del peso del chasis sobre dichas ruedas [17]. Es fácil verificar en figura 7 que este vehículo demanda mayor esfuerzo en las ruedas traseras por estar su CG más cercano al eje trasero.

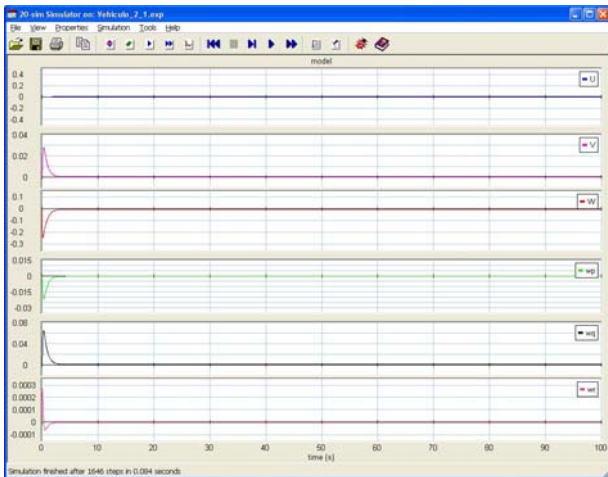


Figura 6. Variables del chasis (U , V , W , w_p , w_q , w_r) en reposo.

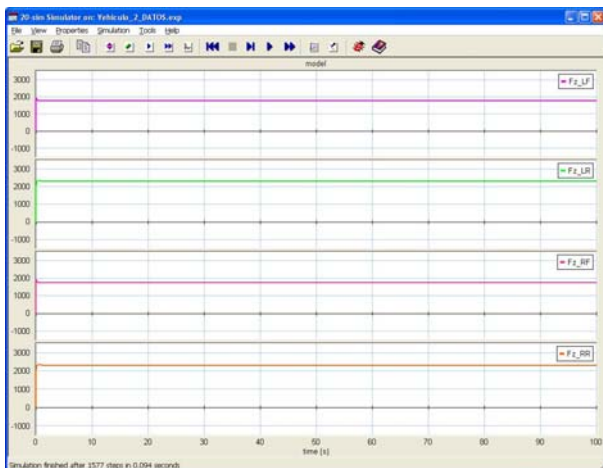


Figura 7. Fuerzas en las ruedas en reposo.

La primera prueba de simulación, propiamente tal, es un movimiento súbito a partir del reposo aplicando una fuerza de propulsión de 100 N, desde $t = 0$ a $t = 50$ s) sobre las ruedas traseras y la respuesta puede ser evaluada en términos de aceleración, o la variación de velocidades producida, del vehículo en carretera recta. En la figura 8 dicha situación.

Como se puede observar en la figura anterior, en el movimiento longitudinal se produce una transferencia de carga [10] desde las ruedas delanteras hacia las traseras durante el instante que se está acelerando; dicha transferencia es de cifras pequeñas puesto que la distancia entre ejes no es pequeña, la aceleración no es alta y el CG está ubicado casi al centro de dicha distancia. Una vez que se está a velocidad constante se vuelve al equilibrio de las fuerzas sobre las cuatro ruedas.

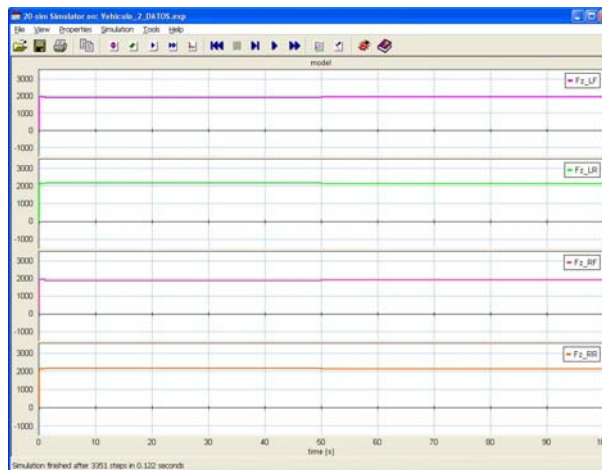


Figura 8. Aplicación de fuerza de tracción en ruedas traseras.

En la figura 9 podemos ver un pequeño aumento de la transferencia de carga al aplicar doble tracción. Este aumento no es significativo en el movimiento longitudinal. Pero la situación cambia al producirse viraje δ es de 28° hacia el lado izquierdo (figura 10), con la misma aceleración del caso anterior, donde podemos constatar que con sólo la tracción trasera se presenta un gran incremento de la transferencia.

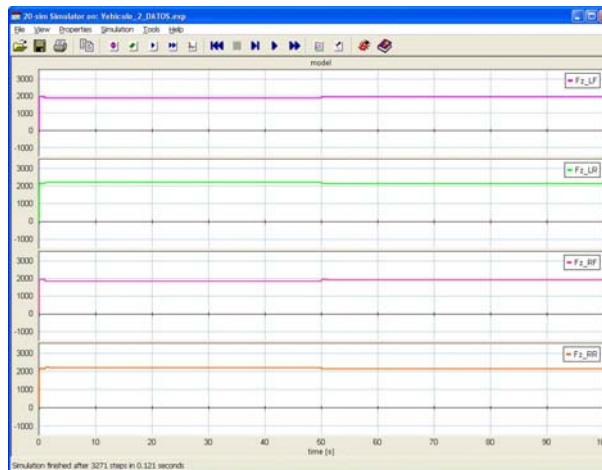


Figura 9. transferencia de carga con doble tracción.

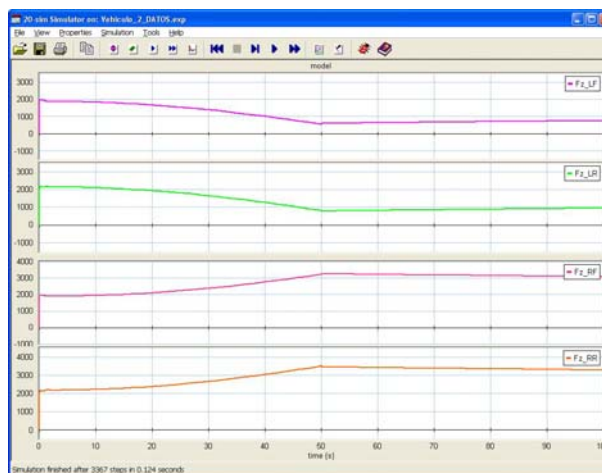


Figura 10. Tracción trasera en curva.

Ahora bien, si este viraje se realiza con las tracción en las cuatro ruedas, bajo las mismas condiciones anteriores se tiene que el vehículo levanta sus ruedas ($F_z < 0$) del lado izquierdo (figura 11).

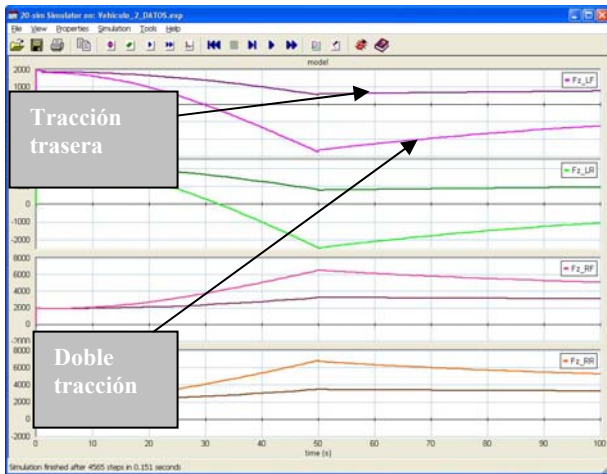


Figura 11. Comparación de las fuerzas en las ruedas con tracción trasera y doble tracción.

4. CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados se puede señalar que los vehículos de tracción en las cuatro ruedas sufren una mayor transferencia de carga; más aún cuando estos toman una curva. Ahora bien, los parámetros de la altura del CG, el peso del vehículo y la longitud de los ejes son los factores más relevantes en estos móviles y que permiten acrecentar o amortiguar esta transferencia de carga.

En particular, a mayor longitud de los ejes del vehículo menor es la transferencia pero está situación se revierte si la altura del CG aumenta. Por ello, los vehículos todo terreno demasiado altos tienen tendencia a mayor transferencia de carga por lo que obliga a menores aceleraciones, principalmente en curva.

Como ejemplo de aplicación en un proceso de conducción podemos señalar: Si se desea que un vehículo de doble tracción, en una situación en que éste se encuentra atrapado en lodo, lo recomendable es un movimiento zigzagueante donde transfiramos por momentos cortos la carga a las ruedas que estén más en superficie; es decir, las ruedas que están más al interior de la curva. Lo anterior se logra mediante el juego aumento de aceleración y el cambios de ángulo de viraje. Ello permite que el vehículo pueda, en cada movimiento, levantarse e ir saliendo del lodo. Debemos recordar que esto sólo es válida para tracción en las cuatro ruedas.

En general, en una carretera no es recomendable el uso de la doble tracción y es relevante la correcta distribución de la carga dentro del vehículo. Por ello, todo conductor debe saber que peso soporta su vehículo, en reposo en cada uno de los ejes de tal forma de realizar dicha distribución lo más adecuado posible. Sería interesante y recomendable que cada vehículo declarara sus tolerancias a las curvas según velocidad y aceleración.

5. REFERENCIAS

[1] Bernard, J.E.; Vanderploeg, M.J. and Shannan, J.E. "Linear analysis of a vehicle with four-wheel steering". SAE paper N° 880643, 1988.

[2] Breedveld, P.C. "Bond Graph". Encyclopedia of Life Support Systems contribution". P.C. Breedveld, Holten, University of Twente, 2003.

[3] Broenink, J.F. "Introduction to Physical Systems Modelling with Bond Graph". University of Twente, Dept. EE, 1999.

[4] Broenink, J.F. "Tutorial Introduction to 20-Sim 3.6". Adapted to 3.6 by Peter Breedveld, University of Twente, EE Department, Enschede, Netherlands, 2003.

[5] Chiang, L. "Análisis Dinámico de Sistema Mecánicos", Alfaomega, 1999.

[6] Cuadrado, J., et al., "Modeling and Solution Methods for Efficient Real-Time Simulation of Multibody Dynamics", Multibody System Dynamics, Vol. 1, 1997, p.259.

[7] Cuadrado, J., et al., "Intelligent Simulation of Multibody Dynamics: Space-State and Descriptor Methods in Sequential and Parallel Computing Environments", Multibody System Dynamics, Vol. 4, 2000, p.55.

[8] de Boer, G.R. "A physical multi-body car model using 3D (screw) bond graph". M.Sc. Thesis, Universiteit Twente, Netherlands, June 2002.

[9] Ervin, R.D.; Nisonger, R.L.; Mallikarjunarao, C.; Gillespie, T.D. "The yaw stability of tractor-semitrailers during cornering". Final Report, Contract N° DOT-HS-7-01602, Report N° UM-HSRI-79-21, Highway Safety Research Institute, University of Michigan, June, 1979.

[10] Ervin, R.D. "The influence of the size and weight variables on the roll stability of heavy duty trucks". SAE paper N° 831163, 1983.

[11] Filippini, G.; Nigro, N. and Junco, S. "Vehicle dynamics simulation using bond graph". Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Argentina.

[12] Gillespie, T.D. "Fundamentals of vehicle dynamics". Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1992.

[13] Huh, K.; Kim, J. and Hong, J. "Handling and driving characteristics for six-wheeled vehicles". ImechE 2000, Proc Instn Mech Engrs, Vol. 214 Part D, pp. 159-170.

[14] Louca, L.S.; Stein, J.L. and Rideout, D.G. "Generating Proper Integrated Dynamic Models for Vehicle Mobility Using a Bond Graph Formulation". Proceeding of the 2001 International Conference on Bond Graph Modeling and Simulation, Phoenix.

[15] Marquis-Favre, W., et al. "Mechatronics bond graph modelling of an automotive vehicle". Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems, Vol. 12, N° 2-3, April-June, 2006, pp. 189-202.

[16] Mera, J.M.; Vera, C.; Félez, J., Esperilla, J.J. "Influence of the roll axis consideration in vehicle dynamics. Bond Graph Models". Universidad Politécnica de Madrid, España.

[17] Nacusse, M.A.; Pierucci, G.J.; Junco, S.J. y Romero, M.J. "Diagnóstico de fallas en suspensiones activas de automóviles sobre modelos bond graph". Mecánica Computacional, Vol. XXV, Editores: Alberto Cardona, Norberto Nigro, Vistorio Sonzogni y Mario Storti, pp. 1357-1376, Santa Fe, Argentina, Noviembre, 2006.

[18] Nordstrom, O.; Nordmark, S. "Test procedures for the evaluation of lateral dynamics of commercial vehicle combinations". Automobile-Industrie, Vol. 23, N° 2, pp. 63-69, 1978.

[19] You, S-S; Joeng, S-K. "Vehicle dynamics and control synthesis for four-wheel steering passenger cars". ImechE, 1998, Proc Instn Mech Engrs. Vol. 212 Part D, pp. 449-461.