

Modelo Físico De Aplicación Forense Para Estimar Condiciones De Vuelco Lateral Simple

Physical Model Of Forensic Application For Assessing Conditions Of Simple Side Roll

G. A. Enciso ^{a, b}, A. L. Imbeth Luna ^b, J. Zuluaga ^{* b}

^a *Licenciado en Criminalística (Argentina): DOCTOS Consultora. Resistencia, Argentina.*

^b *Grupo de Física Industrial y de la Radiación, Universidad de Antioquia, A.A.1226, Medellín, Colombia.*

Recibido 01.04.10; Aceptado 27.01.11; Publicado en línea 04.09.11.

Resumen

Las solicitudes desde los fueros judiciales en las investigaciones de accidentes de tráfico, frecuentemente están dirigidas a establecer la velocidad de los vehículos involucrados al momento de la colisión. Para comprobar la velocidad de impacto generalmente se apoyan en el desarrollo de modelos físicos cuyas aplicaciones y utilidad, dependen a su vez, de la cantidad y calidad de información interpretada a partir de los restos de la colisión (evidencias). Los modelos que incluyen muchas variables no siempre resultan útiles, dada la imposibilidad de confirmar los datos que exigen sus ecuaciones a partir de las evidencias del lugar del hecho. Tradicionalmente, en los casos de reconstrucción de accidentes con vuelcos laterales, se han propuesto curvas de velocidad o número de vueltas versus distancia de vuelcos a partir de algunas pruebas (crash test), que son de utilidad si esas cantidades son conocidas. Se propone en este trabajo un modelo de la rotación de un sólido para estudiar los vuelcos laterales. Se obtienen resultados aprovechando una categorización de vehículos de aplicación directa en reconstrucciones forenses.

Palabras clave: Vuelcos; Forense.

Abstract

Applications from legal jurisdictions in investigations of traffic accidents, often aim to set the speed of the vehicles involved at the time of the collision. To check the impact velocity they generally rely on the development of physical models whose utility and applications depend in turn of the quantity and quality of information interpreted from the collision debris (evidence). Models that include many variables are not always useful, since it is impossible to confirm the data required by their equations using the evidence from the scene. Traditionally, in cases of reconstruction of lateral rollover accidents there have been proposed velocity curves or number of turns versus roll distance from some tests (crash tests), which are useful if those quantities are known. In this paper we propose a model of a solid rotation to study the lateral overturning. Results are obtained by exploiting a categorization of vehicles which has direct application in forensic reconstructions.

Keywords: Roll; Forensic.

PACS: 45.20.dc; 45.40.Aa

© 2011 Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

1. Introducción

Los vuelcos laterales (rollover) se producen principalmente cuando un vehículo animado de una traslación sobre alguno de sus laterales, encuentra alguna resistencia a su avance sobre el apoyo de sus ruedas, generándose el tropiezo de la unidad seguida del vuelco.

Usualmente, la reconstrucción de este tipo de colisiones con fines forenses se realiza a partir de ensayos controlados para determinados tipos de vehículos [1] [2], y su utilidad puede ser aceptada siempre que el investigador conozca la distancia desde que se inicia el vuelco hasta la detención y la cantidad de vuelcos o amplitud del giro del vehículo. Sin embargo, la cantidad de vuelcos suele ser estimada de manera imprecisa en función de los daños que se registran en la carrocería del vehículo, y la distancia de vuelco no siempre es bien conocida, dado que los objetos de la superficie por donde se inicia el tropiezo, en ocasiones no son bien determinados.

Otros estudios [3] que relacionan algunos parámetros de diseño de vehículos fueron comparados con registros de vuelcos para estimar la frecuencia de vuelco de determinados tipos de vehículos, pero sin utilidad en las tareas forenses dado que la probabilidad teórica de vuelco de una unidad es una simple cualidad del vehículo sin aplicabilidad en la reconstrucción del vuelco.

Además, estos estudios relacionan la probabilidad de vuelco de un tipo de vehículo, con un parámetro denominado Coeficiente de Estabilidad Estático (SSF), el cual es determinado a partir de considerar el vuelco del vehículo bajo un modelo de equilibrio estático [4] y no dinámico.

Cuando el vuelco lateral del vehículo está relacionado con trayectorias curvas, se han propuestos modelos muy simples que intentan facilitar la reconstrucción forense a partir de un equilibrio de fuerzas de rozamiento y centrífuga sin considerar la resistencia al vuelco de la unidad debido a su propia distribución de masa [5].

En base a estos antecedentes, el presente trabajo propone una herramienta de cálculo con fines forenses para estimar la velocidad lateral que debe desarrollar un vehículo para iniciar su vuelco, utilizando para ello parámetros conocidos de la unidad y otros ya categorizados según algunas publicaciones de la Society of Automotive Engineers [6].

2. Metodología

El vuelco por tropiezo implica una colisión entre el vehículo y la superficie (sistema exterior). Entonces, resulta apropiado poder dividir esta colisión en tres etapas:

(1) antes del tropiezo (pre-impacto), (2) inmediatamente al inicio del tropiezo (post-impacto), y (3) cuando el centro de gravedad del vehículo alcanza su máxima altura. Ver Figura 1.

Por lo tanto la cantidad de momento angular del sistema debe ser el mismo antes del tropiezo y al inicio del mismo (1) (2).

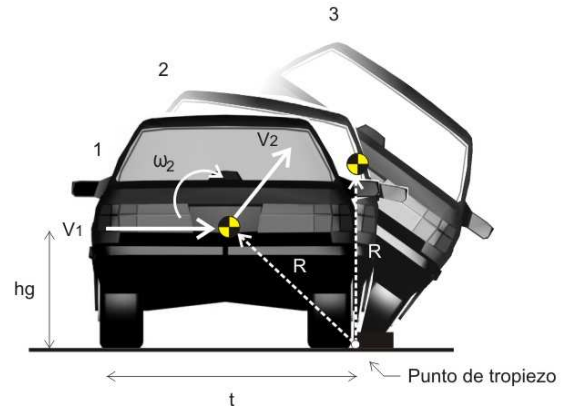


Fig. 1: Esquema del inicio del vuelco lateral. El vehículo colisiona sobre el terreno en un punto donde se inicia el tropiezo.

En símbolos:

$$M \cdot v_1 \cdot \frac{t}{2} + 0 = M \cdot v_2 \cdot R + I_x \omega_2 \quad (1)$$

donde:

v_1 es la velocidad del vehículo antes del tropiezo;

M , es la masa de la unidad,

t , el ancho de trocha,

v_2 es la velocidad del centro de gravedad del vehículo inmediatamente después de iniciado el tropiezo,

R es la distancia del punto de tropiezo al centro de gravedad;

I_x es el momento de inercia del vehículo al vuelco.

ω_2 es la velocidad angular del vehículo al inicio del tropiezo.

Luego la distancia R puede ser estimada a partir del ancho de trocha y de considerar la altura del centro de gravedad.

$$R = \sqrt{\left(\frac{t}{2}\right)^2 + (hg)^2} \quad (2)$$

Mientras que el momento de inercia y la altura del centro de gravedad pueden ser conocidos desde diferentes publicaciones [6]; desde el punto de vista forense, resulta de interés conocer el valor de v_1 . De manera que, despejando de la ecuación 1, se tiene:

$$v_1 = 2 \frac{(M \cdot v_2 \cdot R + I_x \omega_2)}{M \cdot t} \quad (3)$$

Recordando que:

$$v_2 = \omega_2 \cdot R, \quad (4)$$

entonces v_1 puede ser conocida desde la siguiente ecuación:

$$v_1 = 2 \omega_2 \frac{(M \cdot R^2 + I_x \omega_2)}{M \cdot t} \quad (5)$$

La solución de la ecuación 5 de arriba depende ahora de poder valorar la velocidad angular con que gira el vehículo cuando se inicia el tropiezo.

De acuerdo entonces con el principio de conservación de la energía, la suma de las energías del vehículo en la etapa (2), al inicio del vuelco, debe ser la misma en el punto (3).

Asumiendo que el vuelco se produce si por lo menos el vehículo llega al punto (3), entonces la energía acumulada corresponde al incremento o elevación del centro de gravedad del mismo, la cual debe transformarse en energía potencial, por lo que consideramos que en este punto (3), la velocidad del centro de gravedad es cero. Por lo tanto:

$$\frac{1}{2} \cdot M \cdot (v_2)^2 + \frac{1}{2} \cdot I_x (\omega_2)^2 + M \cdot g \cdot hg = M \cdot g \cdot R \quad (6)$$

Reemplazando y despejando:

$$\frac{1}{2} \cdot (\omega_2)^2 + (M \cdot R^2 + I_x) = M \cdot g \cdot R - M \cdot g \cdot hg \quad (7)$$

$$\frac{1}{2} \cdot (\omega_2)^2 + (M \cdot R^2 + I_x) = M \cdot g \cdot (R - hg) \quad (8)$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot M \cdot g \cdot (R - hg)}{(M \cdot R^2 + I_x)}} \quad (9)$$

Finalmente, al reemplazar la ecuación 9 en la 5, la velocidad al inicio del vuelco puede conocerse a partir de:

$$v_1 = 2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot M \cdot g \cdot (R - hg)}{(M \cdot R^2 + I_x)}} \cdot \frac{(M \cdot R^2 + I_x)}{M \cdot t} \quad (10)$$

Si el vehículo se encuentra animado con una energía cinética que le permita desarrollar otros giros, el modelo propuesto puede ser iterado.

3. Discusión de los resultados

A los efectos de comprobar la utilidad de la ecuación 10, el modelo fue comparado con las respuestas de un simulador para reconstrucciones forenses denominado

Virtual Crash ® [7]. Los datos del vehículo a someter a simulación y según base de datos de la aplicación referida, se muestran en la Tabla No. 1.

Tabla No. 1: Parámetros conocidos del vehículo a simular.

Masa (kg)	1323,950
Números de ejes	2
Altura del c.g. (cm)	54
Inercia al vuelco (kg.m2)	524,9
Trocha (cm)	147

Adicionalmente, la aplicación contemplaba las siguientes variables de la suspensión del vehículo que se muestran en la Tabla No. 2

Tabla No. 2: Parámetros de la suspensión del vehículo.

Amortiguación eje 1 dcha. (N.s/m)	2722,86
Amortiguación eje 1 izqda. (N.s/m)	2722,86
Amortiguación eje 2 dcha. (N.s/m)	2722,86
Amortiguación eje 2 izqda. (N.s/m)	2722,86
Dureza eje 1 dcha. (N/m)	24203,26
Dureza eje 1 izqda. (N/m)	24203,26
Dureza eje 2 dcha. (N/m)	24203,26
Dureza eje 2 izqda. (N/m)	24203,26

Empleando la información de la Tabla No. 1 con la ecuación 10, se estimó la velocidad necesaria para vuelco en 15 km/h; en tanto que la aplicación señalada mostró resultados concretos de vuelcos a partir de los 19 km/h.

Se repitieron las comparaciones con vehículos de otros parámetros arrojando siempre una diferencia en promedio de +26% entre la velocidad estimada con la ecuación 10 y las condiciones de vuelco mostradas por el simulador referido.

4. Conclusiones

Una aproximación a la condición de la velocidad y energía cinética requerida para la producción de vuelcos por tropiezo, se halla integrada en la ecuación 10. Esta propuesta puede ser extendida en aquellos vuelcos donde la unidad describe varios giros laterales.

La valoración puede realizarse a partir de parámetros accesibles, y con relación al momento de inercia de la unidad y la altura de su centro de gravedad, estos pueden ser señalados a partir de las experiencias y estudios realizados por la SAE.

Sin embargo la propuesta desarrollada no contempla la energía que pueda ser absorbida por el sistema de

suspensión del vehículo, variable difícil de considerar debido a la variabilidad de las propiedades durante la vida útil del sistema y a las dificultades que presenta su valoración para los casos particulares de vuelcos de vehículos usados.

5. Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad de Antioquia que a través del Instituto de Física de la Facultad de Ciencias Exactas permitió la realización de este trabajo (Proyecto IN10088CE).

Referencias:

- [1] K.F Orlovski, E. A Moffatt, R.T. Bundorf, M.P. Holcomb. "Reconstruction of Rollover Collisions". SAE 890857.
- [2] Jon E. Bready, Andrew A. May, Douglas "L" Allsop. "Physical Evidence Analysis and Roll Velocity Effect in Rollover Accident Reconstruction". SAE 2001-011284.
- [3] Ian S. Jones, Maria B. Penny. "Engineering Parameters Related to Rollover Frequency". SAE 900104.
- [4] Marie C. Walz. "Trends in the Static Stability of Passenger Car, Light Trucks, and Vans". DOT HS 809 868, NHTSA Technical Report, June 2005.
- [5] Nathaniel H. Sledge, Jr. Kurt M. Marshek. "Formulas for Estimating Vehicle Critical Speed From Yaw Marks – A Review". SAE 971147.
- [6] Donall E. Sidadall and Terry D. Day. "Updating the Vehicle Class Categories". SAE960897.
- [7] Nové Zámky, Slovakia; VCRASH, s.r.o.; www.vcrash.com (Windows XP o superior). Address: SNP 56/2, 940 69, Registration No. (IČ): 44184778; VAT No. (IČ DPH): SK2022620413; e-mail: support@vcrash.com.