

Una Consideración en 3D de los Modelos Lineales de Deformación

Enciso, Gustavo A

Cátedra de Física I - Instituto de Ciencias Criminalísticas – U.N.N.E.

Catamarca 375 – Corrientes (3400), Argentina encisog@terra.com.ar

ANTECEDENTES

Los modelos lineales aplicados para la valoración de la energía absorbida en la deformación de un vehículo que colisiona contra barrera rígida, presentan consideraciones comunes y un mismo origen estableciendo como parte del conjunto de hipótesis que fundamentan a estos, que la deformación medida tenga una altura constante [2]. La energía disipada en la deformación es estimada desde la valoración del área del daño o área deformada del vehículo [1] [2] [8] lo que implica considerar al frente del vehículo como un sólido con forma de un paralelepípedo y el vector deformación, con sus componentes de ancho y largo (profundidad).

En los casos de deformaciones irregulares, la estimación de la energía disipada depende de la valoración de ésta área irregular bajo la consideración siempre de que la altura del daño es la misma en cada sector del daño. Sin embargo el diseño de los vehículos turismos, bajo la exigencia de un mejor rendimiento aerodinámico, a modificó las dimensiones de sus frentes haciéndolas menos elevadas en el sector del paragolpe. En tales casos, cualquier deformación regular del frente del vehículo, definirá una altura mayor del daño cuanto mayor sea la penetración o profundidad del mismo.

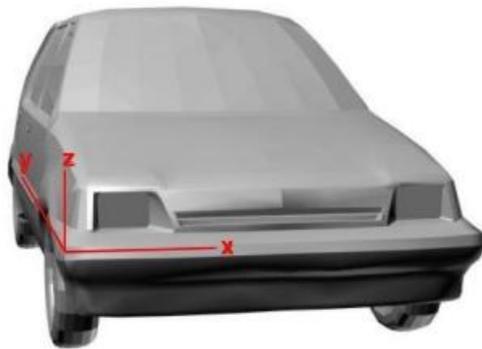
Surge el interés de estimar la energía disipada a partir de un *volumen regular de deformación*, y comparar esta nueva estimación en 3D con la inferida por los modelos tradicionales en 2D, manteniendo las demás consideraciones e hipótesis de los modelos lineales.

El frente del vehículo es considerado ahora como un *prisma* y una tercer variable (*altura*) es introducida en la estimación de la energía disipada. A diferencia de otras metodologías [10], son seleccionados cinco ensayos de colisión contra barrera rígida de cinco vehículos distintos Ford Escort que colisionan a distintas velocidades. Se construyen los diferentes coeficientes de rigidez para dos modelos tradicionales en 2D y los nuevos coeficientes en 3D. Se estiman los E.B.S. (*velocidad equivalente a barrera*) para las cinco medidas de deformación en cada modelo y se los compara con los valores de velocidad de impacto en cada ensayo.

MATERIALES y MÉTODOS

Los cinco ensayos seleccionados [3] [4] [5] [7] [10], corresponden a los ensayos n° 206, 373, 509, 1118 y 1216 del U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration; todos ellos con colisiones que afectan el total del frente del vehículo, distancia de solapamiento = 0, ángulo de impacto = 0 y contra barrera rígida plana. Sin embargo a diferencia de procedimientos realizados por otros estudios [10], los cinco ensayos someten a cinco vehículos distintos sin repeticiones de colisión. Con relación al ensayo n°1216, el cual se realiza sobre un vehículo que es impactado seis veces, solo el primer impacto es considerado en este análisis.

La Figura 1 señala el sistema de referencias adoptado cuyo centro del triedro coincide con el piso del extremo delantero derecho del vehículo. El frente del vehículo considerado como un prisma, presenta el capot del mismo como plano superior limitante del prisma paralelo al eje *x*.



Este plano del capot del Ford Escort queda definido por la siguiente función $z(y)$:

$$z(y) = 52 \cdot \text{cm} + \frac{1}{50} \cdot y \quad \text{Ec. 1}$$

La ecuación 1, es estimada por ajuste de curva a partir de distintos valores de profundidad "*y*" en [cm] y altura "*z*" en [cm], medidas del vehículo Ford Escort.

Figura 1

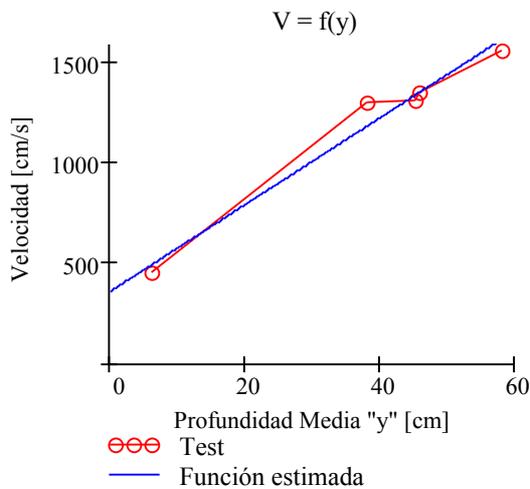
De los datos recopilados en los reportes [3] [4] [5] [7] [10], respecto a la profundidad promedio de la deformación de cada vehículo, se estima la altura del daño mediante la ecuación 1.

La Tabla 1, muestra los distintos valores característicos de cada ensayo, definiéndose en las dos últimas columnas el valor promedio de la profundidad del daño y su altura correspondiente.

Tabla 1

N° Ensayo	Vel. Impacto	Eng. Inicial	Masa	x	y	z
1216	453 cm/s	128539838 (kg.cm ²)/s ²	1254 kg	170 cm	6 cm	54 cm
509	1306 cm/s	786615355 (kg.cm ²)/s ²	923 kg	161 cm	38 cm	60 cm
1118	1319 cm/s	1114197531 (kg.cm ²)/s ²	1280 kg	163 cm	45 cm	61 cm
373	1350 cm/s	1002375000 (kg.cm ²)/s ²	1100kg	167 cm	46 cm	61 cm
206	1569 cm/s	1447104070 (kg.cm ²)/s ²	1175 kg	167 cm	58 cm	64 cm

Se construye la función principal de velocidad de impacto y la deformación promedio residual [2] mediante ajuste de los datos volcados en la Tabla 1.



$$v(y) = b_0 + b_1 \cdot y \quad \text{Ec. 2}$$

De donde:

$$b_0 = 359 \text{ cm/s}$$

$$b_1 = 22 \text{ s}^{-1}$$

La ecuación 2 es definida con un grado de correlación de 0,9.-

La Figura 2 de la izquierda muestra la regresión lineal de la ecuación 2 estimada a partir de los datos extraídos de los reportes.

Se construye seguidamente la ecuación que relaciona la energía inicial y la deformación media residual [8], mediante la siguiente relación:

$$\sqrt{\frac{2 \cdot E_0}{x}} = f(y) \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

E_0 : es la energía inicial de cada ensayo en $[\text{kg} \cdot \text{cm}^2/\text{s}^2]$.

x : el ancho de cada vehículo coincidente con el ancho de la deformación según la Tabla 1, en $[\text{cm}]$.

y : la profundidad media del daños según Tabla 1 en $[\text{cm}]$.

La función así hallada se muestra en la Figura 3, con un grado de correlación lineal de 0.9.

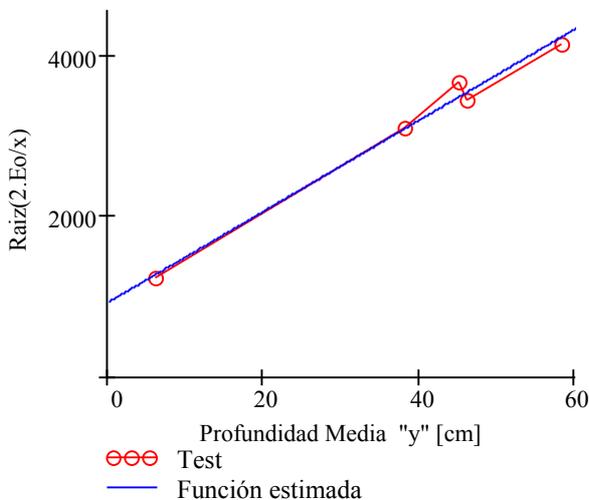


Figura 3.

La ecuación correspondiente a la función de la Figura 3 es:

$$\sqrt{\frac{2 \cdot E_0}{x}}(y) = d_0 + d_1 \cdot y \quad \text{Ec. 4}$$

De donde:

$$d_0 = 293 \text{ [kg}^{0.5} \cdot \text{cm}^{0.5}/\text{s]}.$$

$$d_1 = 181 \text{ [kg}^{0.5} \cdot \text{cm}^{0.5}/(\text{s} \cdot \text{cm})].$$

La energía absorbida en la deformación, es estimada para dos modelos, según los coeficientes de las ecuaciones 2 [2] y 4 [8], de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$E_d = \frac{M}{x} \cdot \int_0^x \int_0^Y (b_0 \cdot b_1 + b_1^2 \cdot y) dy dx + \frac{1}{2} \cdot M \cdot b_0^2 \quad \text{Ec. 5}$$

$$E_d = \frac{x}{2} \cdot (d_0 + d_1 \cdot Y)^2 \quad \text{Ec. 6}$$

En donde:

E_d : energía estimada en la deformación en $[\text{kg} \cdot \text{cm}^2/\text{s}^2]$.

M : masa promedio del vehículo Ford Escort en $[\text{kg}]$.

x : ancho promedio total de la deformación coincidente con el ancho del vehículo en $[\text{cm}]$.

Y : profundidad media de la deformación en $[\text{cm}]$.

Un nuevo diagrama de dispersión se construye considerando ahora la siguiente relación:

$$\sqrt{\frac{2 \cdot E_0}{x \cdot z}} = f(y) \quad \text{Ec. 7}$$

En donde "z" es la altura del daño estimada según la ecuación 1 en $[\text{cm}]$. La función así hallada se muestra en la Figura 4, con un grado de correlación lineal de 0.9.

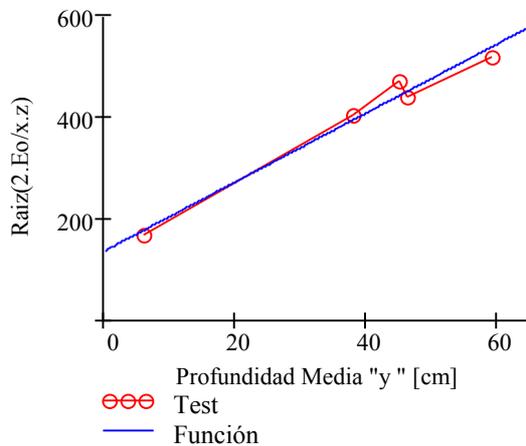


Figura 4.

La ecuación correspondiente a la función de la Figura 4 es:

$$\sqrt{\frac{2 \cdot E_o}{x \cdot z}}(y) = e_0 + e_1 \cdot y \quad \text{Ec. 8}$$

De donde los coeficientes:

$$e_0 = 135 \text{ [kg}^{0.5}\text{/s].}$$

$$e_1 = 68 \text{ [kg}^{0.5}\text{/(s.cm)].}$$

La energía absorbida en la deformación, es estimada en este nuevo modelo, según los coeficientes de la ecuación 8, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$E_d = \frac{x \cdot z}{2} \cdot (e_0 + e_1 \cdot Y)^2 \quad \text{Ec. 9}$$

Finalmente, teniendo presente la ecuación 1 y los coeficientes de la ecuación 2, estimamos nuevamente la energía absorbida en la deformación mediante la siguiente expresión:

$$E_d = \frac{M}{x \cdot z \cdot o} \cdot \int_0^x \int_0^Y \int_0^{z(y)} (b_0 \cdot b_1 + b_1^2 \cdot y) dz dy dx + \frac{1}{2} \cdot M \cdot b_0^2 \quad \text{Ec. 10}$$

Las expresiones de las ecuaciones 5, 6, 9 y 10 corresponden a diversos modelos lineales los cuales podemos agruparlos de la siguiente manera:

Modelo 1: ecuación 5, estima la energía absorbida, considerando el área de la deformación, [2].

Modelo 2: ecuación 6, estima la energía absorbida, considerando el área de la deformación, [8].

Modelo 3: ecuación 9, estima la energía absorbida considerando un volumen regular de deformación.

Modelo 4: ecuación 10, estima la energía absorbida considerando un volumen regular de deformación.

Teniendo presente el promedio de las masas de los vehículos de los ensayos seleccionados, se calcula los E.B.S. para cada uno de los cuatro modelos. Las estimaciones de cada uno de los modelos con sus correspondientes desviaciones porcentuales respecto al valor de la velocidad de impacto de los ensayos, son mostrados en la Tabla 2:

Tabla 2

Test [cm/s]	Modelo 1 [cm/s]	[%]	Modelo 2 [cm/s]	[%]	Modelo 3 [cm/s]	[%]	Modelo 4 [cm/s]	[%]
n°1216 (453)	171	60	490	8	491	8	493	9
n°509 (1306)	852	35	1165	11	1152	11	1232	6
n°1118 (1319)	1009	23	1325	0	1317	0	1403	6
n°373 (1350)	1037	23	1357	0	1350	0	1419	5
n°206 (1569)	1306	17	1626	4	1638	4	1723	10

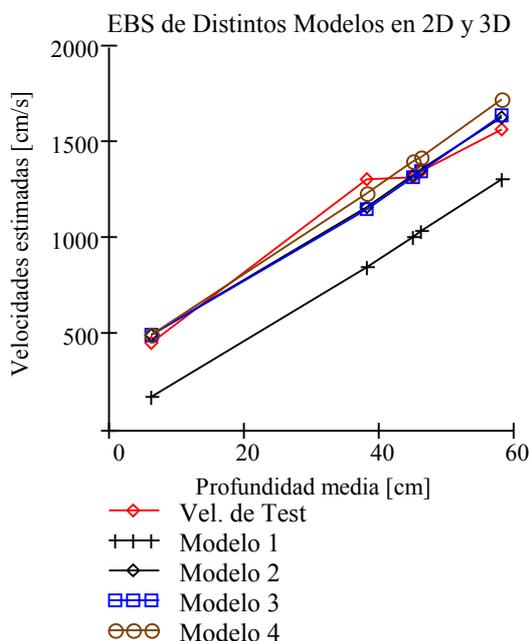


Figura 5

La Figura 5 de la izquierda, muestra la proximidad de los distintos resultados de velocidad equivalente a barrera inferida mediante los cuatro modelos, respecto a los valores de velocidad de impacto de los ensayos seleccionados.

Las velocidades E.B.S. de los cuatro modelos fueron inferidas mediante las ecuaciones 5, 6, 9 y 10 utilizando la masa promedio de los cinco vehículos de ensayo. Las desviaciones porcentuales de los cuatro modelos disminuyen al realizar los cálculos con las masas correspondientes a cada vehículo de cada ensayo.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El modelo lineal 1 propuesto por [2] es aquel que mas alejado presenta sus resultados respecto de los valores de los ensayos.

Los modelos lineales 2 propuesto por [8] y 3 aproximan muy bien sus resultados a los ensayos n° 1118 (1319cm/s) y 373 (1350 cm/s) pero se alejan bastante de los valores del ensayo n° 509 (1306 cm/s).

El cuarto modelo es el que mas equidista de los cinco valores de los ensayos seleccionados. Obsérvese como su recta (línea marrón con redondos) pasa entre medio de todos los valores recogidos de los ensayos (línea roja).

CONCLUSIONES

Las nuevas expresiones 9 y 10 propuesta en este trabajo que contemplan la altura del daño, tienen sus mismas consideraciones teóricas que los modelos lineales tradicionales en 2D [2] [8], con la salvedad de que las mismas exigen nuevos coeficientes de dureza en 3D, distintos de los utilizados en las modelaciones en 2D, para el vehículo sometido a estudio.-

Estos nuevos modelos han mostrado una muy buena aproximación lineal (0.9) para el vehículo seleccionado, en la medida de que la metodología empleada para la construcción de los coeficientes de dureza en 3D, involucre a varias unidades con un único impacto.

A pesar de lo anterior, los nuevos resultados inferidos de E.B.S. mediante las expresiones 9 y 10, no han mostrado un mejoramiento significativo respecto de las inferencias que pueden realizarse con los modelos ya tradicionales. Esto en por lo menos a lo referente del vehículo Ford Escort, advirtiendo lo reducido de la pendiente que presenta su capot (1/50).

BIBLIOGRAFÍA

- [1]- Alba L. J., Iglesia P. A., Aragüas V. J.- “Accidentes de Tráfico: Introducción al Análisis de Deformaciones”.- Grupo de Seguridad Vial y Accidentes de Tráfico de la Universidad de Zaragoza.- (España 2001).-
- [2] – Campbell K.- “Energy Basic for Collision Severity”.- Society Automotive Engineers, Inc. n°740565 – (U.S.A. 1974).-
- [3]- Carlson Lloyd E.- “Add-on Aceleration Neasurements Passenger Cars- FMVSS 204”.- U.S. Departament of Trasnpotation National Highway Traffic Safety Administration – (U.S.A. 1982).-
- [4]- Donnelly B., Levan W.- “New Car Assessment and Standars, Enforcement Indicat Testing – FMVSS n° 212, 219 and 301-75”.- U.S. Departament of Trasnpotation National Highway Traffic Safety Administration – (U.S.A. 1980).-
- [5]- El-Habash N. A.- “Final Report of Frontal Barrier Impacts of a 1985 Ford Escort 3-Door Hatchback in Support of Crash III Damage Algorithm Reformation”.- U.S. Departament of Trasnpotation National Highway Traffic Safety Administration – (U.S.A. 1988).-
- [6]- Enciso G.- “Diversas Aplicaciones de Integrales Dobles en el Cálculo del Área de Deformación de un Vehículo”.- Primer Seminario Vial: La Física en la Accidentología.- Cátedra de Física Forense del Instituto de Cs. Criminalísticas – U.N.N.E., 7 y 8 de Junio del 2002 – Corrientes, Argentina.-
- [7]- Johnson N., Davis S.- “FMVSS 212/219/301 – Electric Vehicle Testing – Group V – 1981 Ford Escort 3-Door Hatchback (Ice Baseline)”.- U.S. Departament of Trasnpotation National Highway Traffic Safety Administration – (U.S.A. 1981).-
- [8]- Prasad A. K.- “ CRASH 3 Damage Algorithm Reformulation for Front and Rear Collisions”.- Society Automotive Engineers, Inc. n°900098 – (U.S.A. 1990).-
- [9]- Sankey J.W.- “Vehicle Barrier Impact Testing whit Hybrid III Dummies in a 1978 Ford Escort 5-Door Hatchback”.- U.S. Departament of Trasnpotation National Highway Traffic Safety Administration – (U.S.A. 1988).-
- [10]- Woolley Ronald.- “Non-Linear Damage Analysis in Accident Reconstruction”.- Society Automotive Engineers, Inc. n°2001-01-050 – (U.S.A. 2001).-