



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONDUCTOR ANTE UN IMPACTO FRONTAL  
ENTRE UN VEHÍCULO Y UN ATENUADOR DE IMPACTO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Automotriz

**AUTOR: MARTÍN ARIEL CALLE PALLCHISACA**

**TUTOR: ING. JAVIER STALIN VÁZQUEZ SALAZAR**

Cuenca - Ecuador

2024

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Martín Ariel Calle Pallchisaca con documento de identificación N° 0104842661, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 25 de enero del 2024

Atentamente,



---

Martín Ariel Calle Pallchisaca

0104842661

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN  
A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Martín Ariel Calle Pallchisaca con documento de identificación N° 0104842661, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del Artículo académico: “Análisis del comportamiento del conductor ante un impacto frontal entre un vehículo y un atenuador de impacto”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de enero del 2024



---

Martín Ariel Calle Pallchisaca

0104842661



## ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONDUCTOR ANTE UN IMPACTO FRONTAL ENTRE UN VEHÍCULO Y UN ATENUADOR DE IMPACTO

### ANALYSIS OF THE DRIVER'S BEHAVIOR IN A FRONT IMPACT BETWEEN A VEHICLE AND AN IMPACT ATTENUATOR

Martin Calle<sup>1</sup>, Javier Vázquez<sup>2</sup>, Marco Amaya<sup>3</sup>, Jimmy Brito<sup>4</sup>

Recibido: Revisado: Aprobado tras revisión:

#### Resumen

En la presente investigación se establecen las consecuencias físicas que tendría un conductor al impactar contra un sistema de seguridad pasiva, como lo es un atenuador de impacto. Para el análisis de los resultados se realiza un diseño de experimento a través de una simulación en el software ANSYS – LS DYNA, que aparenta de manera dinámica la colisión entre un vehículo y el atenuador de impacto. En la actualidad se busca nuevas maneras de aplicar sistemas de seguridad vial, para reducir la mortalidad en las vías. Los resultados obtenidos demuestran los efectos de una colisión de esta magnitud y como afecta al ser humano, siendo los atenuadores de impacto, elementos de importancia para disminuir las lesiones y mortalidad en accidentes de tránsito en el país.

**Palabras Clave:** Atenuador de impacto, colisión, energía.

#### Abstract

This research establishes the physical consequences that a driver would have when impacting against a passive safety system, such as an impact attenuator. For the analysis of the results, an experiment design is carried out through a simulation in ANSYS - LS DYNA software, which dynamically simulates the collision between a vehicle and the impact attenuator. Nowadays, new ways of applying road safety systems are being sought to reduce road fatalities. The results obtained demonstrate the effects of a collision of this magnitude and how it affects the human being, being the impact attenuators, important elements to reduce injuries and mortality in traffic accidents in the country.

**Keywords:** Impact, collision, energy attenuator.

---

<sup>1,\*</sup> Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador. Autor para correspondencia: mcallep2@est.ups.edu.ec

<sup>2</sup>

<sup>3</sup> .....

Forma Sugerida de citación: Calle.; Vázquez, J.; Amaya M.; Brito J. (2023)

<sup>4</sup> .....

Forma Sugerida de citación: Calle.; Vázquez, J.; Amaya M.; Brito J. (2023)



## 1. Introducción

Con el fin de precautelar la seguridad de los conductores, acompañantes y demás individuos que se movilizan en diferentes tipos de vehículos, se han implementado en varios segmentos de las carreteras sistemas de seguridad pasiva, tales como los atenuadores de impacto, con una clara función de reducir la fuerza de impacto frontal de un automotor ante un siniestro de tránsito.

Una opción viable de seguridad implementada en zonas de alto flujo vehicular, pasos a desnivel y separaciones de vías, en donde se produce con mayor frecuencia este tipo de incidentes.

Nuevas tecnologías se han caracterizado por dar un renovado enfoque a los atenuadores de impacto para mejorar su capacidad de absorción de energía según el trabajo de M. Athafarras [1].

En una simulación a través de Matlab obtuvieron una curva de rigidez efectiva a la carga aplicada, con un espesor del atenuador de 8 mm tuvo una respuesta de deformación baja con un alto índice de amortiguación del impacto con una prueba realizada de compresión en el software ANSYS.

Cuando un vehículo se impacta contra un atenuador de impacto se reduce la energía cinética en un 92%, lo cual evita lesiones de más alta gravedad sobre el conductor [2].

Esto se debe a sus capacidades de absorción de energía, alta deformabilidad y distribución de la carga del impacto [3].

Las características sobre la efectividad de los atenuadores de impacto se basan en tipos de materiales, dimensiones y características de construcción [4].

Cada una de las variaciones en el diseño cuenta con características variadas que se adaptan a las necesidades, tanto de localización, como en dimensionamiento.

Una de las principales causas de fallecimiento de un conductor es un trauma torácico, con un 75% de mortalidad [5]; Causales como la alta velocidad, irrespeto a las señales de tránsito, dan como resultado una serie de fallecidos debido a la gravedad de la lesiones, en zonas sensibles como en la altura de la cabeza [6].

En el Ecuador en impactos frontales con secciones rígidas a lo largo de la carretera solo en 2022 el número de fallecidos ascienden a 376 personas, y en el año 2023 hubo una reducción del 18% con 308 víctimas [7].

Considerando estos valores se requieren nuevas alternativas para disminuir el número de fallecidos, los implementos como atenuadores de gran manera lidian con esta problemática, al evitar lesiones de mayor gravedad con un menor índice de mortalidad.

## 2. Método

La metodología consiste en un proceso que consta con los siguientes pasos:

1. Diseño de vehículo de prueba y su atenuador de impacto.
2. Análisis dinámico del proceso de impacto mediante el uso de un software de análisis por elemento finitos (FEA) ANSYS.

### 2.1. Diseño

A través del modelado de un vehículo y el atenuador de impacto con el software ANSYS – LS DYNA, se genera el diseño para proceder con la simulación [8].

Para obtener resultados más veraces se utiliza el crash test dummy, lo cual simula de manera muy eficaz las características físicas del cuerpo humano [9]. Con un comportamiento dinámico para establecer las afecciones de un accidente de estas categorías.

ATENUADOR DE IMPACTOS  
Time \* 0



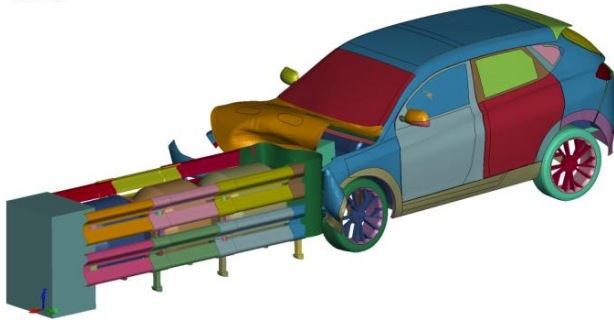
Figura 1. Modelo del crash test dummy.



## 2.2. Análisis FEA

En la Figura 2, se realiza un análisis computacional a través de elementos finitos con una simulación dinámica [10]. Se obtuvo la colisión del vehículo contra el atenuador de impacto, dando así la deformación que este tendría al impactar sobre este sistema de seguridad pasiva.

ATENUADOR DE IMPACTOS  
Tiempo: 14.908



**Figura 2.** Colisión frontal del vehículo contra el atenuador de impacto.

La fórmula (HIC) se basa en el valor medio sobre la aceleración, cuando de manera inminente se desacelera el vehículo de manera drástica y las fuerzas que se generan en puntos de la cabeza de forma lineal.

$$HIC = \max(t_1 \text{ or } t_2) \left\{ (t_2 - t_1) \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a[t] dt \right]^{2.5} \right\} \quad (1)$$

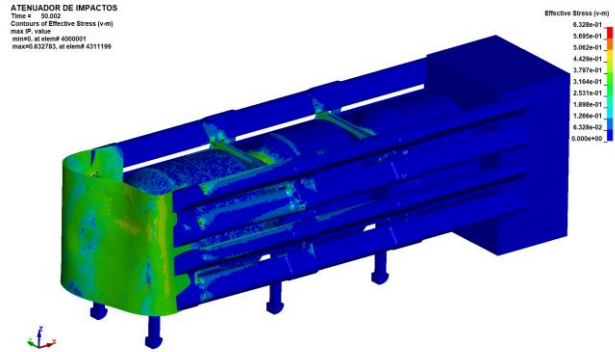
$$\bar{a} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a[t] dt \quad (2)$$

Para el desarrollo de la prueba, el vehículo debe impactarse frontalmente contra una pared rígida y compararse frente al impacto realizado contra el atenuador de impacto.

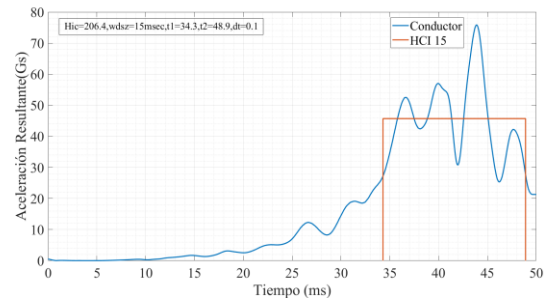
## 3. Energía y Análisis

La Figura 3 muestra que, el estrés generado de Von Mises es de 6.32e-01 en la zona central en donde se genera el impacto, además el material no tiene ruptura, pero si una considerable

deformación con una distancia de desplazamiento de 93 mm.



**Figura 3.** Estrés generado de Von Mises



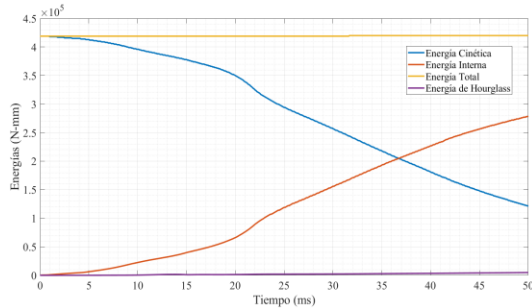
**Figura 4.** HIC dummy con atenuador de impacto.

Se puede observar en la Figura 4 que, a partir del momento del impacto transcurre 35 ms antes de obtener un valor alto de aceleración traslacional en la cabeza, en los cuales se genera una energía de 206 Gs.

También considerando el valor nominal de HIC de 206 Gs, como consecuencia física para el conductor tendría dolores de cabeza o mareos, sin llegar a una lesión de mayor consideración, según la Tabla 1 de lesiones en la zona de la cabeza.

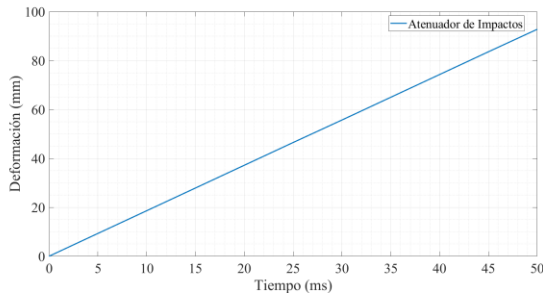
**Tabla 1.** HIC, traumatismos craneoencefálicos [11].

HIC	AIS	Lesión Craneal
135– 519	1	Dolor de cabeza o mareos
520 - 899	2	Fractura Lineal
900 - 1254	3	Fractura deprimida
1255 - 1574	4	Fractura Abierta
1575 - 1859	5	Hematoma Grande
1860	6	No sobrevive



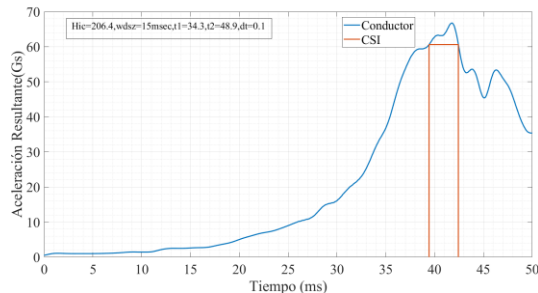
**Figura 5.** Energías obtenidas de la simulación del ensayo del impacto del atenuador de impacto.

Se observa en la Figura 5, el comportamiento ante la colisión del atenuador en su impacto frontal contra el automóvil, la energía permanece constante, lo cual indica que la energía producida debido al impacto se disipa a través del atenuador de impacto. La energía cinética y la energía interna se entrelazan sobre el transcurso de 35 ms.



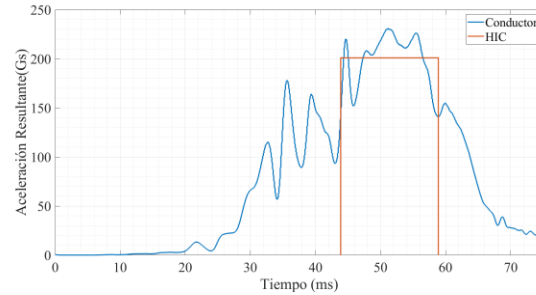
**Figura 6.** Deformación generada en el atenuador de impacto.

En la Figura 6 se aprecia la deformación del atenuador de impacto ante la colisión, con una deformación de 95 mm desde el área rígida del atenuador, analizando la gran capacidad de atenuar la carga cinética generada por la carga del vehículo al momento de colisionar.



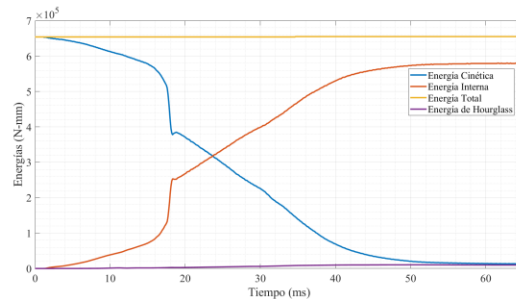
**Figura 7.** Fuerza CSI generada sobre el crash test dummy con el atenuador de impacto.

Se observa en la Figura 7, que el valor CSI, sobre lesiones en el tórax al igual que HIC de lesiones craneales es de 206 Gs, lo cual daría como resultado una contusión de índole menor en la zona del tórax, sin ser una lesión de mayor gravedad.



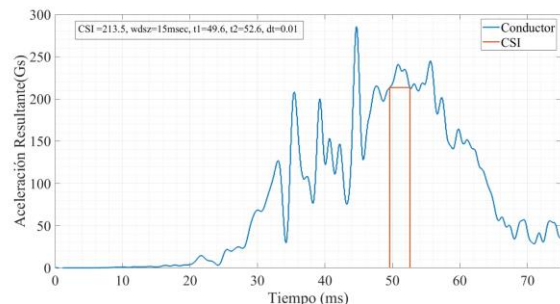
**Figura 8.** HIC dummy sin atenuador de impacto.

Según la Tabla 1, al generarse una energía de 213 Gs, solo provocaría dolor de cabeza o mareos, pero al tener mayores picos debido a la baja absorción de energía. Esto puede generar lesiones cervicales de gravedad debido al movimiento del cuello, pudiendo llegar hasta una fractura [12]



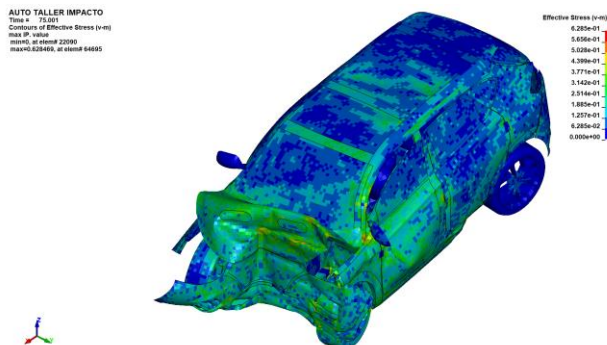
**Figura 9.** Energías obtenidas del ensayo del impacto sin atenuador.

Se observa en la Figura 9, que la energía total es de  $6 \times 10^5$  N·mm, un valor considerable debido a que no existe disipación de la energía y todo el impacto frontal es absorbido por el vehículo, lo cual generara mayores daños al vehículo, lesiones más considerables al conductor y acompañantes.



**Figura 10.** Fuerza CSI generada sobre el crash test dummy sin atenuador.

En la Figura 10 se observa que la fuerza generada supera los 250 Gs, energía que supera lo que un ser humano puede resistir, en este caso sin el sistema de seguridad pasiva. Al tener fuerzas tan altas se generan lesiones de alta gravedad en zonas sensibles como la columna, órganos internos y cuello [13]. Lo cual podría provocar el fallecimiento inminente del conductor y acompañantes ante un siniestro de estas condiciones.



**Figura 11.** Colisión frontal del vehículo sin el atenuador de impacto.

De manera visible en la Figura 11, se puede observar que la deformación del vehículo es considerablemente mayor, debido al agresivo impacto del vehículo sin tener el sistema de seguridad pasiva del atenuador de impacto.

### 3.1 Análisis

En la Figura 5 se muestra el equilibrio energético resultante del impacto del automóvil contra la barrera. La energía total, es la sumatoria de todas las energías alcanzando un valor máximo de  $4 \times 10^5$  N·mm al tener el atenuador de impacto

para reducir la energía. Por otra parte, al no contar con el sistema de seguridad pasiva, en la Figura 9 se visualiza que la suma de estas energías es de  $6 \times 10^5$  N·mm considerablemente mayor, que al ser un impacto frontal y no contar con el atenuador de impacto toda la carga cinética se concentra en el vehículo y cuerpo del conductor.

La energía Hourglass es una energía no física, que se utiliza para verificar la correcta ejecución de la simulación de acuerdo con el Reglamento 66 de la ONU anexo 5 [14]. Según este reglamento, la simulación computacional, no debe exceder en ningún caso en un valor el 5% referente energía total.

En el resultado obtenido de la energía de Hourglass es de  $0,097 \times 10^5$  N·mm, con valor menor o igual a 2 %. Lo cual cumple con el Reglamento 66 de la ONU al no superar el 5%, de la energía de Hourglass, con respecto a la energía total. Por lo tanto, la simulación realizada es válida con los parámetros establecidos.

## 4. Resultados

La implementación de un atenuador de impacto frontal desempeña un papel crucial en la reducción significativa de los daños al vehículo y las lesiones a los ocupantes del automotor. Es importante destacar que la simulación incluye todos los elementos de anclaje de tres puntos y el sistema de seguridad airbag. En el desarrollo se llevaron a cabo dos simulaciones bajo condiciones idénticas: una con la presencia del atenuador de impacto y la otra sin este sistema de seguridad.

La velocidad de ensayo utilizada por LATIN NCAP es de 64 km/h, el vehículo impacta frontalmente contra una barrera deformable fija, lo que representa los efectos de una colisión entre vehículos a una velocidad de 55 km/h [15].

En el caso del maniquí (dummy) cuando el vehículo impacta sin el atenuador se observa que, el índice de lesiones (HIC) supera los valores establecidos. Esto podría sugerir que el conductor sufre lesiones graves o incluso fallece como resultado del impacto.





Sin embargo, al colocar el atenuador de impacto, se nota una reducción significativa del HIC, disminuyendo a un valor de 45 Gs.

Estos resultados respaldan la eficiencia del atenuador de impacto en la mitigación de lesiones de menor gravedad al reducir la carga sobre cabeza, cuello y tórax del conductor durante la colisión frontal.

## Referencias

- [1] M. Athafarras, D. W. Djamari, M. R. Fikri, B. A. Budiman, F. Triawan, y I. Veza, «Development of impact attenuator analysis tools in crash scenario using Euler method and finite element analysis», *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 69, n.º 1, Art. n.º 1, dic. 2022, doi: 10.1186/s44147-021-00058-0.
- [2] C. I. Montaleza, J. W. Gallegos, M. E. Amaya, y O. Arteaga, «Design of an impact attenuator for passive safety on roads», *Materials Today: Proceedings*, vol. 49, pp. 2073-2080, ene. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.08.309.
- [3] J. Hinch, D. Sawyer, D. Stout, M. Hargrave, y R. Owings, «Impact Attenuators: A Current Engineering Evaluation», *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*.
- [4] P. Maigua, D. Patricio, A. Jácome, y L. Rómulo, «DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN ATENUADOR DE IMPACTOS VIAL PARA VEHÍCULOS LIVIANOS TIPO M1».
- [5] M. Felipe Undurraga, D. Patricio Rodríguez, y P. David Lazo, «Trauma de tórax», *Rev Med Clin Condes*, vol. 22, n.º 5, pp. 617-622, sep. 2011, doi: 10.1016/S0716-8640(11)70473-4.
- [6] OMS, «Traumatismos causados por el tránsito». [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- [7] ANT, «Visor de siniestralidad – Estadísticas – Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador – ANT». [En línea]. Disponible en: <https://www.ant.gob.ec/visor-de-siniestralidad-estadisticas/>
- [8] J. Brito Morocho, M. Amaya Pinos, L. López López, y F. Espinoza Molina, «Análisis estructural de un bus de dos pisos de larga distancia durante colisiones», *ings*, ene. 2022, doi: 10.17163/ings.n28.2022.06.
- [9] H. Hans, «Correlation of occupant injuries in traffic accidents and dummy responses in mathematical simulations», *Accident Analysis & Prevention*, vol. 26, n.º 3, pp. 277-286, jun. 1994, doi: 10.1016/0001-4575(94)90001-9.
- [10] R. Lopes *et al.*, «Coach crashworthiness and failure analysis during a frontal impact», *Engineering Failure Analysis*, vol. 151, p. 107369, sep. 2023, doi: 10.1016/j.engfailanal.2023.107369.
- [11] K. Wilde, A. Tilsen, S. Burzyński, y W. Witkowski, «On estimation of occupant safety in vehicular crashes into roadside obstacles using non-linear dynamic analysis», *MATEC Web Conf.*, vol. 285, p. 00022, 2019, doi: 10.1051/mateconf/201928500022.
- [12] D. Worby, «Accidentes de Automóvil y Latigazo Cervical». [En línea]. Disponible en: <https://www.wvelaw.com/espanol/blog/2019/09/09/accidentes-de-automovil-y-latigazo-201535>
- [13] H. Chen, A. Kim, y J. Wood, «Adult occupant injury risk in rear impact and frontal impact: Effect of impact conditions and occupant-related factors», *Traffic Injury Prevention*, vol. 23, n.º 4, pp. 176-180, ene. 2022, doi: 10.1080/15389588.2022.2034797.
- [14] ONU, «Reglamento no 66 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) — Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros por lo que respecta a la resistencia de su superestructura», 2010.
- [15] «LATIN NCAP». [En línea]. Disponible en: <https://www.latinncap.com/es/nuestros-enayos/pasajero-adulto/impacto-frontal>