



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO DE UNA BARANDA DE SEGURIDAD PARA CARRETERAS CON
RESPECTO A VEHÍCULOS TIPO SUV**

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

AUTORES: CHRISTIAN ANDRÉS CASTILLO MUÑOZ
BRYAM SEBASTIÁN FAJARDO JUCA
TUTOR: ING. MARCO ESTEBAN AMAYA PINOS, MSc.

Cuenca - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Christian Andrés Castillo Muñoz con documento de identificación N° 0107349508 y Bryam Sebastián Fajardo Juca con documento de identificación N° 0107087587; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos 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.

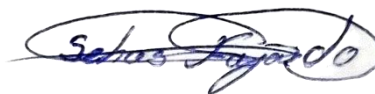
Cuenca, 19 de febrero del 2024

Atentamente,



Christian Andrés Castillo Muñoz

0107349508



Bryam Sebastián Fajardo Juca

0107087587

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

Nosotros, Christian Andrés Castillo Muñoz con documento de identificación N° 0107349508 y Bryam Sebastián Fajardo Juca con documento de identificación N° 0107087587, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo científico: “Diseño de una baranda de seguridad para carreteras con respecto a vehículos tipo SUV”, 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, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

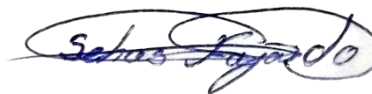
Cuenca, 19 de febrero del 2024

Atentamente,



Christian Andrés Castillo Muñoz

0107349508



Bryam Sebastián Fajardo Juca

0107087587

DISEÑO DE UNA BARANDA DE SEGURIDAD PARA CARRETERAS CON RESPECTO A VEHÍCULOS TIPO SUV DESIGN OF A ROAD SAFETY GUARRAIL FOR SUV TYPE VEHICLES

Christian C. Muñoz¹, Bryam F. Juca²

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo el planteamiento de un diseño de baranda de seguridad enfocado a las carreteras de la zona austral del Ecuador en donde existe la presencia de precipicios en las cuales los vehículos sufren descarrilamientos dejando víctimas mortales, esta investigación se fundamenta en normativas ecuatorianas y normas que estén enfocados plenamente en el comportamiento de una baranda de seguridad vial tipo W simple, además del diseño de una baranda de seguridad vial y un análisis por medio de elementos finitos que permite verificar la resistencia de la baranda que no sobrepase el límite crítico hasta llegar a su ruptura al momento de un impacto de un vehículos tipo SUV y así mantener el vehículo dentro de la vía, salvaguardando la vida de los ocupantes. Para el planteamiento del diseño se considera datos importantes como son las propiedades mecánicas del material, la velocidad de impacto del vehículo, deformaciones y esfuerzos generados durante el impacto, factor de seguridad todo esto fundamentado en la norma ecuatoriana NTE INEN 2473-2013.

Palabras Clave: Baranda de seguridad vial, elementos finitos, impacto, normativa, simulación, vehículo tipo SUV.

Abstract

The present investigation has as objective the approach of a safety railing design focused on the highways of the southern zone of Ecuador where there is the presence of precipices in which the vehicles suffer derailments leaving mortal victims, this investigation is based on Ecuadorian regulations and norms that are fully focused on the behavior of a road safety railing type W simple, In addition to the design of a road safety guardrail and an analysis by means of finite elements that allows verifying the resistance of the guardrail does not exceed the critical limit until reaching its rupture at the moment of an impact of an SUV type vehicle and thus keep the vehicle on the road, safeguarding the life of the occupants. For the design approach we consider important data such as the mechanical properties of the material, the impact speed of the vehicle, deformations and stresses generated during the impact, safety factor, all based on the Ecuadorian standard NTE INEN 2473-2013.

Keywords: Road safety guardrail, finite elements, impact, regulations, simulation, SUV type vehicle.

¹ Carrera de ingeniería automotriz, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador, Autor por correspondencia: bfajardoj@est.ups.edu.ec, ccastillom2@est.ups.edu.ec

1. Introducción:

La seguridad vial tiene un sinnúmero de desafíos por superar, por lo cual se optan por diversas maneras de contrarrestar las pérdidas humanas por accidentes vehiculares.

Se toma en cuenta factores como el clima, el deterioro de las carreteras y la irresponsabilidad de los conductores entre otros, que cobra un alto precio en vidas humanas y accidentes graves [1].

Es muy conocido que vehículos pierden pista invadiendo objetos naturales al borde de las carreteras y representan una proporción significativa de muertes en carretera [2].

Para contrarrestar diversos acontecimientos las barreras de seguridad son implementadas para prevenir la ocurrencia de eventos peligrosos y tratar de mitigar los daños en caso de que ocurrido [3].

La realidad geográfica de un país montañoso como el Ecuador brinda una complejidad a la seguridad vial, ya que al contar con carreteras serpenteantes, pendientes pronunciadas y curvas cerradas exigen ideas ingeniosas con enfoque a la mejora continua, como son las barandas de seguridad tipo W simple que puede evitar accidentes catastróficos [4].

Las barreras buscan la forma de evitar accidentes considerando estrategias viables para mejorar el medio ambiente como son las barreras verdes tratan de evitar contaminación del aire [5]. La barrera rodante que absorbe la fuerza de impacto y la convirtiendo en energía rotacional, evitando así accidentes fatales [6].

Sin embargo, la tragedia de accidentes de tránsito es más pronunciados entre adultos jóvenes de 18 a 25 años [7]. Lo que nos demuestra la nota técnica de tránsito de la ANT 2023 revela la cruda realidad sobre los accidentes del año, incitando a la búsqueda de soluciones más efectivas. Es aquí donde entra la innovación, el software de pruebas

y la determinación de diseñar barreras de seguridad que no solo cumplan con normativas, sino que superen expectativas.

Con esto se busca garantizar la seguridad en las carreteras ecuatorianas, tomando un análisis con respecto a los vehículos SUV como vehículo de prueba, ya que son populares en el Ecuador [8], se resalta la necesidad de adaptarse a las alturas y peso del vehículo.

La investigación se centra en la innovación de las barandas de seguridad, donde se elige la baranda de perfil W de acero galvanizado como elemento inicial para la propuesta de un nuevo diseño, para lo cual se rige en la respectiva normativa [9].

En la realización de los análisis, se considera una velocidad de 90 km/h, velocidad permitida en las carreteras, como parámetro de referencia. El propósito de esta elección es actualizar el diseño de las barandas, incorporando características mejoradas, entre ellas, la incorporación de un soporte adicional en la parte posterior, lo cual busca fortalecer la capacidad de retención de las barandas, asegurando una mejor respuesta ante impactos a esta velocidad

2. Materiales y Métodos:

En la investigación planteada abarca diversos métodos que contribuyen en la resolución. En primer lugar, se considera la recopilación de información necesaria, basada en diferentes diseños existentes con el mismo propósito. Esta recopilación se realiza teniendo en cuenta las normativas establecidas para las barandas de seguridad. La información obtenida, proveniente de diversos autores en el ámbito de las barandas de seguridad vial, proporciona un sólido fundamento teórico.

En un segundo punto, se presenta el diseño propuesto para la baranda de seguridad. Este diseño incluye la incorporación de cables que atraviesan longitudinalmente toda la parte posterior de la baranda, con el objetivo de brindar un segundo

punto de apoyo y prevenir el descarrilamiento del vehículo en caso de impacto. Para este fin, se han establecido parámetros iniciales, tales como la velocidad del vehículo de 90 Km/h y el ángulo de impacto de 20° entre el vehículo y la baranda.

Para validar esta propuesta se modela en tres dimensiones para posteriormente realizar el análisis computacional del diseño propuesto de la baranda de seguridad vial tipo W simple, junto con su respectiva modificación, para validar su funcionalidad.

El software utilizado ofrece diversas soluciones que abarcan todo el proceso de desarrollo del producto incluyendo la creación, diseño, simulación, fabricación, publicación y gestión de los datos del proceso de diseño. Se consideraron varios factores como es el peso del vehículo, la velocidad que es permitida circular en las vías ecuatorianas, el tiempo de reacción de un conductor, el tipo de material. El diseño se ajustó a las normativas pertinentes para garantizar que la baranda cumpla su objetivo de salvaguardar la vida de los ocupantes. Posteriormente, se realiza un análisis mediante elementos finitos para verificar la calidad del diseño de la baranda de seguridad vial.

2.1 Normativas referentes a las barandas de seguridad:

Es importante consultar las normativas y estándares específicos de seguridad vial según el país para obtener información precisa sobre los requisitos para el diseño de barandas de seguridad. En muchos casos, estos estándares estarán basados en normativas internacionales, pero también pueden incluir requisitos adicionales o variaciones específicas según las condiciones locales.

2.1.1 Normativa UNE EN 1317-2011:

La normativa certifica la calidad y seguridad de los sistemas de contención de vehículo. En este proyecto esta normativa es utilizada para

establecer los requisitos de seguridad y métodos de ensayo y de resistencia para dispositivos de contención de vehículos de carreteras, como barreras de seguridad.

2.1.2 Normativa NTE INEN 2473-2013:

En esta norma establece los requisitos mecánicos, de recubrimiento y dimensionales que deben cumplir los perfiles corrugados, separadores, terminales, transiciones, elementos de fijación y postes de acero para el uso como protección lateral en las vías terrestres [9]. En si esta normativa se utiliza para poder establecer los requisitos del diseño, altura mínima de la baranda, espacio entre barrotes o elementos verticales, materiales y los métodos de instalación de las barandas de seguridad

Para realizar el análisis computacional se toma en cuenta las normativas previamente ya estudiadas y colocadas en la tabla 1.

Tabla 1: Normativas de barandas de seguridad.

Objeto	Tipo	Norma
Barrera	Tipo W	UNE EN 1317-2011
Barandal	Tipo simple	UNE EN 1317-2011
Vehículo	Tipo SUV	
Instalación	Placas de anclaje	NTE INEN 2473-2013

Para realizar la simulación por medio de elementos finitos se considera los valores indicados en la tabla 2.

Tabla 2: Datos utilizados para la realización del ensayo.

Dato	Valor
Peso del vehículo	1487 kg
Tiempo de reacción del conductor	1.5 s
Factor de seguridad	3
Velocidad del vehículo	90 km/h

Coefficiente de rozamiento en asfalto (Con llantas con desgaste)	0.7
--	-----

2.2 Cálculos para el Diámetro del Cable de contención:

Datos:

- Marca del vehículo: Sonet.
- P: 1487 kg.
- V: 90 Km/h = 25 m/s.
- t: 1.5 s.
- F.S: 3.
- μ : 0,7.

Diagrama de Cuerpo Libre:

La representación gráfica es una gran herramienta para un mejor entendimiento del comportamiento de un cuerpo en movimiento como lo demuestra la figura 1.

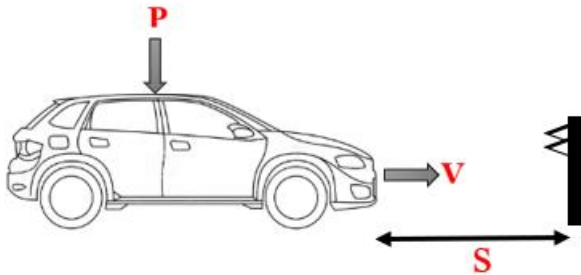


Figura 1: Diagrama de cuerpo libre del SUV con respecto a la baranda de seguridad.

Se calcula la distancia de reacción:

$$s_s = V \cdot t \quad (1)$$

$$s_s = 25m/s \cdot 1.5 s$$

$$s_s = 37.5m$$

La distancia de frenado viene dada por:

$$s_f = \frac{V^2}{2g\mu} \quad (2)$$

$$s_f = \frac{(25m/s)^2}{2(9.81m/s^2)(0.7)}$$

$$s_f = 45,5 m$$

Considerando la distancia de seguridad, se obtiene:

$$s_s = V \cdot t + \frac{V^2}{2g\mu} \quad (3)$$

$$s_s = 25 m/s \cdot 1.5 s + \frac{(25 m/s)^2}{2 \cdot (9.81m/s^2) \cdot (0.7)}$$

$$s_s = 83 m$$

Con los valores obtenidos de (1), (2) y (3) se calcula la velocidad de colisión:

$$V_{col} = \sqrt{V^2 - 2g\mu + (-V \cdot t + s_s)} \quad (4)$$

$$V_{col} = 0,321m/s$$

Los datos obtenidos permiten obtener la fuerza del impacto, la cual se indica a continuación:

$$F = m \cdot b_1 \left[b_0 + b_1 \cdot \frac{\sqrt{V^2 - 2g\mu + (-V \cdot t + s_s)} - b_0}{b_1} \right] \quad (5)$$

$$F = 1487 kg \cdot (0.689 km/h \cdot cm) \cdot \left[2.93 m/s + 0.689 km/h \cdot cm \cdot \frac{\sqrt{56.76 m/s - 2.93 m/s}}{0.689 km/h \cdot cm} \right]$$

$$F = 1487 \text{ kg} \cdot (0.689 \text{ km/h} \cdot \text{cm}) \cdot (0.321 \text{ m/s})$$

$$F = 9131.27 \text{ kg m/s}^2$$

$$F = 9131.27 \text{ N}$$

- **Tipo de cable:**

El material a utilizar en el cable de contención es de acero galvanizado, esto debido a las propiedades mecánicas y anticorrosivas que posee. A continuación, se indica los datos iniciales para el planteamiento del cálculo a efectuar:

- $L = 1.905 \text{ m}$.
- $\sigma_{ult} = 275 \text{ MPa}$.
- $F.S = 3$.

Con los valores iniciales se calcula σ_{perm} :

$$F.S = \frac{\sigma_{ult}}{\sigma_{perm}} \quad (6)$$

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_{ult}}{F.S}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{275 \text{ MPa}}{3}$$

$$\sigma_{perm} = 91,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{perm} = 92 \text{ MPa}$$

- **Diagrama de Cuerpo Libre del Cable de Contención:**

Para un mejor entendimiento de la distribución de fuerzas, se representa mediante un diagrama de cuerpo libre como en la figura 2.

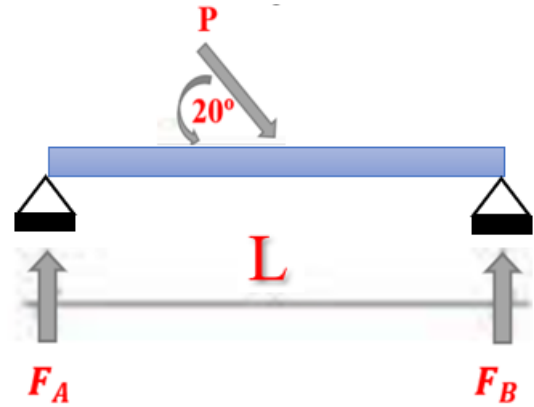


Figura 2: Diagrama de cuerpo libre del cable de contención.

- **Datos Iniciales:**

- $P: 9131.27 \text{ N}$.
- $L: 1.905 \text{ mm}$.
- $\theta: 20^\circ$.

En primer instante se realiza la sumatoria de momentos en A:

$$\sum MF_A = 0$$

$$1,905 \cdot (F_B) - 0,9525 \cdot \sin 20 \cdot (9131,27 \text{ N}) = 0$$

$$F_B = 1561,54 \text{ N}$$

Al calcular la fuerza F_B se determina que la fuerza F_A es igual ya que la estructura es simétrica y se realiza el diagrama de cortante para tener minar como actúan las fuerza a lo largo del cable como se observa en la figura 3.

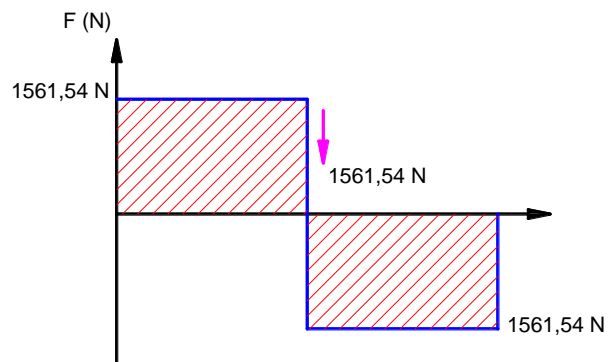


Figura 3: Diagrama de cortante

En la figura 4, se representa el máximo momento flector a lo largo de la viga para el diseño del cable de contención, dando un valor de momento flector crítico de 1486,85 kN·mm.

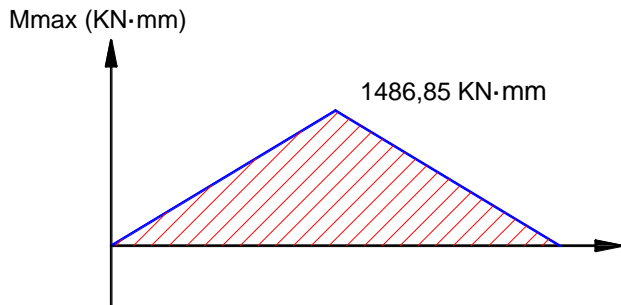


Figura 4: Diagrama del momento flector.

Con el momento máximo se obtiene el radio del cable de contención (c).

$$\sigma_{perm} = \frac{M * c}{I} \quad (7)$$

$$\sigma_{perm} = \frac{M * c}{\left(\frac{\pi}{4} c^4\right)}$$

$$c = 26.8 \text{ mm}$$

$$\varnothing = 53.71 \text{ mm}$$

- **Diseño propuesto de la Baranda de Seguridad:**

El diseño propuesto está constituido por un poste de anclaje, figura 5, el cual mantiene estable y firme a la baranda, además está constituido por 4 orificios en donde será empotrado el cable de contención lo cual ayudará a una mayor resistencia y absorción de impacto.



Figura 5: Poste de anclaje.

En la figura 6 indica los separadores de la baranda, que se encarga de distanciar y fijar el poste con la baranda.

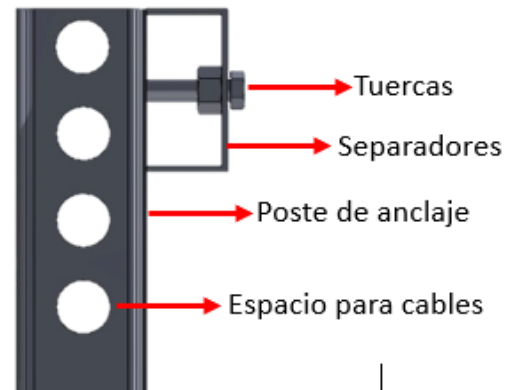


Figura 6: Separadores.

El diseño de la baranda se observa en la figura 7, es una de las partes más importantes ya que soporta el impacto del vehículo y absorbe el impacto generado.

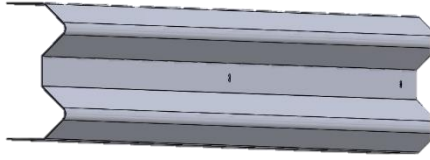


Figura 7: Baranda tipo W.

El diseño de la baranda sin los cables empotrados se muestra en la figura 8.

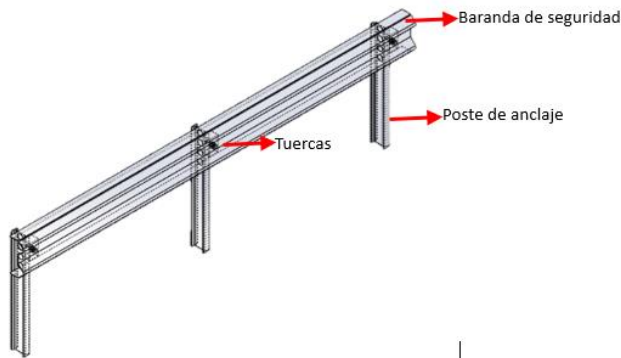


Figura 8: Diseño de la baranda de seguridad.

En la figura 9 se observa ya el diseño completo de la baranda, es decir con los cables de contención ensamblados, este es el diseño que se efectúa el análisis por medio de elementos finitos para estudiar su efectividad ante una colisión con un vehículo tipo SUV.

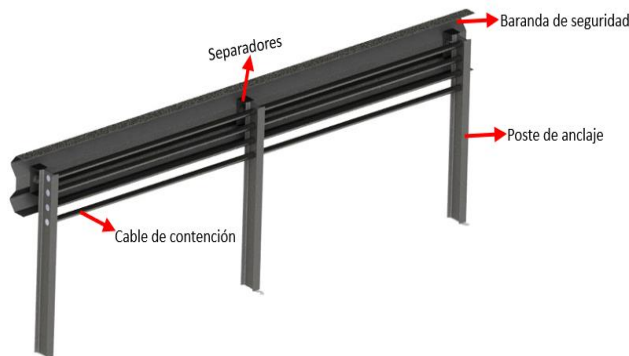


Figura 9: Diseño de la baranda de seguridad.

3. Resultados y discusiones

La simulación por medio de elementos finitos se lo realiza con la utilización del software ANSYS Ls – Dyna, en donde se analiza el comportamiento de la baranda en una situación de colisión.

3.1 Deformación

La deformación alcanzada por la baranda de seguridad frente a un impacto a 90 km/h es de 840 mm como se visualiza en la figura 10 y 11, lo que resulta fundamental para evitar que el vehículo abandone por completo la calzada. Esta característica se traduce en una mayor eficacia en la mitigación de posibles impactos, al tiempo que asegura la contención del vehículo dentro de los límites de la carretera, optimizando así la seguridad vial.

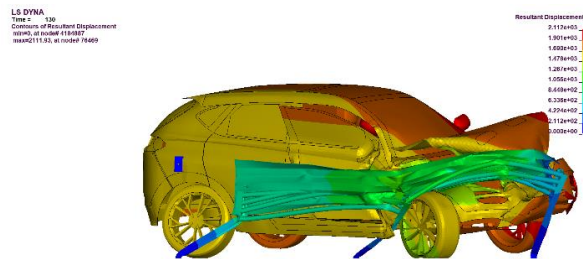


Figura 10: Deformación obtenida durante la colisión.

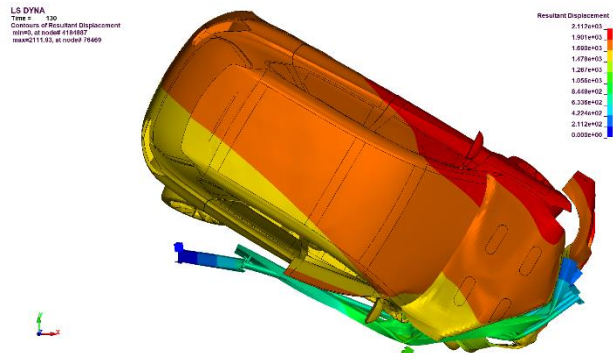


Figura 11: Deformación obtenida durante la colisión, vista superior.

La deformación obtenida en función del tiempo de simulación se puede ver en la figura 12. La deformación resultante no sobrepasa la zona plástica del material, razón por la cual puede llegar a recuperar su forma inicial [10].

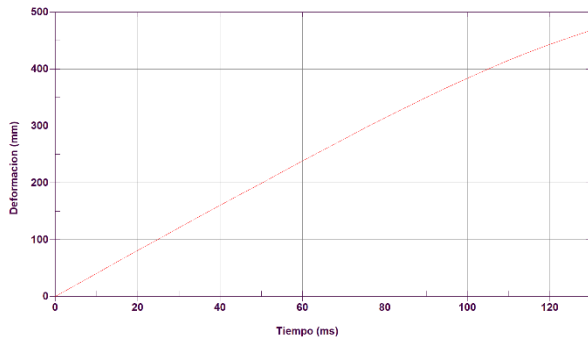


Figura 12: Diagrama de deformación.

3.2 Esfuerzos

Durante el impacto vehicular con la baranda de seguridad exhibe una excepcional capacidad de absorción de energía, evidenciada por el valor de esfuerzo obtenido, aplicando el criterio de Von Mises da un valor máximo de $9.478 \times 10^{-1} \text{MPa}$, figura 13 y 14, eso demuestra que no sobrepasa el límite de fluencia de 92 MPa del material de los cables de contención, manteniéndose en una zona plástica estable, eso quiere decir que la baranda actúa como una barrera protectora, desempeñando un papel crucial al evitar la pérdida de control del vehículo y su potencial salida de la vía.

La capacidad de absorción de la baranda contribuye así a la preservación de la integridad estructural del vehículo y a la seguridad vial al mantener el SUV dentro de los límites de la carretera, minimizando los riesgos asociados con el impacto [10].

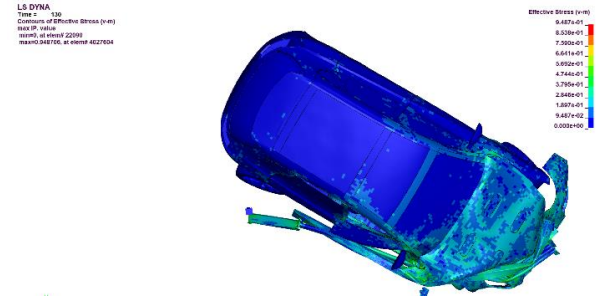


Figura 13: Esfuerzos obtenidos durante la colisión del vehículo.

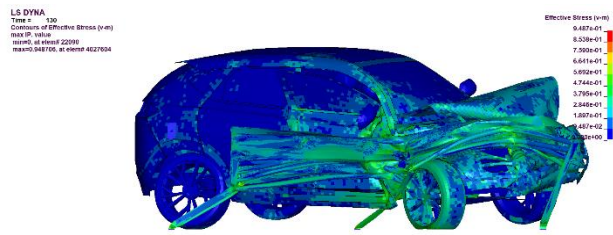


Figura 14: Esfuerzos obtenidos durante la colisión del vehículo.

3.3 Diagrama de energías

El análisis de las energías involucradas durante el impacto del vehículo tipo SUV contra la barrera de seguridad se indican en la figura 15, se puede observar los valores resultantes de la energía cinética, interna y de Hourglass.

La energía de Hourglass se mantiene por debajo del 5% de la energía total, con un máximo de 0.586%, indicando una eficiente absorción de energía, esto indica la capacidad del sistema para gestionar las fuerzas, traducándose en una respuesta estructural favorable y mayor eficacia en la prevención de la salida del vehículo de la vía.

La energía cinética, figura 15, es el resultado de la energía asociada al movimiento del vehículo antes y durante la colisión. En este escenario, la energía cinética se disipa y se transforma durante el impacto, evidenciando la capacidad de la barrera de seguridad para absorber y redistribuir eficientemente dicha energía, mitigando así la magnitud del impacto [11].

La energía interna, por otro lado, refleja la energía asociada a las deformaciones y cambios internos en la estructura del vehículo y la barrera durante el choque. Este componente de energía es esencial para evaluar la capacidad del sistema para

absorber y gestionar las fuerzas internas generadas, minimizando así el riesgo de daño estructural significativo [11].

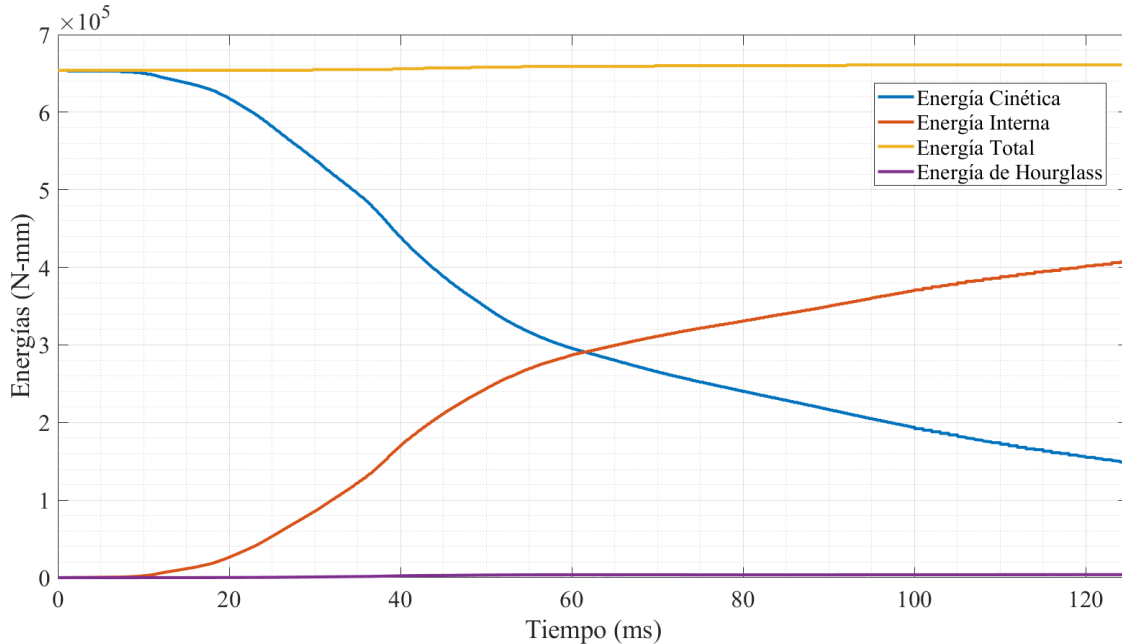


Figura 15: Energías obtenidas durante el impacto.

4. Conclusiones:

- La mayor cantidad de accidentes, van ligados a diversos factores y el objetivo es mitigar los daños con el diseño y mejora de sistemas de seguridad vial dando paso al diseño y ensayo de la barrera de seguridad por lo cual permite verificar que el material sea el correcto y sus características sean las adecuadas para el trabajo requerido.
- El diseño propuesto, brinda mayor confiabilidad, ya que al tener un refuerzo en la parte posterior de cuatro cables esto permite retener al vehículo y que la fuerza de impacto se logre disipar en la estructura de la baranda evitando su descarrilamiento.
- Con los datos obtenidos, se pudo verificar que el esfuerzo de fluencia de los cables de 92 MPa es mayor al valor del esfuerzo generado de 9.478×10^{-1} MPa, es decir, que el material cumple con su función de retener y mantener

el vehículo en la vía, manteniéndose en una zona plásticas estable.

- Con respecto a los diagramas de energía se obtiene un valor de 0,586% de energía de Hourglass que indica un adecuado análisis, además de la eficiencia absoluta en la prevención de la salida del vehículo en la vía, al igual que la energía cinética al absorber y redistribuir eficientemente dicha energía logrando mitigar la magnitud del impacto
- Se observa que la deformación es de 844 mm demostrando que supera la zona elástica del material, pero no sale de la zona plástica estable lo que significa que la deformación se mantiene y evita el desbordamiento del vehículo.
- Se concluye que el diseño de la baranda puede soportar 1500 kg al impactar la baranda con un ángulo de 20° y una velocidad 90 km/h, evitando pérdidas humanas y mantiene el vehículo dentro de la carretera, esta baranda soporta livianos si ningún problema y los tipos SUV, furgonetas y camiones no soportaría.

5. Referencias

- [1] D. E. E. M. César Villa, «Factores que inciden en la siniestralidad vial en el Ecuador,» *mktDESCUBRE Comercialización, investigación y Negocios*, vol. 1, n° 14, 02 Dic 2019.
- [2] M. Budzynski, K. Jamroz, K. Wilde, W. Witkowski, L. Jelinski y D. Bruski, «The role of numerical tests in assessing road restraint system functionality,» *European Transport Research Review*, vol. 12, May 2020.
- [3] Y. Liu, «Safety barriers: Research advances and new thoughts on theory, engineering and management,» *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, September 2020.
- [4] C. Telenchana, S. López, G. Novillo y I. Caicedo, «Analysis of the Impact Resistance of a Sample of Simple Safety Railings Used on Highways,» *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, August 2022.
- [5] X. Chen, J. Wu, W. Yang, Z. Wang, S. Chen, X. Hu, K. Lu, Z. Fan, M. Lin y P. Chen, «Measuring and modeling the effects of green barriers on the spatial distribution of fine particulate matter at roadside,» *Urban Climate*, vol. 52, p. 101727, November 2023.
- [6] E. Shaffie, N. M. Mohd Zin, F. Shiong, A. K. Arshad y J. Ahmad, «A Study On the Effectiveness of Rolling Barrier System at Straight Road and Curved Road: A Review,» *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 15, April 2023.
- [7] F. La Torre, C. Erginbas, R. Thomson, G. Amato, B. Pengal, C. Stefan y G. Hemmings, «Selection of the Most Appropriate Roadside Vehicle Restraint System – The SAVeRS Project,» *Transportation Research Procedia*, vol. 14, p. 4237–4246, 2016.
- [8] A. RODRÍGUEZ, «Ecuavisa,» 16 Enero 2024. [En línea]. Available: <https://www.ecuavisa.com/noticias/economia/venta-carros-2023-ecuador-CX6635422>. [Último acceso: 19 Enero 2024].
- [9] Instituto ecuatoriano de normalización , NTE INEN2473:2013, Quito, 2013, Mayo.
- [10] S. A. S. M. Mesías Freire, «Análisis de Impacto Frontal, Lateral y Posterior de un Chasis Tubular Tipo,» *Polo del Conocimiento*, vol. 7, n° 1, p. 28, 2022.
- [11] 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,» *Ingenius*, January 2022.
- [12] M. Rezapour y K. Ksaibati, «Application of machine learning technique for optimizing roadside design to decrease barrier crash costs, a quantile regression model approach,» *Journal of Safety Research*, vol. 78, p. 19–27, September 2021.
- [13] E. Papadimitriou, A. Pooyan Afghari, D. Tselentis y P. van Gelder, «Road-safety-II: Opportunities and barriers for an enhanced road safety vision,» *Accident Analysis & Prevention*, vol. 174, p. 106723, September 2022.
- [14] A. Hossain, X. Sun, S. Islam, A. Rahman y S. Das, «Single-vehicle roadway departure crashes at rural two-lane highway curved segments: A diagnosis using pattern recognition,» *International Journal of Transportation Science and Technology*, October 2023.
- [15] S. Skibicki, A. Zieliński, V. Aguilar, P. E. Hurtado, M. Kaszyńska y A. Nowak, «Optimization of a temporary road traffic steel barrier using explicit finite element method and laboratory testing,» *Engineering Structures*, vol. 291, p. 116463, September 2023.

- [16] Y. García-Ramírez, J. Camacho y J. Montoya, «Uso del modelo iRAP para evaluar la seguridad vial en carreteras de dos carriles en Ecuador,» *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, vol. 4, p. 7–23, July 2021.