

Research Article

Analysis of the Impact Resistance of a Sample of Simple Safety Railings Used on Highways

Análisis de la Resistencia al Impacto de Una Muestra de Barandas de Seguridad Simple Usadas en Carreteras

Christian Telenchana^{1*}, Santiago López², Geovanny Novillo², and Isaías Caicedo²

¹Estudiante de la Carrera de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

²Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

ORCID

Christian Telenchana: 0000-0002-6314-6299

IV INTERNATIONAL
CONGRESS OF
ENGINEERING FACULTY OF
MECHANICS (IV COINTI
2021)

Corresponding Author:
Christian Telenchana; email:
sa_lopez@epoch.edu
ecchris-
tian.telenchana@epoch.
edu.ec

Published: 31 August 2022

Production and Hosting by
Knowledge E

© Christian Telenchana
et al. This article is distributed
under the terms of the
[Creative Commons](#)
[Attribution License](#), which
permits unrestricted use and
redistribution provided that
the original author and
source are credited.

Abstract

This study reviews the standards focused on the behavior of a simple W-type road safety railing, together with a test that simulates the side impact of a vehicle against the railing and a crash simulation in software similar to the test; taking into consideration the data on mass, speed, and angle of impact of the vehicle in a crash based on the UNE EN 1317-2011 Standard. The configuration of the test specimen had specific dimensions according to the Ecuadorian Standard NTE INEN 2473-2013. The test data were obtained through strain gauges, and visually. At the end of the work, simulation and impact test results were obtained, which showed that a light vehicle in the specified conditions can be redirected by a simple W-type safety rail and can avoid catastrophic accidents considering the limits mentioned in the work.

Keywords: rule, safety railing, side impact, strain gauge.

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue revisar normas enfocados en el comportamiento de una baranda de seguridad vial de tipo W simple, junto con un ensayo que simuló el impacto lateral de un vehículo contra la baranda y una simulación de choque en software similar al ensayo; tomando en consideración datos de masa, velocidad y ángulo de impacto del vehículo en un choque basado en la norma UNE EN 1317-2011. La configuración de la probeta de ensayo tuvo dimensiones específicas según la norma ecuatoriana NTE INEN 2473-2013, Los datos del ensayo se obtuvieron mediante galgas extensiométricas y de forma visual. Al finalizar el trabajo se obtuvo resultados de la simulación y del ensayo de impacto, que demostraron que un vehículo liviano en las condiciones especificadas puede ser re dirigido por una baranda de seguridad tipo W simple y puede evitar accidentes catastróficos considerando los límites mencionados durante el trabajo.

Palabras Clave: norma, baranda de seguridad, impacto lateral, galgas extensiométricas.

 OPEN ACCESS



1. Introducción

El 40% de los accidentes en carreteras se producen por la falta de control y como consecuencia el despiste de los autos. Si no existen barreras de seguridad que contengan un vehículo fuera de control, esto puede ocasionar el vuelco de los mismos, impactos con otros vehículos, y víctimas peatonales [1]. La simulación de un choque frontal de un vehículo contra diferentes tipos de barrera, puede mostrar un amplio estudio de los materiales utilizados en las barandas, como se encuentra en el trabajo denominado criterios para la restauración de barreras longitudinales añadida en el reporte 656 NCHRP [2], Para los ensayos, el informe 350 NCHRP presentado por [3], presenta el procedimiento y recomendaciones para evaluar el desempeño de seguridad de dispositivos viales. Igualmente, con la finalidad de presentar como es el comportamiento de las barreras de seguridad en servicio para conocer su desempeño real y el nivel de protección brindado al usuario de la vía, es necesario el uso de una guía para la ubicación, selección, y diseño de barreras de seguridad vial [4]. Para obtener los valores del ensayo experimental se coloca galgas extensiométricas según la recomendación del trabajo Pendulum Impact Testing of Steel W-Beam Guardrail, FOIL Test Numbers: 94P023-94P027, 94P030, and 94P031 [5], Finalmente, mediante ensayos de impacto se puede indicar que, en un incidente real de impacto de barandas de vehículos, todo el sistema de barandas, incluido el poste de la barrera de vigas y la interacción posterior a la cimentación, reacciona para disipar la energía del impacto [6]. Las barreras para redirigir vehículos fuera de control en la carretera están experimentando varias mejoras, independientemente del cambio en el tipo de barrera y la configuración, es necesario evaluar el impacto de la fricción entre varias barreras y el automóvil, se cree que esto influye en el movimiento del automóvil después de la colisión [7].

2. Materiales y Métodos

Para realizar los ensayos y verificar si la baranda brinda seguridad al momento de producirse un impacto de un vehículo con la estructura, es necesario escoger el tipo de barandal adecuado y de uso exclusivo en las carreteras. La selección se basa según el tipo de barandal más utilizado en las carreteras, según estudios previos se conoce que el barandal más utilizado es el de perfil W de acero galvanizado, un segundo punto a considerar es la velocidad permitida, la cual indica que si en la carretera existe un flujo estable la velocidad permitida es de 80km/h, como tercer punto, la información sobre qué tipo de vehículos transitan más en las carreteras a la velocidad mencionada, como resultado se obtuvo que el vehículo liviano transita en mayor número en las



carreteras, y como último punto se analizó el tipo de siniestros que se producen en las carreteras, en la cual según datos obtenidos de la agencia nacional de tránsito no indica que los choques laterales de los vehículos contra un baranda de seguridad son las más comunes.

Para el ensayo se utiliza el barandal de tipo W, considerando que el material de la estructura de la baranda presenta un comportamiento estructural estable para este tipo de choques, la configuración es de tipo simple con postes de perfil C de dimensiones específicas para la instalación y el ensamblaje, los pernos y las tuercas se basan en el diseño brindado por la norma ecuatoriana NTE-INEN 2473. Para la instalación del barandal, es necesario el uso de unas placas de anclaje siguiendo la norma [8], esta norma nos indica la configuración de la placa con sus respectivas recomendaciones para el diseño. Por lo tanto, la principal contribución de esta investigación es presentar como es el comportamiento de un barandal de seguridad al impactar un impactador que simula el choque lateral de un vehículo liviano con una masa específica, velocidad y ángulo entregados según la norma [9], de igual forma se presenta información sobre el procedimiento basado para la simulación numérica, del tipo dinámico no lineal, que permitan recrear las condiciones de impacto.

2.1. Normativa referente a la resistencia en un impacto

Para realizar la simulación y los ensayos experimentales, nos basamos en las siguientes características referidas a la estructura del barandal e impactador según las normas especificadas en la Tabla 1:

Table 1

Características generales de la estructura del barandal.

Objetivo general	Asignación	Norma
Barrera	Barandal tipo W	UNE EN 1317-2011
Barandal	Tipo simple	UNE EN 1317-2011
Vehículo	Tipo liviano	UNE EN 1317-2011
Instalación	Placas de anclaje	NTE INEN 2473-2013

Los datos exigidos por la norma UNE EN 1317-2011, y los valores calculados mediante modelos matemáticos que se utilizaron para realizar los ensayos de impacto se resume en la Tabla 2.

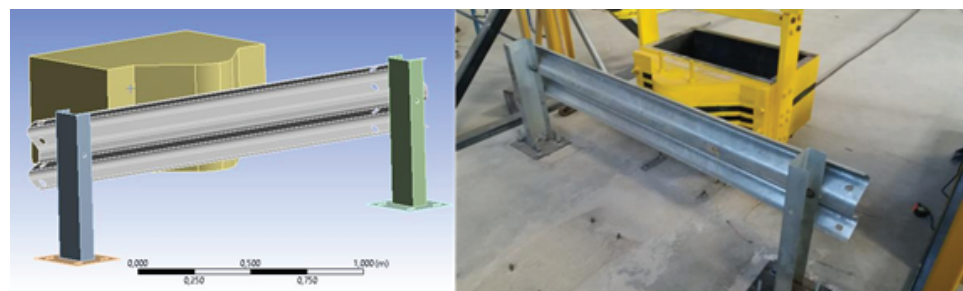
Table 2

Datos utilizados para realizar el ensayo de impacto.

Variables del choque	Valor	Norma
Velocidad del vehículo	80 km/h	UNE EN 1317-2011
Ángulo de impacto	8°	UNE EN 1317-2011
Velocidad lateral del vehículo	3,09 m/s	NCHRP 656 Y 350
Ángulo de elevación en el péndulo	26,99°	CALCULADO
Masa del impactador	1300 kg	UNE EN 1317-2011
Altura del poste desde la placa de anclaje al centro de gravedad del barandal	0,5 m	NTE INEN 2473-2013

2.2. Estructura utilizada en el ensayo y la simulación

En esta etapa se configuran todas las características del modelo para la ejecución de la simulación. Para la creación de la geometría que se utilizara para el análisis se lo realizara en el programa SOLIDWORKS, todo en base a las medidas necesarias para la simulación, posteriormente se realiza el correspondiente ensamblaje de cada elemento. En la fig. 1 se observa el ensamble completo para la simulación y el ensayo experimental.

**Figure 1**

Geometría del bosquejo simulación vs experimental.

2.3. Condiciones de borde y especificaciones de la norma

Las condiciones de estudio para la simulación son las siguientes:

2.3.1. Velocidad de Impacto que resiste la baranda

La velocidad del impactador se establecerá mediante el uso de coordenadas, el uso de dos componentes porque el impacto viene dado en un ángulo establecido según la

norma UNE-EN 1317:2011. Por esto para realizar el ensayo y la simulación es necesario mencionar que la velocidad de estudio es de 80km/h pero este valor indica la velocidad del vehículo al impactarse con el barandal, para el impacto en este ensayo se ocupa un impactador que simula un choque lateral del vehículo lo que nos indica que la velocidad de impacto del cuerpo con el barandal sería de 3,09 m/s en el eje x que será obtenido mediante un análisis trigonométrico en base al análisis de la Figura 2, este modelo de ensayo se basa en la publicación del NCHRP reporte 656.

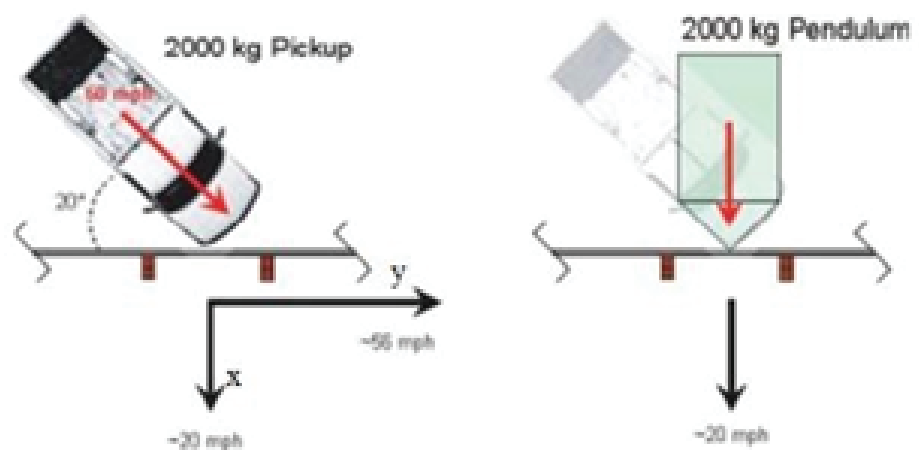


Figure 2

Informe análogo NCHRP 350 y péndulo escenarios de impacto.

2.3.2. Tiempo de impacto

El tiempo de impacto establecido es de 1.5 segundos con una totalidad de 2.5×10^6 ciclos de análisis. Este valor se establece para evitar un análisis innecesario para el tiempo de impacto. se basa en el criterio según [8], este trabajo referenciado marca un límite de tiempo necesario para observar el comportamiento del impacto de la baranda de seguridad.

2.3.3. Restricciones de movimiento de cada elemento

Primero se establece las partes fijas del bosquejo (de color azul) en este caso serán las placas de anclaje que están soldadas a los postes baranda y que están empernadas con la porta probetas. Para el impactador se establece una restricción de desplazamiento

(color amarillo) en la componente vertical y horizontal, sin estas restricciones puede generar errores en los resultados. Observe la Figura 3.

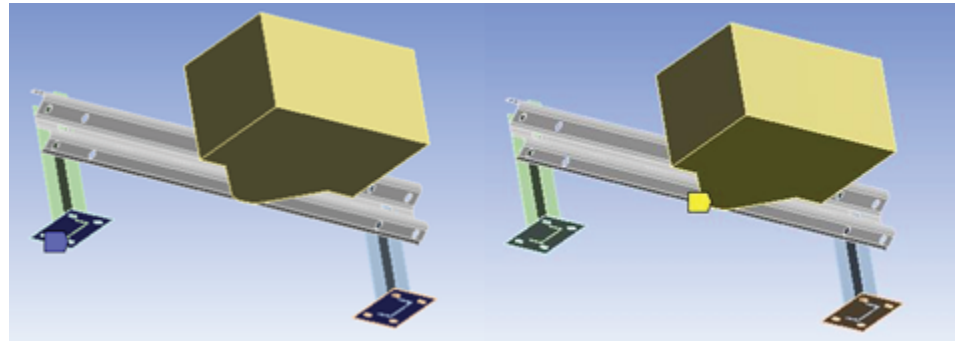


Figure 3

Soportes fijos y restricción de desplazamiento en el programa ANSYS.

3. Resultados

3.1. Comportamiento del barandal durante la simulación de impacto

En la Tabla 3 se puede observar el orden cronológico de la simulación y del ensayo real del impacto mediante el uso de imágenes con el objetivo de mostrar cómo se comporta el barandal durante el choque en los dos casos ya mencionados. Las imágenes empiezan en el tiempo indicado 0 s en la Tabla y presentan una variación de $1,5 \times 10^{-2}$ s entre cada imagen.

3.2. Flecha máxima

3.2.1. Resultados de la flecha máxima teórica

El valor de la deformación máxima que el barandal presenta después del impacto se obtuvieron mediante un análisis de elementos finitos en la simulación (ver Figura 4) y de forma visual en el ensayo de impacto.

En la Figura 10 se puede observar cómo se deforma el barandal simple durante el impacto hasta sufrir una deformación total del mismo, el valor obtenido de la simulación es de 0,19076m o 19,076cm. La probeta paso de su zona elástica a su zona plástica porque después del impacto el barandal no regresa a su forma original, pero el impactador no logra sobrepasar el barandal lo cual no indica que el barandal este tipo de impacto.

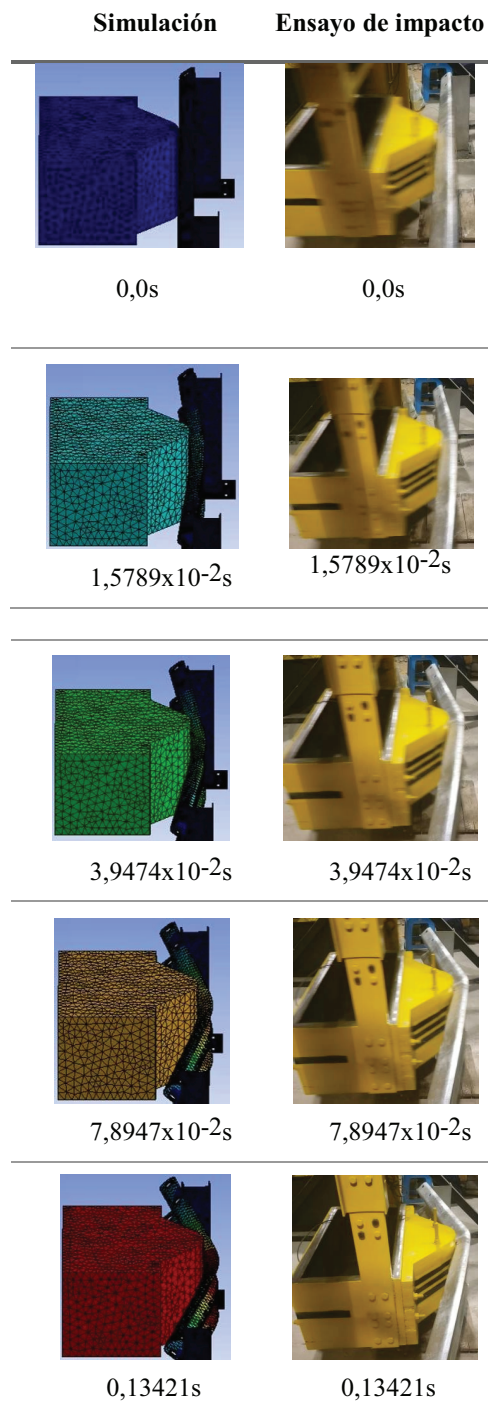


Figure 4

Comportamiento del barandal durante el impacto simulación vs ensayo.

3.2.2. Resultados de la flecha máxima experimental

Los valores obtenidos en el ensayo de impacto son los indicados en la Tabla 4:

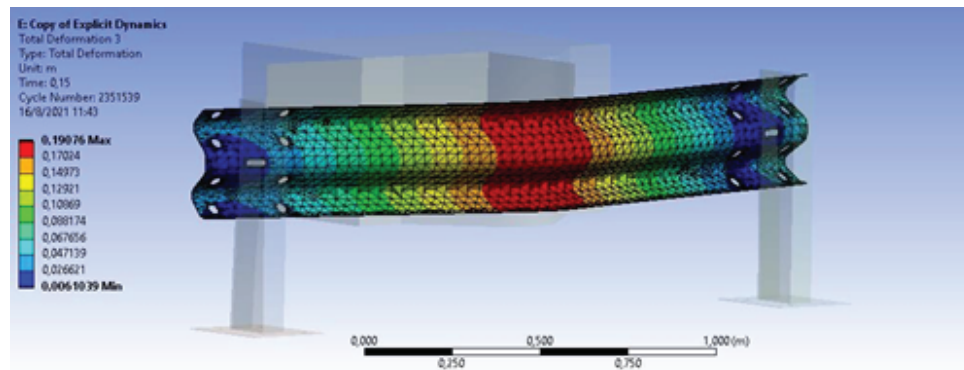


Figure 5

Resultados de la flecha máxima teórica.

Table 3

Resultados de flecha máxima experimental.

Probeta	Valor
1	18,4cm
2	18,8cm

Elaborado por: Christian Telenchana. **Fuente:** Autor.

3.3. Deformación unitaria

3.3.1. Resultados de la deformación unitaria teórica

El valor de la deformación unitaria que el barandal presenta después del impacto que se obtuvo mediante un análisis de elementos finitos en la simulación se presenta en la Figura 5.

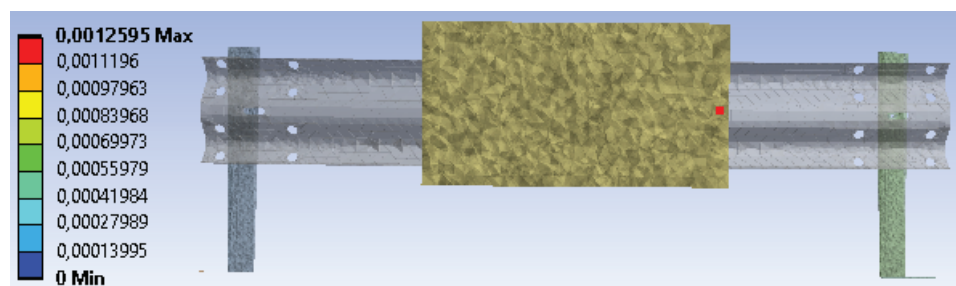


Figure 6

Resultados de la deformación unitaria teórica.

En la Figura 5 se puede observar cómo se deforma el barandal de tipo simple durante el impacto hasta sufrir una deformación unitaria del mismo, el valor obtenido es de 0,001259.

3.3.2. Resultados de la deformación unitaria experimental

Los valores obtenidos en el ensayo de impacto mediante el uso de galgas extensiométricas son las presentadas en la Tabla 5. En la probeta 1 y 2 se obtuvo el valor de la deformación unitaria en el punto de impacto.

Table 4

Resultados de la deformación unitaria experimental.

Probeta	Valor
1	0,001081
2	0,001121

Elaborado por: Christian Telenchana. **Fuente:** Autor.

3.4. Esfuerzo de von Mises

3.4.1. Resultados del esfuerzo de von Mises teórico

El valor del esfuerzo que el barandal presenta después del impacto que se obtuvo mediante un análisis de elementos finitos en la simulación es de $4,4057 \times 10^8$ Pa, y el valor en el punto del impacto donde se obtuvo la deformación unitaria es de 231,63 MPa, que se presenta en la Figura 6.

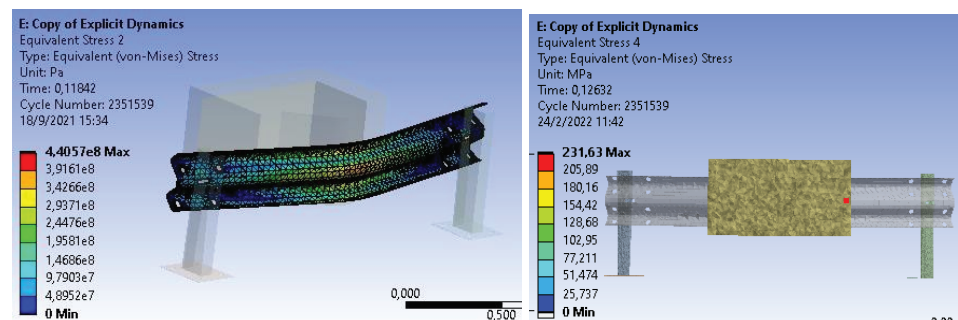


Figure 7

Resultados del esfuerzo de von Mises teórico.

El valor obtenido del esfuerzo de von Mises se compara con el valor mínimo de esfuerzo permitido antes de la ruptura total según la norma NTE INEN 2473-2013 en la Tabla 6 para determinar si el barandal resiste o no al impacto e indicaran si el barandal se encuentra en la zona plástica, es decir si el vehículo es redirigido después del choque.



Table 5

Comparación del esfuerzo de von mises teórico con el valor de la norma NTE INEN 2473-2013.

Límite mínimo de fluencia indicado en la norma NTE INEN 2473-2013	Esfuerzo máximo de von Mises obtenido de la simulación	Resistencia ultima a la tracción indicado en la norma NTE INEN 2473-2013	Llega a producirse una fractura
345 MPa	440,57 MPa	483 MPa	En el acero no llega a producirse una fractura pero muestra una deformación plástica elevada y notable lo cual indica que el material tiene un comportamiento de tipo de dúctil, el valor máximo de esfuerzo se presenta en los orificios donde se colocan los pernos y en las zonas donde se realizaron dobleces en el acero por la presencia de pequeños radios en este lugar es donde más se pueden producir grietas que pueden generar fallas.

Elaborado por: Christian Telenchana. **Fuente:** Autor.

3.4.2. Resultados del esfuerzo de von Mises experimental

De igual forma se obtuvo los resultados del valor del esfuerzo del ensayo de impacto presentado en la Tabla 7 para determinar si el barandal cumple con el objetivo de direccionar el vehículo.

Table 6

Resultados experimentales del esfuerzo de von Mises.

Esfuerzo máximo de von mises obtenido del ensayo
231,44347 MPa Probeta 1
231,72345 MPa Probeta 2

Elaborado por: Christian Telenchana. **Fuente:** Autor.

3.5. Validación de los resultados

En la simulación se puede observar como el barandal resiste al impactador y este es rechazado, mediante la Figura 7 se explicará el comportamiento del modelo en el programa ANSYS. Se puede observar como varía la energía cinética (línea morada) del impactador y la energía interna (línea celeste) del sistema. De igual forma se debe cumplir una recomendación en cuanto al valor máximo de la energía de fricción y la energía Hourglass las cuales deben ser menor al 10% de la energía total del ensayo.

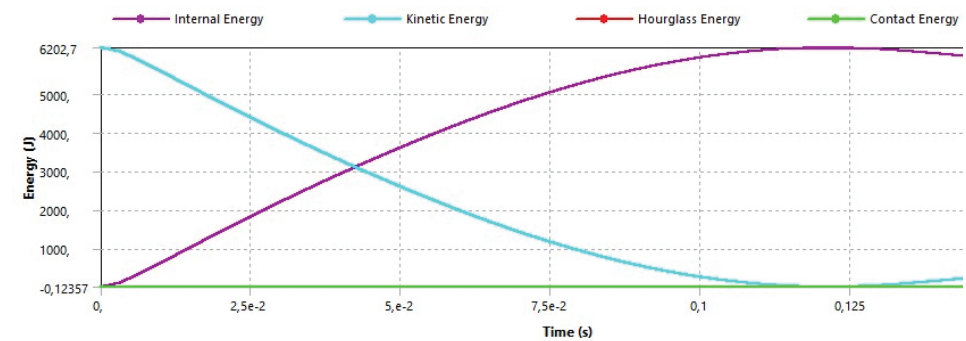


Figure 8

Gráfica de las energías presentes en el impacto frontal.

En la gráfica se puede observar la transformación de energía cinética del péndulo en energía interna del barandal de seguridad, que muestra como el barandal absorbe el impacto.

4. Conclusiones

1. Para poder realizar los ensayos de impacto fue necesario recopilar y revisar información de trabajos previos y del acabado superficial, métodos de ensayo y características de cada elemento de una baranda de seguridad usadas en carreteras de normas nacionales e internacionales tales como la norma UNE EN 1317-2011, AASHTO M-180 y la norma NTE INEN 2473 2013.
2. En el ensayo de impacto se puede visualizar que el barandal ha pasado de un estado elástico a plástico pues el barandal queda deformado en comparación con su configuración inicial, el barandal no llega a su fractura, pero si se desprende el recubrimiento de zinc del hacer, lo cual muestra que la baranda rechaza al impactador e indica la eficiencia del mismo ante un choque.
3. Al comparar los resultados del ensayo de impacto y la simulación se puede observar que el comportamiento es similar, esto nos indica que el barandal simple tiene la capacidad de re direccionar a un vehículo liviano sin llegar a su fractura total.
4. De este trabajo de investigación se puede concluir que un barandal de seguridad simple usado en las carreteras puede soportar a un vehículo liviano o de turismo que no sobrepase una masa de 1300 kg, velocidad de 80 km/h y un ángulo de 8° considerando el impacto frontal con una velocidad de 3,09 m/s, respecto a un vehículo semipesado o furgón y un vehículo pesado bus o camión no soportaría



la configuración del barandal por el valor de la masa que representan estos automotores.

References

- [1] INSOP. Barandas de seguridad esenciales para la seguridad vial. INSOP telecomunicaciones s.a.c. [Internet]. 2018 [Consulta: 29 de agosto de 2021]. Available from: <https://insop.com.pe/barandas-de-seguridad-vial/>
- [2] Gabler HC, Gabauer DJ, Hampton CE. Criteria for restoration of longitudinal barriers [Internet]. Virginia, United States: Virginia Polytechnic Institute and State University; 2008. NCHRP Report 656. Available from: https://www.sbes.vt.edu/gabler/publications/Reports/nchrp_rpt_656.pdf
- [3] Ross E, Sicking L, Zimmer A. Procedimientos recomendados para evaluar el desempeño de seguridad de dispositivos viales. NCHRP-Informe-350. 1993:1–82; 2010:1–90.
- [4] Chang A. Guía para la Ubicación, Selección, y Diseño de Barreras de Seguridad Vial. (Trabajo de investigación). Lima, Perú: Asocem 2010.
- [5] Stevenson A, Brown C. Pendulum impact testing of steel w-beam guardrail, foil test numbers: 94P023-94P027, 94P030, and 94P031. USA: MiTech Incorporated; 1998. p. 2–68.
- [6] Butāns Ž, Gross K, Gridnevs A, Karzubova E. Road safety barriers, the need and influence on road traffic. *Materials Science and Engineering*. 2015;96:1–9.
- [7] Bravo P, Vintimilla J. Análisis de barandas de seguridad en carreteras de la provincia del Azuay (Trabajo de titulación) (Grado). Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca; 2015. p. 1–144.
- [8] NTE-INEN-2473-2013. Perfiles corrugados y postes de acero para guardavías. Requisitos.
- [9] UNE-EN-1317-2-2011. Sistemas de contención para carreteras. Parte 2: Clases de comportamiento, criterios de aceptación para el ensayo de impacto y métodos de ensayo para barreras de seguridad incluyendo pretilles.