

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v7i14.0207>

METODOLOGÍA PARA PRUEBAS DE IMPACTO CON PÉNDULO EN COMPONENTES Y MATERIALES AUTOMOTRICES

METHODOLOGY FOR PENDULUM IMPACT TESTS ON AUTOMOTIVE COMPONENTS AND MATERIALS

López-Ortiz Santiago Alejandro ¹; Bravo-Morocho Víctor David ²;
Caicedo-Reyes Jorge Isaías ³; Tapia-Segarra Isidoro Enrique ⁴

¹ Grupo de Investigación GDP, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH. Riobamba. Ecuador.
Correo: sa_lopez@esPOCH.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6314-6299>

² Grupo de Investigación GDP, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH. Riobamba. Ecuador.
Correo: victor.bravo@esPOCH.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5629-259X>

³ Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH. Riobamba. Ecuador. Correo: isaías.caicedo@esPOCH.edu.ec.

⁴ Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH. Riobamba. Ecuador. Correo: isidoro.tapia@esPOCH.edu.ec.

Resumen

En el Ecuador no se cuenta con normas de seguridad para verificar la resistencia estructural de componentes automotrices bajo cargas de impacto, probablemente por esta razón tampoco existe evidencia de equipos experimentales para realizar investigaciones en esta área, resulta preocupante ya que los requerimientos de seguridad en todo el mundo siguen siendo más rigurosos al tratarse de elementos claves de la seguridad pasiva de los vehículos. En el presente trabajo se desarrolla una metodología de diseño que permite establecer los requerimientos del equipo de ensayos, definir las funciones requeridas y seleccionar la opción óptima entre diferentes alternativas de solución. Adicionalmente se utilizan principios de ingeniería para verificar la resistencia y rigidez del péndulo garantizando un diseño seguro, luego se mencionan los pasos necesarios para su construcción y montaje. Finalmente se realizan pruebas de funcionamiento en una probeta de parachoques de un autobús con las que se logró verificar que el ensayo puede realizarse confiablemente y los resultados obtenidos pueden ser usados para evaluar el comportamiento de componentes y materiales típicos de la industria automotriz del país.

Palabras clave: Péndulo de impacto, diseño mecánico, deformación de parachoques.

Abstract

In Ecuador, there are no safety standards to verify the structural resistance of automotive components under impact loads. This explains the lack of experimental equipment for research in this area. This is concerning, as safety requirements worldwide are becoming increasingly stringent, especially for key elements of passive vehicle safety. This work develops a design methodology to establish the requirements for the testing equipment, define the necessary functions, and select the optimal solution among various alternatives. Additionally, engineering principles are used to verify the resistance and rigidity of the pendulum, ensuring a safe design. The necessary steps for its construction and assembly were outlined. Finally, four tests were conducted on a bus bumper specimen, confirming that the test can be reliably performed and that

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 15 de abril de 2024.

Fecha de aceptación: 25 de junio de 2024.

Fecha de publicación: 10 de julio de 2024.



the results can be used to evaluate the behavior of components and materials typical of local automotive industry.

Keywords: Impact pendulum, mechanical design, bumper deformation.

1. Introducción

Uno de los accidentes más recurrentes producidos en autobuses es el choque frontal contra vehículos y obstáculos, como resultado de esto se producen lesiones y muertes de los tanto de ocupantes como del conductor, en el Ecuador la Agencia Nacional de Tránsito menciona según estadísticas del año 2018, que el choque frontal es el tercer tipo de siniestro de tránsito luego del choque lateral y el atropellamiento. (ANT, 2019). El alto número de afectaciones a los ocupantes puede ser por un débil sistema de control de la seguridad pasiva según la normativa vigente en el país. En contraste, otros países cuentan con organizaciones que aseguran el cumplimiento riguroso de normas de seguridad para proteger a los ocupantes en diversos tipos de accidentes, como impactos frontales, laterales, traseros y vuelcos. También consideran la

seguridad de vehículos livianos y pesados, así como de componentes automotrices como cinturones de seguridad, vidrios, carrocerías y barandas de seguridad.

Esto motiva la iniciativa de estudiar materiales que mejoren la seguridad pasiva de los vehículos y las vías, tomando como referencia reglamentos y pruebas internacionales. Analizando distintos materiales, configuraciones estructurales y elementos de refuerzo, se podrá proponer la implementación de estos elementos de seguridad en vehículos de fabricación nacional, como autobuses. Además, será importante compartir el conocimiento generado a través de publicaciones y presentaciones científicas para beneficiar a la comunidad académica e industrial. Para la investigación se necesita un impactador que recree colisiones de vehículos a diferentes velocidades y energías. El efecto en los elementos se mide con galgas extensométricas, acelerómetros y

una cámara de alta velocidad, y también puede ser simulado con software especializado. La mayoría de los componentes estructurales de vehículos marinos, terrestres o aéreos se diseñan con paredes delgadas para reducir el peso y proporcionar manejo seguro de la carga. Con el crecimiento de la industria del transporte, se han estandarizado muchas reglas y recomendaciones para el diseño de estructuras resistentes a impactos. Además de cumplir con estos estándares, las estructuras deben soportar sobrecargas en distintos tipos de accidentes. Esta preocupación ha llegado a varios países de América Latina, como Ecuador, Colombia y Brasil. En la mayoría de estos países, se ha observado un alto número de accidentes de tránsito, resultando en muchas víctimas. Diversos organismos han determinado que un mal diseño de los componentes automotrices es una de las causas de estos accidentes. Por lo tanto, la creación de laboratorios que certifiquen distintos tipos de componentes automotrices es esencial para garantizar una excelente resistencia a diversos

tipos de accidentes. (Branco, R., & Rech, 2011)

El equipo de trabajo de compuesto por los investigadores del grupo GDP de la Facultad de Mecánica se ha planteado como objetivo desarrollar una metodología para en una primera etapa construir el péndulo o equipo experimental, y en una segunda etapa realizar pruebas de impacto en probetas de parachoques de autobuses. De esta manera se tendrá la posibilidad de realizar a futuro diferentes ensayos en materiales alternativos o diseños adaptados a la absorción de impactos, pensando en el valioso aporte que se puede generar en la industria carrocera del país.

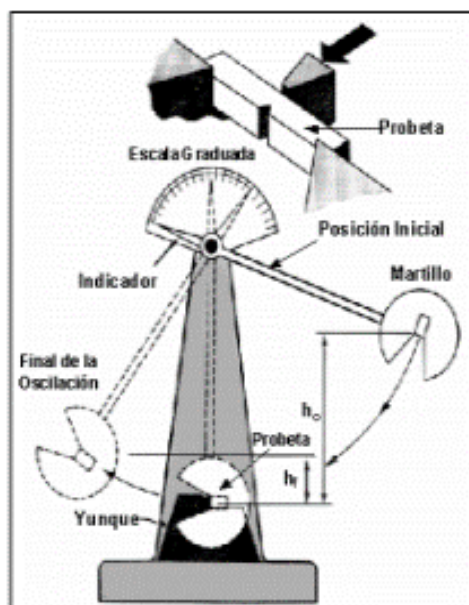
2. Materiales y métodos

2.1 Características del equipo experimental

La ingeniería mecánica se enfrenta constantemente al desafío de diseñar y construir equipos que faciliten la resolución de problemas en diversas actividades industriales. Un ejemplo de esto es la verificación del comportamiento de materiales y componentes automotrices bajo situaciones de impacto, donde es

crucial garantizar una resistencia óptima de los elementos que forman una estructura automotriz. A simple vista, el péndulo de Charpy parece ser una máquina de ensayo bastante simple desde el punto de vista mecánico. Sin embargo, este equipo permite realizar diversas pruebas de impacto en probetas pequeñas (Ortega Y., 2006).

Figura 1. Péndulo Charpy.



Fuente: (Medina, 2010)

Las condiciones externas que definen el ensayo, como la velocidad de aplicación de la carga, los tamaños y formas de las probetas, y la temperatura durante el ensayo, afectan los resultados. Por esta razón, existen varios procedimientos para estimar la tenacidad de un material, como los ensayos de

Charpy, Izod, tracción dinámica, y torre de impacto, entre otros. Este estudio técnico se centra en el ensayo de impacto con péndulo de Charpy, creado por Georges Charpy. Existe una variante de este ensayo, denominada Izod, que utiliza el mismo péndulo. El ensayo de Charpy consiste en dejar caer una masa (m) desde una altura inicial (h_0) para que golpee una probeta de un material específico sometida a flexión por tres puntos: un impactador y dos apoyos. (Garrido M., 2019)

La norma ECE-R29 enuncia que se deben hacer tres pruebas de validación para estructuras de carrocerías en buses:

- Prueba de impacto frontal (A).
- Prueba de resistencia del techo (B).
- Prueba de resistencia de la pared posterior (C).

El propósito de estas pruebas en los componentes es reducir o eliminar problemas de seguridad en la fabricación de carrocerías. Además del diseño computacional, es fundamental realizar pruebas de choque e impacto para que los diseñadores puedan predecir el

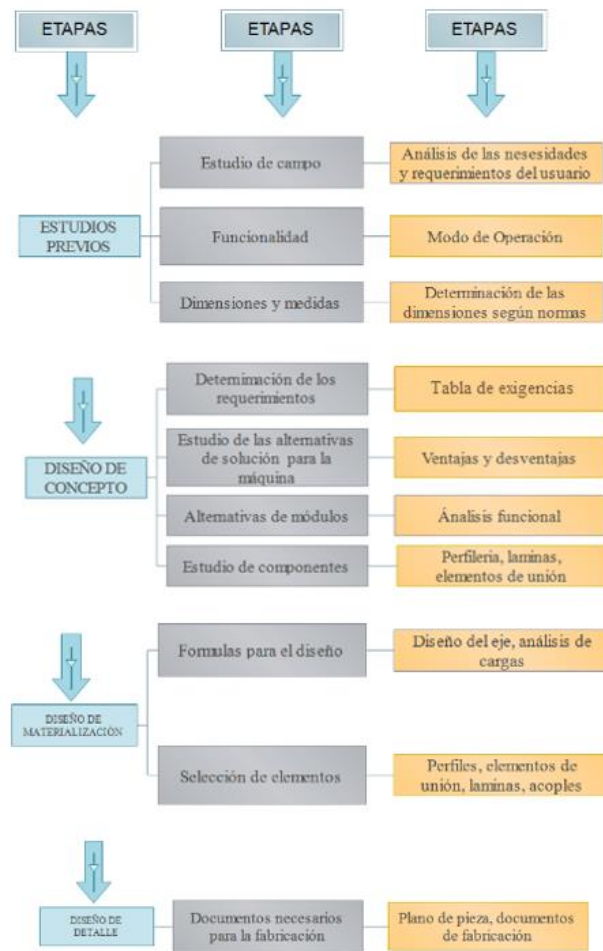
comportamiento de la estructura. Estas pruebas son cruciales en la fabricación de carrocerías, y la norma de seguridad UNECE-R29 establece criterios para la aprobación de estas estructuras, evaluando el marco de la cabina y el chasis en un impacto frontal. Para realizar las pruebas, la superficie de impacto del péndulo debe ser de 2500 mm x 800 mm y tener una masa de 1500 kg, con una tolerancia de ± 250 kg. Debe posicionarse verticalmente, con su centro de gravedad a 50 mm $+50/-0$ mm por debajo del parabrisas para analizar cabinas y carrocerías. La energía de impacto del péndulo debe ser de 30 KJ para vehículos con una carga máxima permitida de hasta 7000 kg y de 45 KJ para vehículos con una carga superior. (Raich & Daimlerchrysler Ag, 2003)

2.2 Metodología para el diseño conceptual del péndulo

Después de realizar una revisión bibliográfica del diseño conceptual (Riba, 2002), (Ávila, 2011), se propone una metodología para el diseño conceptual de la máquina, usado en trabajos similares (Maury, 2004), el cual consiste en aplicar el modelo VDI2221 "Diseño de sistema

Mecánicos" (1986), que consta de siete etapas: clarificación de la tarea, determinación de la estructura funcional, búsqueda de soluciones, división en módulos, desarrollo de esquemas básicos y generales, y preparación de instrucciones de producción y operación.

Para complementar el diseño conceptual se debe continuar a la etapa de diseño de materialización. Utilizando diversas herramientas de ingeniería, tal como: software CAD, catálogos técnicos, manuales y normativas, se realizan cálculos para garantizar la resistencia mecánica y el correcto funcionamiento de los componentes. Se elaboran los planos detallados con dimensiones y parámetros necesarios, aplicando métodos de evaluación mediante simulaciones virtuales y prototipos físicos. Una vista general de la metodología propuesta se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 2. Metodología de diseño propuesta por los autores

Realizado por: Autores

a) Lista de exigencias

En la fase inicial del diseño del banco de prueba, es indispensable capturar de manera detallada y específica las demandas de los clientes, que incluyen tanto sus exigencias como

sus deseos. Estas demandas constituyen la base sobre la cual se desarrollará el diseño del producto (Riba, 2002). A continuación, se enlistan todos los requerimientos en la Lista de exigencias.

Tabla 1. Lista de exigencias del equipo experimental.

Nº	Fecha (cambios)	DESEO/ EXIGENCIA	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
1	02/03/2022	E	Función Principal: Generar energías de impacto hasta de 45 KJ en probetas de materiales usados en la industria automotriz.	Autores
2	03/03/2022	E	Materiales: Se usarán perfiles estructurales que presenten con una suficiente resistencia y rigidez.	Autores
3	04/03/2022	E	Geometría: Se debe cumplir con las dimensiones establecidas por la normativa UNECE R-29.	Autores

4	05/03/2022	E	Cinemática: El péndulo debe tener un movimiento de rotación tanto para posicionar con un ángulo inicial el impactador y luego cuando se suelta hasta el momento de impacto.	Autores
5	06/03/2022	E	Ergonomía: El equipo debe facilitar la manipulación del operario.	Autores
6	07/03/2022	E	Transporte: El equipo ser de fácil montaje y desmontaje para su traslado.	Autores
7	08/03/2022	E	Uso: Su uso pretendido será para realizar experimentación en relación con la resistencia de impacto de materiales de la industria automotriz	Autores
8	09/03/2022	E	Mantenimiento: El equipo debe ser de fácil mantenimiento y limpieza	Autores
9	10/03/2022	D	Medición: se requiere instrumentos de medición del ángulo inicial, la fuerza de impacto y la aceleración.	Autores

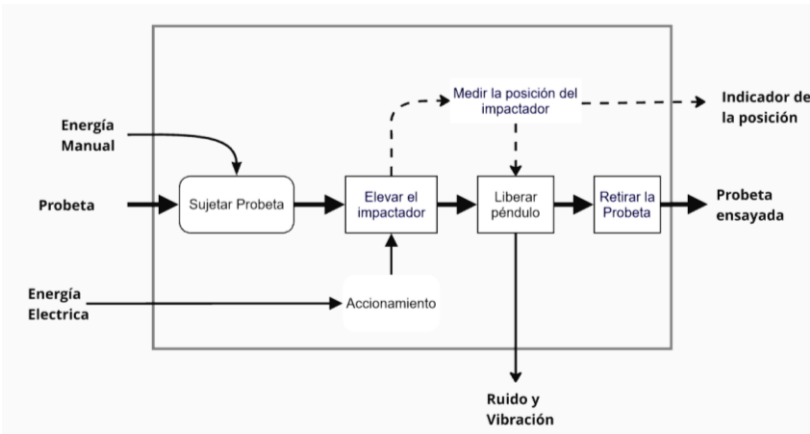
Realizado por: Autores

b) Análisis funcional

El equipo se encarga principalmente de realizar los ensayos de impacto en diversos componentes automotrices. Para lograr este objetivo, se requiere una serie de

pasos intermedios que garantizan los resultados deseados. A continuación, se presenta de manera resumida las funciones del equipo y su interacción para determinar si los procesos son simultáneos o secuenciales.

Figura 3. Análisis de funciones del equipo



Realizado por: Autores

En el diagrama se puede entender la secuencia de operaciones/funciones requeridas para realizar el ensayo de impacto, además se logra identificar como interactúa la materia (probeta),

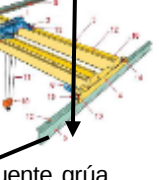
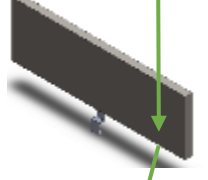
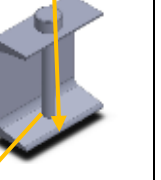
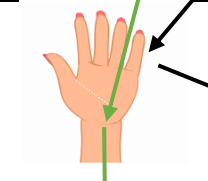
energía (manual y eléctrica) y señales (Medidas de la posición) con las funciones. De esta manera se tiene una comprensión completa del proceso de ensayo.

c) Alternativas de solución

Una vez que se han definido las funciones del equipo, es necesario buscar portadores de solución para cada función, la información proviene de una revisión bibliográfica combinada con la experiencia del diseñador y observación de otros

equipos similares. A continuación, se puede apreciar gráficamente en una Matriz Morfológica, la combinación de los diferentes portadores que conforman tres posibles alternativas de solución, de estas se tendrá que seleccionar una en la etapa siguiente.

Figura 4. Matriz Morfológica de las alternativas de solución.

Función	Portadores de solución		
Sujetar la probeta	 Entenalla	 Con perforación en la probeta	 Sin perforación en la probeta
Elevar el impactador	 Motor eléctrico	 Malacate	 Punto grúa
Medir la posición del impactador	 Inclinómetro	 Flexómetro	
Liberar el péndulo	 Gancho	 Pasador	
Retirar la probeta	 Manual		
Solución	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3

Realizado por: Autores

d) Selección de alternativa optima

Luego de plantear las posibles alternativas de solución, es necesario utilizar criterios técnicos y

económicos para evaluar cada una de ellas y determinar la solución óptima. A continuación, se presenta la tabla de evaluación según criterios técnicos y económicos.

Tabla 2. Evaluación técnico-económica de las alternativas de solución.

0 = No satisface, 1 = Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Excelente					
Nº	Criterios técnicos	Alternativas de Solución			Ideal
		1	2	3	
1	Función	2	2	3	4
2	Lista de exigencias	2	1	3	4
3	Seguridad	1	1	2	4
4	Complejidad de diseño	1	2	2	4
5	Estabilidad	2	2	2	4
6	Ergonomía	3	2	3	4
7	Facilidad de automatización	2	1	3	4
8	Facilidad de montaje	1	1	3	4
9	Complejidad de fabricación	1	2	2	4
10	Transporte	2	2	2	4
11	Manipulación	2	2	2	4
12	Confiabilidad	2	1	3	4
	TOTAL	21	19	30	48
	Porcentaje	43.75	39.6	62.5	100
Nº	Criterios Económicos	Alternativas de Solución			Ideal
		1	2	3	
1	Costo de maquinaria y herramientas	2	2	2	4
2	Costo de materiales	1	2	2	4
3	Facilidad de adquisición de elementos	1	1	3	4
4	Costos de mano de obra	2	2	2	4
5	Cantidad de componentes	1	1	2	4
6	Costos de mantenimiento	1	2	3	4
7	Cantidad de personal	1	2	2	4

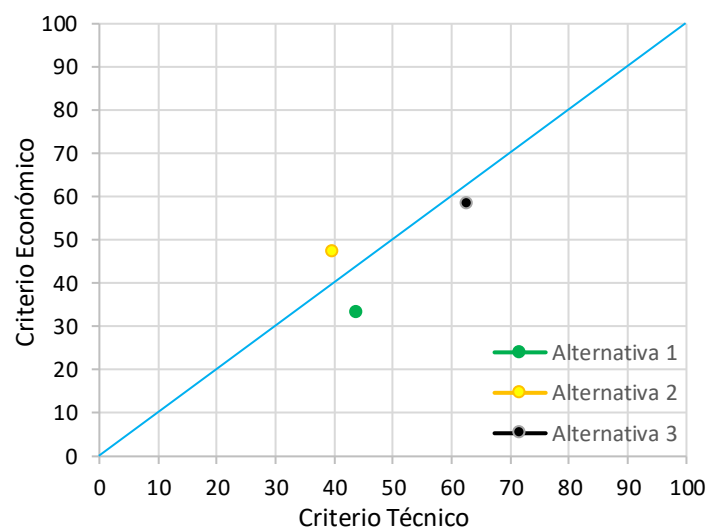
8	Costo de transporte	2	3	3	4
9	Costo de fabricación	1	2	2	4
	TOTAL	12	17	21	36
	Porcentaje	33.3	47.2	58.3	100

Realizado por: Autores

Con los porcentajes calculados para cada alternativa de solución se puede graficar y seleccionar la opción que mejor relación técnico/económica pueda ofrecer al

diseñador, para continuar con la etapa de materialización. A continuación, se presenta la gráfica de las alternativas de solución.

Figura 5. Evaluación técnico-económica



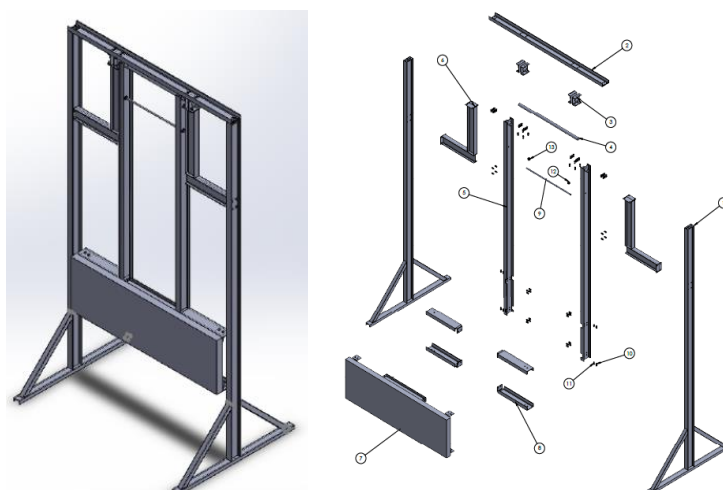
Realizado por: Autores

En la figura 6, se puede observar como se aproximan las alternativas de solución a la solución ideal representada por una línea de color azul, entre ellas la alternativa 3 es la que se ha seleccionado para la materialización ya que cuenta con la mejor relación técnico-económica, siendo la más cercana a la solución ideal.

2.3 Modelación y simulación

Mediante el uso de un software CAD se modelaron los componentes mostrados en la siguiente figura. En ella se puede apreciar los componentes usados posteriormente para la construcción del péndulo.

Figura 6. Modelo CAD del diseño final del equipo

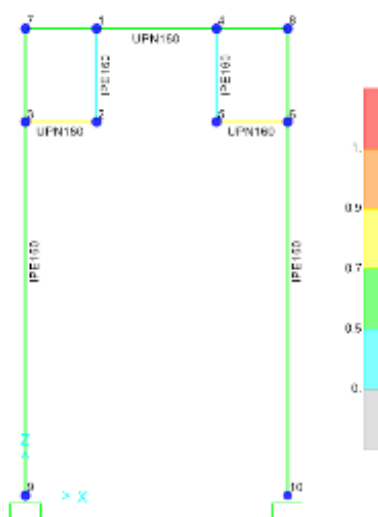


Realizado por: Autores

A partir de los componentes del péndulo que fueron modelados se realizan las simulaciones numéricas para estudiar su comportamiento bajo cargas estáticas y dinámicas. En la figura siguiente se observa la estructura, pero en este caso el perfil de los elementos críticos es sustituido por un perfil UPN160. Esta opción de diseño es adecuada

cuando al equipo se les someterá a cargas superiores a la capacidad máxima de 2000Kg de esta manera se asegura que el factor demanda-capacidad sea adecuado para esta aplicación de una nueva carga más elevada tomando estos elementos un nuevo factor demanda-capacidad de máximo 0.9 para toda su estructura.

Figura 7. Análisis del factor demanda capacidad de la estructura.

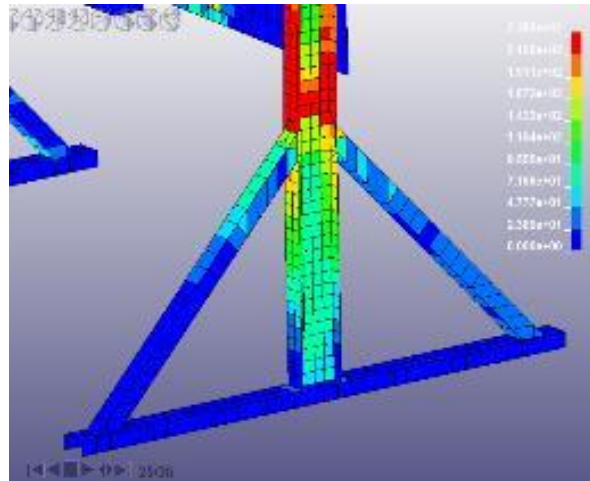


Realizado por: Autores

Se analizaron los valores del esfuerzo máximo al que se somete la estructura para identificar el punto con mayor concentración de esfuerzos. Esto permite determinar la zona específica donde ocurre el

mayor esfuerzo, la cual podría presentar problemas durante el uso. Si se requieren mayores sollicitaciones, será necesario reforzar estructuralmente esta zona.

Figura 8. *Análisis de esfuerzos en la estructura.*



Realizado por: Autores

Como recomendación, se deberá realizar nuevos análisis estáticos y dinámicos a la estructura cuando se pretenda realizar las pruebas con una energía mayor a los 45 kJ.

2.4 Construcción

Luego de evaluar los resultados estructurales tanto estáticos como dinámicos y realizar las simulaciones correspondientes, se inicia la construcción del equipo. Esta fase se desarrolla conforme a las especificaciones del modelo aprobado, teniendo en cuenta los materiales, dimensiones,

herramientas, maquinaria y la planificación de trabajo previamente revisados.

Figura 9. Equipo experimental construido



Realizado por: Autores

Una vez que se construyó el equipo se realizaron pruebas de funcionamiento que consistieron en verificar la articulación del impactador. El resultado es que no existe vibración o ruido que pueda indicar un montaje inexacto del eje en sus soportes. Adicionalmente se verificó la estabilidad del equipo observando que no exista balanceo o tendencia al volteo.

3. Resultados y discusión

Los resultados que se busquen obtener mediante una prueba de impacto dependen en gran medida del tipo de probeta y la energía de impacto que se requiera aplicar. Esta energía depende de la posición inicial del impactador por lo que se ha utilizado un balance de energías para determinar la energía potencial del péndulo y las velocidades finales que se pueden alcanzar previo al impacto. A continuación, se muestra los resultados en la tabla 2.

Tabla 3. Velocidades y energías disponibles para la prueba de impacto.

Altura inicial del impactador (m)	Velocidad lineal de impacto (m/s)	Velocidad angular de impacto (rpm)	Energía Potencial kJ
1,00	4,43	12,09	19,30
1,25	4,95	13,51	24,00
1,50	5,43	14,80	28,10
1,75	5,86	15,98	30,10

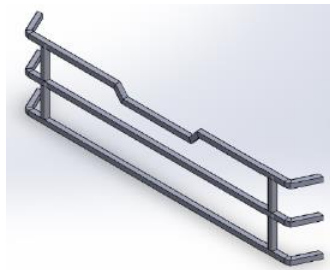
2,00	6,26	17,09	35,80
2,50	6,93	18,44	39,19

Realizado por: Autores

Para la etapa de experimentación es necesario partir de la selección de la probeta, para ello se ha seleccionado un modelo básico de parachoques de autobús fabricado con los mismos procedimientos de unión por soldadura y usando el mismo material que se utiliza en la industria carrocería local que es un perfil estructural cuadrado de

40x40x2 mm. El montaje de la probeta también toma en consideración las condiciones de fijación que tendría en la estructura completa de la carrocería y la posición fue definida para conseguir la mayor superficie de impacto sobre la muestra. A continuación, se muestra la geometría e instalación de la probeta.

Figura 10. Probeta para el ensayo de impacto



Realizado por: Autores

Se decidió realizar la prueba con la posición máxima de lanzamiento para probar el equipo a su máxima capacidad de impacto, a continuación, se mencionan las condiciones iniciales:

- Altura del impactador con respecto al piso= 2.50m
- Velocidad lineal de impacto= 6.93 m/s
- Masa del impactador= 400 kg

Los resultados obtenidos corresponden a la deformación máxima de la probeta, la cual fue medida con un instrumento de precisión denominado calibrador de alturas, ya que por las dimensiones de la probeta y la posición de soporte del instrumento fue la opción más valedera. A continuación, se presentan los resultados de las cinco pruebas realizadas.

Tabla 4. Resultados de deformación total del parachoques.

Denominación	Deformación máxima (mm)	Valor medio $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	Desviación Estándar $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$
Probeta 1	50,00	49,92	0,22
Probeta 2	49,80		
Probeta 3	50,20		
Probeta 4	49,70		

Realizado por: Autores

4. Conclusiones

Se pudo aplicar con éxito una metodología que permita cumplir con las fases del diseño, construcción y pruebas de impacto para aplicaciones en componentes estructurales automotrices. El equipo de ensayos de impacto funciona correctamente sin presentar vibraciones o inestabilidad durante la prueba, además la masa de impacto puede regularse fácilmente con la adición de pesas calibradas para realizar pruebas con diferentes energías de impacto.

Los resultados de deformación fueron obtenidos fácilmente y pueden servir para verificar la rigidez de componentes estructurales y predecir el comportamiento estructural durante un impacto frontal.

El diseño y construcción del péndulo garantiza los requerimientos de

seguridad y resistencia necesarias para este tipo de pruebas, de tal manera que se dispone de una capacidad máxima de 2000 kg para asignar al impactador.

Los soportes porta-probetas tienen la posibilidad de que se instalen muestras de parachoques o componentes estructurales automotrices de diferentes medidas, estas serán compatibles con los modelos convencionales usados en automóviles y autobuses.

Para realizar las pruebas de impacto, es fundamental seguir las recomendaciones de seguridad para el manejo de cargas pesadas y prevenir accidentes. El área de seguridad está delimitada con señales de advertencia, y se cuenta con indicadores luminosos que se activan al soltar el impactador del péndulo.

Bibliografía

- AGENCIA NACIONAL DE TRÁNSITO. "Plan Operativo de Seguridad Vial de Ecuador al 2030," Noticias. 2019. [Online]. Available: <https://www.ant.gob.ec/index.php/noticias/noticias-nacionales/2108-ant-entrego-el-plan-operativo-de-seguridad-vial-de-ecuador-al-2030-al-embajador-de-naciones-unidas-y-presidente-de-la-fia>.
- ÁVILA, X. Desarrollo de una planta de mitigación de GEI para la industria. Madrid-España: Debate.2011
- BRANCO, R., & RECH, B. A. Management System. SpringerReference.2011. https://doi.org/10.1007/springerreference_18412
- ECE. (1980). Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicles With Regard To Their Front and Rear Protective Devices (Bumpers, Etc.). March, 35.
- FELIPE, D. Diseño de elementos de máquinas. 2011
- GARRIDO, M. Diseño de un péndulo de impacto tipo charpy. Escuela Politécnica Superior de Linares.2019
- JARAMILLO, G. Diseño de puente grúa y sistema Stand Reel para mejorar el transporte de bobinas de papel en el proceso de rebobinado de la empresa Cartopel.2018.
- JONGPRADIST, P., SENAWAT, S., & MUANGTO, B. Improvement of Crashworthiness of Bus Structure under Frontal Impact. Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM15), August, 1–11.2015.
- MAURY, H. Temas: Proceso De Diseño Y Diseño Conceptual. 1–31. 2004. Disponible: <https://lisandroingmec.files.wordpress.com/2013/08/proceso-de-disec3b1o-y-disec3b1o-conceptual.pdf>.
- MEDINA, E. (Guía Laboratorio Mecánica de Materiales) IMPACTO CHARPY. 1–5. 2010. Disponible: <http://www.udistrital.edu.co:8080/documents/19625/239908/ENSAYO+DE+IMPACTO.pdf?version=1.0>
- OLIVARES, G., & YADAV, V. Injury Mechanisms to Mass Transit Bus Passengers During Frontal, Side and Rear Impact Crash Scenarios. Proceedings of the 21St (Esv). 2009. Disponible: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv21/09-0427.pdf>
- ORTEGA, Prueba de impacto: ensayo Charpy, Departamento de Física de Materiales, Facultad de

- Ciencias Físicas Universidad Complutense de Madrid, 28040, Madrid, España. REVISTA MEXICANA DE FÍSICA E 52 (1) 51–57, JUNIO 2006.18) (PDF) Ensayo de Tenacidad o Impacto (Prueba Charpy). Disponible: https://www.researchgate.net/publication/328049915_Ensayo_de_Tenacidad_o_Impacto_Prueba_Charpy.
- UNECE R 29. 2007. Vehicles with regard to the protection of the occupants of the cab of a commercial vehicle. 2007
- RAICH, H., & DAIMLERCHRYSLER AG. Safety Analysis of the New Actros Megaspaces Cabin According to ECE-R29. 4th European LS-DYNA Users Conference Crash/Automotive Applications, 0, 11–24. 2003
- RIBA, C. Diseño concurrente. In Ediciones UPC, España. 2002. <https://doi.org/10.4097/kjae.2016.69.4.395>
- RUBIO, YUQUILEMA. Diseño, construcción e implementación de un sistema de elevación y frenado del péndulo Charpy. Journal of Chemical Information and Modeling, 53(9), 234. 2012 <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- SAKHAREKAR, S. D., TAMBUSKAR, D. P., & Patil, S. D. Stability analysis of pendulum Test Rig as per ECE R29 Using Modal Analysis. 3(10). 2017
- VDI 2221 Guidelines. Systematic Design. Systematic approach to the design of technical systems and products (pp. 8–19).1986