

Research Article

Analysis of the Structural Topology of the Interprovincial Bus Seats

Análisis de la Topológica Estructural del Asiento de Autobús Interprovincial

Omar Córdova*, Agustín Remache, and Arroba César

Facultad de ingeniería Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador

ORCID

Omar Córdova: <https://orcid.org/0000-0002-2736-8652>

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

Corresponding Author: Omar
Córdova; email: ?????

Published: 31 August 2022

Production and Hosting by
Knowledge E

© Omar Córdova 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

The study of mechanical engineering through computational technological advances allows having advantages in the design of prototypes of bus seats and other elements that make up the structure of the seats for interprovincial buses and thereby guarantees passengers' safety and buses' overall structural resistance. To avoid traffic accidents, it is vital to reduce the weight of the seats for saving fuel and improving the performance of the bus. Using the finite element method with the ANSYS Research software, it is proposed to optimize certain elements that make up the structure of the interprovincial bus seats and to comply with the R80 CEPE/UN regulation wherein the structural resistance of the seats must be evaluated according to the forces recommended by the regulation – critical forces, displacements, and the amount of absorbed energy. Under such conditions, various structural elements are optimized to simulate the seat again and validate the resistance through regulations recommended for this type of study.

Keywords: *seat, critical stresses, structural strength, optimize.*

Resumen

El estudio de la ingeniería mecánica a través del avance tecnológico computacional permitió tener ventajas en el diseño de prototipos de autobuses, asientos y demás elementos que conforman la estructura de los asientos para servicio interprovincial y de esta forma se garantizó la seguridad de los pasajeros y resistencia estructural en caso de sufrir un accidente de tránsito, además fue importante reducir el peso de los asientos para ahorrar combustible y se mejoró el rendimiento del autobús por esta razón se utilizó el método de los elementos finitos con la aplicación del software ANSYS Research se propuso optimizar ciertos elementos que conforman la estructura del asiento interprovincial que debe cumplir con el reglamento R80 CEPE/ONU donde se evaluó la resistencia estructural de los asientos de acuerdo a las fuerzas recomendadas en la normativa y se analizaron esfuerzos críticos, desplazamientos, cantidad de energía absorbida, bajo estas condiciones se optimizaron varios elementos estructurales que fueron simulados es decir se validó la resistencia mecánica del asiento interprovincial mediante normativa recomendada para este tipo de estudios.

Palabras Clave: *asiento, esfuerzos críticos, resistencia estructural, optimizar.*

 OPEN ACCESS



1. Introducción

La fabricación de la estructura de asientos en el país cumple varios reglamentos y normas técnicas que son regularizadas y controladas por el servicio ecuatoriano INEN RTE a través de la agencia nacional de tránsito que son quienes verifican y otorgan la certificación de homologación de autobuses en el país.

En los últimos años, la industria automotriz se ha visto sometida a una presión cada vez mayor para reducir el consumo de combustible existen dos enfoques que proponen en la industria el primero es mejorar las tecnologías de los motores en eficiencia o cambiando a energía híbrida o eléctrica el segundo enfoque se centra en la reducción de peso mediante la mejora u optimización del diseño o cambio de material, debido a la facilidad de aplicar el segundo enfoque nace la investigación propuesta.

Las industrias carroceras del país siempre están innovando y mejorando sus diseños, modelos y componentes que conforman el autobús, uno de sus elementos principales es la estructura del asiento interprovincial que pesa 1173,87 kg en un autobús de 45 asientos. De esta manera una pequeña reducción de peso en los asientos de los pasajeros proporciona un menor consumo de combustible a través de aligeramiento del vehículo.

En el Ecuador se registró de enero a noviembre de 2019, alrededor de 2.181 accidentes de autobuses. En esos percances hubo 2.025 heridos y 309 fallecidos en el sitio [1]. Uno de los elementos que influyen en caso de accidentes de tránsito es el cinturón de seguridad que disminuye el riesgo de lesiones por lo tanto las autoridades nacionales e internacionales han creado normas de seguridad para los asientos. Existen dos normativas que están relacionadas con la estructura del asiento y anclajes de los cinturones de seguridad pasiva.

La primera norma es la CEPE R80 [2] que aplica a los vehículos de transporte de categoría M2 y M3 de más de 16 asientos orientados hacia adelante el asiento donde estará sujeto a los requisitos de ensayo dinámico o estático. Este reglamento requiere que el asiento permanezca en una zona designada en caso de un choque donde el vehículo esté expuesto a una desaceleración predefinida.

La segunda norma es la CEPE R14 [3] que evalúa la conformidad de la estructura de los asientos y los anclajes de los cinturones de seguridad. Dentro del alcance de las pruebas de conformidad especificadas en la norma, se presentan dos tipos de cinturones de seguridad, de dos puntos y de tres puntos. la estructura del asiento y los anclajes de los cinturones de seguridad para cumplir el reglamento CEPE R14 [3] debe soportar la aplicación de fuerzas que miden la resistencia de los asientos, en este reglamento se estipula lo que indica el reglamento CEPE R80, es decir, si cumple



con los parámetros estipulados por el reglamento CEPE R14, ya se ha cumplido con el reglamento CEPE R80 [2].

La optimización topológica de tamaño de la estructura del asiento se realiza con un solucionador comercial explícito de elementos finitos y aplicando técnicas de optimización se obtiene un asiento de pasajero más ligero y se eliminaron regiones para reducir el peso de los componentes de la estructura del asiento, se preparó el asiento aligerado y analizo la resistencia estructural del asiento y se verifico el cumplimiento de la norma.

1.1. Topología por método de elementos finitos

Dentro del método de elementos finitos el análisis topológico permite determinar aquellas propiedades de piezas que permanecen invariantes, cuando la pieza se pliega, expande, contrae o deforma, de manera que no aparecerán nuevos puntos, o se superpondrán diferentes puntos [4].

Hoy en día, la optimización de la topología se ha convertido en un área que permite la reducción de peso, lo que significa una reducción de combustible en los campos de la automoción y la aviación. Por tanto, en ingeniería mecánica, matemáticas, mecánica e informática, que tienen importantes aplicaciones prácticas en la industria o la fabricación, se utilizan para optimizar piezas o elementos mecánicos para maximizar o minimizar determinadas características requeridas. Por lo tanto, el método está basado en transformar entidades con propiedades continuas en modelos discretos aproximados, esta transformación se denomina discretización del modelo geométrico y de esta manera se controla lo que está sucediendo dentro de este modelo a optimizar [5].

1.2. El método por elementos finitos

Los elementos finitos se basan en convertir objetos con propiedades continuas en modelos discretos aproximados, esta conversión se denomina discretización del modelo. El conocimiento sobre lo que está sucediendo dentro de este modelo matemático aproximado se obtiene interpolando los valores conocidos en los nodos. Por tanto, es una aproximación del valor de la función basada en el conocimiento de un cierto número limitado de puntos [6].

El método de los elementos finitos es un método para aproximar el problema del continuo mediante:



1. Al hablar de continuo se entiende que se divide en un número limitado de partes, llamados "elementos" cuyo comportamiento está especificado por un número limitado de parámetros asociados con ciertos puntos característicos llamados "nodos". Estos nodos son los puntos de conexión entre cada elemento y sus extremos.
2. La solución completa del sistema sigue las reglas de los problemas discretos. El sistema completo está formado por elementos de ensamblaje
1. Las incógnitas del problema ya no son funciones matemáticas, sino que se convierten en los valores de estas funciones en los nodos.
1. El comportamiento dentro de cada elemento está definido por la función de interpolación apropiada o función de forma de acuerdo con el comportamiento del nodo [6].

1.3. Procedimiento general para aplicación del método de elementos finitos

Para realizar un análisis por el método de elementos finitos, se requiere el siguiente procedimiento en general:

1. Divida el modelo CAD / geométrico en piezas para crear una "malla" (una colección de elementos con nodos).
2. Describir el comportamiento físico de cada elemento.
3. Conectar (ensamblar) los elementos en los nodos para formar un sistema aproximado de ecuaciones para todo el modelo.
4. Se aplican cargas y condiciones de contorno que restringe el modelo
5. Resolver el sistema de ecuaciones que involucran cantidades desconocidas en los nodos (por ejemplo, el desplazamiento).
6. Calcule las cantidades deseadas (por ejemplo, deformaciones y tensiones) en elementos o nodos.

En el software comercial de elementos finitos, este procedimiento normalmente se reorganiza en las siguientes etapas:

1. Preprocesamiento (construir modelos FEM, definir propiedades de elementos y aplicar cargas y limitaciones)



2. Solucionador de FEA (ensamblar y resolver el sistema de ecuaciones FEM, calcular el elemento resultados)
3. Postprocesamiento (ordenar y mostrar los resultados) [7]

Finalmente al no existir laboratorios para ensayos físicos del comportamiento mecánico de la estructura de los asientos se han aprobado ensayos mediante simulación computacional que ayuda a determinar el comportamiento estructural de los asientos de autobuses interprovinciales mediante ensayos estáticos y dinámicos que aportan en el desarrollo y mejora continua de los fabricantes de asientos lo que contribuye a mejorar la seguridad de los pasajeros en caso de existir un accidente de tránsito frontal.

El reglamento CEPE R14 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) con el tema: Prescripciones uniformes relativas a la homologación de los vehículos en lo que concierne a los anclajes de los cinturones de seguridad, sistemas de anclajes ISOFIX y anclajes superiores ISOFIX determinan que los ensayos de resistencia de la estructura y anclajes de los cinturones de seguridad deben resistir correctamente y de esta forma retener a los pasajeros en caso de un impacto frontal, lateral o vuelco esto garantiza que los ocupantes no sufran lesiones graves o en muchos casos pierdan la vida [3].

Para obtener la certificación en el país, se trabaja con la norma INEN 1668 “VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRARREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL”. [8], adaptado de la normativa de Naciones Unidas como ECE-R80, establece que los asientos de los pasajeros deben fijarse a la carrocería y disponerse según el eje longitudinal del vehículo en el sentido de la marcha, y viceversa, en tal forma de brindar a los pasajeros la máxima seguridad y comodidad, es importante respetar el diseño del fabricante del vehículo o del chasis, y la distribución de carga en los ejes. La norma específica que la carrocería tendrá dos filas con dos asientos en cada fila. En la última fila, siempre que no haya baño en la fila trasera, tendrán 5 asientos. Además, la normativa R80 e INEN RTE 1668 estipulan una profundidad mínima: 420 mm para los autobuses intraprovinciales y para autobuses intrarregionales e interprovinciales es de 450 mm también se detalla las siguientes características:

1. *Ancho libre mínimo del asiento*: Se establece como mínimo la distancia de 400 mm para intraprovincial y 450 mm para intrarregional e interprovincial.
2. *Altura* desde el piso a la base del asiento con distancia de 400 mm y 500 mm respectivamente.

3. Para la distancia entre asientos la medida es de 620 mm desde el piso con los asientos en posición normal, debe ser para autobús interprovincial e intrarregional mínimo 720 mm y para bus intraprovincial es de 680 mm ver Figura 1.
4. Posiciones de inclinación mínima: Se tiene unos dos ángulos mínimos de 12° y $30^\circ \pm 2^\circ$ para buses intraprovincial, y 12° y $40^\circ \pm 2^\circ$ para transporte interprovincial e intrarregional.
5. Altura del respaldo del asiento tomando en cuenta el apoyacabeza: mínima es de 700 mm.
6. Altura total del respaldo del asiento incluido el apoyacabeza: mínima 700 mm.

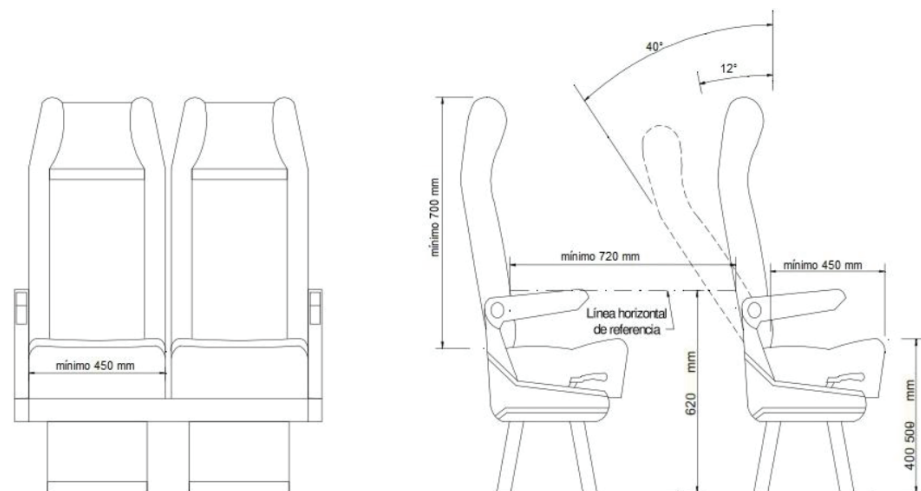


Figure 1

Medidas asiento de servicio interprovincial [8].

El reglamento (ECE R14) sirve para evaluar los anclajes de cinturones de seguridad porque incluye procedimientos de ensayo para diferentes tipos de vehículos y cinturones de seguridad.

El ensayo es un análisis cuasi estático y consiste en la evaluación de la resistencia de anclajes de cinturones de seguridad por medio de la aplicación de fuerzas de tracción directamente en los cinturones de seguridad por medio de bloques sobre los cuales se colocan los cinturones. Este tipo de prueba de resistencia de componentes es muy severo porque aplican cargas de grandes magnitudes.

Los principales criterios de evaluación que plantea el reglamento son los siguientes:

Las fuerzas de tracción actúan sobre bloques que tienen dimensiones y forma que se muestran en las Figuras 2 y 3 donde se evidencia dos bloques uno pélvico y torácico,

los cuales son lo suficientemente rígidos y resistentes para no sufrir deformaciones ni daños durante la simulación [3].

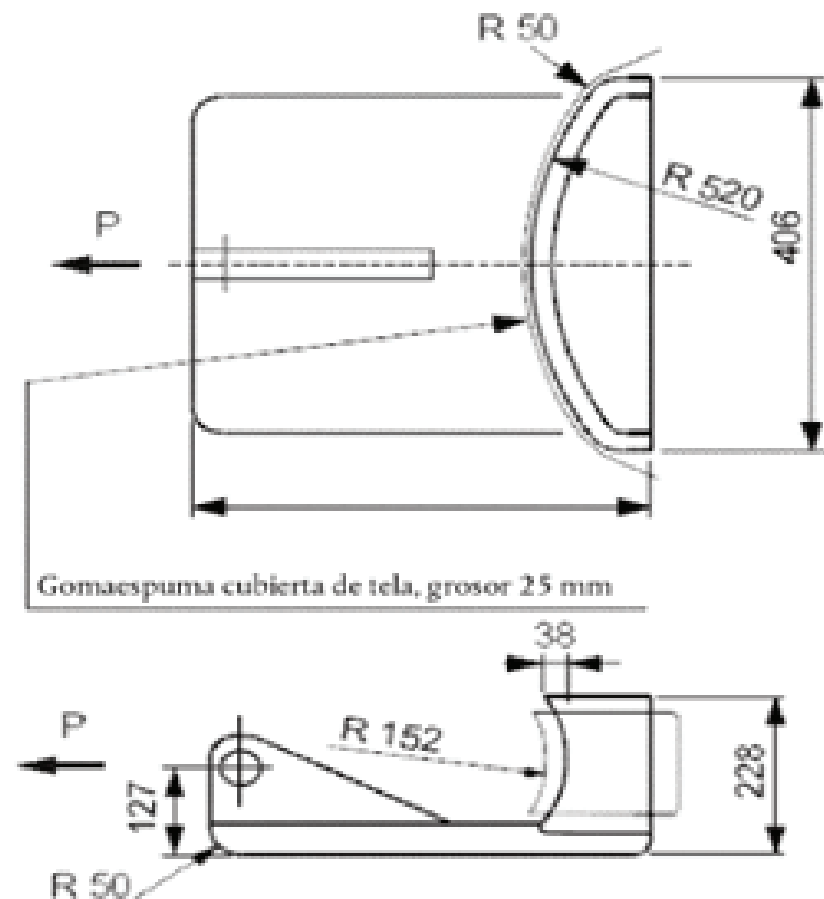


Figure 2

Bloque pélvico [3].

Los bloques se ajustan adecuadamente con los cinturones de seguridad, medimos las resistencias de los cinturones de seguridad de tres puntos de anclajes se utilizaron los bloques pélvico y torácico, y para el cinturón de dos puntos se utiliza únicamente el bloque pélvico.

Los asientos deberán ubicarse en una posición fija bloqueando los dispositivos de reclinación. Las cargas se aplicarán a cada bloque pélvico torácico y dependerán del cinturón de seguridad, así como del tipo de vehículo, para los autobuses se aplican 4500 N al cinturón de tres puntos y 6408.6 N al cinturón de dos puntos.

Además, se debe añadir una carga de inercia que depende del peso del asiento en los bloques pélvicos ya que estos se encuentran próximos al centro de gravedad del asiento, al igual que las cargas nominales la carga de inercia depende de la categoría del vehículo siendo igual a 6.6 veces el peso del asiento en el caso de autobuses. Las

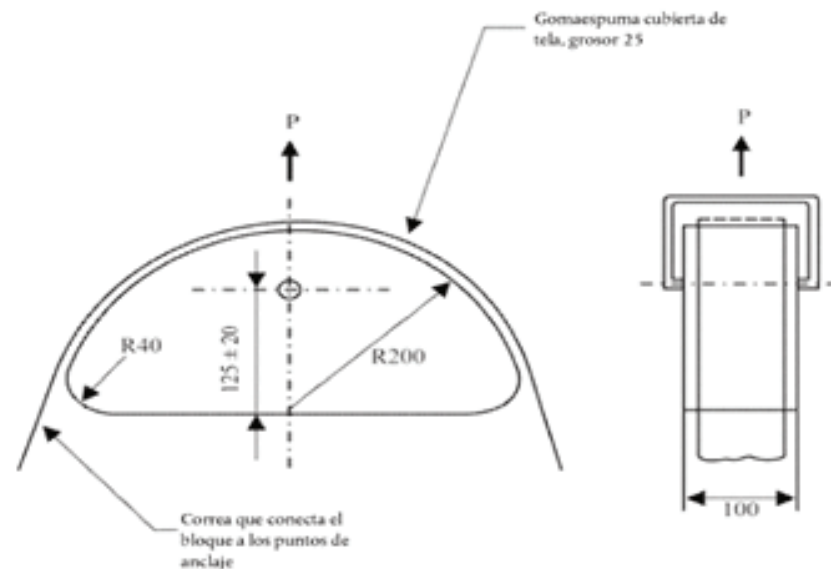


Figure 3

Bloque torácico [3].

cargas de tracción se deben aplicar con una inclinación de entre 5° y 15° y los anclajes deben soportar las cargas que se aplicaron en el tiempo de 0.2 segundos sin fallar. La Figura 4 muestra las condiciones de un ensayo de resistencia de anclajes de seguridad de tres puntos en un automóvil.

2. Materiales y Métodos

2.1. Asiento y material para la estructura de asientos

En los asientos de servicio de autobús interprovincial comerciales el ancho máximo es de 1020 mm y se realizaron experimentos de resistencia en anclajes para cinturones de seguridad de tres y dos puntos se eliminaron esponjas, tejidos y demás elementos plásticos que conformaron el asiento en la Figura 5 se presenta la estructura del asiento y los dispositivos pélvicos y torácicos anclados al asiento mediante los cinturones de seguridad y las cargas que se aplicaron de acuerdo con indicaciones del reglamento ECE R14.

El asiento interprovincial fue construido con varios elementos y perfiles estructurales que se detallan en la Tabla 1.

Con el diseño del modelo original en el programa de diseño CAD se importó en formato parasolid se verificó y preparó el modelo en el programa ANSYS Research LS DYNA.

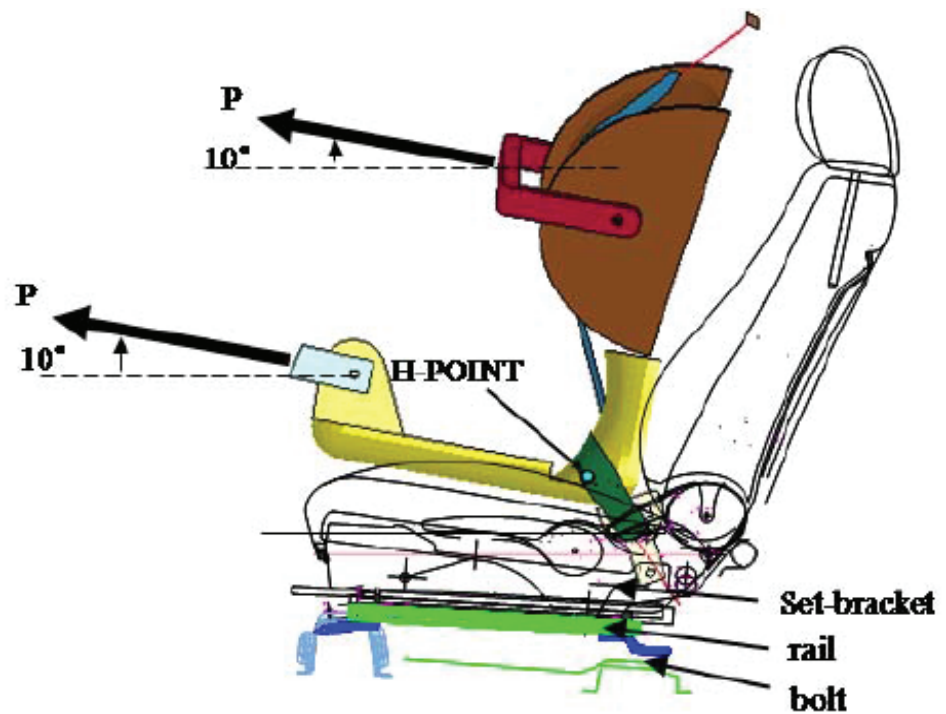


Figure 4

Prueba de resistencia de los anclajes [9].

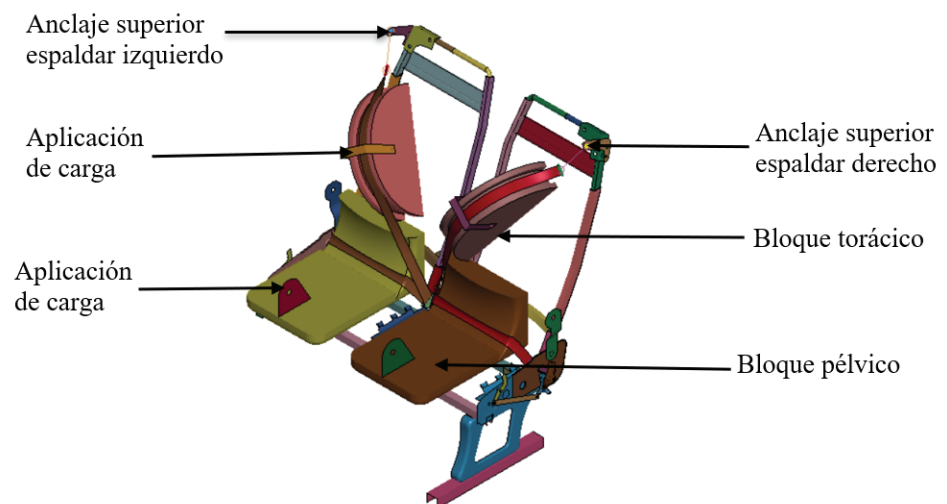


Figure 5

Estructura y disposición de bloques pélvico y torácico en el asiento interprovincial.

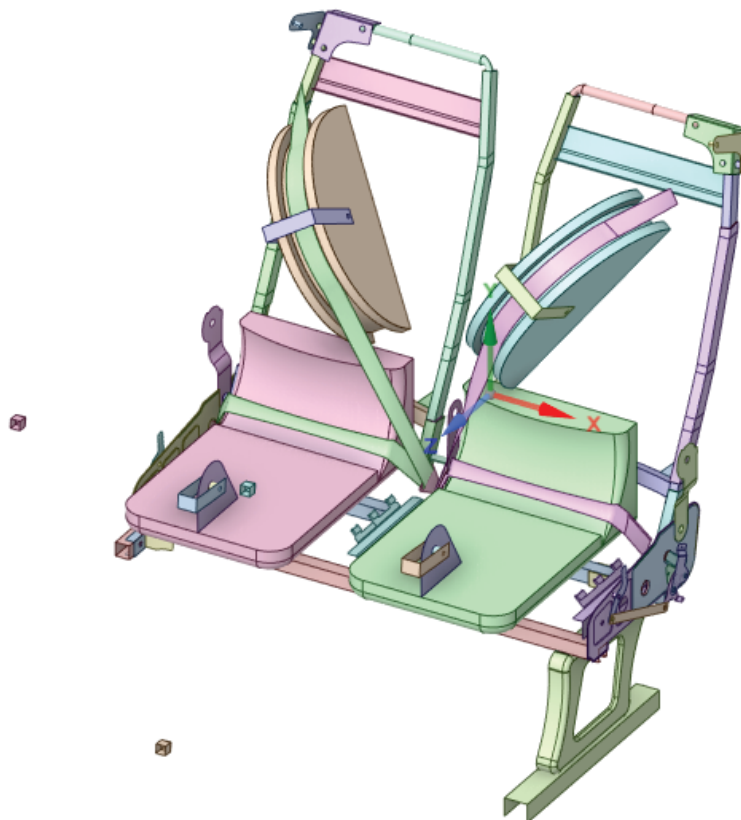
En la industria carrocería del país se utilizan materiales que están controlados bajo la norma INEN 2415: se determina las propiedades mecánicas de los aceros como indica Tabla II.

Table 1

Materiales de la estructura del asiento interprovincial.

Elemento	Descripción	Material	Dimensiones (mm)
Anclajes del cinturón de 3 puntos	Platina	ASTM A-36	-
Espaldar	Tubo estructural	ASTM A 500 Grado A	D= 25.4, e= 2
Pata	Plancha de acero	ASTM A-36	
Base	Tubo estructural	ASTM A 500 Grado A	D= 25.4, e= 2
Anclaje de la carrocería	Perfil C	ASTM A-36	50 x 25 x 2
Cinturón de seguridad	Correa 3 puntos	Poliéster	40 x 1.5

Elaborado por: Autores. **Fuente:** Origen de los datos.

**Figure 6**

Preparación del asiento interprovincial.

Para el mallado de los componentes se utilizaron elementos tipo shell de forma rectangular y triangular con un tamaño máximo de elemento por lado de 7 mm para la estructura y en los bloques pélvico y torácico con tamaño de 30 mm con puntos de integración de 3 (NPI=3) CON UNA FORMULACIÓN DEL TIPO (ELFORM =2), este tipo de elemento ahorra los recursos computacionales por lo tanto el tiempo de solución

**Table 2**

Propiedades mecánicas de los aceros (NTE 2013).

PROPIEDAD	ASTM A-36	ASTM A 500	POLIESTER
Densidad	7850 Kg/m ³	7890 Kg/m ³	1390 Kg/m ³
Módulo de elasticidad	200 GPa	200 GPa	11000 MPa
Límite de fluencia	250 - 280 MPa	320 Mpa	-
Módulo de corte	79,3 GPa	76, 9 GPa	39,5 GPa
Resistencia a la tensión	400 - 550 MPa	490 MPa	-
Resistencia a la compresión	160 Mpa	230 Mpa	-
Relacion de Poisson	0,3	0,3	0,39

Elaborado por: Autores. **Fuente:** Origen de los datos.

de los problemas fue relativamente corto y depende del equipo computacional con el cual se realizó el análisis.

En las condiciones de frontera se aplicaron las cargas en los dispositivos pélvicos y torácicos y estos elementos son considerados como cuerpos rígidos, la pata con el lado izquierdo del asiento se restringe todos sus grados de libertad ver la Figura 7, se muestra la dirección y el valor de las cargas con un tiempo de 0,2 segundos que es el recomendado para este tipo de análisis.

3. Resultados

En base a los parámetros establecidos se determinó la resistencia de la estructura del asiento y evaluó los elementos para la optimización topológica se analizó los esfuerzos máximos que soporto la estructura del asiento y con estos datos se define el comportamiento mecánico de cada elemento.

En la Figura 8 se comprobó el valor del esfuerzo máximo obtenido en el asiento y es de 938 MPa, con una deformación plástica de 0.16425 este valor es mínimo comparado con el valor máximo del material que es de 0,283. Los anclajes lateral y pata del asiento presentaron valores bajos de esfuerzos y deformación plástica efectiva por lo que se mantuvieron fijos a la estructura del asiento durante el tiempo que duro el análisis sin desprenderse de esta manera se cumple con el reglamento donde especifica que no debe existir desprendimiento de los elementos que conforman la estructura de los asientos, además los anclajes de los cinturones están sujetos a los espaldares del asiento presentaron deformación plástica sin producir algún tipo de falla. Para la optimización topológica de los elementos del asiento se selecciona varios elementos que se describen más adelante.

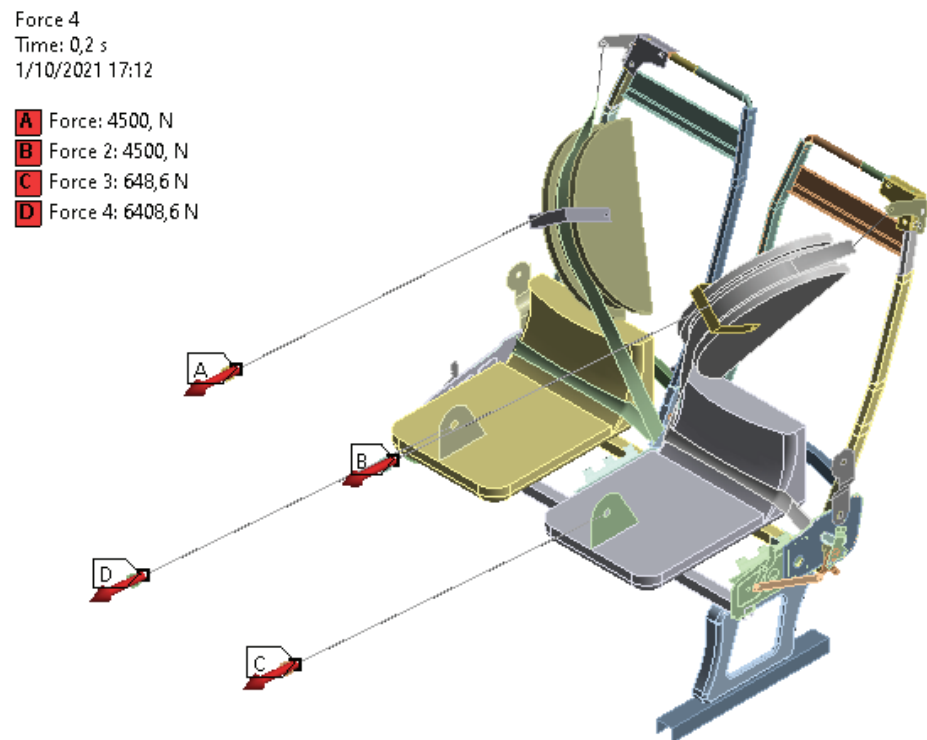


Figure 7

Aplicación de cargas en el asiento.

Luego del análisis de resistencia estructural del asiento y analizando los esfuerzos generados en cada elemento se realizó la optimización topológica de los siguientes elementos, anclaje superior, soporte de codera y pata del asiento.

Al hablar de optimización topológica nos referimos al modelo matemático que optimiza el material en un espacio de diseño dado, para un grupo de cargas, condiciones de contorno y restricciones establecidas en el modelo con el objetivo de maximizar el rendimiento en el sistema. La optimización topológica es diferente de la optimización de forma y la optimización del tamaño en el sentido de que el diseño puede alcanzar varias formas dentro del espacio de diseño, esto evita que se trabaje con configuraciones predefinidas.

Para la formulación de optimización topológica convencional se aplica el método de elementos finitos (FEM) que permitió evaluar el rendimiento del modelo o diseño. El diseño se optimiza utilizando técnicas de programación basados en la matemática de gradientes, por ejemplo, se evaluó el algoritmo de criterios de optimización y el método de movimiento de asíntotas o algoritmos no basados en gradientes, como los algoritmos genéticos.

La topología y optimización del tamaño se realizó mediante el programa ANSYS Research. El y tamaño la optimización es vital para el diseño de componentes ligeros

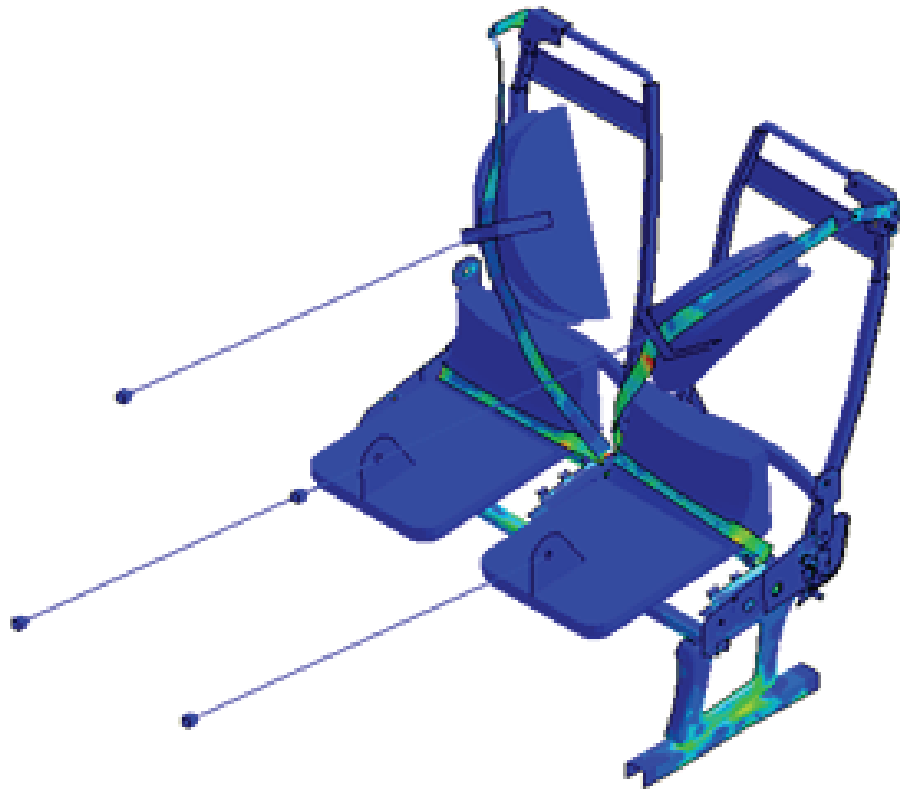


Figure 8

Esfuerzos de la estructura del asiento $t = 0.2$ s.

funcionales. Además, si la geometría resultante es complicada y no se puede producir con los tipos de fabricación clásicos se lo realizó mediante la fabricación aditiva.

Los componentes seleccionados para la optimización de la topología se definieron como espacio de diseño, excepto las ubicaciones donde se aplicaron cargas y las condiciones de contorno de acuerdo con los resultados obtenidos de la resistencia estructural del asiento en la Figura 9 se indica los elementos optimizados.

Después de optimizar los componentes que se indican en la Figura 9 se realizó la validación de resistencia estructural del asiento con las modificaciones geométricas y aplicando las condiciones de contorno se determinó que el asiento resiste durante el tiempo de aplicación de la carga en la Figura 10 se muestra el análisis de elementos finitos de la estructura.

En la optimización de topología, los parámetros que normalmente se cambian son el porcentaje de la masa inicial que se va a conservar. Este método de distribución reduce la densidad de las piezas tanto como sea posible para reducir la masa, pero se mantiene el máximo rendimiento mecánico en las siguientes situaciones de aplicación de la fuerza. Las piezas fueron reducidas su masa un 50% y estas reducciones se eligieron porque que comprobó los esfuerzos que van generado en el análisis experimental

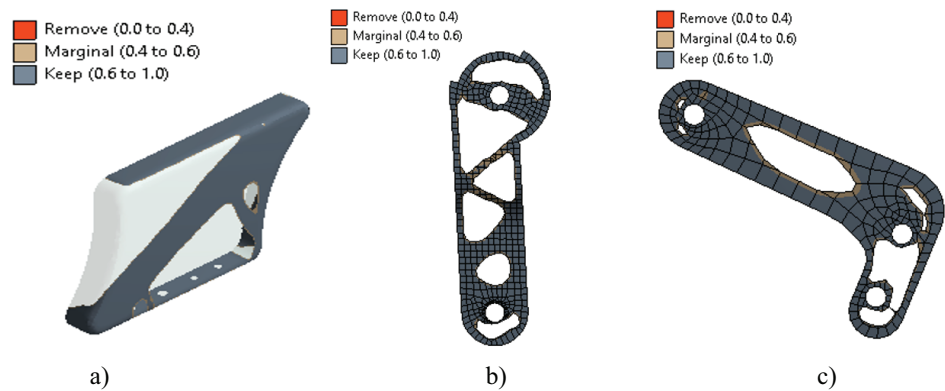


Figure 9

a) Pata, b) Soporte codero, c) Anclaje del cinturón superior, son los elementos que se optimizaron topológicamente.

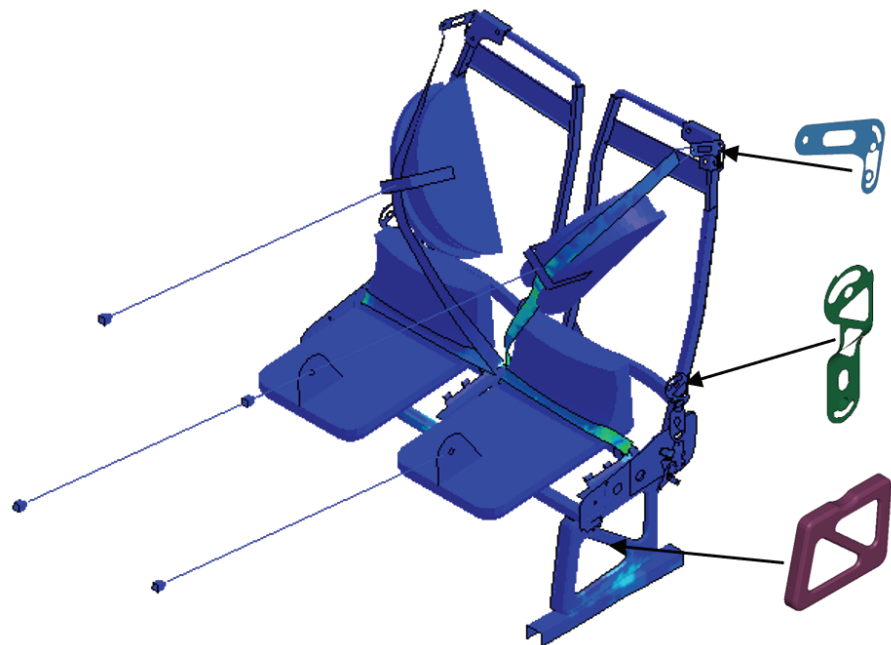


Figure 10

Análisis de resistencia con los elementos modificados topológicamente.

después de realizado el análisis del asiento con las piezas optimizados se obtuvieron los desplazamientos en el eje de coordenada X con valor máximo de 136.14mm, y el valor del esfuerzo máximo es de 1241.5MPa con una deformación plástica de 0,282 sin llegar a faltar material en la Tabla III se muestra los resultados de los elementos optimizados.



Table 3

Análisis de elementos optimizados topológicamente.

Piezas para optimizar	Desplazamientos	Deformaciones plásticas	Esfuerzos von Mises	Cumple el ECE R-80
Pata del asiento	22.552 mm	0,09652	747.14Mpa	Si
Soporte de la codera	42.58 mm	0.048	730.74Mpa	Si
Anclaje cinturón superior	136.14 mm	0.28	1241.5Mpa	Si

Elaborado por: Autores. **Fuente:** Origen de los datos.

Con los resultados obtenidos de los elementos modificados se comprobó con los requerimientos del reglamento ECE R80 y se muestra en la Tabla 4. Se verificó que el asiento cumple con esta normativa pues como se indica en la Figura 10 no se genera deformaciones exageradas o que puedan causar alguna lesión o la muerte en caso de accidentes de tránsito y los elementos optimizados topológicamente tampoco se deformaron plásticamente y se mantuvieron fijos en el asiento.

Table 4

Comprobación del reglamento ECE R80 de elementos optimizados [2].

Piezas Optimizadas	1.4.1. Ninguna parte del asiento se desprende durante el ensayo	1.4.2. El asiento sigue firmemente sujeto, aunque uno o varios anclajes se hayan desprendido parcialmente, y todos los sistemas de bloqueo permanecen fijos durante todo el tiempo que dure el ensayo	1.4.3. Después del ensayo no hay ninguna parte estructural del asiento o los accesorios con fracturas, aristas, vivas, bordes puntiagudos o esquinas que causen lesiones.	Verifica el cumplimiento del Reglamento ECE R-80
Pata del asiento	No	Si	No	Si
Soporte de codera	No	Si	No	Si
Anclaje cinturón superior	No	Si	No	Si

Elaborado por: Autores. **Fuente:** Origen de los datos.

La importancia del análisis de topología del asiento fue reducir el peso y de esta manera se mejoró la eficiencia, y consumo de combustible del autobús, el peso se redujo en 105 lb (47.62Kg) con este peso se procedió al cálculo de consumo de combustible.

$$W_T = W_{CH} + W_C + W_{PC}$$



Ecuación 1: Peso total

Donde:

$$W_T = \text{Peso total (Kg)}$$

$$W_{CH} = \text{Peso del chasis (Kg)}$$

$$W_C = \text{Peso de la carrocería (Kg)}$$

El peso promedio de las personas es de 70x44 aquí se incluye a los pesos de las cargas y del conductor y oficial.

$$W_{PC} = \text{Peso de las personas y carga (Kg)}$$

Los resultados obtenidos del análisis estadístico se explican la tabla

Table 5

Comparación de pesos de diferentes asientos interprovinciales.

Peso (Kg)	Fabricante
28,350	Asiento modelo turco
25,74	Asiento modelo 2 MIVILTECH
25,51	Asiento Imeisa
26,38	Asiento modelo 1 MIVILTECH
26,74	Asiento Tabsa
26,086	Asiento propuesto original
25,068	Asiento propuesto optimizado

Elaborado por: Autores. **Fuente:** Origen de los datos.

El consumo de combustible se calculó con los datos del motor del autobús en este caso el análisis se realiza en un autobús de servicio interprovincial.

$$C_{cd} = \text{Consumo} * P_T * \frac{1}{\rho_{\text{Diesel}}}$$

Ecuación 2: Consumo de combustible

Donde:

$$C_{cd} = \text{Consumo de volumen hora } C_d \text{ (lt/h)}$$

$$\text{Consumo} = \text{peso sobre potencia (g/KW * h)}$$

$$P_T = \text{Potencia del motor (KW)}$$

$$\rho = \text{Densidad del Diesel (Kg/m}^3\text{)}$$



$$C_{cd} = 24.7 \text{ lt/h} = 6.5 \text{ gl/h}$$

Finalmente, el ahorro económico fue de 451, 15 dólares al año, obteniendo una estructura del asiento interprovincial más ligera de esta manera se aportó para que las industrias carroceras fabriquen buses más livianos y con menor consumo de combustible y reduce la contaminación CO₂.

4. Conclusiones

Se modeló un asiento de autobús y evaluó la resistencia estructural por el método de elementos finitos bajo regulación europea ECE R80 para anclajes de cinturones de tres puntos.

El asiento modelado se evaluó mediante dinámica explícita verificándose que cumple con los requerimientos de resistencia que exige el reglamento ECE R80 y ECE R14.

Mediante la optimización topológica de varios elementos de la estructura del asiento de bus de tipo interprovincial se verificó que se mantienen dentro de los parámetros que exige la norma ECE R80 sin desprenderse romperse o crear elementos que puedan causar lesiones y en muchos casos la muerte de los ocupantes.

Se determinó los desplazamientos de la estructura del asiento de autobús en sus tres coordenadas de desplazamiento X, Y & Z, no sobrepasan los 400 mm, que es el rango mínimo que exige el reglamento ECE R80.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Ambato por haber apoyado este tema de investigación, también a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitir exponer el tema en el congreso de investigación que anualmente realiza.

References

- [1] ANT. Estadísticas siniestros de tránsito [Internet]. Ecuador: ANT; 2020. Available from: https://www.ant.gob.ec/?page_id=2670
- [2] Frías Valero E. Aportaciones al estudio de las maquinas electricas de flujo axial mediante la aplicacion del metodo de los elementos finitos [dissertation]. Spain: Universitat Politècnica de Catalunya; 2004. p. 111–144.



- [3] Chen X, Liu Y. Finite element modeling and simulation with ANSYS workbench. Florida: CRC Press location; 2014.
- [4] Heo U, Kim S-K, Song M-J, Yang I-Y, Im K-H. Effectiveness evaluation for seat parts by seat belt anchorage strength analysis. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. 2011;12:1031–1034.
- [5] Meza C, Tamayo F, Ediguer F. Optimización topológica aplicada al diseño de componentes estructurales mecánicos de peso reducido. *El Hombre y La Máquina*. 2015;46:72–79.
- [6] INEN. Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial. Requisitos. *Annual Book of INEN*. Ecuador: INEN; 2015.
- [7] INEN. Norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 104: 2013 primera revisión barras con resaltes de acero al carbono. Ecuador: INEN; 2013.
- [8] Stadler MM. Qué Es La Topología? *Sigma* 20; 2002. p. 63–77.
- [9] UNECE. Reglamento no 80 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) — Prescripciones uniformes relativas a la homologación de asientos de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros y de estos vehículos por lo que res. *Diario Oficial de la Unión Europea*. 2010:18–45.
- [10] UNECE. Reglamento R14 de la Comisión Económica Para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) — Prescripciones uniformes relativas a la homologación de los indicadores de dirección de los vehículos de motor y de sus remolques. *Diario Oficial de la Unión Europea*. 2015;78:30–59.