

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



MAESTRÍA EN MECÁNICA
(COHORTE 2017)

TEMA:

**“OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA DE UN ASIENTO DE AUTOBÚS
INTERPROVINCIAL PARA EL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO
ECE-R80”**

Trabajo de Titulación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención
Diseño

Autor: Ing. Carlos Omar Córdova Aldas

Director: Ing. Diego Núñez Núñez, MSc, Mg

Ambato- Ecuador

2020

**A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y
Mecánica**

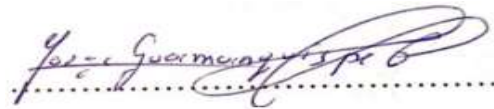
El tribunal receptor del Trabajo de Titulación presidido por el Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg., e integrado por los señores: Ing. Cristián Fabián Pérez Salinas, Mg., Ing. Jorge Guamanquispe Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: **“OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA DE UN ASIENTO DE AUTOBÚS INTERPROVINCIAL PARA EL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO ECE-R80”**, elaborado y presentado por el señor: Ing. Carlos Omar Córdova Aldas, para optar por el Grado Académico de Magister en Mecánica, Mención en Diseño; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.
Presidente del Tribunal



Ing. Cristián Fabián Pérez Salinas, Mg.
Miembro del Tribunal



Ing. Jorge Patricio Guamanquispe, Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de titulación presentado con el tema: “**OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA DE UN ASIENTO DE AUTOBÚS INTERPROVINCIAL PARA EL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO ECE-R80**”, le corresponde exclusivamente al: Ingeniero Carlos Omar Córdova Aldas, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Diego Fernando Núñez Núñez, MSc, Mg., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Carlos Omar Córdova Aldas
cc. 1804341376
AUTOR



Ing. Diego Fernando Núñez Núñez MSc, Mg
cc. 1803367729
DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Carlos Omar Córdova Aldas
c.c. 1804341376

DEDICATORIA

Este trabajo investigativo que refleja la ardua labor que ha sido para alcanzarlo quiero dedicar este peddaño más en mi vida a Dios, a mis Padres a mi esposa a mi Hijo y a mis hermanos y sobrinos.

A Dios por ser la motivación espiritual que me ha permitido ser ese motor de impulso con su divinidad de darme las cosas en los momentos oportunos y por darme la sabiduría.

A mis Padres quienes son la parte fundamental en mi vida con sus consejos y su tiempo para brindarme el apoyo para llegar hasta aquí.

A mi esposa Alexandra Buenaño quien fue una de las personas que me impulso para poder emprender esta travesía de lograr un nuevo alcance profesional.

A mi hijo Pablo Agustín quien llevo en el momento oportuno para poder ser esa motivación de seguir adelante en este mundo mágico del saber.

A mis hermanos Wilma, Carmen, Xavier y mis sobrinos quienes han sido un apoyo fundamental para poder ayudarme moralmente en esta travesía.

De una manera especial quiero dedicar esta maestría a Gabriela Estefanía, quien en esta vida pudo compartir, grandes momentos desde nuestra niñez, adolescencia y juventud con mucho sentimiento te vimos partir, pero sabemos que hoy eres ese ángel que cuida de cada uno de nosotros.

AGRADECIMIENTO

A la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad técnica de Ambato, a todo el personal directivo y docente por ser quienes han gestionado que pueda impartirse esta maestría y permitir que el conocimiento crezca.

A mi tío el Sr. Víctor Aldaz quien me brindo su apoyo permitiendo, trabajar en horarios accesibles para poder continuar con mis estudios.

A los ingenieros Diego Núñez y Cesar Arroba, quienes con su conocimiento me han guiado para poder realizar este trabajo investigativo.

A todos mis compañeros y amigos con quienes vivimos esta hermosa experiencia de compartir tanto en clases como socialmente estos tiempos de experiencia educativa.

A todos quienes de una u otra manera me dieron su mano para poder hacer realidad este sueño profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	I
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	II
DERECHOS DE AUTOR	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
RESUMEN EJECUTIVO	XVIII
EXECUTIVE SUMMARY.....	XIX
Capítulo 1	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 Contextualización del problema.....	1
1.2.2 Análisis crítico	2
1.2.3 Prognosis	3
1.2.4 Formulación del problema	3
1.2.5. Preguntas directrices	3
1.2.6. Delimitación del problema.....	3
1.2.6.1. Delimitación de contenidos.....	3
1.2.6.2. Delimitación espacial	4
1.2.6.3. Delimitación temporal.....	4
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivo específico.....	6
Capítulo 2	7
2.1 Antecedentes investigativos	7

2.2 Fundamentación teórica	8
2.2.1 Tipos de asiento.....	9
2.2.2 Topología	11
2.2.2.1 Clasificación de la optimización topológica	13
2.2.2.2 Métodos de solución	15
2.2.3 Reglamento ECE-R80 para construcción y simulación del asiento interprovincial	27
2.2.4 Análisis a través de los elementos finitos	33
2.3 Fundamentación filosófica	41
2.3.1 Fundamentación legal	41
2.4 Categorías fundamentales	42
2.5 Hipótesis.....	42
2.6.1 Variable independiente	42
2.6.2 Variable dependiente.....	43
Capítulo 3	44
3.1 Enfoque	44
3.2 Modalidad básica de la investigación	44
3.2.1 De campo	44
3.2.2 Bibliográfico	45
3.3 Nivel o tipo de investigación.....	45
3.3.1 Según la intervención del investigador	45
3.3.2 Según la planificación de la toma de datos	45
3.3.3 Según el número de ocasiones en que mide la variable de estudio.....	45
3.3.4 Según el número de variable de interés.....	45
3.4 Población y muestra	46
3.4.1 Población.....	46
3.4.2 Muestra.....	46
3.5 Operacionalización de variables	47
3.5.1 Variable independiente	47
3.6 Recolección de la información.....	49
3.7 Procesamiento y análisis	50

3.7.1 Plan de procesamiento	50
Capítulo 4	51
4.1 Análisis de los resultados	51
4.1.1 Organigrama.....	51
4.2 Interpretación de los resultados.....	53
4.2.1 Pre-procesado.....	53
4.2.1.1 Obtención del CAD:.....	53
4.2.1.2 Preparación del modelo:.....	53
4.2.1.3 Mallado.-	53
4.2.2 Preparación de la estructura del asiento para la simulación.....	57
4.2.2.1 Asignación de materiales	57
4.2.2.2 Cargas y apoyos	57
4.2.3 Procesado	60
4.2.4 Post procesado.....	60
4.2.4.1 Simulación del asiento original con cinturón de seguridad de tres puntos	60
4.2.4.2 Simulación del asiento original con cinturón de seguridad de dos puntos	68
4.2.5 Simulación de los elementos de la estructura que fueron optimizadas topológicamente	77
4.2.5.1 Pata del asiento.....	77
4.2.5.2 Soporte de los resortes	86
4.2.5.3 Soporte de la codera	95
4.2.5.4 Placa original del cinturón de seguridad	104
4.2.6 Resultados del módulo de optimización topológica (O.P.).....	112
4.2.6.1 Optimización topológica de la pata del asiento.....	113
4.2.7 Análisis de las partes optimizadas topológicamente	130
4.2.7.1 Simulación de la pata optimizada topológicamente.....	130
4.2.7.2 Soporte de los resortes optimizados topológicamente	139
4.2.7.3 Soporte de la codera optimizada topológicamente.....	147
4.2.7.4 Placa del cinturón de seguridad optimizada topológicamente	156
4.3 Verificación de la hipótesis	165
4.3.1 Estructura del asiento original.....	165

4.3.2 Estructura del asiento optimizado	167
Capítulo 5	173
5.1 Conclusiones	173
5.2 Recomendaciones.....	174
Capítulo 6	175
6.1 Datos informativos	175
6.2 Antecedentes de la propuesta	175
6.3 Justificación.....	176
6.4 Objetivos	177
6.4.1 General	177
6.4.1 Específicos	177
6.5 Análisis de factibilidad.....	177
6.6 Fundamentación	178
6.6.1 Elementos que constituyen la estructura del asiento para bus interprovincial	178
6.6.2 Análisis en la estructura de asiento	179
6.6.2.1 Descripción de la estructura del asiento de bus de tipo interprovincial	181
6.6.2.2 Resultados de la simulación	182
6.7 Análisis de la propuesta	184
6.7.1 Simulación del asiento de bus interprovincial optimizado topológicamente..	184
6.8 Administración.....	193
6.9 Previsión de la evaluación.....	193
6.9.1 Consumo de combustible	193
6.9.2 Análisis económico	198
Bibliografía	199
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Proceso de modelación con MEF [15].....	33
Tabla 2-2 Tipos de modelación en MEF [15].....	35
Tabla 3-1 Cantidad de carrocerías fabricadas e importadas.....	46
Tabla 3-2 Variable independiente	47
Tabla 3-3 Variable dependiente	48
Tabla 3-4 Organigrama de desarrollo del tema.....	50
Tabla 4-1 Organigrama de optimización	51
Tabla 4-2 Estructura del asiento original	54
Tabla 4-3 Estructura del asiento original modelado en CAD	55
Tabla 4-4 Estructura del asiento original mallado	56
Tabla 4-5 Cargas aplicadas según el reglamento ECE R14.....	59
Tabla 4-6 Desplazamientos del asiento original en X, Y, Z con cinturón de seguridad de tres puntos	61
Tabla 4-7 Esfuerzos por Von Mises del asiento original con cinturón de seguridad de tres puntos	65
Tabla 4-8 Deformación plástica del asiento original con cinturón de seguridad de tres puntos	67
Tabla 4-9 Desplazamientos del asiento original en X, Y, Z con cinturón de seguridad de dos puntos.....	69
Tabla 4-10 Valores de los desplazamientos en la estructura del asiento original con cinturón de seguridad dos puntos.....	71
Tabla 4-11 Esfuerzos por Von Mises del asiento original con cinturón de seguridad de dos puntos	73
Tabla 4-12 Deformación plástica del asiento original con cinturón de seguridad de dos puntos	75
Tabla 4-13 Desplazamientos en los ejes X, Y, Z en la pata del asiento original	78
Tabla 4-14 Valores de los desplazamientos pata del asiento original.....	80
Tabla 4-15 Esfuerzos por Von Mises de la pata del asiento original.....	82
Tabla 4-16 Deformación plástica de la pata original	84

Tabla 4-17 Desplazamiento de los soportes resortes originales del eje X, Y, Z.....	87
Tabla 4-18 Valores de los desplazamientos en el soporte de los resortes.....	89
Tabla 4-19 Esfuerzos por Von Mises en los soportes de los resortes originales	91
Tabla 4-20 Deformación plástica en los soportes de los resortes originales.....	93
Tabla 4-21 Desplazamiento de los soportes de la codera original en los ejes X, Y, Z	96
Tabla 4-22 Valores de los desplazamientos en el soporte de la codera del asiento original	98
Tabla 4-23 Esfuerzos por Von Mises en el soporte de la codera original.....	100
Tabla 4-24 Deformación plástica en el soporte de la codera original.....	102
Tabla 4-25 Desplazamiento de la placa original del cinturón de seguridad en los ejes X, Y, Z	105
Tabla 4-26 Valores de los desplazamientos en la placa original del cinturón de seguridad	107
Tabla 4-27 Esfuerzos por Von Mises placa original del cinturón de seguridad	109
Tabla 4-28 Deformación plástica en la placa original del cinturón de seguridad.....	111
Tabla 4-29 Valore de la iteración para la optimización de la pata del asiento.....	116
Tabla 4-30 Valores de la iteración para la optimización del soporte de resorte	121
Tabla 4-31 Valores de la iteración para la optimización del soporte de la codera....	125
Tabla 4-32 Valores de la iteración para la optimización de la placa del cinturón de seguridad	129
Tabla 4-33 Desplazamiento de la pata optimizada con respecto a los ejes X, Y, Z .	131
Tabla 4-34 Valores de los desplazamientos en la pata del asiento optimizada topológicamente	133
Tabla 4-35 Esfuerzos equivalentes a Von Mises en la pata optimizada del asiento .	135
Tabla 4-36 Deformación en la pata optimizada topológicamente	137
Tabla 4-37 Desplazamiento de los soportes de los resortes optimizados topológicamente en los ejes X, Y, Z.....	140
Tabla 4-38 Valores de los desplazamientos en el soporte de los resortes.....	142
Tabla 4-39 Esfuerzos por Von Mises en los soportes de los resortes optimizados topológicamente	143
Tabla 4-40 Deformación plástica en los soportes de los resortes	145

Tabla 4-41 Desplazamiento soportes de la codera optimizada topológicamente en los ejes X, Y, Z	148
Tabla 4-42 Valores de los desplazamientos en el soporte de la codera optimizada topológicamente	150
Tabla 4-43 Esfuerzos por Von Mises en el soporte de la codera optimizada topológicamente	152
Tabla 4-44 Deformación plástica en el soporte de la codera optimizada topológicamente	154
Tabla 4-45 Desplazamiento de la placa del cinturón de seguridad optimizada en los ejes X, Y, Z	157
Tabla 4-46 Valores de los desplazamientos en la placa del cinturón de seguridad optimizada topológicamente	159
Tabla 4-47 Esfuerzos por Von Mises placa del cinturón de seguridad optimizado topológicamente	161
Tabla 4-48 Deformación plástica en la placa del cinturón de seguridad optimizada topológicamente	163
Tabla 4-49 Resultados de simulación de las partes del asiento original	166
Tabla 4-50 Análisis con el reglamento ECE R80 a las partes originales	166
Tabla 4-51 Resultados de simulación de las partes optimizadas topológicamente	167
Tabla 4-52 Verificación con el reglamento ECE R80 a las partes optimizadas topológicamente	168
Tabla 4-53 Tabla de pesos de asientos interprovinciales	169
Tabla 4-54 Desplazamiento de la estructura del asiento original	171
Tabla 4-55 Desplazamiento de la estructura del asiento optimizado	171
Tabla 6-1. Elementos del asiento de bus de tipo interprovincial originales y optimizados topológicamente	180
Tabla 6-2 Elementos del asiento de bus interprovincial y sus materiales	182
Tabla 6-3 Mallado del asiento de bus interprovincial optimizado topológicamente	183
Tabla 6-4 Desplazamiento del asiento optimizado topológicamente en los ejes X, Y, Z	185

Tabla 6-5 Valores de los desplazamientos en la pata del asiento optimizada topológicamente	187
Tabla 6-6 Esfuerzos equivalentes a Von Mises del asiento optimizado topológicamente	189
Tabla 6-7 Deformación plástica asiento optimizado topológicamente	191
Tabla 6-8 Gastos económicos realizados	193
Tabla 6-9 Coeficiente de resistencia a la rodadura [17].....	194
Tabla 6-10 Potencia y peso de los chasis para bus [17].....	196

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Asientos para buses urbanos [8]	10
Figura 2.2 Asientos para buses interprovincial [8]	10
Figura 2.3 Categorías de optimización estructural. [11].....	12
Figura 2.4 Optimización topológica de estructuras discretas [12].....	13
Figura 2.5 Optimización topológica de estructuras continuas con el enfoque. [12]...	15
Figura 2.6 Formas de optimizar según el diseño [11].....	16
Figura 2.7 Diseño de una estructura de rodilla [11].....	19
Figura 2.8 Estructura optimizada de rodilla con los soportes [11]	23
Figura 2.9 Funciones level-set [13].....	24
Figura 2.10 Funciones level-set restringida [13].....	24
Figura 2.11 Funciones level-set en sus dos materiales [13].....	25
Figura 2.12 Escala grises.....	26
Figura 2.13 Formación del tablero de ajedrez.....	27
Figura 2.14 Asientos para buses interprovincial [8]	28
Figura 2.15 Ensayo dinámico de un asiento doble [5].....	30
Figura 2.16 a) Bloque pélvico b) bloque torácico [14].....	32
Figura 2.17 Bloque pélvico y torácico	33
Figura 2.18 Elemento truss tridimensional [16].....	36
Figura 2.19 Elemento truss tridimensional [16].....	37
Figura 2.20 Elementos bidimensional en esfuerzo plano [16].....	37
Figura 2.21 Elementos cuadriláteros y triangulares [16]	38
Figura 2.22 Elemento shell [15].....	38
Figura 2.23 Mallado de un cilindro.....	39
Figura 2.24 (a) Tetraedro de 4 nodos; tetraedro de 10 nodos. [16].....	39
Figura 2.25 Elementos brick y sus grados de libertad por nodo (8nodos). [16]	40
Figura 2.26 Categorías fundamentales	42
Figura 4.1 Diseño interior de un bus.....	58
Figura 4.2 Modelo de un asiento de bus	58
Figura 4.3 Pata del asiento original.....	77

Figura 4.4 Soporte de los resortes	86
Figura 4.5 Codera del asiento original.	95
Figura 4.6 Placa original del cinturón de seguridad.....	104
Figura 4.7 Pata original del asiento.....	113
Figura 4.8 a) Desplazamiento en las direcciones X b) Desplazamiento en Z c) Desplazamiento en Y d) Fixed Suport	114
Figura 4.9 a) Región azul área de la pata del asiento a optimizar b) Región roja área de la pata del asiento que debe mantenerse con material.....	114
Figura 4.10 Área de la pata del asiento que se mantendrá con el 50% de material ..	115
Figura 4.11 Formación de la escala grises en todo el material de la pata del asiento a ser optimizado	115
Figura 4.12 Minimación de la escala gris de la pata del asiento.....	115
Figura 4.13 Simplificación de la escala gris con el valor de penalización de 3 de la pata del asiento.....	115
Figura 4.14 Modelo de la pata optimizado con las condiciones impuestas	115
Figura 4.15 Número de iteración vs el valor del material.....	116
Figura 4.16 Modelo optimizado topológicamente	117
Figura 4.17 Soporte del resorte	118
Figura 4.18 A) Desplazamiento en las direcciones Z B) desplazamiento en X C) - D) Desplazamiento en Y E) Fixed Suport.....	118
Figura 4.19 a) Región azul área del soporte de resorte a optimizar b) Contorno roja área soporte de resorte que debe mantenerse con material	118
Figura 4.20 Área se mantendrá con el 40% de material	120
Figura 4.21 Formación de la escala griss en todo el modelo a ser optimizado.....	120
Figura 4.22 Minimación de la escala gris	120
Figura 4.23 Simplificación de la escala gris con el valor de penalización de 3.....	120
Figura 4.24 Modelo del soporte de resorte optimizado con las condiciones impuestas	120
Figura 4.25 Número de iteración vs el valor del material en el modelo de optimización del soporte de resorte	121
Figura 4.26 Modelo del soporte optimizado topológicamente.....	122

Figura 4.27 Soporte de la codera.....	123
Figura 4.28 A) Desplazamiento en las direcciones X B) desplazamiento en Z C) Desplazamiento en Y D) Fixed Suport	123
Figura 4.29 a) Región azul área del soporte de la codera a optimizar b) Contorno roja área del soporte de la codera que debe mantenerse con material.....	123
Figura 4.30 Área del soporte de la codera que se mantendrá con el 40% de material	124
Figura 4.31 Formación del tablero de ajedrez en el modelo a ser optimizado.....	124
Figura 4.32 Region oscura presencia del material region blanca ausencia de material	124
Figura 4.33 Crecimiento de la region con presencia de material	124
Figura 4.34 Modelo del soporte de la codera optimizado con las condiciones impuestas	124
Figura 4.35 Número de iteración vs el valor del material en el modelo de optimización del soporte de la codera.....	125
Figura 4.36 Modelo del soporte de la codera optimizado topológicamente	126
Figura 4.37 Soporte del cinturón de seguridad	127
Figura 4.38 A) Desplazamiento en las direcciones X Y Z B) Fixed Suport.....	127
Figura 4.39 a) Región azul área de la placa del cinturón de seguridad a optimizar b) Contorno rojo área del cinturón de seguridad que debe mantenerse con material ...	127
Figura 4.40 Área de la placa del cinturón de seguridad que se mantendrá con el 40% de material.....	128
Figura 4.41 Formación del tablero de ajedrez en el modelo a ser optimizado.....	128
Figura 4.42 Region oscura presencia del material region blanca ausencia de material	128
Figura 4.43 Crecimiento de la region con presencia de material.....	128
Figura 4.44 Modelo del de la placa del cinturón de seguridad optimizado con las condiciones impuestas.....	128
Figura 4.45 Número de iteración vs el valor del material en el modelo de optimización dela placa del cinturón de seguridad	129

Figura 4.46 Modelo de la placa del cinturón de seguridad optimizado topológicamente	130
Figura 4.49 Soporte optimizado de los resortes	139
Figura 4.50 Codera del asiento optimizada.....	147
Figura 4.51 Placa del cinturón de seguridad optimizada topológicamente.....	156
Figura 6.1 Componentes del espaldar del asiento.....	179
Figura 6.2 Asiento de bus interprovincial y sus partes	182

RESUMEN EJECUTIVO

La fabricación de asientos en las carrocerías de los buses interprovinciales fabricados en el país se los viene realizando de una forma artesanal.

Este trabajo tanto para analizar las piezas originales y optimizadas se realizó un pre-procesado efectuando un diseño CAD para dibujar la geometría de la estructura del asiento, luego se pasó a un proceso en el cual se desarrolló un diseño de mallado particular lo que permitió aligerar los resultados al momento de ser evaluados en los programas MEF, se verificó en el post-procesado los esfuerzos a los cuales las piezas más fundamentales están expuestas a través de la simulación en los programas computacionales. Las piezas que fueron optimizadas son: la pata del asiento, el soporte de los resortes, las platinas de soporte del cinturón de seguridad y los soportes de las coderas.

Esta optimización topológica en cada una de las piezas que conforman el asiento para bus de servicio interprovincial, permitió reducir el peso de los asientos y por ende de toda la carrocería, el cual influye en una reducción de combustible.

Palabras claves: pre-procesado, CAD, mallado computacional, MEF, post-procesado

EXECUTIVE SUMMARY

The manufacturing process of the seats from the metallic body of the interprovincial buses made in the country are made by craft.

The analysis of the original and optimized pieces was carried out through the following steps: with a pre-processing carrying out a CAD design in order to draw the geometry of the seat structure, then, there was a process in which a particular mesh design was developed, which allowed to lighten the results at the moment of being evaluated in the MEF programs; the efforts to which the most fundamental pieces are exposed were verified in post-processing through simulation in computer programs. The pieces that were optimized are: the seat leg, the spring support, the seat belt support plates and the elbow supports.

This topological optimization in each of the pieces that are part of the interprovincial service bus seat, allowed to reduce the weight of the seats and therefore the entire body, which influences a reduction in fuel.

Keywords: pre-processed, CAD, computational meshing, MEF, post-processed.

Capítulo 1

1.1 Tema

Optimización topológica de un asiento de autobús interprovincial para el cumplimiento del reglamento ECE-R80

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Contextualización del problema

Los seres humanos necesitamos movilizarnos de un lugar a otro a cada instante, siendo la utilización del autobús el medio más económico, y de horarios más accesibles para poder hacer uso del mismo, es por ello que los fabricantes de autobuses están en constante evolución en diseños y comodidades, para poder brindar a sus clientes las mejores y más innovadoras unidades, para satisfacer los requerimientos del usuario.

La cantidad de accidentes en las carreteras por autobuses cada vez va en incremento siendo en algunos países, como España el índice de más del 50%, causante de mortalidad y lesiones graves. Otra consecuencia del uso de autobús es la contaminación que este provoca, al expulsar emisiones nocivas, mientras más pesado sea el autobús mayor quema de combustible tendrá. [1]

En nuestro país existe alrededor de 55 carrocerías habilitadas por la ANT (Agencia Nacional de Transito) a nivel de Tungurahua existe un total de 27 fabricantes carroceros es decir el 50% de toda la industria nacional. Los proveedores que suministra los asientos a las diferentes carrocerías; construyen asientos que únicamente consideran la comodidad del pasajero sin importar la cantidad de material que pueda utilizarse en la estructura, la normativa utilizada en nuestro país solo consideran las dimensiones que estos deben tener y no realizan ensayos estructurales que puedan garantizar su resistencia.

Los diseños de los asientos en las carrocerías nacionales no siguen un proceso de diseño para poder brindar mayores ventajas, lo único que se ha incrementado para tener medidas de seguridad y cumplir con las homologaciones, en el país son los cinturones de seguridad.

La investigación topológica en nuestro país es poco considerado por los diseñadores al contrario de los países desarrollados quienes ya utilizan estas herramientas de diseño para que las estructuras se han más livianas y puedan tener un mejor aligeramiento y ganar mejores eficiencias en su desarrollo.

1.2.2 Análisis crítico

La industria carrocera en nuestro país se realiza de manera experimental, para comprobación de su resistencia, con la homologación establecida por los gobiernos ha hecho que estas se han adaptadas a normas internacionales, por lo que los fabricantes han tenido que acogerse para poder realizar la homologación realizando solo simulaciones en programas computacionales, en su mayoría no han querido invertir en modelos particulares con verificaciones físicas de los mismos para garantizar su trabajo al consumidor.

En nuestra localidad tenemos a los mayores productores de carrocerías y por ende a los proveedores de las partes de estas, uno de los más importantes son quienes abastecen a estos empresarios de los asientos tanto para buses urbanos como para el servicio interprovinciales, su producción la realizan de manera empírica y con copia de modelos establecidos por carrocerías internacionales debido al costo de estudio estos no observan la ventaja que pudieran obtener al realizar modificaciones que ayuden a dar mejores ventajas.

Hoy en día la mayor investigación dentro de las universidades que se ha dado al tema de asientos es la resistencia que debe tener estos en los anclajes, y pocos han desarrollados trabajos de innovación en la estructura.

1.2.3 Prognosis

Con el aligeramiento de los asientos aseguramos la resistencia requerida ante impactos y un diseño que cumpla con los estándares de calidad.

Los programas de CAD/CAE y simuladores se los puede utilizar para poder diseñar y evaluar la construcción de los asientos, debido a que la Universidad Técnica de Ambato cuenta con las licencias de estos programas.

En caso de que esta investigación no pudiera realizarse; la producción de asientos para buses interprovinciales se seguirá efectuando sin un nuevo diseño para poder alivianar el peso, sin tener que dar la ventaja de ayudar a que el peso del bus en general se reduzca en un porcentaje para así tener un mejor aligeramiento y la utilización de materia prima se reduzca y por ende las horas de fabricación también.

1.2.4 Formulación del problema

¿Cómo se puede realizar el estudio topológico en la estructura del asiento de autobús de tipo interprovincial aplicando el reglamento ECE R80?

1.2.5. Preguntas directrices

¿Definir cómo se puede desarrollar un modelo de asiento para autobús interprovincial?

¿En qué nos fundamentaremos para poder desarrollar el análisis de simulación?

¿Cuáles son los parámetros para desarrollar un diseño topológico?

¿Cómo se podrá garantizar el diseño desarrollado al hacer un estudio de mejoramiento topológico del asiento de autobús interprovincial?

1.2.6. Delimitación del problema

1.2.6.1. Delimitación de contenidos

El presente estudio se fundamentó en el campo de la Maestría en Mecánica en el área de Diseño con los módulos de Diseño por elementos finitos, Modelación de Sistemas Mecánicos, Diseño de Experimento, Fiabilidad de sistemas mecánicos.

1.2.6.2. Delimitación espacial

Los diseños se efectuarán en programas de CAD/CAE, en la Universidad Técnica de Ambato, Laboratorio de Mecánica.

1.2.6.3. Delimitación temporal

El presente estudio se desarrolló en los meses comprendidos entre junio del 2018 a enero del 2020.

1.3 Justificación

Los investigadores hoy en día se basan en lineamientos que buscan ayudar a la comunidad en problemas que se producen día a día, es por ello que este trabajo permitirá resolver en la industria carrocería uno de los grandes problemas que se ha tenido desde sus inicios los cuales se han ido resolviendo con la introducción de nuevos materiales para su construcción. Las carrocerías en principio fueron de madera su evolución ha llevado que ahora se construya de combinación de materiales tanto acero como materiales compuestos y accesorios de PVC, nuestro trabajo está basado en poder optimizar la topología de la estructura del asiento; es decir poder tener bajo peso con una mejor o igual resistencia con un nuevo rediseño.

Por medio de la presente investigación se proporcionará mayores ventajas al campo carrocería al contar con estudios explícitos de los asientos lo cual podrá beneficiar tanto a los productores que podrán realizar un mejor trabajo con una reducción considerable del material a utilizar en su fabricación y al consumidor que serán los dueños de los buses que les permitirá tener un menor peso en la estructura del bus interprovincial lo cual podrá tener un mejor aligeramiento y este a su vez su rendimiento será más óptimo.

El área de fabricación carrocería en Ambato es una de las que en mayor cantidad encontramos siendo el 50% del total que existe en el país. Es por ello que nos lleva a desarrollar un análisis de uno de los componentes de la carrocería que son los asientos.

Este trabajo investigativo tendrá una metodología en la que primero realizaremos un estudio de un modelo de asiento construido en base a lineamientos internacionales, el

cual es utilizado en nuestro país por carrocerías homologadas; a este se realizara un análisis para comprobar cuáles son los elementos más fundamentales en los cuales sufren mayores esfuerzos, una vez realizado este estudio se realizara la optimización topológica de su estructura aplicando a los elementos más importantes.

El diseño se lo podrá realizar en programas de CAD/CAE, los cuales permitirán analizar la resistencia con la normativa de las fuerzas a las cuales es sometido.

Para poder homologar un nuevo diseño de carrocería y por ende las partes que lo conforman la misma, el país viene utilizando los reglamento de la ECE los cuáles han sido adaptados a nuestro transporte uno de los más utilizados es el ECE R14 el mismo que hemos utilizado para aplicar las fuerzas en la simulación; debido a que las exigencias en este reglamento están sobre lo que estipula el R80 es decir que si logra cumplir los parámetros que estipula el R14 ya está cumpliendo el R80.

La estructura del asiento rediseñada podrá contar con garantía para cumplir con los esfuerzos a los cuales este sometido cuando efectuó su trabajo.

Esta investigación es pionera en el país, debido a que dicha innovación topológica no se lo realiza en la industria en general y aún menos en la estructura de los asientos de carrocerías de gran tamaño para buses de servicio interprovincial.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Optimizar Topológicamente la estructura de los asientos para buses interprovinciales cumpliendo el reglamento ECE-R80.

1.4.2 Objetivo específico

- Obtener la geometría del asiento de bus interprovincial mediante software CAD.
- Realizar un análisis dinámico explícito por elementos finitos del asiento de bus interprovincial bajo el reglamento ECE-R80.
- Evaluar mediante la simulación por medio de los software CAD/CAE los esfuerzos y deformaciones máximos del asiento original, para bus interprovincial y los elementos a optimizar.
- Rediseñar topológicamente las partes del asiento seleccionadas para poder tener un mejoramiento en la estructura del asiento, dándoles una forma que permita aligerar el peso.

Capítulo 2

2.1 Antecedentes investigativos

La industria cada vez busca mejores desarrollos es así que los investigadores hoy en día tratan de simplificar más las estructuras, reduciendo peso y optimizando de mejor manera los elementos mecánicos. Un estudio realizado en la universidad autónoma de México pudo mejorar la forma de las piezas estructurales utilizando la topología por esqueleonitización la cual busca dar una geometría que pueda ser fabricada, este método se basa en realizar un algoritmo donde se pueda adaptar piezas topológicas. [2]

En Beijing China en la Universidad de Tsingua se realizó una investigación. Basada en el estudio de la masa del auto bus, donde se reduce un 8,52% el peso, siendo un total de 246,45 Kg. del peso original. En donde fue analizada la cantidad de vigas necesarias que se debería utilizar. [3]

Los investigadores [4] encontraron que el mejor material para la fabricación del asiento es el acero de alta resistencia por la disponibilidad del mercado, bajo costo, capacidad de fabricación y por sus propiedades mecánicas.

En la Universidad Kebagsaan de Malasia el departamento de mecánica y materiales, realizaron una investigación en donde fue analizado el diseño de un nuevo resorte utilizando diferente materiales como son JIS G 3134 SPFH 540 y JIS G 3113 SAPH 440, en el cual encontraron una reducción del 18% al estrés, logrando reducir la tensión de 529MPa a 448 MPa, con el nuevo modelo planteado se mejora las fuerzas y rigidez y la reducción de peso. [5]

En la universidad técnica de Ambato se realizó varios estudios sobre la resistencia de asientos para autobús, en la cual prueban es esta investigación los materiales ASTM A 36 y ASTM 500Gr A, con los cuales se fabrica los asientos, estos materiales fueron sometidos a esfuerzos físicos y analizados en el software ANSYS dando un error del 3, 83%. Determinando que en las cargas aplicadas en la estructura del asiento, la parte

que mayor desplazamiento tiene es el espaldar del asiento y la base del mismo. Con las pruebas de impacto simuladas los investigadores verificaron que los anclajes de los asientos fabricados resisten únicamente máximo hasta una velocidad de 56Km/h. [6]

La industria carrocera en nuestra provincia es una de las más grandes debido que aquí podemos encontrar casi el 50% de los fabricantes, por lo que dentro de las universidades locales se han trabajado en investigaciones para poder dar una mejor resistencia a los anclajes que tienen los asientos con el piso del autobús; este ha sido de gran aporte para lo carroceros ya que han implementado en sus modelos, repercutiendo los resultados en los accidentes suscitados los mismo que no ha tenido desprendimiento de los mismos.

Este trabajo investigativo se enfocó en mejorar la resistencia y seguridad de los asientos de bus interprovincial, dándole una mejor forma a las piezas estructurales y con ello reducir el peso del autobús y aportar en la eficiencia del mismo.

2.2 Fundamentación teórica

Los siguientes conceptos están tomados del reglamento de la comisión económica de Europa ECE-R80 [7]

Homologación de un asiento: la homologación de un tipo de asiento en lo que se refiere a la protección de los ocupantes de los asientos orientados hacia delante respecto a su resistencia y al diseño de los respaldos.

Tipo de asiento: los asientos que no presentan entre sí diferencias esenciales respecto a las características que se indican a continuación, y que pueden afectar a su resistencia y peligrosidad: estructura, forma, dimensiones y materiales de las partes que soporten la carga; tipos y dimensiones del sistema de regulación y de bloqueo del respaldo; dimensiones, estructura y materiales de las fijaciones y soportes (por ejemplo, patas).

Asiento: una estructura que puede anclarse a la estructura del vehículo, y que incluye la tapicería y los elementos de fijación, diseñada para su uso en un vehículo y para que se sienten en ella una o más personas adultas.

Asiento individual: el asiento diseñado y fabricado para que se siente en él un viajero.
Asiento doble: el asiento diseñado y fabricado para que se sienten en él dos viajeros, uno al lado del otro; se considerará que dos asientos situados uno al lado del otro sin estar interconectados son dos asientos individuales.

Fila de asientos: el asiento diseñado y fabricado para que se sienten en él tres o más viajeros, uno al lado del otro; no se considerará que varios asientos individuales o dobles contiguos son una fila de asientos.

Cojín del asiento: la parte del asiento colocada de manera casi horizontal y diseñada para soportar a un viajero sentado.

Respaldo: la parte del asiento que es casi vertical y está diseñada para que un viajero apoye en ella la espalda, los hombros y, posiblemente, la cabeza.

Sistema de regulación: el dispositivo que permite ajustar el asiento o sus partes en una posición apropiada para el viajero que esté sentado en dicho asiento.

Sistema de bloqueo: un dispositivo que asegura el mantenimiento en posición de utilización del asiento y de sus partes.

Anclaje: la parte del suelo o de la carrocería del vehículo en que pueden fijarse los asientos.

Elementos de fijación: los pernos u otros elementos utilizados para fijar el asiento al vehículo.

Distancia entre asientos: en el caso de asientos orientados en la misma dirección, la distancia entre la cara anterior del respaldo de un asiento y la cara posterior del respaldo del asiento que le antecede, medida horizontalmente y a una altura de 620 mm por encima del suelo.

2.2.1 Tipos de asiento

En nuestro país están homologados dos tipos de asiento el primero es el asiento para buses urbanos los mismos que están diseñados en su mayoría solo de PVC y los asientos para buses interprovinciales deben ser fabricados con una estructura resistente

y forrados con esponja y cubiertos con material de tela o sintéticos para dar un mejor confort al usuario.

Asientos para transporte Urbano

Este tipo de asientos son sencillos sin descansa brazos, construidos solo de PVC sin confort para el usuario y nada ergonómicos.



Figura 2.1 Asientos para buses urbanos [8]

Asientos para transportes Interprovincial

En este tipo de asientos son utilizados por los usuarios para recorrer grandes distancias por los que deben ser ergonómicos y de gran confort para poder viajar cómodos, debe tener seguridad en caso de choque o volcamiento los mismos que sirvan de apoyo para evitar que las personas sufran consecuencias catastróficas.



Figura 2.2 Asientos para buses interprovincial [8]

2.2.2 Topología

La topología se ocupa de aquellas propiedades de las figuras que permanecen invariantes, cuando dichas figuras son plegadas, dilatadas, contraídas o deformadas, de modo que no aparezcan nuevos puntos, o se hagan coincidir puntos diferentes. [9]

La optimización topológica hoy en día viene siendo un campo en el cual permite la reducción de peso lo que implica en el campo automotriz y aeronáutico una reducción considerable de combustible.

Así en ingeniería mecánica es optimizar una pieza o parte mecánica para maximizar o minimizar alguna característica deseada utilizando áreas como la matemática, la mecánica y las ciencias computacionales, que cuentan con importantes aplicaciones prácticas en la industria o en el sector de la manufactura. [10]

En el sistema de ecuaciones lineales en la solución de problemas de elasticidad lineal aplicando elementos finitos (MEF) la forma es: [10]

$$K * u = f \quad (1)$$

Donde:

$$\left. \begin{array}{l} u = \text{desplazamiento} \\ f = \text{fuerzas externas} \end{array} \right\} \text{aplicadas a nodos}$$

$K = \text{matriz de rigidez global}$

Este valor está dado por la suma coherente (también llamado proceso de ensamble de la matriz global) de las matrices de rigidez de cada elemento: [10]

$$K = \sum_e K^e \text{ para } i = 1, 2, \dots, Ne \quad (2)$$

Donde Ne es el número total de elementos finitos usados para discretizar el dominio. La matriz de rigidez de cada elemento se obtiene: [10]

$$K^e = \int_{\Omega} B^T DB d\Omega \quad (3)$$

Donde:

D = matriz del material.

B = matriz de la derivada de las funciones de forma.

Ω = dominio de diseño.

Para poder distribuir el material en el dominio, de tal forma que la rigidez sea la máxima posible, el modelo a utilizar con material sólido isotrópico con penalización (SIMP). Tendrá un elemento finito asociado a una variable densidad (ρ), que multiplica la matriz de rigidez del elemento de la siguiente manera:

$$\widehat{K}_e^i = \rho_i^p K_i^e \quad (4)$$

Donde:

ρ = factor de penalización para reducir los valores intermedios de pseudodensidad. Estará entre 0 y 1, donde 0 representa ausencia total del material y 1 representa la presencia de material de base usado en el diseño, se deberá tener una variación continua entre estos valores: [11]

$$0 \leq \rho \leq 1 \quad (5)$$

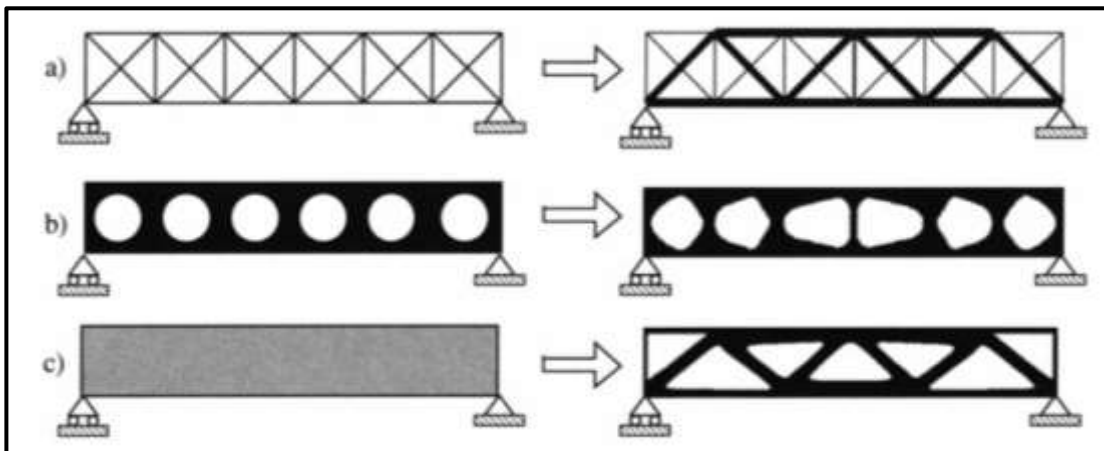


Figura 2.3 Categorías de optimización estructural. [11]

Cómo podemos observar en la figura 2.3 tenemos tres categorías fundamentales de optimización estructural de las cuales nos describe de la siguiente manera: a)

Optimización de dimensionamiento de una estructura de armadura, b) optimización de formas y c) optimización de topología. La inicial los problemas se muestran en el lado izquierdo y las soluciones óptimas se muestran en el derecho [11]

El objetivo fundamental de la topología es encontrar el diseño óptimo de una estructura dentro de una región específica conociendo únicamente las cargas aplicadas, el volumen y las posibles condiciones de soporte. [11]

2.2.2.1 Clasificación de la optimización topológica

Existen dos tipos de optimización topológica estas dependerán del tipo de estructura si es discreta o continua. [12]

Optimización topológica de estructuras discretas

Este consiste en determinar el número óptimo la posición y la conectividad de los miembros estructurales; a continuación tenemos un ejemplo de este tipo de estructura donde es presentado el dominio de diseño, la discretización con elementos tipo beam y la estructura óptima.

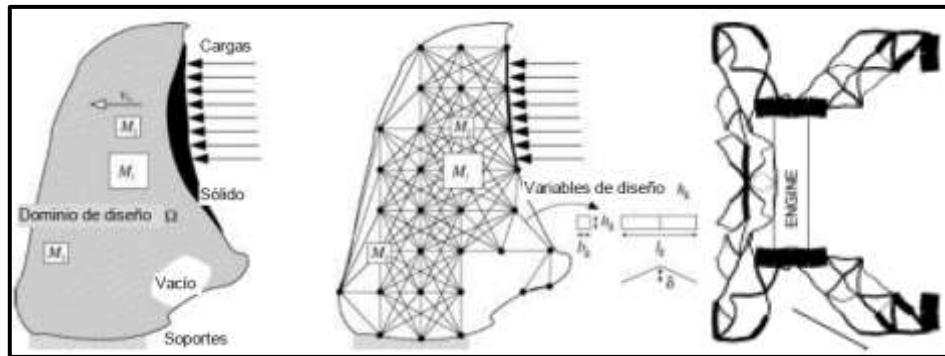


Figura 2.4 Optimización topológica de estructuras discretas [12]

Optimización topológica de estructuras continuas

Por medio de este método la carga se prescribe y el material estructural se especifica en una cantidad dada, además el dominio de diseño, 2D o 3D, tiene las condiciones de frontera específica, se distingue dos tipos de enfoque para la solución: el enfoque de material microestructura y el enfoque geométrico o macro estructural.

a) Enfoque micro estructural o de material

A través de este enfoque se utiliza una malla constante de elementos finitos para describir la geometría y la respuesta de la estructura. Esto consiste en determinar si cada elemento debe tener material o no, para esto se utiliza la pseudodensidad. [12]

b) Enfoque macro estructural o geométrica

Esta optimización se realiza a través de la forma considerando al material solido isotrópico en vez de materiales porosos como en el caso del enfoque micro estructural o de material. Este tipo de enfoque puede cambiar de acuerdo a la cantidad de material lo que permite disminuir o crecer el tipo de agujero, esto es determinado por la malla de los EF, la cual no debe estar fija este va variando de acuerdo al cambio de contornos del diseño. Esto permite determinar un proceso iterativo que se va posicionando nuevos agujeros o las burbujas en determinados puntos específicos en el dominio de la topología. [12]

En nuestro trabajo se determinara la optimización topológica por medio del enfoque macro estructural o geometría.

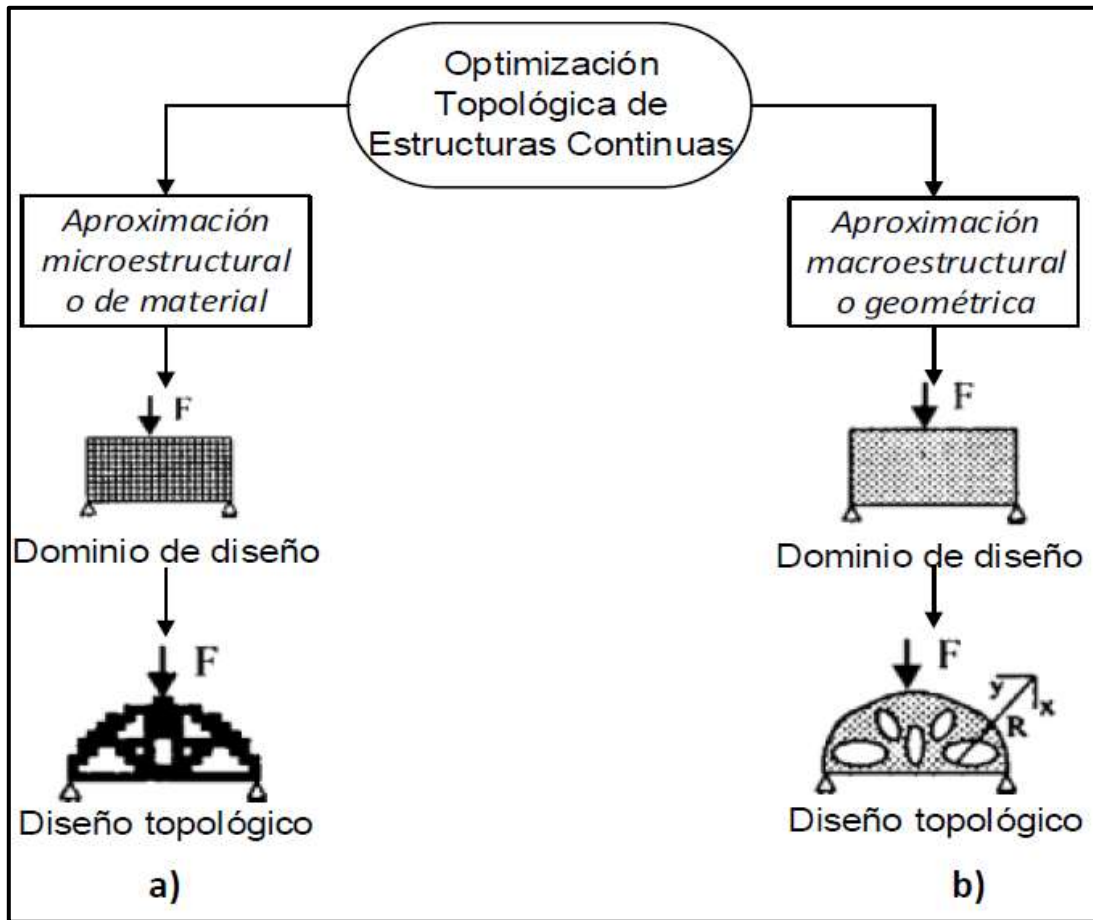


Figura 2.5 Optimización topológica de estructuras continuas con el enfoque. [12]

La figura 2.5 nos representa dos tipos de optimización de estructuras continuas según el enfoque las cuales son: a) micro-estructural y b) macro estructural [12]

2.2.2.2 Métodos de solución

El uso de los esquemas de interpolación permite convertir el óptimo problema de topología en un problema de tamaño en un dominio fijo. La eficiencia del procedimiento de optimización es crucial y uno normalmente tiene que adoptar ajustes de optimización que negocien el número de restricciones por número de variables de diseño. [11]

Diseño de cumplimiento mínimo

Es importante tener en cuenta que los tipos de problema considerados tienen un punto de vista computacional de escala inherentemente grande, tanto en estado como en las variables de diseño. [11]

Considere un elemento mecánico como un cuerpo que ocupa un dominio Ω^{mat} , que es parte de un dominio de referencia más grande Ω en R^2 o R^3 . El dominio de referencia Ω es elegido para permitir una definición de las cargas aplicadas y los límites y el dominio de referencia a veces se denomina la estructura del suelo, en paralelo con la terminología utilizada en el diseño de topología de celosía. Refiriéndose al dominio de referencia Ω podemos definir el problema de diseño óptimo como el problema. [11]

$$a(u, v) = \int_{\Omega} E_{ijkl}(x) \epsilon_{ij}(u) \epsilon_{kl}(v) d\Omega, \quad (6)$$

Con cepas linealizadas $\epsilon_{ij}(u) \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$ y la forma lineal de carga

$$l(u) = \int_{\Omega} f u d\Omega + \int_{\Gamma_T} t u ds, \quad (7)$$

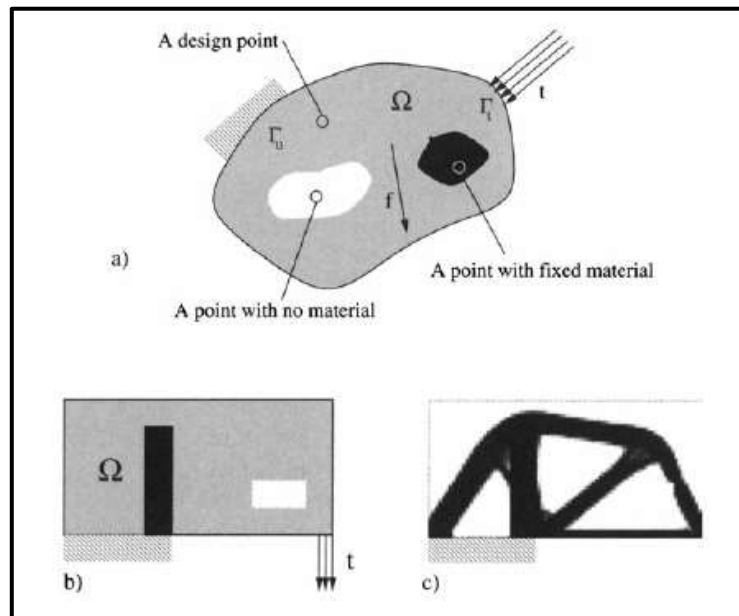


Figura 2.6 Formas de optimizar según el diseño [11]

Cómo podemos observar en la figura 2.6 las formas de optimizar diseñando un elemento es: a) El problema generalizado del diseño de la forma de encontrar el material óptimo distribución en un dominio bidimensional. b) Ejemplo de dominio de diseño rectangular y c) solución optimizada de topología basada en una discretización de 3200 elementos y un 50%. Volumen de material. [11]

El problema de cumplimiento mínimo (rigidez máxima global) toma la forma.

$$\min l(u)$$

$$u \in U, E$$

$$\text{st: } a_E(u, v) = l(v), \text{ para todos los } v \in U,$$

$$E \in E_{ad}.$$

Aquí la ecuación de equilibrio se escribe en su forma variacional débil, con U denotando el espacio de los campos de desplazamiento cinemática-mente admisibles, f son las fuerzas del cuerpo y t las trazas de los límites en la parte de tracción $\Gamma_T \subset \Gamma = \partial\Omega$ de la frontera. Tenga en cuenta que utilizamos el índice E para indicar que la bilineal la forma a_E depende de las variables de diseño. [11]

Parametrización del diseño con el material correspondiente.

Debemos determinar qué puntos del espacio deben ser puntos materiales y qué puntos deben quedar vacíos (sin material). Es decir, pensamos en la representación geométrica de una estructura similar a una representación en blanco y negro de una imagen. [11]

Al restringir nuestra extensión espacial al dominio de referencia Ω , buscamos así determinar el subconjunto óptimo Ω^{mat} , de puntos de materiales. [11]

$$E_{ijkl} = 1_{\Omega^{mat}} E^0_{ijkl}, 1_{\Omega^{mat}} = \begin{cases} 1 & \text{si } x \in \Omega^{mat} \\ 0 & \text{si } x \in \Omega / \Omega^{mat} \end{cases} \quad (8)$$

$$\int_{\Omega^{mat}} 1_{\Omega^{mat}} d\Omega = \text{Vol}(\Omega^{mat}) \leq V \quad (9)$$

Aquí la última desigualdad expresa un límite, V , en la cantidad de material en nuestra disposición, de modo que el diseño de cumplimiento mínimo sea para un volumen limitado (fijo). El tensor E^0_{ijkl} es el tensor de rigidez para el material *isotrópico* dado y uno normalmente escribe $E^0_{ijkl} \in L^\infty(\Omega)$ para indicar la función espacio-relevante.

El problema de diseño para el dominio fijo se formula luego como un problema de tamaño modificando la matriz de rigidez para que dependa continuamente de una función que sea interpretado como una densidad de material. Los valores intermedios de esta función de densidad artificial deben ser penalizados de una manera análoga a otras aproximaciones de optimización continua de 0-1 problemas.

Una posibilidad que ha demostrado ser muy popular y extremadamente eficiente es el llamado modelo de rigidez proporcional y penalizada (el *modelo* de SIMP):

$$E_{ijkl}(x) = \rho x^p E^0_{ijkl}, p > 1, \quad (10)$$

$$\int_{\Omega_{mat}} \rho(x) d\Omega \leq V, 0 \leq \rho(x) \leq 1, x \in \Omega, \quad (11)$$

Aquí la "densidad" $\rho(x)$ es la función de diseño y E^0_{ijkl} representa las propiedades materiales de un material isotrópico dado. Uno se refiere a ρ como una densidad de material esto se debe a que el volumen de la estructura se evalúa como:

$$\int_{\Omega_{mat}} \rho(x) d\Omega. \quad (12)$$

La densidad se interpola entre las propiedades del material 0 y E^0_{ijkl} :

$$E_{ijkl}(\rho = 0, E_{ijkl}(\rho = 1) E^0_{ijkl} \quad (13)$$

Con un modelo físico correcto. En SIMP uno elegirá usar $\rho > 1$ para que las densidades intermedias sean desfavorables en el sentido de que la rigidez el resultado obtenido es pequeño en comparación con el costo (volumen) del material.

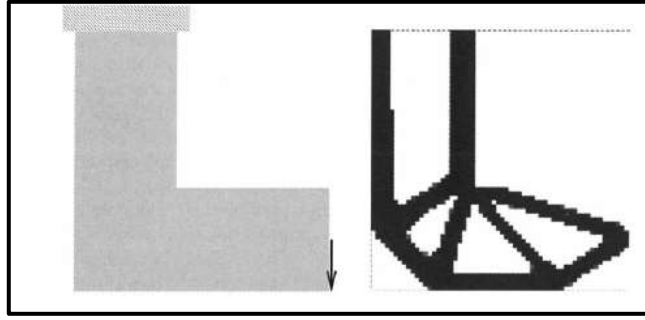


Figura 2.7 Diseño de una estructura de rodilla [11]

La figura 2.7 pertenece a un diseño de cumplimiento mínimo en blanco y negro para una estructura de rodilla cargada obtenida con el esquema de interpolación SIMP. La discretización es 60 por 60 los elementos y el volumen de material están limitados al 47% del dominio de diseño [11]

Topología con el dominio de un solo tipo de material

Vamos a considerar que la estructura a optimizar estará formada con un único dominio de material el mismo que se encontrara abierto y limitado $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ este es representado por un sólido elástico el mismo que estará sujeto a una deformación lineal. Este asumirá deformaciones, la misma que considerara la siguiente función de la energía potencial total del sistema mecánico, en ausencia de fuerzas de cuerpo, se escribe como: [13]

$$E_{pot}(u) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \sigma(u) \nabla u^s - \int_{\Gamma_N} \bar{t} u, \quad (14)$$

En donde:

u = representa el campo de desplazamiento.

\bar{t} = Fuerza de tracción externa actuando sobre en la frontera Γ_N

En el campo de desplazamiento Γ_D debe satisfacer la condición $(u|_{\Gamma_D}) = \bar{u}$, este valor de \bar{u} es un desplazamiento prescrito. Se debe notar que $\Gamma_N \cap \Gamma_D = \emptyset$ y $\overline{\Gamma_N} \cap \overline{\Gamma_D} = \partial\Omega$.

El tensor de tensión Cauchy es definido como:

$$\sigma(u) = \mathbb{C} \nabla u^s \quad (15)$$

Donde:

∇u^s = Gradiente del campo de desplazamiento.

$$\nabla u^s = \frac{1}{2}(\nabla u + (\nabla u)^T) \quad (16)$$

\mathbb{C} = Tensor elástico para un cuerpo isotrópico.

$$\mathbb{C} = 2\mu\text{II} + \lambda(I \otimes I), \quad (17)$$

La ecuación anterior se puede escribir en condiciones ingenieriles como es el módulo de Young ϵ y el coeficiente de Poison (ν):

$$\mathbb{C} = \frac{E}{1-\nu^2} (1 - \nu\text{II}) + \nu(I \otimes I) \quad (18)$$

Para solucionar u en el Campo variacional encontraremos u en U , tal que

$$\int_{\Omega} \sigma(u) \nabla \eta^s - \int_{\Gamma_N} \bar{t} \eta \quad \forall \eta \in V \quad (19)$$

El conjunto U y el espacio V se define como:

$$U = \{\phi \in H^1(\Omega; \mathbb{R}^2): \phi = \bar{u} \text{ en } \Gamma D\} \text{ y } V = \{\phi \in H^1(\Omega; \mathbb{R}^2): \phi = 0 \text{ en } \Gamma D\} \quad (20)$$

Topología con el dominio que incluye múltiples fases de material

A través de las siguientes ecuaciones podemos determinar la solución a los problemas de elasticidad lineal de cuerpos isotrópicos cuando estos están desarrollados con múltiples fases de materiales. En donde Ω se introduce una inclusión de fase diferente la misma que será denotada como:

$$\bar{\omega}_{\epsilon} = B_{\epsilon}(\hat{X}). \quad [13]$$

Donde:

ϵ = radio

\hat{X} = punto céntrico de Ω

La energía potencial se describe como:

$$E_{pot_{X^{\epsilon}}}(u_{\epsilon}) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \sigma_{\epsilon}(u_{\epsilon}) \nabla u_{\epsilon}^s - \int_{\Gamma_N} \bar{t} u_{\epsilon}, \quad (21)$$

Donde:

u_ε = Campo de desplazamiento.

σ_ε = tensor de tensiones

El tensor de tensiones es:

$$\sigma_\varepsilon(u) = \gamma^M \mathbb{C} \nabla u^s_\varepsilon \quad (22)$$

Donde:

γ^M = Propiedades constitutivas de fase

$$\gamma^M = \begin{cases} 1 & \text{en } \Omega/\overline{B_\varepsilon} \\ \gamma & \text{en } B_\varepsilon \end{cases} \quad (23)$$

El desplazamiento variacional es análogo al descrito anteriormente en el dominio de un solo material de la misma manera que $u \in U_\varepsilon$

$$\int_\Omega \sigma_\varepsilon(u_\varepsilon) \nabla \eta^s = \int_{\Gamma_N} \bar{t} \eta \quad \forall \eta \in V_\varepsilon \quad (24)$$

En donde U_ε es el conjunto y V_ε es el espacio los mismos que se definen de la siguiente manera:

$$U_\varepsilon = \{\emptyset \in U: \llbracket \emptyset \rrbracket = 0 \text{ en } \partial B_\varepsilon\} \text{ y } V_\varepsilon = \{\emptyset \in V: \llbracket \emptyset \rrbracket = 0 \text{ en } \partial B_\varepsilon\} \quad (25)$$

El operador $\llbracket \cdot \rrbracket$ es introducido por el salto (\cdot) en la frontera de perturbación.

Condiciones de optimización

Siguiendo los criterios estándar de optimización, los métodos utilizados en las opciones de optimización estructurales, la estructura simple del continuo, problema de carga única se puede utilizar para generar esquemas de actualización computacional extremadamente eficientes. [11]

En primer lugar simularemos la forma del problema de cumplimiento mínimo para los caso de la interpolación SIMP. En el ajuste continuo esto es:

$$\begin{aligned} & \text{Min } l(u) \\ & \text{Eu} \in U, \rho \\ & \text{s. t.: } a_E(u, v) = l(v), \text{ para todo } v \in U \end{aligned}$$

$$E_{ijkl}(x) = \rho(x)^p E^0_{ijkl} ,$$

$$\int_{\Omega} \rho(x) d\Omega \leq V; 0 \leq \rho_{min}(x) \leq \rho \leq 1. \quad (26)$$

Las condiciones necesarias para la optimización de la variable de tamaño ρ son un subconjunto de las condiciones de estacionalidad para la función de Lagrange

$$L = l(u) - \{a_E(u, u - \ddot{l}(\ddot{u}))\} + \Lambda \left(\int_{\Omega} \rho(x) d\Omega - V \right) + \int_{\Omega} \lambda^+(x)(\rho(x) - 1) d\Omega + \lambda^+(x)(\rho_{min} - \rho(x)) d\Omega \quad (27)$$

Donde \ddot{u} es el multiplicador de Lagrange para la restricción de equilibrio. Tenga en cuenta que \ddot{u} pertenece al conjunto U de campos de desplazamiento cinemática-mente admisible. Debajo la suposición de que $\rho \geq \rho_{min} > 0$ (para que los campos de desplazamiento sean únicos), las condiciones de optimización respecto a las variaciones del desplazamiento el campo u indica que $\ddot{u} = u$, mientras que la condición para ρ se convierte en:

$$\frac{\partial E_{ijkl}}{\partial \rho} \varepsilon_{ij}(u) = \Lambda + \Lambda^+(\rho(x) - 1) = 0 \quad (28)$$

Con las condiciones de conmutación:

$$\lambda^- \geq 0, \lambda^+ \geq 0, \lambda^- (\rho_{min} - \rho(x)) = 0, \lambda^+ (\rho(x) - 1) = 0 \quad (29)$$

Para densidades intermedias ($\rho_{min} < \rho < 1$) las condiciones, pueden ser escrito como:

$$\rho \rho(x)^{p-1} E^0_{ijkl} \varepsilon_{ij}(u) \varepsilon_{kl}(u) = \Lambda \quad (30)$$

La efectividad del algoritmo viene del hecho de que cada diseño la variable se actualiza independientemente de la actualización de las otras variables de diseño, excepto por el cambio de escala que debe realizarse para satisfacer el volumen de forzar el algoritmo se puede generalizar a un buen número de ajustes de estructuras de optimización. El

uso de un método de programación matemática puede ser una forma más directa de obtener resultados. [11]

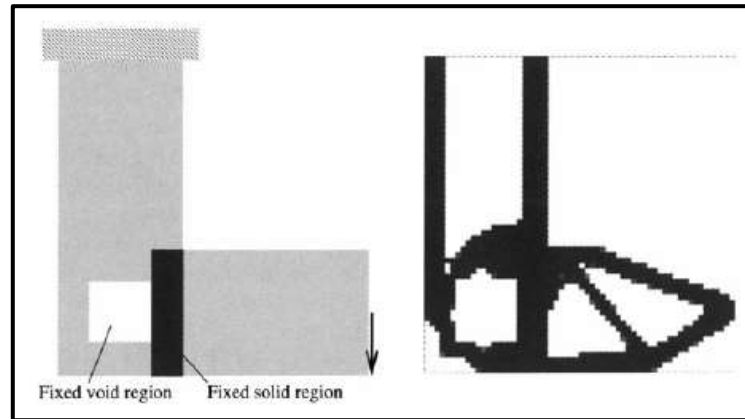


Figura 2.8 Estructura optimizada de rodilla con los soportes [11]

La posibilidad de permitir que el área de diseño sea una sub área de la referencia de dominio. El mismo dominio de diseño que en la Fig. 2.7 pero con un área cuadrada fijada para ser anulada y un área rectangular fija para ser sólida. El cumplimiento de la topología optimizada es 25% más bajo que en la Fig. 2.7 debido al dominio de diseño restringido [11]

Fase de Optimización

Se define el Modelo:

El primer archivo de entrada se define la geometría inicial, las cargas existentes, cuales son las sujeciones q tienen y por último se clasifica los materiales. [13]

- a. Material 1.- en este material el módulo de Young es más bajo considerando como un material blando.
- b. Material 2.- este es el que posee el módulo de Young más elevado
- c. Material 3.- aquí el material es ficticio se utiliza para miterizar la ausencia de material en una región del dominio.

- ***1ra etapa de la optimización topológica***

Corresponde a la evolución que tenemos en la fase del material 1 hasta llegar a la fase del material 3; es decir cuando, está vacío teniendo la topología óptima. Los valores que obtiene la función level-set son: [13]

$$\varphi_1 \begin{cases} < 0 \text{ para } x \in \omega_1 \\ \geq \text{ para el resto del dominio} \end{cases}$$

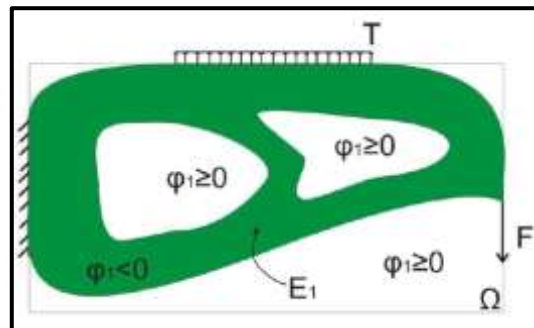


Figura 2.9 Funciones level-set [13]

La función level set es una topología obtenida en la primera etapa de optimización [13]

- ***2da etapa de la optimización topológica***

En esta etapa se procede a restringir el dominio de la topología anterior. Definiendo una nueva función level-set. Aquí se evoluciona la fase con el material 2 respecto al material 1, en el cual los valores adquiridos son los siguientes: [13]

$$\varphi_2 \begin{cases} < 0 \text{ para } x \in \omega_1 \\ \geq \text{ para } x \in \omega_2 \\ \neq \text{ para cualquier } x \in \omega_3 \end{cases}$$

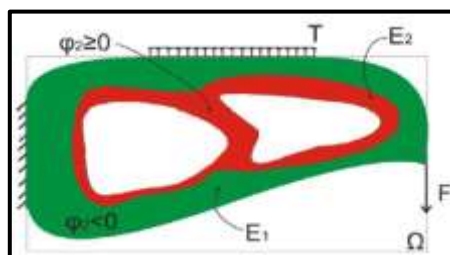


Figura 2.10 Funciones level-set restringida [13]

- **3ra etapa de la optimización topológica**

En esta última etapa se considera el dominio a los sectores donde está presente tanto el material 1 como el material 2. Definiendo en estas regiones una tercera level-set evolucionando hasta encontrar una topología óptima acorde a la disponibilidad de fabricación. Los valores en esta función son los siguientes: [13]

$$\varphi_2 \begin{cases} < 0 \text{ para } x \in \omega_2 \\ \geq \text{ para } x \in \omega_3 \\ \neq \text{ para cualquier } x \in \omega_1 \end{cases}$$

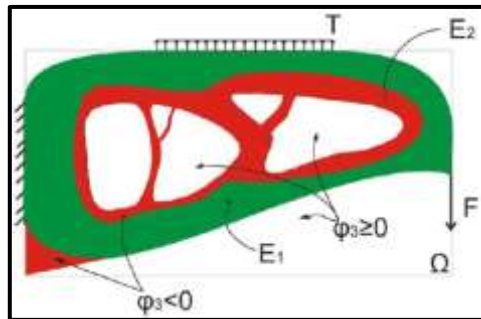


Figura 2.11 Funciones level-set en sus dos materiales [13]

Codificación en el software

El modelado que se realiza a través del diferente software está basado en los elementos finitos, en donde la malla discretiza el dominio sobre las cuales la definición de los level-set y las funciones características que posee. La solución que presenta dado por el método de elementos finitos es importantísimo para determinar la función de costo y la derivada asociada topológicamente. [13]

La geometría de Optimización se escribe como:

$$\begin{aligned} \min & E_{pot} \\ \text{S.A. } & g_i = Vol_i > 0 \quad \text{con } i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Para construir la función de costo que será minimizada es realizada en un esquema de penalización lineal establecido de la siguiente manera:

$$\min J(u) = E_{pot}(u) + \sum_{i=1}^m \lambda_i Vol_i \quad (31)$$

Donde:

$J(u)$ = Función costo a minimizar

$E_{pot}(u)$ = Energía potencial

λ_i = Factor de penalización

Vol_i = Volumen del material

Problemas numéricos en el método de la optimización topológica

Para la solución de la optimización surgen algunos tipos de problemas por su naturaleza y por el carácter computacional que son sometidos, uno de estos tipos de problemas que se desarrollan es la escala grises (Figura 2.12) y el tablero de ajedrez (Figura 2.13).

Escala de grises

Al ser utilizado el modelo SIMP sin penalización se generan regiones con propiedades de valores intermedios (Figura 2.12) los mismos que surgen de las variables de diseño o pseudos densidades (ρ). Por lo que es imprescindible que se tenga un factor de penalización, este valor debe estar ajustado para poder reducir la formación de escala grises.



Figura 2.12 Escala grises

Tablero de ajedrez

Aquí se forman elementos de color blanco que representa la ausencia de material y región oscura que se describe como presencia de material (Figura 2.13). Se produce por la formulación de los elementos finitos por la rigidez de la estructura que termina formándose similar a un tablero de ajedrez para buscar una solución óptima.

Para disminuir se debe aumentar el orden de las funciones que se interpolan debido al elemento finito, otra de las soluciones es por las técnicas de filtraje o también con el control del gradiente del material y una última solución sería con la aproximación continua de distribución de material (CAMD) basado en introducir las mismas funciones de interpolación del MEF, definidas como variables nodales y no por elemento.

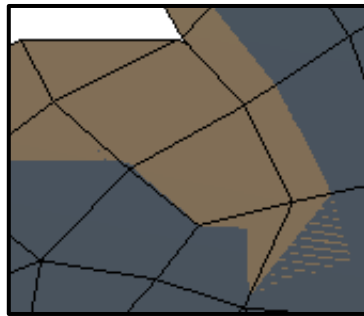


Figura 2.13 Formación del tablero de ajedrez

2.2.3 Reglamento ECE-R80 para construcción y simulación del asiento interprovincial

Para la homologación en el país se trabaja con la norma INEN 1668 “*VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRARREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL. REQUISITOS*” la misma que está adaptada del reglamento de las naciones unidas como es el ECE-R80 se establece que los asientos para pasajeros deben ser fijos a la carrocería y estar dispuestos según el eje longitudinal del vehículo en el sentido de marcha o viceversa, de tal forma que se proporcione la mayor seguridad y confort a los pasajeros, respetando los diseños de los fabricantes del vehículo o chasis para la distribución de las cargas a los ejes del vehículo. [7]

Las carrocerías tendrán dos filas de dos asientos, en la última fila poseerán 5 asientos siempre y cuando no tengan baño incluido en la parte posterior, además tanto el reglamento R80 como la INEN1668 establece: [7]

- Profundidad mínima: 420 mm para buses intraprovinciales y 450 mm para buses intrarregionales e interprovinciales;
- Ancho libre mínimo del asiento: 400 mm para intraprovincial y 450 mm para intrarregional e interprovincial;
- Altura desde el piso a la base del asiento entre 400 mm y 500 mm;
- Distancia entre asientos medidas a una altura de 620 mm desde el piso con los asientos en posición normal, debe ser para bus interprovincial e intrarregional mínimo de 720 mm y para bus intraprovincial mínimo de 680 mm.
- Posiciones de reclinación mínima: dos, con un ángulo mínimo de 12° y $30^\circ \pm 2^\circ$ para intraprovincial, y 12° y $40^\circ \pm 2^\circ$ para interprovincial e intrarregional.
- Altura total del respaldo del asiento incluido el apoyacabezas: mínima 700 mm.

Para una mejor visibilidad podemos verificar los valores que deben tener los asientos para buses interprovinciales en la figura 2.14.

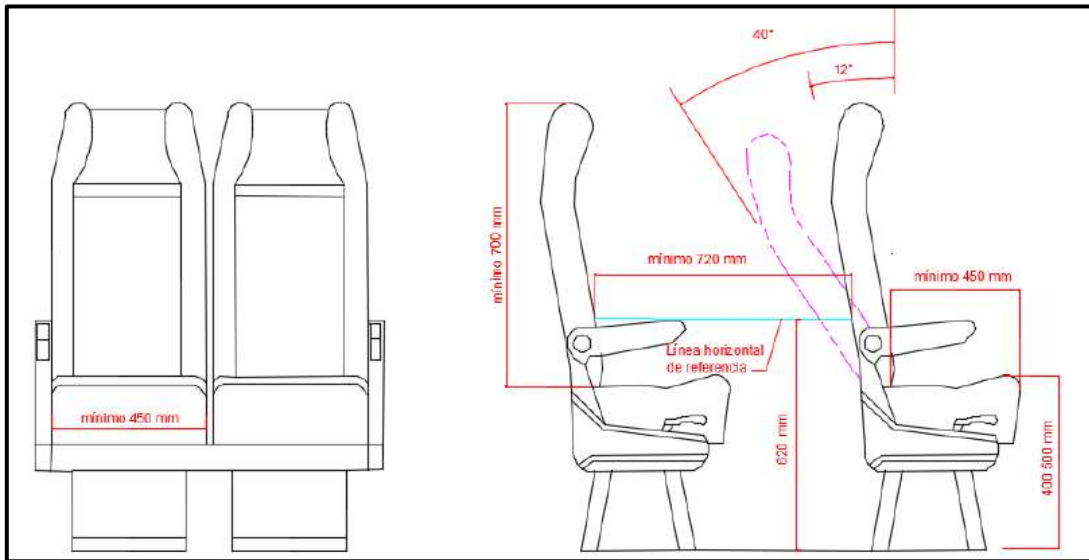


Figura 2.14 Asientos para buses interprovincial [8]

Tipos de ensayo

Se realiza los siguientes ensayos para comprobar la resistencia de la estructura del autobús, cuando estos sean sometidos a impactos ya se ha con el autobús en

movimiento o este se mantenga estático, tomando como referencia los accidentes a los cuales está expuesto.

La finalidad de los tipos de ensayo es determinar si el ocupante u ocupantes de los asientos quedan correctamente retenidos por los asientos delanteros o por el uso de un cinturón de seguridad. [7]

Para poder cumplir con los requisitos que establece el reglamento R80 son los ensayos:

- ✓ Ensayo Dinámico (Figura 2.15).
- ✓ Ensayo Estático.

Ensayo Dinámico: Este tipo de ensayo se lo realiza simulando el autobús en movimiento a diferentes velocidades para lo cual el reglamento R80 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa establece:

- La plataforma de ensayo se colocará en un carro.
- El asiento auxiliar podrá ser del mismo tipo que el asiento que se ensaya y se situará paralelamente y justo detrás del asiento que se ensaya. Ambos asientos estarán a la misma altura, ajustados de modo idéntico y con una distancia entre asientos de 750 mm.
- Se presionará horizontalmente la superficie plana del asiento, con una fuerza de entre 250 y 350 N.
- La temperatura a la cual se realizara las simulaciones estará entre 19 °C y 26 °C.

Para la simulación del Impacto el reglamento ECE R80 estableció:

- El cambio total de velocidad del carro que simule el impacto estará entre 30 y 32 km/h.
- Además, la desaceleración o aceleración media estará comprendida entre 6,5 y 8,5g.



Figura 2.15 Ensayo dinámico de un asiento doble [5]

Ensayo Estático: Este tipo de ensayo se lo realiza en caso de que el autobús se encuentre parado y se ha impactado por fuerzas externas para lo cual el reglamento ECE R80 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa establece:

- Medida en el plano horizontal y en el plano mediano longitudinal de la plaza de asiento correspondiente, no sobrepasa los 400 mm.
- El desplazamiento máximo del punto central de aplicación de cada fuerza establecida, no sobrepasa los 100 mm.
- Todos los elementos que formen parte del respaldo del asiento o los accesorios del mismo deben estar pensados para que no causen lesiones a los viajeros como consecuencia de un impacto.
- El asiento sigue estando 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.
- Después del ensayo no hay ninguna parte estructural del asiento o los accesorios con fracturas, aristas vivas, bordes puntiagudos o esquinas que puedan causar lesiones.

Procedimiento de Ensayo

- Se aplicará a la parte posterior del asiento en cada una de las plazas de asiento una fuerza de ensayo de $\frac{1000}{H_1} \pm 50 N$ utilizando un dispositivo que se ajuste a lo dispuesto

La dirección de aplicación de la fuerza estará situada en el plano vertical mediano de la plaza de asiento correspondiente; será horizontal y se ejercerá de atrás hacia adelante del asiento.

- Esa dirección se situará a una altura H_1 comprendida entre 0,70 m y 0,80 m por encima del plano de referencia. El fabricante determinará la altura exacta.

- Se aplicará simultáneamente una fuerza de ensayo de $\frac{2000}{H_2} \pm 100 N$ a la parte posterior del asiento en cada plaza de asiento en el mismo plano vertical y en la misma dirección a una altura H_2 que estará comprendida entre 0,45 m y 0,55 m por encima del plano de referencia, con un dispositivo que se ajuste a lo dispuesto. El fabricante determinará la altura exacta.

- Cualquiera que sea la deformación y durante un mínimo de 0,2 segundos, deberán aplicarse lo más rápidamente posible y mantenerse unidas en un valor específico las fuerzas indicadas en los puntos.

- En caso de que el ensayo se haya llevado a cabo siendo una o más fuerzas, pero no todas, mayores que las indicadas, y que el asiento cumpla los requisitos, se considerará que se ha superado el ensayo.

Reglamento N.- 14 de CEPE (Comisión Económica Para Europa)

Para poder realizar la simulación de nuestro trabajo investigativo también nos basamos en la norma 14 de CEPE quienes establecen las fuerzas que deben aplicarse a los asientos que utilizaran cinturones de dos y tres puntos. [14]

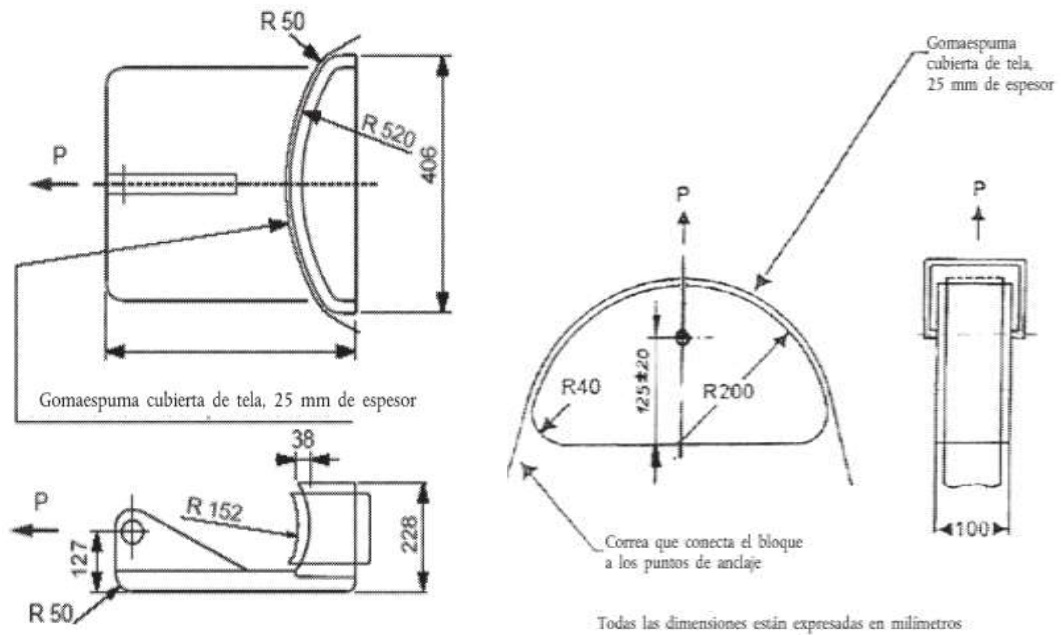
Estos son los parámetros utilizados para realizar los diferentes ensayos de simulación:

- Se debe aplicar fuerzas de tracción sobre bloques cuyas dimensiones y forma se muestran en las Figura 2.16 y 2.17. Existen dos bloques uno pélvico y uno torácico, los cuales deben ser lo suficientemente rígidos y resistentes como para no sufrir deformaciones ni daños.

- Los bloques deben ajustarse adecuadamente con los cinturones de seguridad, se utilizan ambos bloques en la evaluación de cinturones de seguridad con tres puntos de anclaje, mientras que para cinturones de dos puntos solo se necesitan los bloques pélvicos.

- Las cargas se aplicarán sobre cada uno de los bloques de evaluación y dependerán del tipo de cinturón que se vaya a evaluar y de la categoría del vehículo que se evalúa, en el caso de autobuses las cargas son de 4500 N para cinturones de tres puntos y 6400 N en cinturones de dos puntos.

- Las cargas de tracción se deben aplicar con una inclinación de entre 5° y 15°.



a)

b)

Figura 2.16 a) Bloque pélvico b) bloque torácico [14]

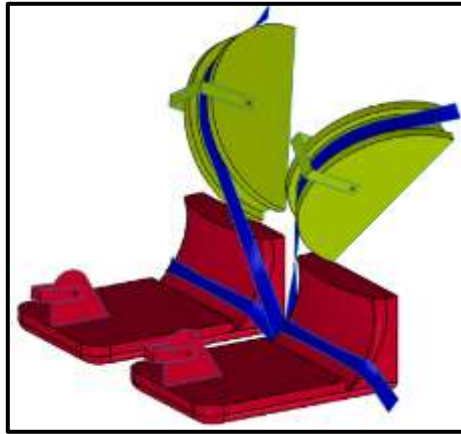


Figura 2.17 Bloque pélvico y torácico

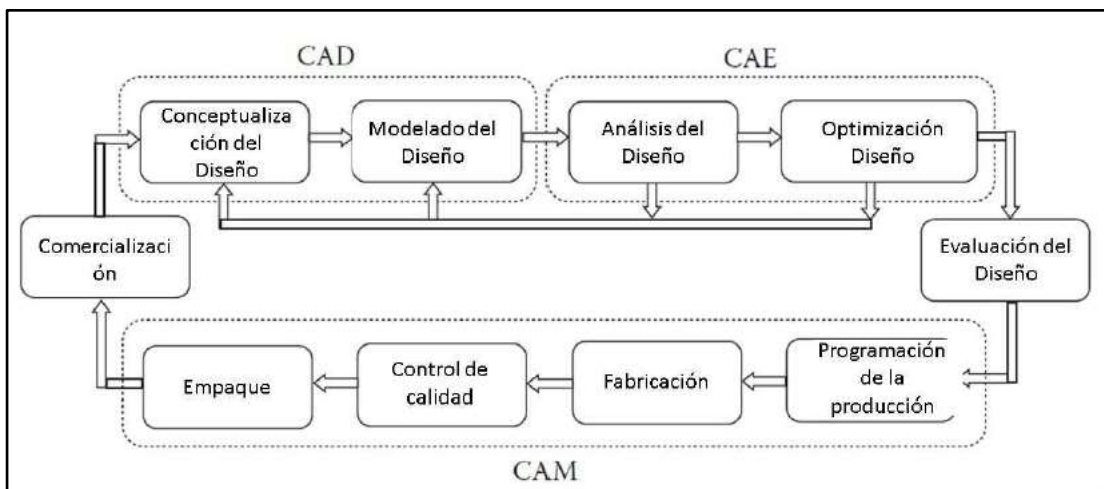
2.2.4 Análisis a través de los elementos finitos

Por medio de este método numérico mediante el cual se puede resolver problemas relacionadas con la ingeniería, estos utilizan ecuaciones diferenciales; una gran ayuda para poder resolverlos es los softwares computacionales que permiten solucionar rápidamente de forma práctica. [15]

Proceso de modelación por elementos finitos

Por medio de los siguientes pasos permiten conocer desde el diseño del producto hasta su comercialización del producto realizado por MEF. [15]

Tabla 2-1 Proceso de modelación con MEF [15]



Tipos de análisis estructural por elementos finitos

- a) **Análisis Estático:** En este análisis permite calcular los esfuerzos y deformaciones que sufrirá al aplicar una carga estable sobre una estructura o componente se puede ignorar los efectos inerciales y amortiguaciones generadas con cargas variables en el tiempo, o también se puede incluir cargas inerciales estables como velocidades rotacionales y gravedad; asumiendo que las cargas aplicadas varían lentamente con respecto al tiempo. [15]
- b) **Análisis Transitorio:** Este tipo de análisis es dependiente del tiempo, ya que se determina la respuesta dinámica de una estructura o componente bajo la acción de una carga variable en función del tiempo. [15]

$$[M] * \{\ddot{u}\} + [C] * \{\dot{u}\} + [K] * \{u\} = \{F(t)\} \quad (31)$$

- c) **Análisis modal:** Permite determinar las características vibratorias como las frecuencias naturales y modos de vibración de una estructura, máquina o componente, complementando con análisis estáticos y dinámicos. [15]
- d) **Análisis armónico:** Evalúa el comportamiento de una estructura o componente bajo la acción de cargas cíclicas, empleando en el diseño de productos para poder verificar la resistencia a vibraciones, resonancia y fatiga. [15]

$$F_i = A_i \sin(\Omega t + \varphi_i) \quad (32)$$

Donde:

F_i = Fuerza externa.

A_i = Amplitud de fuerza.

Ωt = Frecuencia angular de la fuerza externa.

φ_i = Angulo de la fase de la fuerza.

- **Análisis dinámico explícito:** Utilizado para la solución de problemas dinámicos que tienen una duración muy breve o generan efectos importantes en

períodos muy cortos de tiempo que son fracciones de segundo en colisiones, explosiones e impactos en donde se tiene grande deformaciones. [15]

- **Modelo Geométrico**

Primero se debe obtener un dibujo ya se ha en 2D o 3D, de las formas de los diferentes objetos en los cuales se pretende simular o analizar. Para esto se utiliza software especializado en CAD que son propios del sistema de elementos finitos o en su caso también se puede utilizar herramientas adicionales. [15]
Para tener un mayor porcentaje de exactitud se debe definir el material de los componentes.

- **Modelado de elementos finitos**

Primero se inicia identificando la naturaleza física del problema, se discretiza el modelo continuo en un número finito de elementos para un tamaño determinado en el cual se obtenga una aproximación a un modelo real que nos den resultados válidos. [15]

- **Modelado de elementos finitos (Naturaleza física)**

Este se refiere a problemas de transferencia de calor, mecánica de fluidos, mecánica de sólidos, relacionado con la descripción matemática del fenómeno físico en el cual se tendrá variables del estado asociadas al mismo. [15]

Tabla 2-2 Tipos de modelación en MEF [15]

Problema físico	Principios de conservación	VARIABLES de estado	Flujo	Constantes del material	Fuente	Ecuación constitutiva
Deformación de un cuerpo elástico	Equilibrio de fuerzas	Desplazamientos o fuerzas	Esfuerzos o deformaciones	Módulo, elástico, coeficiente de Poisson	Fuerzas de volumen o de superficies	Ley de Hooke
Redes eléctricas	Equilibrio de corrientes	Voltaje o amperios	Flujo eléctrico	Conductividad eléctrica	Carga eléctrica externa	Ley de Kirchoff

Torsión	Conservación de la energía potencial	Función de esfuerzos o de alabeo	Tasa de giro	Corte	2° Angulo de giro	Ley de Hooke
Transferencia de calor	Conservación de la energía	temperatura	Flujo de calor	Conductividad termica	Calor externo o interno	Ley de Fourier
Flujo de fluidos	Conservación del momentum	velocidades	Esfuerzos cortantes	viscodidad	Fuerzas de volumen	Ley de Stokes
Flujo a través de medios porosos	Conservación de la masa	Altura hidrostática	Tasa de flujo	Permeabilidad	Fuentes del fluido	Ley de Darcy
Electrostatica	Conservación de fluido eléctrico	Potencial eléctrico	Flujo eléctrico	Induccion eléctrica	Carga	Ley de Coulomb
magnetostatica	Conservación del potencial magnético	Potencial Magnético	Flujo Magnético	Permeabilidad magnética	corriente	Ley de Maxwell

Modelado de elementos finitos Tipos de elementos (mallado)

A. *Elementos Unidimensionales*: tambien denominados elementos de linea: donde se puede encontrar los elemento Truss, Beam y los elementos de restricción. En los elementos de área se detallan: Plane stress, plain strain, axisymmetric, membrane, plate y Shell. En los elementos de volumen encontramos: Solid ó brick, tetrahedral y hexahedral. [16]

- Elemento Truss.- Estos soportan cargas axiales de traccion y compresion en sus extremos, para utilizarlos se requiere definir su sección transversal. [15]

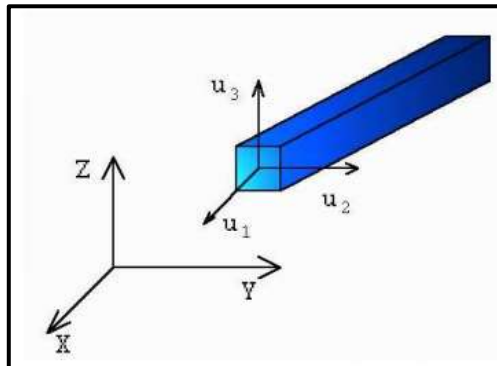


Figura 2.18 Elemento truss tridimensional [16]

- Elemento beam.- Este soporta cargas axiales como transversales, pueden actuar tanto a tracción, compresión y flexión para poder utilizar se debe definir su sección transversal, resiste a la torsión y el momento de inercia, son usados principalmente en análisis de estructuras. [15]

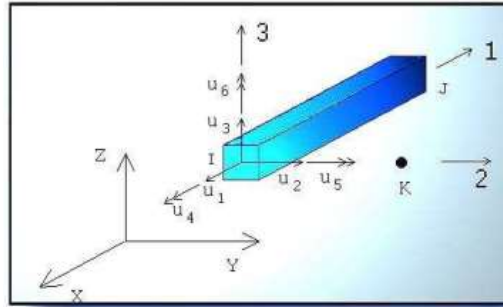


Figura 2.19 Elemento truss tridimensional [16]

B. *Elementos bidimensionales*: Existen tres tipos de elementos [16]

- 1) Plane Stress Elements (Esfuerzo plano)
- 2) Plane Strain Elements (Deformación plana)
- 3) Axisymmetric Elements (Elementos Axisimétricos).

Para un análisis plano existe dos tipos de elementos: cuadrilátero y triangular, se prefiere elementos cuadriláteros para modelar por razones de isotropía geométrica. [16]

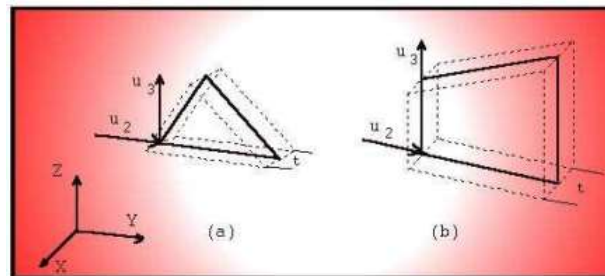


Figura 2.20 Elementos bidimensional en esfuerzo plano [16]

Mientras que para geometrías irregulares de preferencia se debe realizar elementos triangulares para modelar.

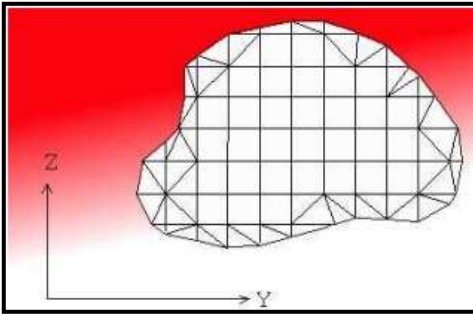


Figura 2.21 Elementos cuadriláteros y triangulares [16]

- Elemento membrana: es un elemento plano que posee dos grados de libertad en cada nodo, soportan únicamente esfuerzos axiales (planos) y deformaciones planas, para utilizar este tipo de elemento es necesario definir el espesor en cada nodo. [15]
- Elemento Shell: posee seis grados de libertad en cada nodo soportando cargas axiales y de flexión es necesario definir el espesor en cada nodo. [15]

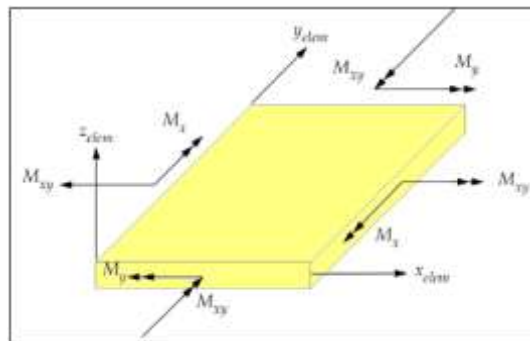


Figura 2.22 Elemento shell [15]

- Elementos Axisimétricos.- esta clase lo podemos encontrar en tanques de acero y concreto, rotores, conchas toberas y contenedores. Que están bajo condiciones de esfuerzo plano o deformación plana, estas pueden ser analizadas en un modelo bidimensional.

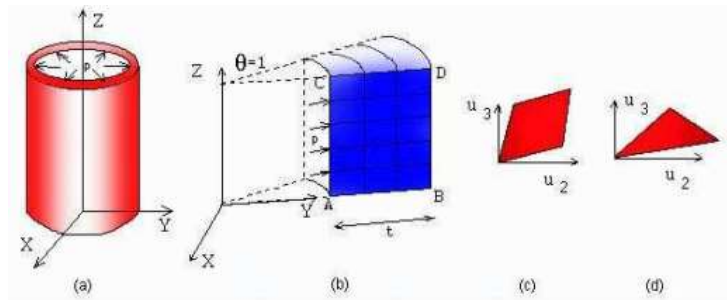


Figura 2.23 Mallado de un cilindro

En la figura 2.23 nos muestra un mallado: (a) cilindro bajo presión interna; (b) modelo axisimétrico; (c) Elemento Cuadrilátero; (d) Elemento Triangular. [16]

- C. Elementos Tridimensionales o elementos Brick: Estos poseen tres grados de libertad por cada nodo, los mismos que son introducidos en la intersección de los tres planos, o en la mitad de la intersección de dos planos. [16]
- Elemento tetraédrico: Son elementos sólidos con tres grados de libertad en cada nodo, también se puede decir que son triángulos tridimensionales.

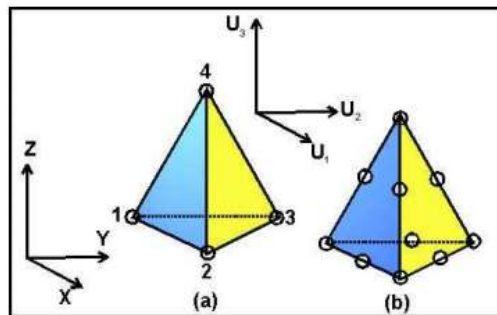


Figura 2.24 (a) Tetraedro de 4 nodos; tetraedro de 10 nodos. [16]

- Elemento hexaédrico: también poseen tres grados de libertad en cada nodo, su forma es la de un cuadrilátero tridimensional.

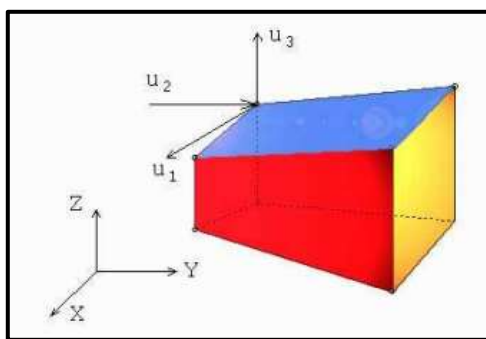


Figura 2.25 Elementos brick y sus grados de libertad por nodo (8nodos). [16]

Parametros para evaluar la calidad del mallado: Antes de realizar el mallado es necesario conocer si esta tiene una calidad aceptable para que permita obtener buenos resultados, los parametros que permiten realizar esta evaluación son los siguientes: [15]

a) Relación de aspecto (Aspect ratio): Es el más utilizado, se calcula dividiendo el lado de mayor longitud para el de menor longitud, en los elementos tridimensionales se realiza esta operación en cada cara del elemento. Se recomienda tener relaciones de aspecto entre 1 y 5. [15]

b) Jacobiano (Jacobian ratio): Se puede decir que es la desviación que existe entre un elemento determinado y un elemento ideal utilizado como patron de comparación se lo realiza al ser transformadas las coordenadas globales en coordenadas locales. Los valores varían de -1 a 1. [15]

c) Oblicuidad (Skewness): Es la diferencia entre un ángulo recto y el menor ángulo que se forma en la intersección de dos segmentos que cortan el elemento, los elementos triangulares la intersección se forman entre un segmento que va de un vertice al punto medio de su lado opuesto y por los segmentos que une los puntos de los lados adyacentes al vertice, en los elementos cuadrilateros la intersección se forma entre dos segmentos que une dos puntos medios de los lados de un elemento, para los elementos tridimensionales se realiza este proceso en cada cara. Los valores que recomiendan para la oblicuidad van de 0° a 45° siendo 0° el valor ideal. [15]

d) Curvatura (Warpage): Se lo obtiene al dividir un elemento cuadrilatero en dos triangulos por medio de una de sus diagonales y al ser medido el ángulo que forma los

dos planos sobre los cuales se ubican los triángulos, se realiza de la misma manera para la otra diagonal, la curvatura es determinada por el mayor ángulo formado; para los elementos triangulares no se puede realizar este parámetro, en los elementos tridimensionales se realiza en cada cara. Los valores que se recomiendan para la curvatura varían de 0° a 30° siendo 0° el valor ideal. [15]

Definición de condiciones de frontera

Estos son los valores prescritos o conocidos de las condiciones iniciales del análisis como desplazamientos, temperatura, fuerzas, anclajes que se especifican en los nodos. [12]

Solución: Es el paso final en la solución de los problemas mediante la utilización de MEF, mediante la solución de los sistemas de ecuaciones obtenemos los valores aproximados de las variables en los puntos discretos o nodos del dominio. Estos resultados son valores físicos como esfuerzo, deformación, flujo de calor, etc. Esta etapa es conocida como Post procesamiento. [15]

2.3 Fundamentación filosófica

“La presente investigación se ubica en el paradigma crítico propositivo, ya que la investigación parte de problemas reales en nuestro medio, involucrados en el área carrocería debido a que gran parte de nuestra industria se basa en este campo, con el objeto de buscar nuevas alternativas para que las personas implicadas en esta labor cuenten con una mayor variación de modelo para que se beneficie el cliente, y brinde mejores comodidades a sus usuarios, con su respectivo respaldo de las normas, que sirven de gran aporte para lograr ser competitivos en el mercado a más de eso obtener un producto de buena calidad”.

2.3.1 Fundamentación legal

Este estudio estará basado en el reglamento ECE R80 y ECE R14 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE). Para poder homologar asientos de vehículos de grandes dimensiones que son utilizados para transporte de viajeros de largas distancias; con lo que respecta a la resistencia de los asientos y de

sus anclajes. Con el cual trabajaremos para cumplir las diferentes disposiciones reglamentarias internacionales.

Instituto Ecuatoriano De Normalización Reglamento Técnico Ecuatoriano, RTE INEN 043: 2010 Bus Interprovincial

2.4 Categorías fundamentales

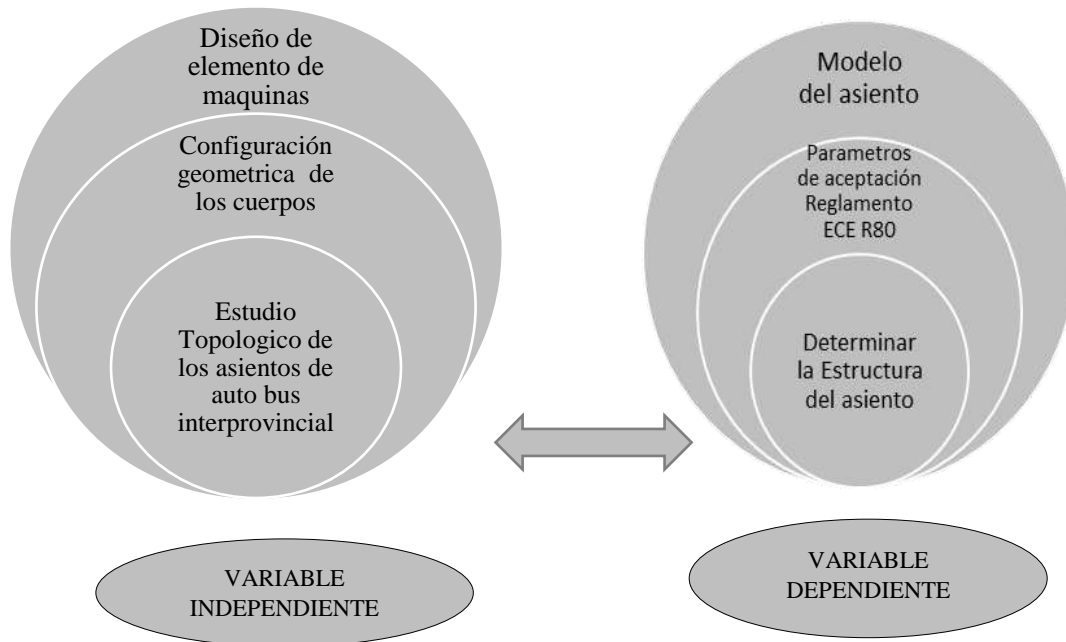


Figura 2.26 Categorías fundamentales

VI: Optimización de la topología del asiento para autobús de tipo interprovincial.

VD: Estructura del asiento

2.5 Hipótesis

Hipótesis general

La optimización topológica podrá reducir el peso y mantener los desplazamientos según el reglamento ECE R80.

2.6 Señalamiento de variables

2.6.1 Variable independiente

Optimización de la topología del asiento para autobús de tipo interprovincial.

2.6.2 Variable dependiente

Estructura del asiento para bus interprovincial.

2.6.3 Término de relación

Mejorar

Capítulo 3

3.1 Enfoque

Enfoque Cuantitativo: La ayuda de métodos numéricos será importante para poder resolver las variables planteadas, al estar relacionado con el reglamento ECE R80 el manejo de tablas y valores, para la comprobación de los datos obtenidos será importante en el análisis de elementos finitos.

Enfoque Cualitativo: En el presente estudio se basa en la formulación de hipótesis que nos ayudará a resolver el problema planteado. Que se basa en realidades de nuestro alrededor y que ayudara tanto a la industria como a las personas de nuestra localidad, para poder comprobar el estudio realizado podremos comparar entre el modelo original y el modelo optimizado.

3.2 Modalidad básica de la investigación

3.2.1 De campo

Nuestro estudio se basará en el área carrocería específicamente en la estructura del asiento que utilizan los autobuses de tipo interprovincial.

Pre experimental: Se establecerá los programas CAD Y CAE donde se desarrollará los modelos y simulaciones de los modelos de asientos.

Cuasi Experimental: El modelo se realizará en un programa determinado donde se establecerá los lineamientos que debe tener los asientos como fuerzas aplicables, mallado y tipo de material.

Experimental Verdaderos: Una vez determinado los parámetros que debe tener el modelo del asiento interprovincial se procederá a realizar la simulación del mismo a través del método de elementos finitos.

3.2.2 Bibliográfico

Los diferentes estudios realizados con respecto a nuestro tema nos ayudaron a profundizar las ideas planteadas, las mismas que encontramos en la biblioteca virtual tomadas de revistas científicas que tienen gran renombre y garantía en sus investigaciones; los libros virtuales fueron de gran ayuda para poder encontrar la teoría con la cual se basa nuestro tema, las normas establecidas servirán de guía para poder llegar a determinar valores estandarizados por reglamentos nacionales e internacionales.

3.3 Nivel o tipo de investigación

3.3.1 Según la intervención del investigador

Experimental.- Esta investigación será Experimental debido a la manipulación de la topología para encontrar el peso más óptimo de la estructura y esta se mantenga dentro de los parámetros establecidos en la norma ECE-R80.

3.3.2 Según la planificación de la toma de datos

Prospectivo.- Para obtener los datos se planificara el tipo de análisis topológico a realizarse según la concentración de esfuerzos en las piezas que más están expuestas.

3.3.3 Según el número de ocasiones en que mide la variable de estudio

Longitudinal.- Se comparara los resultados de esfuerzos según el modelo del rediseño de algunos elementos que conforman la estructura del asiento de tipo interprovincial, seleccionando a la que se mantenga dentro de los parámetros admisibles del material.

3.3.4 Según el número de variable de interés

Analítica.- Nuestras variables serán aprobadas por la hipótesis planteada, es decir nuestro enfoque será en la variable dependiente y la independiente que es el rediseño de la estructura modificando la topología de los elementos que conforman la misma.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La población para poder desarrollar el presente estudio estará basado en el transporte interprovincial, que son los que se construye en mayor cantidad en nuestro país hasta diciembre del 2018 ha existido un incremento de 1149 unidades para cubrir este campo de las cuales en nuestra provincia se fabricaron 351 frente a un total de 486 construidas en el resto del país e importadas fueron 312.

Tabla 3-1 Cantidad de carrocerías fabricadas e importadas

MES	TOTAL DE BUSES	BUSES Importados	BUSES URBANOS	BUSES INTERPRO	BUSES CONST AMBATO	RESTO DEL PAÍS
enero	160	60	43	117	25	32
febrero	123	28	38	85	21	36
marzo	193	41	82	111	30	40
abril	181	37	84	97	27	33
mayo	179	8	89	90	29	53
junio	180	16	87	93	45	32
julio	173	15	86	87	26	46
agosto	213	15	113	100	35	50
septiembre	123	7	65	58	25	26
octubre	195	38	78	117	42	37
noviembre	192	9	88	104	30	65
diciembre	160	38	70	90	16	36
Total	2072	312	923	1149	351	486

3.4.2 Muestra

La presente investigación tendrá una muestra de los buses que mayor preferencia tiene por los usuarios para viajar es la estructura del asiento de servicio interprovincial, de fabricación internacional de modelo Marco Polo G7.

3.5 Operacionalización de variables

3.5.1 Variable independiente

Optimización de la topología del asiento para autobús de tipo interprovincial.

Tabla 3-2 Variable independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS EINSTRUMENTOS
<p>Topología: es una parte de las matemáticas que permiten estudiar la estructura de los objetos sin atender su tamaño y forma inicial, analizando las posibilidades que se puede tener para el diseño de las figuras.</p>	<p>-Modelo optimizado de las Piezas</p> <p>-Cargas</p>	- Desplazamiento	400mm	<ul style="list-style-type: none"> • Software de Simulación • NORMA ECE R80 • Programa Especializado
		-Dirección	Dirección de la fuerza: Plano horizontal de atrás hacia delante	<ul style="list-style-type: none"> • Software de Simulación • NORMA ECE R80 • Programa Especializado
		-Fuerza	<p>Simulación cinturón de tres puntos F=4500N</p> <p>Simulación cinturón de dos puntos F=6400N</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Software de Simulación • NORMA ECE R80 • Reglamento R14 • Programa Especializado

3.5.2 Variable dependiente

Estructura del asiento para autobús de tipo interprovincial:

Tabla 3-3 Variable dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Se llama estructura al sistema mecánico que está formado por el ensamblaje de piezas prismáticas, las mismas que están sometidas a cargas contenidas en un plano medio. (Cervantes Miguel, Díaz Helena)</p>	<p>Diseño</p> <p>Tamaño</p> <p>Forma</p>	<p>-Resistencia de los elementos</p> <p>-Configuración de los elementos</p> <p>-Reducción del Peso</p>	<p>- A500 $\left\{ \begin{array}{l} S_y=325\text{MPa} \\ S_{ut}=425\text{MP} \end{array} \right.$</p> <p>-A 36 $\left\{ \begin{array}{l} S_y=250\text{MPa} \\ S_{ut}=550\text{MPa} \end{array} \right.$</p> <p>-1m de altura y 0,425m de ancho</p> <p>-Ahorro en combustible</p>	<p>-Programa MEF</p> <p>-Ensayo de Laboratorio</p> <p>-Admisibilidad del material.</p> <p>-CAD de los elementos diseñados</p> <p>-Comparación entre el asiento original y el asiento rediseñado.</p>

3.6 Recolección de la información

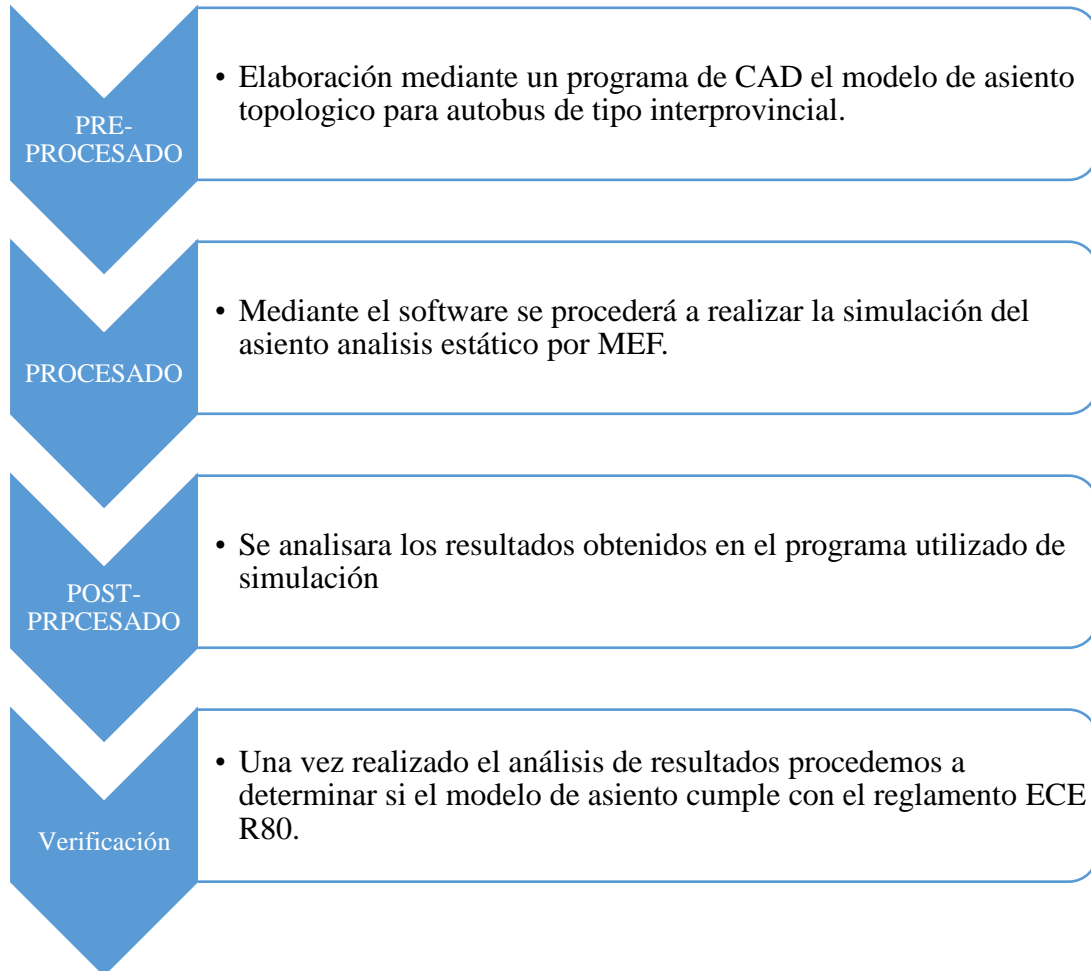
Mediante la revisión documental de los diferentes estudios efectuados en libros que determinan la teoría de topología, revistas científicas certificadas, publicaciones de seminarios. Los resultados de los diferentes ensayos que se efectuó, fueron procesados y comparados para poder determinar las características principales y el cumplimiento del reglamento ECE R80.

La recolección de información fue basada en observar directamente, los diferentes modelos de asientos utilizados tanto en buses interprovinciales en nuestro país como los que son importados; esto será fundamental para poder desarrollar nuestro estudio.

3.7 Procesamiento y análisis

3.7.1 Plan de procesamiento

Tabla 3-4 Organigrama de desarrollo del tema

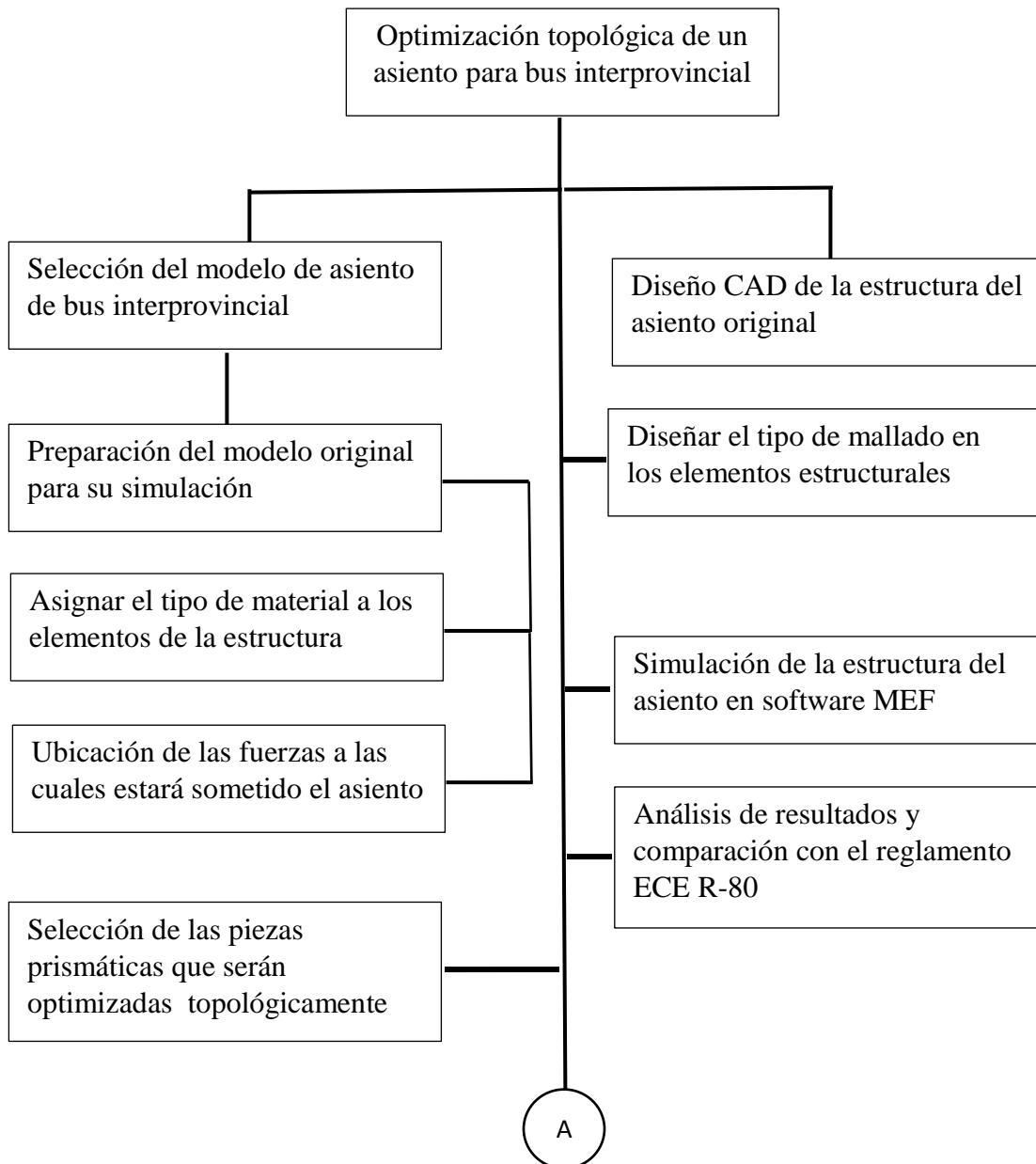


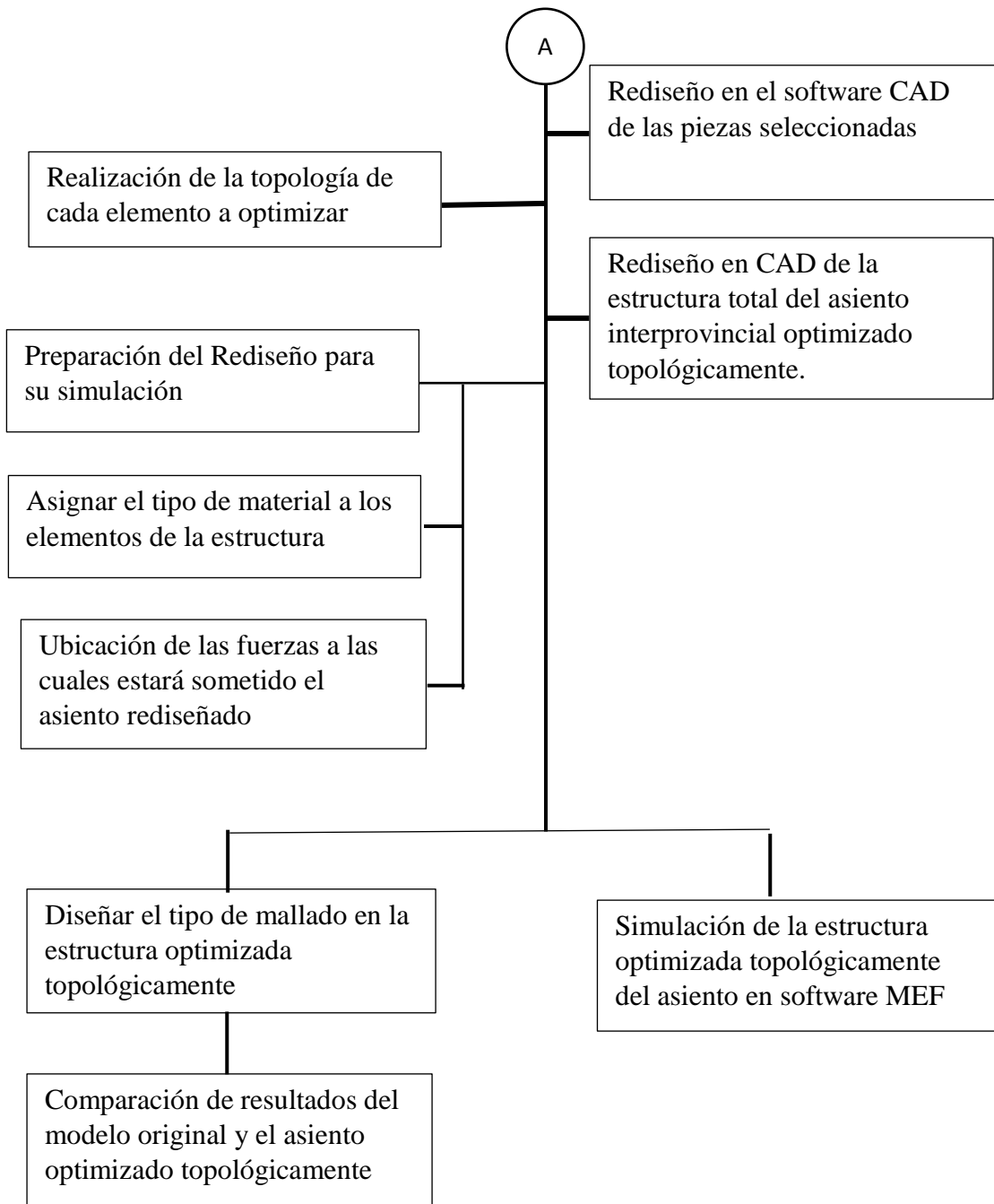
Capítulo 4

4.1 Análisis de los resultados

4.1.1 Organigrama

Tabla 4-1 Organigrama de optimización





4.2 Interpretación de los resultados

4.2.1 Pre-procesado

4.2.1.1 Obtención del CAD: Una de las herramientas más importantes que ayudado a los diseñadores es el software de CAD a ha permitido realizar trabajos en menor tiempo a los que se solía hacer cuando simplemente se utilizaba el dibujo técnico manual.

El modelo seleccionado es de un autobús importado de carrocería brasileña marca Marco Polo Modelo SUDACAM, debido a que estadísticamente se observó que los usuarios prefieren viajar en esta clase de buses por su comodidad y seguridad, es por ello que nuestro modelo tendrá como misión desarrollar una optimización topológica que ayude a nuestros fabricantes tener un mejor modelo de asiento (Tabla 4-1).

4.2.1.2 Preparación del modelo: Una vez que hemos realizado la obtención del CAD se procede a preparar para poder efectuar el análisis de esfuerzos a los cuales estará sometido el asiento en la vida diaria, así podremos determinar cuáles son las partes que más sufren dichos esfuerzos y donde estos están concentrados. Para poder realizar el estudio minucioso para poder dar una mejor optimización y poder alivianar este elemento (Tabla 4-2).

4.2.1.3 Mallado.- Se realiza el mallado en la estructura con elementos cuadriláteros tipo Shell para geometrías isotrópicas y para geometrías irregulares es de tipo triangular tipo Shell.

El mallado está conformado por 51843 elementos los mismos que se dividen en 50147 (96,9%) elementos cuadriláteros y 1696 (3,1%) elementos triangulares. El número de nodos en la estructura es de 54171.

Tenemos un Radio Jacobiano que va desde 0,22 a 1 lo cual nos muestra que tenemos una buena calidad de malla ya que el valor establecido debe variar desde -1 a 1 . El detalle del mallado en la estructura del asiento podemos visualizar en la tabla 4-3.

Tabla 4-2 Estructura del asiento original

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Datos Informativos:					
Tipo de estudio:		Estructura del asiento a optimizar Topológicamente		Dibujo N°: 01	
Identificación del componente de estudio:				AIOC-001	
Solicitado por:		UTA - FICM		Fecha: 15/02/2019	
Centro de estudio y Análisis:				Laboratorio de Computación -FICM	
Realizado por:		Omar Córdova		Supervisado por: Ing. Diego Núñez	
PARÁMETROS DE DISEÑO					
Lugar:		Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA			
Software		N/A			
RESULTADO:					
FOTOGRAFÍA DEL MODELO DE ASIENTO					
					
Estructura del asiento interprovincial					

Tabla 4-3 Estructura del asiento original modelado en CAD




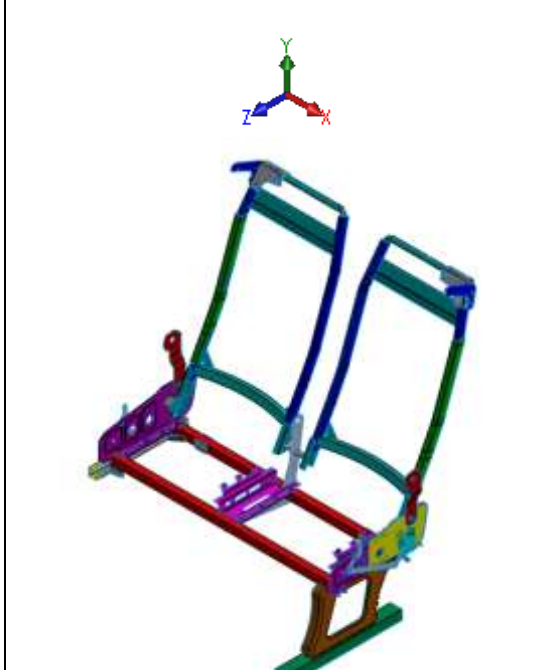




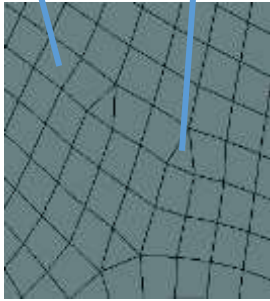
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Estructura en CAD del asiento a optimizar Topológicamente	Dibujo N°:	02
Identificación del componente de estudio:		AIOC-002	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	15/02/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Computación -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	N/A		
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DEL DIBUJO CAD			
 <p>Vista Lateral del Modelo CAD del asiento</p>		 <p>Modelo CAD del asiento</p>	

Tabla 4-4 Estructura del asiento original mallado

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Estructura del asiento a optimizar topológicamente mallado	Dibujo N°:	03
Identificación del componente de estudio:		AIOC-003	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	15/02/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Computación -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	N/A		
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DEL DIBUJO CAD			
  <p>Modelo CAD Realizado el Mallado</p>		<p>Elemento Cuadrilátero Shell</p> <p>Elemento Triangular Shell</p>  <p>Detalle del Mallado</p>	

4.2.2 Preparación de la estructura del asiento para la simulación

4.2.2.1 Asignación de materiales: Para poder tener un análisis cercano a la realidad y con el menor porcentaje de error posible se debe ubicar los materiales con los cuales este será construido físicamente o las características que estos poseen.

Nuestro análisis fue desarrollado con el material A36 y acero A500 que es con el que se construye los asientos en nuestro país por ser menos costoso

4.2.2.2 Cargas y apoyos: Se estableció las cargas y apoyos del asiento según la norma ECER80 en la cual establece que:

Anclaje: los asientos estarán anclados a la parte del suelo o de la carrocería del vehículo en que pueden fijarse los asientos.

Distancia entre asientos: en el caso de asientos orientados en la misma dirección, la distancia entre la cara anterior del respaldo de un asiento y la cara posterior del respaldo del asiento que le antecede, medida horizontalmente y a una altura de 620 mm por encima del suelo.

Se presionará horizontalmente la superficie con una fuerza de entre 4500N y 6408.6N Reglamento ECE R14.

La fuerza será aplicada: A una altura de 750 mm por encima del plano de referencia y en la línea vertical que contenga el centro geométrico del área limitada por el polígono cuyos vértices sean los diferentes puntos de anclaje o, en su caso, los anclajes del asiento más alejados, con la estructura rígida indicada en el punto.

Dirección: Esta será horizontal y hacia la parte delantera del vehículo.

Tiempo: Será en un tiempo mínimo de 0,2s.

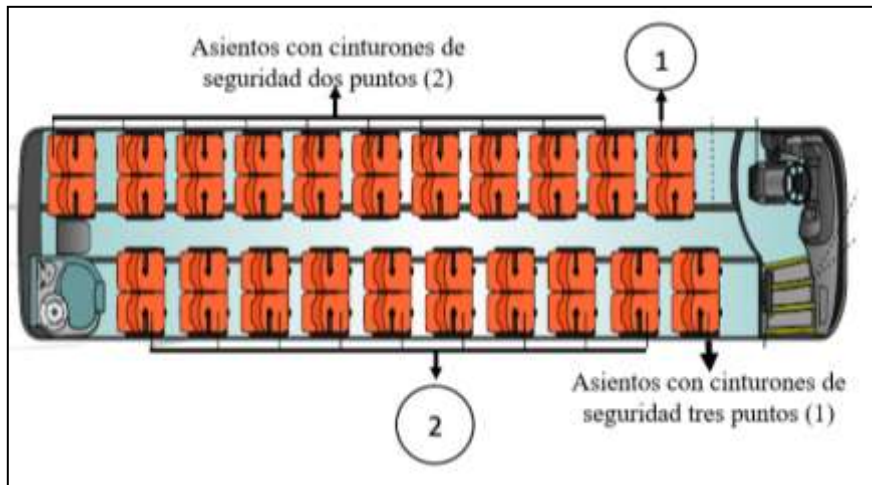


Figura 4.1 Diseño interior de un bus

Podemos observar en la figura 4.1 la ubicación de los cinturones de seguridad de acuerdo a la posición de los asientos en el bus de tipo interprovincial.

Normativa utilizada en la Simulación del asiento de bus interprovincial:

En la figura 4.2 podemos observar la normativa que se utilizó para realizar la simulación al ser aplicadas fuerzas externas al asiento de bus de tipo interprovincial de acuerdo al reglamento ECE R80 y R14.

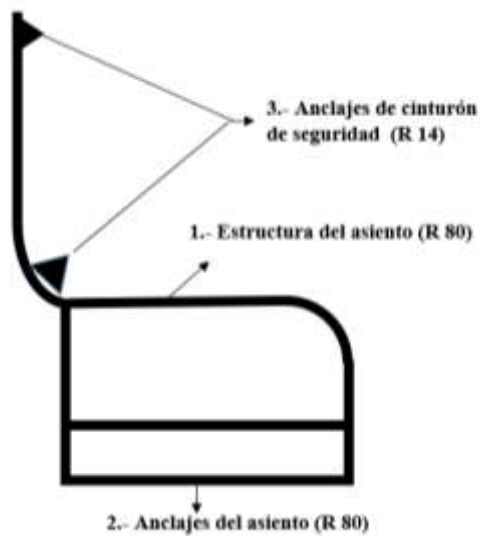


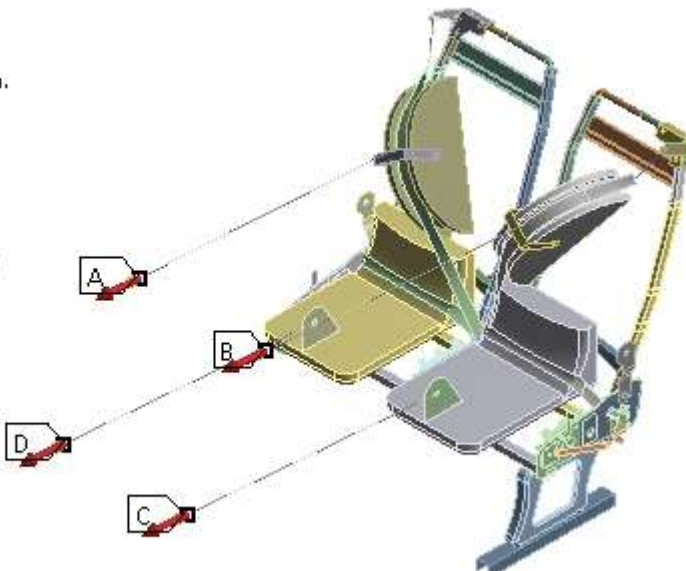


Figura 4.2 Modelo de un asiento de bus

La figura 4.2 detalla la normativa utilizada en la simulación de acuerdo a las partes del asiento.

Tabla 4-5 Cargas aplicadas según el reglamento ECE R14

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 	
Datos Informativos:	
Tipo de estudio:	Asignación de Fuerzas
Dibujo N°:	04
Identificación del componente de estudio: AIOC-004	
Solicitado por:	UTA - FICM
Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis: Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova
Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO	
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA
Software	ANSYS ACADEMICO
RESULTADO:	
FOTOGRAFÍA DE LAS FUERZAS APLICADAS	
<p>Force 4 Time: 0.2 s 08/08/2019 07:40 a. m.</p> <ul style="list-style-type: none"> A Force: 4500. N B Force 2: 4500. N C Force 3: 648.6 N D Force 4: 6408.6 N 	
Cargas aplicadas en el asiento interprovincial de tres puntos	

4.2.3 Procesado

Se realiza el análisis de simulación del asiento interprovincial original el mismo que se desarrolló en el programa ANSYS en el simulador Mechanical durando un tiempo de 27 horas y 22 minutos.

4.2.4 Post procesado

Una vez que se realizó la simulación de todo el asiento podemos determinar los resultados que el programa arroja los mismos que son los siguientes.

4.2.4.1 Simulación del asiento original con cinturón de seguridad de tres puntos

En esta simulación a más de la geometría del asiento original se utilizó lo que es los bloques pélvicos y torácicos los mismos que podemos observar en la figura 2.15 para simular las condiciones en las cuales el pasajero quedaría al sufrir un choque. Las fuerzas de tracción aplicadas son de 4500N para la zona torácica y de 6408.6N para la zona pélvica.

Simulación de los desplazamientos

En esta simulación comprobaremos si el asiento al estar expuesto a las condiciones descritas anteriormente se mantiene o no dentro de los parámetros establecidos por la norma ECE-R80 la misma que establece que los desplazamientos no deberán superar los 400mm, los resultados obtenidos son los siguientes.

El máximo desplazamiento se da en X dando un valor de 226,94mm en el nodo 34450 en el tiempo de 0,2 segundos estos valores podemos verificar en la Tabla 4-5.

Los desplazamientos en Y & Z son de 48,54mm nodo 18131 y 96,746mm nodo 18074 respectivamente se dan en un tiempo de 0,2 segundos.

En las figuras que detallan los desplazamientos podemos observar cómo se desplaza en los eje X, Y, Z los elementos que conforman el asiento original en función del tiempo hasta llegar a los 0,2 segundos de simulación que es lo que establece la norma determinadas por las curvas desplazamiento vs tiempo

Tabla 4-6 Desplazamientos del asiento original en X, Y, Z con cinturón de seguridad de tres puntos



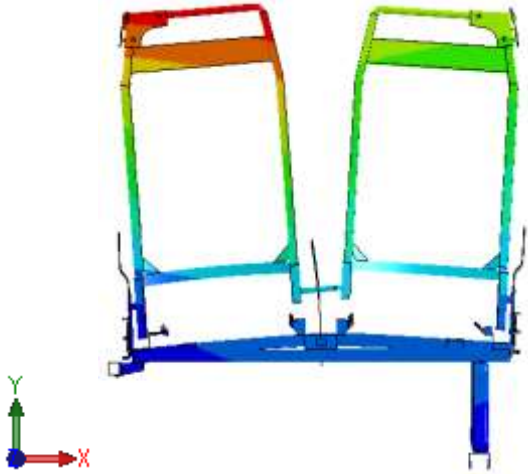
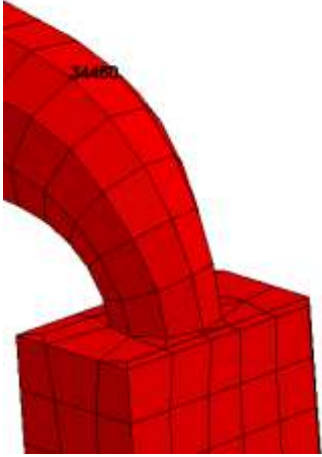
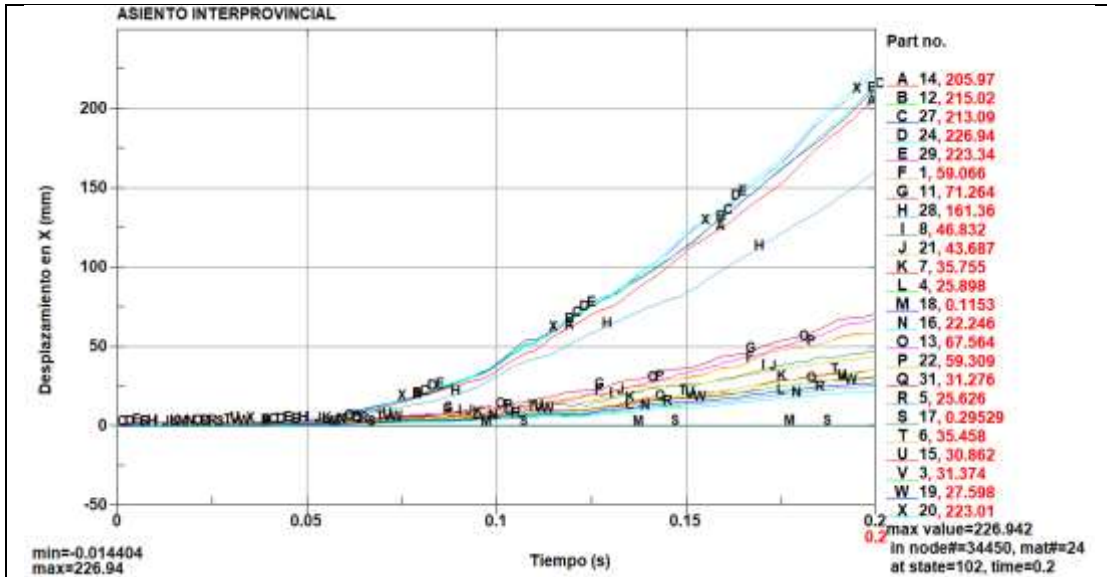
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Simulación de Desplazamientos	Dibujo N°:	05
Identificación del componente de estudio:		AIOC-005	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PrePost		
RESULTADO:			
Desplazamientos en diferentes direcciones			
 <p>Desplazamiento en X asiento original cinturón de tres puntos</p>		 <p>Nodo 34450 Máximo Desplazamiento en X asiento original con cinturón de tres puntos</p>	

Tabla 4-6 Continuación



Desplazamiento en X vs Tiempo asiento original con cinturón de tres puntos
Fuente: El Autor

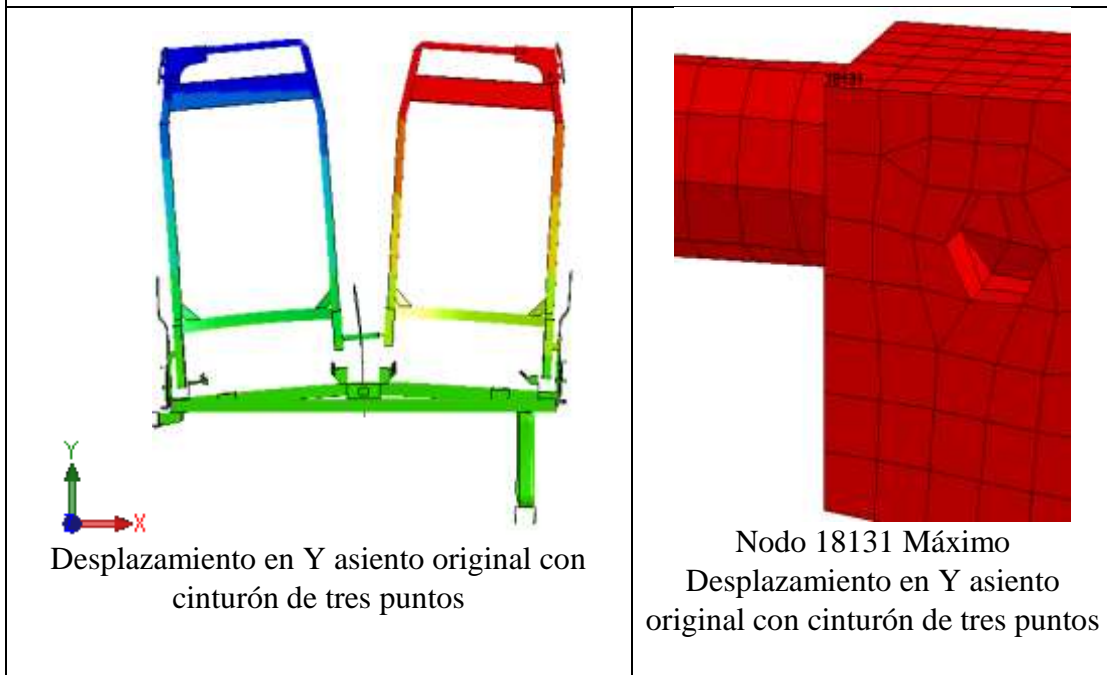


Tabla 4-6 Continuación

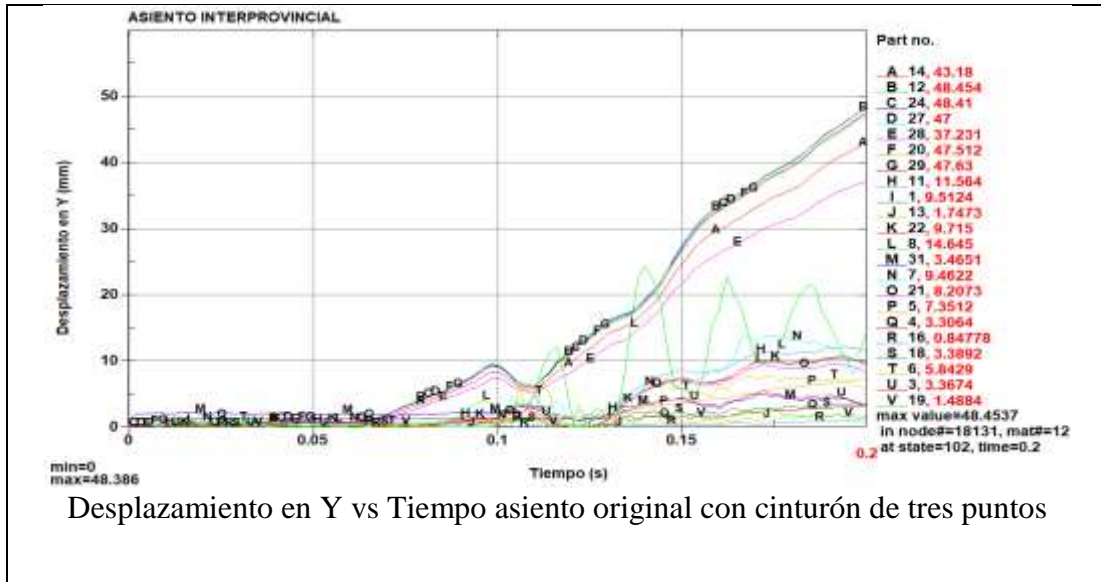
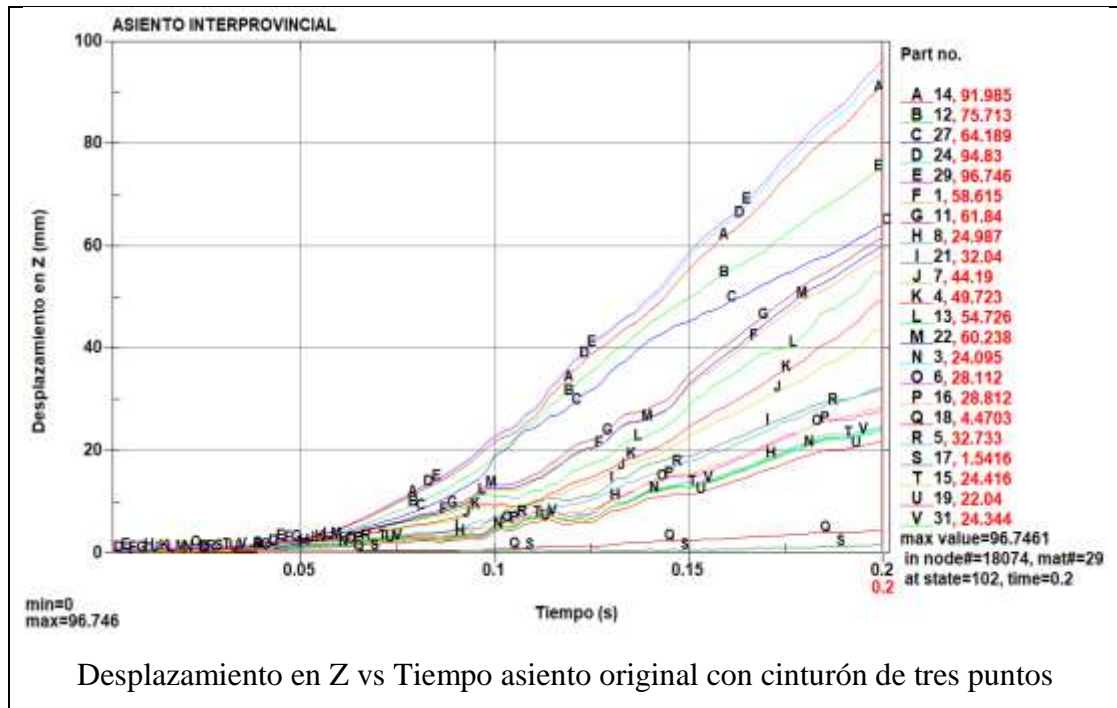


Tabla 4-6 Continuación



Simulación del esfuerzo equivalente de Von Mises

Los esfuerzos siguientes determina el comportamiento según la teoría de Von Mises donde podemos verificar si el material se mantendrá dentro de los parámetros que establece con respecto al esfuerzo máximo que deben tener, las partes del asiento es de material A-36 Y A-500.

La parte donde se produce el máximo esfuerzo por la teoría de Von Mises es en los laterales del asiento, aquí estará ubicado tanto los resortes para el sillón y donde se asentarán las partes del mecanismo para el reclinado del asiento este alcanza un esfuerzo de 938,76MPa en un tiempo de 0,158segundos en el elemento 13722 el mismo que está fabricado de Acero A36 donde su esfuerzo máximo es de 482MPa el valor del esfuerzo en la simulación es superior a valor admisible, en este elemento se ubica la mayor concentración de esfuerzos.

La gráfica Esfuerzo vs Tiempo está en la figura 4.20 en donde nos representa como varía en cada elemento el esfuerzo siguiendo la teoría de Von Mises

Tabla 4-7 Esfuerzos por Von Mises del asiento original con cinturón de seguridad de tres puntos



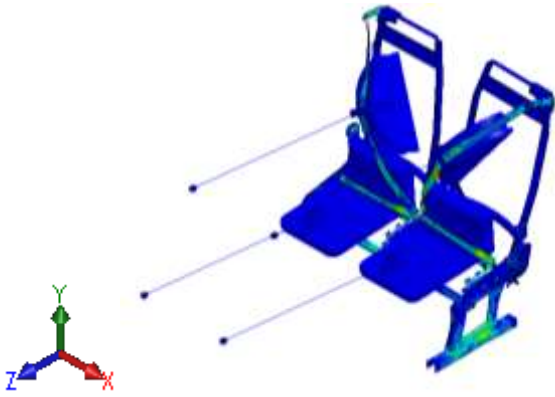
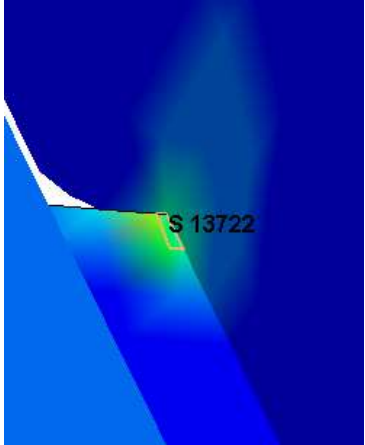
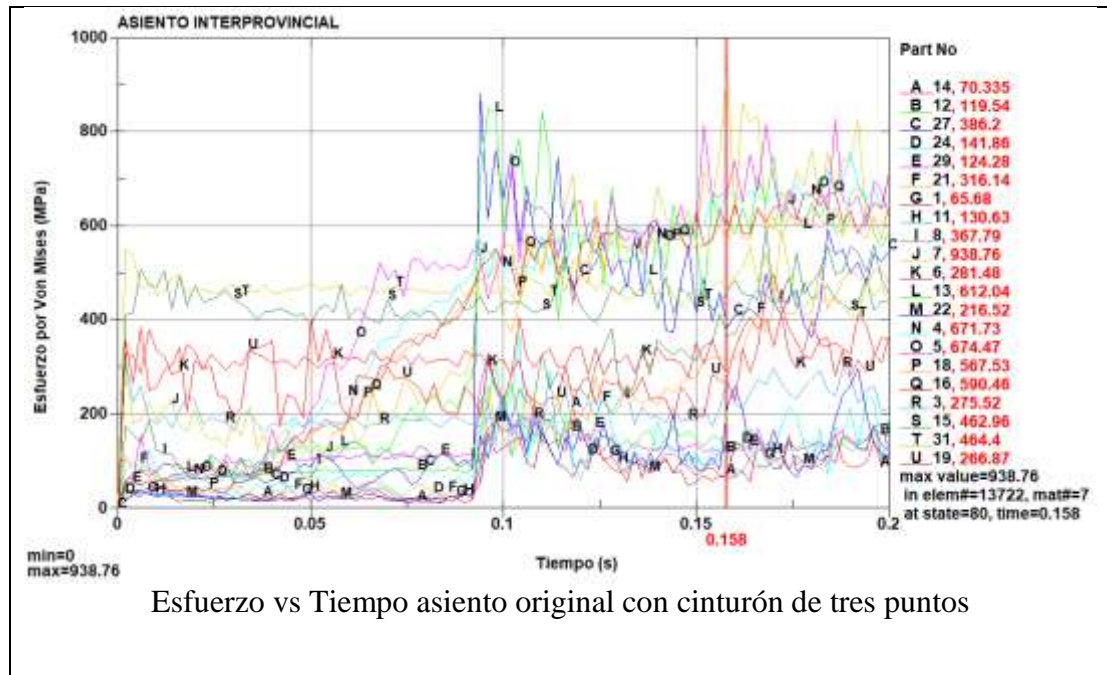
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Esfuerzo por Von Mises	Dibujo N°:	06
Identificación del componente de estudio:		AIOC-006	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	ANSYS ACADEMICO		
RESULTADO:			
RESULTADOS POR VON MISES			
 <p>Esfuerzos equivalentes a Von Mises asiento original con cinturón de tres puntos</p>		 <p>Esfuerzos máximo por Von Mises asiento original con cinturón de tres puntos</p>	

Tabla 4-7 Continuación



Simulación de Deformaciones Plástica

En la presente simulación verificaremos la variación de las deformaciones plásticas efectivas en toda la estructura del asiento.

En la tabla 4-6 podemos observar la deformación total que tiene la estructura en un tiempo de 0,2 segundos en donde alcanza su deformación máxima efectiva la misma que se produce en el elemento 11147 el mismo que está ubicado en la esquina de la parte lateral con un valor de 0.16425 siendo inferior al valor máximo del material que es de 0,283.

En las curvas de deformación plástica que van teniendo todas las partes del asiento en un tiempo de 0,2 segundos alcanzando sus máximos y mínimos valores.

Tabla 4-8 Deformación plástica del asiento original con cinturón de seguridad de tres puntos



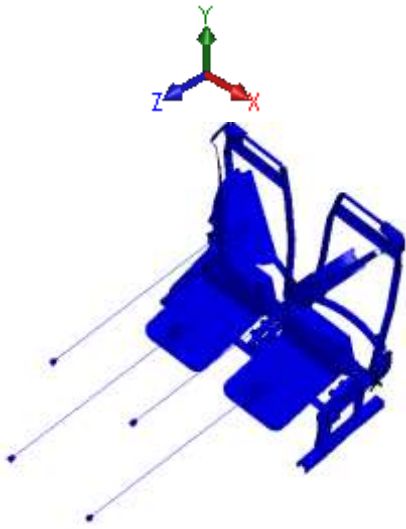
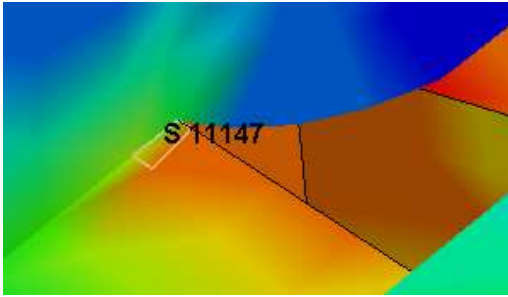
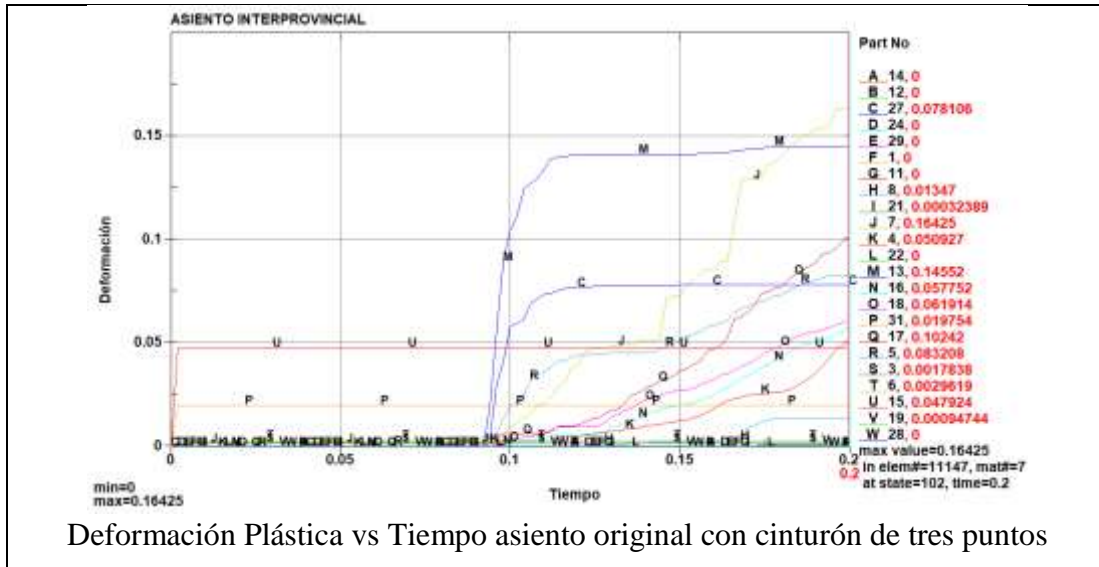
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Deformaciones Plásticas	Dibujo N°:	07
Identificación del componente de estudio:		AIOC-007	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PREPOST		
RESULTADO:			
Deformación Plástica			
 <p>Deformación Plástica asiento original con cinturón de tres puntos</p>		 <p>Elemento 11147 Deformación Plástica Máxima asiento original con cinturón de tres puntos</p>	

Tabla 4-8 Continuación



Deformación Plástica vs Tiempo asiento original con cinturón de tres puntos

4.2.4.2 Simulación del asiento original con cinturón de seguridad de dos puntos

Para realizar la siguiente simulación se utilizó el bloque pélvicos para simular las condiciones en las cuales el pasajero quedaría al sufrir un choque este cinturón es utilizado en los cuatro asientos de la primera fila y en el asiento de la mitad de la última fila. Las fuerzas de tracción aplicadas es de 6408N.

Simulación de los desplazamientos

A través de la siguiente simulación se comprobó si la estructura del asiento se mantiene dentro de los parámetros establecidos por la norma ECE-R80 y R14 la misma que establece que los desplazamientos no deberán superar los 400mm, los resultados obtenidos son los siguientes.

El máximo desplazamiento se da en X dando un valor de 101,343mm en el nodo 20137 en el tiempo de 0,2 dichos valores están representados en la Tabla 4-7.

Los desplazamientos en Y & Z son de 36,63mm nodo 33895 y 69,0513mm nodo 20,187 respectivamente en un tiempo de 0,2 segundos.

En la gráfica Deformación vs tiempo representan los desplazamientos que tienen todos los elementos que conforman el asiento original con cinturón de seguridad de dos puntos en un tiempo de 0,2 segundos de simulación.

Tabla 4-9 Desplazamientos del asiento original en X, Y, Z con cinturón de seguridad de dos puntos



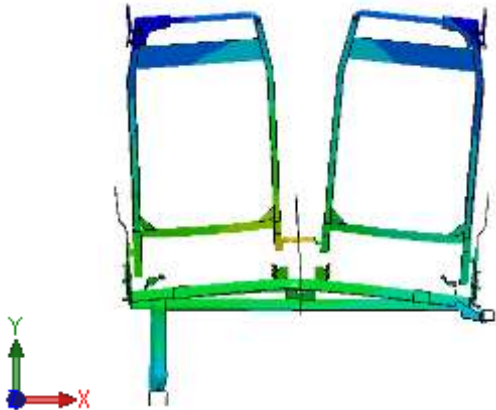
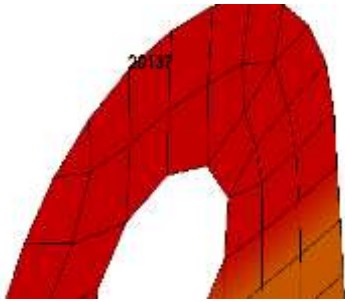
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Simulación de Desplazamientos en el asiento con cinturón de dos puntos	Dibujo N°:	08
Identificación del componente de estudio:		AIOC-008	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PrePost		
RESULTADO:			
Desplazamientos en diferentes direcciones			
 <p>Desplazamiento en X asiento original cinturón de dos puntos</p>		 <p>Nodo 20137 Máximo Desplazamiento en X asiento original con cinturón de tres puntos</p>	

Tabla 4-9 Continuación

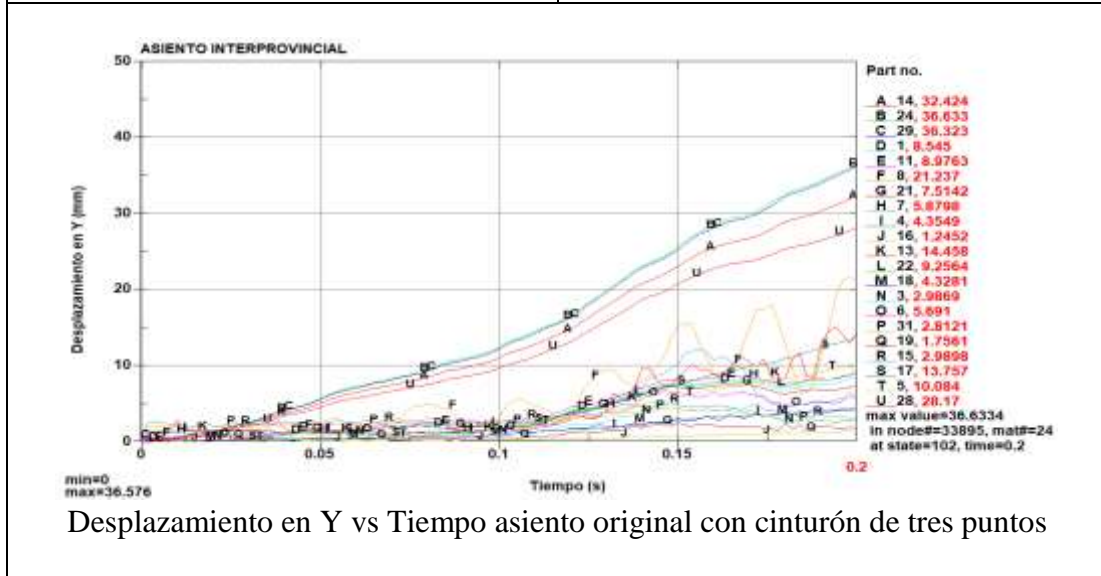
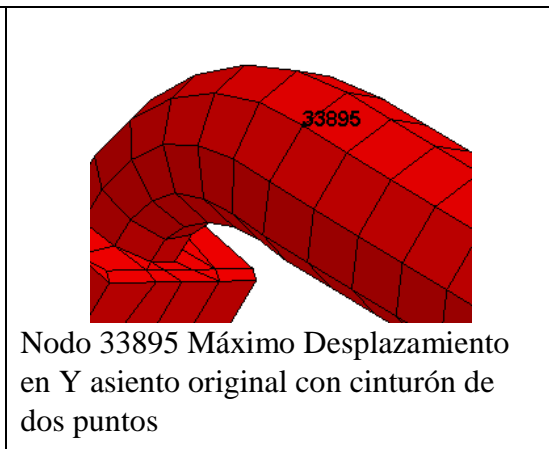
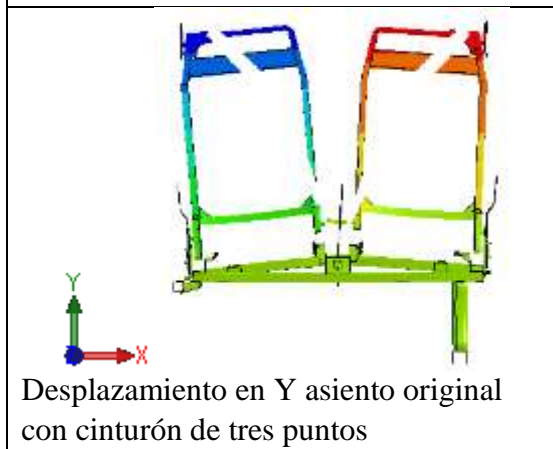
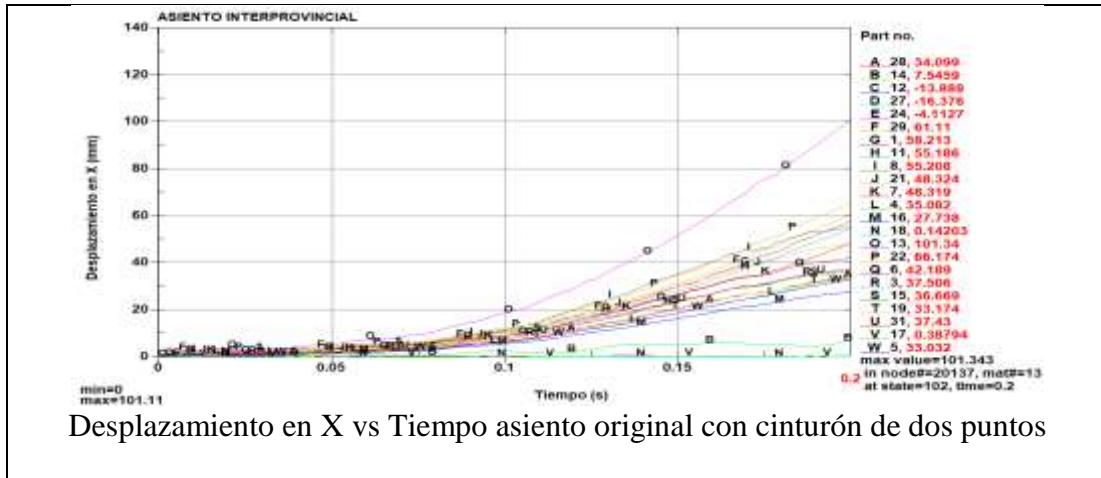


Tabla 4-9 Continuación

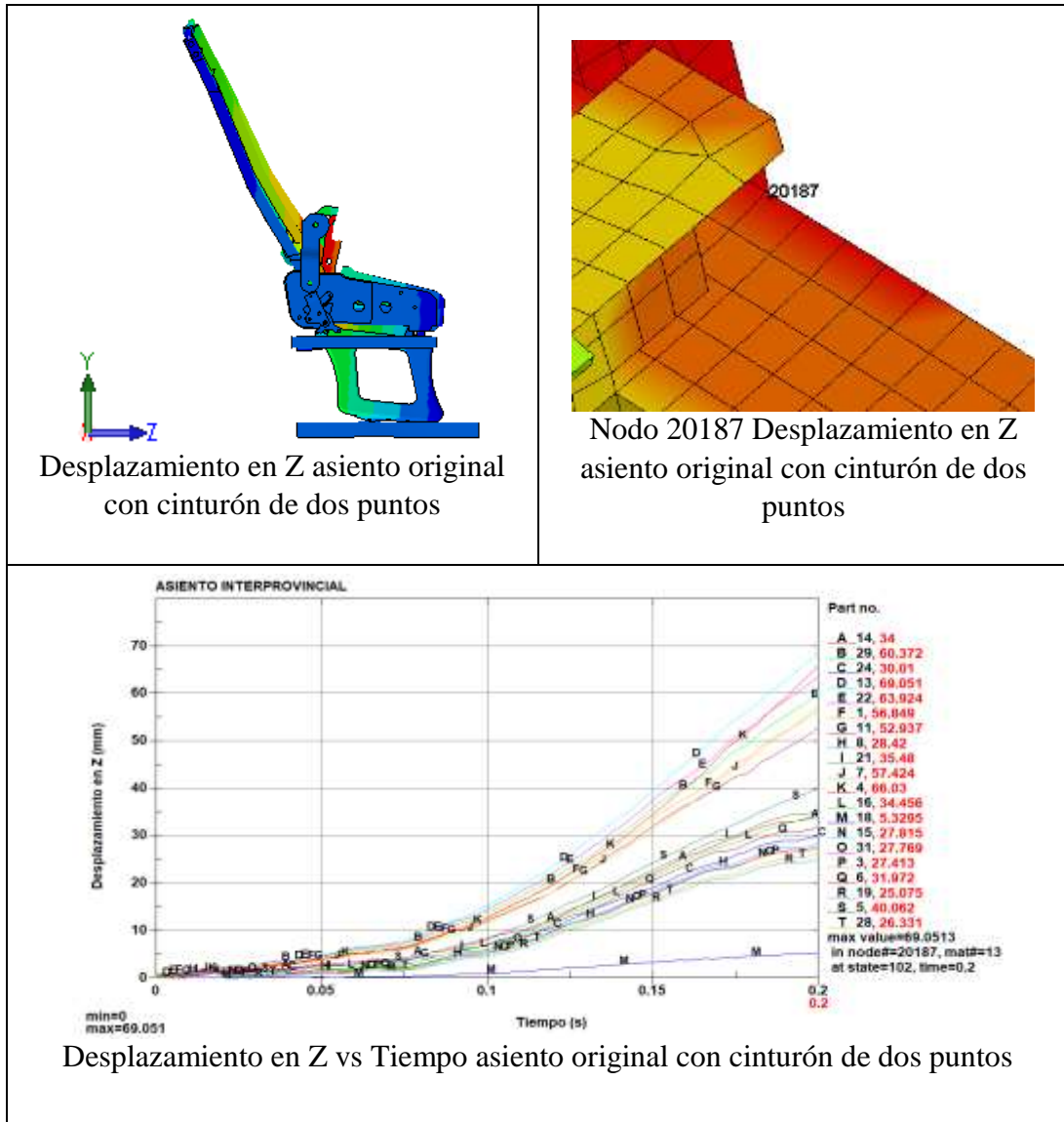


Tabla 4-10 Valores de los desplazamientos en la estructura del asiento original con cinturón de seguridad dos puntos

Asiento original			
EJE	NODO	VALOR Máximo (mm)	Tiempo (s)
X	20137	101.343	0.2
Y	33895	36.6334	0.2
Z	20187	69.0513	0.2

Simulación del esfuerzo equivalente por Von Mises

El esfuerzo máximo por la teoría de Von Mises se produce en el anclaje de los soportes donde estará ubicado el sillón este alcanza un esfuerzo de 795,08MPa en un tiempo de 0,158segundos en el elemento 7789 el mismo que está fabricado de Acero A500 donde su esfuerzo máximo es de 425MPa el valor del esfuerzo en la simulación es superior a valor admisible, por lo que sufre una deformación plástica.

Por medio de la gráfica Esfuerzo vs Tiempo en la figura 4.35, se representa el esfuerzo que sufren las partes estructurales del asiento en el tiempo de 0,2 segundos.

Tabla 4-11 Esfuerzos por Von Mises del asiento original con cinturón de seguridad de dos puntos



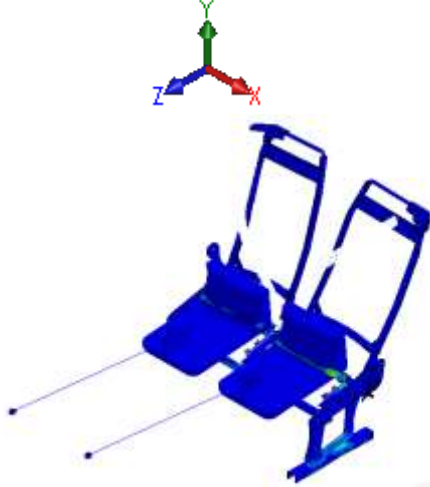
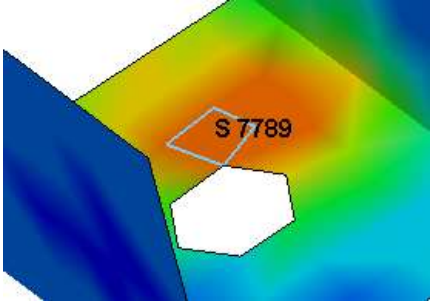
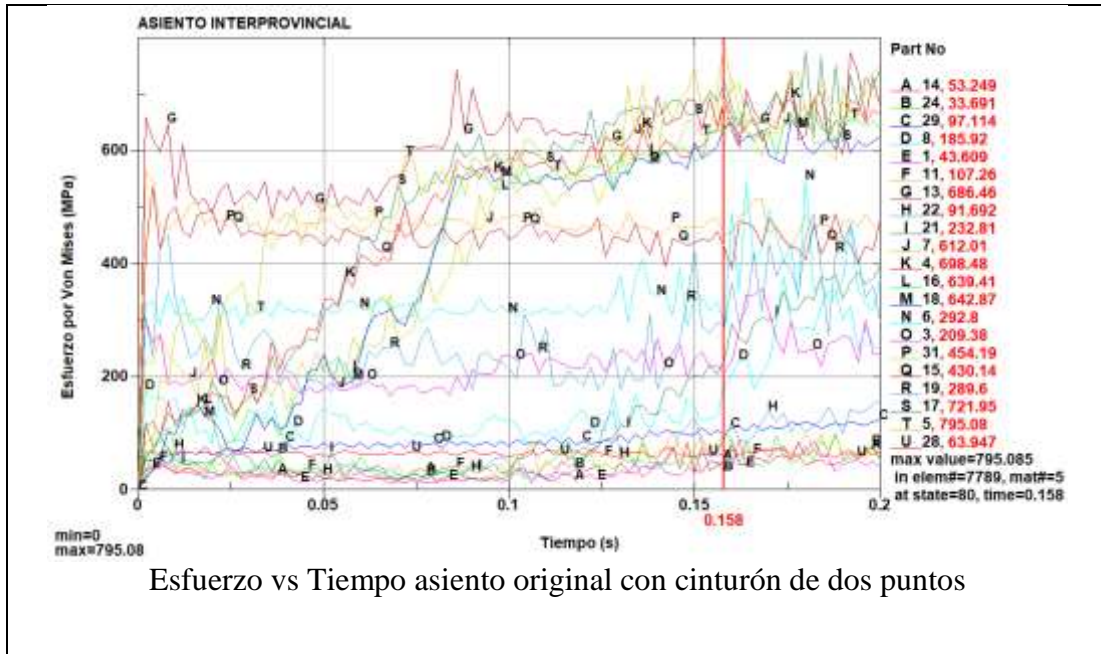
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Esfuerzo por Von Mises asiento con cinturón de dos puntos	Dibujo N°:	09
Identificación del componente de estudio:		AIOC-009	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	ANSYS ACADEMICO		
RESULTADO:			
RESULTADOS POR VON MISES			
 <p>Esfuerzos equivalentes a Von Mises asiento original con cinturón de dos puntos</p>		 <p>Esfuerzos máximo por Von Mises elemento 7789 asiento original con cinturón de dos puntos</p>	

Tabla 4-11 Continuación



Simulación de deformaciones plástica

Podemos observar en la Tabla 4-12 la deformación total que tiene la estructura en un tiempo de 0,2 segundos en donde alcanza su deformación máxima efectiva la misma que se produce en el elemento 19188 con un valor de 0.158 siendo inferior al valor máximo del material que es de 0,283.

Tabla 4-12 Deformación plástica del asiento original con cinturón de seguridad de dos puntos

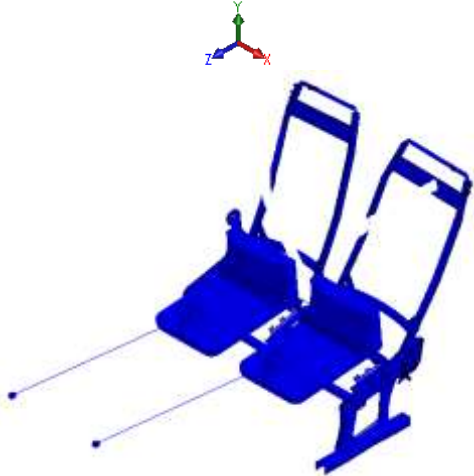
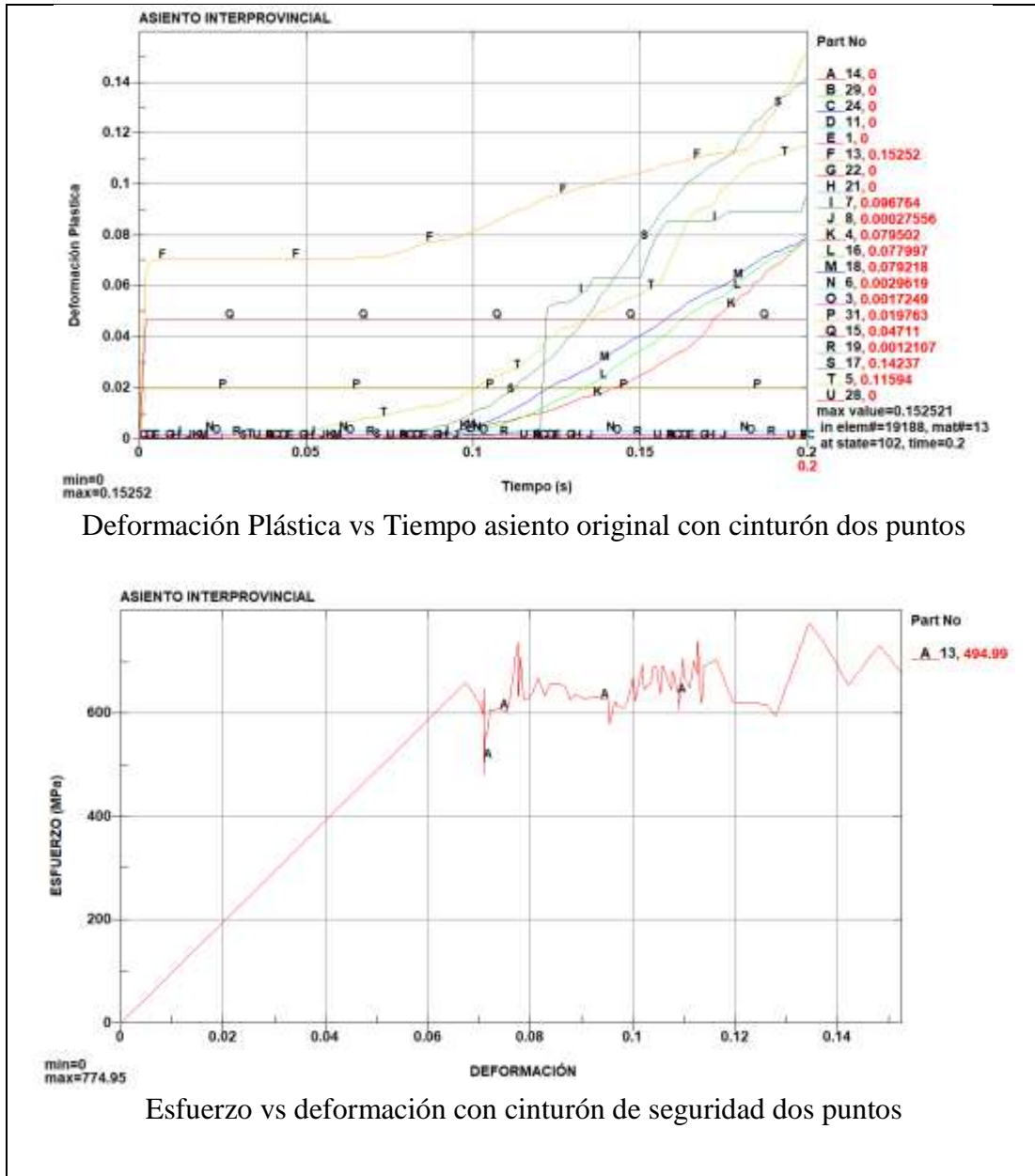
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Deformaciones Plásticas asiento original asiento con cinturón de seguridad dos puntos.	Dibujo N°:	010
Identificación del componente de estudio:		AIOC-010	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PREPOST		
RESULTADO:			
Deformación Plástica			
 <p>Deformación Plástica asiento original con cinturón de dos puntos</p>		 <p>Elemento 19188 Deformación Plástica Máximo asiento original con cinturón de dos puntos</p>	

Tabla 4-12 Continuación



En la Tabla 4-12 podemos observar el esfuerzo que alcanza el material hasta llegar a la deformación plástica en un tiempo de 0,2 segundos manteniéndose en zona elástica hasta ese tiempo.

4.2.5 Simulación de los elementos de la estructura que fueron optimizadas topológicamente

Con los resultados obtenidos por la simulación del asiento de bus interprovincial el mismo que se encuentra anclado a la carrocería determinaremos cuales son las partes que deben ser optimizadas según la función que estos cumplen en la estructura del asiento de los cuales verificaremos si los mismos se encuentran cumpliendo la norma ECE-R80.

4.2.5.1 Pata del asiento

Esta parte del asiento que podemos observar en la figura 4.22 es uno de los principales elementos en la estructura del asiento de bus interprovincial debido a su funcionamiento de soportar todo el peso de la estructura y del ocupante, también este es la conexión entre la carrocería y el asiento, el mismo que debe estar dentro de las normas ECE R80 para garantizar la seguridad del pasajero, manteniéndose o mejorando la resistencia con la optimización.

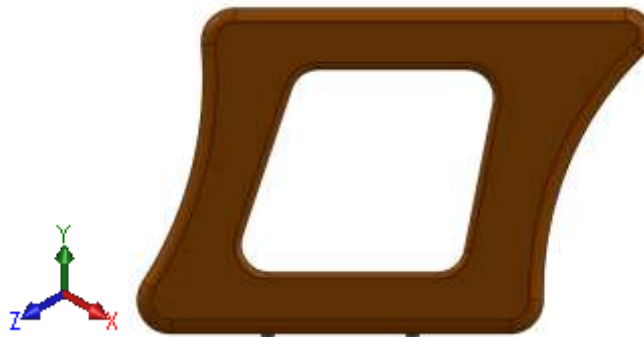


Figura 4.3 Pata del asiento original

- Simulación de los Desplazamiento en los ejes X Y Z en la pata del asiento

A continuación podemos observar a través de la ficha N.- 08 los resultados de la simulación de los desplazamientos al ser sometido a las diferentes fuerzas máximas que estos pueden estar sometidos.

Tabla 4-13 Desplazamientos en los ejes X, Y, Z en la pata del asiento original

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Simulación de los Desplazamientos en la Pata del asiento original.	Dibujo N°:	011
Identificación del componente de estudio:		AIOC-011	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PrePost		
RESULTADO:			
Desplazamientos en diferentes direcciones			
 <p>Desplazamiento de la pata original con respecto al eje X</p>		 <p>Nodo 18377 Máximo Desplazamiento con respecto al eje X</p>	

Tabla 4-13 Continuación

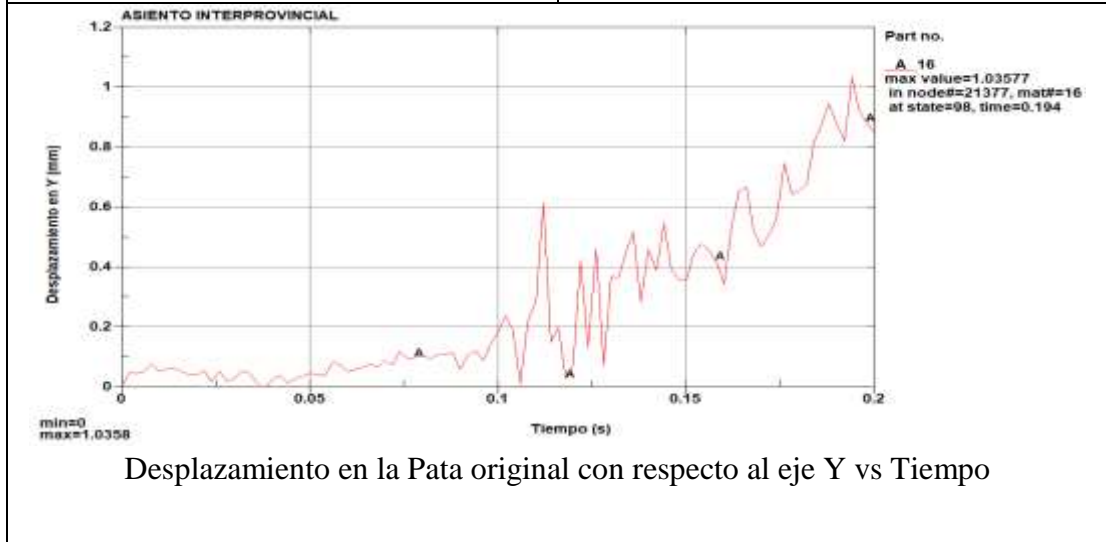
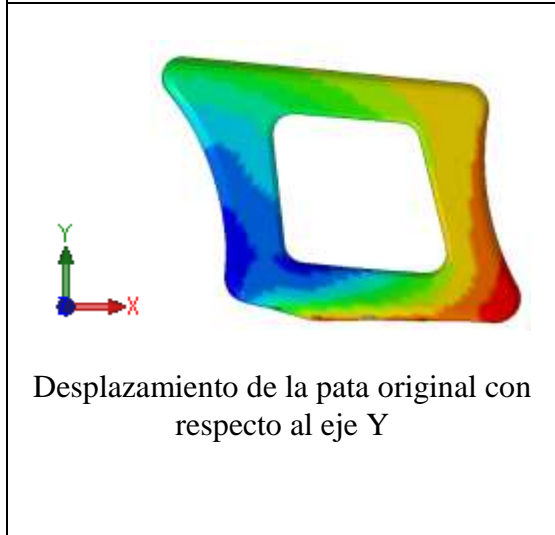


Tabla 4-13 Continuación

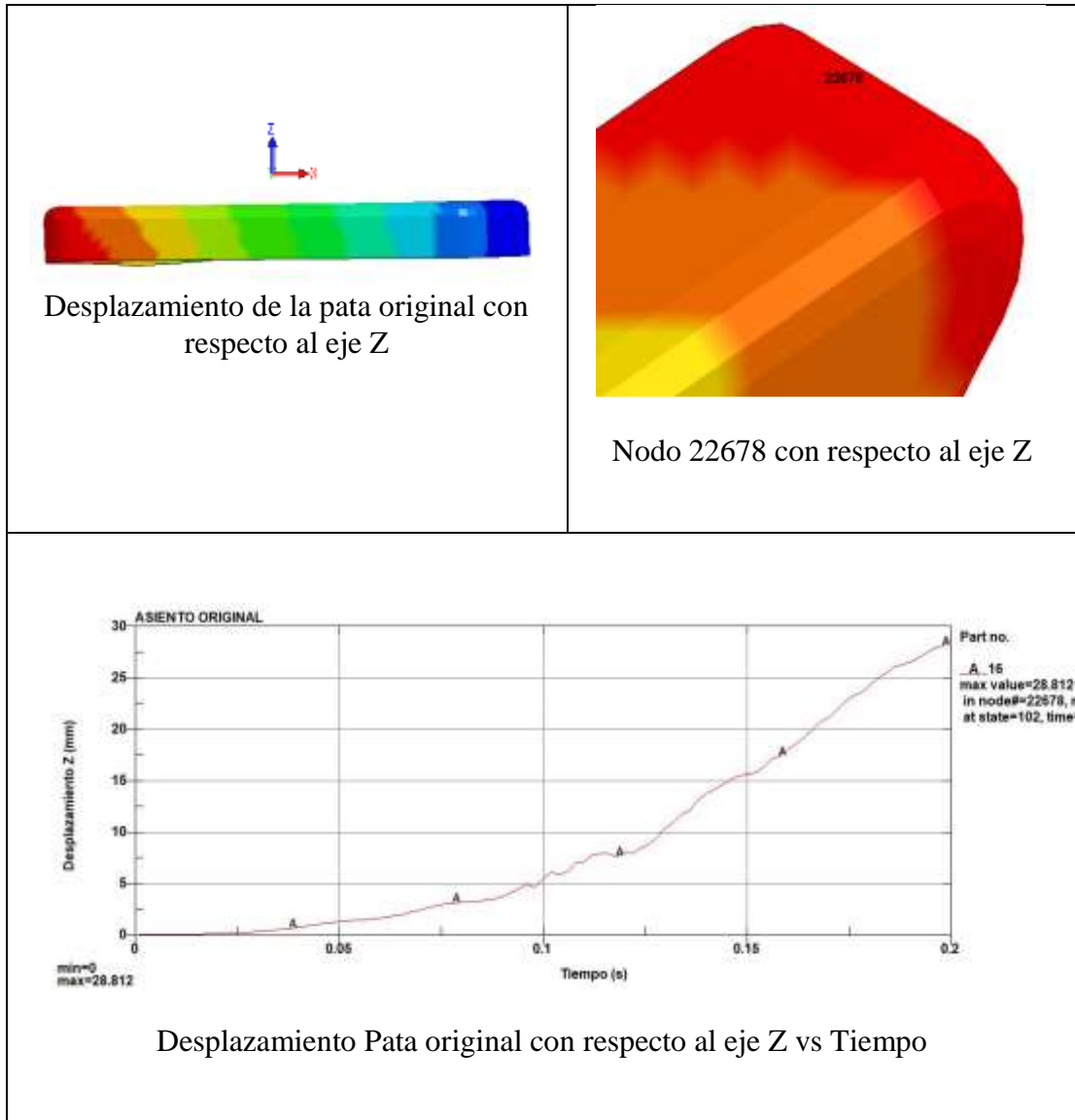


Tabla 4-14 Valores de los desplazamientos pata del asiento original

Pata original			
EJE	NODO	VALOR Máximo (mm)	Tiempo (s)
X	18377	22.246	0.2
Y	21377	1.0358	0.194
Z	22678	28.812	0.2

El máximo desplazamiento se da en el eje Z con un valor de 28,812mm en el tiempo de 0,2segundos ocurre en el nodo 22678 tenemos representado en la Tabla 4-13.

Se representa también la variación de desplazamientos que va teniendo desde 0 a 0,2 segundos, hasta alcanzar su desplazamiento máximo.

- **Simulación de los esfuerzos por la teoría de Von Mises en la pata original del asiento**

Por medio de la siguiente simulación se pudo obtener los esfuerzos máximos y mínimos por la teoría de Von Mises para poder determinar si el material A 36 con el cual se fabricara la pata del asiento no llega a su esfuerzo máximo permitido.

Tabla 4-15 Esfuerzos por Von Mises de la pata del asiento original



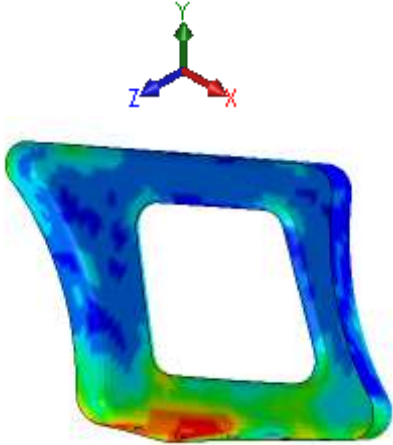
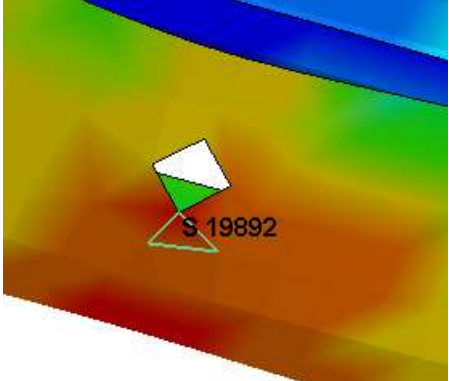
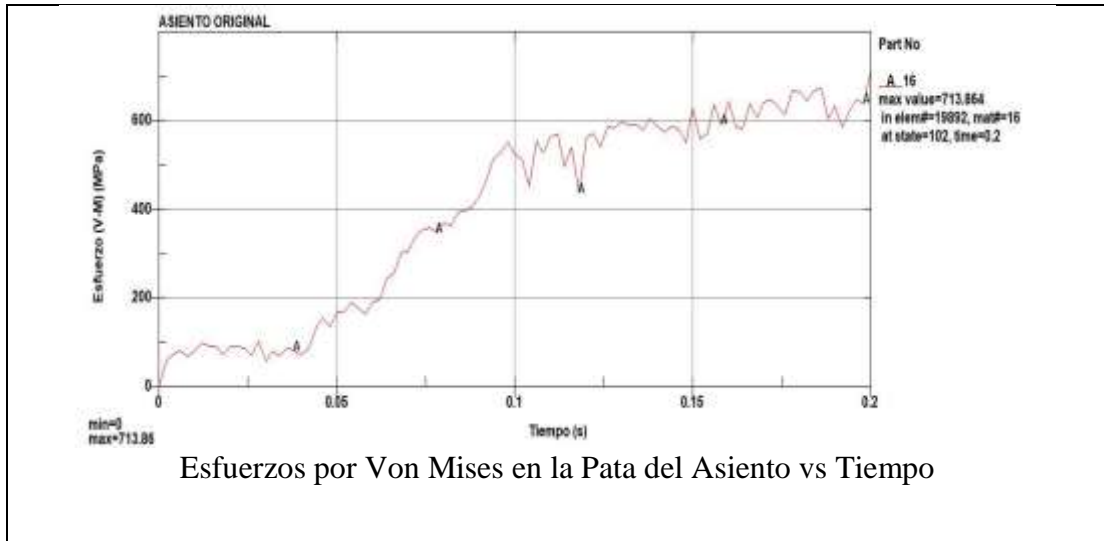
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Esfuerzo por Von Mises en la pata del asiento	Dibujo N°:	012
Identificación del componente de estudio:		AIOC-012	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	ANSYS ACADEMICO		
	LS prepost		
RESULTADO:			
RESULTADOS POR VON MISES			
 <p>Esfuerzos equivalentes a Von Mises en la pata del asiento.</p>		 <p>Esfuerzos máximo Elemento 19892 por Von Mises</p>	

Tabla 4-15 Continuación



El esfuerzo máximo se produce en el anclaje inferior de la estructura de la pata del asiento este corresponde al elemento 19892 en un tiempo de 0,2 segundos con un valor de 713,86 MPa en un material A-36 el mismo que posee un esfuerzo máximo de 482MPa.

Simulación de la Deformación plástica en la pata original del asiento

Con el siguiente estudio nos permitirá identificar la simulación que tendrá esta parte del asiento al ser simulado la deformación plástica efectiva que tendrá en un tiempo de 0,2 segundos.

Tabla 4-16 Deformación plástica de la pata original



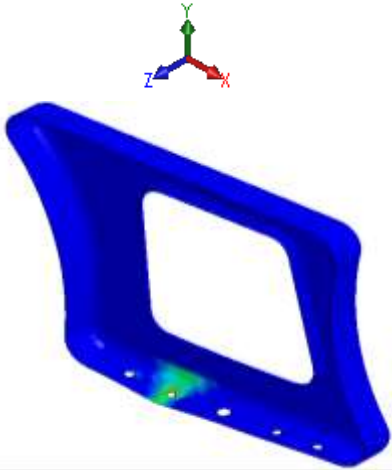
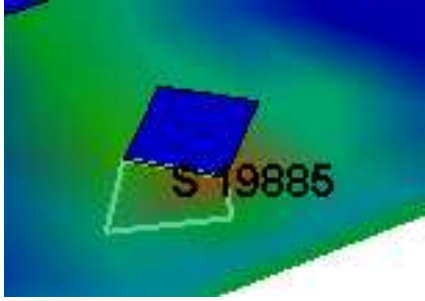
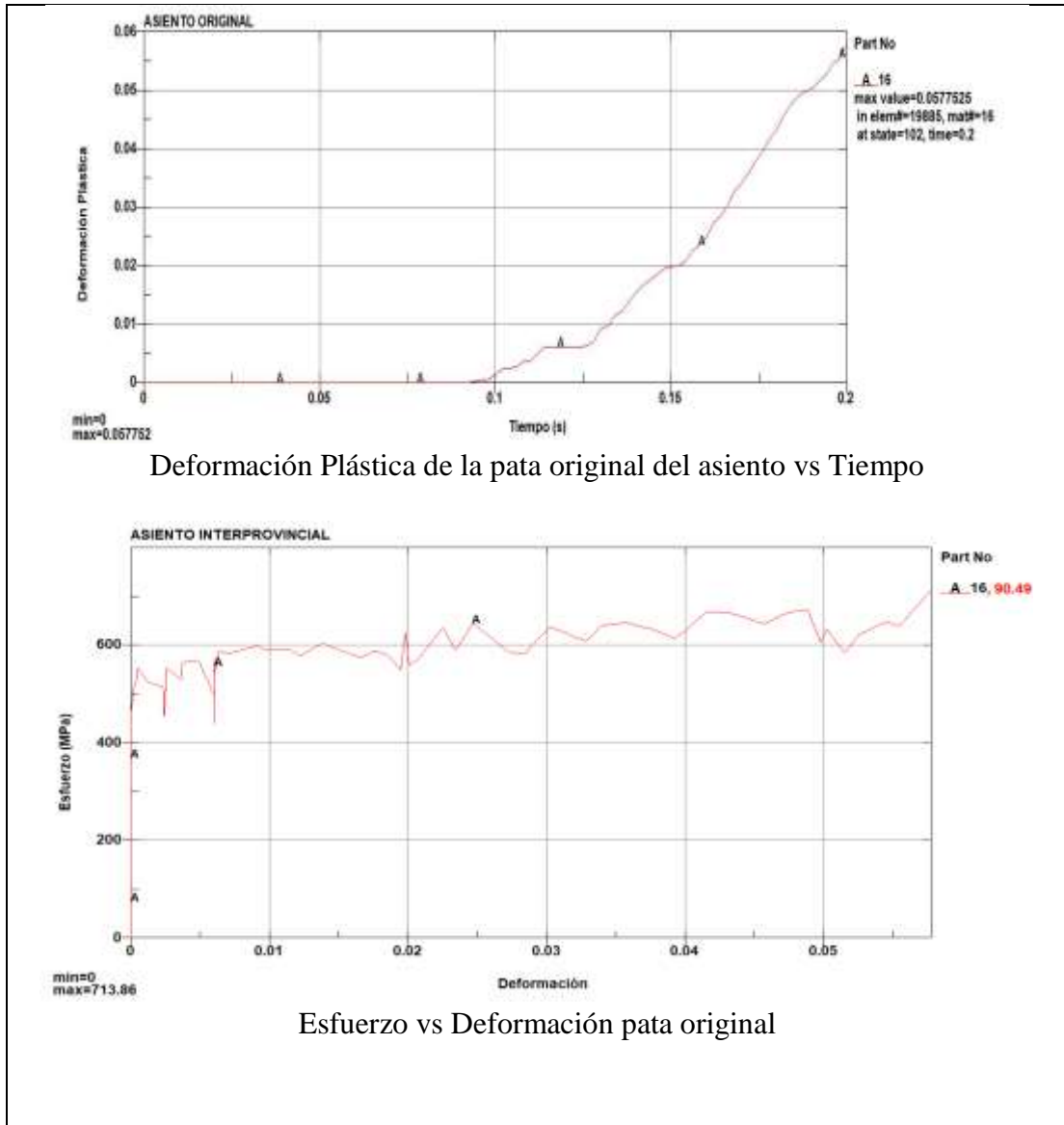
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Datos Informativos:					
Tipo de estudio:	Deformaciones Plástica en la Pata Original del Asiento	Dibujo N°:	013		
Identificación del componente de estudio:		AIOC-013			
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019		
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM			
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez		
PARÁMETROS DE DISEÑO					
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA				
Software	LS-PREPOST				
RESULTADO:					
Deformación Plástica					
					
Deformación plástico Pata Original			Elemento 19885 Deformación Plástico Máximo Pata Original del Asiento		

Tabla 4-16 Continuación



La deformación plástica máxima se da en el elemento 19885 con un valor de 0.0577 en el tiempo de 0,2 segundos el valor máximo en el material es de 0,283 lo que nos permite identificar a través de la Tabla 4-16.

En la gráfica esfuerzo vs deformación podemos observar la variación que va teniendo la pata del asiento durante los 0,2 segundos alcanzando el valor de deformación plástica máxima de 0,057 en un esfuerzo de 713MPa.

4.2.5.2 Soporte de los resortes

Estas piezas se encargan de dar conexión a las diferentes partes como son las coderas y donde serán ubicados los soportes para el cinturón en ellos también se ubican los anclajes de los resortes de soporte del asiento.

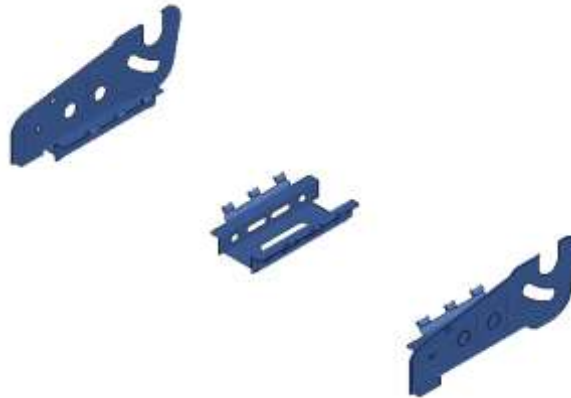


Figura 4.4 Soporte de los resortes

- Simulación de los desplazamientos en los ejes XYZ de los soportes de los resortes

Por medio del presente estudio se pudo determinar cómo varía los desplazamientos de la parte de los resortes del asiento el mismo que podemos visualizar a través de la Tabla 4-17

El mismo que se visualiza en un tiempo de 0,2 segundos.

Tabla 4-17 Desplazamiento de los soportes resortes originales del eje X, Y, Z



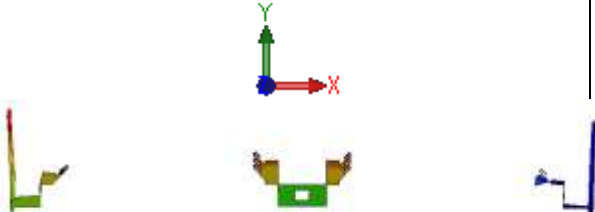

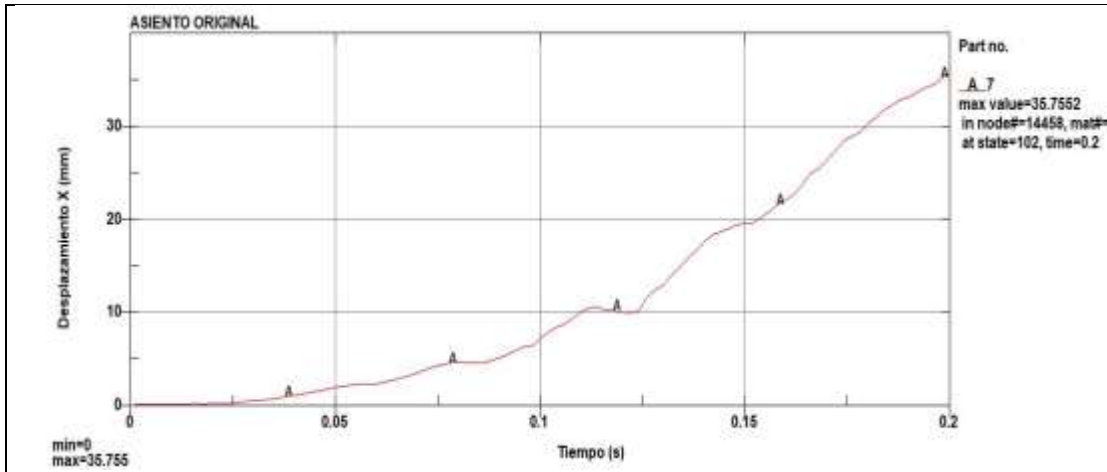
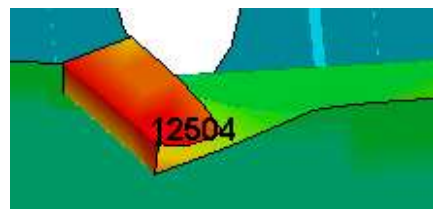
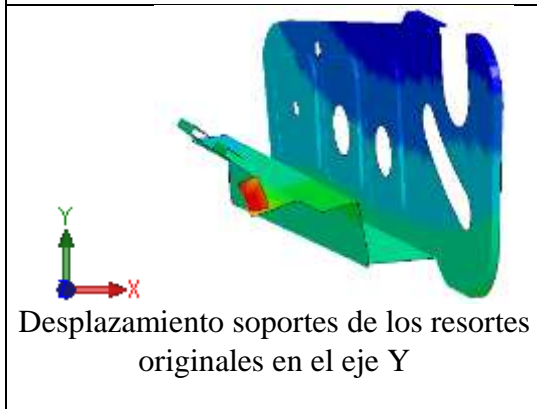
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Simulación de los Desplazamientos en Soportes de los Resortes Originales	Dibujo N°:	014
Identificación del componente de estudio:		AIOC-014	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PrePost		
RESULTADO:			
Desplazamientos			
 <p>Desplazamiento de los soportes resortes originales en el eje X</p>		 <p>Nodo 14458 Máximo Desplazamiento en el eje X soportes de los resortes originales</p>	

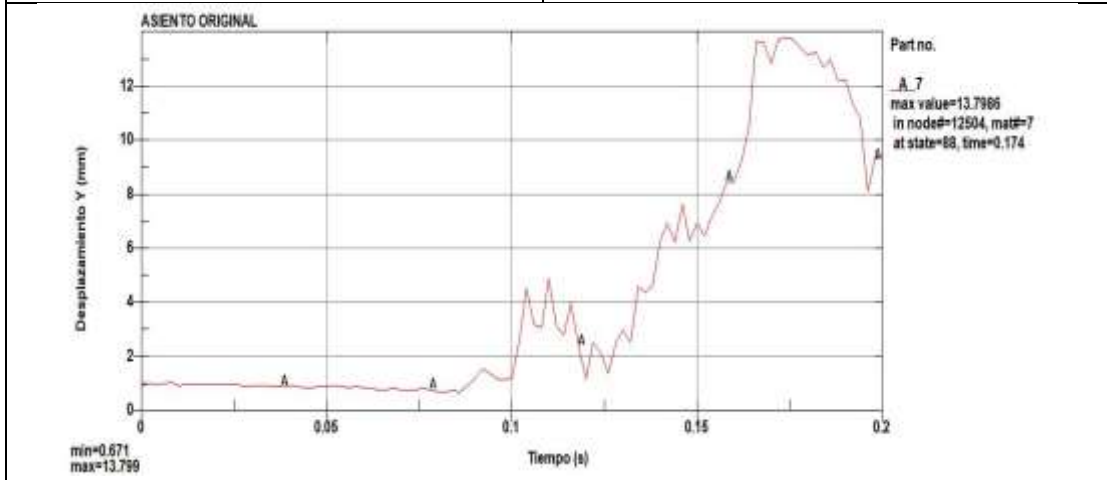
Tabla 4-17 Continuación



Desplazamiento en el eje X soportes de los resortes originales vs Tiempo



Nodo 12504 Máximo Desplazamiento de los soportes de los resortes originales en el eje Y



Desplazamiento en el eje Y vs Tiempo soportes de los resortes originales

Tabla 4-17 Continuación

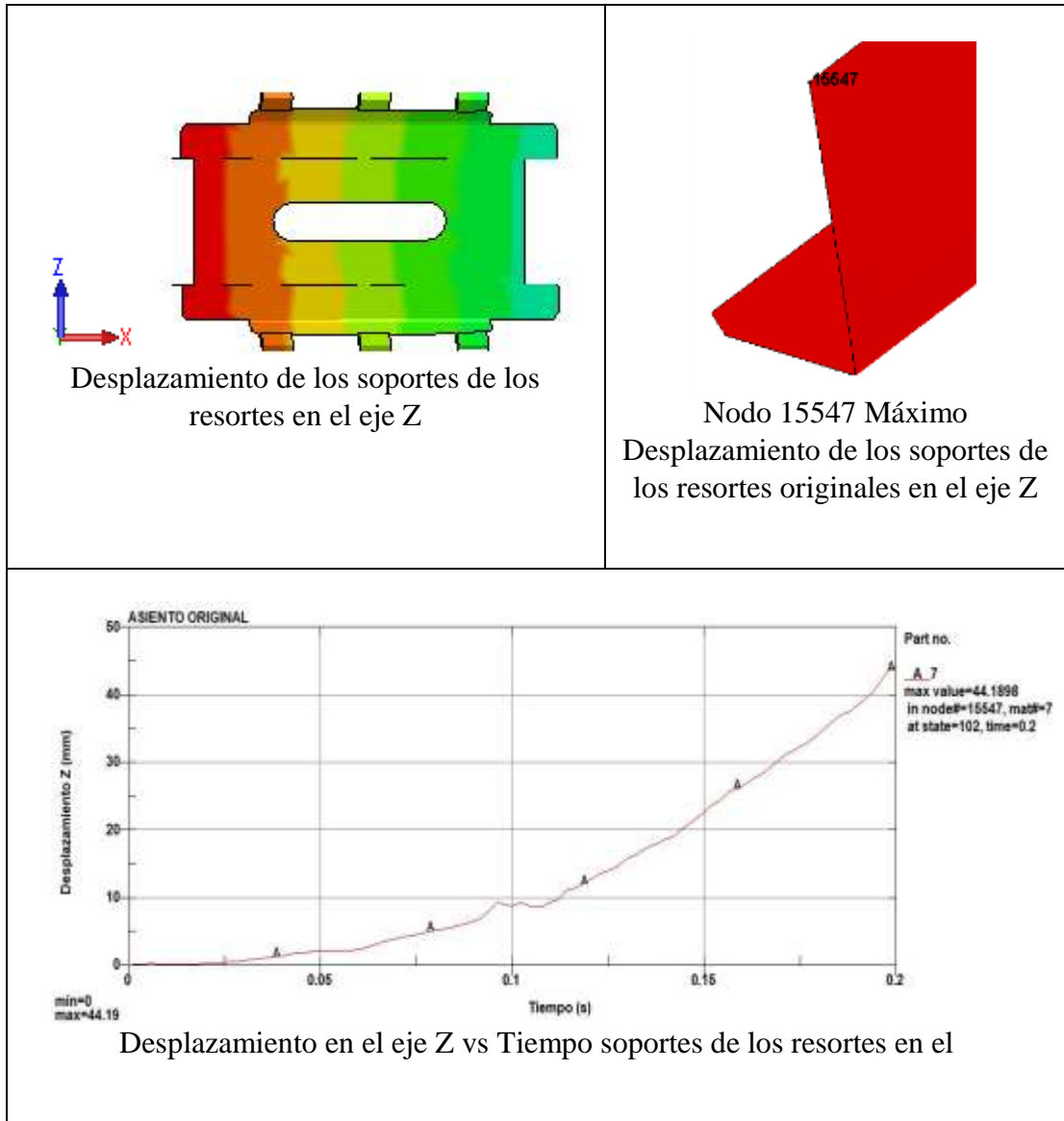


Tabla 4-18 Valores de los desplazamientos en el soporte de los resortes

Soporte de los resortes			
EJE	NODO	VALOR Máximo (mm)	Tiempo (s)
X	14458	35.755	0.2
Y	12504	13.7986	0.174
Z	15547	44.19	0.2

El máximo desplazamiento se da en el eje Z con un valor de 44.19mm en el nodo 15547 cuando alcanza su tiempo máximo de 0,2 segundos el detalle donde se ubica este nodo lo podemos observar en la tabla 4-17.

Los desplazamientos que obtuvimos en el eje X & Y es de 35.75mm y 13.8mm; respectivamente cabe recalcar que tenemos tres partes que conforman el soporte de los resortes los laterales donde también servirá de apoyo para ubicar el sistema de inclinación del asiento y la parte central.

- **Simulación de los esfuerzos por la teoría de Von Mises en los soportes de resortes**

Por medio de la siguiente simulación se pudo obtener los esfuerzos máximos y mínimos por la teoría de Von Mises para poder determinar si el material con el cual se fabricara las partes que soportan los resortes llegan o no al límite del mismo.

Tabla 4-19 Esfuerzos por Von Mises en los soportes de los resortes originales





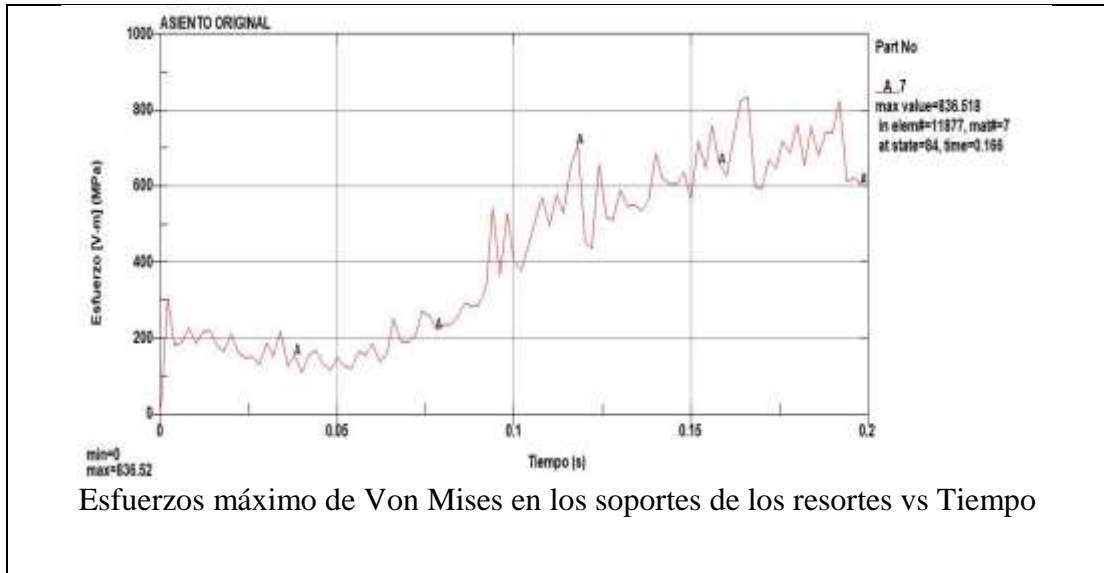
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Esfuerzo por Von Mises Soporte de los Resortes Originales	Dibujo N°:	015
Identificación del componente de estudio:		AIOC-015	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	ANSYS ACADEMICO		
	LS prepost		
RESULTADO:			
RESULTADOS POR VON MISES			
 <p>Esfuerzos por Von Mises en los soportes de los resortes originales</p>		 <p>Elemento 11877 máximo esfuerzo por Von Mises</p>	

Tabla 4-19 Continuación



En la simulación efectuada podemos comprobar que el esfuerzo máximo por la teoría de Von Mises se produce en el elemento 11877 ubicado en el extremo izquierdo del soporte del resorte el mismo que alcanza un valor de 836.52Mpa en un tiempo de 0.166 segundos la Tabla 4-19 nos presenta la parte específica donde se encuentra ubicado la zona de mayor concentración de esfuerzos.

- **Simulación de la deformación plástica en los soportes de los resortes del asiento original**

A través de este estudio podremos determinar si la parte de los soportes de resortes se encuentra dentro de los parámetros del material de cumplir su resistencia.

Tabla 4-20 Deformación plástica en los soportes de los resortes originales


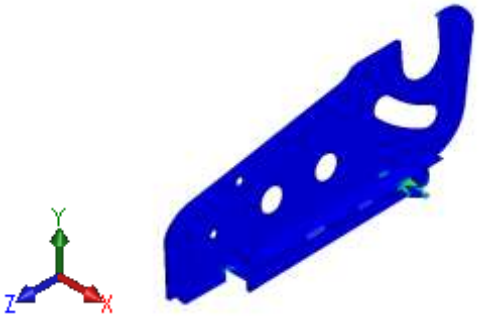
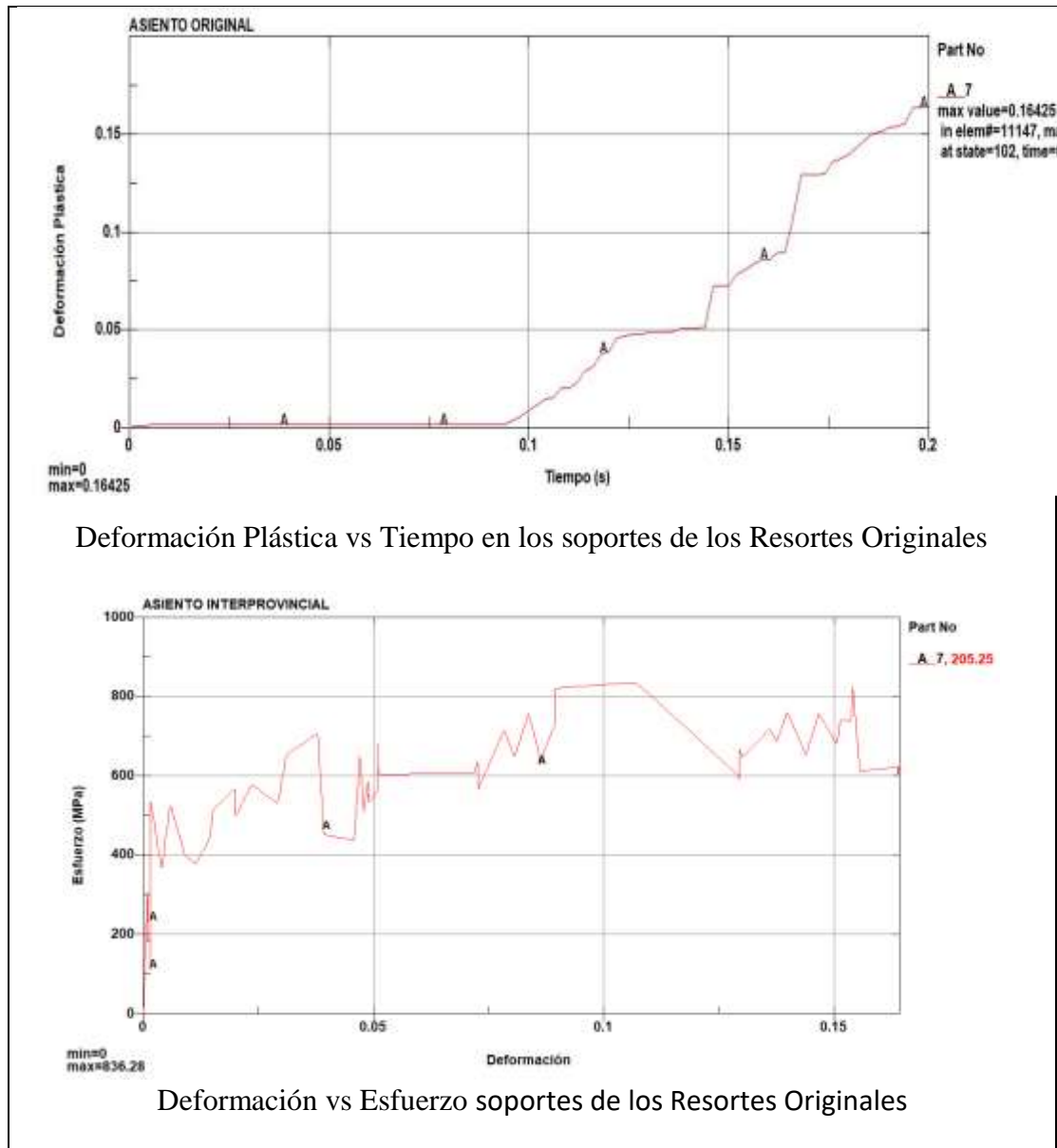
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Datos Informativos:					
Tipo de estudio:		Deformaciones Plástica en los Soporte de los Resortes Originales		Dibujo N°: 016	
Identificación del componente de estudio:				AIOC-016	
Solicitado por:		UTA - FICM		Fecha: 02/08/2019	
Centro de estudio y Análisis:				Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:		Omar Córdova		Supervisado por: Ing. Diego Núñez	
PARÁMETROS DE DISEÑO					
Lugar:		Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA			
Software		LS-PREPOST			
RESULTADO:					
Deformación Plástica					
 <p>Deformación Plástica en los soportes de los resortes originales</p>			 <p>Elemento 11147 Deformación Plástica Máxima en el lateral del asiento original</p>		

Tabla 4-20 Continuación



La deformación plástica máxima alcanzada por los soportes de los resortes se da en la esquina de la parte lateral izquierda con un valor de 0.16425 en el elemento 11147 en un tiempo de 0,2 segundos, la ubicación exacta podemos observar en la Tabla 4-20; siendo el valor máximo permitido del material A36 de 0,283.

Por medio de la gráfica esfuerzo vs deformación que tiene el soporte del resorte, el esfuerzo máximo es en 836,28MPa con una deformación de 0,107 aquí se da una

deformación elástica debido a que el materiales recupera hasta un valor de 0,129mm donde ocurre su deformación plástica.

4.2.5.3 Soporte de la codera

Estas piezas se encarga de soportar el peso generado por la persona a través del codo, su función es dar mayor comodidad en el asiento.



Figura 4.5 Codera del asiento original.

- **Simulación de los desplazamientos en los ejes XYZ soporte de la codera original**

Por medio del presente estudio se pudo determinar cómo varía los desplazamientos de la parte del soporte de la codera el mismo que podemos visualizar a través de la tabla 4-21

El mismo que se visualiza en un tiempo de 0,2 segundos.

Tabla 4-21 Desplazamiento de los soportes de la codera original en los ejes X, Y, Z



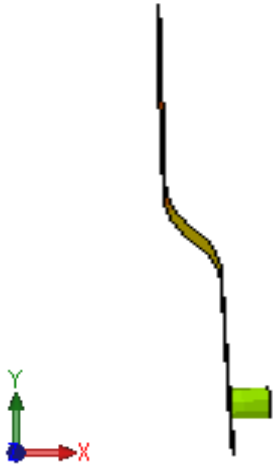
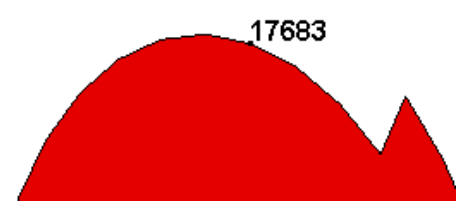
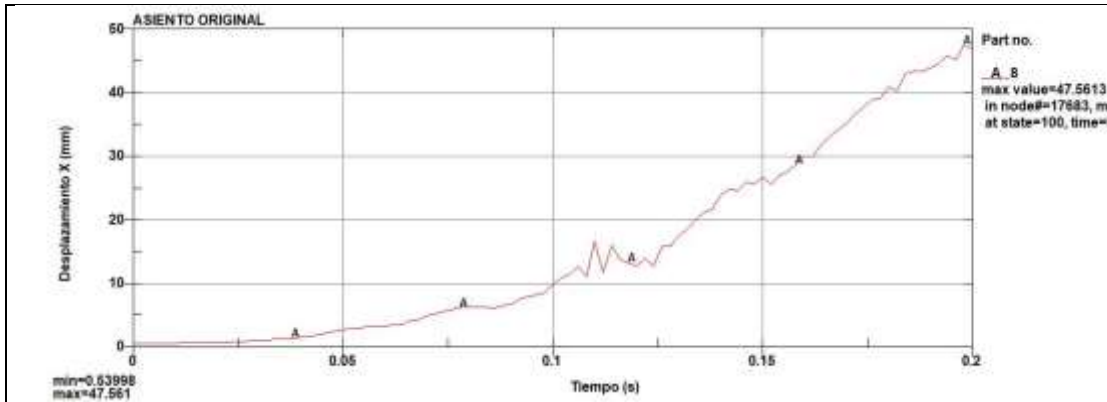
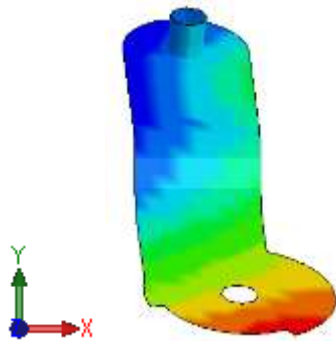
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 	
Datos Informativos:	
Tipo de estudio:	Simulación de los Desplazamientos Soportes de la Codera Original
Dibujo N°:	017
Identificación del componente de estudio:	AIOC-017
Solicitado por:	UTA - FICM
Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:	Laboratorio de Materiales -FICM
Realizado por:	Omar Córdova
Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO	
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA
Software	LS-PrePost
RESULTADO:	
Desplazamientos	
 <p>Desplazamiento de los soportes de la Codera Original en el eje X</p>	 <p>Nodo 17683 Máximo Desplazamiento en el eje X del Soporte de la Codera Original</p>

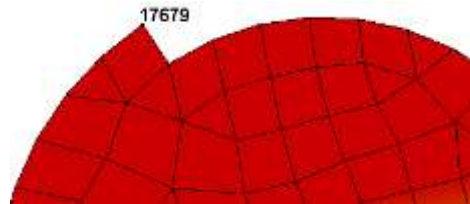
Tabla 4-21 Continuación



Desplazamiento en el eje X vs Tiempo del soporte de la Codera Original



Desplazamiento de los soporte de la Codera Original en el eje Y



Nodo 17679 Máximo Desplazamiento de los soporte de la Codera Original en el eje Y



Máximo Desplazamiento en el eje Y vs Tiempo Soportes de la Codera Original

Tabla 4-21 Continuación

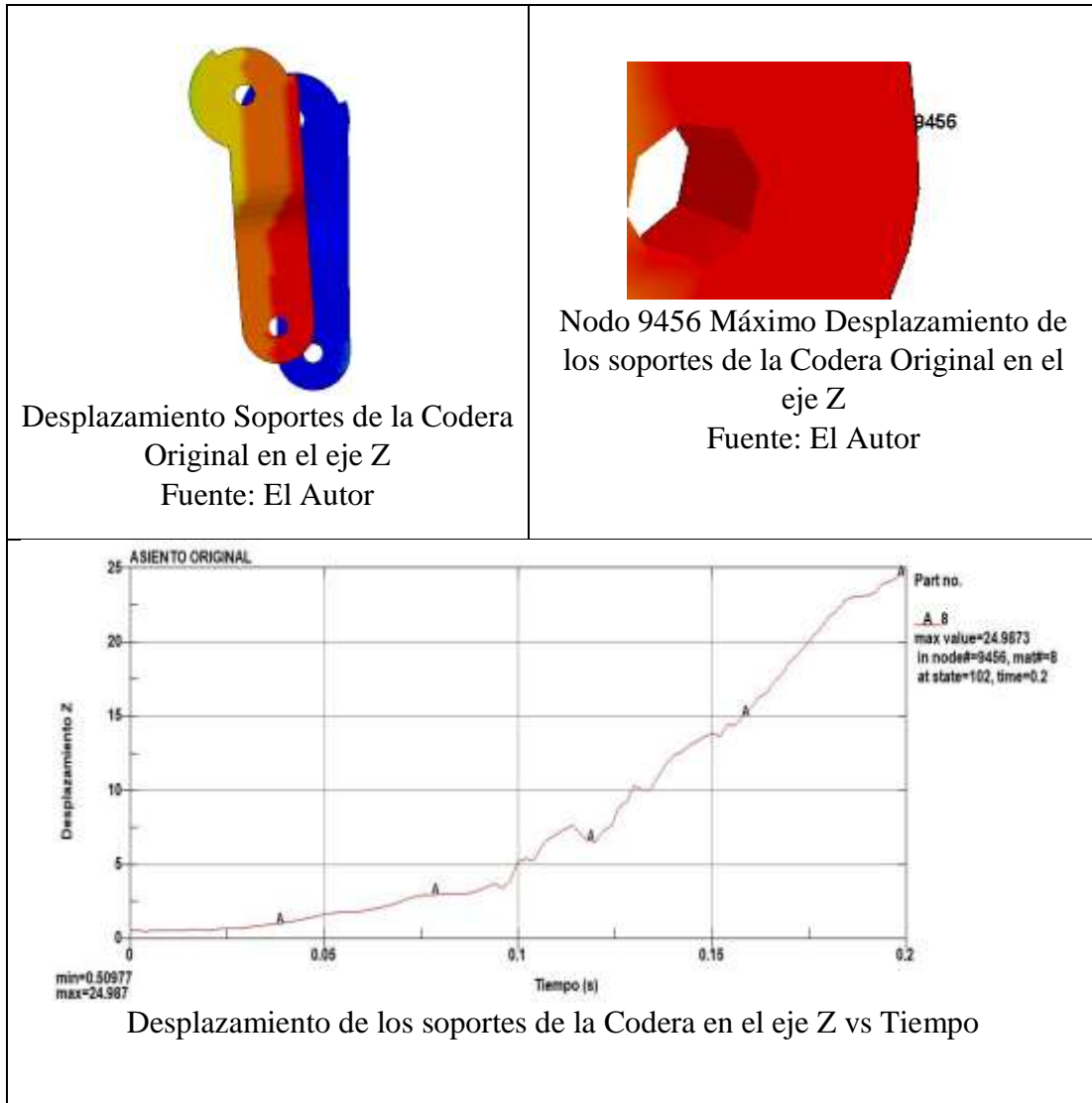


Tabla 4-22 Valores de los desplazamientos en el soporte de la codera del asiento original

Soporte codera original			
EJE	NODO	VALOR Máximo (mm)	Tiempo (s)
X	17683	47,561	0.198
Y	17679	24,325	0.14
Z	9456	24,987	0.2

El valor del desplazamiento máximo alcanzado es en el eje X con el valor de 47,561mm en el nodo 17683 en el tiempo de 0.198 la ubicación de nodo se le puede observar detalladamente en la tabla 4-21 este valor es inferior al máximo permitido en la norma por lo que se concluye que está dentro del límite establecido.

- **Simulación de los esfuerzos por la teoría de Von Mises para el soporte de la codera original**

Por medio de la siguiente simulación se pudo obtener los esfuerzos máximos y mínimos por la teoría de Von Mises para poder determinar si el material A-36 con el cual se fabricara el soporte de las coderas resistirá el límite permitido del material.

Tabla 4-23 Esfuerzos por Von Mises en el soporte de la codera original



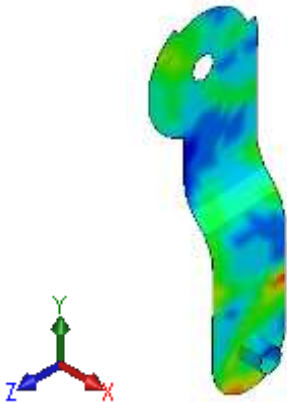
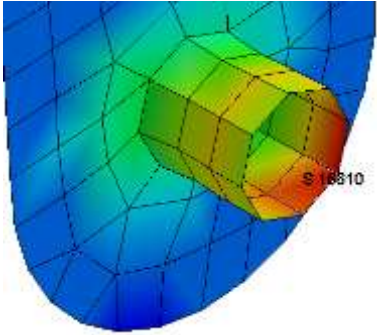
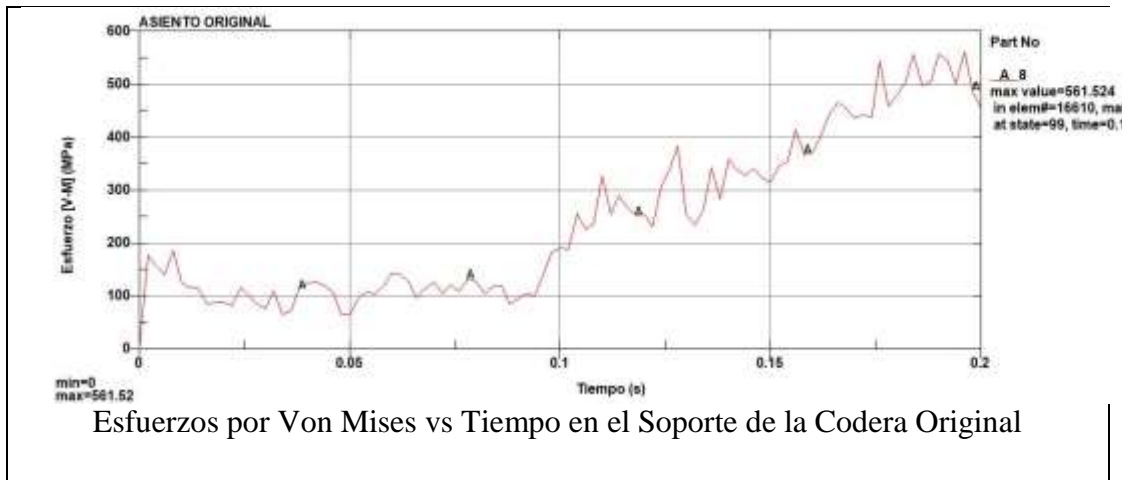
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Esfuerzo por Von Mises del soporte de la codera original	Dibujo N°:	018
Identificación del componente de estudio:		AIOC-018	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	ANSYS ACADEMICO		
	LS prepost		
RESULTADO:			
RESULTADOS POR VON MISES			
 <p>Esfuerzos por Von Mises en el Soporte de la Codera Original</p>		 <p>Elemento 16610 Máximo esfuerzo por Von Mises en el Soporte de la Codera Original</p>	

Tabla 4-23 Continuación



En la simulación efectuada podemos comprobar que el esfuerzo máximo por la teoría de Von Mises se produce en el elemento 16610 ubicado en el extremo izquierdo el mismo que alcanza un valor de 561.52Mpa en el nodo 16610 en un tiempo de 0.196 segundos la tabla 4-23 nos presenta la parte específica donde se encuentra ubicado la zona de mayor concentración de esfuerzos.

- **Simulación de la deformación plástica en los soportes de la codera**

A través de este estudio podremos determinar si la parte de los soportes de la codera se encuentra dentro de los parámetros del material A-36 de cumplir su resistencia.

Tabla 4-24 Deformación plástica en el soporte de la codera original



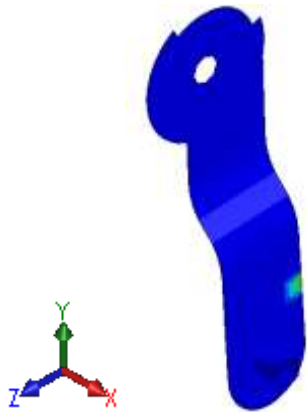
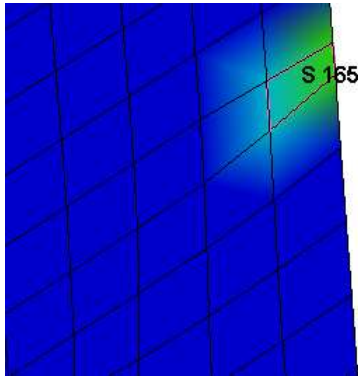
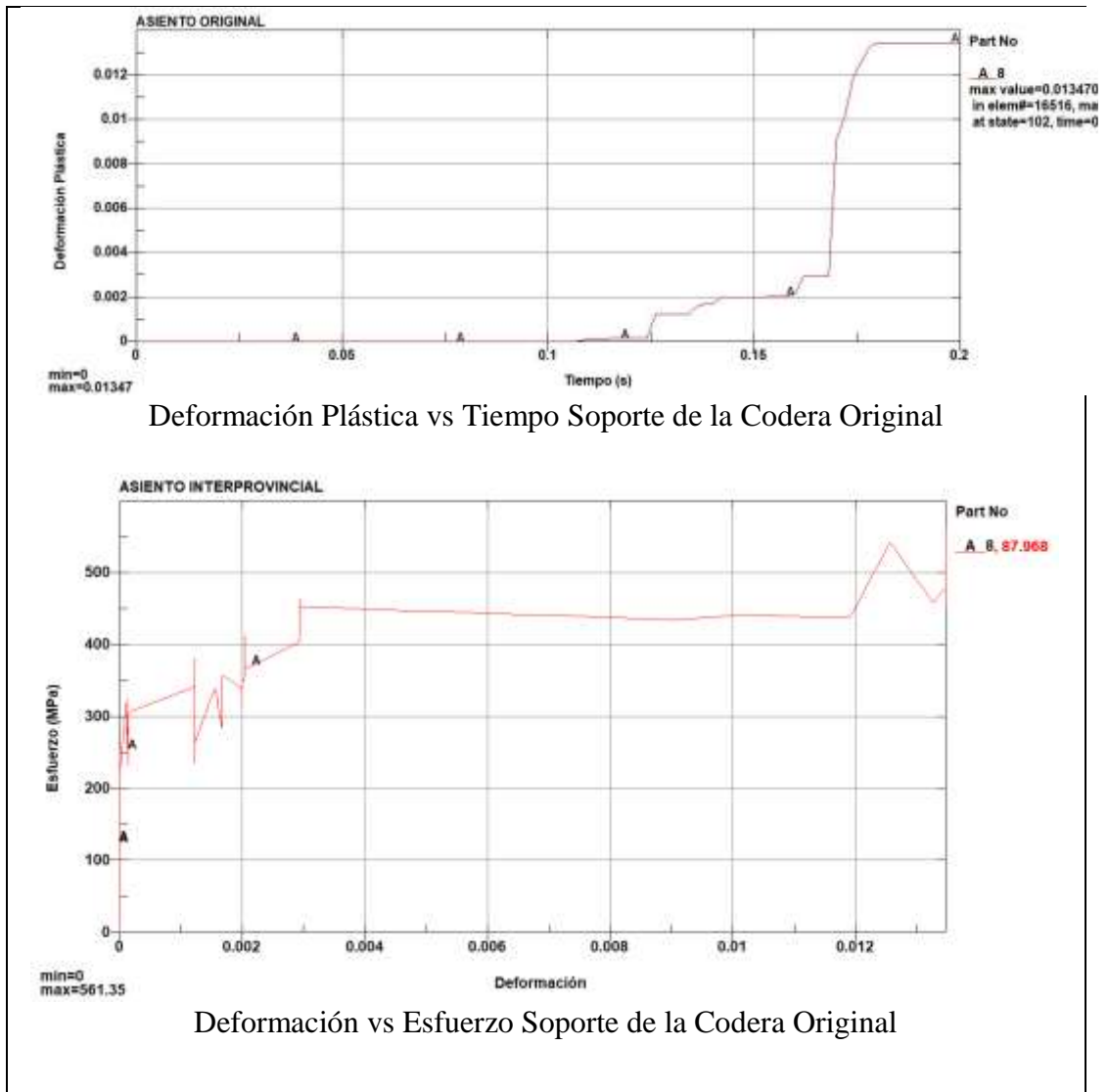
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Deformaciones Plástica en los Soporte de la Codera Original	Dibujo N°:	018
Identificación del componente de estudio:		AIOC-018	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PREPOST		
RESULTADO:			
Deformación Plástica			
 <p>Deformación Plástico en el Soporte de la Codera Original</p>		 <p>Elemento 16516 Esfuerzo Plástico Máximo en el Soporte de la Codera Original</p>	

Tabla 4-24 Continuación



La deformación plástica máxima alcanzada por los soportes de la codera tiene un valor de 0,01347 en el elemento 16516 en un tiempo de 0,2 segundos, la ubicación exacta podemos observar en la Tabla 4-24; siendo el valor máximo permitido del material A-36 de 0,283

Por medio de la gráfica Deformación Plástica vs Tiempo Soporte de la Codera Original podemos identificar la variación del esfuerzo a través de la deformación alcanzando su máximo valor a los 561,35MPa en una deformación de 0,013.

4.2.5.4 Placa original del cinturón de seguridad

Estas piezas se encarga de anclar el cinturón de seguridad por lo tanto es la que soporta el peso de la persona cuando está sometido a las fuerzas de tracción.



Figura 4.6 Placa original del cinturón de seguridad

- **Simulación de los desplazamientos en los ejes XYZ de la placa original del cinturón de seguridad**

Por medio del presente estudio se pudo determinar cómo varía los desplazamientos de la Placa del Cinturón de Seguridad el mismo que podemos visualizar a través de la Tabla 4-24. El mismo que se visualiza en un tiempo de 0,2 segundos.

Tabla 4-25 Desplazamiento de la placa original del cinturón de seguridad en los ejes X, Y, Z



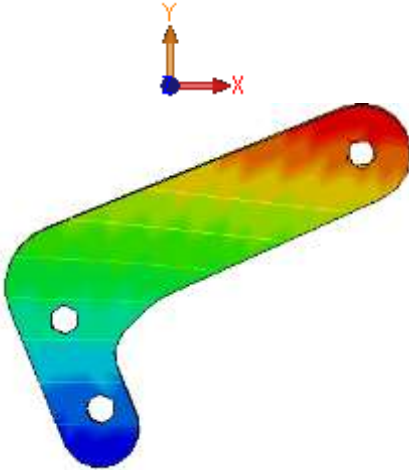
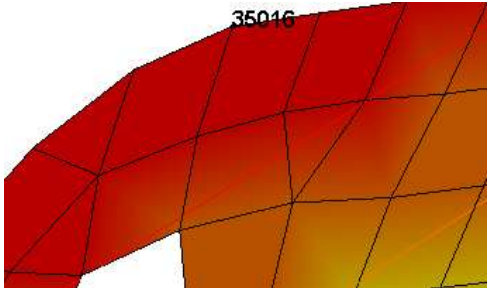
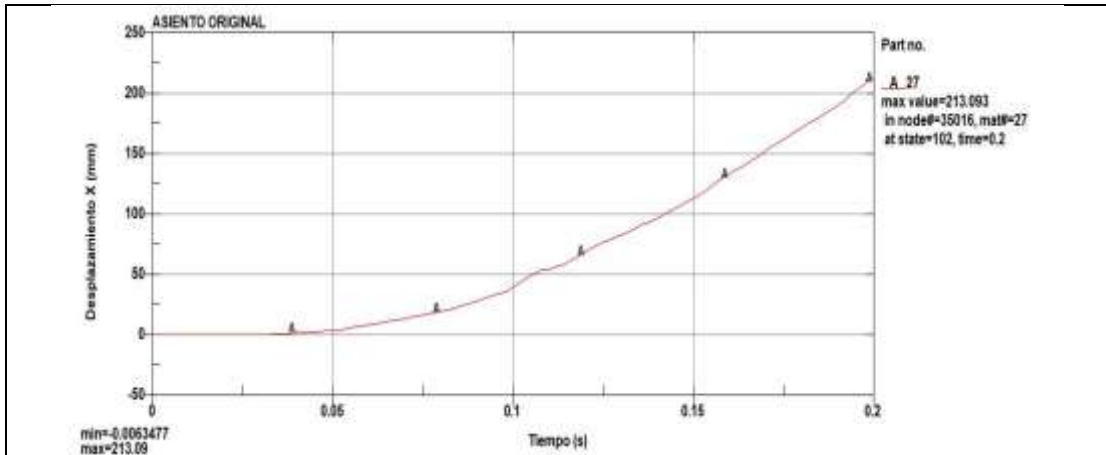
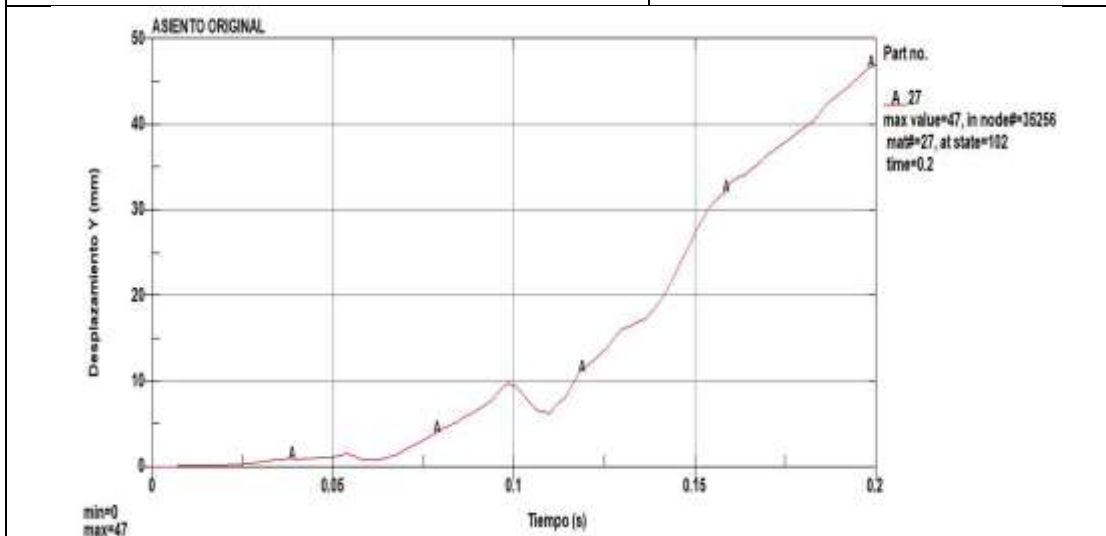
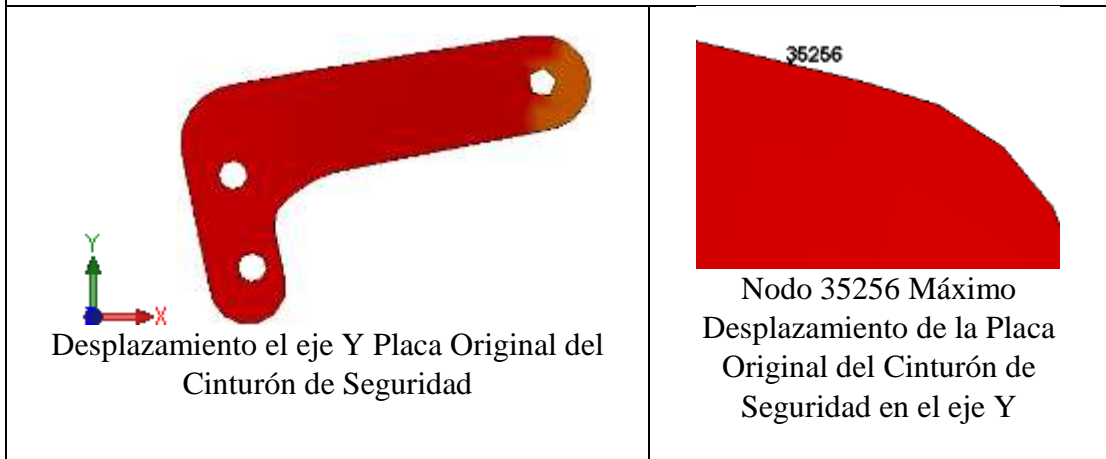
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Simulación de los Desplazamientos en Soportes de la Codera	Dibujo N°:	020
Identificación del componente de estudio:		AIOC-020	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PrePost		
RESULTADO:			
Desplazamientos			
 <p>Desplazamiento de la Placa Original del Cinturón de Seguridad en el eje X</p>		 <p>Nodo 35016 Máximo Desplazamiento en el eje X Placa Original del Cinturón de Seguridad</p>	

Tabla 4-25 Continuación



Desplazamiento en el eje X vs Tiempo Placa Original del Cinturón de Seguridad



Desplazamiento en el eje Y vs Tiempo Placa Original del Cinturón de Seguridad

Tabla 4-25 Continuación

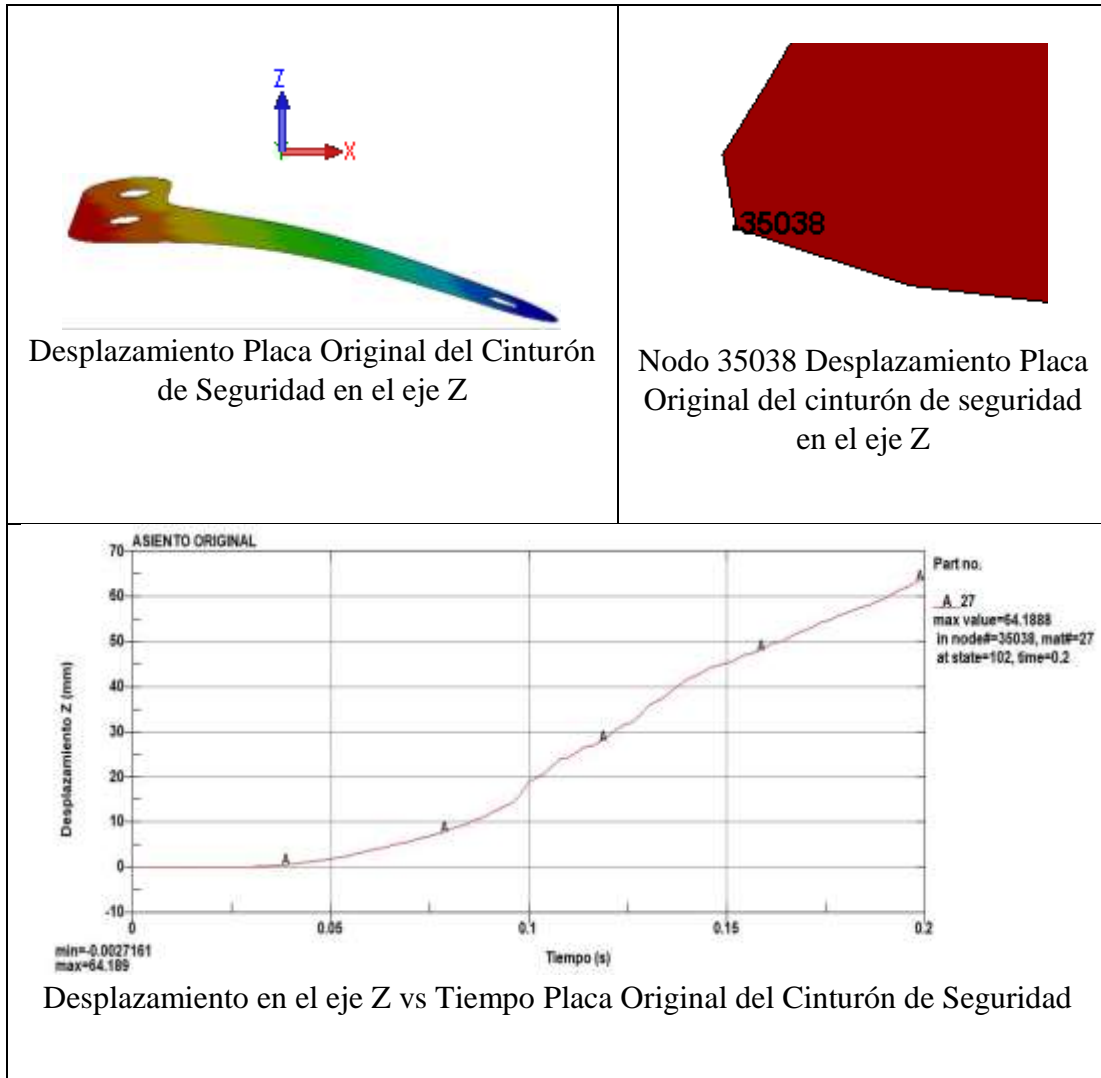


Tabla 4-26 Valores de los desplazamientos en la placa original del cinturón de seguridad

Placa del cinturón de seguridad			
EJE	NODO	VALOR Máximo (mm)	Tiempo (s)
X	35016	213.093	0.2
Y	35256	47	0.2
Z	35038	64.188	0.2

El valor del desplazamiento máximo alcanzado es en el eje X con el valor de 213.093mm en el nodo 35016 en el tiempo de 0.2 segundos la ubicación de nodo se le puede observar detalladamente en la Tabla 4-25 este valor es inferior al máximo permitido en la norma por lo que se concluye que está dentro del límite permitido.

- **Simulación de los esfuerzos por la teoría de Von Mises para placa original del cinturón de seguridad**

Por medio de la siguiente simulación se pudo obtener los esfuerzos máximos y mínimos por la teoría de Von Mises para poder determinar si el material A-36 con el cual se fabricara la Placa del Cinturón de Seguridad.

Tabla 4-27 Esfuerzos por Von Mises placa original del cinturón de seguridad



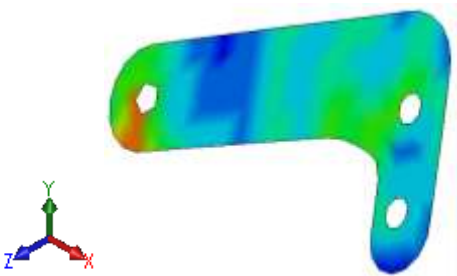
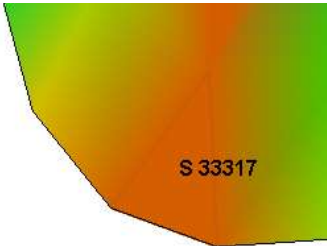
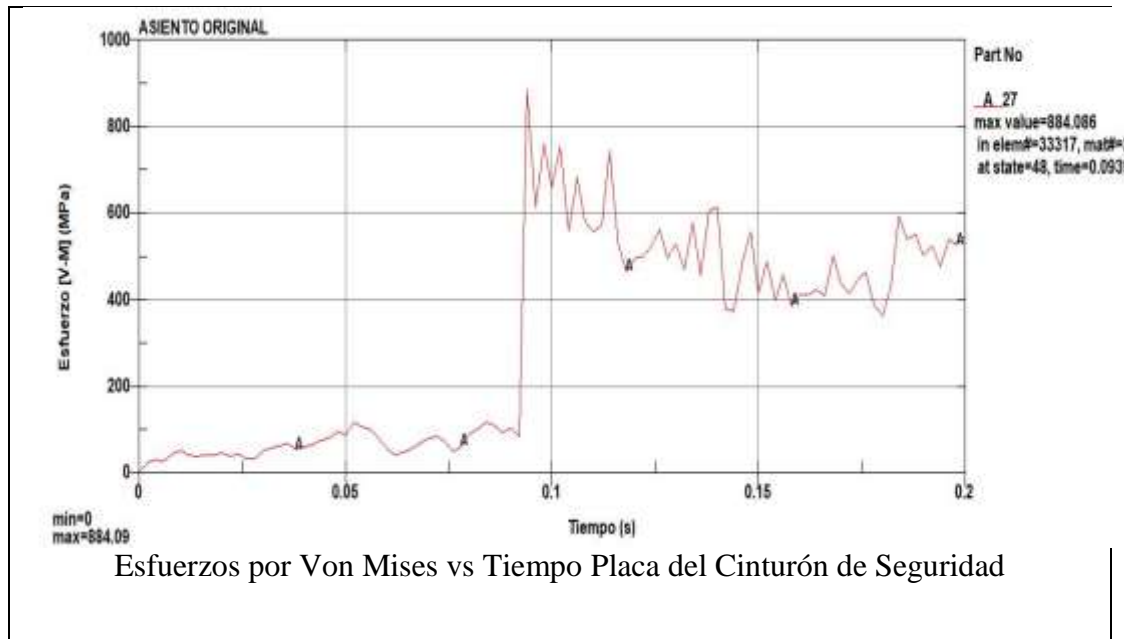
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Esfuerzo por Von Mises Placa Original del Cinturón de Seguridad	Dibujo N°:	021
Identificación del componente de estudio:		AIOC-021	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	ANSYS ACADEMICO		
	LS prepost		
RESULTADO:			
RESULTADOS POR VON MISES			
 <p style="text-align: center;">Esfuerzos por Von Mises Placa Original del Cinturón de Seguridad</p>		 <p style="text-align: center;">Elemento 33317 Máximo esfuerzo por Von Mises Placa del Cinturón de Seguridad</p>	

Tabla 4-27 Continuación



En la simulación efectuada podemos comprobar que el esfuerzo máximo por la teoría de Von Mises se produce en el elemento 33317 ubicado en el extremo izquierdo el mismo que alcanza un valor de 884.09Mpa en un tiempo de 0.094 segundos la Tabla 4-27 nos presenta la parte especifica donde se encuentra ubicado la zona de mayor concentración de esfuerzos.

- **Simulación de la deformación plástica de la placa original del cinturón de Seguridad**

A través de este estudio podremos determinar si la parte de la Placa del cinturón de seguridad se encuentra dentro de los parámetros del material A-36 que debe cumplir su resistencia.

Tabla 4-28 Deformación plástica en la placa original del cinturón de seguridad



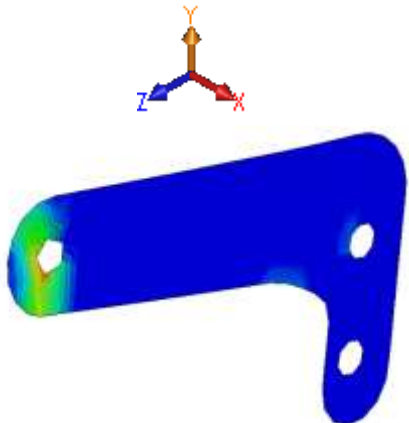
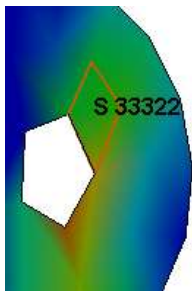
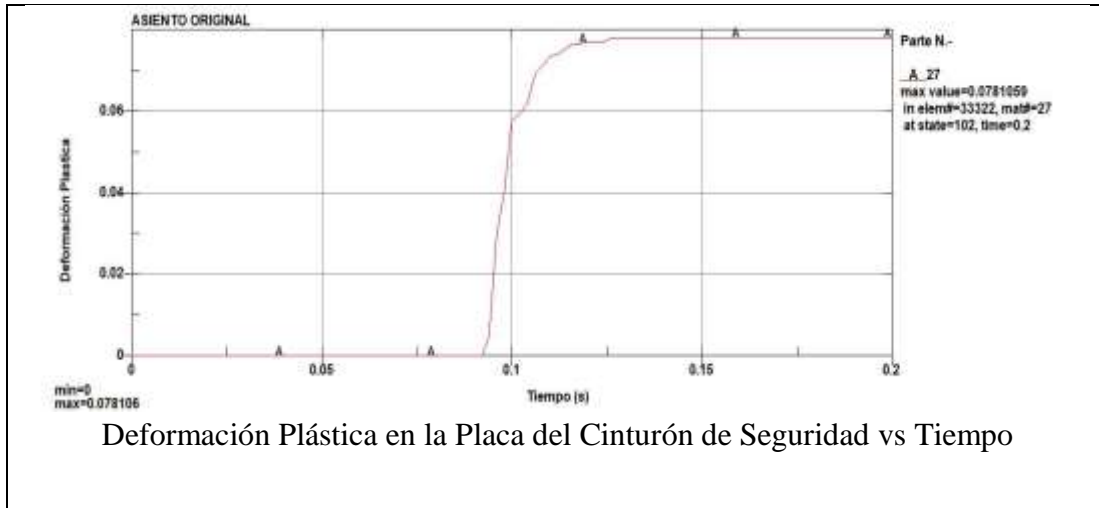
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Deformaciones Plástica en la Placa Original del Cinturón de Seguridad	Dibujo N°:	022
Identificación del componente de estudio:		AIOC-022	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PREPOST		
RESULTADO:			
Deformación Plástica			
 <p>Deformación Plástica en la Placa Original del Cinturón de Seguridad</p>		 <p>Elemento 33322 Deformación Plástica Máxima en la Placa del Cinturón de Seguridad</p>	

Tabla 4-28 Continuación



La deformación plástica máxima alcanzada por en la placa del cinturón de seguridad tiene un valor de 0.078 en el elemento 33322 en un tiempo de 0,2 segundos, la ubicación exacta podemos observar en la Tabla 4-28; siendo el valor máximo permitido del material A-36 de 0,283.

4.2.6 Resultados del módulo de optimización topológica (O.P.)

En esta sección detallamos la secuencia realizada para obtener la optimización topológica de las partes seleccionadas de la estructura del asiento, utilizando los métodos estudiados en el capítulo II que se basan en la reducción del material.

Con la ayuda de los resultados de la simulación en las piezas originales del asiento nos permite ubicar las condiciones de frontera que se tendrá para poder eliminar material sin afectar la resistencia de los mismos.

4.2.6.1 Optimización topológica de la pata del asiento

1.- Modelo de la pata del asiento a ser optimizada

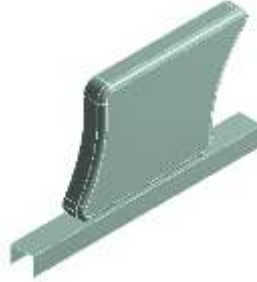


Figura 4.7 Pata original del asiento

Los resultados obtenidos de la simulación de este elemento podemos verificar en la Tabla 4-5.

Para poder visualizar de mejor manera la optimización topológica a través del método SIMP (Simple Material with Penalization) o método de las densidades realizamos un relleno en la parte central del modelo de la pata original.

a) Condiciones de frontera

Ubicamos las condiciones de frontera con los valores del máximo y mínimo desplazamiento y la cara donde necesariamente se debe conservar el material porque en esta parte se utilizara para fijar la estructura total del asiento y la parte del anclaje de la pata a la estructura de la carrocería.

Desplazamientos y Anclaje

Área que se eliminará material

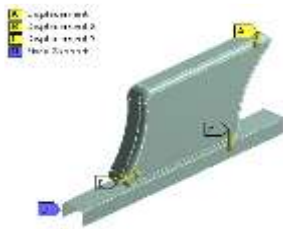


Figura 4.8 a) Desplazamiento en las direcciones X b) Desplazamiento en Z c) Desplazamiento en Y d) Fixed Support

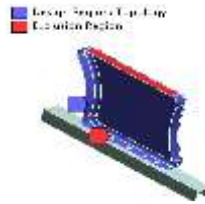


Figura 4.9 a) Región azul área de la pata del asiento a optimizar b) Región roja área de la pata del asiento que debe mantenerse con material

b) Optimización de la pata del asiento

Porcentaje de masa a reducir

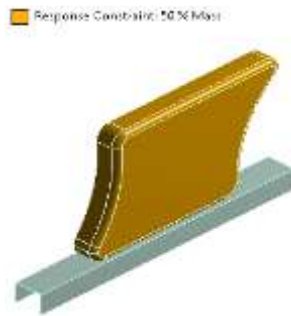


Figura 4.10 Área de la pata del asiento que se mantendrá con el 50% de material

Escala grises



Figura 4.11 Formación de la escala grises en todo el material de la pata del asiento a ser optimizado



Figura 4.12 Minimación de la escala gris de la pata del asiento



Figura 4.13 Simplificación de la escala gris con el valor de penalización de 3 de la pata del asiento

Densidad del material

- Remove (0.0 to 0.4)
- Marginal (0.4 to 0.6)
- Keep (0.6 to 1.0)



Figura 4.14 Modelo de la pata optimizado con las condiciones impuestas

c) Iteraciones del programa

Tabla 4-29 Valore de la iteración para la optimización de la pata del asiento

	Iteration	Minimum	Maximum	Average
1	1.	0.5	1.	0.62063
2	2.	0.25998	1.	0.62214
3	3.	4.1663e-002	1.	0.62079
4	4.	1.e-003	1.	0.61791
5	5.	1.e-003	1.	0.61647
6	6.	1.e-003	1.	0.61591
7	7.	1.e-003	1.	0.61566
8	8.	1.e-003	1.	0.61623
9	9.	1.e-003	1.	0.61705
10	10.	1.e-003	1.	0.6176
11	11.	1.e-003	1.	0.61788
12	12.	1.e-003	1.	0.61802
13	13.	1.e-003	1.	0.61815
14	14.	1.e-003	1.	0.61829
15	15.	1.e-003	1.	0.61847
16	16.	1.e-003	1.	0.61867
17	17.	1.e-003	1.	0.61892
18	18.	1.e-003	1.	0.6192
19	19.	1.e-003	1.	0.61948
20	20.	1.e-003	1.	0.61974
21	21.	1.e-003	1.	0.61995
22	22.	1.e-003	1.	0.62011

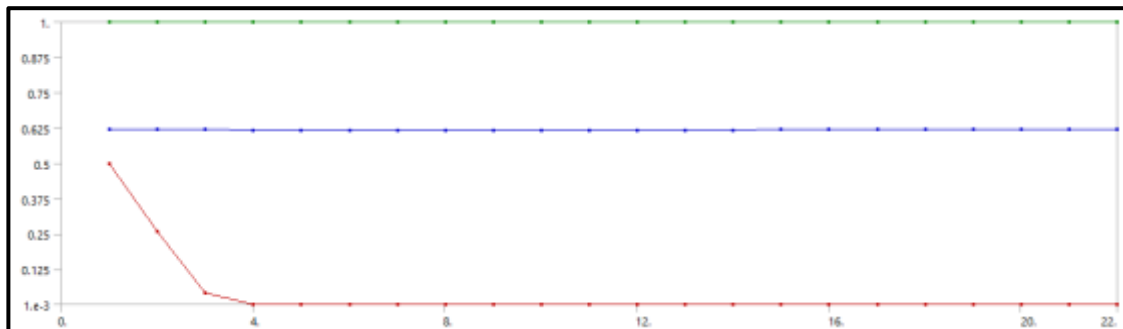


Figura 4.15 Número de iteración vs el valor del material

El programa realizó 22 iteraciones para poder llegar a definir la optimización topológica en donde va desde 1 al valor más aproximado a 0.001. Lo que considera que 1 que contiene material y 0 sin material.

d) Modelo de la pata del asiento diseñado en CAD optimizado topológicamente

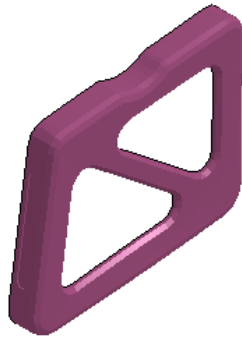


Figura 4.16 Modelo optimizado topológicamente

Se diseñó el modelo de la pata en el programa CAD considerando la facilidad de construcción física y de un modelo estético (Figura 4.16).

4.2.6.2 Optimización topológica del soporte de resorte

2.- Modelo del soporte del resorte:



Figura 4.17 Soporte del resorte

Los resultados obtenidos de la simulación de este elemento podemos verificar en las tablas 4-16. – 4-19.

a) Condiciones de frontera

Las condiciones de frontera se basan en los desplazamientos máximos y mínimos obtenidos en la simulación que se desarrolló, la misma que detalla en la ficha 4-14. Se selecciona las áreas que se restringe para conservar el material.

Desplazamientos y Anclaje



Figura 4.18 A) Desplazamiento en las direcciones Z B) desplazamiento en X C) - D) Desplazamiento en Y E) Fixed Support

Área que se eliminará material



Figura 4.19 a) Región azul área del soporte de resorte a optimizar b) Contorno roja área soporte de resorte que debe mantenerse con material

b) Optimización del soporte de resorte

Porcentaje de masa a reducir



Figura 4.20 Área se mantendrá con el 40% de material

Escala grises

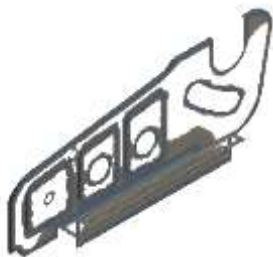


Figura 4.21 Formación de la escala griss en todo el modelo a ser optimizado



Figura 4.22 Minimación de la escala gris

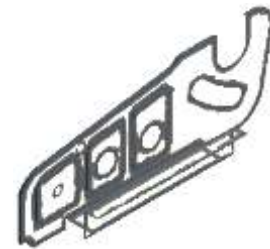


Figura 4.23 Simplificación de la escala gris con el valor de penalización de 3

Densidad del material

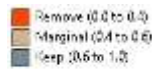


Figura 4.24 Modelo del soporte de resorte optimizado con las condiciones impuestas

c) Iteraciones del programa

Tabla 4-30 Valores de la iteración para la optimización del soporte de resorte

Tabular Data				
	Iteration	<input checked="" type="checkbox"/> Minimum	<input checked="" type="checkbox"/> Maximum	<input checked="" type="checkbox"/> Average
1	1.	0.4	1.	0.65523
2	2.	0.16514	1.	0.65479
3	3.	1.e-003	1.	0.6541
4	4.	1.0237e-003	1.	0.65369

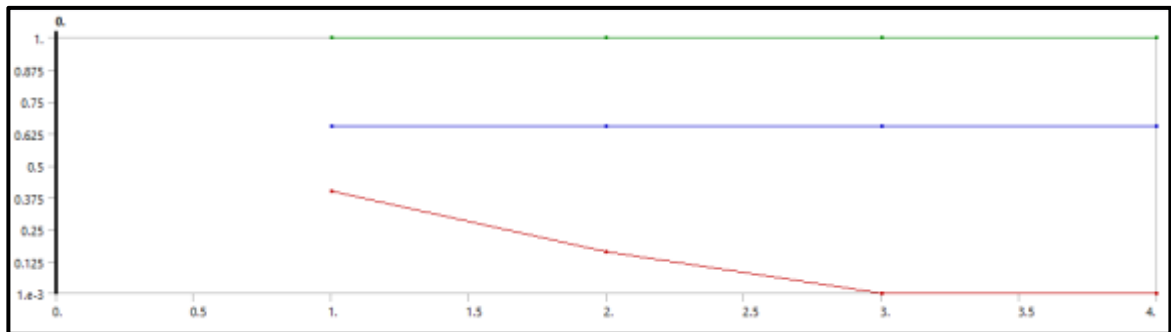


Figura 4.25 Número de iteración vs el valor del material en el modelo de optimización del soporte de resorte

El programa realizó 4 iteraciones para poder llegar a definir la optimización topológica en donde va desde 1 al valor más aproximado a 0 obteniendo nuestro modelo un valor a 0.0010237. El programa deja partes de material al aire por lo que se considera para el modelo desarrollar que necesariamente debe existir material en los extremos.

d) Modelo del soporte de resorte diseñado en CAD optimizado topológicamente



Figura 4.26 Modelo del soporte optimizado topológicamente

El diseño del modelo del soporte de resorte es para los dos lados, para el diseño se consideró el material que no puede ser extraído debido a que en el mismo se ubicaran los mecanismos de reclinación.

4.2.6.3 Optimización topológica del soporte de la codera

3.- Modelo del soporte de la codera



Figura 4.27 Soporte de la codera

Los resultados con detalle podemos verificar en la simulación de este elemento en las tablas 4-20. – 4-23.

a) Condiciones de frontera:

Las condiciones de frontera se basan en los desplazamientos máximos y mínimos obtenidos en la simulación que se desarrolló, la misma que detalla en la ficha 4-17. Se selecciona las áreas que se restringe para conservar el material.

Desplazamientos y Anclaje

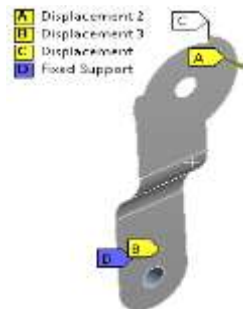


Figura 4.28 A) Desplazamiento en las direcciones X B) desplazamiento en Z C) Desplazamiento en Y D) Fixed Suport

Área que se eliminará material



Figura 4.29 a) Región azul área del soporte de la codera a optimizar b) Contorno roja área del soporte de la codera que debe mantenerse con material

b) Optimización del soporte de resorte

Porcentaje de masa a reducir



Figura 4.30 Área del soporte de la codera que se mantendrá con el 40% de material

Inestabilidad de tablero de ajedrez



Figura 4.31 Formación del tablero de ajedrez en el modelo a ser optimizado



Figura 4.32 Region oscura presencia del material region blanca ausencia de material



Figura 4.33 Crecimiento de la region con presencia de material

Densidad del material



Figura 4.34 Modelo del soporte de la codera optimizado con las condiciones impuestas

c) Iteraciones del programa:

Tabla 4-31 Valores de la iteración para la optimización del soporte de la codera

Tabular Data				
	Iteration	Minimum	Maximum	Average
1	1.	0.4	1.	0.62174
2	2.	0.17346	1.	0.64071
3	3.	2.5969e-003	1.	0.65479
4	4.	1.e-003	1.	0.65689
5	5.	1.e-003	1.	0.65537
6	6.	1.e-003	1.	0.65348
7	7.	1.e-003	1.	0.65086
8	8.	1.e-003	1.	0.65035
9	9.	1.e-003	1.	0.64885
10	10.	1.e-003	1.	0.64949
11	11.	1.e-003	1.	0.64866
12	12.	1.e-003	1.	0.64857
13	13.	1.e-003	1.	0.64832
14	14.	1.e-003	1.	0.64857
15	15.	1.e-003	1.	0.64882
16	16.	1.e-003	1.	0.64893
17	17.	1.e-003	1.	0.64934
18	18.	1.e-003	1.	0.64938
19	19.	1.e-003	1.	0.64949
20	20.	1.e-003	1.	0.64952
21	21.	1.e-003	1.	0.64958
22	22.	1.e-003	1.	0.64964
23	23.	1.e-003	1.	0.64978
24	24.	1.e-003	1.	0.65006
25	25.	1.e-003	1.	0.65047
26	26.	1.e-003	1.	0.65092
27	27.	1.e-003	1.	0.65108
28	28.	1.e-003	1.	0.65128
29	29.	1.e-003	1.	0.65146
30	30.	1.e-003	1.	0.65163
31	31.	1.e-003	1.	0.65164
32	32.	1.e-003	1.	0.65164

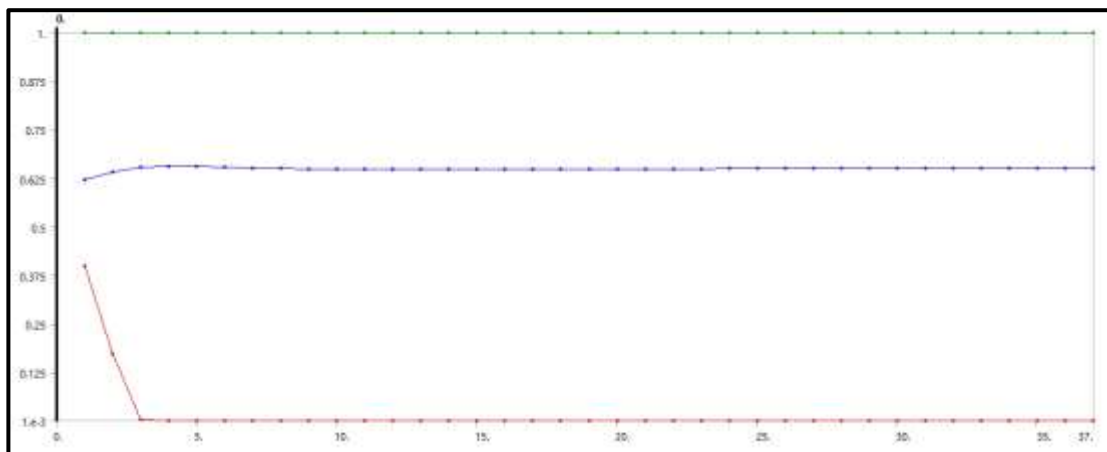


Figura 4.35 Número de iteración vs el valor del material en el modelo de optimización del soporte de la codera

El programa realizó 32 iteraciones para poder llegar a definir la optimización topológica en donde va desde 1 al valor más aproximado a 0.001. Lo que considera que 1 que contiene material y 0 sin material.

d) Modelo del soporte de resorte diseñado en CAD optimizado topológicamente



Figura 4.36 Modelo del soporte de la codera optimizado topológicamente

El diseño del modelo del soporte de la codera es para los dos lados (Figura 4.34) que debe tener el asiento, para el diseño se consideró el material que no puede ser extraído debido a los agujeros para el anclaje.

4.2.6.2 Optimización topológica de la placa del cinturón de seguridad

4- Modelo de la placa del cinturón de seguridad





Figura 4.37 Soporte del cinturón de seguridad

Los resultados con detalle podemos verificar en la simulación de este elemento en las tablas 4-23. – 4-27.

a.- Condiciones de frontera:

Las condiciones de frontera se basan en los desplazamientos máximos y mínimos obtenidos en la simulación que se desarrolló, la misma que detalla en la ficha 4-21. Se selecciona las áreas que se restringe para conservar el material.

Desplazamientos y Anclaje

-  Displacement 2
-  Fixed Support

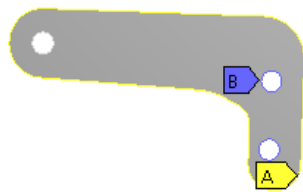




Figura 4.38 A) Desplazamiento en las direcciones X Y Z B) Fixed Support

Área que se eliminará material

-  Design Region: Topology
-  Exclusion Region

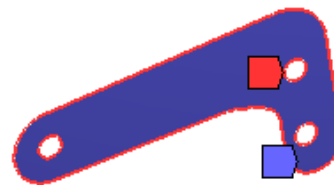


Figura 4.39 a) Región azul área de la placa del cinturón de seguridad a optimizar b) Contorno rojo área del cinturón de seguridad que debe mantenerse con material

3.- Optimización de la placa del cinturón de seguridad:

Porcentaje de masa a reducir

Response Constraint: 40% Mass



Figura 4.40 Área de la placa del cinturón de seguridad que se mantendrá con el 40% de material

Inestabilidad de tablero de ajedrez

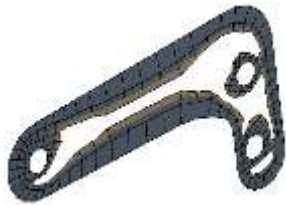


Figura 4.41 Formación del tablero de ajedrez en el modelo a ser optimizado.



Figura 4.42 Region oscura presencia del material region blanca ausencia de material



Figura 4.43 Crecimiento de la region con presencia de material.

Densidad del material

Remove (0.0 to 0.4)
Marginal (0.4 to 0.6)
Keep (0.6 to 1.0)



Figura 4.44 Modelo del de la placa del cinturón de seguridad optimizado con las condiciones impuestas

Iteraciones del programa

Tabla 4-32 Valores de la iteración para la optimización de la placa del cinturón de seguridad

	Iteration	Minimum	Maximum	Average
1	1.	0.4	1.	0.72548
2	2.	0.17955	1.	0.74171
3	3.	1.e-003	1.	0.7465
4	4.	1.e-003	1.	0.74982
5	5.	1.e-003	1.	0.74566
6	6.	1.e-003	1.	0.74454
7	7.	1.e-003	1.	0.74291
8	8.	1.e-003	1.	0.74102
9	9.	1.e-003	1.	0.73952
10	10.	1.e-003	1.	0.73841
11	11.	1.e-003	1.	0.73767
12	12.	1.e-003	1.	0.73694
13	13.	1.e-003	1.	0.73605
14	14.	1.e-003	1.	0.73513
15	15.	1.e-003	1.	0.73461
16	16.	1.e-003	1.	0.73398
17	17.	1.e-003	1.	0.73328
18	18.	1.e-003	1.	0.73253
19	19.	1.e-003	1.	0.73191
20	20.	1.e-003	1.	0.73159
21	21.	1.e-003	1.	0.73129
22	22.	1.e-003	1.	0.73095

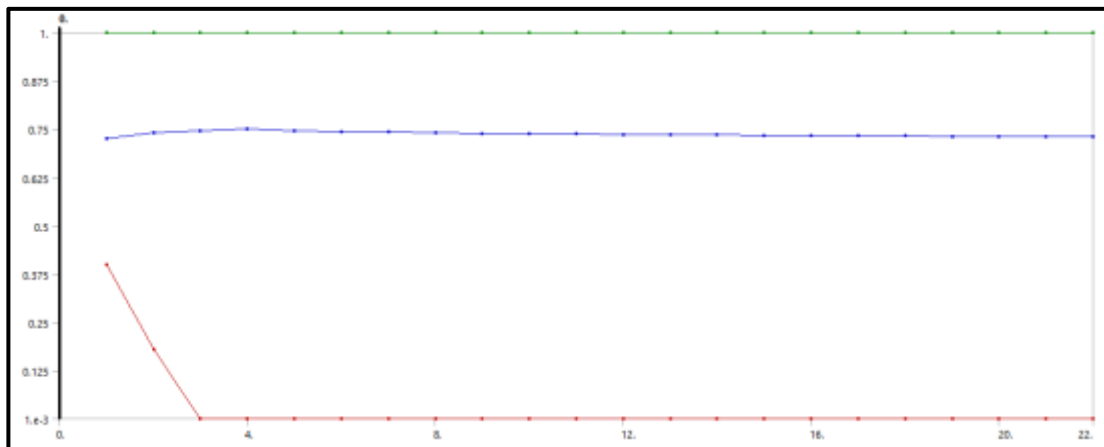


Figura 4.45 Número de iteración vs el valor del material en el modelo de optimización de la placa del cinturón de seguridad

El programa realizó 22 iteraciones para poder llegar a definir la optimización topológica en donde va desde 1 al valor más aproximado a 0.001. Lo que considera que 1 que contiene material y 0 sin material.

4.- Modelo de la placa del cinturón de seguridad en CAD optimizado topológicamente



Figura 4.46 Modelo de la placa del cinturón de seguridad optimizado topológicamente

El diseño del modelo del soporte del cinturón fue diseñado considerando el análisis topológico realizado por el programa el mismo que se obvió ciertas partes por la complejidad para el modelo de la matriz para la construcción.

4.2.7 Análisis de las partes optimizadas topológicamente

4.2.7.1 Simulación de la pata optimizada topológicamente

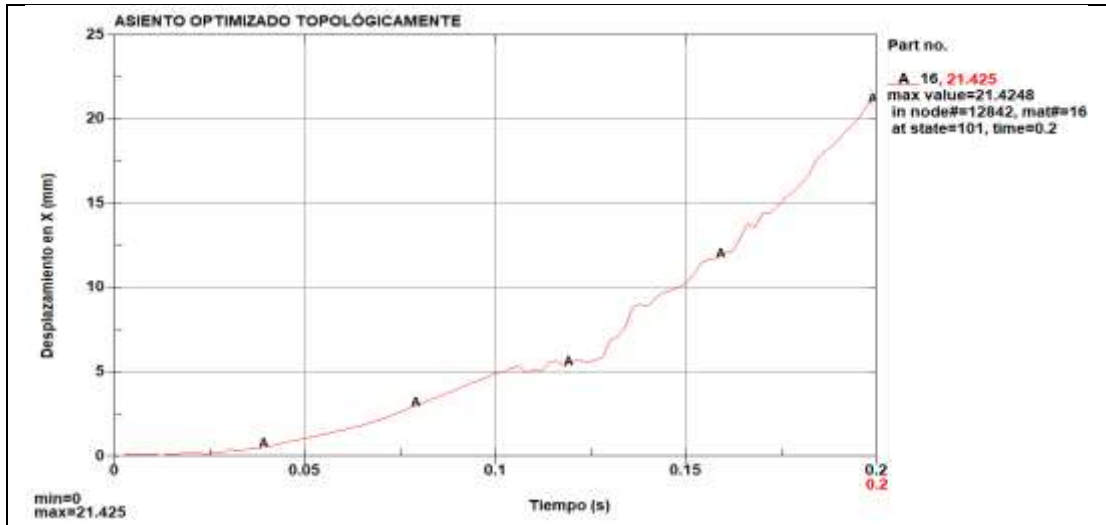
Simulación del desplazamiento en la pata del asiento optimizada topológicamente

Por medio de las siguientes graficas presentamos los resultados de la simulación de una de las partes importantes del asiento como es la pata del asiento la misma que debe estar dentro de los parámetros establecidos por la norma ECE R80 debido a que su función es anclar el asiento con la carrocería del bus.

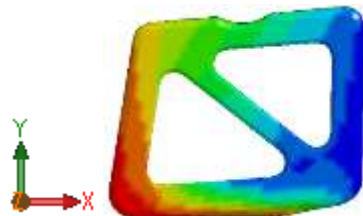
Tabla 4-33 Desplazamiento de la pata optimizada con respecto a los ejes X, Y, Z

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Datos Informativos:					
Tipo de estudio:		Simulación de los Desplazamientos en la Pata Optimizada Topológicamente del asiento.		Dibujo N°: 25	
Identificación del componente de estudio:				AIOC-025	
Solicitado por:		UTA - FICM		Fecha: 20/11/2019	
Centro de estudio y Análisis:				Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:		Omar Córdova		Supervisado por: Ing. Diego Núñez	
PARÁMETROS DE DISEÑO					
Lugar:		Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA			
Software		LS-PrePost			
RESULTADO:					
Desplazamientos en diferentes direcciones					
 <p>Desplazamiento de la pata optimizada con respecto al eje X</p>			 <p>Nodo 12842 Desplazamiento con respecto al eje X</p>		

Tabla 4-33 Continuación



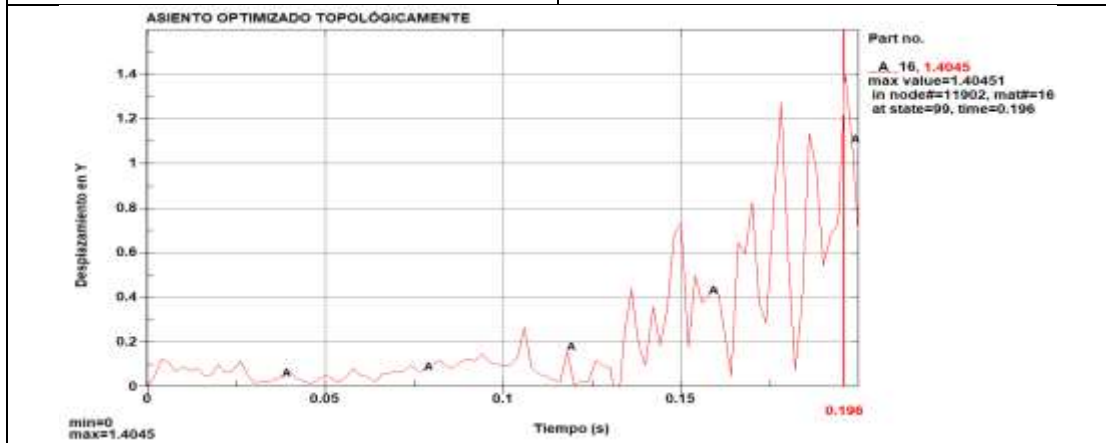
Desplazamiento con respecto al eje X vs Tiempo en la Pata Optimizada Topológicamente



Desplazamiento de la pata optimizada con respecto al eje Y



Nodo 11902 Desplazamiento con respecto al eje Y



Desplazamiento con respecto al eje Y vs Tiempo en la Pata Optimizada Topológicamente

Tabla 4-33 Continuación

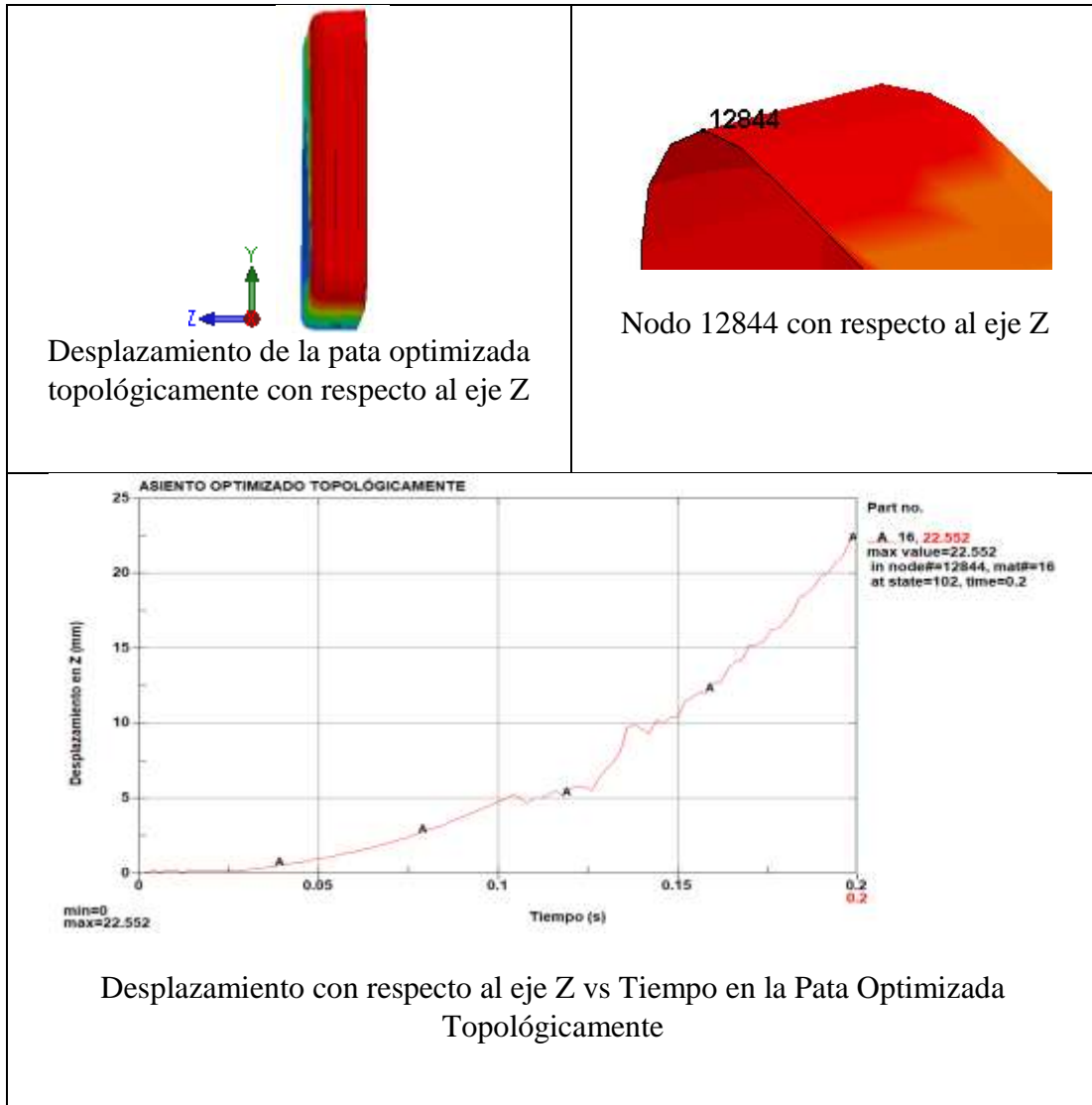


Tabla 4-34 Valores de los desplazamientos en la pata del asiento optimizada topológicamente

Pata optimizada			
EJE	NODO	VALOR Máximo (mm)	Tiempo (s)
X	12842	21.425	0.2
Y	11902	1.40	0.196
Z	12844	22.552	0.2

El máximo desplazamiento se da en el eje Z con un valor de 22,552mm en el tiempo de 0,2segundos ocurre en el nodo 12844 tenemos representado en la Tabla 4-33 la ubicación de este nodo en la esquina superior de la pata del asiento en la misma se encontraran montados los perfiles para la ubicación del soporte del sillón.

La graficas Desplazamiento vs Tiempo representa la variación de desplazamientos que va teniendo desde 0 hasta alcanzar su desplazamiento máximo en 0,2segundos.

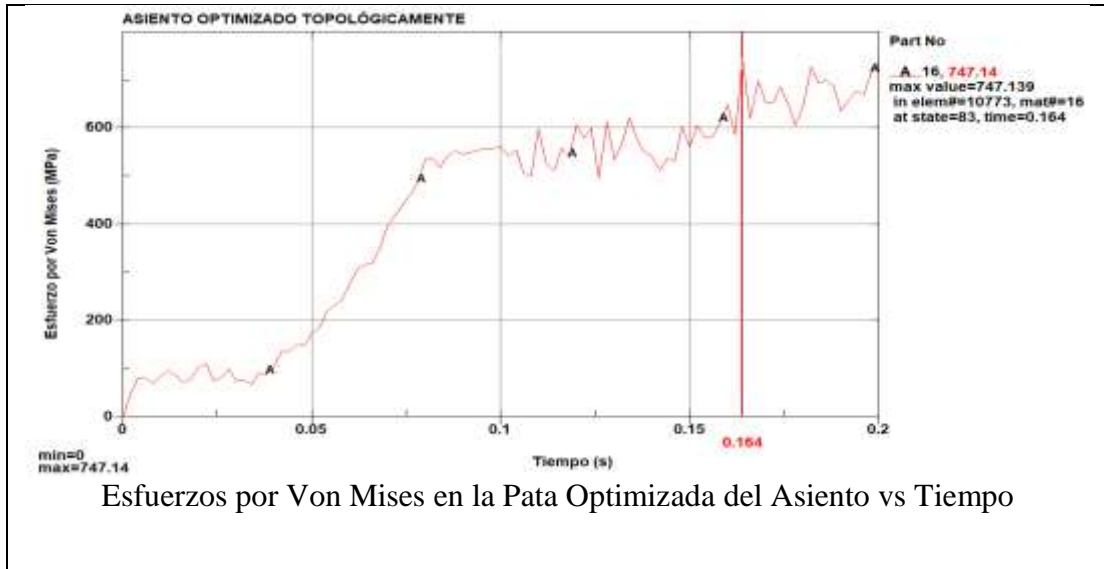
- **Simulación de los esfuerzos por la teoría de Von Mises en la pata del asiento**

Por medio de la siguiente simulación se pudo obtener los esfuerzos máximos y mínimos por la teoría de Von Mises. La pata del asiento se diseñó con un material A 500.

Tabla 4-35 Esfuerzos equivalentes a Von Mises en la pata optimizada del asiento

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Esfuerzo por Von Mises en la pata optimizada del asiento	Dibujo N°:	026
Identificación del componente de estudio:		AIOC-026	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	22/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	ANSYS ACADEMICO		
	LS prepost		
RESULTADO:			
RESULTADOS POR VON MISES			
 <p>Esfuerzos equivalentes a Von Mises en la pata optimizada del asiento.</p>		 <p>Esfuerzos máximo Elemento 10773 de Von Mises</p>	

Tabla 4-35 Continuación



El esfuerzo máximo se produce en el anclaje inferior de la estructura de la pata del asiento optimizado topológicamente este corresponde al elemento 10773 en un tiempo de 0,164 segundos con un valor de 747.14MPa en un material A-500 el mismo que posee un esfuerzo máximo de 425MPa. Este le podemos identificar en la Tabla 4.35.

- **Simulación de la deformación plástica en la pata del asiento optimizada topológicamente**

Con el siguiente estudio nos permitirá identificar la simulación que tendrá esta parte del asiento al ser simulado la deformación plástica efectiva que tendrá en un tiempo de 0,2 segundos.

Tabla 4-36 Deformación en la pata optimizada topológicamente



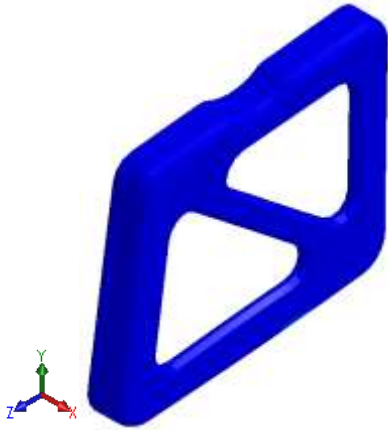
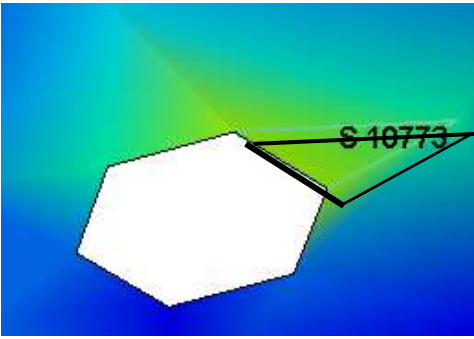
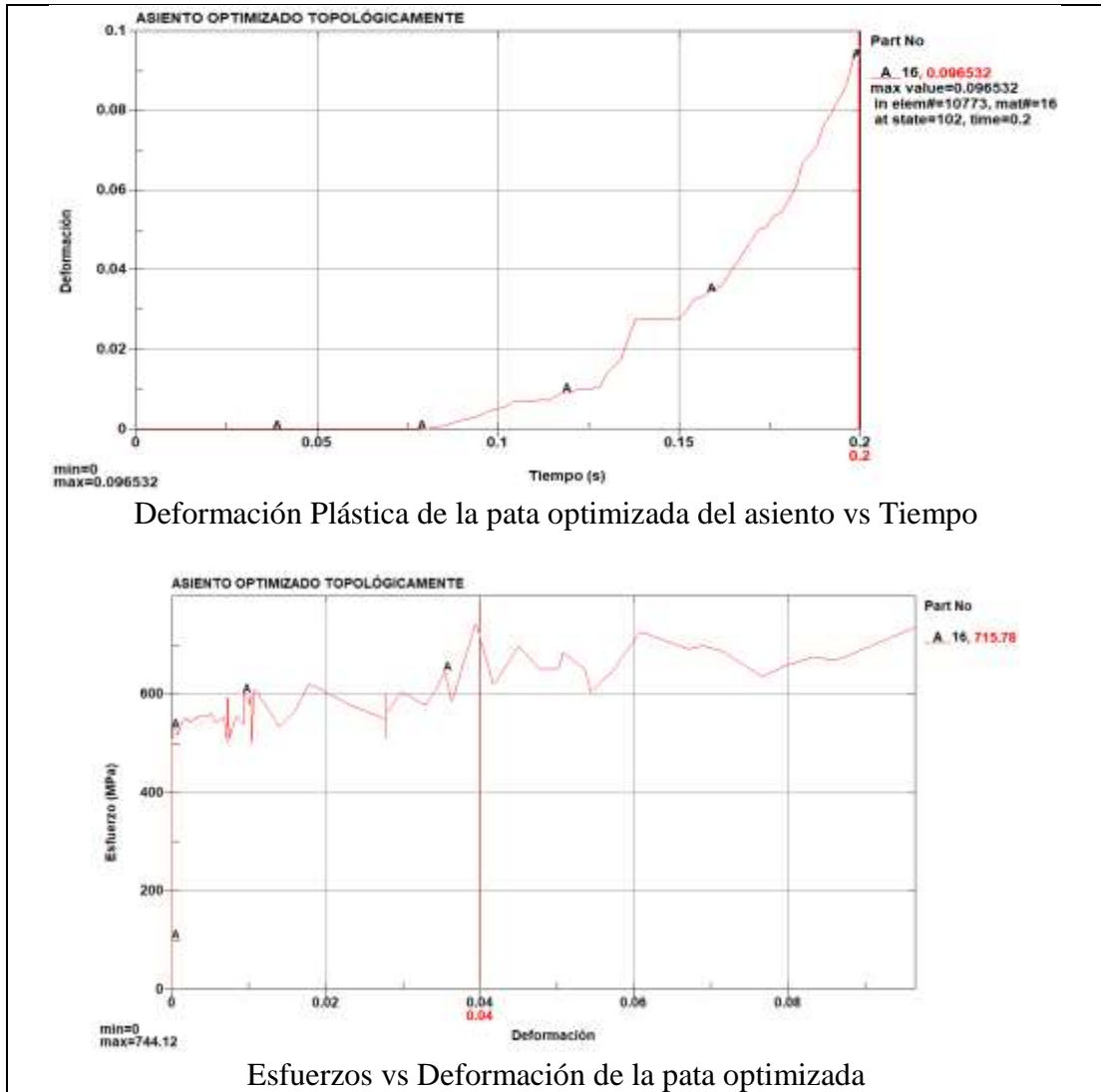
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Datos Informativos:					
Tipo de estudio:		Deformaciones Plástica en la Pata del Asiento Optimizada		Dibujo N°: 027	
Identificación del componente de estudio:				AIOC-027	
Solicitado por:		UTA - FICM		Fecha: 22/11/2019	
Centro de estudio y Análisis:				Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:		Omar Córdova		Supervisado por: Ing. Diego Núñez	
PARÁMETROS DE DISEÑO					
Lugar:		Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA			
Software		LS-PREPOST			
RESULTADO:					
Deformación Plástica					
 <p>Deformación en la Pata Optimizada Topológicamente</p>			 <p>Elemento 10773 Esfuerzo Plástico Máximo en la Pata Optimizada Topológicamente.</p>		

Tabla 4-36 Continuación



Deformación Plástica de la pata optimizada del asiento vs Tiempo

Esfuerzos vs Deformación de la pata optimizada

La deformación plástica máxima se da en el elemento 10773 con un valor de 0.09652 en el tiempo de 0,2 segundos el valor máximo en el material es de 0,283 lo que nos permite identificar a través de la Tabla 4-36.

La deformación elástica se da en el esfuerzo de 744.12MPa con una deformación de 0.0394 en donde el material se recupera hasta una deformación de 0.0766 con un esfuerzo de 637MPa, donde se produce la deformación plástica, no llega a su punto de ruptura en los 0,2segundos de la simulación.

4.2.7.2 Soporte de los resortes optimizados topológicamente



Figura 4.47 Soporte optimizado de los resortes

- **Simulación de los desplazamientos en los ejes XYZ de los soportes de los resortes optimizados topológicamente**

Por medio del presente estudio se pudo determinar cómo varía los desplazamientos de la parte de los resortes del asiento el mismo que podemos visualizar a través de la Tabla 4-36.

El mismo que se visualiza en un tiempo de 0,2 segundos.

Tabla 4-37 Desplazamiento de los soportes de los resortes optimizados topológicamente en los ejes X, Y, Z



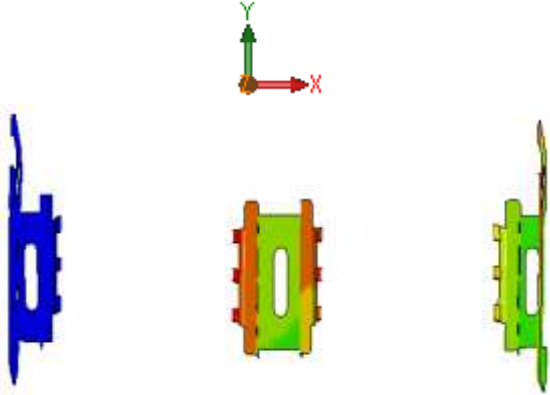
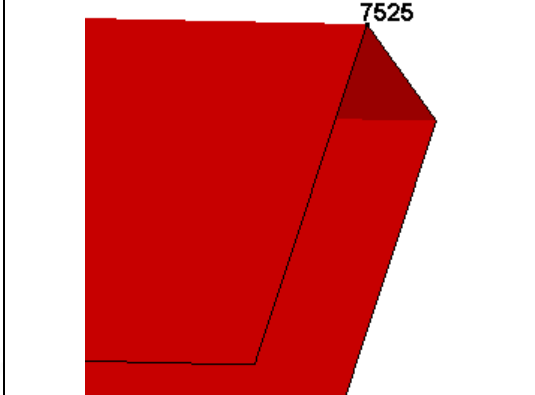
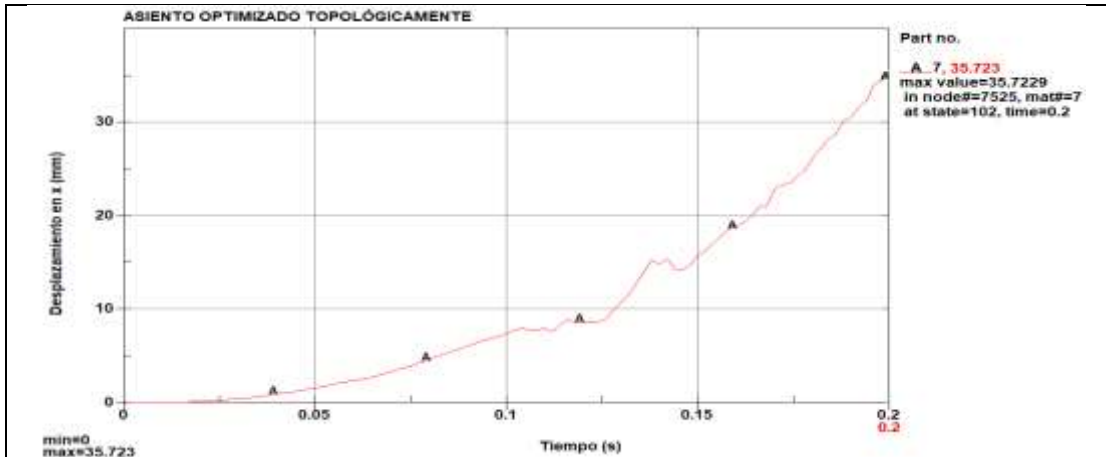
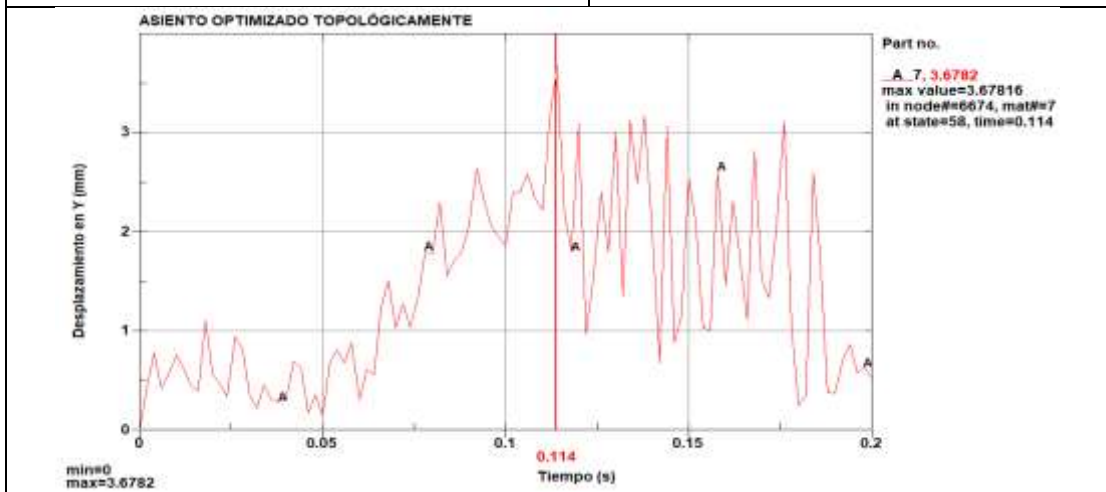
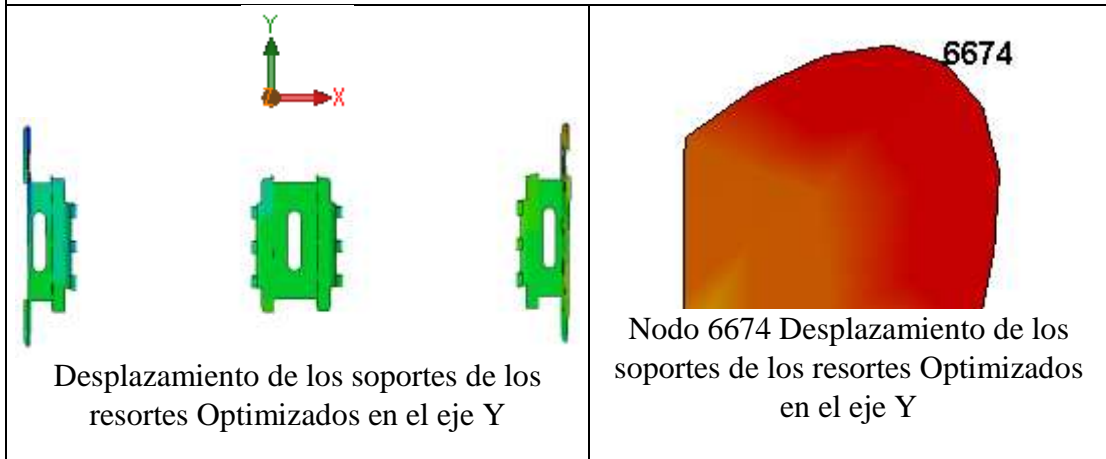
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Simulación de los Desplazamientos en Soportes Optimizados de los Resortes	Dibujo N°:	028
Identificación del componente de estudio:		AIOC-028	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PrePost		
RESULTADO:			
Desplazamientos			
 <p>Desplazamiento de los soportes de los resortes optimizados topológicamente en el eje X</p>		 <p>Nodo 7525 Desplazamiento en el eje X de los soportes de los resortes optimizados topológicamente</p>	

Tabla 4-37 Continuación



Desplazamiento en el eje X de los soportes de los resortes vs Tiempo



Desplazamiento en el eje Y vs Tiempo Soportes de los resortes optimizado topológicamente

Tabla 4-37 Continuación

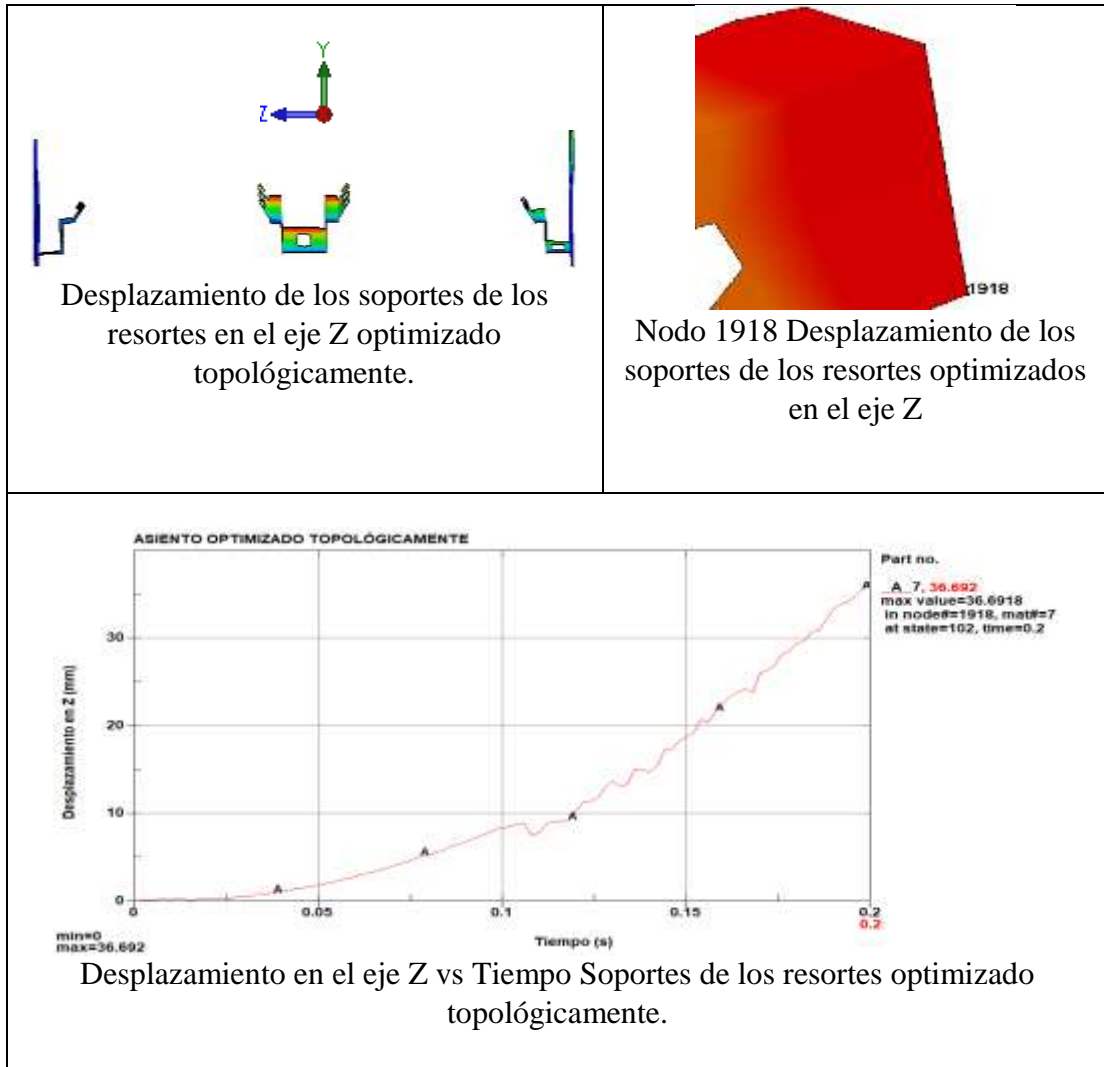


Tabla 4-38 Valores de los desplazamientos en el soporte de los resortes

Soporte de resortes optimizados			
EJE	NODO	VALOR Máximo (mm)	Tiempo (s)
X	7525	35.72	0.2
Y	6674	3.67	0.2
Z	1918	36.69	0.2

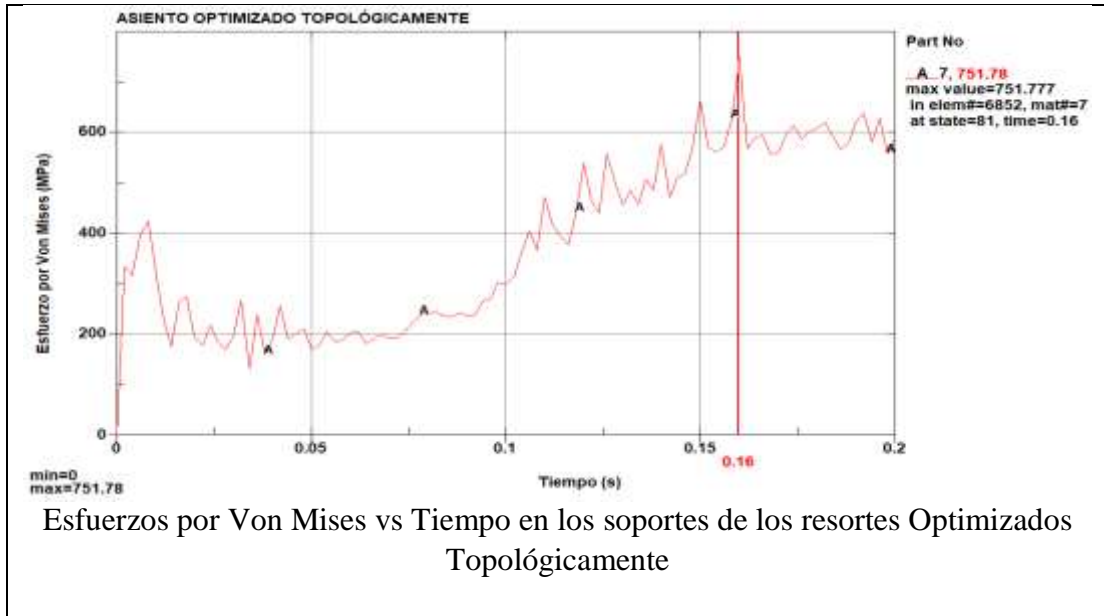
El máximo desplazamiento se da en el eje Z con un valor de 36.69mm en el nodo 1918 cuando alcanzan un tiempo máximo de 0,2 segundos el detalle donde se ubica estos nodos lo podemos observar en la Tabla 4-37.

- **Simulación de los esfuerzos por la teoría de Von Mises en los soportes de resortes optimizados topológicamente:**

Tabla 4-39 Esfuerzos por Von Mises en los soportes de los resortes optimizados topológicamente

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Esfuerzo por Von Mises del Soporte de los Resortes Optimizados	Dibujo N°:	029
Identificación del componente de estudio:		AIOC-029	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	ANSYS ACADEMICO		
	LS prepost		
RESULTADO:			
RESULTADOS POR VON MISES			
 <p>Esfuerzos por Von Mises en los Soportes de los Resortes Optimizados Topológicamente.</p>		 <p>Elemento 6852 Esfuerzo por Von Mises en el Soporte de los resortes Optimizados Topológicamente.</p>	

Tabla 4-39 Continuación



En la simulación efectuada podemos comprobar que el esfuerzo máximo por la teoría de Von Mises se produce en el elemento 6852 el mismo que alcanza un valor de 751,78MPa en un tiempo de 0.16 segundos la Tabla 4-39 nos presenta la parte específica donde se encuentra ubicado la zona de mayor concentración de esfuerzos.

- **Simulación de la deformación plástica en los soportes de los resortes del asientos**

A través de este estudio podremos determinar si la parte de los soportes de resortes se encuentra dentro de los parámetros del material de cumplir su resistencia.

Tabla 4-40 Deformación plástica en los soportes de los resortes



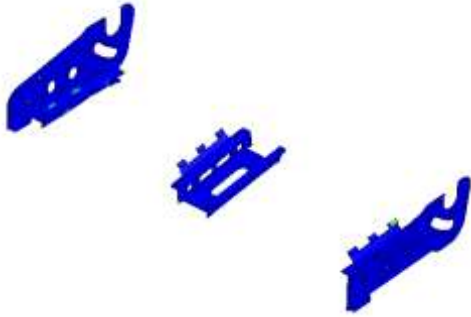
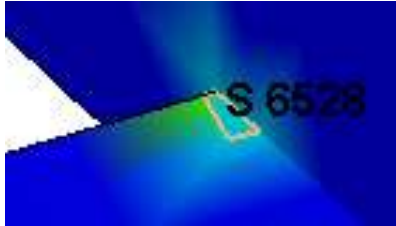
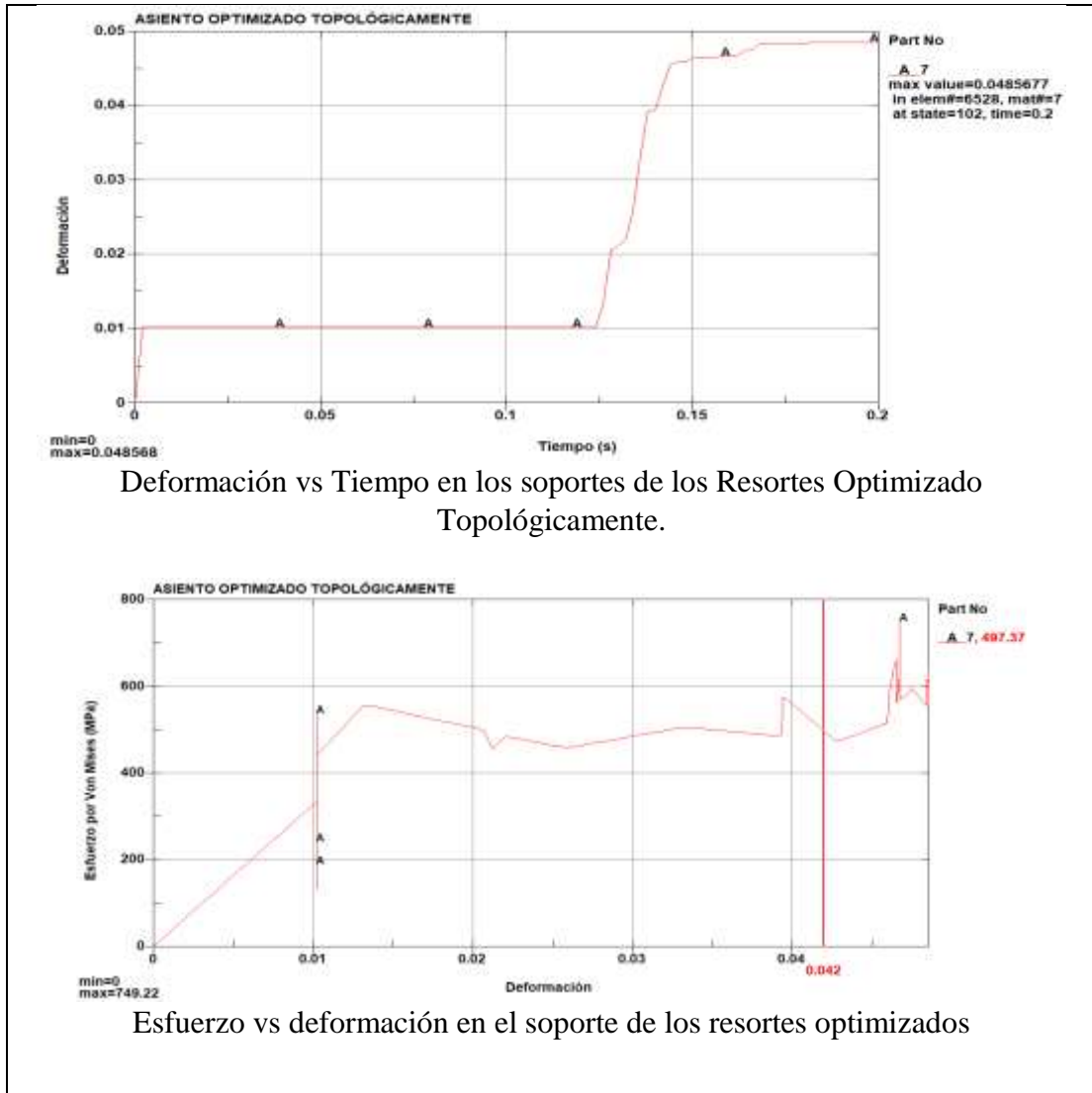
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Deformaciones en los Soporte de los Resortes Optimizados	Dibujo N°:	030
Identificación del componente de estudio:		AIOC-030	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	23/11/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PREPOST		
RESULTADO:			
Deformación Plástica			
 <p>Deformación Plástica en los soportes de los resortes</p>		 <p>Elemento 6238 Deformación Plástica Máximo en el lateral del asiento optimizado</p>	

Tabla 4-40 Continuación



La deformación máxima alcanzada por los soportes de los resortes se da en la esquina de la parte lateral con un valor de 0.04856 en el elemento 6528 en un tiempo de 0,2 segundos, la ubicación exacta podemos observar en la Tabla 4-39; siendo el valor máximo permitido del material A36 de 0,283.

En la gráfica Esfuerzo vs Deformación, la deformación elástica se produce en un esfuerzo de 476.28MPa con una deformación de 0.0427, mientras que la deformación plástica llega hasta 0.0486 con un esfuerzo de 559MPa.

4.7.2.3 Soporte de la codera optimizada topológicamente

Estas piezas se encarga de soportar el peso generado por la persona a través del codo, su función es dar mayor comodidad en el asiento.



Figura 4.48 Codera del asiento optimizada

- **Simulación de los desplazamientos en los ejes XYZ del soporte de la codera**

Tabla 4-41 Desplazamiento soportes de la codera optimizada topológicamente en los ejes X, Y, Z

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Simulación de los Desplazamientos en Soportes de la Codera	Dibujo N°:	031
Identificación del componente de estudio:		AIOC-031	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PrePost		
RESULTADO:			
Desplazamientos			
 <p>Desplazamiento Soportes de la Codera Optimizada Topológicamente en el eje X</p>		 <p>Nodo 8068 Desplazamiento en el eje X del Soporte de la Codera Optimizada Topológicamente.</p>	

Tabla 4-41 Continuación

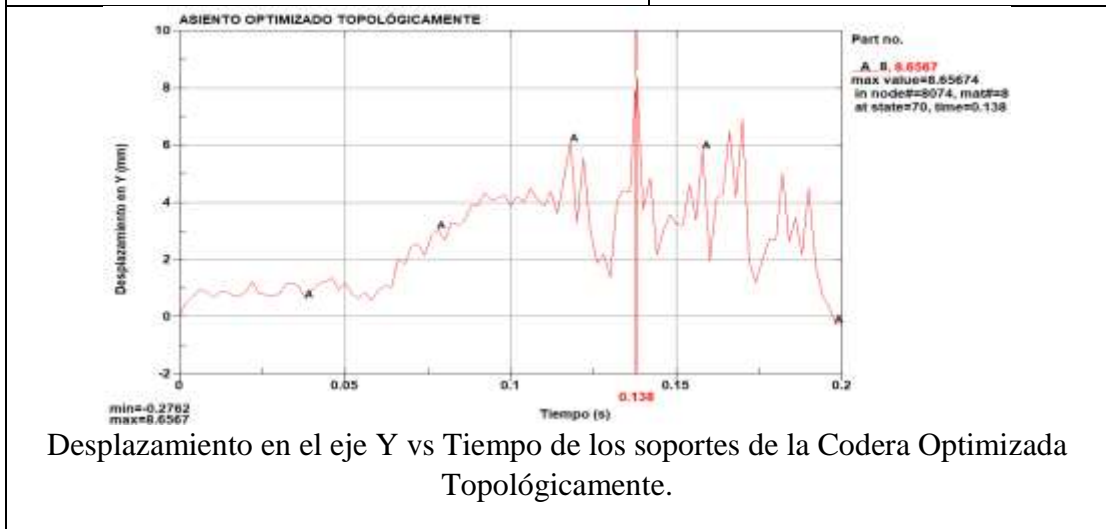
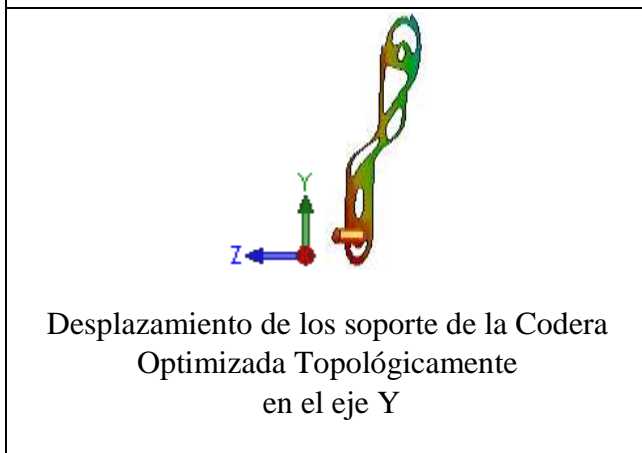
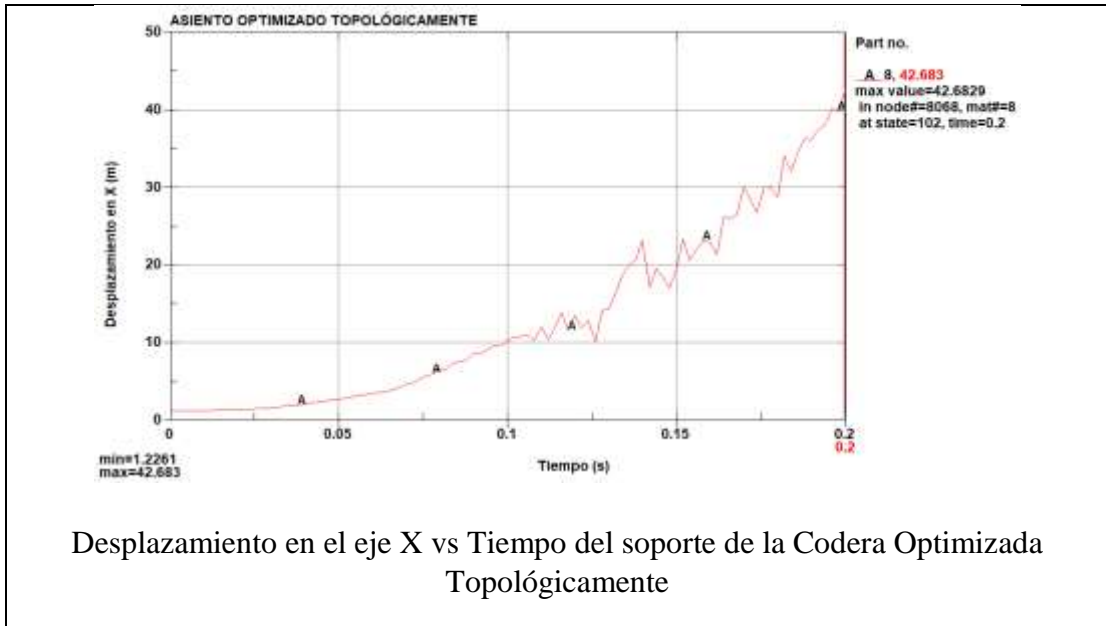


Tabla 4-41 Continuación

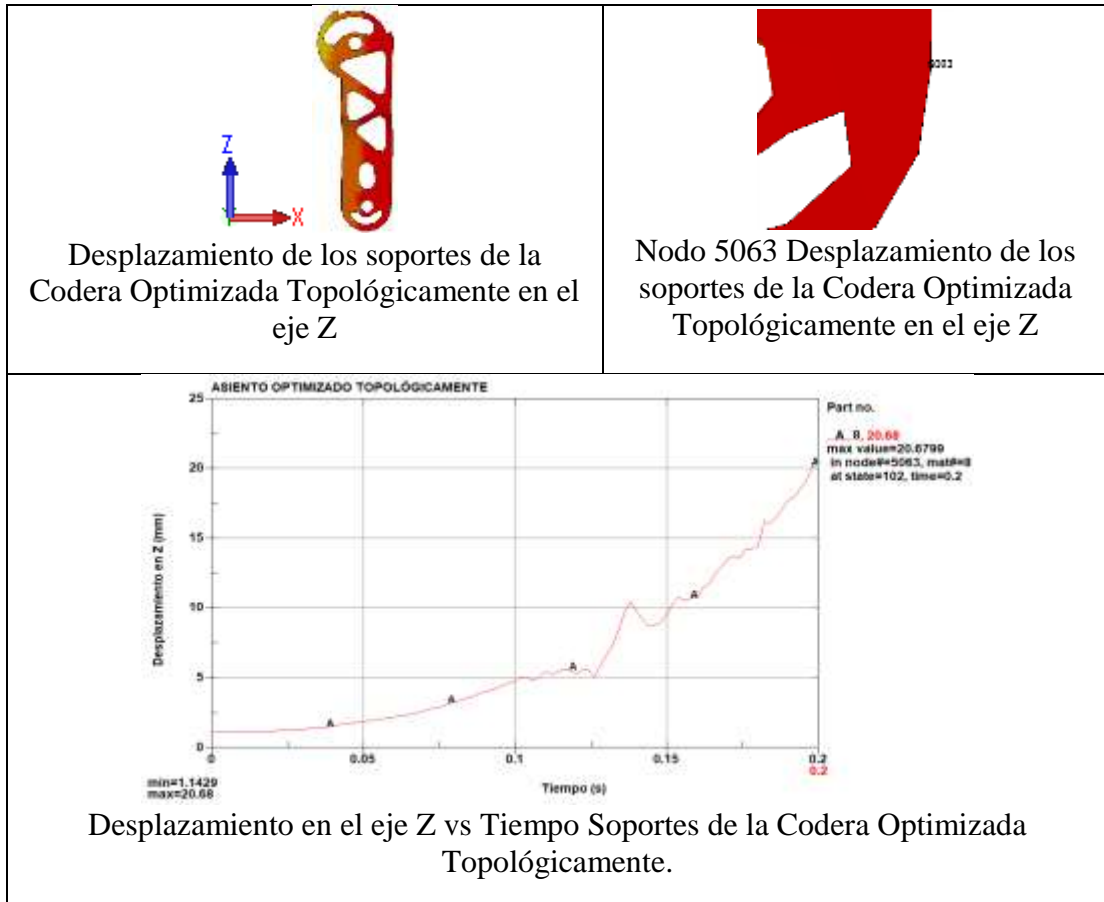


Tabla 4-42 Valores de los desplazamientos en el soporte de la codera optimizada topológicamente

Soporte codera optimizada			
EJE	NODO	VALOR Máximo (mm)	Tiempo (s)
X	8068	42.58	0.2
Y	8074	8.656	0.138
Z	5063	20.68	0.2

El valor del desplazamiento máximo alcanzado es en el eje X con el valor de 42,58mm en el nodo 8068 en el tiempo de 0.2s la ubicación de nodo se le puede observar detalladamente en la Tabla 4-42 este valor es inferior al máximo permitido en la norma por lo que se concluye que está dentro del límite.

- **Simulación de los esfuerzos por la teoría de Von Mises para el soporte de la codera**

Tabla 4-43 Esfuerzos por Von Mises en el soporte de la codera optimizada topológicamente



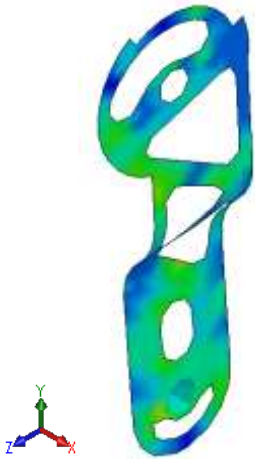

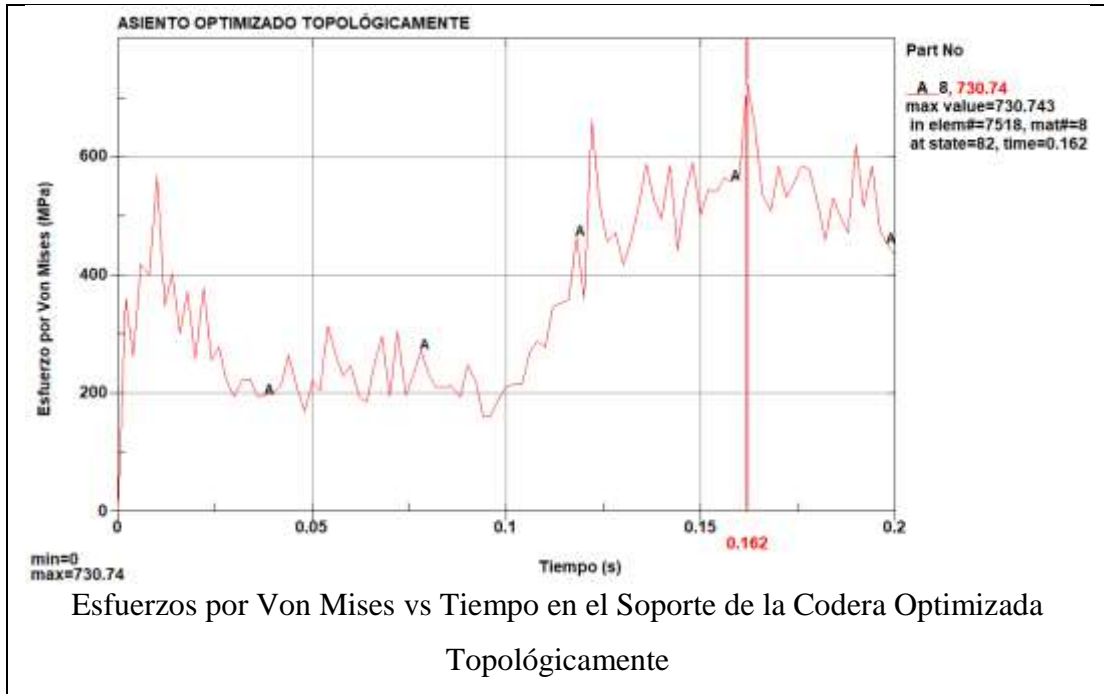
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Esfuerzo por Von Mises del soporte de la codera optimizada topológicamente	Dibujo N°:	032
Identificación del componente de estudio:		AIOC-032	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	22/11/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS prepost		
RESULTADO:			
RESULTADOS POR VON MISES			
 <p>Esfuerzos por Von Mises en el Soporte de la Codera Optimizada Topológicamente</p>		 <p>Elemento 7450 Esfuerzo Von Mises en el Soporte de la Codera Optimizada Topológicamente</p>	

Tabla 4-43 Continuación



En la simulación efectuada podemos comprobar que el esfuerzo máximo por la teoría de Von Mises se produce en el elemento 7518 que alcanza un valor de 730.74Mpa en un tiempo de 0.162 segundos la Tabla 4-43 nos presenta la parte específica donde se encuentra ubicado la zona de mayor concentración de esfuerzos.

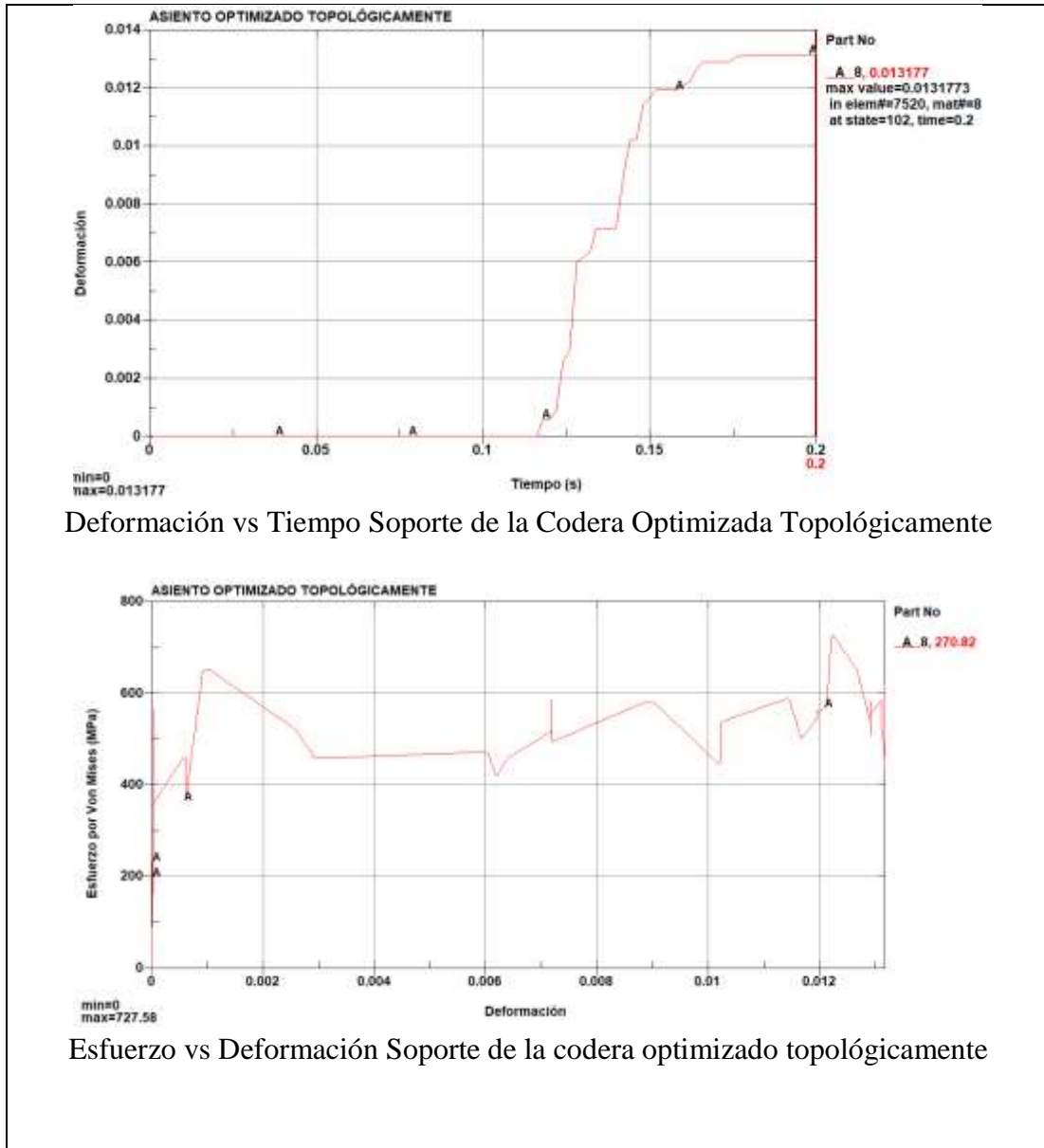
- **Simulación de la deformación en los soportes de la codera optimizada topológicamente**

A través de este estudio podremos determinar si la parte de los soportes de la codera se encuentra dentro de los parámetros del material A-36 de cumplir su resistencia.

Tabla 4-44 Deformación plástica en el soporte de la codera optimizada topológicamente

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Deformaciones Plástica en los Soporte de la Codera Optimizada Topológicamente	Dibujo N°:	033
Identificación del componente de estudio:		AIOC-033	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PREPOST		
RESULTADO:			
Deformación Plástica			
 <p>Esfuerzos Plástico en el Soporte de la Codera Optimizada Topológicamente</p>		 <p>Elemento 7520 Esfuerzo en el Soporte de la Codera Optimizada Topológicamente</p>	

Tabla 4-44 Continuación



Deformación vs Tiempo Soporte de la Codera Optimizada Topológicamente

Esfuerzo vs Deformación Soporte de la codera optimizado topológicamente

La deformación máxima alcanzada por los soportes de la codera tiene un valor de 0.001317 en el elemento 7520 en un tiempo de 0,2 segundos, la ubicación exacta podemos observar en la Tabla 4-44; siendo el valor máximo permitido del material A-36 de 0,283

4.2.7.4 Placa del cinturón de seguridad optimizada topológicamente

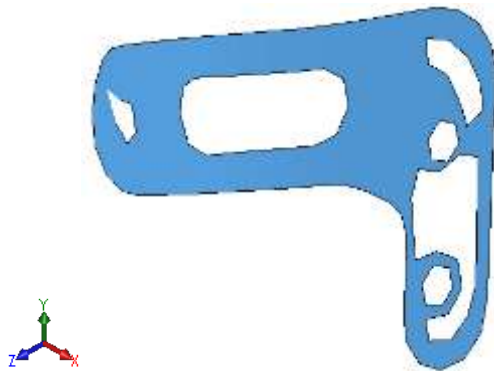


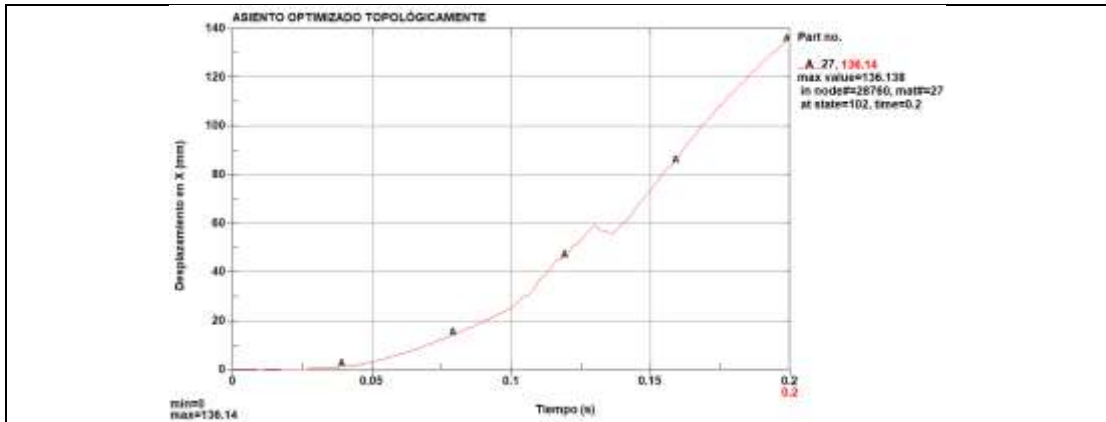
Figura 4.49 Placa del cinturón de seguridad optimizada topológicamente

- **Simulación de los desplazamientos en los ejes XYZ de la placa del cinturón de seguridad optimizada topológicamente**

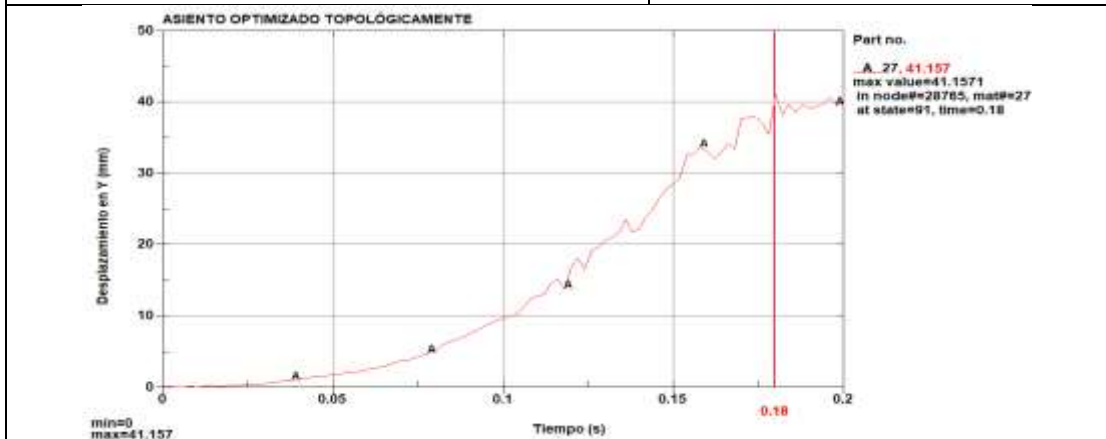
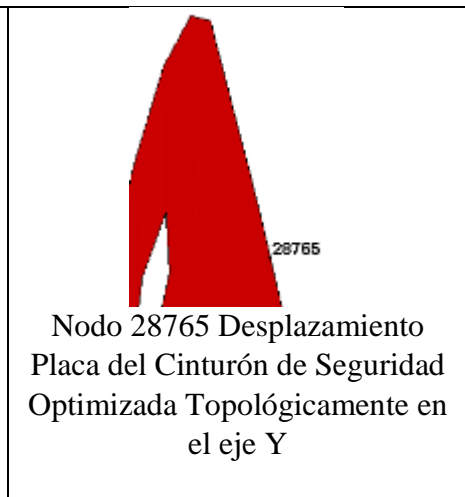
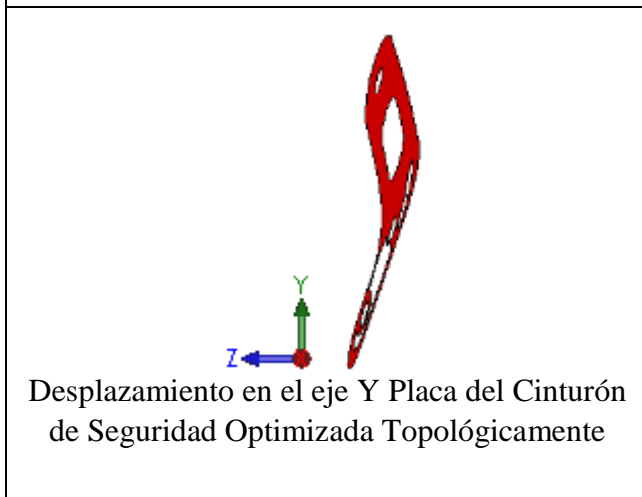
Tabla 4-45 Desplazamiento de la placa del cinturón de seguridad optimizada en los ejes X, Y, Z

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Simulación de los Desplazamientos en la placa del cinturón de seguridad optimizado topológicamente	Dibujo N°:	034
Identificación del componente de estudio:		AIOC-034	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	23/11/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PrePost		
RESULTADO:			
Desplazamientos			
 <p>Desplazamiento de la Placa del Cinturón de Seguridad Optimizada en el eje X</p>		 <p>Nodo 28760 Desplazamiento en el eje X Placa del Cinturón de Seguridad Optimizada Topológicamente</p>	

Tabla 4-45 Continuación



Desplazamiento en el eje X vs Tiempo Placa del Cinturón de Seguridad Optimizada Topológicamente



Desplazamiento en el eje Y vs Tiempo Placa del Cinturón de Seguridad Optimizada Topológicamente.

Tabla 4-45 Continuación

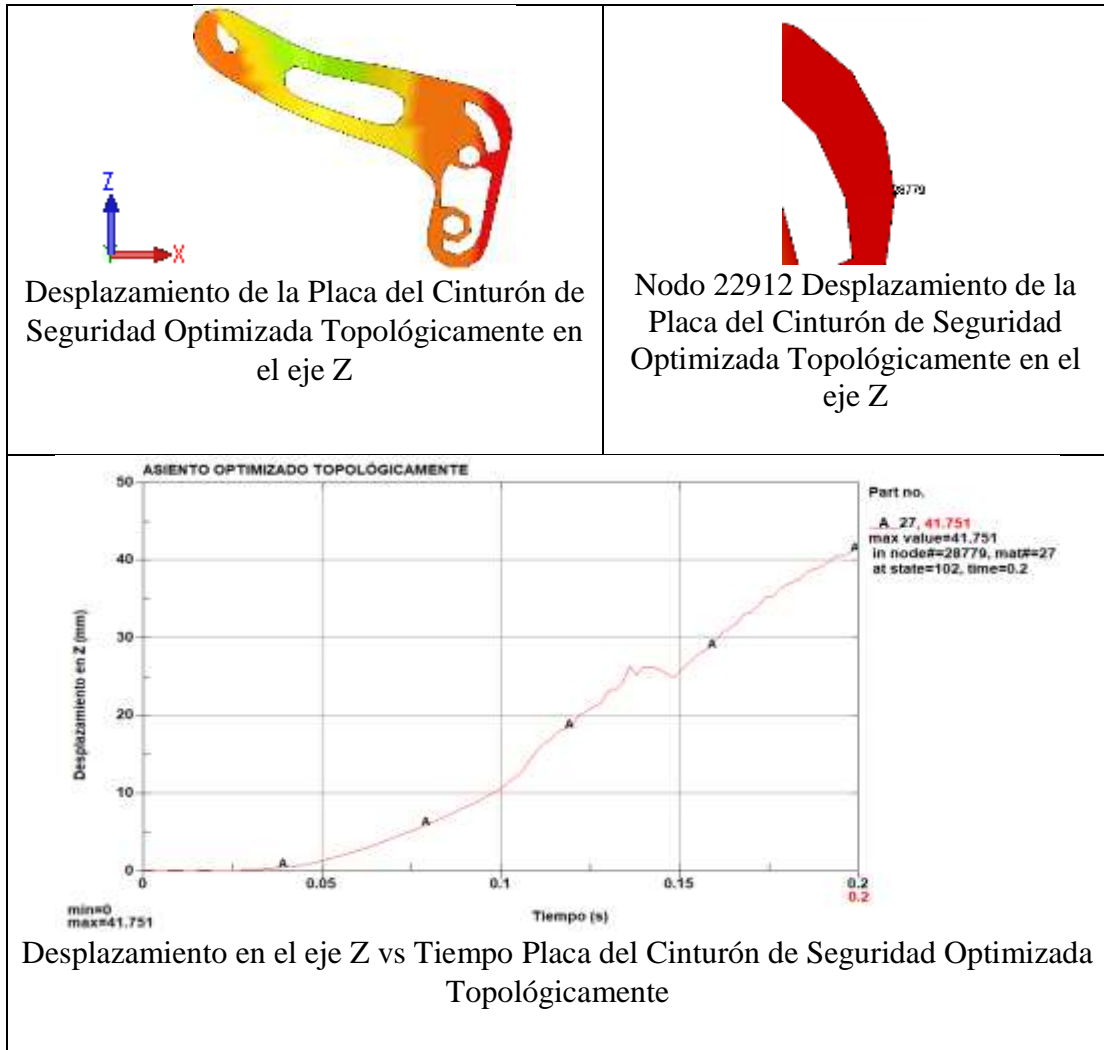


Tabla 4-46 Valores de los desplazamientos en la placa del cinturón de seguridad optimizada topológicamente

Placa del cinturón de seguridad optimizada			
EJE	NODO	VALOR Máximo (mm)	Tiempo (s)
X	28760	136.14	0.2
Y	28765	41.157	0.18
Z	28779	41.751	0.2

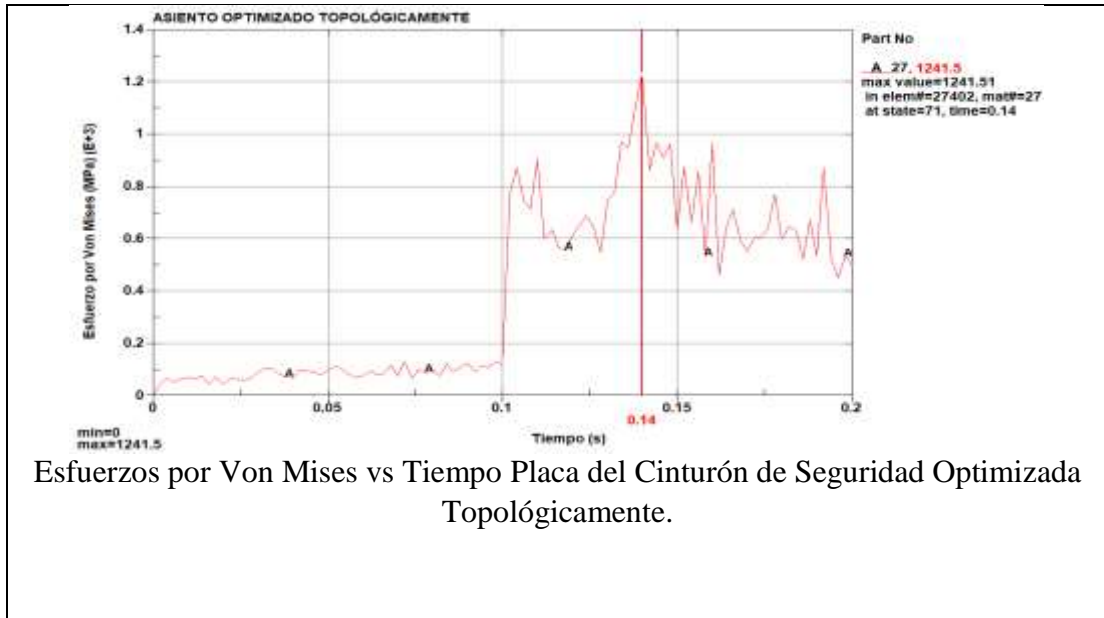
El valor del desplazamiento máximo alcanzado es en el eje X con el valor de 136.14mm en el nodo 28760 en el tiempo de 0.2 segundos la ubicación de nodo se le puede observar detalladamente en la Tabla 4-45 este valor es inferior al máximo permitido en la norma por lo que se concluye que está dentro del límite.

- **Simulación de los esfuerzos por la teoría de Von Mises para placa del cinturón de seguridad optimizada topológicamente**

Tabla 4-47 Esfuerzos por Von Mises placa del cinturón de seguridad optimizado topológicamente

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Esfuerzo por Von Mises de la placa del cinturón de seguridad optimizada topológicamente	Dibujo N°:	035
Identificación del componente de estudio:		AIOC-035	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	23/11/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS prepost		
RESULTADO:			
RESULTADOS POR VON MISES			
 <p>Esfuerzos por Von Mises Placa del Cinturón de Seguridad Optimizado Topológicamente</p>		 <p>Elemento 27402 Esfuerzo por Von Mises Placa del Cinturón de Seguridad Optimizada Topológicamente</p>	

Tabla 4-47 Continuación



En la simulación efectuada podemos comprobar que el esfuerzo máximo por la teoría de Von Mises se produce en el elemento 27402 ubicado en el extremo izquierdo el mismo que alcanza un valor de 1241.5Mpa en un tiempo de 0.14 segundos la Tabla 4-47 nos presenta la parte específica donde se encuentra ubicado la zona de mayor concentración de esfuerzos.

- Simulación de la deformación plástica de la placa del cinturón de seguridad optimizada topológicamente

Tabla 4-48 Deformación plástica en la placa del cinturón de seguridad optimizada topológicamente



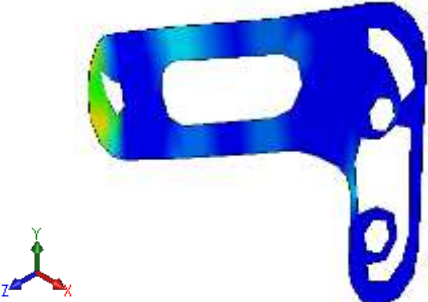
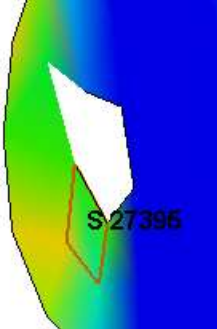
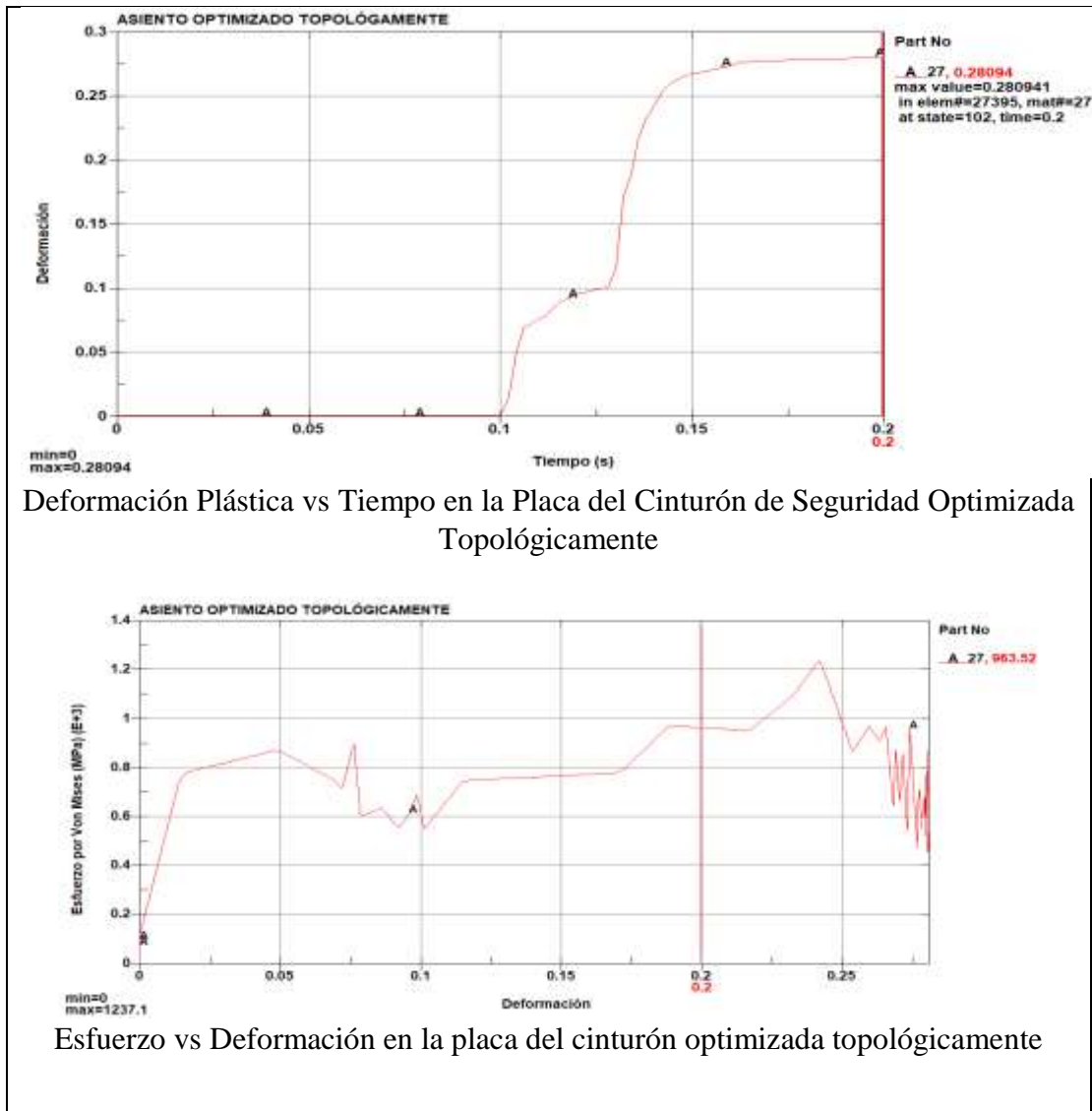
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Deformaciones en la Placa del Cinturón de Seguridad Optimizada Topológicamente.	Dibujo N°:	036
Identificación del componente de estudio:		AIOC-036	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	23/11/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PREPOST		
RESULTADO:			
Deformación Plástica			
 <p>Deformación Plástica en la Placa del Cinturón de Seguridad Optimizada Topológicamente</p>		 <p>Elemento 27395 Deformación en la Placa del Cinturón de Seguridad Optimizada Topológicamente.</p>	

Tabla 4-48 Continuación



La deformación máxima alcanzada por la placa del cinturón de seguridad optimizada topológicamente tiene un valor de 0.28 en el elemento 27395 en un tiempo de 0,2 segundos, la ubicación exacta podemos observar en la Tabla 4-48; siendo el valor máximo permitido del material A-36 de 0,283. El cual se encuentra en el borde del límite admisible por el material.

En la gráfica Deformación vs Tiempo podemos determinar la zona elástica en esta parte alcanza un valor en la deformación de 0.101 con un esfuerzo de 551MPa; mientras que

en los 0,2 segundos alcanza la zona plástica una deformación de 0,280 con un esfuerzo de 453MPa.

4.3 Verificación de la hipótesis

La hipótesis planteada se puede verificar mediante los resultados obtenidos en la simulación realizada tanto a la estructura del asiento original y a la estructura que fue modificado con las partes optimizadas topológicamente, las cuales fueron evaluadas con el reglamento ECE R80.

4.3.1 Estructura del asiento original

Por medio de las siguientes tablas podemos mostrar los resultados obtenidos de las partes que fueron analizadas para realizar la optimización del asiento para bus interprovincial y la comprobación de la estructura en general.

La estructura del asiento total en el tiempo de 0,2segundos sufre una deformación plástica pero este se mantiene dentro de la norma establecida en el ECE R80 su mayor desplazamiento ocurre en el eje X con un valor de 226.94mm el esfuerzo por la teoría de Von Mises alcanza los 938.76MPa es decir supera el valor de la resistencia a la rotura en una de sus partes, la deformación máxima se produce en 0.1642 manteniéndose dentro del valor del material.

En la tabla N.- 4-49 podemos determinar los mayores esfuerzos y desplazamientos de las partes de la estructura del asiento para buses interprovinciales a optimizar topológicamente dando como resultado los siguientes valores, con los cuales podemos verificar si la estructura del asiento original se mantiene dentro del parámetro de aceptación del reglamento ECE-R80:

Tabla 4-49 Resultados de simulación de las partes del asiento original

Partes a Optimizar	Desplazamiento	Deformación Plástica	Von Mises	Cumple con el reglamento ECE R-80
Pata del asiento	28,812mm	0,055	731.86MPa	Si
Soporte de la codera	47,561mm	0.0135	561.52MPa	Si
Soporte de Resortes	44,19mm	0,16	938.76MPa	Si
Placa del cinturón de Seguridad	64,188mm	0.078	884.09MPa	Si

El reglamento ECE R80 que es uno de los cuales se basa la normalización a nivel mundial para vehículos de gran tamaño que transporta personas, especialmente en nuestro país establece las siguientes condiciones resumidas en la tabla 4-50 que fueron analizadas a cada una de las partes que fueron modificadas.

Tabla 4-50 Análisis con el reglamento ECE R80 a las partes originales

Partes a Optimizar	1.2. Se considerará que se cumplen los requisitos si el desplazamiento máximo medido en el plano horizontal y en el plano mediano longitudinal de la plaza de asiento correspondiente, no sobrepasa los 400 mm.	1.4.1. Ninguna parte del asiento, del soporte del asiento ni de los accesorios se desprende completamente durante el ensayo	1.4.2. El asiento sigue estando 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 puedan causar lesiones.	Cumple con el Reglamento ECE R-80
Pata del asiento	No	No	Si	No	Si
Soporte de la codera	No	No	Si	No	Si
Soporte de Resortes	No	No	Si	No	Si
Placa del cinturón de Seguridad	No	No	Si	No	Si

Podemos determinar que el asiento original analizado se mantiene dentro de los parámetros de aceptación para poder homologar el peso de cada asiento es de 57lb.

4.3.2 Estructura del asiento optimizado

Una vez analizado el asiento original se procedió a realizar la estructura con las partes optimizadas, los resultados de la simulación del conjunto de partes son los siguientes; el mayor desplazamiento se da en el eje X desplazándose 136.14mm, el esfuerzo máximo es de 1241.5MPa con una deformación de 0,282.

Los resultados presentados en la tabla 4-16 son de los análisis detallados realizados a cada una de las partes optimizadas para verificar si se mantienen dentro de los requisitos para poder ser homologados.

Tabla 4-51 Resultados de simulación de las partes optimizadas topológicamente

Partes a Optimizar	Desplazamiento	Deformación Plástica	Von Mises	Cumple con el reglamento ECE R-80
Pata del asiento	22.552mm	0,09652	747.14Mpa	Si
Soporte de la codera	42.58mm	0.048	730.74Mpa	Si
Soporte de Resortes	36.69mm	0,013	751.78Mpa	Si
Placa del cinturón de Seguridad	136.14mm	0.28	1241.5Mpa	Si

El análisis de cada uno de las partes que fueron modificadas podemos resumir en la tabla 4-17 en la cual estas partes se deforman plásticamente pero se mantienen fijas en el asiento cumpliendo lo que establece el reglamento ECE R80.

Tabla 4-52 Verificación con el reglamento ECE R80 a las partes optimizadas topológicamente

Partes Optimizadas topológicamente	1.4.1. Ninguna parte del asiento, del soporte del asiento ni de los accesorios se desprende completamente durante el ensayo	1.4.2. El asiento sigue estando 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 puedan causar lesiones.	Cumple con el Reglamento ECE R-80
Pata del asiento	No	Si	No	Si
Soporte de la codera	No	Si	No	Si
Soporte de Resortes	No	Si	No	Si
Placa del cinturón de Seguridad	No	Si	No	Si

Análisis de las hipótesis para el peso del asiento

Ho: La optimización topológica realizada en la estructura del asiento de bus interprovincial, mantendrá igual al peso del asiento original.

H1: La optimización topológica realizada en la estructura del asiento de bus interprovincial, reducirá el peso del asiento original.

Para poder determinar cuál de nuestras hipótesis es verdadera se procedió a realizar la prueba t-student; para lo cual a más del peso del asiento original se investigó los pesos de algunos modelos que se fabrican en nuestra ciudad.

Tabla 4-53 Tabla de pesos de asientos interprovinciales

Peso Kg	Fabricante
28,350	Asiento Turco
25,74	Asiento MIVILTECH modelo 2
25,51	Asiento Intriago
26,38	Asiento MIVILTECH modelo 1
26,74	Asiento Luis Barriga
26,086	Asiento original
25,068	Asiento optimizado

$$t_{\varepsilon} = \frac{\bar{x} - \mu}{\left(\frac{\partial}{\sqrt{n}}\right)} \quad (32)$$

Donde:

\bar{x} = media de la muestra

μ = media poblacional

n = tamaño de la muestra

∂ = desviación estándar de la población

$$\bar{x} = 26,125$$

$$\mu = 25,068$$

$$n = 7$$

$$\partial = 1,065$$

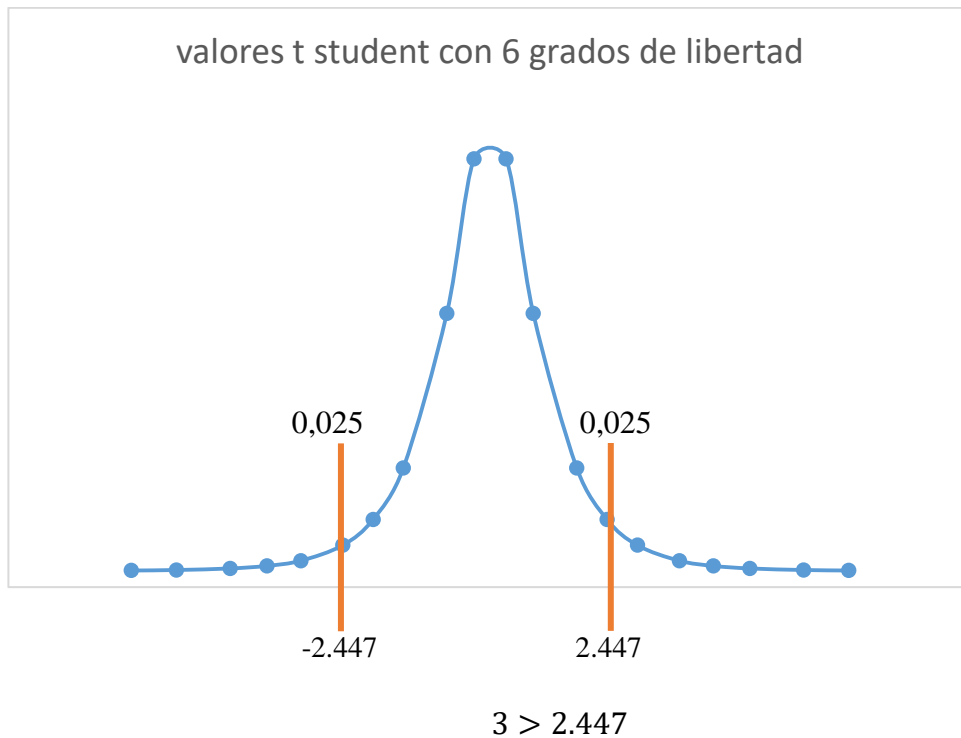
$$t_{\varepsilon} = 3$$

Tendremos un nivel de confiabilidad del 95%

$$\alpha = 1 - 95\% = 5\%$$

Verificamos el valor de t en el anexo 1

$$t_{\frac{\alpha}{2}; n}$$



Podemos concluir que la hipótesis alternativa (H1) es la verdadera con un coeficiente de confiabilidad del 95%.

Análisis de las hipótesis para el desplazamiento del asiento

Ho: La optimización topológica realizada en la estructura del asiento de bus interprovincial, mantendrá igual a los desplazamientos del asiento original.

H1: La optimización topológica realizada en la estructura del asiento de bus interprovincial, reducirá los desplazamientos del asiento original.

Realizaremos una prueba t student por medio de dos muestras para determinar si los desplazamientos tanto del asiento optimizado como del asiento original, se mantiene dentro del reglamento ECE R80; que establece que no debe sobrepasar los 400mm.

Tabla 4-54 Desplazamiento de la estructura del asiento original

Desplazamiento del asiento original en mm
226.94
217.8
208.8
199.7
190.6
181.5
172.4
163.3
154.2
145.1
136

Tabla 4-55 Desplazamiento de la estructura del asiento optimizado

Desplazamiento del asiento optimizado en mm
136.14
131.3
126.5
121.7
116.9
112
107.2
102.4
97.57
92.75
87.93

$$t_{\varepsilon} = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Donde:

\bar{y}_1 & \bar{y}_2 = medias muestrales

n_1 & n_2 = tamaño de cada muestra

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Desplazamiento asiento original

$$\bar{y}_1 = 181,48$$

$$n_1 = 11$$

$$s_1^2 = 909,64$$

$$s_1 = 30,16$$

Desplazamiento asiento optimizado

$$\bar{y}_2 = 112,035$$

$$n_2 = 11$$

$$s_2^2 = 255,69$$

$$s_2 = 15,99$$

$$t_{\varepsilon} = 6,747$$

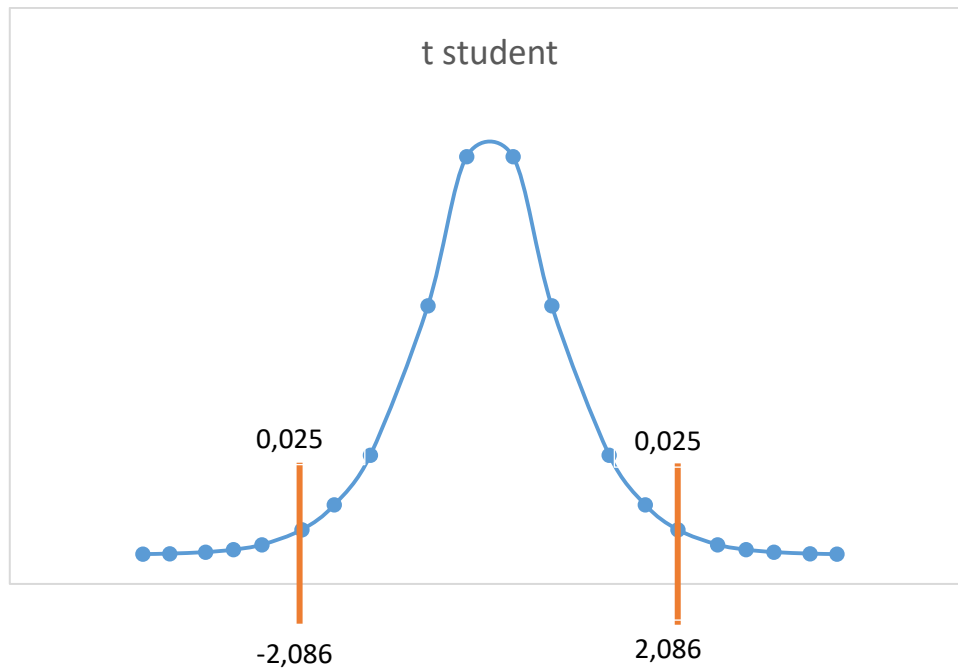
Tendremos un nivel de confiabilidad del 95%

$$\alpha = 1 - 95\% = 5\%$$

Verificamos el valor de t en el anexo 1

$$t_{\frac{\alpha}{2}; n_1 + n_2 - 2}$$

$$t_{0,025; 20}$$



$$6,747 > 2,086$$

A través del análisis realizado podemos verificar que la hipótesis alternativa es la verdadera con un nivel de confiabilidad del 95%.

H1: Verdadero.

Ho: Falso

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Mediante el trabajo investigativo realizado se pudo desarrollar la evaluación del modelo de asiento para bus interprovincial de una carrocería importada, el mismo está conformado por 30 partes incluido los bloques pélvicos y torácico que simulan las partes del cuerpo humano que son las afectadas en caso que el asiento sufra sea sometidos a fuerzas externas.
- El modelo del asiento para bus interprovincial original tuvo un mallado de 54171 nodos y 51843 elementos tipo Shell divididos en 50147 elementos cuadriláteros y 1696 elementos triangulares.
- En la simulación se evaluó en primer lugar a toda la estructura del asiento para poder comprobar con la norma ECE R80 que este se encuentre dentro de los parámetros establecidos por la misma.
- La simulación de la estructura y de las partes a optimizar se desarrolló en un tiempo de 0,2 segundos de acuerdo a la norma ECE R80.
- Los desplazamientos que tiene la estructura del asiento fueron evaluadas en sus tres ejes de movilización X, Y & Z, los mismos están dentro de la norma que establece que no debe exceder de los 400mm.
- Las partes a realizar la optimización topológica se seleccionó en base a la función que viene cumpliendo dentro de la estructura del asiento de bus interprovincial y por la importancia que estas tienen debido a que no se las puede excluir de ningún tipo de modelo de asiento.
- Se seleccionó el tipo de cinturón de seguridad de tres puntos para poder garantizar en un mayor porcentaje que la persona permanezca en el asiento en caso de sufrir el impulso de una fuerza externa.

- Con el estudio realizado sobre la optimización topológica de la estructura del asiento de bus de tipo interprovincial podemos decir que las piezas a optimizar se mantendrán dentro del rango de la norma ECE R80 y estos garantizan la permanencia de la persona que va sentada durante el viaje, por lo cual para una mejor optimización de un elemento se debe tomar en cuenta la concentración de esfuerzos para poder mantener y eliminar material.
- El peso original de la estructura del asiento es de 57.52lb mientras que al ser optimizado topológicamente el peso se reduce a 55.14lb, en un bus se tiene 44 asientos ubicados en dos hileras de dos asientos el peso total a reducir será de 105lb

5.2 Recomendaciones

- Para tener un modelo de estructura de simulación este debe ser diseñado en superficie y con medidas que se encuentre dentro de las normas establecidas de homologación de una manera detallada.
- Del tipo de mallado que se establezca es fundamental para la simulación ya que de este depende el tiempo que se demora en correr el programa CAE por lo que debe ser lo más uniforme posible y precautelar en los bordes que es donde se forman mallas diminutas.
- La precisión de los resultados para que estos estén lo más cercano a la realidad depende del tipo de material, el tipo de conexión de las partes y las fuerzas que actuaran.
- Para poder tener un mejor análisis al momento de realizar la optimización topológica se debe dar las condiciones de q partes queremos considerar para mantener el material & ubicar las condiciones de frontera.

Capítulo 6

PROPUESTA

REDISEÑO DE LOS ELEMENTOS DEL ASIENTO DE BUS INTERPROVINCIAL MEDIANTE OPTIMIZACIÓN TOPOLOGICA

6.1 Datos informativos

En los análisis realizados en el asiento original de un bus de tipo interprovincial de carrocería extranjera para la simulación fueron utilizadas fuerzas horizontales establecidas por la norma ECE R14, donde se pudo obtener los resultados de los esfuerzos y deformaciones para determinar las partes que pueden ser optimizadas topológicamente las cuales cumplen funciones específicas.

La importancia de la topología en el asiento es poder reducir el peso para poder tener en el autobús una mayor eficiencia y ligereza, siempre y cuando al eliminar el material en algunas partes de los elementos no se afecte la resistencia de las mismas y del asiento en general.

Los parámetros establecidos para la simulación como son el tipo de material de los diferentes elementos, el tipo de mallado y las fuerzas asignadas son iguales tanto en el asiento original y en el que contiene los elementos optimizados.

6.2 Antecedentes de la propuesta

En nuestro país son pocos los diseñadores de partes o elementos mecánicos que utilizan los diseños con topología, se investigó que en lo que es asientos de buses interprovinciales no existe estudios similares donde se someta a simulaciones para poder determinar los esfuerzos y deformaciones de los mismos.

Las normativas implementadas en nuestro país para poder homologar los buses toman en cuenta más los parámetros de medidas y soldadura. Este estudio se basó con el reglamento ECE R80 donde se tiene las medidas a las cuales deben estar diseñados los

asientos para buses interprovinciales y los parámetros que debe tener en caso de ser expuestos a fuerzas externas para poder garantizar la integridad del pasajero.

Los países que siempre se mantienen en investigaciones y desarrollo vienen aplicando este tipo de estudio el cual ya ha sido implementado para construir partes eliminando el material que se considera por pruebas y simulaciones que no tienen ninguna incidencia para su uso.

6.3 Justificación

A través de los estudios fundamentados en diseños topológicos el cual se ha podido implementar en el modelo de un asiento para bus de tipo interprovincial, con la ayuda de los programas CAD/CAE basados en los métodos finitos para simular y verificar sus esfuerzos y deformaciones y con la aplicación de la norma ECE R80 poder llegar tener un asiento con garantía en caso de homologación, con los valores obtenidos en el capítulo IV podremos comparar los resultados para poder establecer las mejoras y determinar si es beneficioso para su implementación.

Una vez realizado el rediseño del asiento para bus de tipo interprovincial con elementos optimizados topológicamente podremos tener información de la reducción del peso de los asientos y por ende de todo el bus en general esto permitirá tener mayores ventajas en el mismo.

La base fundamental de lo carroceros de transporte de buses es satisfacer los requerimientos de los clientes los cuales buscan que estos sean más económicos y de mejor calidad este estudio permite aplicar menos material y dar mejores beneficios sin disminuir las garantías si estos llegaran a estar expuestos algún impacto garantizando el producto.

6.4 Objetivos

6.4.1 General

Rediseñar el asiento de bus de tipo interprovincial con los elementos optimizados topológicamente siempre y cuando se mantengan dentro del reglamento ECE R80.

6.4.1 Específicos

- Rediseñar el asiento con las partes optimizadas topológicamente para poder tener un mejoramiento en la estructura, dándoles una forma que permita reducir el peso manteniéndose dentro del reglamento ECE R80.
- Realizar un análisis dinámico explícito por elementos finitos del asiento de bus interprovincial optimizado topológicamente bajo el reglamento ECE-R80.
- Determinar el ahorro económico basado en la reducción de combustible.

6.5 Análisis de factibilidad

El rediseño del asiento para bus de tipo interprovincial con diseño topológico es factible, debido a que nuestro campo industrial dentro de nuestra provincia encontramos a los fabricantes de asientos y este estudio es en beneficio de ellos, quienes con la ayuda de la tecnología pueden fabricar. Hoy en día podemos encontrar también en el mercado industrial la construcción de piezas prismáticas con impresión en 3D el cual ayuda de manera considerable que investigaciones como esta puedan introducirse rápidamente.

Esta investigación fue realizada con normativa internacional la cual ha sido adaptada al reglamento de homologación en nuestro país lo que permite tener este modelo de asiento con dimensiones estandarizadas que garanticen su fabricación.

El costo para la construcción de este modelo de asiento para bus de tipo interprovincial es accesible y los beneficios son mayores a los que tienen los modelos actuales contruidos por nuestra industria nacional.

6.6 Fundamentación

Para presentar la siguiente propuesta de modificación de los elementos del asiento de bus para tipo interprovincial con un análisis de optimización topológico, se basó en la investigación bibliográfica presentada en el CAPITULO II el cual corresponde al marco teórico, donde se describe los tipos de asiento que existe en nuestro país según el servicio que preste este transporte, lo referente a lo que es topología en los elementos mecánicos, los elementos finitos como parte de los software de CAE para realizar las simulaciones y encontrar los esfuerzos y deformaciones cuando están expuestos a fuerzas externas y los reglamentos ECE R80 Y ECE R14 los cuales permiten realizar dichos análisis y diseños con medidas y parámetros de aceptación para garantizar su estandarización.

6.6.1 Elementos que constituyen la estructura del asiento para bus interprovincial

Las partes o elementos que tiene el asiento están estandarizadas por la normativa ecuatoriana para su construcción, las mismas que son fabricadas por separado a través de matrices que serán montadas para formar el asiento total, en el rediseño con la optimización topológica que desarrollaremos las partes se podrá fabricar de igual manera con matrices modificadas al diseño topológico o con impresión 3D de acuerdo al mejor presupuesto.

El rediseño que planteamos son optimizando los siguientes elemento que cumplen funciones determinadas en la estructura del asiento las mismas que deben mantenerse dentro de los parámetros del material y de la norma ECE R80. Los perfiles no pueden ser optimizados debido a que en este diseño tenemos refuerzos para garantizar de mejor manera su resistencia

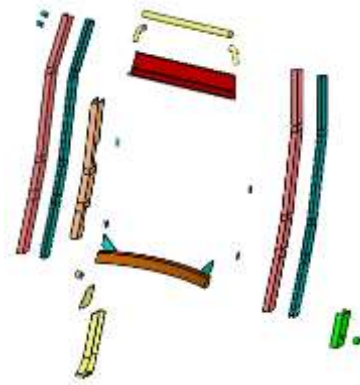


Figura 6.1 Componentes del espaldar del asiento

6.6.2 Análisis en la estructura de asiento

Para poder realizar la optimización topológica en el asiento para bus de tipo interprovincial se seleccionó algunas de sus partes las cuales fueron analizadas estáticamente mediante los software de CAE con la aplicación de fuerzas establecidas mediante la norma ERE R14, en la figura 6.1 podemos observar que en los elementos del espaldar no se pudo realizar un análisis topológico debido a la sensibilidad que estos debe tener para soportar el peso del pasajero. En la figura 6.2 verificamos los elementos optimizados los cuales ayudaran a alivianar el peso del asiento que al ser implementado a todos asientos por ende de toda la carrocería.

Tabla 6-1. Elementos del asiento de bus de tipo interprovincial originales y optimizados topológicamente


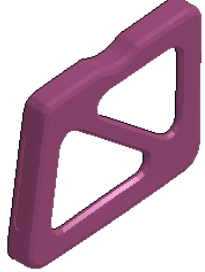




Elementos Originales	Elementos optimizados topológicamente
	
Pata del asiento Original	Pata del asiento Optimizada Topológicamente
	
Soporte del resorte del asiento Original	Soporte del resorte del asiento Optimizada Topológicamente
	
Soporte de la codera del asiento Original	Soporte de la codera del asiento Optimizada Topológicamente

Tabla 6-1 Continuación

	
<p>Placa del cinturón de seguridad del asiento Original</p>	<p>Placa del cinturón de seguridad del asiento Optimizada Topológicamente</p>

6.6.2.1 Descripción de la estructura del asiento de bus de tipo interprovincial

En base a la tabla 6.1 que es los elementos que se optimizara topológicamente cuyas propiedades mecánicas son las mismas del asiento original analizado en el capítulo 4 en el cual se estudió las deformaciones y esfuerzos. En el presente capítulo se realizara de la misma manera un análisis detallado del rediseño del asiento y de cada uno de los elementos que tienen el nuevo modelo. En la figura 6.3 podemos observar las partes estructurales que posee el asiento basado en la norma ECE R80.

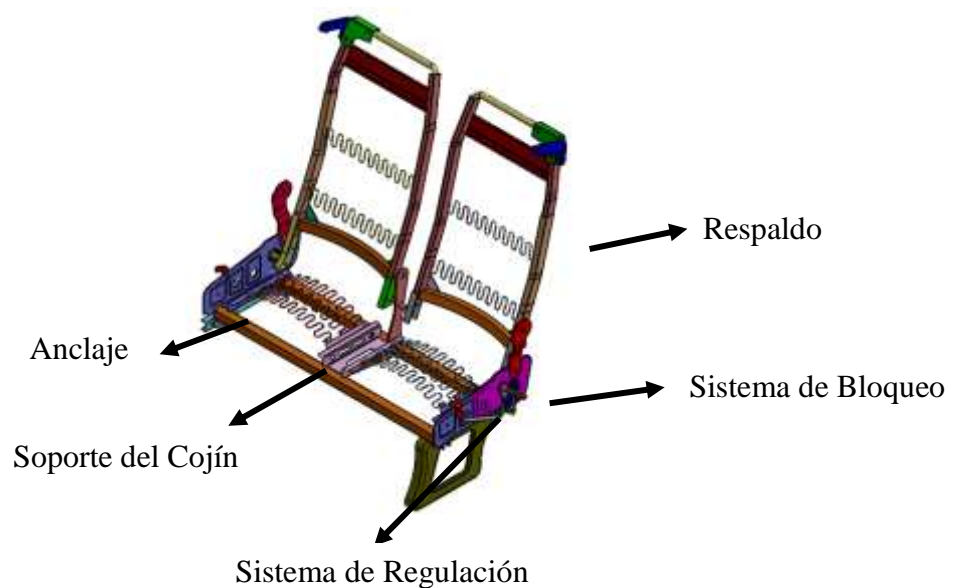


Figura 6.2 Asiento de bus interprovincial y sus partes

Tabla 6-2 Elementos del asiento de bus interprovincial y sus materiales

Elemento del asiento	Materiales
Respaldo	Acero A500
Soporte del cojín	Acero A36
Anclaje	Acero A500
Sistema de regulación	Acero A36
Sistema de Bloqueo	Acero A36



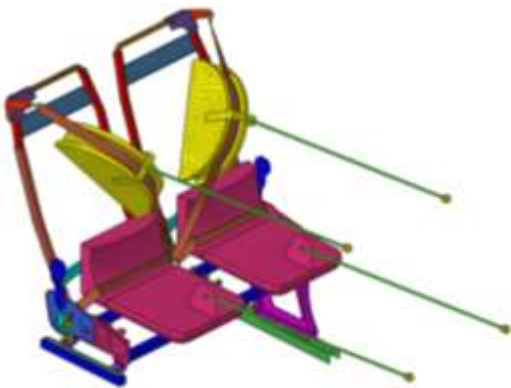
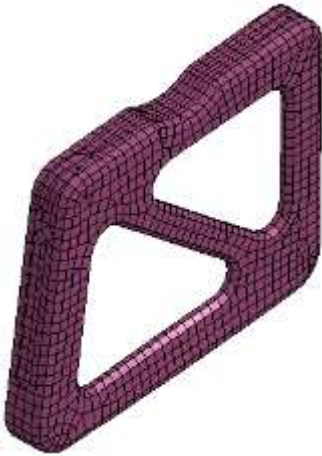
6.6.2.2 Resultados de la simulación

Comprobaremos los esfuerzos y deformaciones que sufre el rediseño del asiento al estar sometido a las fuerzas de tracción, este análisis se realizó bajo la normativa ECE R80 y ECE R14. Para lo cual uno de sus apartados manifiesta que para la simulación los asientos se encontraran a una distancia de 750mm y en la misma altura.

El tipo de seguridad que se establecido es con un cinturón de tres puntos el cual garantiza de mejor manera la permanencia del pasajero en el mismo, evitando que este sufra algún impacto con el asiento que se encuentra adelante y ayuda de mejor manera a cumplir el apartado 1.1.1 del reglamento ECE R80 que establece que deben permanecer retenidos en los asientos situados delante de ellos.

Con la figura 6.3 podemos observar el mallado que tiene el asiento el cual es de tipo Shell con un número de elementos de 28011 de los cuales el 94,3% un número aproximado 26419 elementos son de tipo cuadrilátero utilizado donde la geometría es isotrópico y el 5,68% 1592 elementos es de tipo triangular en las partes donde la geometría es irregular.

Tabla 6-3 Mallado del asiento de bus interprovincial optimizado topológicamente

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Mallado	Dibujo N°:	023
Identificación del componente de estudio:		AIOC-023	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	19/11/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	Hyper-Works		
RESULTADO:			
Mallado			
 <p>Mallado del asiento de bus interprovincial optimizado topológicamente</p>		 <p>Mallado de la pata del asiento optimizado topológicamente.</p>	

6.7 Análisis de la propuesta

Con el siguiente rediseño realizado al asiento de bus de tipo interprovincial en donde se simulo los esfuerzos y deformaciones que estos llegan a tener deben mantenerse dentro de la norma ECE R80 para poder garantizar que estas cumpliendo los parámetros establecidos.

6.7.1 Simulación del asiento de bus interprovincial optimizado topológicamente

Simulación de los desplazamientos en el asiento optimizado

El máximo desplazamiento se da en X dando un valor de 136.14mm en el nodo 28760 en el tiempo de 0,2 segundos estos valores podemos verificar en la ficha N.- 6-2 Figura 6.5-6.7. Los desplazamientos en Y & Z son de 41.157mm nodo 28765 y 45.86mm nodo 11134 respectivamente se dan en un tiempo de 0,18 y 02 segundos respectivamente.

Tabla 6-4 Desplazamiento del asiento optimizado topológicamente en los ejes X, Y, Z



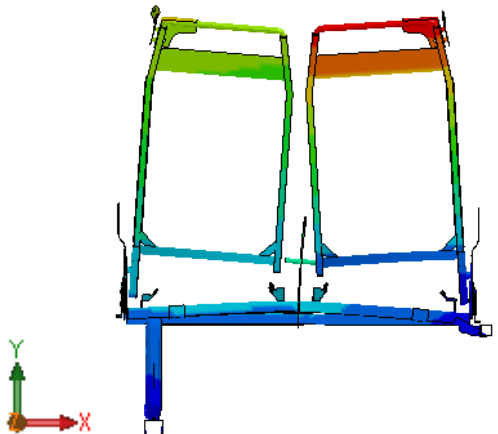
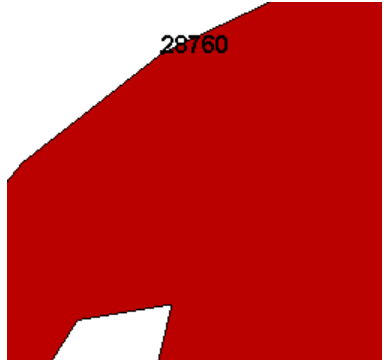
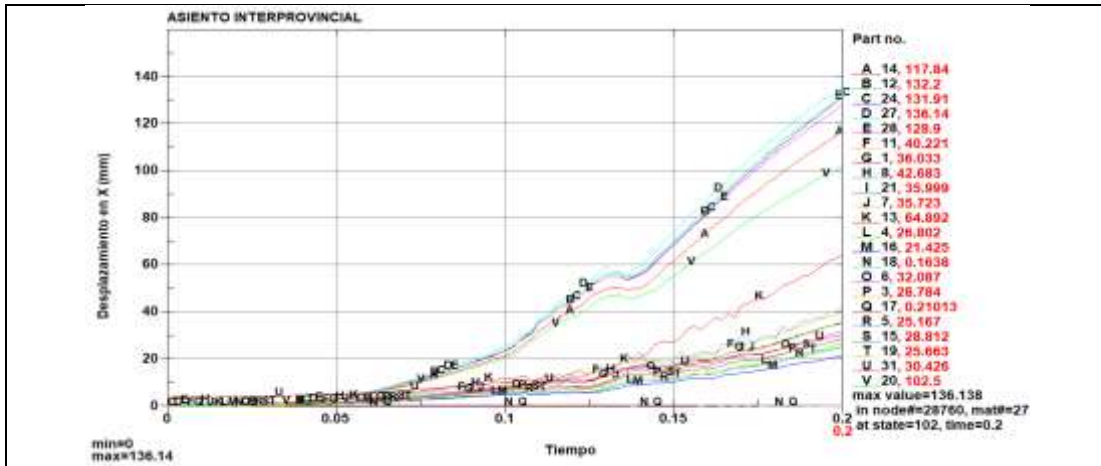
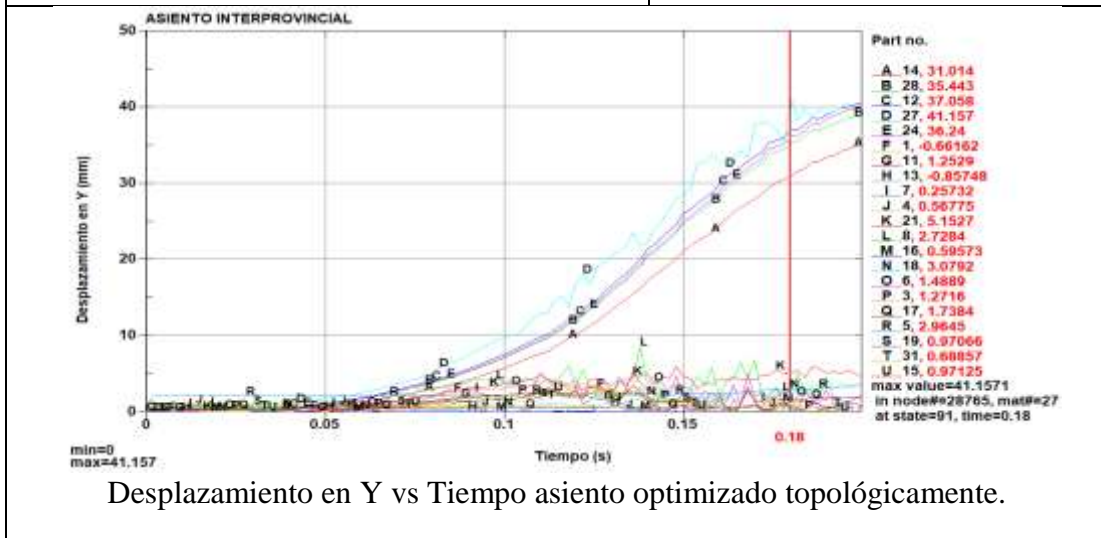
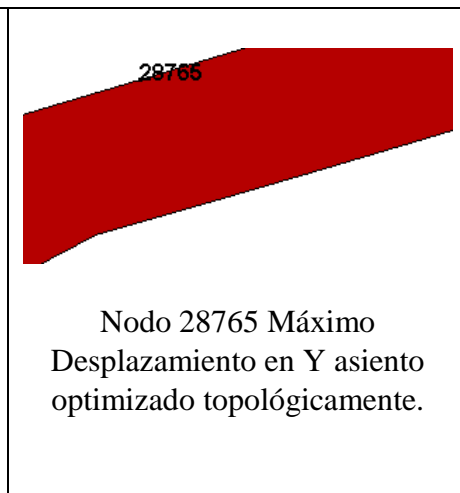
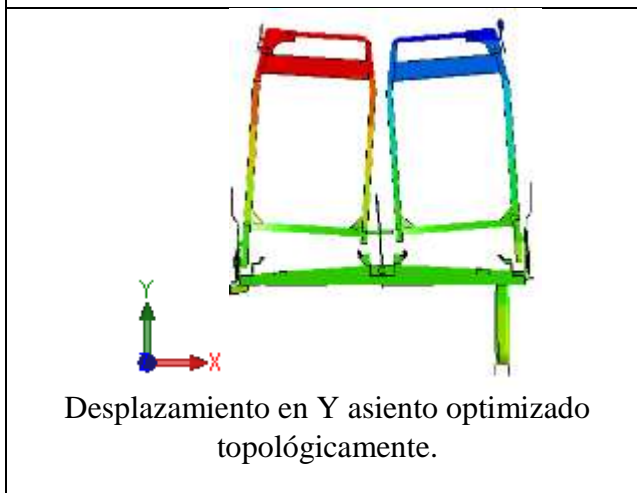
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Simulación de Desplazamientos en el asiento Optimizado Topológicamente	Dibujo N°:	24
Identificación del componente de estudio:		AIOC-024	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PrePost		
RESULTADO:			
Desplazamientos en diferentes direcciones			
 <p>Desplazamiento en X asiento optimizado topológicamente.</p>		 <p>Nodo 28760 Máximo Desplazamiento en X asiento optimizado topológicamente.</p>	

Tabla 6-4 Continuación



Desplazamiento en X vs Tiempo asiento optimizado topológicamente.



Desplazamiento en Y vs Tiempo asiento optimizado topológicamente.

Tabla 6-4 Continuación

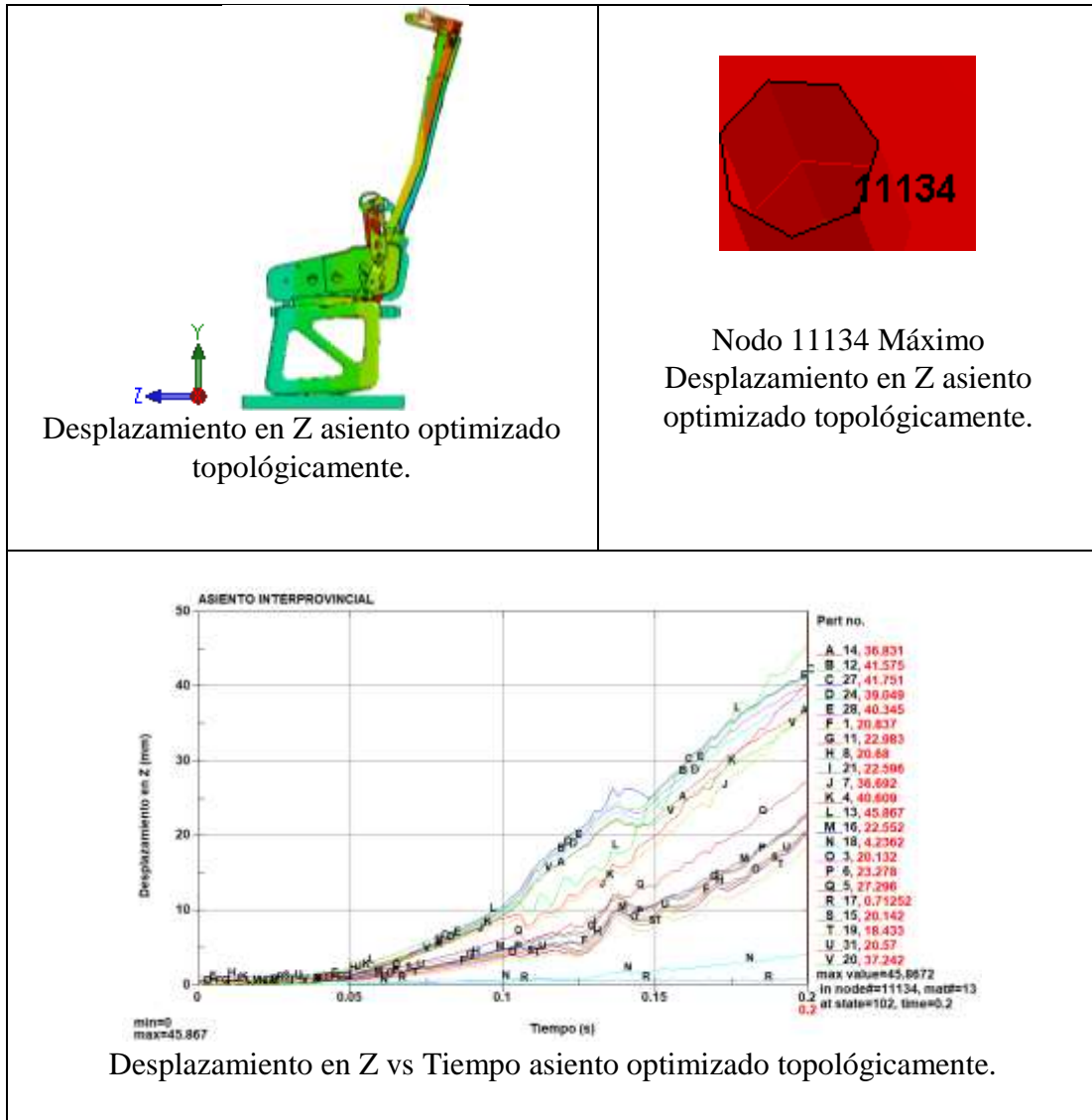


Tabla 6-5 Valores de los desplazamientos en la pata del asiento optimizada topológicamente

Asiento optimizado topológicamente			
EJE	NODO	VALOR Máximo (mm)	Tiempo (s)
X	28760	136.14	0.2
Y	28765	41.157	0.18
Z	11134	45.867	0.2

Simulación del esfuerzo equivalente por Von Mises en el asiento optimizado topológicamente

Donde se produce el máximo esfuerzo por la teoría de Von Mises es en el soporte de los resortes del asiento, aquí estará ubicado los resortes para el sillón, alcanza un esfuerzo de 1241.25MPa en un tiempo de 0,14segundos en el elemento 27402 el mismo que está fabricado de Acero A36 donde su esfuerzo máximo es de 482MPa el valor del esfuerzo en la simulación es superior a valor admisible, en este elemento se ubica la mayor concentración de esfuerzos.

La gráfica Esfuerzo vs Tiempo está en la tabla 6-6 en donde nos representa como varía en cada elemento el esfuerzo siguiendo la teoría de Von Mises

Tabla 6-6 Esfuerzos equivalentes a Von Mises del asiento optimizado topológicamente



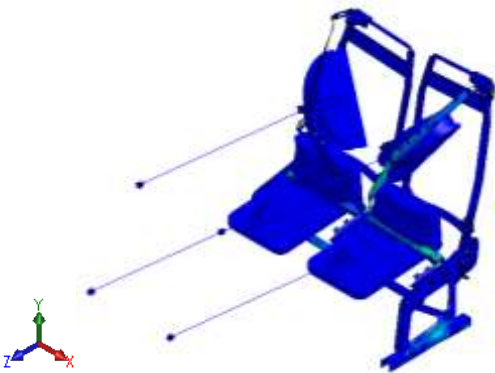
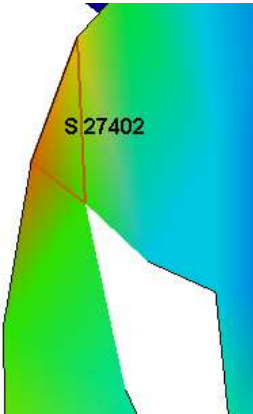
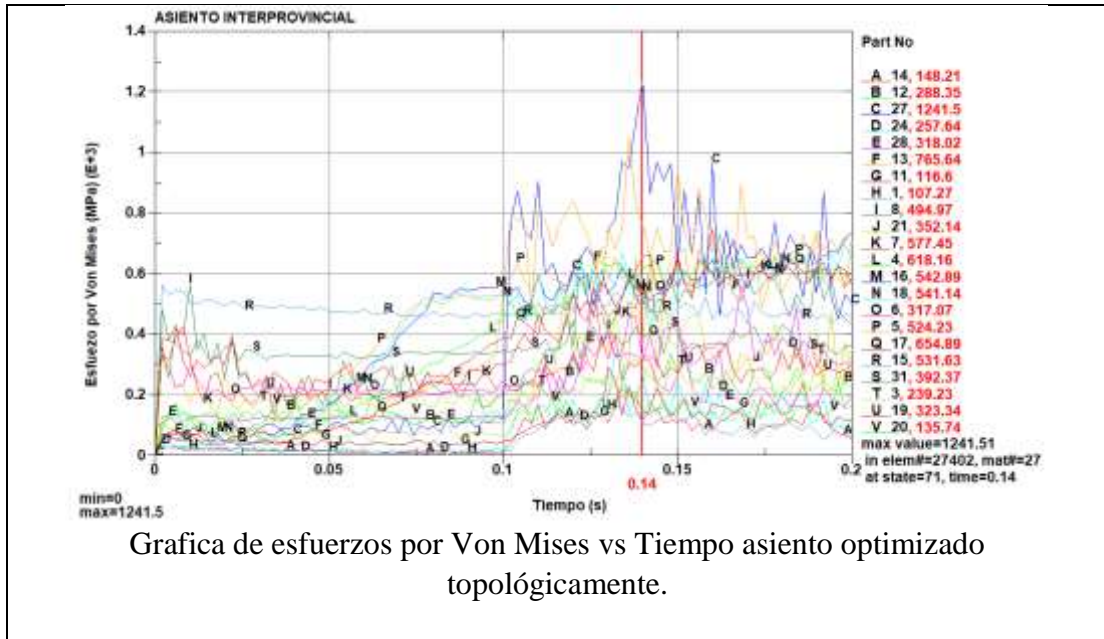
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Esfuerzo por Von Mises Asiento Optimizado Topológicamente	Dibujo N°:	025
Identificación del componente de estudio:		AIOC-025	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	ANSYS ACADEMICO		
RESULTADO:			
RESULTADOS POR VON MISES			
 <p>Esfuerzos equivalentes a Von Mises</p>		 <p>Esfuerzos máximo de Von Mises en el elemento 27402</p>	

Tabla 6-6 Continuación



Gráfica de esfuerzos por Von Mises vs Tiempo asiento optimizado topológicamente.

Simulación de deformaciones plástica

Por medio de las siguientes graficas podemos observar la deformación total que tiene la estructura en un tiempo de 0,2 segundos en donde alcanza su deformación máxima efectiva la misma que se produce en el elemento 7089 el mismo que está ubicado en el soporte lateral de los resortes con un valor de 0.075 siendo inferior al valor máximo del material que es de 0,283.

En la Tabla 6-7 está determinada por las curvas de deformación plástica que van teniendo todas las partes del asiento en un tiempo de 0,2segundos alcanzando sus máximos y mínimos valores.

Tabla 6-7 Deformación plástica asiento optimizado topológicamente




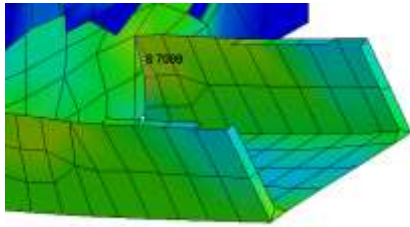
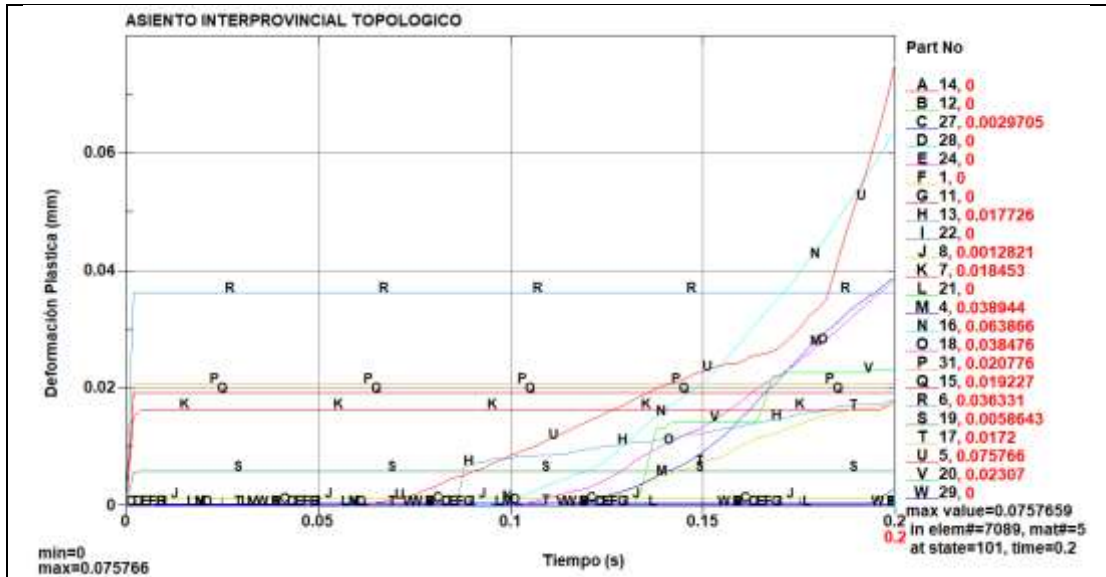
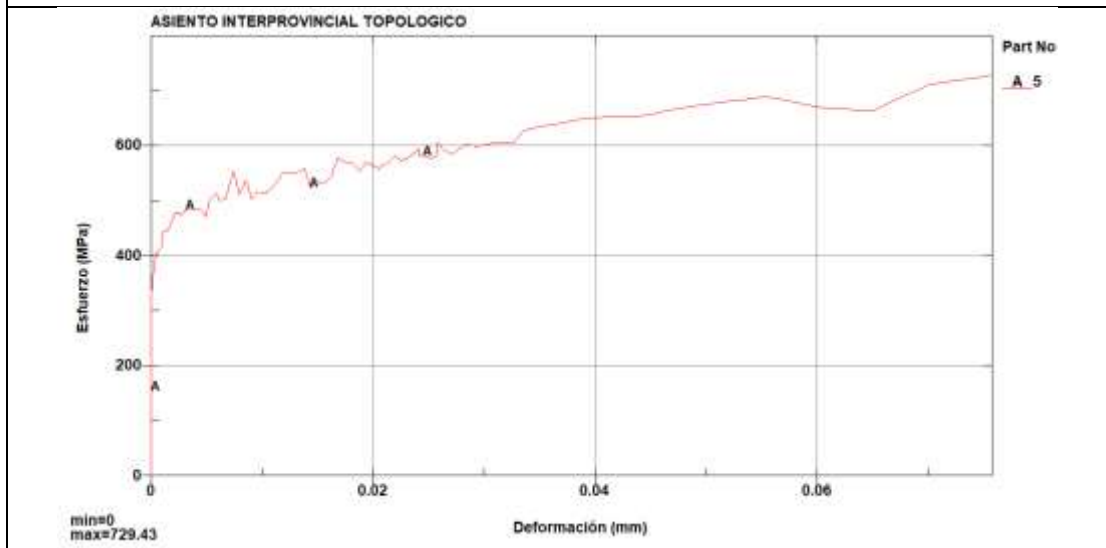
 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 			
Datos Informativos:			
Tipo de estudio:	Deformaciones Plásticas en el asiento optimizado topológicamente	Dibujo N°:	25
Identificación del componente de estudio:		AIOC-025	
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	02/08/2019
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales -FICM	
Realizado por:	Omar Córdova	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE DISEÑO			
Lugar:	Sector Huachi Chico/ Campus Universitario -UTA		
Software	LS-PREPOST		
RESULTADO:			
Deformación Plástica			
 <p>Deformación Plástica asiento optimizado topológicamente</p>		 <p>Elemento 7089 Deformación Plástica Máxima asiento optimizado topológicamente</p>	

Tabla 6-7 Continuación



Deformación Plástica vs Tiempo asiento optimizado topológicamente



Esfuerzo vs Deformación asiento optimizado topológicamente

6.8 Administración

Para poder llegar a realizar este trabajo investigativo los recursos económicos que se gastó, está reflejado en la siguiente tabla, donde se ha considerado la inversión desde el inicio hasta concluir con la presentación del documento impreso.

Tabla 6-8 Gastos económicos realizados

Gastos y recursos humanos			
Concepto	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Búsqueda del asiento	5	20	100
Computadora i5 4 núcleos	1	800	800
Especialización de programas CAE	40	7.5	300
Servicio de Internet	1	100	100
Simulación del asiento	200	2	400
Hojas	2	4	8
Impresión de planos	10	3	30
Copias	500	0.02	10
Anillados	4	2	8
Empastados	3	10	30
Transporte	1	250	250
		subtotal	2036
		10%Gastos extras	203.6
		Total	2239.6

6.9 Previsión de la evaluación

6.9.1 Consumo de combustible

En el consumo de combustible intervienen las fuerzas de resistencia, las fuerzas aerodinámicas estas fuerzas aerodinámicas están basadas en [17].

Resistencia a la rodadura

Esta fuerza se basa en la oposición que sufre el bus para poder movilizarse en ella intervienen los siguientes factores. [17]

$$F_R = KWg \quad (6.1)$$

Donde:

F_R = Fuerza de Rodadura

K = Coeficiente de resistencia a la rodadura

g = aceleración de la gravedad m/s^2

W = Peso Bruto Vehicular (Kg)

Tabla 6-9 Coeficiente de resistencia a la rodadura [17]

SUPERFICIE	p	SUPERFICIE	p
Hormigón defectuoso	0,01	Macadam sinuoso	0,037
Hormigón plano	0,015	Nieve - 5 cm	0,025
Hormigón sinuoso	0,02	Nieve - 10 cm	0,037
Asfalto defectuoso	0,012	Superficie lisa	0,025
Asfalto plano	0,017	Superficie arenosa	0,04
Asfalto sinuoso	0,022	Barro	0,037 + 0,150
Macadam defectuoso (*)	0,015	Arena	0,060 + 0,150
Macadam plano	0,022	Arena suelta	0,160 + 0,300

Resistencia por la pendiente con la vía

Esta fuerza depende del ángulo que forma la pendiente con el plano horizontal sus factores son los siguientes.

$$F_G = Wg\text{Sen}\alpha \quad (6.2)$$

Donde:

A = ángulo que se forma entre la vía y el plano horizontal

g = aceleración de la gravedad m/s^2

W = Peso Bruto Vehicular (Kg)

Potencia del Motor

La potencia del motor que se requiere está basado en vencer las fuerzas que se oponen al movimiento. [17]

$$P_T = (F_A + F_R + F_G)V + P_E \quad (6.3)$$

Donde:

$P_T = \text{Potencia Total (KW)}$

$P_E = \text{Perdida de Potencia} = 6\text{KW}$

Consumo de combustible

Para poder realizar el consumo específico de combustible es importante tener los datos del motor del auto bus en nuestro caso el análisis realizado esta echo de un bus de carrocería Marco polo con chasis de Escania.

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

Donde:

$C_{cd} = \text{basado en el } C_d \text{ (lt/h)}$

$\text{Consumo} = \text{Consumo de Combustible (g/KW * h)}$

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

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

Cálculo del consumo de diésel con los asientos originales

El peso del bus se basa en el peso del chasis, el peso de la carrocería, el peso de las personas y el peso de la carga que transporta.

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

Donde:

W_T = Peso total (Kg)

W_{CH} = Peso del chasis (Kg)

W_C = 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} = Peso de las personas y carga (Kg)

$$W_{PC} = (90 * 44)Kg$$

$$W_{PC} = 3960Kg$$

$$W_T = 5825 + 5900 + 3960$$

$$W_T = 15685Kg$$

Tabla 6-10 Potencia y peso de los chasis para bus [17]

<i>Chasis</i>	<i>Potencia (Hp)</i>	<i>Peso chasis (Kg)</i>	<i>Peso Bruto Vehicular (Kg)</i>
Hino AK	260	4715	15700
Mercedes Benz OF-1730	305	4890	18100
Isuzu LV150	360	5550	16000
Volkswagen 17-210	206	4940	16800
Volkswagen 18-310	303	5290	18000
Scania K310	310	5825	19500
Scania K380	380	6013	19500

El peso total siempre debe ser inferior al peso bruto vehicular, el rango de diferencia debe mantenerse por encima de los 1000kg. El factor del peso influye directamente en el consumo de combustible, desgaste de neumáticos etc.

La velocidad se considera de 90Km/h

$$F_R = (0.022 * 15685 * 9.81)$$

$$F_R = 3385.13(N)$$

$F_G = 0$ se considera un plano recto

$$F_A = 651.49(N) [17]$$

$$v = 25m/s$$

$$P_T = 106.91KW \cong 143.36HP$$

$$\text{Consumo} = 194 \left(\frac{g}{KW * h} \right) [17]$$

$$\rho = 835 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$C_{cd} = 24.83lt/h \cong 6.6gl/h$$

Cálculo del consumo de diésel con los asientos optimizados topológicamente

Aquí se considera la reducción de peso que existe en la estructura del asiento que fue optimizado topológicamente.

El peso de la carrocería fue disminuido 105lb (47.62Kg) por el nuevo modelo de asiento que se desarrolló.

$$W_T = 5825 + 5852 + 3960$$

$$W_T = 15637Kg$$

La velocidad se considera de 90Km/h

$$F_R = (0.022 * 15637 * 9.81)$$

$$F_R = 3374(N)$$

$F_G = 0$ se considera un plano recto

$$F_A = 651.49(N) [17]$$

$$P_T = 106.35KW \cong 142.61HP$$

$$\text{Consumo} = 194 \left(\frac{g}{KW * h} \right) [17]$$

$$\rho = 835 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

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

6.9.2 Análisis económico

El precio del combustible en el país es de 1.03 dólares americanos, con este precio analizaremos el ahorro en un año que se puede hacer al diseñar este asiento optimizado topológicamente.

El peso se redujo en 105lb (47.62Kg) con este peso se procedió a calcular la reducción de combustible que se puede tener el mismo que es de 0.1gl/h.

$$Ahorro = 1.03\$ * 0.1 \frac{gl}{h} * 12 \frac{h}{dia} * 365 \frac{dias}{año}$$

$$Ahorro = 451.14 \frac{\$}{año}$$

Bibliografía

- [1] M. Walber, A. Meira, F. Goedel, E. Alcalá, F. Izquierdo y I. Iturrioz, «Evaluación de la fijación del asiento de un marco de autobús de carretera sometido a impacto frontal,» *SciELO*, vol. 11, n° 9, 2014.
- [2] M. Agustin, «Adaptation of Topologic Optimized Structures,» *Sociedad Mexicana de Ingenieria Mecanica*, vol. 5, n° 4, pp. 415-421, 2016.
- [3] W. Zhong, R. Su, L. Gui y Z. Fan, Interviewees, *Topology and sizing optimisation of integral bus chassis with the use of a cooperative*. [Entrevista]. 7-12 Junio 2015.
- [4] C. Yuce, F. Karpat, N. Yavuz y G. Sendeniz, «A Case Study: Designing for Sustainability and Reliability,» *sustainability*, vol. 6, p. 24, 2014.
- [5] S. Vincze-Pap y Z. Tatai, «Simulaciones de Pruebas de Impacto en Asientos de Aúto buses según la Normativa ECE,» *NHTSA*, pp. 927-931.
- [6] A. Remache, «Estudio de los Anclajes de Asientos de autobus en un Impacto Frontal para Determinar las Deformaciones y Esfuerzos Máximos en la Empresa Milviltech Soluciones,» Ingeniería, Tesis, UTA, Ambato, 2015.
- [7] CEPE, *Reglamento R80*, Ginebra, 2012.
- [8] L. Alcoser y E. Morales, «Diseño y Construcción de los Anclajes de asientos de un Aúto bus Interprovincial Bajo Condiciones de Impacto Frontal y Lateral en la Empresa Metálica Pillapa,» Ingeniería, Tesis, ESPOCH, Riobamba, 2017.
- [9] M. Stadler, «¿Qué es la Topología?,» País Vasco, 2002.
- [10] C. Meza, F. Tamayo y F. Ediguer, «Optimización topológica aplicada al diseño de componentes estructurales mecánicos de peso reducido,» *El Hombre y La Máquina*, n° 46, p. 9, 2015.
- [11] M. Bendsoe y O. Sigmund, *Topology Optimization Theory, Methods, and Applications*, Berlin: Springer, 2004.
- [12] J. Ramirez y F. Gil, «Diseño óptimo de micromecanismos tridimensionales con actuación electrotérmica utilizando optimización topológica y unidades de

- procesamiento gráfico (GPU),» M.A. Tesis, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2013.
- [13] A. Romero y S. Guisti, «Una Metodología para Optimización Topológica,» *Mecánica Computacional*, vol. XXXII, n° 1, pp. 171-189, 2013.
- [14] CEPE, *Reglamento N.- 14*, Ginebra, 2010.
- [15] C. Arroba, «Introducción a modelación en FEM,» de *Modelación de sistemas mecánicos*, Ambato, 2018.
- [16] A. Cubillos, «Introducción al método de elementos finitos,» de *Universidad de Ibagué-Programa de Ingeniería mecánica*, Ibagué, 2007.
- [17] J. Manobanda y C. Silva, «Análisis del comportamiento aerodinámico de autobuses: Modelación CFD y validación con prototipo a escala,» Ingeniería, Tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.
- [18] Y. Kong, S. Abdullah, M. Omar y M. Haris, «Topological and Topographical Optimization,» *Latin American Journal of solids and structures*, p. 18, 2016.
- [19] V. Vazquez y A. Vasquez, «Diseño Conceptual de un Sub-Chasis Automotriz Mediante Optimización Estructural Topológica,» M.A. Tesis, Universidad Autónoma de México, México D.F., 2014.
- [20] R. Badea, A. Fazio y M. Lopez, «Optimización de uniones y estructuras de autobuses modeladas con elementos finitos mediante análisis modales,» de *XIX CONGRESO NACIONAL*, Madrid, 2016.
- [21] J. Pozo, «Propuesta de Procedimientos de análisis y de diseño,» M.A. Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., 2014.
- [22] M. Bendsoe, *Topology Optimization*, Berlin: Springer, 2014.
- [23] F. Astudillo, «Análisis Mediante el Método de Elementos Finitos del Ensayo Estático según la Norma Inen 2708 de la Estructura del Asiento de Transporte Público Interprovincial para Verificar su Conformidad en la Empresa Sistemas de Asientos American,» Ingeniería, Tesis, UTA, Ambato, 2016.
- [24] E. bus, «Ecu Bus,» [En línea]. Available: www.ecuabus.net/chasis%20Bus.html. [Último acceso: 02 Diciembre 2019].

[25] X. Cui, H. Zhang, S. Wang y L. Zhang, «Diseño de carrocerías de automóviles de múltiples materiales livianos utilizando nuevos índices de rendimiento de materiales de vigas de paredes finas para la selección de materiales con consideración de resistencia a impactos, Materiales y Diseño.,» 2011.