



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ATENUADOR DE IMPACTOS PARA UN VEHÍCULO MONOPLAZA FÓRMULA SAE.

**FABIÁN MARCELO BRAVO RODRÍGUEZ.
CRISTIAN MANUEL ALMEIDA HERRERA.**

DIRECTOR: ING. IGNACIO BAYARDO BENAVIDES CEVALLOS, MSC.

IBARRA 2021

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ATENUADOR DE IMPACTOS PARA UN VEHÍCULO MONPLAZA FÓRMULA SAE" presentado por el señor: Bravo Rodríguez Fabián Marcelo y Almeida Herrera Cristian Manuel con número de cédula 100386207-3, 100329334-5 doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 06 días del mes de diciembre del 2021.

Atentamente



Ing. Ignacio Benavides. MSc
DIRECTOR DEL TRABAJO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100386207-3, 100329334-5		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Bravo Rodríguez Fabián Marcelo y Almeida Herrera Cristian Manuel		
DIRECCIÓN:	IBARRA		
EMAIL:	fmbravor@utn.edu.ec	cmalmeidah@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	062535220	TELÉFONO MÓVIL:	0967594341

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN ATENUADOR DE IMPACTOS PARA UN VEHICULO MONOLAZA FORMULA SAE
AUTOR (ES):	Bravo Rodríguez Fabián Marcelo y Almeida Herrera Cristian Manuel
FECHA: DD/MM/AAAA	06/12/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Ignacio Benavides. Msc

2. CONSTANCIAS

Nosotros, **Bravo Rodríguez Fabián Marcelo y Almeida Herrera Cristian Manuel** manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 06 días del mes de diciembre de 2021

LOS AUTORES:

BRAVO RODRÍGUEZ FABIÁN MARCELO

ALMEIDA HERRERA CRISTIAN MAUEL

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico en primer lugar a Dios, a la Virgencita de Guadalupe por todas las bendiciones recibidas en el transcurso de todos estos años, por darme la fortaleza para cumplir mis sueños y para afrontar todos mis problemas y por haberme permitido alcanzar uno de muchos más logros profesionales en mi vida.

A mi amada madre Cecilia Guadalupe y hermano, quien con su amor incondicional supieron apoyarme durante toda mi vida y agradecerles por todo el amor recibido y toda su enseñanza, también dedico con infinito amor, este trabajo de grado a mi esposa Paola y especial mente a mi hijo Ariel Sebastián quien me regala los mejores momentos de mi vida y quien me da fuerzas para no decaer en los momentos difíciles.

FABIÁN MARCELO BRAVO RODRÍGUEZ

El presente trabajo lo dedico a mis padres, Manuel y Esperanza, quienes con su amor y entrega fomentaron en mí valores personales, éticos y profesionales; de la mano también dedico con infinito amor, éste trabajo a mi esposa Anahí y a mis hijos Hade y Dominick, por haber sido ellos quienes me han apoyado de forma incondicional, quienes han velado mis desvelos mientras me he preparado académicamente para lograr conseguir este proyecto profesional, que hoy se transforma en un proyecto de vida, a mi cuñada Diana infinitas gracias por el apoyo desinteresado en este camino ,a mi suegro Marco que con estas palabras me dio fuerza para no decaer “Cuando el árbol es más espinoso es porque mejores frutos trae”. Sin su apoyo y compañía nada de esto sería posible.

Desde lo más noble de mi corazón, dedico mi trabajo de tesis a mi familia por haberme enseñado que el único límite de los sueños es el Cielo, que la dedicación y constancia conquistan sueños como el que hoy estoy cumpliendo para ofrecerles un mejor futuro.

CRISTIAN MANUEL ALMEIDA HERRERA

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento especial a la Universidad Técnica del Norte, a todos los docentes, quienes pudieron compartir todos sus conocimientos y nos formaron día tras día con su enseñanza.

De igual manera un agradecimiento muy especial al Director de la Carrera, Ingeniero Ignacio Benavides, quien nos guió en el transcurso de mi trabajo de grado.

Por último, quiero agradecer a todas las personas, amigos, docentes, y cuerpo de trabajo de la universidad técnica del norte, por todo su apoyo incondicional, y como no agradecer a Dios, por su bondad he podido cumplir cada uno de mis sueños y metas y sin su bendición ninguno de mis sueños se podría haber hecho realidad.

FABIÁN MARCELO BRAVO RODRÍGUEZ

Expreso mi humilde agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte institución que, a través de su cuerpo docente, ha permitido plasmar un sueño anhelado de poder ser profesional. De manera muy especial al Director de Carrera Ingeniero Ignacio Benavides, quien con su contingente profesional y calidad humana aportó en cada objetivo del presente trabajo, ha sido una arista muy importante para el desempeño académico que he venido fomentando.

Cómo no agradecer a Dios, si su gracia y bondad ha permitido que cumpla cada reto en mi vida, reconociendo siempre que es él, el hacedor del universo y que sin su bendición ningún sueño profesional sería una realidad.

CRISTIAN MANUEL ALMEIDA HERRERA

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	17
ABSTRACT	18
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y MARCO TEÓRICO. 19	
1.1 . ANTECEDENTES.	19
1.2 . PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	20
1.3 . OBJETIVOS.	20
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.	20
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	21
1.4 . JUSTIFICACIÓN.	21
1.5 MARCO TEÓRICO.	22
1.6 HISTORIAL FÓRMULA SAE.	23
1.7 ORIGEN DE LA FÓRMULA SAE.	24
1.7.1. ACTUALIDAD FÓRMULA SAE.	24
1.7.2. AVANCES TECNOLÓGICOS.	25
1.7.3. TIPOS DIFERENTES.	25
1.8. NORMATIVAS.	26
1.8.1. NORMATIVA FSAE.	26
1.9. NORMATIVA FSG.	32
CAPITULO II. MATERIALES. 33	
2.1 MATERIALES.	33
2.1.1. MATERIALES ANÁLISIS.	33
2.1.2. ESTÁNDAR DE LA FSAE.	34
2.1.3. FIBRA DE CARBÓN.	35
2.1.3.1. Diferentes tipos de fibra de carbono.	35
2.1.4. FIBRA DE VIDRIO.	36
2.1.4.1. Tipos de fibra de vidrio.	37
2.1.5. ALUMINIO.	37
2.1.6. TIPOS DE ALUMINIO.	37
2.1.7. POLICARBONATO.	38
2.1.8. TUBOS DE ALUMINIO.	39
2.1.9. POLIURETANO.	39

2.1.10. POLIESTIRENO EXPANDIDO.	40
2.1.11. ALUMINIO EN PANEL DE ABEJAS.	41
2.1.11.1. Tipos de panel de abejas de aluminio.	41
2.2. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES.	41
2.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE CARBONO.	41
2.2.3. CARACTERÍSTICA DE LA FIBRA DE VIDRIO.	42
2.2.4. CARACTERÍSTICAS DEL ALUMINIO.	42
2.2.5. CARACTERÍSTICAS DE POLICARBONATO.	43
2.2.6. CARACTERÍSTICAS DEL POLIURETANO.	43
2.3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.	44
2.3.1. PROPIEDADES DE LA FIBRA DE CARBONO.	44
2.3.2. PROPIEDADES DE LA FIBRA DE VIDRIO.	45
2.3.3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL POLICARBONATO.	45
2.2.4. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL POLICARBONATO.	46
2.3.5. PROPIEDADES DEL POLIURETANO.	46
2.3.6. PROPIEDADES FÍSICAS DEL POLIURETANO.	47
2.3.7. APLICACIONES DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO.	47
2.3.8. PROPIEDADES FÍSICAS DEL POLIURETANO.	48
2.3.9. PROPIEDADES ALUMINIO EN PANAL DE ABEJA (HONEYCOMB).	48
2.4. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LA MADERA DE BALSA.	49
CAPITULO III. RESULTADOS.	50
3.1. INTRODUCCIÓN.	50
3.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL ATENUADOR.	50
3.1.2 CONFIGURACIÓN VEHICULAR.	51
3.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES QUE DEBE CUMPLIR EL ATENUADOR DE IMPACTO.	51
3.3. DISEÑO DEL FÓRMULA STUDENT.	52
3.3.1. PRE-PROCESAMIENTO DEL ANÁLISIS.	53
3.3.2. MALLADO DE ELEMENTOS.	54
3.3.3. MATERIALES EMPLEADOS EN EL ANÁLISIS.	56
3.3.4. PESO DE LOS COMPONENTES.	58
3.3.5. CONDICIONES DE FRONTERA DEL ANÁLISIS.	59
3.3.6. DISEÑO DE LOS ATENUADORES.	59
3.4. DISEÑOS.	63
3.4.1. DISEÑO 1.	63
3.4.2. DISEÑO 2.	64

3.4.3. DISEÑO 3.	65
3.4.5. DISEÑO 4.	66
3.5. ANÁLISIS DE IMPACTO DE LOS ATENUADORES.	67
3.5.1. ANÁLISIS DEL ATENUADOR 1.....	68
3.4.2. ANÁLISIS DEL ATENUADOR 2.....	69
3.4.3. ANÁLISIS DEL ATENUADOR 3.....	71
3.4.4. ANÁLISIS DEL ATENUADOR 4.....	72
3.4.5. ANÁLISIS DEL FÓRMULA STUDENT CON EL ATENUADOR.	74
3.4.6. ANÁLISIS DE LAS ACELERACIONES EN MANIQUÍ HÍBRIDO 3.....	76
3.4.7. DESPLAZAMIENTO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DEL ATENUADOR.....	78
3.4.7.1. Energías desprendidas por el impacto sin atenuador.....	80
3.4.7.2. Energías desprendidas por el impacto con atenuador.	80
3.4.7.3. RESULTADOS DE IMPACTO FRONTAL	81
3.5. CONSTRUCCIÓN	81
3.5.1 CONSTRUCCIÓN DE LA ROLADORA	81
3.5.2. CONSTRUCCIÓN DEL ATENUADOR DE ALUMINIO.....	82
3.6. INTRODUCCIÓN	85
3.6.1. COSTO DIRECTOS.....	85
3.6.2. COSTOS INDIRECTOS	86
3.6.3. ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS	86
3.6.3.1. Costo de los materiales.....	86
3.6.3.2. Costos de utilización de maquinaria.....	87
3.6.4. COSTO DE MONTAJE	87
3.6.5. COSTO DIRECTO TOTAL	88
3.6.6. ANÁLISIS DE COSTOS INDIRECTOS.....	88
3.6.6.1 Costo de materiales indirectos	88
3.6.7 COSTO DE IMPROVISTO.....	88
3.6.8 COSTO INDIRECTO TOTAL.....	89
3.6.9. COSTO TOTAL	89
3.7. BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL ATENUADOR DE IMPACTOS PARA UN	
VEHÍCULO MONOPLAZA FÓRMULA SAE.....	89
3.7.1. BENEFICIOS TANGIBLES	89
3.7.2. BENEFICIOS INTANGIBLES	90
CAPITULO IV	91
4.1. CONCLUSIONES	91
4.2. RECOMENDACIONES	92

BIBLIOGRAFÍA.....	93
-------------------	----

ANEXOS 96

CONSTRUCCIÓN DEL ATENUADOR DE IMPACTOS.	96
--	----

PROCESO DE SOLDADURA DEL ATENUADOR DE IMPACTOS	98
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO II

Núm.	PÁGINA
Figura 2.1 Atenuador Dow Impaxx 700.....	25
Figura 2.2 Nido de abeja.	26
Figura 2.3 Atenuador de impactos.....	27
Figura 2.4 Atenuador de impacto.	32
Figura 2.5 Requerimiento del material para el atenuador de impactos.	33
Figura 2.6 Parámetros.....	34
Figura 2.7 Estándar impacto atenuador Diseño.....	34
Figura 2.8 Fibra de carbono.....	35
Figura 2.9 Tipos de fibra de carbono.....	36
Figura 2.10 Fibra de vidrio.....	36
Figura 2.11 Tipos de fibra de vidrio.....	37
Figura 2.12 Tipos de aluminio.....	38
Figura 2.13 Aplicaciones del policarbonato.....	38
Figura 2.14 Tubos de aluminio.....	39
Figura 2.15 Poliuretano.	39
Figura 2.16 Poliestireno expandido.....	40
Figura 2.17 Aplicaciones del poliestireno expandido.	40
Figura 2.18 Tipos de panel de abejas.	41
Figura 2.19 Características de la fibra de carbono.	42
Figura 2.20 Características de la fibra de vidrio.....	42
Figura 2.21 Características del aluminio.	43
Figura 2.22 Características de policarbonato.	43
Figura 2.23 Características del poliuretano.	44
Figura 2.24 Propiedades del material del poliuretano.....	46
Figura 2.25 Propiedades del poliuretano.....	46
Figura 2.26 Aplicaciones del poliestireno expandido.	47
Figura 2.27 Propiedades de aluminio en panal de abejas (Honeycomb).....	48

CAPITULO III

Núm.	PÁGINA
Figura 3.1 Características del atenuador de impactos.	50
Figura 3.2 Restricciones en el Vehículo.	51
Figura 3.3 Modelado del vehículo 3D.	52
Figura 3.4 Dimensiones del Fórmula Student.	52
Figura 3.5 Dimensiones del maniquí híbrido III.	53
Figura 3.6 Condiciones de análisis.	53
Figura 3.7 Mallado de los elementos. Vista Isométrica.	54
Figura 3.8 Mallado de los elementos. Vista Lateral.	54
Figura 3.9 Control de calidad de los elementos según los factores de: Skewness, Jacobian, Warpaje.	55
Figura 3.10 Componentes del Fórmula Student.	56
Figura 3.11 Curva Esfuerzo-Deformación del Acero ASTM A500.	56
Figura 3.12 Curva Esfuerzo-Deformación del Aluminio.	57
Figura 3.13 Peso de Fórmula Student con maniquí.	58
Figura 3.14 Peso del maniquí.	58
Figura 3.15 Centro de gravedad de Fórmula Student.	59
Figura 3.16 Simulación de impacto contra muro a 7 m/s sin atenuador a 0,05 segundos. .	60
Figura 3.17 Simulación de impacto contra muro a 7 m/s sin atenuador a 0,075 segundos.	60
Figura 3.18 Simulación de impacto contra muro a 7 m/s sin atenuador a 0,1 segundos.	61
Figura 3.19 Impacto frontal a 0.05 segundos. Esfuerzo máximo es de 3.36×10^2 MPa.	61
Figura 3.20 Impacto frontal a 0.075 segundos. Esfuerzo máximo es de 3.22×10^2 MPa.	62
Figura 3.21 Impacto frontal a 0.1 segundos. Esfuerzo máximo es de 3.21×10^2 MPa.	62
Figura 3.22 Esquema de la fuerza de impacto y dirección del vehículo en Atenuador 1. .	63
Figura 3.23 Diseño del atenuador 1.	64
Figura 3.25 Dimensiones del atenuador 2.	65
Figura 3.26 Dimensiones de la estructura interna del atenuador 2.	65
Figura 3.27 Esquema de fuerza de impacto y dirección del vehículo en Atenuador 3.	66
Figura 3.28 Dimensiones del Atenuador 3.	66
Figura 3.29 Esquema de fuerza de impacto y dirección del vehículo en Atenuador 4.	67

Figura 3.30	Impacto frontal del atenuador 1 a 0 segundos.....	68
Figura 3.31	Impacto frontal del atenuador 1 a 0.05 segundos.....	68
Figura 3.32	Esfuerzo de Von Misses del atenuador 1.....	69
Figura 3.33	Impacto frontal del atenuador 2 a 0 segundos.....	69
Figura 3.34	Impacto frontal del atenuador 2 a 0.05 segundos.....	70
Figura 3.35	Esfuerzo de Von Misses del atenuador 2.....	70
Figura 3.36	Impacto frontal del atenuador 3 a 0 segundos.....	71
Figura 3.37	Impacto frontal del atenuador 3 a 0.05 segundos.....	71
Figura 3.38	Esfuerzo de Von Misses del atenuador 3.....	72
Figura 3.39	Impacto frontal del atenuador 4 a 0 segundos.....	72
Figura 3.40	Impacto frontal del atenuador 4 a 0.05 segundos.....	73
Figura 3.41	Esfuerzo de Von Misses del atenuador 4.....	73
Figura 3.42	Simulación de Fórmula Student con atenuador 4 a 0.05 segundos.....	74
Figura 3.43	Simulación de Fórmula Student con atenuador 4 a 0.075 segundos.....	75
Figura 3.44	Simulación de Fórmula Student con atenuador 4 a 0.1 segundos.....	75
Figura 3.45	Análisis de los brazos durante el impacto.....	77
Figura 3.46	Creación Roladora.	82
Figura 3.47	Creación del espiral.....	83
Figura 3.48	Medición del paso de 5mm.	83
Figura 3.49	Unión mediante soldadura.	84
Figura 3.50	Atenuador de impactos finalizado.....	84

ÍNDICE DE TABLA

CAPITULO II

Núm.	PÁGINA
Tabla 2.1 Propiedades físicas de la fibra de carbono.....	44
Tabla 2.2 Propiedades físicas de la fibra de vidrio.....	45
Tabla 2.3 Propiedades físicas del policarbonato.....	45
Tabla 2.4 Propiedades físicas del poliuretano.	47
Tabla 2.5 Propiedades físicas del poliuretano.	48
Tabla 2.6 Propiedades físicas de la balsa.....	49
Tabla 2.7 Propiedades Mecánicas.	49

CAPITULO III

Núm.	PÁGINA
Tabla 3.1 Caracterización del material.	57
Tabla 3.2 Deformaciones de los atenuadores.	74
Tabla 3.3 Comparación de aceleraciones en la Pelvis.....	76
Tabla 3.4 Comparación de aceleraciones en la Cabeza.....	76
Tabla 3.5 Comparación de las aceleraciones en los Brazos.	77
Tabla 3.6 Comparación de las aceleraciones en las Piernas.....	78
Tabla 3.7 Desplazamiento de la estructura soporte sin atenuador.....	78
Tabla 3.8 Desplazamiento de la estructura soporte con atenuador.....	78
Tabla 3.9 Comparación de desplazamientos de la estructura soporte.	79
Tabla 3.10 Energías en impacto sin atenuador.	80
Tabla 3.11 Energías en impacto con atenuador.	80
Tabla 3.12 Resultados de impacto fuerzas Gs.....	81

CAPITULO IV

Núm.	PÁGINA
Tabla 4.1 Costo de los Materiales.	86
Tabla 4.2 Costo de Maquinaria.....	87
Tabla 4.3 Costo de montaje.	87

Tabla 4.4 Costo directo total.....	88
Tabla 4.5 Costo de imprevisto.....	88
Tabla 4.6 Costo indirecto Total.	89
Tabla 4.7 Costo total.....	89

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos

Figura 0.1 Colocación de plancha de aluminio de 1.5 mm.	96
Figura 0.2 Deformación de la plancha de aluminio para dar el molde de espiral.	96
Figura 0.3 Intentos de atenuadores realizados y atenuador terminado.....	97
Figura 0.4 Atenuador terminado realizado el espiral.	97
Figura 0.5 Unión por proceso de soldadura de aluminio.....	98
Figura 0.6 Primer unión de soldadura.	98
Figura 0.7 Proceso de soldadura total.	99
Figura 0.8 Atenuador terminado con su proceso de soldadura.	99

RESUMEN

La presente tesis de grado tiene como objetivo el diseño y construcción de un atenuador de impactos para un vehículo monoplaza para fórmula student, con la finalidad de absorber la mayor cantidad de energía en el momento de impacto o colisión y minimizar los daños del vehículo y especialmente del conductor.

Para poder realizar la construcción es necesario tener en cuenta el material, sus características, físicas como mecánicas, teniendo en cuenta el requerimiento dado por la normativa SAE.

En primer lugar, se hace primordial la utilización de un software especializado para simulaciones de impacto, el mismo que sirve para obtener resultados tanto estáticos como dinámicos, por lo tanto, se elegirá cuatro diseños.

Posteriormente del análisis de resultados en el software, los diseños propuestos y la selección del material más adecuado, se procede a verificar las pruebas de impacto en el programa LS- PrePost, con el fin de probar su comportamiento al momento de una colisión.

Se realiza el análisis de resultados obtenidos con el software, con lo cual se verifica el comportamiento de cada uno de ellos. Se procede a elegir uno de los cuatro atenuadores que mejor resultado brinde tanto en la absorción de energía y deformación.

Se realiza un estudio del costo real del atenuador, considerando los factores que incluyen al momento de la construcción y teniendo en cuenta el reglamento de la fórmula SAE.

Palabras Claves: Atenuador de impactos, software LS- PrePost, validación, ensayos, propiedades del material, energía absorbida.

ABSTRACT

The objective of this degree thesis is the design and construction of an impact attenuator for a single-seater vehicle for fórmula student, in order to absorb the largest amount of energy at the moment of impact or collision and minimize damage to the vehicle and special driver's mind.

In order to carry out the construction, it is necessary to take into account the material, its characteristics, both physical and mechanical, taking into account the requirement given by the SAE regulations.

In the first place, the use of specialized software for impact simulations is essential, the same one that serves to obtain both static and dynamic results, therefore, four designs will be chosen.

After analyzing the results in the software, the proposed designs and the selection of the most suitable material, the impact tests are verified in the LS-PrePost program, in order to test their behavior at the time of a collision.

The analysis of results obtained with the software is carried out, thereby verifying the behavior of each one of them. We proceed to choose one of the four attenuators that best provides both energy absorption and deformation.

A study of the real cost of the attenuator is carried out, considering the factors included at the time of construction and taking into account the regulation of the SAE fórmula.

Keywords: Shock attenuator, LS-PrePost software, validation, tests, material properties, absorbed energy.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y MARCO TEÓRICO.

1.1. Antecedentes.

Los atenuadores de impacto han salvado vidas, desde el año 1970, más de 12.000 vidas en las carreteras norteamericanas, a mediados del siglo XX, la industria del automóvil en los Estados Unidos permitía fabricar 24.000 vehículos al día, con 50 millones registrados los constructores de carreteras tuvieron que adaptarlas al creciente tráfico (JUAREZ, 1991). Los atenuadores nos han ayudado, pero con el incremento de vehículos es necesario mejorar las carreteras con la implementación de los atenuadores de impactos en las vías, la iniciativa de organismos públicos comenzó en España y trata de elementos de protección que evitan que el vehículo fuera de control choque contra objetos, ya que había muchos accidentes y los constructores de carreteras tuvieron que adaptarse al crecimiento del tráfico.

Las autoridades se vieron obligadas a mejorar paulatinamente las carreteras para proporcionar un sistema de comunicación y transporte más seguro, los atenuadores de impactos son elementos de protección que evitan que los vehículos fuera de control choquen contra objetos fijos instalados en la carretera (JUAREZ, 1991). Para poder reducir el porcentaje de accidentes se empezaron a desarrollar a partir de los años 70 los primeros atenuadores de impacto, los sistemas más antiguos se creaban aplicando el concepto de energía de vehículo en movimiento sobre la masa expandible y está normalmente eran hechos de contenedores rellenos de arena que carecían de capacidad de redirección, posteriormente se llevaron a cabo creaciones más avanzadas bajo el principio de la absorción de energía cinética.

En el año de de 1905 se funda la Society of Automobile Engineers con 30 miembros incluyendo a Henry Ford, así como en el año de 1906 se lleva la primera reunión, en el año 1916 la sociedad cambia de nombre a Society of Automotive Engineers (A.C., 2016). En el año de 1916 también comienza a crear normas para la industria aeronáutica y en el año 1976 se va a llevar la primera competencia miiibaja.

Desde el año 1981, en Michigan, E.E.U.U, se realiza anualmente una competencia de diseño y construcción de carros tipo fórmula, de acuerdo con las reglas y lineamientos de la Society of Automotive Engineers (SAE), esta competencia se realizaba con la participación de 140 prestigiosas universidades de los 5 continentes, y está conformada por cuatro pruebas dinámicas y tres estáticas todas estas son puntuables además de cuatro de seguridad, estas no son puntuables que son los requisitos fundamentales para poder llevar a cabo las pruebas dinámicas (Cols, Balbás, Urrea, & Travededo, 2013).

La fórmula Student desafía a todos los miembros de los equipos que van a competir, con una experiencia en la que tienen que construir un coche teniendo en cuenta aspectos económicos en la industria automotriz, y este vehículo debe de tener buenas características, como aceleración, freno y control y todo esto debe tener un precio razonable y con una buena fiabilidad.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Se realizará la creación de un atenuador de impacto con las normativas establecidas impuesta para la fórmula SAE (ACTUAL). Ya que en la fórmula student que se tiene en la Universidad Técnica del Norte no cuenta con un atenuador de impactos, requisito obligatorio para poder competir en esta clase de eventos, como también un problema es la localización de los materiales para poder hacer las prácticas de impacto, como encontrar estos para la creación de prototipo para las pruebas como encontrar algún material que tenga el mismo peso y la misma velocidad. Posterior se realizará los parámetros a los cuales estará sometida para lo cual se va a utilizar un software de diseño y simulación, luego proceder a poner el atenuador de impactos en la estructura que ya cuenta la universidad o si es necesario poder modificar la estructura para tener una excelente implementación del atenuador de impacto en el vehículo fórmula student de la Universidad Técnica del Norte.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

Diseñar y construir un atenuador de impactos para un vehículo monoplaza fórmula SAE.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Diseñar y simular el atenuador de impacto con software específico de diseño.
- Realizar y verificar las pruebas de impacto del atenuador conforme a la normativa SAE.
- Implementar el atenuador de impactos en el vehículo monoplaza de fórmula SAE.

1.4. Justificación.

Se realizará el presente proyecto del diseño y construcción del atenuador de impacto para disminuir el daño al vehículo y especialmente posibles lesiones graves al piloto a la hora del impacto, como también tener la mejor absorción de energía a la hora del impacto. Gracias al principio de absorción de energía obtenida por el mismo y se disminuirá el riesgo de muerte, lesiones graves, lesiones menores al piloto y disminución del costo estructural del vehículo.

El atenuador de impactos se diseña de acuerdo a la reglamentación de dichas competiciones, teniendo como objetivo conseguir disipar una cantidad energía en caso de impacto (Pagola Correa, 2015). Además, es un elemento de seguridad que por normativa ha de estar en la parte frontal de monoplaza que quiera participar en cualquiera de las competencias organizadas por la fórmula SAE. El atenuador de impacto tiene una gran importancia ya que es elemento que, en caso de impacto, absorberá la energía de la colisión evitando que el vehículo y en especial el piloto sufran daños significativos (Castro Fernández, 2016). También se buscan otras características en el atenuador de impacto contemplados en el reglamento de la competencia, este debe realizarse ligero para que se pueda mejorar significativamente el rendimiento del vehículo como también tener un bajo precio que sea accesible al presupuesto del equipo que está elaborando el atenuador de impacto como también cierta facilidad de la fabricación y su montaje.

Para poder realizar la construcción es necesario conocer el material que vamos a utilizar y sus características, con esto podremos elegir el más adecuado que tenga todos los requerimientos dados en las normas de la fórmula SAE. Y para su elaboración del diseño primeramente vamos a utilizar un software de simulaciones, lo que nos servirán para obtener

los resultados con análisis tanto dinámicos como estáticos ya que el software ANSYS LSDYNA es especializado para ver el comportamiento biomecánico en colisiones para maniqués de pruebas de impacto utilizado para el desarrollo de prototipos automotrices, por esta razón se utilizó este software para el desarrollo de la investigación.

Después se procederá analizar los resultados obtenidos en el planteamiento computacional como también los obtenidos en las pruebas de impacto con el software, con esto verificaremos el comportamiento de cada uno de ellos. Se elegirá uno de los tres atenuadores que mejor resultado brinde tanto en la absorción de energía, desplazamiento, deformación y normas exigidas de la fórmula SAE.

Se realizará un estudio de costos reales del atenuador de impacto, considerando todos los factores que involucran su construcción.

1.5 MARCO TEÓRICO.

Desde el año 1981, en Michigan, E.E.U.U, se realiza anualmente una competencia de diseño y construcción de carros tipo fórmula, de acuerdo con las reglas y lineamientos de la Society of Automotive Engineers (SAE), con la participación de 140 prestigiosas universidades de los cinco continentes, la competencia de Fórmula SAE® está conformada por 4 pruebas dinámicas y 3 estáticas (todas puntuables), además de 4 de seguridad no puntuables que son requisito fundamental para poder llevar a cabo las dinámicas (BOLÍVAR, 2013).

La Fórmula Student desafía a los miembros de los equipos a dar un paso más en su educación hacia una experiencia en la que tienen que construir un coche teniendo en cuenta aspectos económicos de la industria del automóvil, los equipos asumen el papel de un fabricante que desarrolla un prototipo y lo evalúa para su producción, el monoplaza debe tener buenas características en cuanto a conducción, como aceleración, freno y control, debe ofrecerse a un precio razonable y con una buena fiabilidad, además, también se tienen en cuenta otros factores como estética, confort y el uso de componentes estándar y fácilmente disponibles (Castro Fernández, 2016).

El desafío al que se enfrentan los equipos es conseguir un paquete completo que consista en un coche de carreras bien construido así como un plan de ventas que cumpla los criterios de esta competición, la decisión es tomada por un jurado de expertos en el mundo de la automoción que juzgará el diseño coche y el plan de costos y ventas de cada equipo, el resto de la valoración se realizará en la pista, donde los estudiantes mostrarán a través de pruebas dinámicas cuál es el comportamiento de su monopla en un entorno real (Castro Fernández, 2016).

El atenuador de impactos prototipo debe proporcionar una desaceleración media no más de 20 m/s^2 , durante un impacto y a su vez no debe exceder de los 40 m/s^2 en cualquier punto de su estructura, las condiciones necesarias para realizar las pruebas de impacto es que el vehículo debe circular a 7 m/s con una masa total de 300 kg .

ANSYS Inc. Fundada en 1970, desarrollada y presta soporte a la ingeniería con programas de elemento finitos destinados a la simulación y ofrece soluciones para resolver análisis estáticos lineales (EYZAGUIRRE, 2010). Sucesiva mente se ha ido introduciendo módulos con los que este programa es capaz de resolver además problemas dinámicos no lineales. Los principales módulos de ANSYS son: Multifísico, Mecánico, estructural, profesional, Emag (simulaciones Electromagnéticas), Paramesh (mallas adaptivas), LSDYNA.

ANSYS LS-DYNA surge de la colaboración entre ANSYS, Inc, y Livermore Software Technology Corporation (LSTC), introducido en 1996 las herramientas de LSDYNA para resolver problemas dinámicos complejos de diseño. Incluye, elementos explícitos 2D y 3D, análisis automático de contactos, decenas de modelos de material y ecuaciones constitutivas, es utilizado para estudiar fenómenos que ocurren a elevada velocidad como pueden ser los impactos, colisiones o procesos que sufren grandes deformaciones, estampado o conformado (SALIBA, 2010).

1.6 HISTORIAL FÓRMULA SAE.

En 1981 la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE por sus siglas en inglés) creó en Estados Unidos la competencia de Fórmula SAE o Fórmula Student, aquí compiten

estudiantes de todo el mundo cada Año, desde 1988 SAE e IMechE (Institución de Ingenieros Mecánicos) albergaron en Inglaterra una competición anual de Fórmula Student, compuesta por unos 70 equipos internacionales (Castro Fernández, 2016).

Esta fórmula SAE desafía a todos los equipos a una experiencia en la que tienen que construir un coche teniendo en cuenta: Económicos de la industria. Este desafío de todos los equipos es construir un coche de carreras bien construido, así como que cumpla la competición y la decisión va ser tomada por un jurado de expertos de todo el mundo y en diseño y procedimiento de costo, el resto se valora en la pista; cada equipo diseña, fabrica y prueba su prototipo basado en las normas actuales SAE.

1.7 ORIGEN DE LA FÓRMULA SAE.

El origen de esta competición está en 1979 cuando Mark Marshek, un docente de la Universidad de Houston, contactara con el Departamento de Relaciones Educativas de la SAE un año antes, la intención de la carrera era la construir un tipo de vehículo entre los estudiantes, un similar a un Car-Cross, pero esta competición limita mucho (Tecnun, 2016).

La intención era de construir un tipo de vehículo entre todos los estudiantes como similar Car-Cross. Pero esta competencia limitaba mucho la libertad porque el motor lo daba esa organización sin posibilidad de modificarlo. En el año de 1981 que se organizó en la Universidad de Texas en Austin la primera carrera o edición de fórmula SAE.

1.7.1. ACTUALIDAD FÓRMULA SAE.

El programa de International Fórmula SAE es un concurso de diseño de ingeniería para estudiantes de grado y posgrado el cual ofrece a los participantes la oportunidad de mejorar sus habilidades de diseño de ingeniería y gestión de proyectos mediante la aplicación de las teorías aprendidas en el aula en una competición exigente (INTERNACIONAL, 2016).

La importancia hoy en día es desarrollar y construir un coche con un solo asiento para correr un fin de semana con el mejor paquete global de diseño, construcción, rendimiento y costo. La Fórmula SAE promueve carreras y la excelencia en ingeniería ya que abarca todos

estos aspectos de esta industria automotriz que incluye diseño, fabricación, pruebas, desarrollo, comercialización, administración y finanzas. Hoy en día en el 2016 la competencia que es más grande y larga es Michigan.

1.7.2. AVANCES TECNOLÓGICOS.

Este atenuador de impactos proporcionado por la FSAE está fabricado como se especifica a partir de Dow Impaxx 700, una espuma con alto nivel de absorción de energía, está formado de tres bloques de espuma pegado entre sí para que no se produzca deslizamientos entre ellos (Castro Fernández, 2016).

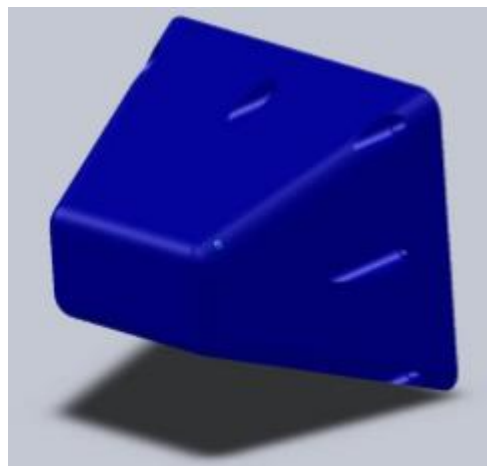


Figura 2.1 Atenuador Dow Impaxx 700.
(Castro Fernández, 2016)

En este caso los equipos que quieran utilizar este diseño de Atenuador de impactos no deberán realizar ninguna prueba o ensayo pues está ya tiene la certificación que cumple los requisitos exigidos. También el precio por unidad es de 160 dólares y el peso es de 700 gramos. Además de la falta de diseño, así como también el inconveniente que el Bulkhead debe tener unas dimensiones concretas o si no toca soldar unos tubos como esta en la normativa T3.20.8 y T3.20.9.

1.7.3. TIPOS DIFERENTES.

Existen diversos tipos de atenuadores en el parque automovilístico, la organización de Fórmula SAE propone utilizar el “Standard Impact Attenuator” para los coches que participen en la competición sin embargo, desde UPM Racing hemos optado por fabricar

nuestro propio diseño desde hace varios años, el año pasado comenzamos a emplear honeycomb (nido de abeja) de aluminio, para lograr mayor complacencia y ahorro en peso, además de mejorar las prestaciones estructurales del modelo Standard (Valdivia Martínez, 2016).



Figura 2.2 Nido de abeja.
(PORTAFAB, 2017)

1.8. NORMATIVAS.

La normativa de la FSAE, es un documento en el que constan los aspectos tanto técnicos como administrativos que rigen la competencia. Para poder participar en estos eventos organizados por este organismo se han de cumplir todas las normas descritas en ellas.

Además, algunas de las competencias tienen sus propias reglas o normativas que tienen pequeños cambios con las normas generales de la FSAE. En este caso particular, la competencia alemana (FSG) tiene una normativa específica en la que se detalla ligeramente modificaciones relativas al atenuador de impactos.

1.8.1. NORMATIVA FSAE.

La normativa de la fórmula SAE, detalla en sus documentos los aspectos tanto técnicos como administrativos que rigen la competición. Para poder participar en los eventos organizados por este organismo se han de cumplir todas las normas descritas.

T3.2 Requerimientos generales.

Aparte de otros requerimientos, la estructura del vehículo debe incluir dos (roll hoops) con soportes, un (Bulkhead) frontal con un sistema de soporte así como “Atenuador de impactos”, y una estructura lateral de impactos (Rules F. S., 2015).

T3.3 Definiciones

1. Main Hoop, una barra doblada en la zona o junto detrás del torso del piloto.
2. Front Hoop, una barra doblada situada en la zona sobre las piernas del piloto, en proximidad al volante.
3. Roll Hoops, Main Hoop Y Front Hoop son considerados roll hoops.
4. Front Bulkhead, una estructura plana que define el plano frontal de la estructura principal del chasis y cuya función es proporcionar protección para las piernas del piloto.
5. Atenuador de impactos, un dispositivo deformable, que absorbe energía y está situado delante del Front Bulkhead.
6. Side Atenuador de impactos Zone, área lateral del coche que se extiende desde la parte superior del suelo del coche hasta 350 mm sobre el suelo y que va desde el Front Hoop al Main Hoop.

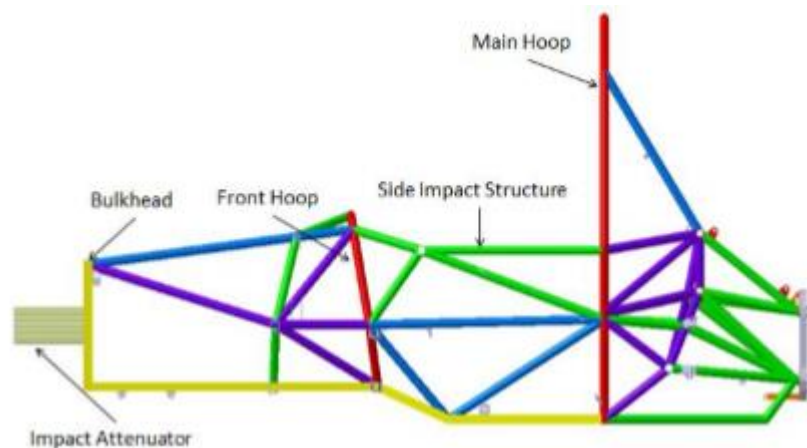


Figura 2.3 Atenuador de impactos.
(Castro Fernández, 2016)

T3.20 Atenuador de impactos (IA).

T3.20.1 Delante del Front Bulkhead debe haber un Atenuador de Impactos que absorba energía.

T3.20.2 El Atenuador de Impactos debe:

Estar instalado delante del Front Bulkhead.

- a. Tener al menos 200 mm de largo con esta longitud orientada a lo largo del eje delantero/trasero del chasis.
- b. Tener al menos 100 mm de alto, 160 mm de ancho para una distancia mínima de 200 mm delante del Front Bulkhead.
- c. No penetrar el Front Bulkhead en caso de impacto.
- d. Estar sujeto de manera segura y directamente al Front Bulkhead y no ser parte de una carrocería no estructural.

T3.20.3 En todos los coches una “Anti-Intrusión Plate” de 1.5 mm de acero sólido o 4 mm de aluminio sólido debe estar integrada en el Atenuador de Impactos y la anti intrusión están atornillados al Front Bulkhead debe ser de las mismas dimensiones que las medidas exteriores del Front Bulkhead, si están soldados al Front Bulkhead debe extenderse al menos hasta la línea media del tubo del Front Bulkhead en todas las direcciones.

T3.20.4 Diseño alternativos de la placa de anti intrusión están permitidos debe demostrarse equivalencia a la norma T3.20.3 según T3.38.

T3.20.5 Si el conjunto del atenuador de impacto no es integral con el chasis, es decir, soldado, un mínimo de cuatro tornillos de métrica 8 mm Grado 8.8 deben unir el conjunto del Atenuador de impactos al Front Bulkhead.

T3.20.6 La fijación del conjunto del atenuador de impacto debe estar construida para proporcionar una trayectoria de carga adecuada para cargas verticales y transversales en caso de impactos descentrados o fuera del eje. Nota: Atenuadores de espuma segmentados deben tener los segmentos unidos para evitar deslizamientos.

T3.20.7 La unión del conjunto del Atenuador de impactos a un monocasco requiere una hoja de equivalencia estructural (Structural Equivalency Spreadsheet) aprobada para probar equivalencia a un mínimo de cuatro tornillos de grado 8.8.

T3.20.8 Si un equipo usa el atenuador de impacto estándar de la FSAE y el eje exterior del Front Bulkhead se extiende más de 25.4 mm en cualquier lado del conjunto del Atenuador de impactos, un tubo diagonal o una cruz de tubos con dimensiones 1''x0.049'' debe incluirse en el Front Bulkhead o un tubo equivalente por norma T3.5.

T3.20.9 Si el IA estándar se usa, pero no cumple con los límites del borde de la regla T3.20.8 y no incluye un tubo diagonal, debe realizarse una prueba física para probar que el Anti Intrusion Plate no se deforma de manera permanente más de 25.4 mm.

T3.21 Requisitos de información sobre el atenuador de impactos.

T3.21.1 Todos los equipos, ya usen su propio diseño de Atenuador de impactos o el estándar de la FSAE, deben enviar un informe del atenuador de impacto, usando la plantilla de datos del Atenuador de impactos (IAD por sus siglas en inglés) que se encuentra en la web de la FSAE.

T3.21.2 Los equipos deben entregar información del test para demostrar que su conjunto del atenuador de impacto, al estar montado en el frontal de un coche de masa total 300 kg y contra una barrera de impacto sólida y no flexible con una velocidad de impacto de 7 m/s.

Nota 2: Los cálculos de cómo se obtienen la energía absorbida, la deceleración promedio y la máxima a partir de la información del test deben incluirse en el informe.

T3.21.3 Equipos que usen alerón delantero deben demostrar que la combinación del conjunto del atenuador de impacto y el alerón delantero no exceda el pico de deceleración de la regla

T3.21.2. Los equipos pueden usar los siguientes métodos para probar que los diseños no superan 300 kg veces 40 g o 120 kN:

- a. Test físico del conjunto del Atenuador de impactos con los anclajes del alerón, placas verticales y representación estructural del perfil del alerón para determinar la fuerza máxima.
- b. Combinar la fuerza máxima del ensayo físico del conjunto del atenuador de impacto con la carga de fallo del anclaje del alerón, calculada a partir de cortadura o pandeo.
- c. Combinar el pico de fuerza del atenuador de impactos estándar, 95 kN, con la carga de fallo del anclaje del alerón, calculada a partir de cortadura o pandeo.

T3.21.4 Cuando se use datos de aceleración, la deceleración media debe calcularse a partir de los datos brutos. El pico de deceleración puede ser estimado en función de los datos brutos y si un pico mayor al límite de 40 g aparece en los datos, puede ser filtrado con un filtro SAE Channel Filter Class (CFC) 60 (100 Hz) o un filtro Butterworth de 100 Hz de tercer orden, pasa bajo (-3dB a 100 Hz).

T3.21.5 Un esquema del método de ensayo debe ser proporcionado junto con fotos del atenuador antes y después del ensayo.

T3.21.6 La probeta de ensayo debe ser presentada en la inspección técnica para comparación con las fotografías y el atenuador usado en el coche.

T3.21.7 Los datos y cálculos del ensayo deben enviarse electrónicamente en formato Adobe Acrobat® a la dirección y en la fecha proporcionada en la página web de la competición. Este material debe ser un archivo único (texto, fotos, información o cualquier cosa que se vaya a incluir).

T3.21.8 El Atenuador de impactos Data debe ser nombrado como sigue: número del coche, nombre de la escuela, código de la competición usando el número de coche asignado, el nombre completo de la escuela y el código de la competición.

T3.21.9 Los equipos que suban el informe del atenuador de impacto (IAD) después de la fecha especificada serán penalizados con 10 puntos por día hasta un máximo de 50 puntos, que serán extraídos de la puntuación total del equipo.

T3.21.10 Los informes del atenuador de impactos serán evaluados por los organizadores y las evaluaciones se pasarán al capitán de diseño del evento para consideración en dicho evento.

T3.21.11 Durante el ensayo, el Atenuador de impactos debe estar sujeto a la Anti-Intrusión plate usando el método de unión que vaya a usarse en el coche. La placa anti intrusión debe estar separada al menos 50 mm de cualquier superficie rígida. Ninguna parte de la placa anti intrusión puede deformarse permanentemente más de 25.4 mm de su posición inicial antes del test. La anti-intrusión plate debe estar sujeta a una estructura representativa de la sección del chasis que se extienda un mínimo de 50.8 mm del Front Bulkhead.

Nota 1: El espacio de 25.4 mm representa el apoyo del Front Bulkhead y asegura que la placa no se meta excesivamente en el cockpit.

Nota 2: Un bloque sólido de material con la forma del Front Bulkhead no es estructuralmente representativo. Una unión representativa estructuralmente debe tener un momento de inercia similar al del Front Bulkhead real.

T3.21.12 Ensayos dinámicos (sled test, péndulo, ensayo de caída libre, etc.) del atenuador de impactos solo pueden realizarse en unas instalaciones dedicadas. Estas instalaciones pueden ser parte de la universidad, pero deben estar supervisadas por personal profesional o profesorado de la universidad. Los equipos no están autorizados a construir su propio aparato para la prueba dinámica. Ensayos casi estáticos pueden ser realizados por los equipos usando las instalaciones/aparatos de sus universidades, pero se les recomienda proceder con cuidado cuando realicen las pruebas.

T3.21.13 Atenuador estándar- Un Atenuador de impactos oficialmente aprobado se encuentra en el apéndice T-3. Los equipos que elijan usar el atenuador de impactos estándar de la FSAE y su correspondiente unión no necesitan subir información del test con su informe IAD. Sin embargo, otros requisitos del informe deben subirse incluyendo, pero no limitándose a:

- a. Uso de la plantilla del IAD estándar.
- b. Fotos del atenuador real del equipo con evidencias de que cumple los criterios de diseño dados en el apéndice T-3, por ejemplo, recibo o albarán de entrega del suministrador.

c. Las dimensiones de la placa anti intrusión.

d. Si el equipo usa alerón delantero o no, en caso de usarlo el cálculo de la fuerza del anclaje es requerida por la regla T3.21.3.

1.9. NORMATIVA FSG.

4.3 Atenuador de impactos.

4.3.1 Diseño del Atenuador de impactos (Cambio específico de la FSG en relación con la regla T3.20.2 de la FSAE 2016).

Adicionalmente a la regla T3.20.2 del reglamento de la FSAE, el atenuador de impacto debe tener una sección frontal cerrada.

4.3.2 Ensayo del Atenuador de impactos (Cambio específico de la FSG en relación con la regla T3.21.2 de la FSAE 2016).

Las pruebas casi estáticas no están permitidas. Solo los ensayos dinámicos (caída libre, sledge test o péndulo) están permitidos (Rules F. S., 2017).

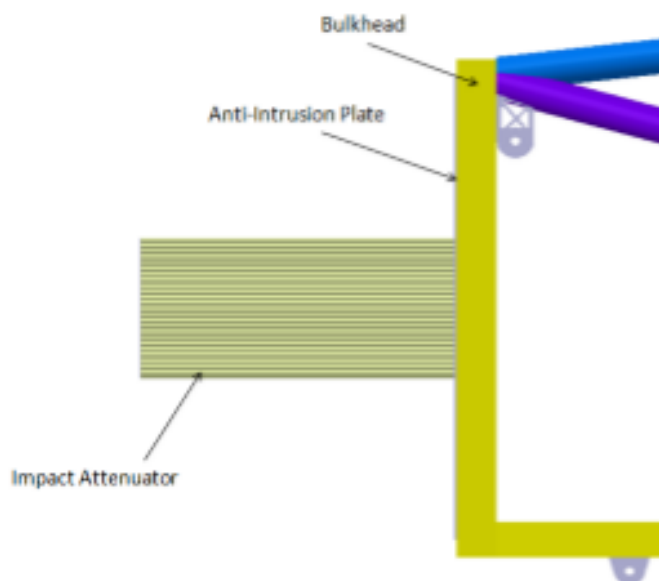


Figura 2.4 Atenuador de impacto.
(Castro Fernández, 2016)

CAPITULO II. MATERIALES.

2.1 MATERIALES.

Antes de nada se debe tener en cuenta los requisitos de los materiales para el Atenuador de Impactos de un vehículo fórmula Student (Luna Bacuilima, Pucha Tambo, & Valencia Palomeque, 2013).



Figura 2.5 Requerimiento del material para el atenuador de impactos.
(Luna Bacuilima, Pucha Tambo, & Valencia Palomeque, 2013)

2.1.1. MATERIALES ANÁLISIS.

Existen diversos tipos de materiales que se utilizan o se pueden utilizar para la construcción del Atenuador de Impactos como podrían utilizarse los materiales de fibra de carbón, fibra de vidrio, aluminio, latón, policarbonato, aluminio de panel de abejas, balsa, etc.

Los parámetros de selección del material son:

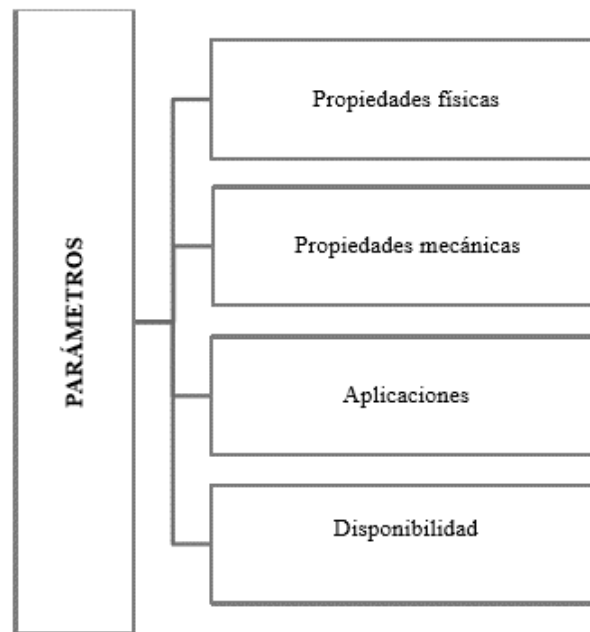


Figura 2.6 Parámetros.

(Luna Bacuilima, Pucha Tambo, & Valencia Palomeque, 2013)

2.1.2. ESTÁNDAR DE LA FSAE.

Este atenuador de impactos proporcionado por la FSAE está fabricado como se especifica en la figura, a partir de Dow Impaxx® 700, una espuma con alto nivel de absorción de energía, está formado de tres bloques de espuma pegados entre sí para que no se produzca deslizamiento entre ellos (SAE, 2017).

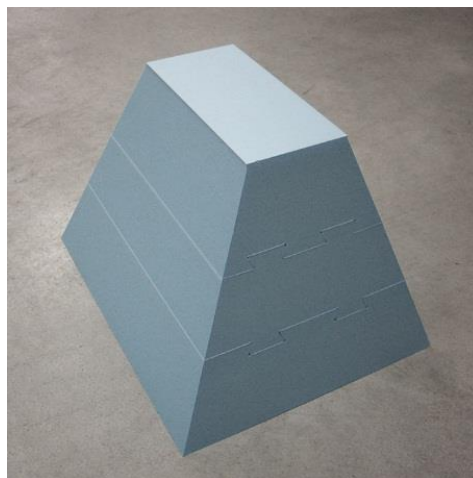


Figura 2.7 Estándar impacto atenuador Diseño.

(SAE, 2017)

2.1.3. FIBRA DE CARBÓN.

Los compuestos de fibra de carbono se usan en componentes de absorción de energía en deportes de motor, así como en la industria aeroespacial debido a sus buenas propiedades ante un caso de impacto. En el caso de los materiales compuestos, la absorción de energía se consigue a través de una rotura difusa del material, es decir, la destrucción de las fibras, a diferencia de los materiales metálicos donde se basa en la deformación plástica.

Las fibras de carbono propiamente dichas, también conocidas como fibras de carbón, son sólidos que presentan una morfología fibrosa en forma de filamentos o una trenza y con un contenido mínimo en carbono del 92% en peso (Jácome Aguiño, 2015).

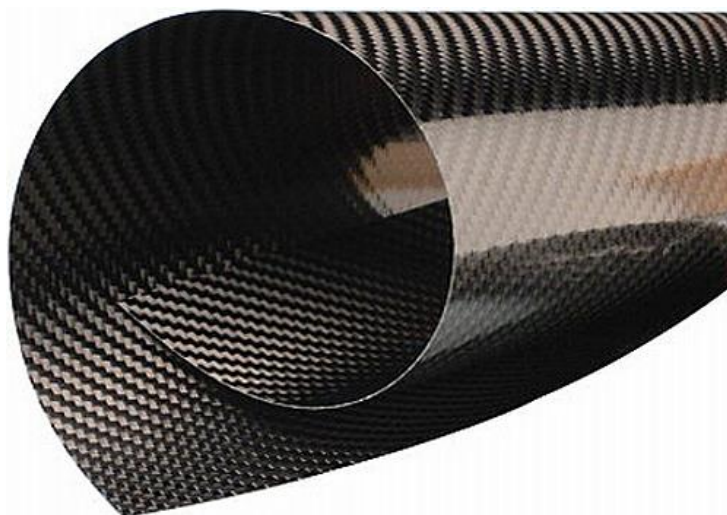


Figura 2.8 Fibra de carbono.
(Pedro, 2015)

2.1.3.1. Diferentes tipos de fibra de carbono.

El carbono, como elemento, no es un metal y, en estado puro, se obtiene de los diamantes o del grafito, una vez procesado se consigue filamentos de fibra que, convenientemente trenzada y unida mediante resinas plásticas, sirven para conformar paños similares a los de cualquier tejido, así como existen varios tipos de fibra de carbono que se distinguen que se distinguen por su temperatura de tratamiento, su dureza, rigidez y elasticidad (Fondo, 2015).

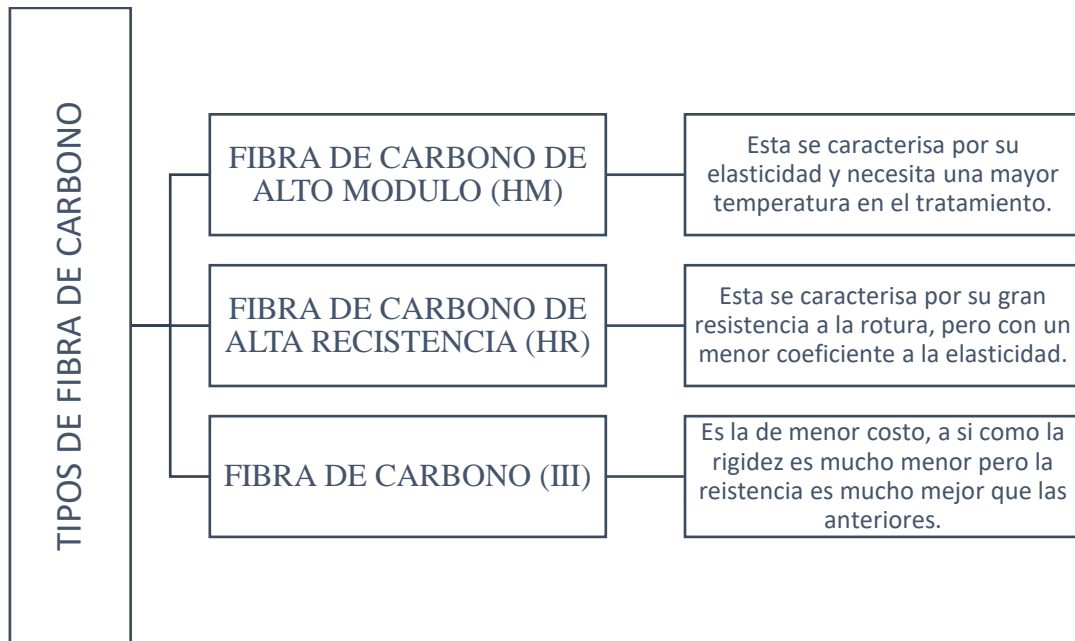


Figura 2.9 Tipos de fibra de carbono.
(Fondo, 2015)

2.1.4. FIBRA DE VIDRIO.

La fibra de vidrio se obtiene gracias a la intervención de ciertos hilos de vidrio muy pequeños, que al entrelazarse van formando una malla, patrón o trama (vidrio, MAQUINARIApro, 2016).



Figura 2.10 Fibra de vidrio.
(Castro Fernández, 2016)

La fibra de vidrio presenta una excelente resistencia mecánica y a los ataques químicos con buenas propiedades como aislante eléctrico y térmico. Frente a la fibra de carbono su precio es mucho más barato pero su densidad es más alta por lo que se conseguirá un mayor peso usando la fibra de vidrio.

2.1.4.1. Tipos de fibra de vidrio.

La fibra de vidrio es un material fibroso obtenido al hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza de agujeros muy finos en dirección vertical, cuando el vidrio se solidifica tiene suficiente flexibilidad para ser usado como fibra (vidrio, Cursos maximatec, 2016).

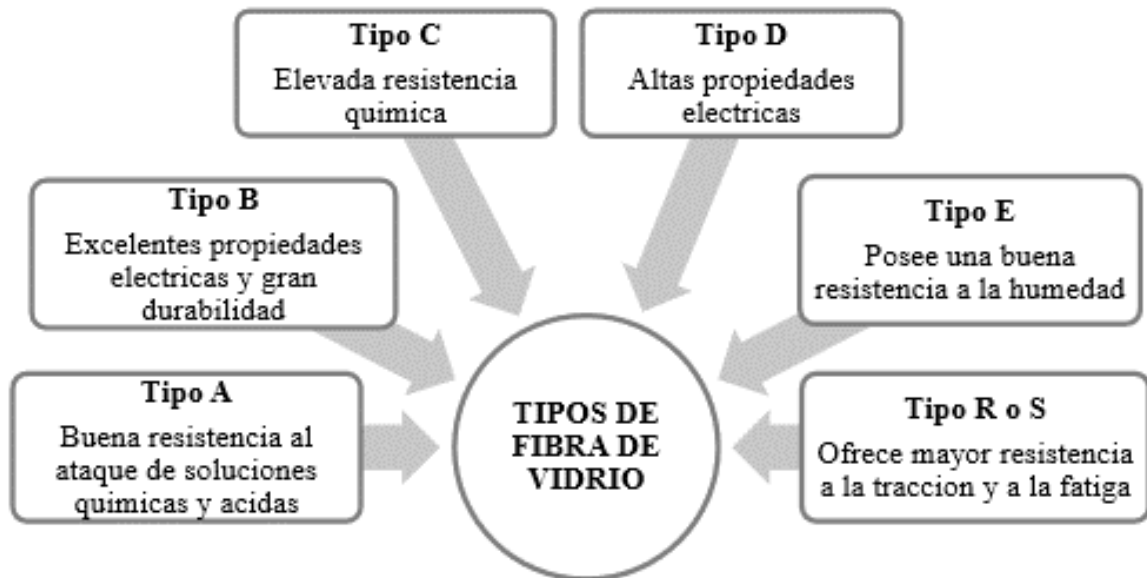


Figura 2.11 Tipos de fibra de vidrio.
(Luna Bacuilima, Pucha Tambo, & Valencia Palomeque, 2013)

2.1.5. ALUMINIO.

Se trata de un material con un abanico de propiedades que hacen de él un elemento con gran variedad de aplicaciones, situándolo en una posición de vanguardia entre los componentes más indispensables de nuestra vida diaria, de forma natural, genera una capa de óxido que le otorga una gran resistencia a la corrosión (Mendoza Ángeles, 2016).

2.1.6. TIPOS DE ALUMINIO.

El aluminio, es un metal muy ligero y plateado que presenta un punto de fusión de 660 grados Celsius, con ebullición de 2,467 grados Celsius y presenta una densidad de 2,7 este cuando entra en contacto con el aire, crea una capa transparente y dura de óxido de aluminio que logra ser resistente a la acción corrosiva (Isabelle, 2015).

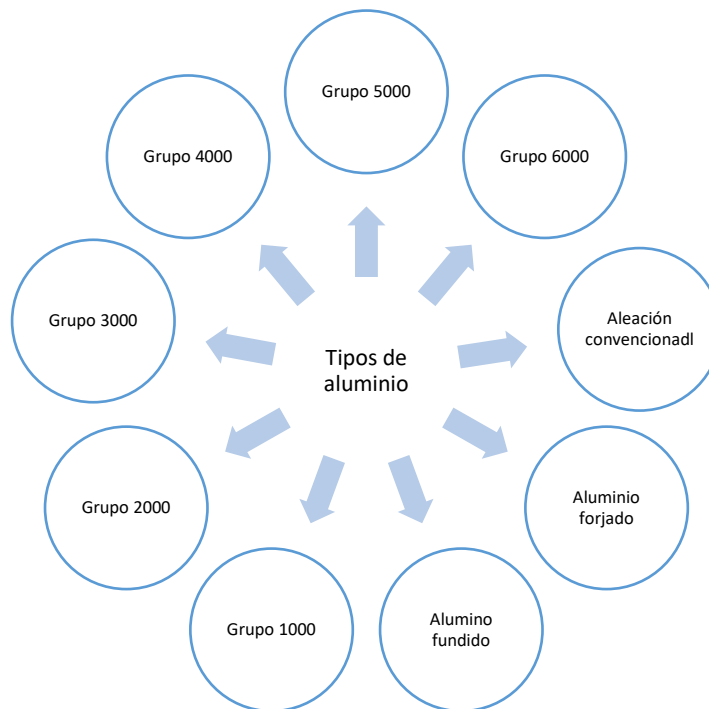


Figura 2.12 Tipos de aluminio.
(Isabelle, 2015)

2.1.7. POLICARBONATO.

El policarbonato (PC) es notable por sus excelentes propiedades mecánicas que incluyen alta tenacidad y buena resistencia a la termo fluencia, es uno de los mejores termoplásticos por su resistencia al calor, puede usarse a temperaturas cercanas a los 125 grados centígrados, además es transparente y resistencia al fuego (Groover, 2010).

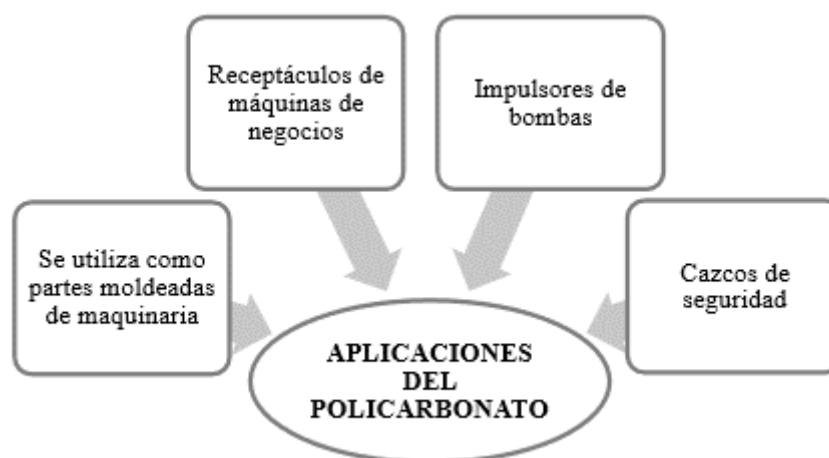


Figura 2.13 Aplicaciones del policarbonato.
(Groover, 2010)

2.1.8. TUBOS DE ALUMINIO.

Como alternativa al aluminio en forma de panal de abeja, se pueden utilizar agrupaciones de tubos de aluminio, las propiedades de este material son conocidas, debido a su baja densidad proporcionan una energía específica absorbida mayor que la del acero, es decir, mayor cantidad de energía absorbida por unidad de peso (Castro Fernández, 2016).



Figura 2.14 Tubos de aluminio.
(EXTRUSORA, 2017)

2.1.9. POLIURETANO.

Este es un material con una baja densidad y varía generalmente entre 30 y 100 kg/m³, a mayor densidad se obtiene mejores propiedades de resistencia mecánica, así como tracción y compresión y flexión y cizallamiento, como también tiene propiedades de aislamiento y absorción de sonido.



Figura 2.15 Poliuretano.
(LONAS Y TEJIDOS JNB, 2017)

2.1.10. POLIESTIRENO EXPANDIDO.

El Poliestireno Expandido (EPS) se obtiene a partir de la transformación del poliestireno expandible, esta materia prima es un polímero del estireno que contiene un agente expansor, el pentano, como todos los materiales plásticos el poliestireno expandible deriva en último término del petróleo, aunque hay que tener en cuenta que solo un 6% del petróleo se dedica a la fabricación de productos químicos y plásticos frente a un 94% dedicado a combustibles para transporte y calefacción (expandido, 2016).



Figura 2.16 Poliestireno expandido.
(MINERAL, 2017)

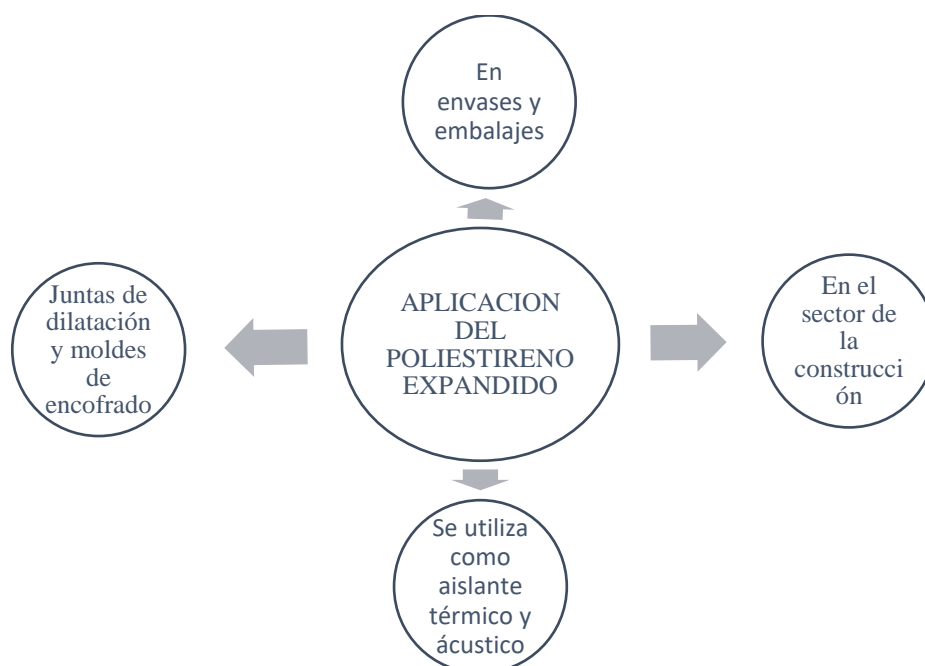


Figura 2.17 Aplicaciones del poliestireno expandido.
(Castells & Alsina, 2012)

2.1.11. ALUMINIO EN PANEL DE ABEJAS.

El Honeycomb permite absorber una cantidad elevada de energía en el mínimo espacio ocupado, presenta una capacidad extraordinaria para absorber energía cinética además de producirse una compresión uniforme, previniendo así un fallo de la estructura de soporte y estas cuentan con las siguientes propiedades (aluNID, 2016).

Ligero, Resistente y rígido en compresión y cizallamiento, Incombustible, Reciclable, Conductor eléctrico y térmico, Buena planicidad, Resistente a la corrosión (Aluminio, 2016).

2.1.11.1. Tipos de panel de abejas de aluminio.

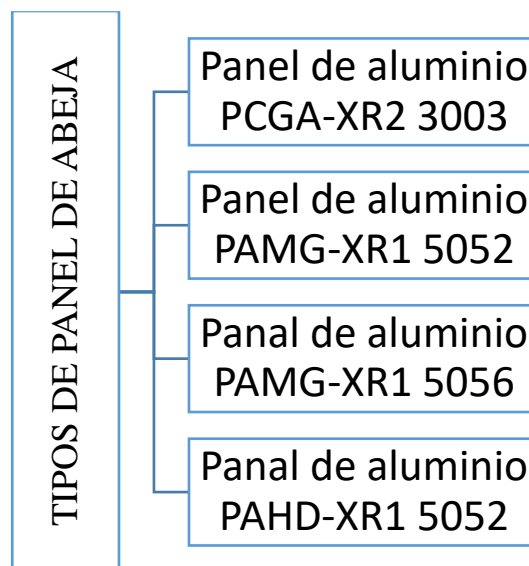


Figura 2.18 Tipos de panel de abejas.
(PLASCORE, 2016)

2.2. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES.

Se define como materiales todo sistema o combinación de materiales constituidos a partir de la unión de dos o más componentes.

2.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE CARBONO.

Se detalla en la **figura 2.19**, las principales características que presenta la fibra de carbono en la siguiente figura.

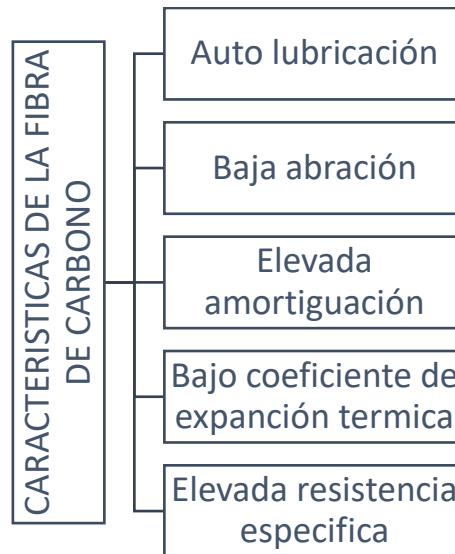


Figura 2.19 Características de la fibra de carbono.
(Miravete, 2003)

2.2.3. CARACTERÍSTICA DE LA FIBRA DE VIDRIO.

Se detalla en la **figura 2.20**, las principales características que presenta la fibra de vidrio en la siguiente figura.



Figura 2.20 Características de la fibra de vidrio.
(EUROGRATE, 2016)

2.2.4. CARACTERÍSTICAS DEL ALUMINIO.

Se detalla en la **figura 2.21**, las principales características que presenta la fibra de vidrio en la siguiente figura.

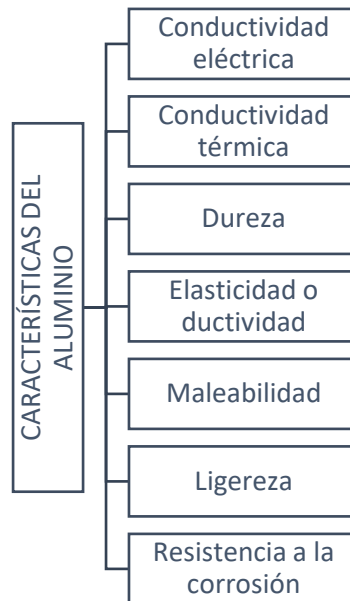


Figura 2.21 Características del aluminio.
(Ejemplode.com, 2013)

2.2.5. CARACTERÍSTICAS DE POLICARBONATO.

Se detalla en la **figura 2.22**, las principales características que presenta la fibra de vidrio en la siguiente figura.

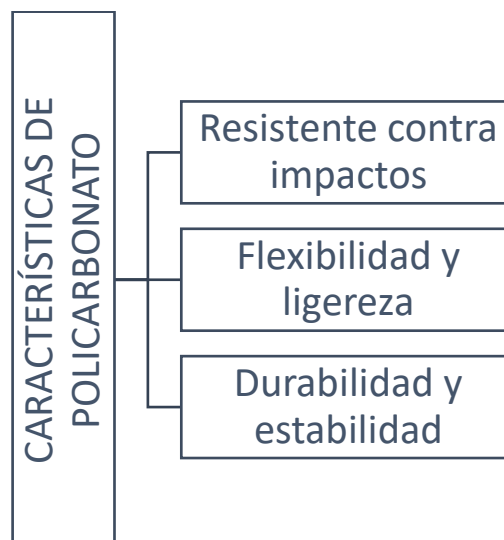
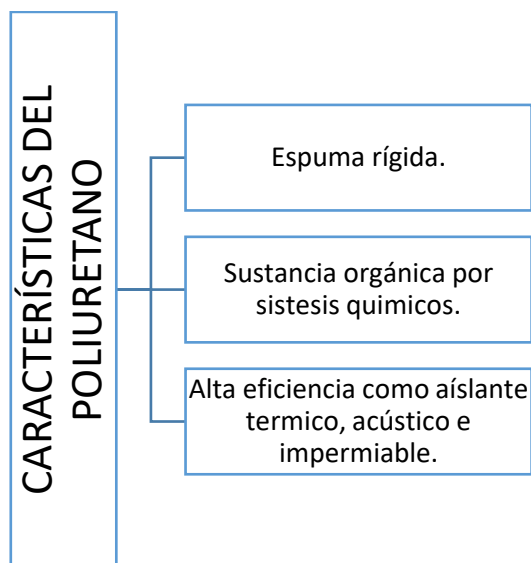


Figura 2.22 Características de policarbonato.
(LEKER, 2016)

2.2.6. CARACTERÍSTICAS DEL POLIURETANO.

Se detalla en la **figura 2.23**, las principales características que presenta la fibra de vidrio en la siguiente figura.



5

Figura 2.23 Características del poliuretano.
(POLY-PUR, 2016)

2.3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

Las propiedades de los materiales son el conjunto de características que hacen que el material se comporte de una manera determinada.

2.3.1. PROPIEDADES DE LA FIBRA DE CARBONO.

En la **tabla 2.1**, se detalla las principales características físicas de la fibra de carbono.

Tabla 2.1 Propiedades físicas de la fibra de carbono.

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	ALTA RESISTENCIA HR	ALTO MODULO HM	III
Diámetro	µm	8	7	7-8
Densidad	g/cm ³	1.74 – 1.76	1.81 – 1.87	1.82
Módulo de elasticidad	GPa	230	390	290
Resistencia a la tracción	GPa	2.6 - 5	2.1 – 2.7	3.1
Alargamiento a la rotura	%	2	0.7	1.1

(Miravete, 2003)

2.3.2. PROPIEDADES DE LA FIBRA DE VIDRIO.

En la **tabla 2.2**, se detalla las principales características físicas de la fibra de vidrio.

Tabla 2.2 Propiedades físicas de la fibra de vidrio.

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	TIPO E	TIPO R/S	TIPO C
Densidad	gr / cm ³	2.6	2.5 – 2.53	2.45
Módulo de elasticidad	GPa	72 - 73	85 - 87	71
Resistencia a la tracción	GPa	3.4 – 3.5	3.4 – 4.6	3.1
Alargamiento a la rotura	%	3.3 – 4.8	4.2 - 5.4	3.5
Diámetro del filamento	µm	8- 20	10	20

(Dietrich, 2005)

2.3.3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL POLICARBONATO.

En la **tabla 2.3**, se detalla las principales características físicas del policarbonato.

Tabla 2.3 Propiedades físicas del policarbonato.

PROPIEDADES MECÁNICAS A 23 °C	UNIDAD	VALORES
Densidad	gr/cm ³	1.2
Módulo de elasticidad	MPa	2760
Alargamiento	%	130
Resistencia a la tensión	MPa	76
Temperatura de fusión	°C	230

(Askeland R & Wright J, 2011)

2.2.4. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL POLICARBONATO.

En la **figura 2.24**, se detalla las propiedades mecánicas del policarbonato.



Figura 2.24 Propiedades del material del poliuretano.
(Groover P, 2007)

2.3.5. PROPIEDADES DEL POLIURETANO.

En la **figura 2.25**, se detalla las distintas aplicaciones de poliuretano.



Figura 2.25 Propiedades del poliuretano.
(Vélez Moreno, 2008)

2.3.6. PROPIEDADES FÍSICAS DEL POLIURETANO.

En la **tabla 2.4**, se exponen las principales propiedades que el poliuretano presenta.

Tabla 2.4 Propiedades físicas del poliuretano.

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	VALOR
Densidad	g/cm ³	0.03
Módulo de elasticidad	MPa	10
Resistencia a la tensión	MPa	60
Elongación	%	700

(Groover, 2010)

2.3.7. APLICACIONES DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO.

En la **figura 2.26**, se dan a conocer las distintas aplicaciones del poliestireno expandido:



Figura 2.26 Aplicaciones del poliestireno expandido.

(Castells & Alsina, 2012)

2.3.8. PROPIEDADES FÍSICAS DEL POLIURETANO.

En la **tabla 2.5**, se exponen las principales propiedades que el poliuretano presenta.

Tabla 2.5 Propiedades físicas del poliuretano.

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	VALOR
Densidad	g/cm ³	0.03
Módulo de elasticidad	MPa	10
Resistencia a la tensión	MPa	60
Elongación	%	700

(Groover, 2010)

2.3.9. PROPIEDADES ALUMINIO EN PANAL DE ABEJA (HONEYCOMB).

En la **figura 2.27**, se exponen las principales propiedades de Aluminio en panal de abeja (Honeycomb).



Figura 2.27 Propiedades de aluminio en panal de abejas (Honeycomb).
(Flores Liahut, 2011)

2.4. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LA MADERA DE Balsa.

La madera balsa es una madera tropical con características óptimas para su fácil uso o trabajo y este elemento presenta el peso más liviano con respecto a los demás materiales de madera en el mundo.

Tabla 2.6 Propiedades físicas de la balsa.

DENSIDAD (g/cm ³)	CONTRACCIÓN NORMAL (%)
0.34	4.27
0.16	1.69
4.27	2.56

(SAC, 2018)

La principal propiedad de la balsa es la relación del peso (liviano), y su alta resistencia y estabilidad, estas son sus mejores ventajas que más se destacan.

Tabla 2.7 Propiedades Mecánicas.

Flexión Estática	120.7	Kg/cm ²
	43.7	Ton/cm ²
Compresión paralela	101.5	Kg/cm ²
	53.7	Ton/cm ²
Compresión perpendicular	8.5	Kg/cm ²
	1.75	Ton/cm ²
Dureza	267	kg

(SAC, 2018)

CAPITULO III. RESULTADOS.

3.1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se va a realizar el diseño y la construcción de atenuador de impacto para un vehículo monoplace de fórmula SAE, este vehículo debe de cumplir con todos los estándares y reglas que han puesto la fórmula student para que este sea apto para poder competir y que tenga los mejores resultados por lo que va a ser fundamental tener una óptima relación de peso, seguridad y por supuesto una muy buena economía para poder así la mayor eficiencia del atenuador de impacto.

En la elaboración del diseño es primordial la utilización de un software para poder obtener los resultados del análisis.

Luego del diseño propuesto y seleccionando el más adecuado se va a proceder a la construcción y de la misma manera se procederá a la prueba de impacto para poder ver el comportamiento del atenuador.

3.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL ATENUADOR.

Según las normas de la Fórmula student, el atenuador de impactos tiene que tener unas características propias indicadas en la siguiente figura.

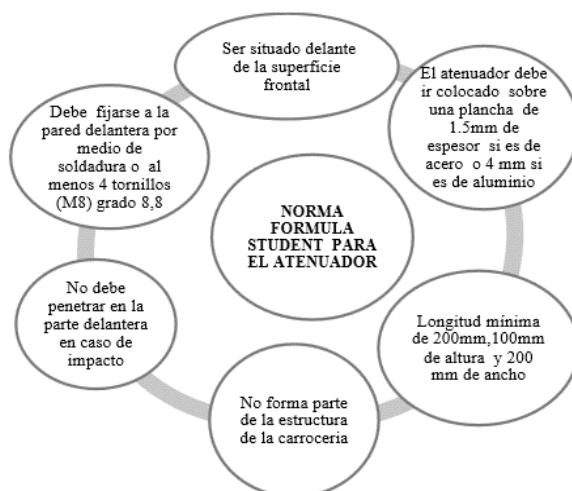


Figura 3.1 Características del atenuador de impactos.
(Rules F. S., 2017)

3.1.2 CONFIGURACIÓN VEHICULAR.

El vehículo debe estar diseñado y fabricado de acuerdo a buenas prácticas de ingeniería. Debe ser de tipo abierto, sin cubierta en sus cuatro llantas y un solo asiento, simulando al estilo de los Fórmula 1.

La **Figura 3.2**, detona las zonas que no deben obstruirse bajo ninguna circunstancia.

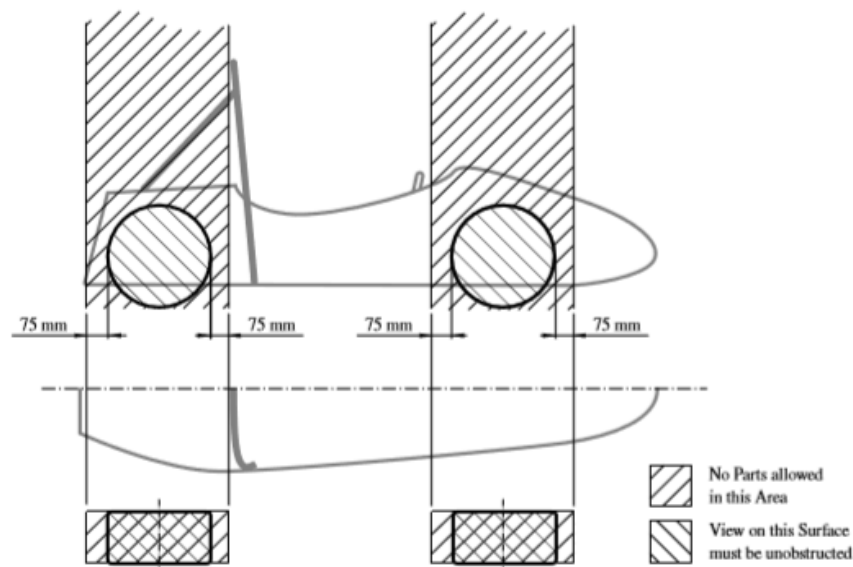


Figura 3.2 Restricciones en el Vehículo.

Nótese que el sistema de tracción y las llantas no deben tener una cubierta, a fin de que puedan observarse a simple vista.

3.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES QUE DEBE CUMPLIR EL ATENUADOR DE IMPACTO.

De acuerdo a Fórmula Student Rules 2018, el atenuador debe cumplir con lo siguiente:

- Dimensiones mínimas: Longitud=200 mm, Altura=100 mm, Ancho=200 mm.
- Debe situarse en la parte frontal del vehículo, colocado sobre una plancha de 1.5 mm de espesor en caso de ser acero o 4 mm en caso de ser aluminio, y unido mediante 4 pernos M8 o soldadura.
- No debe formar parte de la carrocería.

No debe penetrar en la parte delantera en caso de impacto.

3.3. DISEÑO DEL FÓRMULA STUDENT.

Para el análisis del atenuador, se empleará el siguiente diseño de Fórmula Student, como se observa en la Figura 30.

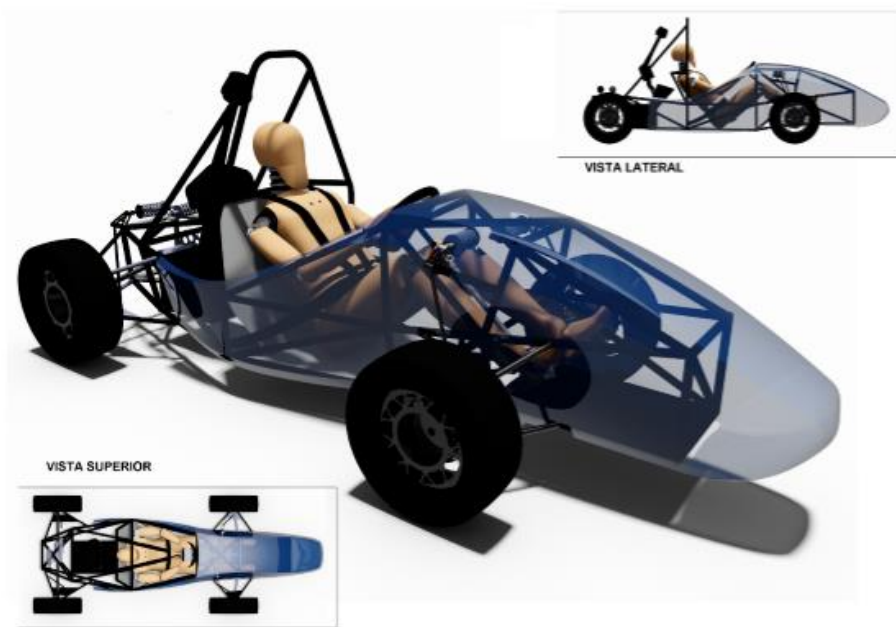


Figura 3.3 Modelado del vehículo 3D.

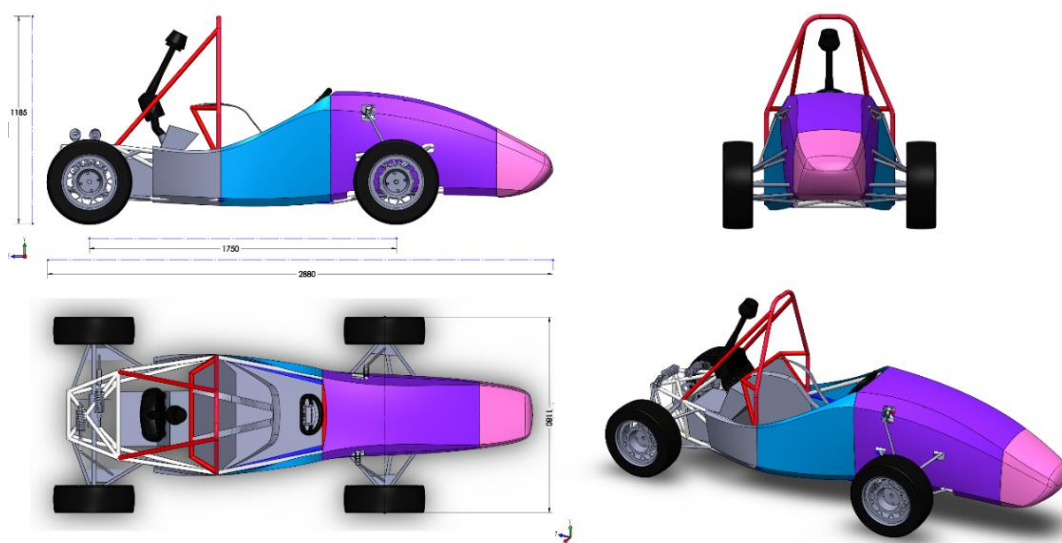


Figura 3.4 Dimensiones del Fórmula Student.

Para cuestiones del análisis, se ha colocado un maniquí híbrido 3 en el compartimiento del conductor, de manera que simule al piloto del coche, y sus dimensiones se detallan a continuación:

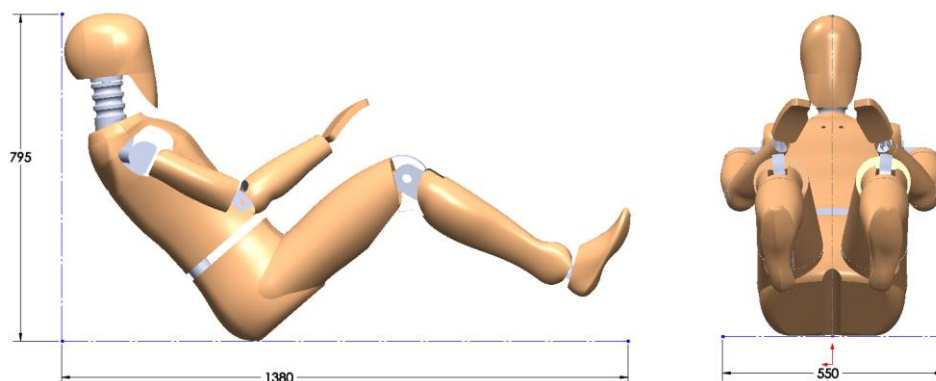


Figura 3.5 Dimensiones del maniquí híbrido III.

De acuerdo al diseño, es necesario emplear los elementos de tipo superficie, de forma que el análisis se realice en el menor tiempo posible sin perder la calidad de este.

3.3.1. PRE-PROCESAMIENTO DEL ANÁLISIS.

De acuerdo a Fórmula Student Rules 2018, el atenuador debe ser capaz de soportar un impacto contra una pared rígida a una velocidad de 7 m/s y el vehículo tener un peso mínimo de 300 kg. Nótese que, en caso de ser más pesado, mayor deberá ser la energía de absorción del atenuador.

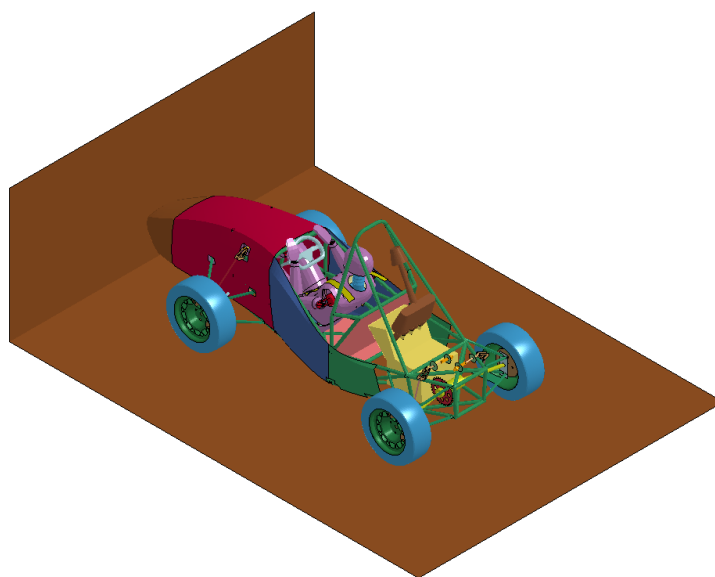


Figura 3.6 Condiciones de análisis.

Como se observa en la **Figura 3.6**, el análisis consta del vehículo impactando un muro a una velocidad de 7 m/s. La figura no presenta el mallado de los elementos, ni las condiciones de frontera, de manera que se procede a la realización de los mismos.

3.3.2. MALLADO DE ELEMENTOS.

Para establecer el mallado de los elementos y las condiciones de frontera, emplearemos el software LS-PrePost, como puede observarse en las figuras a continuación:

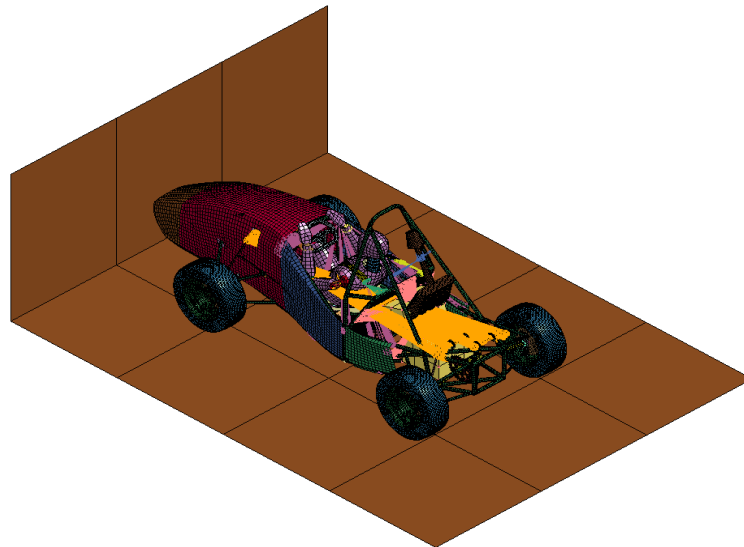


Figura 3.7 Mallado de los elementos. Vista Isométrica.

En la **Figura 3.7**, se detona el vehículo mallado en su totalidad. Nótese que el suelo y la pared presentan un mallado muy grande en relación a los otros elementos, esto debido a que no representan un caso de estudio y su mallado influenciaría en el tiempo de realización del análisis.

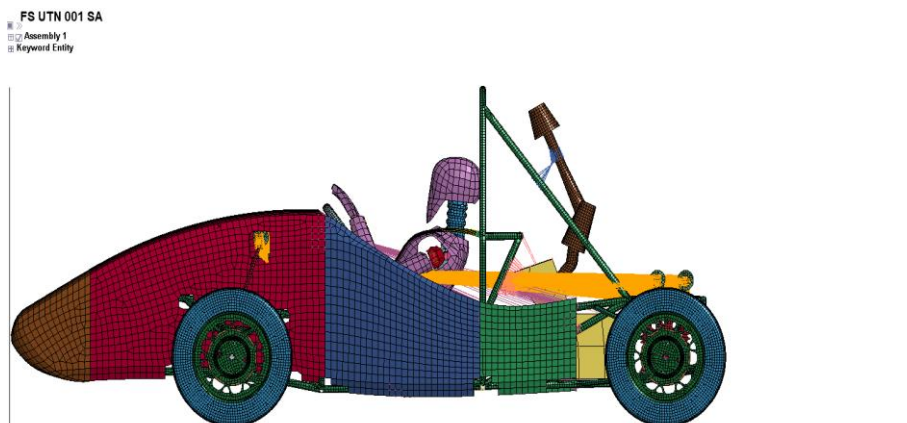


Figura 3.8 Mallado de los elementos. Vista Lateral.

En la **Figura 3.8**, se observa que el mallado de los elementos es más fino, su tamaño de malla es de aproximadamente 10 mm y 20 mm en el caso del maniquí. Una vez realizado el mallado, se tiene la siguiente cifra de número de elementos 1000995 y de nodos 99630.

Debido a la cantidad de elementos y su forma, es necesario realizar el respectivo control de calidad, a fin de eliminar los erróneos; empleando los parámetros de calidad siguientes:

- Skewness.
- Jacobiano.
- Warpage.

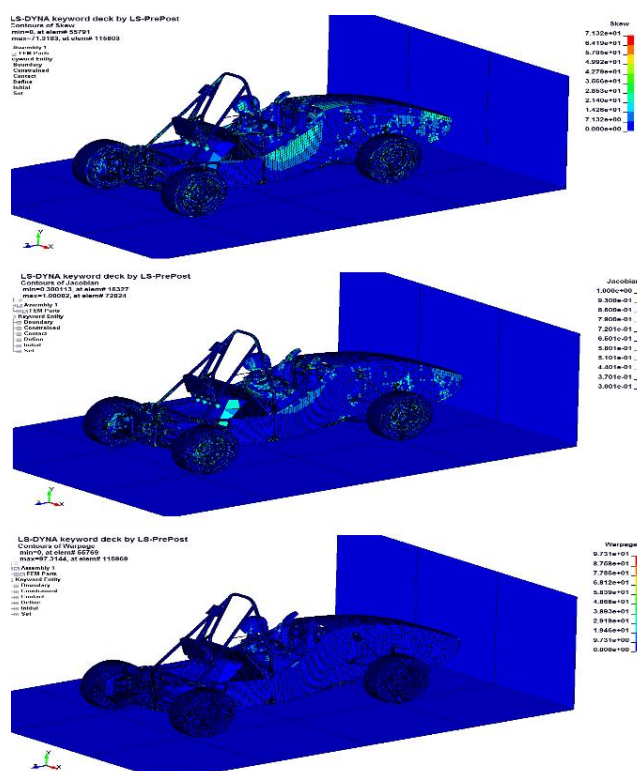


Figura 3.9 Control de calidad de los elementos según los factores de: Skewness, Jacobian, Warpage.

Según los gráficos se puede interpretar que la calidad de malla se encuentra en los rangos apropiados y permitidos para los buenos resultados de los análisis; el tamaño de los elementos es el siguiente:

- Maniquí: 25 mm máximo
- Estructura de Fórmula Student: 10 mm máximo
- Componentes de Fórmula Student: 20 mm
- Piso: 1000 mm máximo

Para un mejor detalle de los componentes del Fórmula Student se adjunta una vista explosionada a continuación:

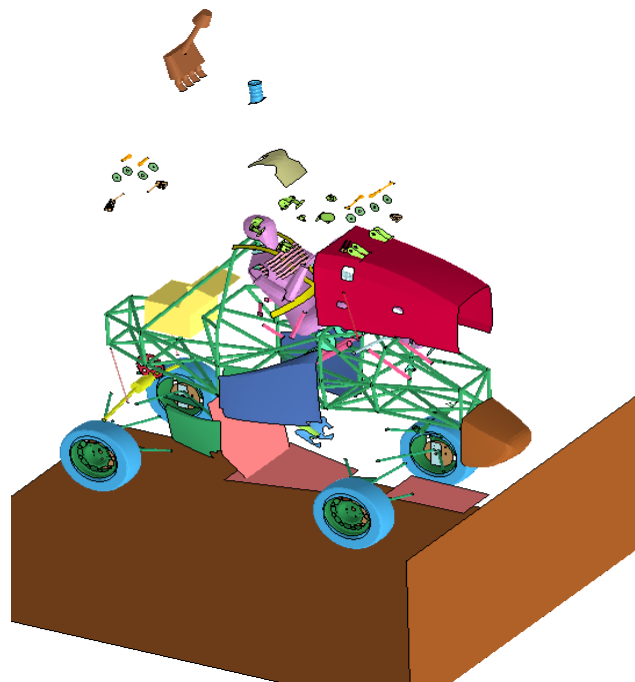


Figura 3.10 Componentes del Fórmula Student.

3.3.3. MATERIALES EMPLEADOS EN EL ANÁLISIS.

Los materiales empleados fueron el acero y el aluminio, cuyas curvas características se observan en la **Figura 3.11** y **3.12**, respectivamente.

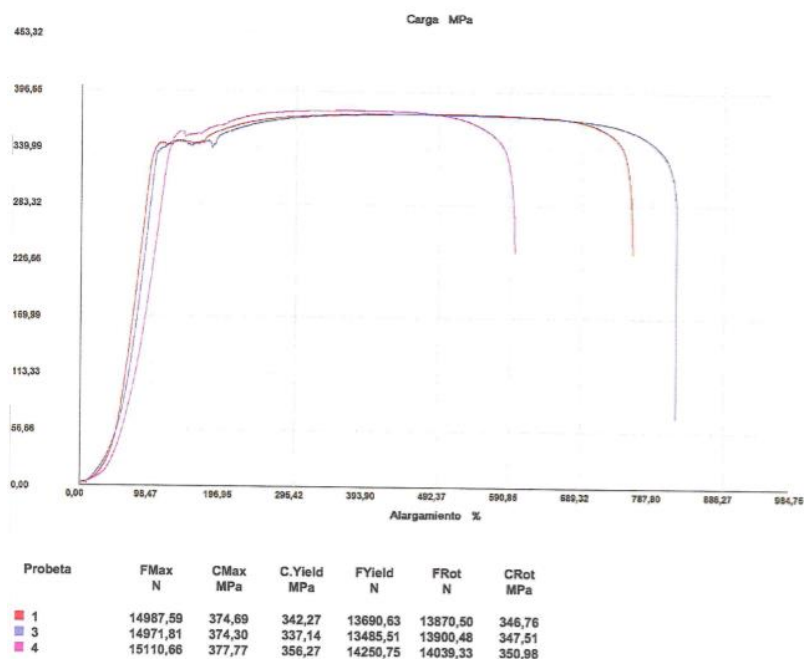


Figura 3.11 Curva Esfuerzo-Deformación del Acero ASTM A500.

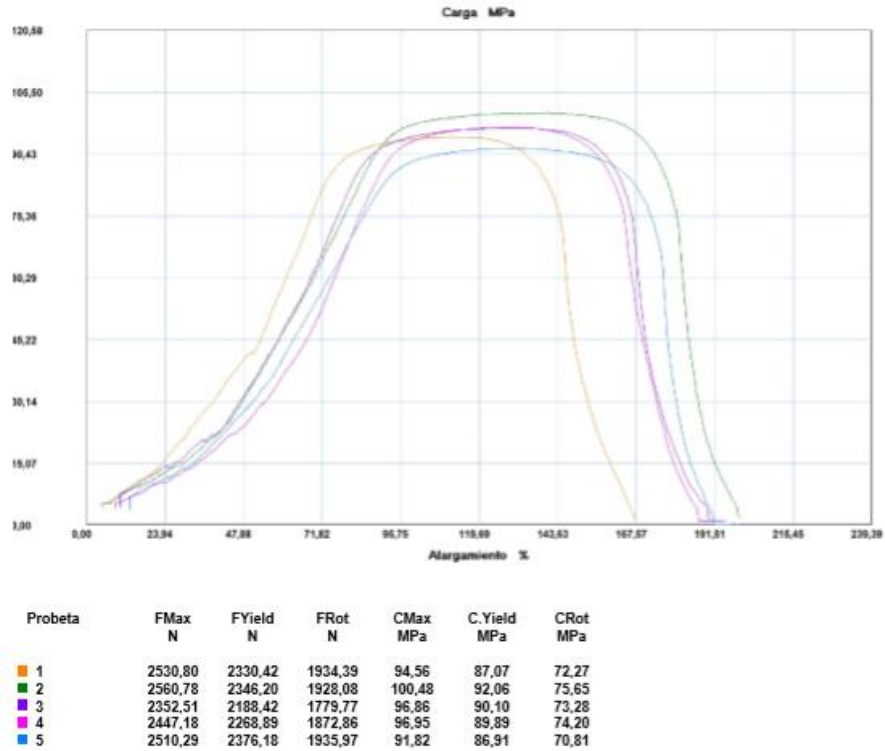


Figura 3.12 Curva Esfuerzo-Deformación del Aluminio.

Nótese que debe realizarse la caracterización del material en el software, de forma que se obtiene lo siguiente:

Tabla 3.1 Caracterización del material.

Keyword Input Form

NewID: [] MatDB: [] RefBy: [] Pick: [] Add: [] Accept: [] Delete: [] Default: [] Done: []

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 impacto a 7.k) Setting

*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY_(TITLE) (3)

TITLE: acero

1	MID	RO	E	PR	SIGY	ETAN	FAIL	IDEL
1	1	7.800e-09	2.000e+05	0.3000000	0.0	0.0	0.3200000	0.0

Keyword Input Form

NewID: [] MatDB: [] RefBy: [] Pick: [] Add: [] Accept: [] Delete: [] Default: [] Done: []

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 impacto a 7.k) Setting

*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY_(TITLE) (3)

TITLE: aluminio

1	MID	RO	E	PR	SIGY	ETAN	FAIL	IDEL
1	3	2.700e-09	1.500e+05	0.3000000	115.00000	0.0	0.5000000	0.0

2	C	P	LCSS	LCSR	VP
2	0.0	0.0	2	0	0.0

3.3.4. PESO DE LOS COMPONENTES.

Peso del Fórmula Student con maniquí= 300 kg.

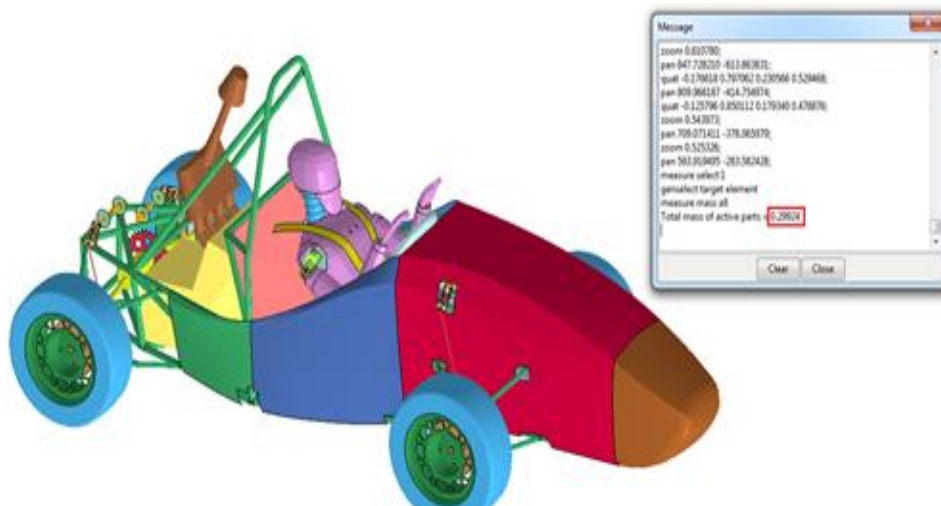


Figura 3.13 Peso de Fórmula Student con maniquí.

Peso del maniquí= 56 kg.

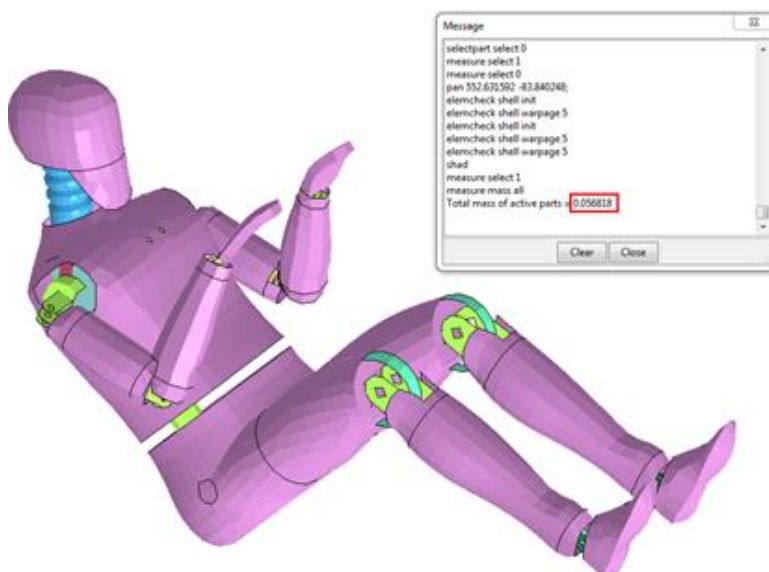


Figura 3.14 Peso del maniquí.

Centro de gravedad.

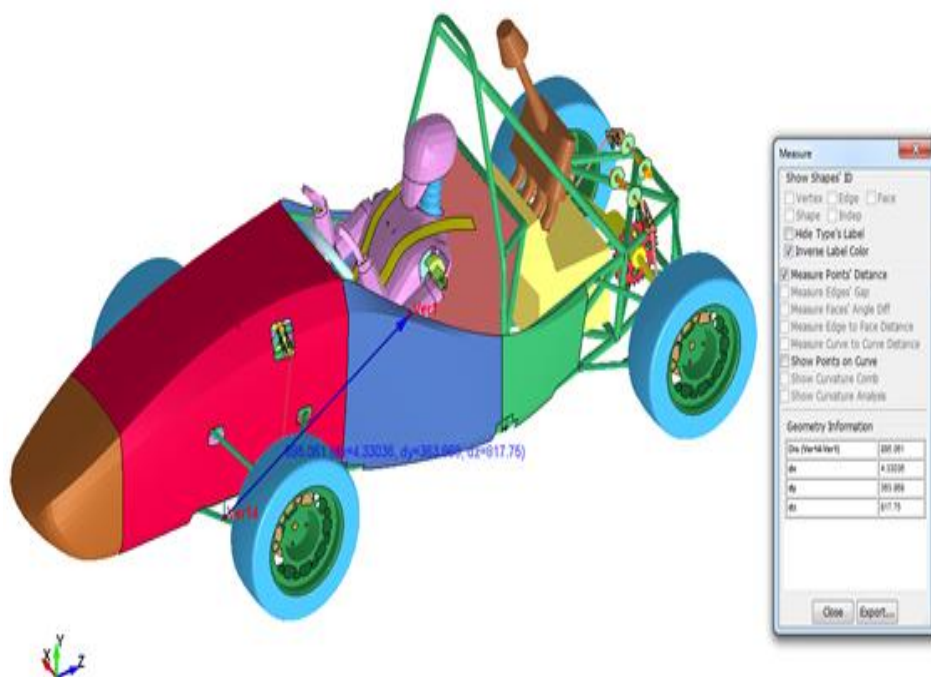


Figura 3.15 Centro de gravedad de Fórmula Student.

Dz: Distancia del centro de la rueda frontal al centro de gravedad

Dy: Altura del piso al centro de gravedad

Dx: Ubicación del punto medio.

3.3.5. CONDICIONES DE FRONTERA DEL ANÁLISIS.

Como primera condición es la velocidad del vehículo, este valor es el siguiente:

- Velocidad lineal: 7000 mm/s. Esta velocidad se localiza en el eje z, debido a la configuración de los ejes.

3.3.6. DISEÑO DE LOS ATENUADORES.

Como primer análisis, se realiza el impacto frontal del vehículo a 7 m/s sin atenuador, para establecer una diferencia entre el uso del mismo y el grado de afectación de la carrocería.

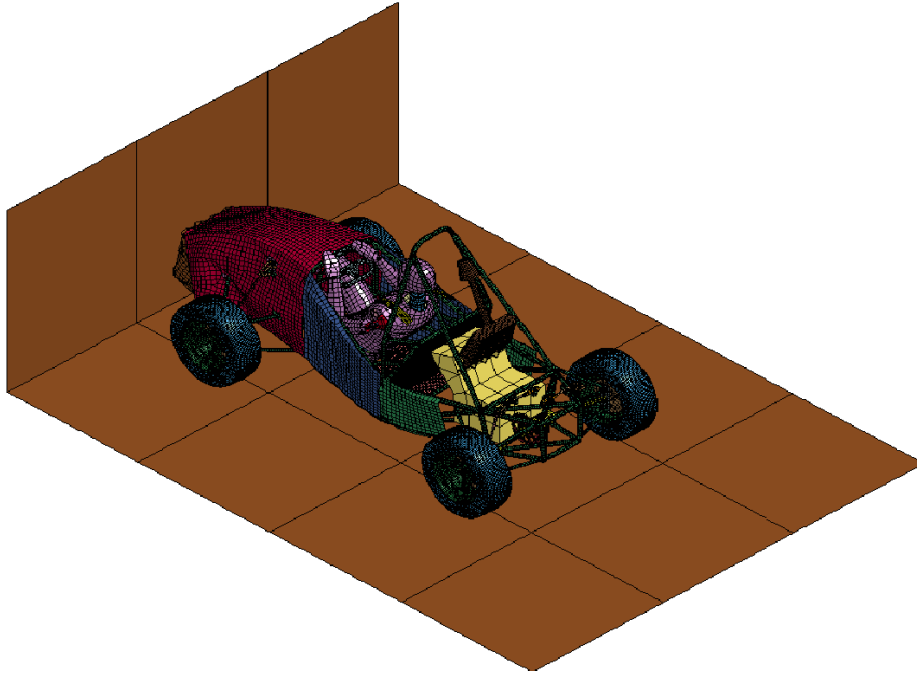


Figura 3.16 Simulación de impacto contra muro a 7 m/s sin atenuador a 0,05 segundos.

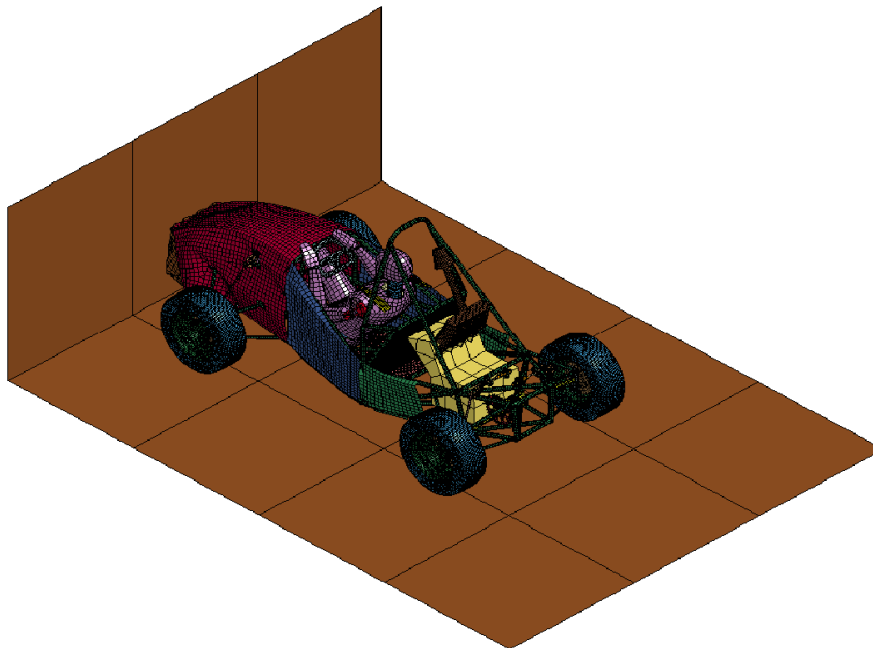


Figura 3.17 Simulación de impacto contra muro a 7 m/s sin atenuador a 0,075 segundos.

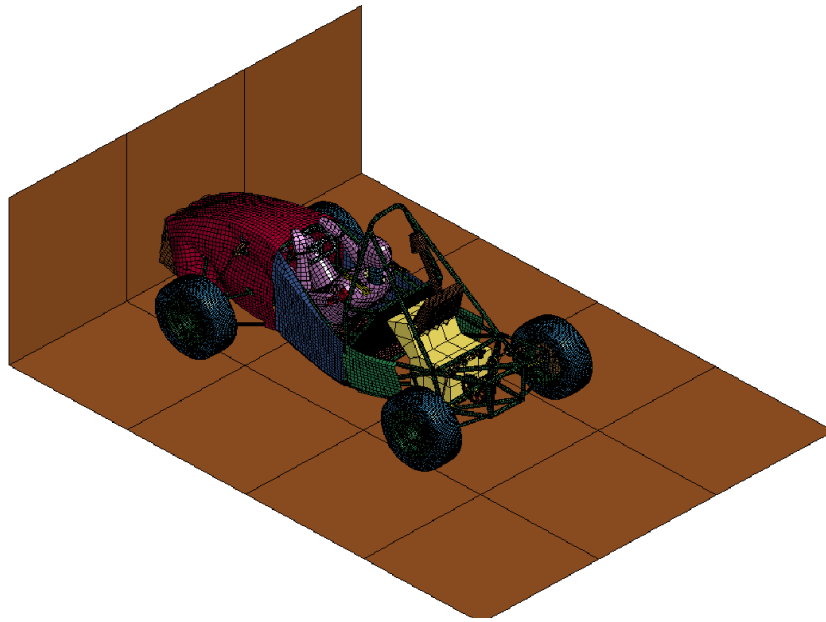


Figura 3.18 Simulación de impacto contra muro a 7 m/s sin atenuador a 0,1 segundos.

Como se observan en las **Figuras 3.16 a 3.18**, el vehículo impacta contra un muro rígido. A primera vista se observa que el vehículo se deforma durante el impacto. Las siguientes figuras representan de una mejor manera el impacto y el esfuerzo producido en la estructura.

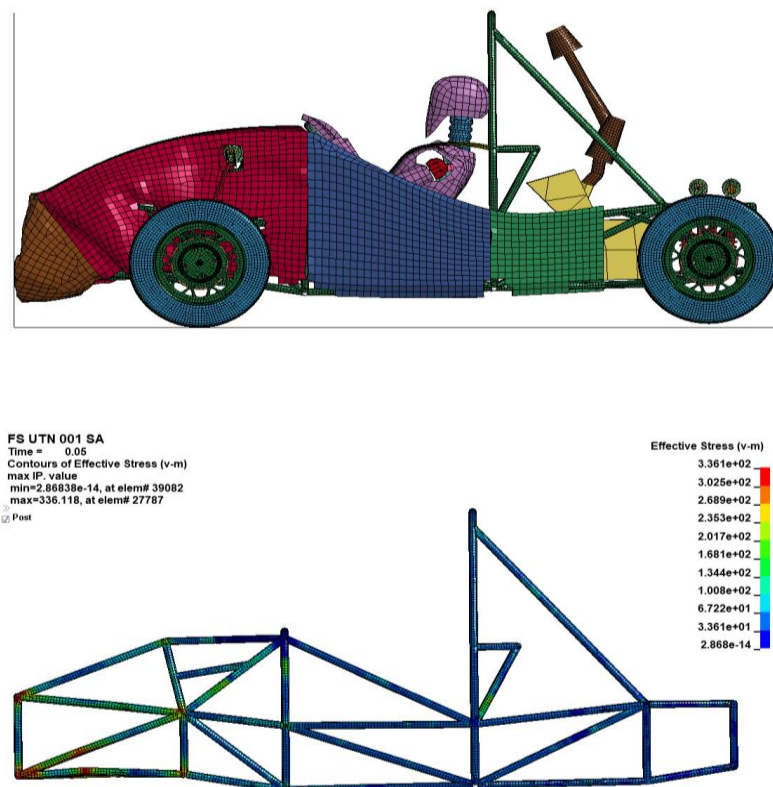


Figura 3.19 Impacto frontal a 0.05 segundos. Esfuerzo máximo es de 3.36×10^2 MPa.

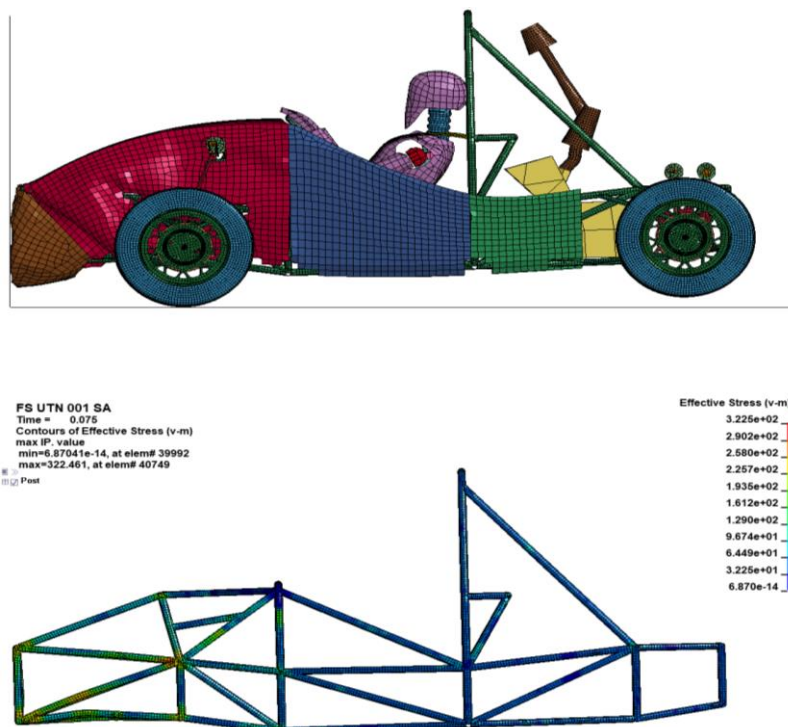


Figura 3.20 Impacto frontal a 0.075 segundos. Esfuerzo máximo es de 3.22×10^2 MPa.

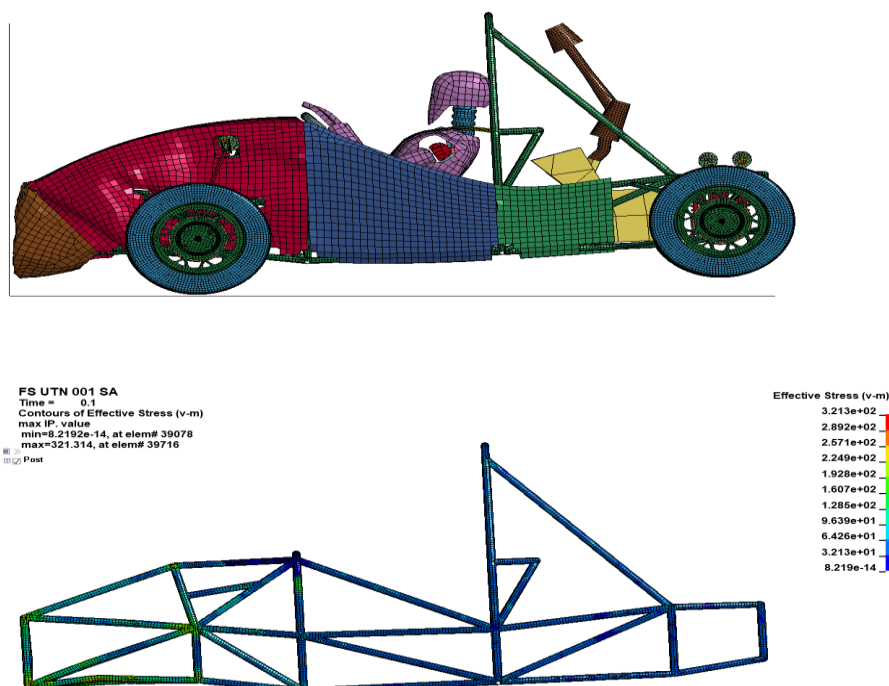


Figura 3.21 Impacto frontal a 0.1 segundos. Esfuerzo máximo es de 3.21×10^2 MPa.

De las **figuras 3.19 a 3.21**, se observa la vista lateral y se observa de mejor manera la deformación del vehículo durante el impacto. Nótese que el esfuerzo máximo alcanzado es de 3.36×10^2 MPa ubicado en su mayor parte en las esquinas de unión inferiores del

vehículo; ante esto, los atenuadores deberán reducir la deformación y reducir el esfuerzo producido. Para ello se tienen las siguientes opciones:

3.4. DISEÑOS.

A continuación, se muestran los diseños realizados en el software LS- Prepost.

3.4.1. DISEÑO 1.

Como puede observarse en la **figura 3.22**, la fuerza de impacto se ubica en la parte frontal del vehículo, nótese que el diseño del atenuador se asemeja a una rejilla compuesta de aluminio y sus dimensiones son las siguientes:

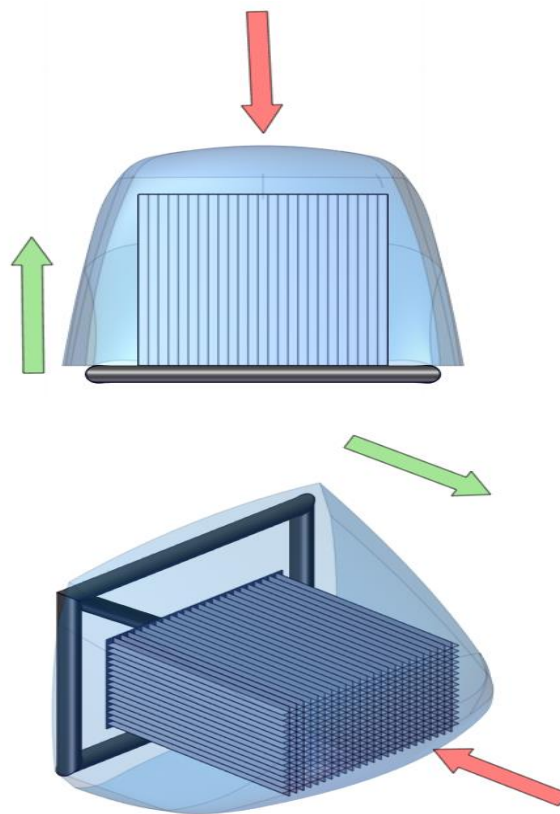


Figura 3.22 Esquema de la fuerza de impacto y dirección del vehículo en Atenuador 1.

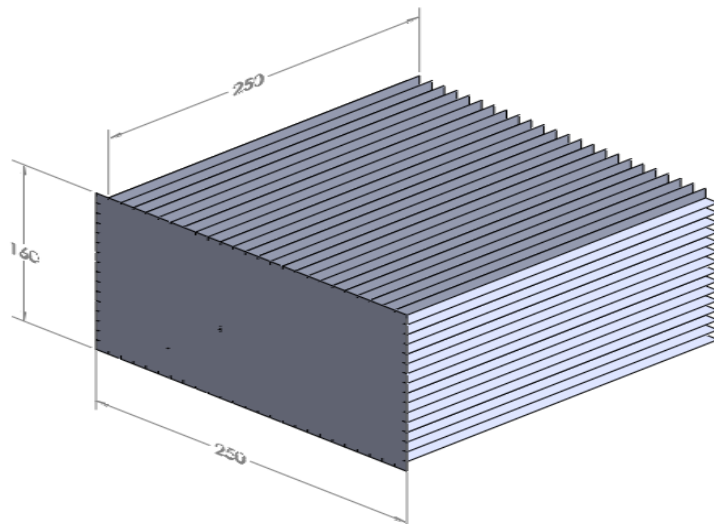
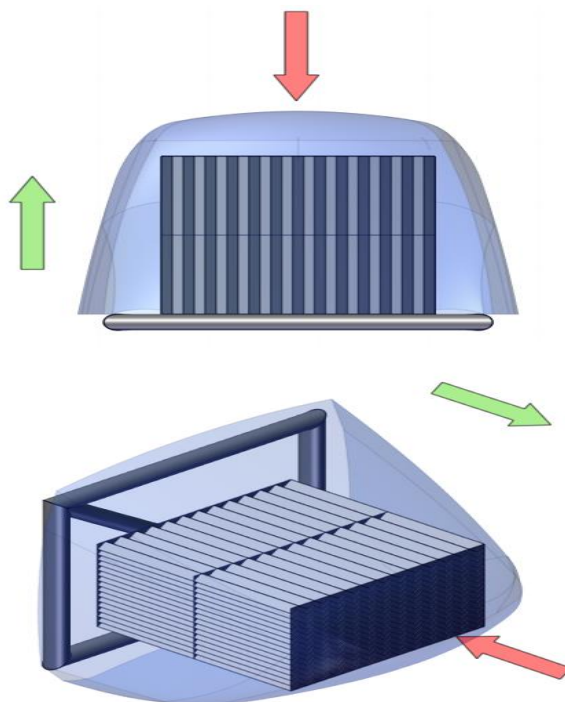


Figura 3.23 Diseño del atenuador 1.

La estructura está formada por cuadrados de 10x10 mm, y su espesor es de 1 mm, asimismo la longitud es de 250 mm, su altura es de 160 mm y el ancho es de 250 mm, respectivamente, de forma que cumple con las reglas establecidas. Su peso de 5.12 kg.

3.4.2. DISEÑO 2.

Como se observa en la **figura 3.25**, la geometría de la parte interna es muy diferente en relación al diseño anterior. Presenta una forma triangular como zigzag, y sus dimensiones se detallan en la figura a continuación. Su peso es de 4.03 kg.



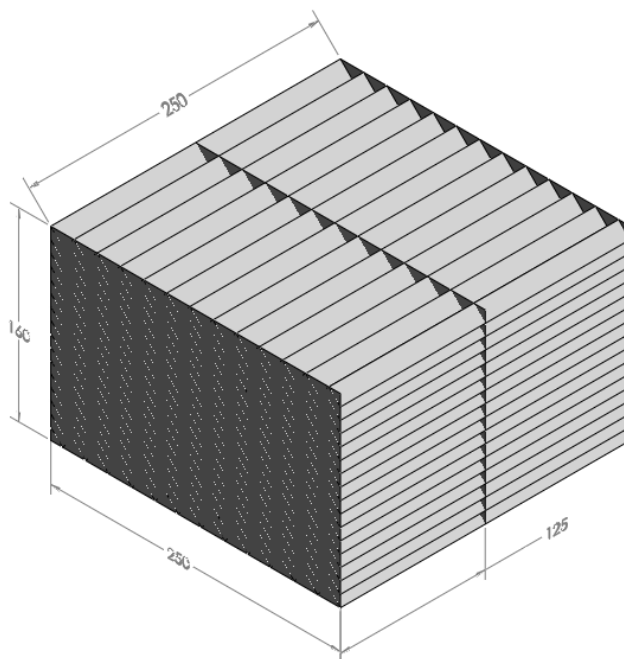


Figura 3.24 Dimensiones del atenuador 2.

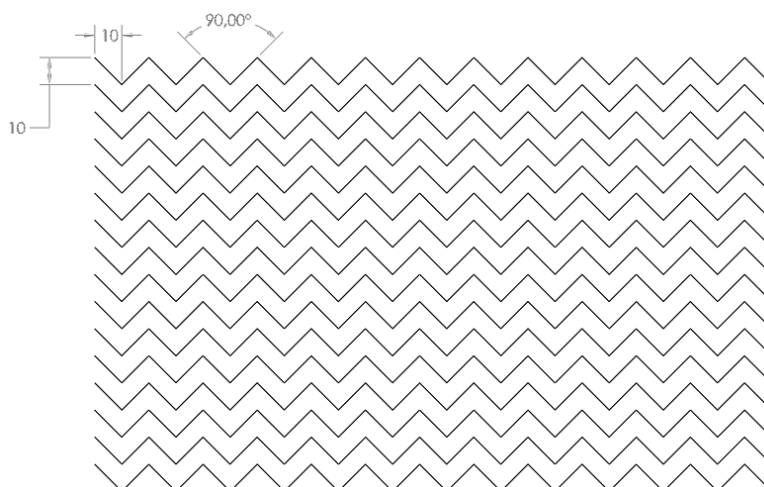


Figura 3.25 Dimensiones de la estructura interna del atenuador 2.

3.4.3. DISEÑO 3.

Como se nota en la **figura 3.27**, este atenuador se divide en 2 secciones diferentes. La primera consta de 5 tubos cuadrados y la segunda posee el diseño visto en el Atenuador 2. Su peso es de 2.46 kg y sus dimensiones son las siguientes:

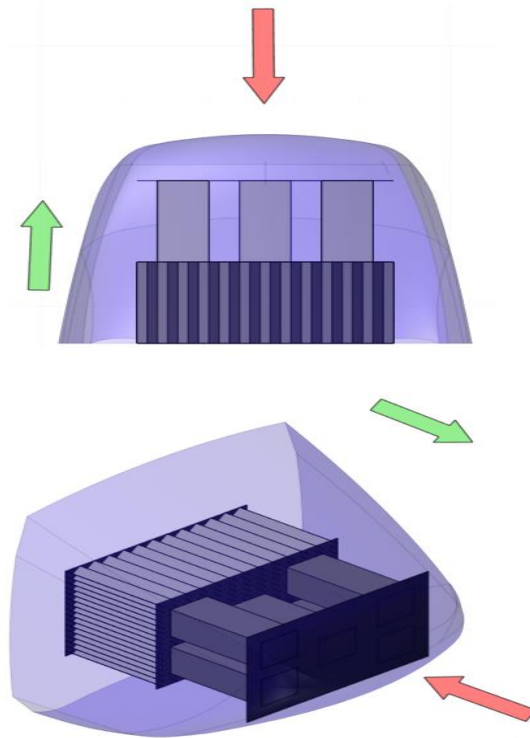


Figura 3.26 Esquema de fuerza de impacto y dirección del vehículo en Atenuador 3.

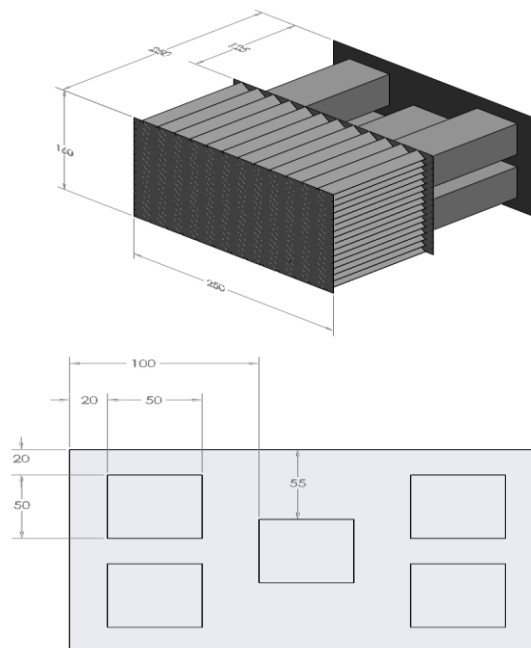


Figura 3.27 Dimensiones del Atenuador 3.

3.4.5. DISEÑO 4.

Como se puede observar en la **figura 3.29**, el diseño de este atenuador corresponde a una plancha de aluminio de 1.5 mm de espesor, convertida en un espiral. Sus dimensiones se detallan a continuación:

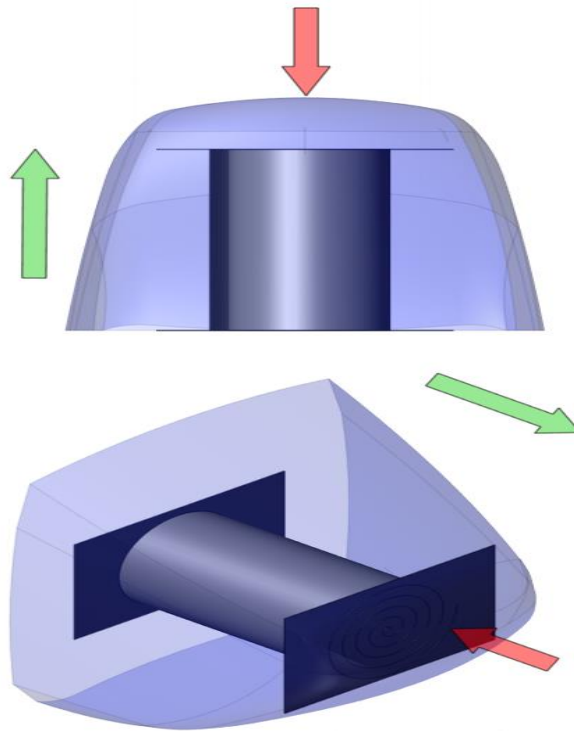
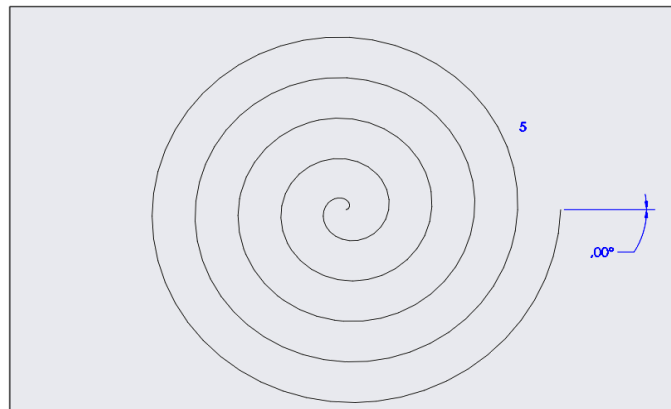


Figura 3.28 Esquema de fuerza de impacto y dirección del vehículo en Atenuador 4.



Nótese que el diámetro de la circunferencia es de 160 mm, con un paso de 5. Su peso es de 2.5 kg.

3.5. ANÁLISIS DE IMPACTO DE LOS ATENUADORES.

Para cuestiones de análisis, se procede a simular cada uno de los atenuadores sin la estructura del vehículo, impactándolos contra una pared rígida de 300 kg a 7 m/s; esto con la finalidad de determinar el atenuador correcto, y colocarlo en el vehículo para su respectiva verificación.

3.5.1. ANÁLISIS DEL ATENUADOR 1.

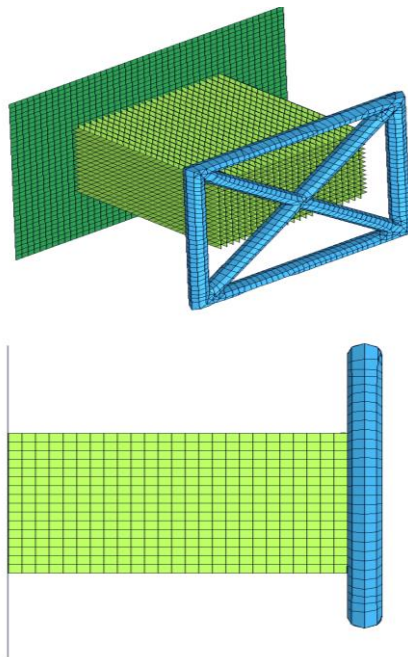


Figura 3.29 Impacto frontal del atenuador 1 a 0 segundos.

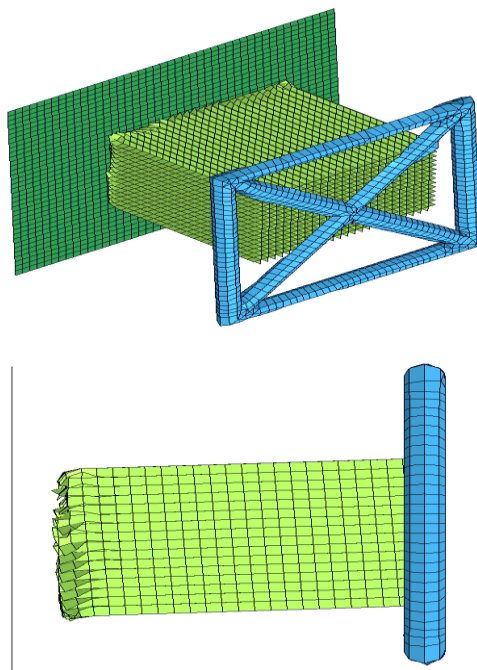


Figura 3.30 Impacto frontal del atenuador 1 a 0.05 segundos.

En las **Figuras 3.30 y 3.31**, se observa el impacto del atenuador 1 a 7 m/s, nótese que el atenuador llega a deformarse levemente y deforma parte de la estructura donde se encuentra colocado.

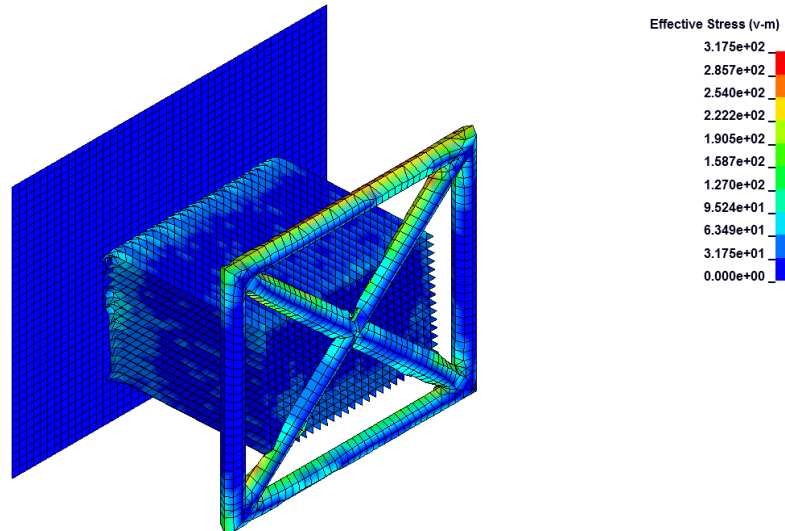


Figura 3.31 Esfuerzo de Von Misses del atenuador 1.

De la **Figura 3.32**, se observa que el valor máximo es de 3.175×10^2 MPa, y se concentra en la zona superior de la estructura.

3.4.2. ANÁLISIS DEL ATENUADOR 2.

En las **Figuras 3.33 y 3.34**, se observa el impacto del atenuador 2 a 7 m/s, nótese que el atenuador llega a deformarse en gran medida, su deformación se asemeja a un acordeón con rotura y resquebrajamiento de material.

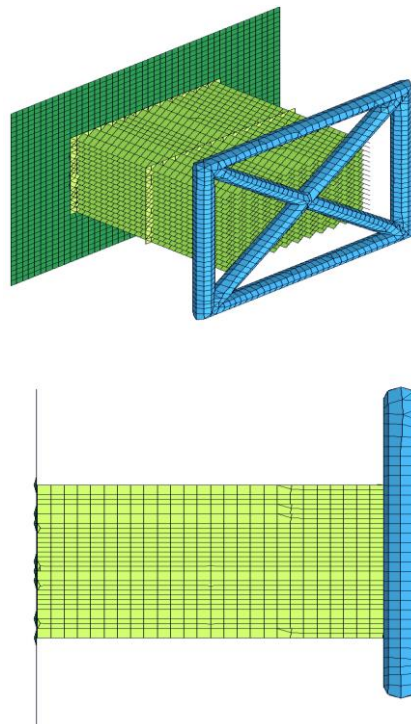


Figura 3.32 Impacto frontal del atenuador 2 a 0 segundos.

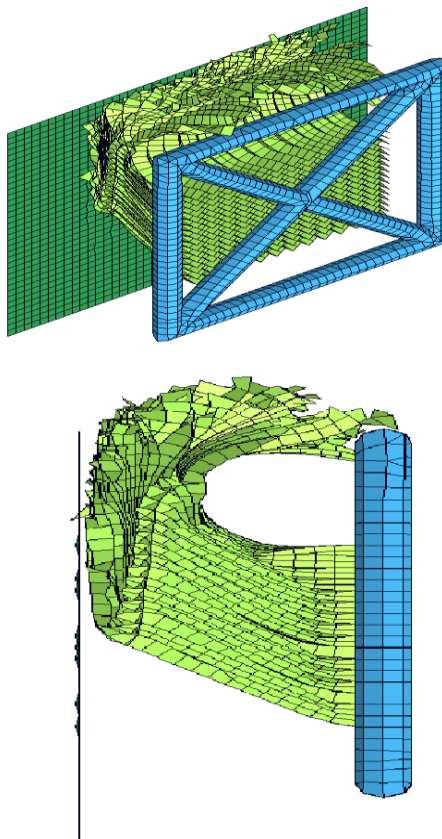


Figura 3.33 Impacto frontal del atenuador 2 a 0.05 segundos.

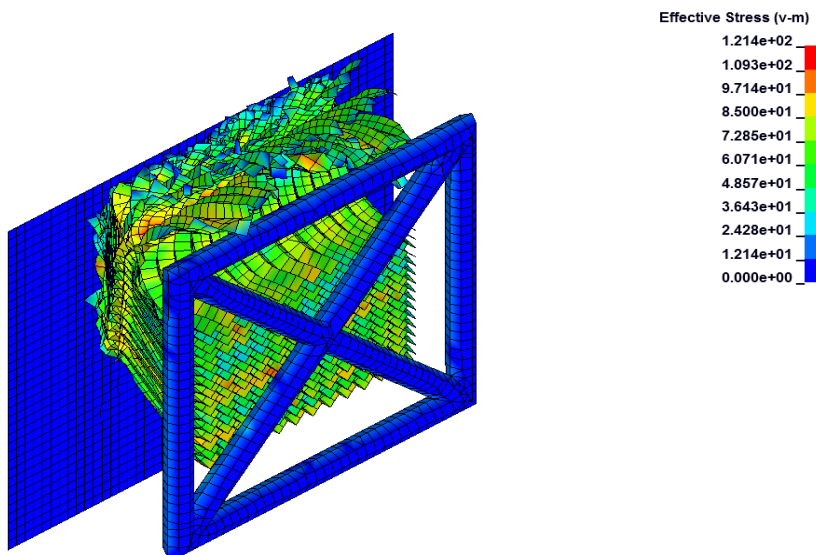


Figura 3.34 Esfuerzo de Von Misses del atenuador 2.

De la **Figura 3.35**, se observa que el valor máximo es de 1.21×10^2 MPa, y se concentra en el atenuador 2. Nótese que el esfuerzo no se localiza en la zona de sujeción del atenuador.

3.4.3. ANÁLISIS DEL ATENUADOR 3.

En las **Figuras 3.36 y 3.37**, se observa el impacto del atenuador 3 a 7 m/s. Nótese que el atenuador llega a deformarse en gran parte; se observa desprendimiento del material debido al impacto.

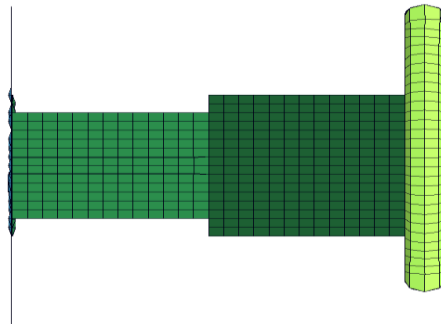
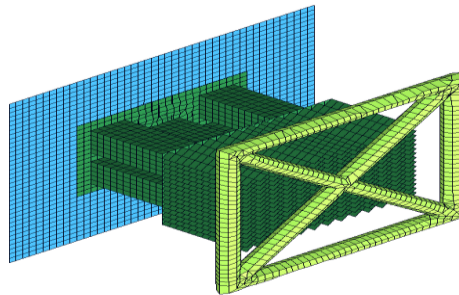


Figura 3.35 Impacto frontal del atenuador 3 a 0 segundos.

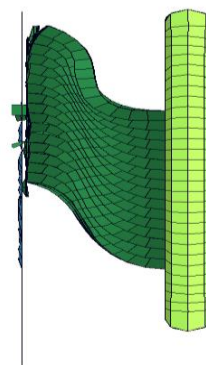
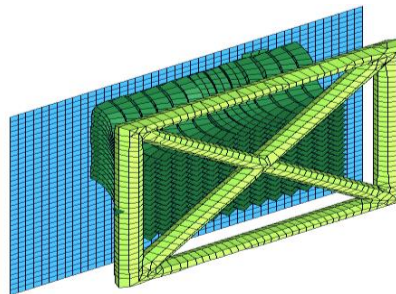


Figura 3.36 Impacto frontal del atenuador 3 a 0.05 segundos.

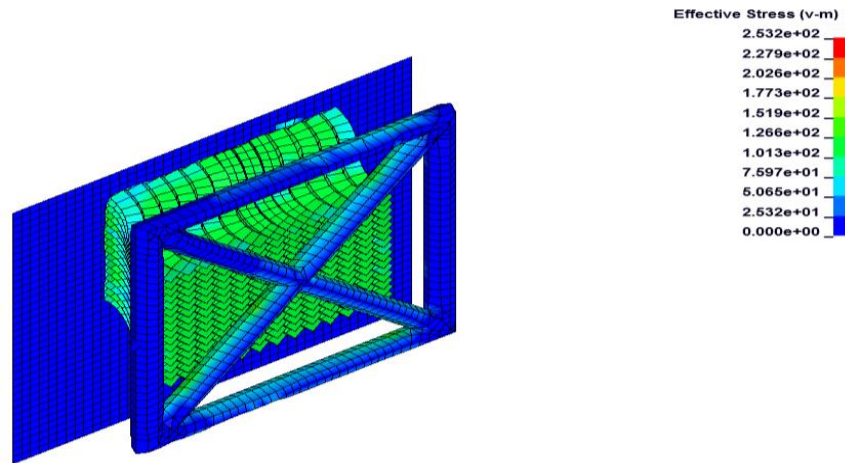


Figura 3.37 Esfuerzo de Von Misses del atenuador 3.

En la **Figura 3.38**. Se observa que el esfuerzo máximo de Von Misses es de 2.532×10^2 MPa, y su concentración se encuentra en la parte interna del atenuador.

3.4.4. ANÁLISIS DEL ATENUADOR 4.

En las **Figuras 3.39 y 3.40**, se observa el impacto del atenuador 4 a 7 m/s. Nótese que el atenuador llega a deformarse en su totalidad, asemejándose a una lata aplastada.

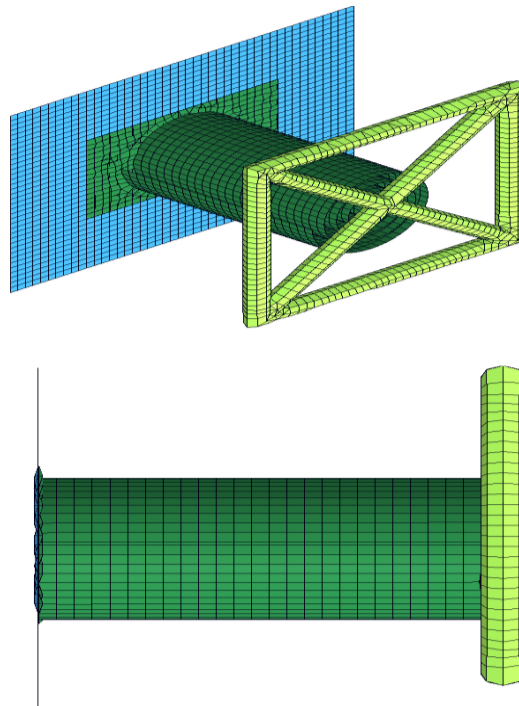


Figura 3.38 Impacto frontal del atenuador 4 a 0 segundos.

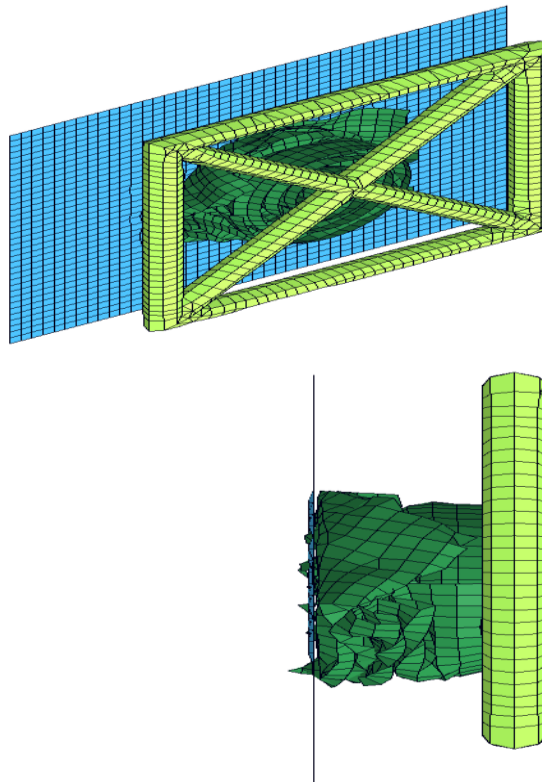


Figura 3.39 Impacto frontal del atenuador 4 a 0.05 segundos.

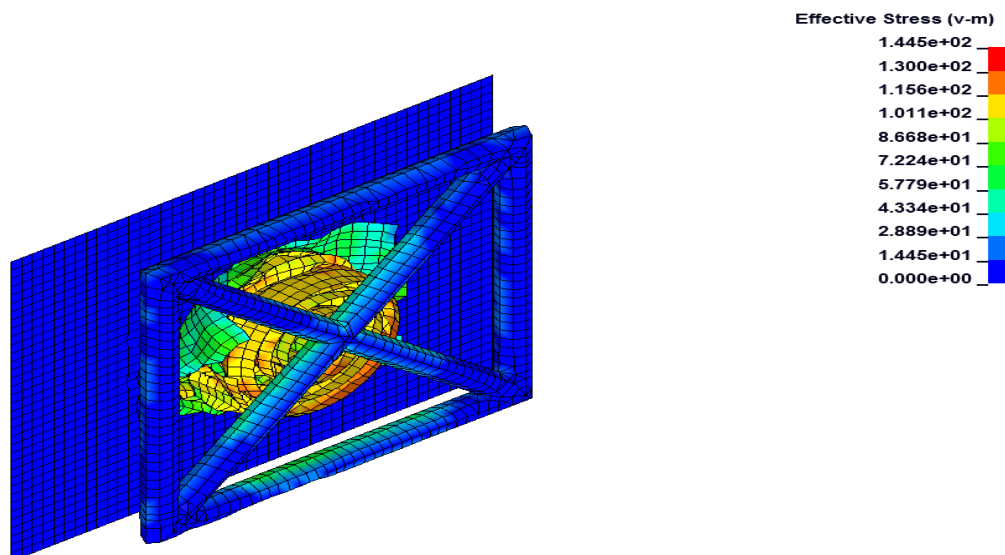
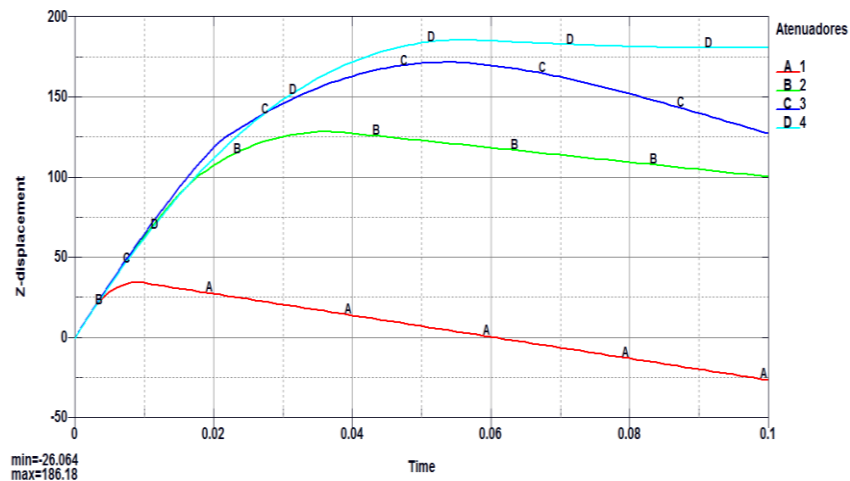


Figura 3.40 Esfuerzo de Von Misses del atenuador 4.

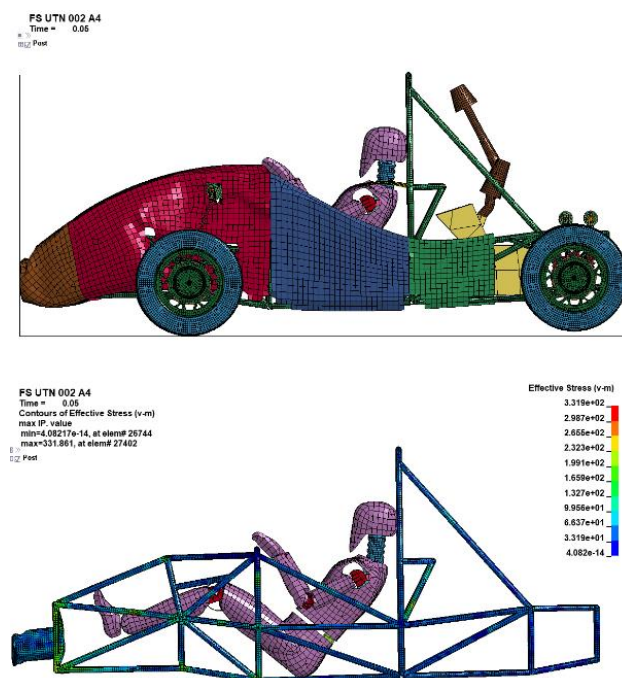
En la **Figura 3.41**, el esfuerzo máximo alcanzado es de 1.44×10^2 MPa, ubicado en su mayor parte en la zona central del atenuador.

Tabla 3.2 Deformaciones de los atenuadores.

En la **tabla 3.2**, se observan las deformaciones máximas alcanzadas por los atenuadores. Se observa que el atenuador 4 se deforma alrededor de 185 mm. De esta manera, el atenuador 4 es el elegido para una simulación completa con el Fórmula Student y para la construcción de Atenuador.

3.4.5. ANÁLISIS DEL FÓRMULA STUDENT CON EL ATENUADOR.

Una vez realizado los análisis de impacto en los atenuadores, se procede a realizar el análisis del Fórmula Student con el atenuador 4, y examinar los esfuerzos producidos, como se observa en las figuras a continuación:

**Figura 3.41** Simulación de Fórmula Student con atenuador 4 a 0.05 segundos.

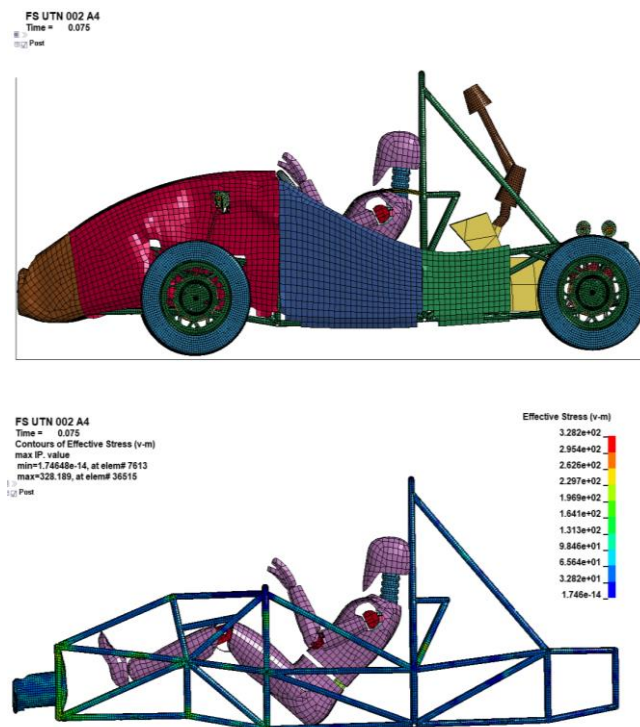


Figura 3.42 Simulación de Fórmula Student con atenuador 4 a 0.075 segundos.

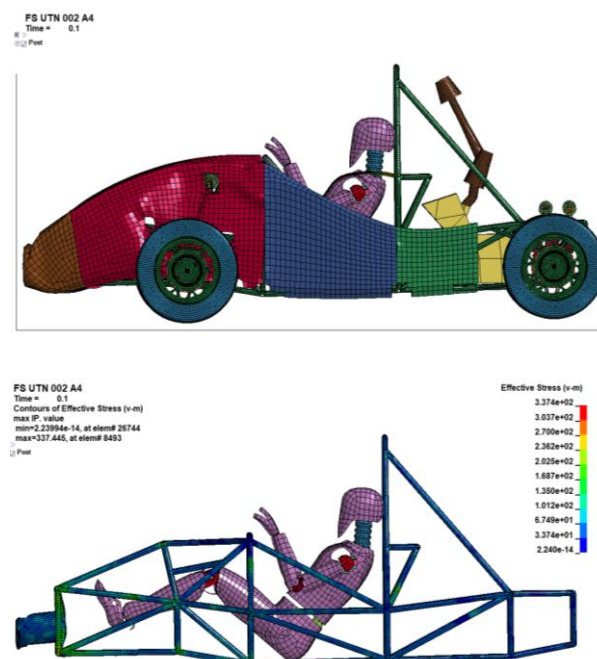


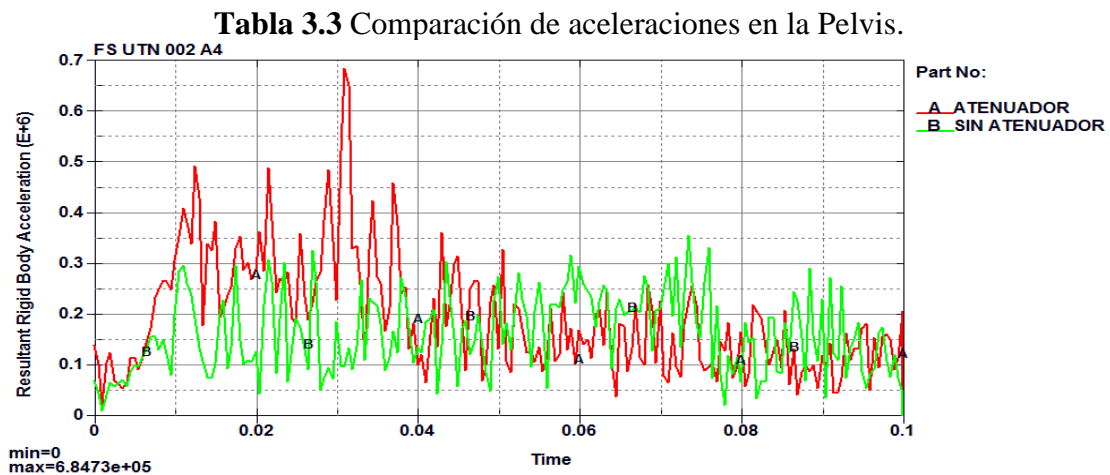
Figura 3.43 Simulación de Fórmula Student con atenuador 4 a 0.1 segundos.

Nótese que el atenuador 4 reduce en gran parte la deformación del vehículo, sin permitir la intrusión de metal en la parte interna del habitáculo del piloto. De esta manera, los esfuerzos producidos son reducidos en las esquinas, acumulándose en el atenuador.

3.4.6. ANÁLISIS DE LAS ACELERACIONES EN MANIQUÍ HÍBRIDO 3.

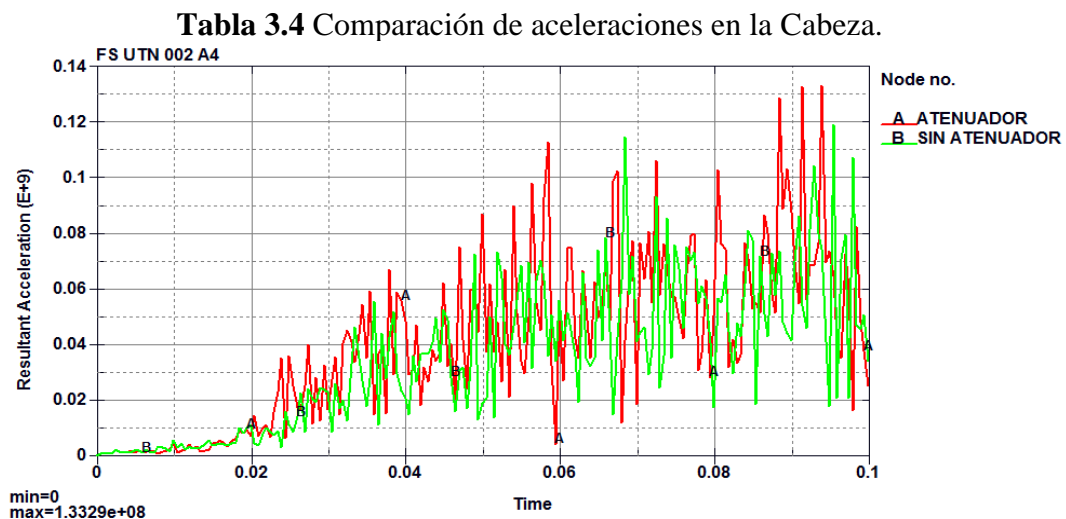
Las figuras a continuación denotan las diferentes aceleraciones encontradas en el maniquí sin atenuador vs maniquí con atenuador. Esto se detalla a continuación:

- Aceleraciones en pelvis.



Si se observa la **tabla 3.3**, la aceleración producida en la pelvis posee un pico mayor de 0.68, sin embargo, la misma se va reduciendo conforme va pasando el tiempo.

- Aceleraciones en Cabeza.



En la **tabla 3.4**, no se observa mucha diferencia en las aceleraciones de la cabeza, nótese que el pico mayor es de 0.132.

- Aceleraciones en Brazos.

Tabla 3.5 Comparación de las aceleraciones en los Brazos.

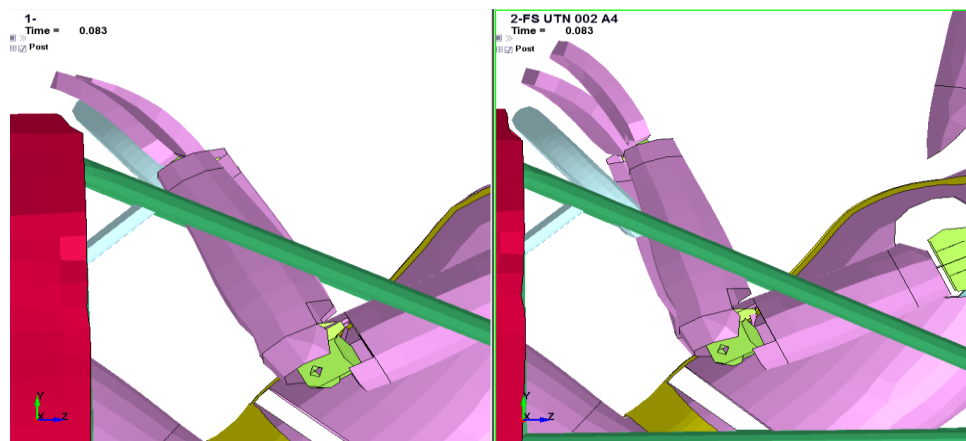
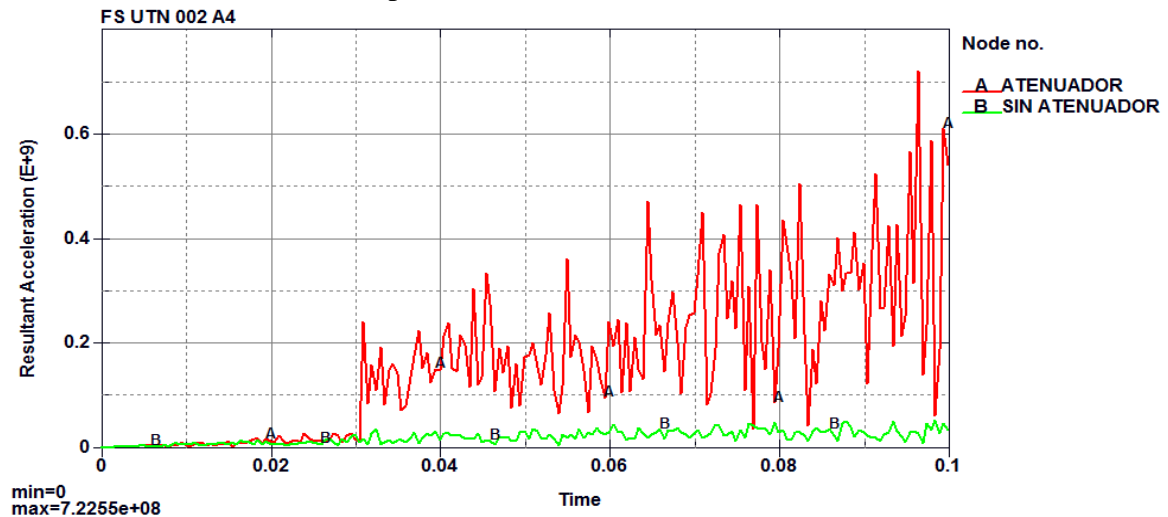
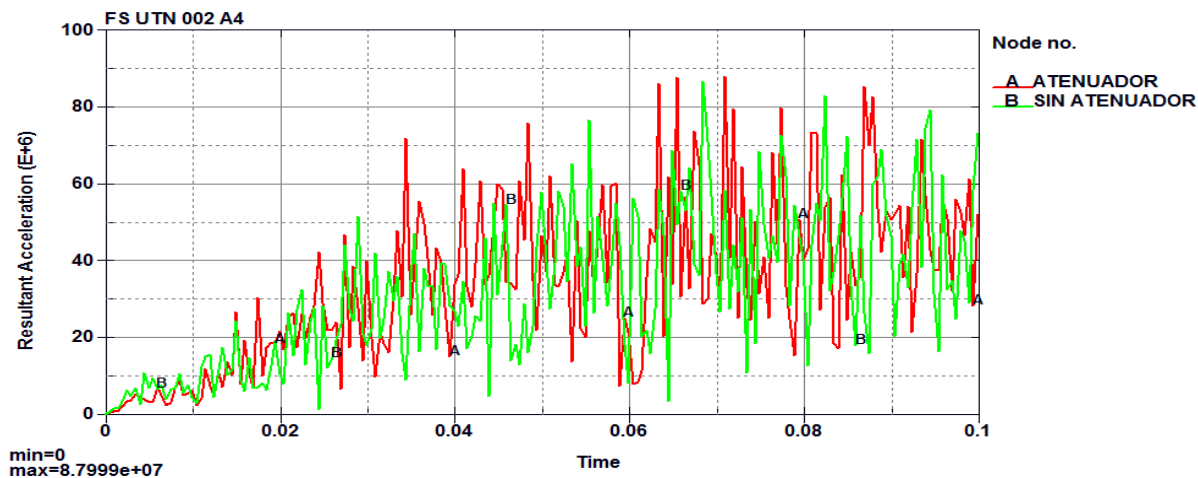


Figura 3.44 Análisis de los brazos durante el impacto.

En la **figura 3.45**. Se observa que las aceleraciones producidas en el brazo son mucho mayores en el caso del atenuador, esto se debe a que entre el vehículo y la pared rígida se encuentra un cuerpo sólido que absorbe el impacto, y no permite que el vehículo se deforme en su totalidad y se detenga.

- Aceleraciones en Piernas.

Tabla 3.6 Comparación de las aceleraciones en las Piernas.



En la **tabla 3.6**, se observan la aceleración producida en las piernas, nótese que no presentan una gran diferencia entre ambas curvas, sin embargo, la aceleración producida con atenuador se disminuye conforme va sucediendo el impacto.

3.4.7. DESPLAZAMIENTO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DEL ATENUADOR.

Tabla 3.7 Desplazamiento de la estructura soporte sin atenuador.

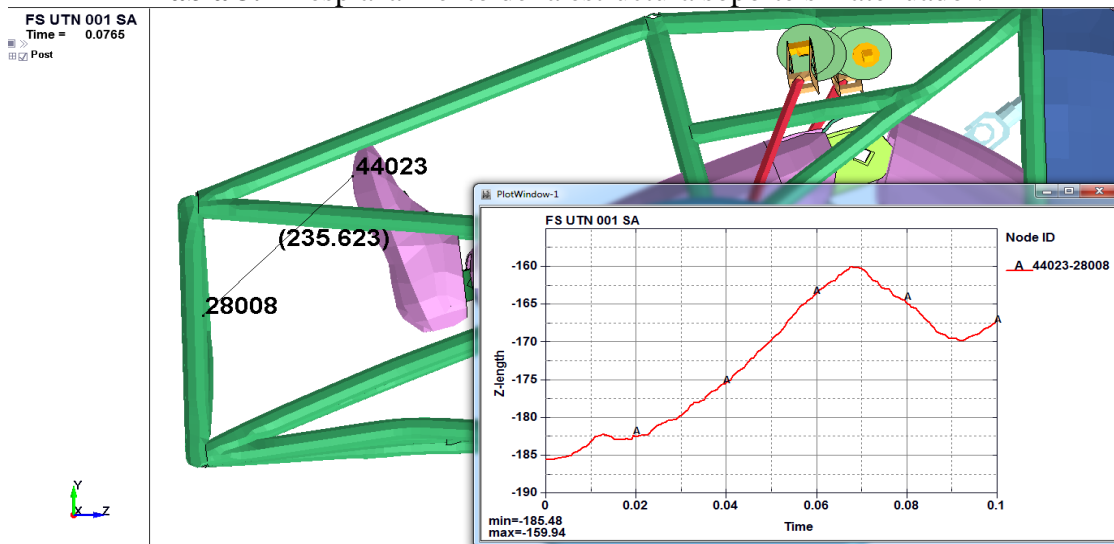


Tabla 3.8 Desplazamiento de la estructura soporte con atenuador.

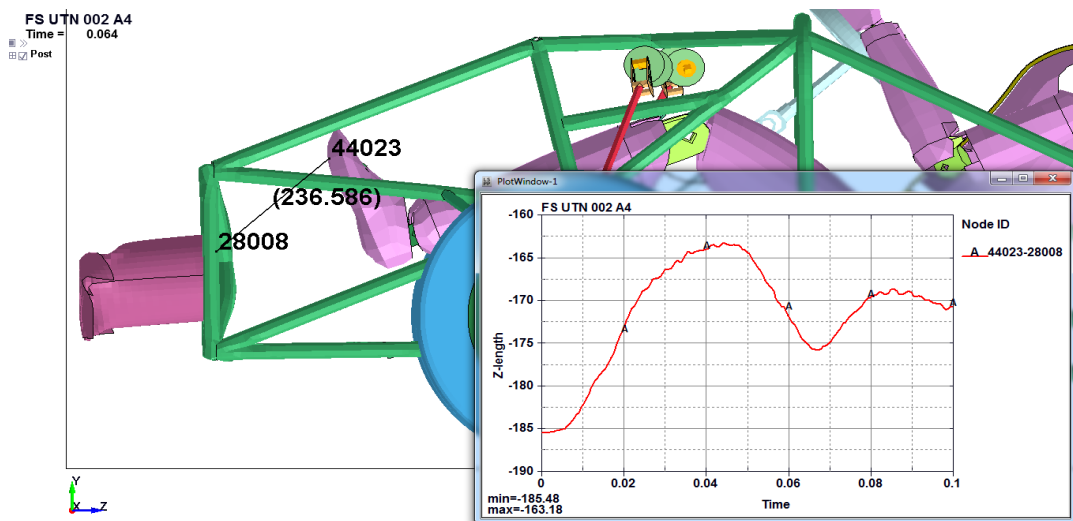
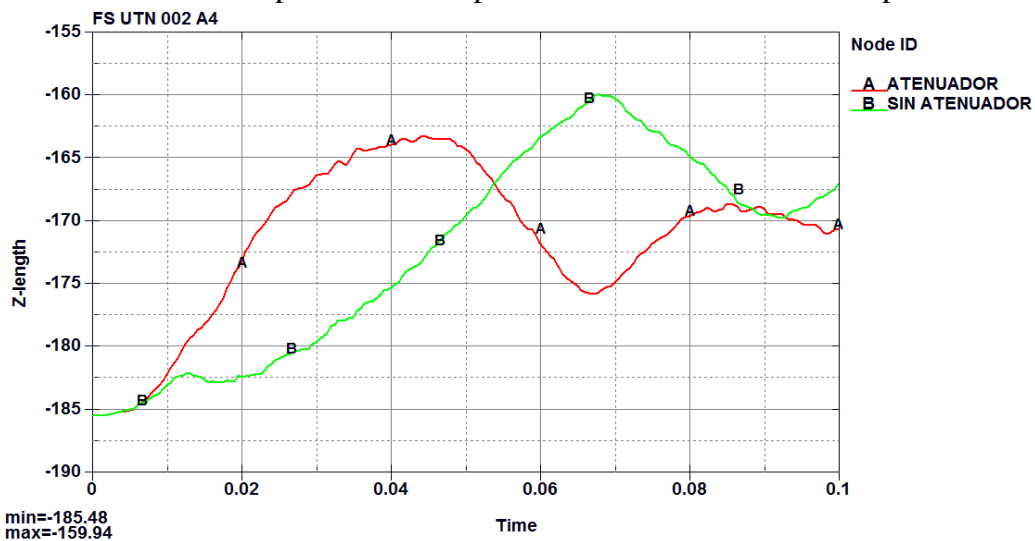
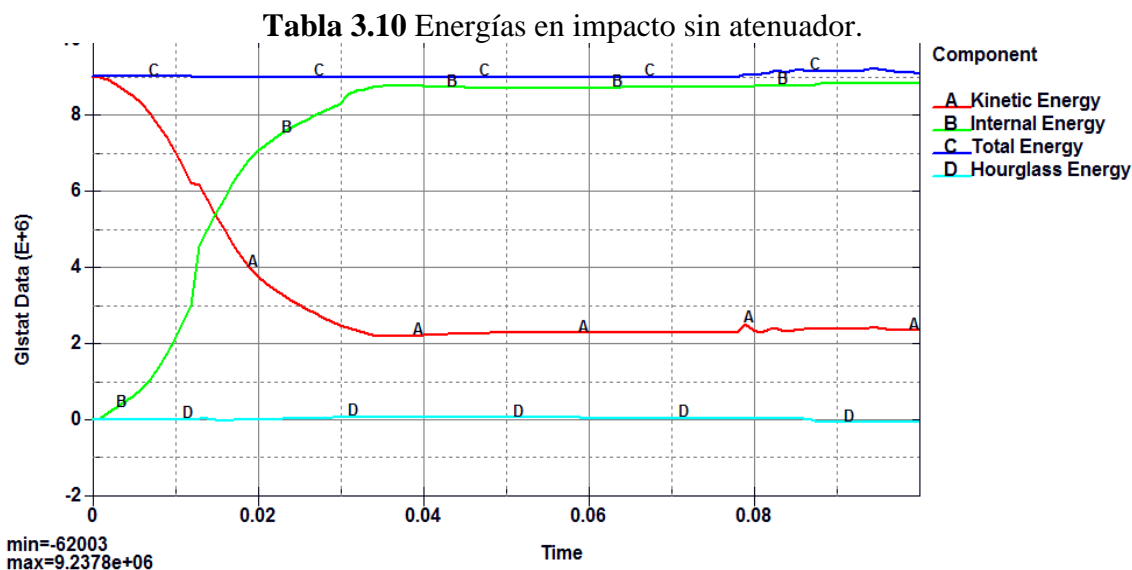


Tabla 3.9 Comparación de desplazamientos de la estructura soporte.



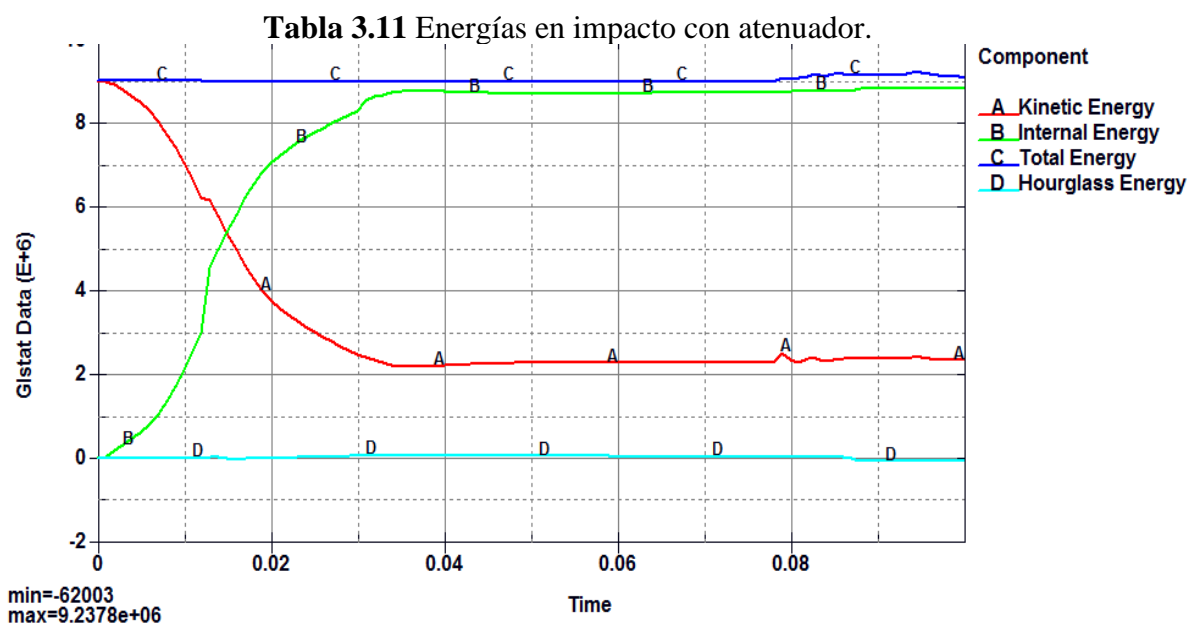
De la **tabla 3.9**, se observa que el desplazamiento es menor cuando el atenuador se encuentra presente en la estructura durante el impacto. Nótese que el desplazamiento máximo alcanzado por el análisis sin atenuador es de -160 mm, tomado de referencia el eje Z.

3.4.7.1. Energías desprendidas por el impacto sin atenuador.



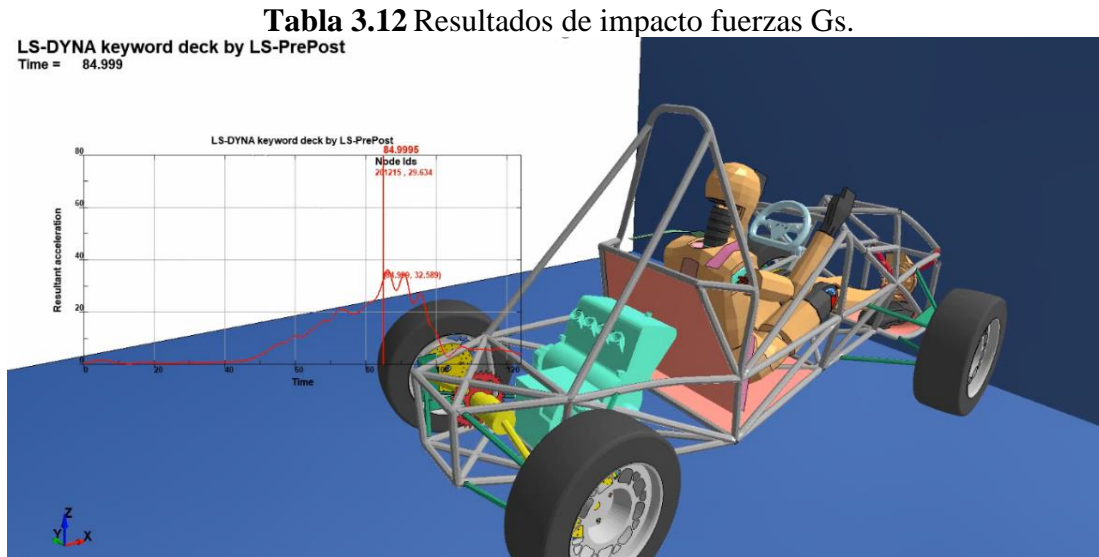
3.4.7.2. Energías desprendidas por el impacto con atenuador.

De las **tablas 3.10 y 3.11**. Se observa que existe un punto de transición de las energías cinética e interna a los 0.015 segundos aproximadamente; esto sucede en un impacto con atenuador mientras que, sin atenuador, estas energías se cruzan a los 0.035 segundos. De manera que, el atenuador absorbe mayor cantidad de energía en el menor tiempo posible una vez ocurrido el impacto.



3.4.7.3. RESULTADOS DE IMPACTO FRONTAL

En el siguiente grafico se observa las fuerzas G medidas en el pecho del maniquí de pruebas de impacto con lo que podemos observar que el pico máximo es de 36.6 g, y promedio inferior a 20 g, que cumplen con el reglamento de la fórmula SAE.



3.5. CONSTRUCCIÓN

Para la construcción del atenuador se emplea una plancha de aluminio de 1.5 mm que tiene 250mm de largo, 1.60 de largo y un paso de 5mm.

Antes de que se procediera a la creación primero tuvimos que realizar la construcción de una roladora para poder dar la forma de espiral con el paso de 5mm, ya que con las roladoras normales no pudimos realizar.

3.5.1 CONSTRUCCIÓN DE LA ROLADORA

Para la construcción de la roladora se necesitó los siguientes materiales:

- Eje de ½.
- Tuvo HG de ½.
- Eje inoxidable.
- Pernos Galvanizados.

- Bocines.
- Guías con rulimanes.
- Ángulos.

Se procedió a realizar el ensamblaje dando como resultado la roladora manual, que se puede visualizar en la siguiente imagen.



Figura 3.45 Creación Roladora.

3.5.2. CONSTRUCCIÓN DEL ATENUADOR DE ALUMINIO

Para la construcción de atenuador se puso la plancha de aluminio en la roladora para poder dar forma de espiral con un paso de 5mm, como se observa en la siguiente imagen.



Figura 3.46 Creación del espiral.

Después de haber realizado la construcción del atenuador de aluminio en espiral precedimos a la verificación del paso de 5mm como se observa en la imagen.

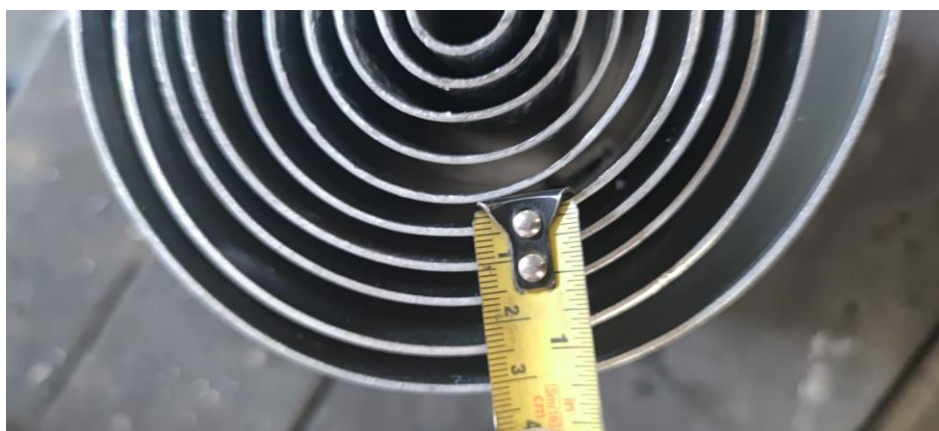


Figura 3.47 Medición del paso de 5mm.

Tras la verificación del paso de los 5mm como se observó anterior mente se procedió a la soldadura de las placas de aluminio que van unidas en la parte posterior e inferior del atenuador de impactos, con lo cual se realizó la soldadura con la soldadora TIG de aluminio como apreciamos en la siguiente imagen.



Figura 3.48 Unión mediante soldadura.

Después de haber realizado todos los pasos anteriores se pudo completar con la creación del Atenuador de impactos como se muestra en la imagen siguiente.

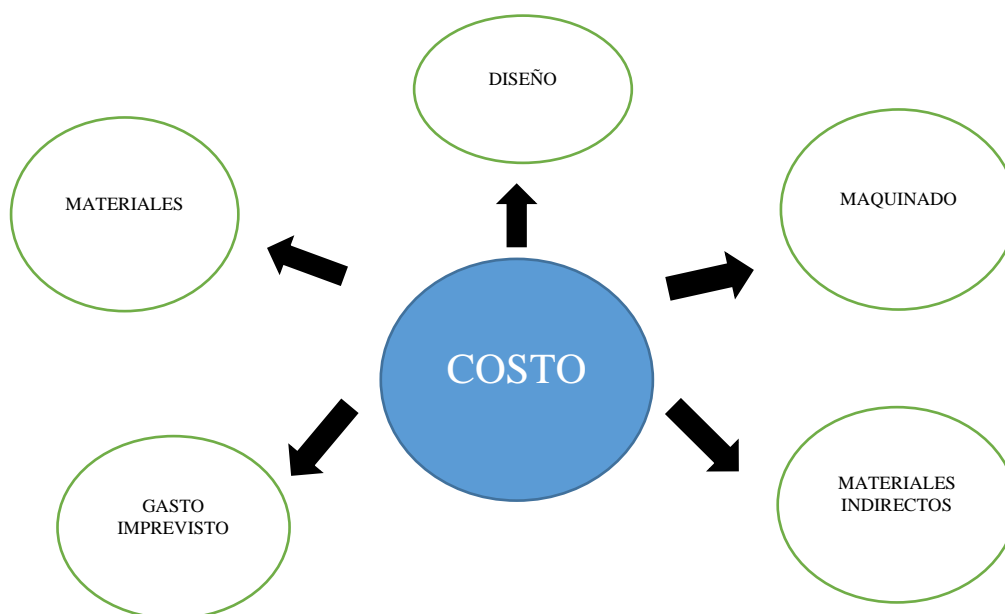


Figura 3.49 Atenuador de impactos finalizado.

3.6. INTRODUCCIÓN

Con el análisis de costos del proyecto "Diseño y construcción de un atenuador de impactos para un vehículo monoplaza fórmula SAE", se realizó un estudio para obtener de manera clara los costos reales del atenuador, considerando los factores que involucran su construcción.

Por lo tanto, se realizó un análisis con los beneficios que presenta este elemento para el vehículo monoplaza de fórmula SAE, su utilidad o beneficios propios.



El análisis de costos nos permite determinar cuánto es el capital invertido en este proyecto, dándonos a conocer todos los costos fijos, variables, mano de obra directa e indirecta. Estos valores incluyen todos los costos que nos implican la construcción del atenuador de impactos.

3.6.1. COSTO DIRECTOS

Son los que se encuentran en el porcentaje mayor con respecto a los costos totales del proyecto:

- Costo de Materiales.
- Costo de Maquinaria.

3.6.2. COSTOS INDIRECTOS

Aquellos que no están formados de forma minuciosa en el análisis de costos, ejemplo: tiempos muertos, transporte, imprevistos, etc.

- Gastos imprevistos.
- Costos de materiales indirectos.

3.6.3. ANÁLISIS DE COSTOS DIRECTOS

3.6.3.1. Costo de los materiales.

Se toma en cuenta en este análisis, los gastos que intervienen directamente con los materiales que se utilizaron para la elaboración del atenuador. Se tiene en cuenta que todos estos materiales se encuentran disponibles en el medio.

En la siguiente tabla se detallan los materiales adquiridos con los costos tanto unitarios como totales:

Tabla 4.1 Costo de los Materiales.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR TOTAL (\$)
Plancha de aluminio 1.5mm de espesor	1	63,00
Roladora	1	100,00
SUBTOTAL		163 ,00 USD

3.6.3.2. Costos de utilización de maquinaria.

Aquí detallaremos lo que viene a ver con el valor respecto a la mano de obra indirecta empleada para la fabricación del Atenuador de impactos y la roladora para la forma del atenuador de impacto.

A continuación, se detalla el costo total de utilización de maquinaria.

Tabla 4.2 Costo de Maquinaria.

MAQUINA	COSTO DE MAQUINA Y MANO DE OBRA
TALADRO	8,00
ROLADORA	40,00
SUBTOTAL	48,00 USD

3.6.4. COSTO DE MONTAJE

En este costo se relaciona la mano de obra que se ocupó para el ensamblaje de la pieza utilizada para el atenuador.

Para la mano de obra se utilizó un ingeniero industrial por el lapso de 4 horas siendo el costo de hora por 10 dólares.

En la siguiente tabla se muestra el costo de montaje para el atenuador de impactos:

Tabla 4.3 Costo de montaje.

PERSONAL	ESPECIALIDAD	TIEMPO (H)	COSTO HORA	VALOR
INGENIERO	INDUSTRIAL	4	10	40,00
SUBTOTAL				40,00 USD

3.6.5. COSTO DIRECTO TOTAL

En la siguiente tabla se muestra el costo total de materiales directos:

Tabla 4.4 Costo directo total.

COMPONESTE DEL COSTO	VALOR (\$)
COSTO DE MATERIALES	163,00
COSTO DE MAQUINADO	48, 00
COSTO DE MONTAJE	40,00
SUBTOTAL	251,00 USD

3.6.6. ANÁLISIS DE COSTOS INDIRECTOS

3.6.6.1 Costo de materiales indirectos

En estos costos son los que se generan del uso de materiales suplementarios en la construcción del atenuador.

Por ejemplo:

3.6.7 COSTO DE IMPROVISTO

Pala la construcción del atenuador se tiene los costos de diseño, la utilización y desarrollo de las pruebas de impacto mediante el software, movilización, papelería, entre otros, como se detalla a continuación.

Tabla 4.5 Costo de imprevisto.

IMPREVISTOS	VALOR (\$)
CAPACITACIÓN DEL SOFTWARE LS-PrePost	500,00
MOVILIZACIÓN	150,00
GASTOS DE INVESTIGACIÓN (internet)	10,00
IMPRESIÓN DE DOCUMENTOS	4,00
VARIOS	20,00
SUBTOTAL	684,00 USD

3.6.8 COSTO INDIRECTO TOTAL

En la siguiente tabla se muestra los costos indirectos totales:

Tabla 4.6 Costo indirecto Total.

COMPONENTE DEL COSTO	VALOS (\$)
COSTO DE LOS COMPONENTES INDIRECTOS	0,00
IMPREVISTOS	684,00
SUBTOTAL	684,00 USD

3.6.9. COSTO TOTAL

En este costo se va a obtener la sumatoria de los costos calculados y analizados.

Tabla 4.7 Costo total.

COMPONENTE DEL COSTO	VALOR (\$)
COSTO DIECTO	251,00
COSTO INDIRECTO	684,00
SUBTOTAL	935,00 USD

3.7. BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL ATENUADOR DE IMPACTOS PARA UN VEHÍCULO MONOPLAZA FÓRMULA SAE

Los beneficios del atenuador de impactos en el vehículo monoplaza son tan tangibles como intangibles y se procede a detallar a continuación.

3.7.1. BENEFICIOS TANGIBLES

Los beneficios tangibles son todo lo que se puede cuantificar en unidades materiales, por lo tanto, con el atenuador de impacto se obtiene un ahorro económico ya que cumple con un diseño propio y con los requisitos dados en la reglamentación de la fórmula SAE.

El costo aproximado del atenuador de impactos es de 73 dólares que cumple dentro del presupuesto para un vehículo de la fórmula SAE y es rentable su construcción.

3.7.2. BENEFICIOS INTANGIBLES

Los beneficios intangibles son aquellos que no se pueden cuantificar, pero al ser beneficio se toma en cuenta dentro del análisis de costo, por lo tanto, se da a conocer los beneficios intangibles que se obtiene al desarrollar este proyecto.

1. Competitividad. – La construcción se la realizo con un costo mínimo con comparación a universidades de otros países, por ejemplo: en países extranjeros las universidades tienen presupuestos, la infraestructura, bancos de prueba y laboratorios necesarios para la construcción o para la realización de las pruebas dinámicas o estáticas.

Pero esto no nos impidió realizar nuestra construcción e investigación para poder realizar un producto con las mismas características y prestaciones dadas en otros países.

2. Disminución de lesiones. – Con la implementación del atenuador de impacto en el vehículo monoplaza de la Universidad Técnica Del Norte, pudimos lograr que se disminuyan las lesiones en todo el cuerpo del piloto, ya que el atenuador absorbe la energía del impacto y no es transmitida al piloto.

3. Aumento de seguridad. – Esto nos permite tener un elemento de protección y de seguridad no solo para el conductor si no para la carrocería del vehículo mono plaza y así evitando que se deforme la carrocería y lesionando gravemente al piloto.

4. Aprendizaje. - Con la construcción de este proyecto se pudo obtener nuevos conocimientos, por ejemplo.

- Se logró manejar un nuevo programa llamado LS- PrePost, que nos permite la creación no solo del atenuador, sino de todo el vehículo que se encuentra en la Universidad Técnica del Norte, como también la simulación tanto estática como dinámica. Y con este software pudimos obtener diferentes resultados como. Energía interna energía de absorción, deformación, lesiones al piloto, entre otros que nos permiten analizar y obtener valores reales ya que el programa es creado directa mente para colisiones.

CAPITULO IV

4.1. CONCLUSIONES

- Se observó las deformaciones máximas alcanzadas por los atenuadores, y se verificó que el atenuador 4 se deforma alrededor de 185 mm, en comparación al tercer diseño que solo alcanza los 145mm. Y el mejor atenuador es el número 4 por su mayor deformación y disipación en el impacto.
- El esfuerzo máximo alcanzado del atenuador 4 es de 1.44×10^2 MPa, ubicando en su mayor parte el golpe en la zona central del atenuador y esto conlleva a una mejor absorción y disipación al momento del impacto.
- El atenuador de impactos propuesto conjuntamente con la estructura del bastidor absorbe la energía cinética en el impacto produciendo un pico máximo de 36.6 g, en maniquí de pruebas de impacto con 20 g inferiores como promedio, por esta razón se concluye que el diseño del bastidor y el atenuador propuestos cumplirían con el requisito T3.19.1 (Desacelerar el vehículo a una velocidad que no supere los 20 g de promedio y los 40 g de pico) del reglamento de la competencia, con lo que el atenuador estaría a conformidad.
- El software LS-PrePost es especializado para ver el comportamiento biomecánico en colisiones para maniquís de pruebas de impactos utilizado para el desarrollo de prototipos automotrices, por esta razón se utilizó este software para el desarrollo de la investigación.
- Las energías hourglass y damping, estas dos se conocen como energías no físicas y éstas son errores matemáticos cuando se hace la simulación, cuando la energía *hourglass* es mayor al 10% de la energía total, la simulación no es válida y cómo se observar en la tabla 3.11, la energía es menor al 10%, lo que indica que la simulación es correcta y factible.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la realización de la prueba de impacto real con el atenuador ya presentado en este proyecto de tesis y de esta manera obtener la energía de absorción que debe superar los 7350J (Joules), porque la Normativa SAE 73.19.1 lo dictamina así.
- Realizar la creación de atenuadores de impacto con diferentes materiales y ver su comportamiento, para poder tener una idea más clara de las fuerzas de cada material y su absorción y disipación.
- Optimizar la carrocería de la fórmula student del taller de la Carrera, por el motivo de que en las simulaciones de impacto realizadas en el software LS-PrePost, los resultados reflejan que no soporta y se recomienda hacerlo con el material DOCOL R8, este material es fabricado especialmente para los vehículos de competición.
- Se recomienda la adquisición de la licencia del software ANSYS LS-DYNA, el cual permite analizar el comportamiento biomecánico en colisiones, con el fin de realizar diseños y simulaciones de impacto en todo tipo de vehículo, esto permitirá analizar el comportamiento de todos los componentes al momento de una colisión.
- Crear un banco de pruebas impacto, el cual puede ser por medio de caída libre, péndulo o trineo, esto permitirá corroborar con los resultados obtenidos en el diseño y simulación desarrollados en el software.

Bibliografía.

- A.C., S. S. (2016). *SAE*. Obtenido de <http://www.saemx.org/sobre-saemx>
- Aluminio, N. d. (2016). *aluNID*. Obtenido de <http://alunid.com/es/>
- aluNID. (2016). *AluNID*. Obtenido de <http://alunid.com/es/>
- arpal. (2016). *arpal alu*. Obtenido de <http://aluminio.org/?p=830>
- Askeland R, D., & Wright J, W. (2011). *Ciencia e ingeniería de materiales*. CENGAGE Learning.
- BOLÍVAR, E. F. (2013). *F-SAE USB*. Obtenido de <http://www.fórmulasae.grupos.usb.ve/version2/proyectocompetencia.html>
- Bueno Sáenz, D., & Bravo Murillo, D. (2012). *Ciencia de los materiales*. Obtenido de http://www.academia.edu/8081948/Ciencia_de_los_materiales_LA_FIBRA_DE_CARBONO
- Castells, X., & Alsina, S. (2012). *Energía agua, mediambiente, territorialidad y sostenibilidad*.
- Castro Fernández, V. (Septiembre de 2016). *ump RACING*. Obtenido de http://oa.upm.es/43436/1/TFC_VERONICA_CASTRO_FERNANDEZ.pdf
- Cols, A., Balbás, A., Urrea, C., & Travedo, I. (2013). *F-SAE USB*. Obtenido de <http://www.fórmulasae.grupos.usb.ve/version2/proyectocompetencia.html>
- Dietrich, A. B. (2005). *MATERIALES COMPUESTOS: PROCESOS DE FABRICACIÓN EMBARCACIONES*. EDICIONES UPC.
- Ejemplode.com, R. (Diciembre de 2013). *Ejemplode*. Obtenido de http://www.ejemplode.com/38-quimica/3524-caracteristicas_del_aluminio.html
- EUROGRATE. (2016). *EUROGRATE rejillas en prfv*. Obtenido de http://www.eurograte.es/fibra_de_vidrio/
- expandido, e. a. (2016). *Eps anape*. Obtenido de <http://www.anape.es/index.php?accion=producto>
- EXTRUSORA, R. (2017). *uiadelaindustria.com*. Obtenido de <http://www.guiadelaindustria.com/empresa/rao-extrusora-tubos-barras-de-aluminio-y-perfiles-industriales/41820>
- EYZAGUIRRE, C. C. (7 de 2010). *ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE PROBLEMAS COMPLEJOS DE INGENIERÍA MODERNA UTILIZADO EL MÉTODO DE*

- LEMENTOS FINITOS*. Obtenido de http://ricabib.cab.cnea.gov.ar/165/1/1Cardenas_Eyzaguirre.pdf
- Flores Liahut, A. (Diciembre de 2011). *"EL HONEYCOMB (ESTRUCTURA DE PANAL)*. Obtenido de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32740/1/florezliahut.pdf>
- fondo, C. a. (2015). La fibra de carbono. *Sports Ciclismo a fondo*, 1-2.
- Groover P, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas*. McGrawHill.
- Groover, M. (2010). *Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, procesos y sistemas*. 169.
- Isabelle, R. (Octubre de 2015). *LosTipos.com*. Obtenido de <http://www.lostipos.com/de/tipos-de-aluminio.html>.
- Jácome Aguiño, A. O. (2015). *Estudio de la Configuración Estructural de los Materiales Compuestos Sintéticos Estratificados de Matriz Epox*. Obtenido de <file:///C:/Users/LUIS%20MIGUEL/Desktop/Tesis%20de%20de%20Grado%20-%20Andres%20Jácome.pdf>
- JUAREZ, I. (1991). *grupo.cmd*. Obtenido de https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1010893
- LEKER. (2016). *LEKER Policarbonato Chile Ltda*. Obtenido de <http://www.policarbonatoschile.cl/revestimiento-plastico/>
- LONAS Y TEJIDOS JNB, S. (2017). *jnb marine textiles*. Obtenido de <http://www.jnb.es/producto/1/31/18/dual-lock-sj-3550>
- Luna Bacuilima, J. L., Pucha Tambo, M. V., & Valencia Palomeque, F. J. (Julio de 2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ATENUADOR DE IMPACTO PARA HEHÍCULO MONOPLAZA FÓRMULA STUDENT*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5131/1/UPS-CT002715.pdf>
- Mendoza Ángeles, L. D. (Abril de 2016). *INSTRUMENTACIÓN DE MÁQUINA*. Obtenido de <http://uteq.edu.mx/tesis/ITA/337.pdf>
- MINERAL, L. (2017). *AISLACIONES-TERMICAS.COM*. Obtenido de <http://aislaciones-termicas.com/poliestireno-expandido/>
- Miravete, A. (2003). *Materiales compuestos*. Reverte.
- Pagola Correa, C. (2015). *Estudio numérico y experimental de un atenuador de impacto para fórmula SAE*. Obtenido de <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/27138>

- Pedro. (2015). *FIBRA DE CABONO.ES*. Obtenido de <http://www.fibradecarbono.es/articulos/que-es-fibra-carbono/>
- PLASCORE. (2016). *PLASCORE*. Obtenido de <http://www.plascore.com/es/oferta-de-productos-de-clase-mundial/nucleos-en-forma-de-panal/nucleos-en-forma-de-panal-en-aluminio/>
- POLY-PUR. (2016). *AISLACIONES POLY-PUR*. Obtenido de <http://www.polypur.cl/poliuretano-aislante.html>
- PORTAFAB. (2017). *PORTAFAB Modular Building Systems*. Obtenido de <http://www.portafab.com/aluminum-honeycomb-panels.html>
- Rules, F. S. (2015). *SAE INTERNATIONAL*. Obtenido de http://www.sae.org/images/cds/selfservice/410986855_2015-16%20FSAE%20Rules%20revision%2091714%20kz.pdf
- Rules, F. S. (2017). *Fórmula Student Rules GERMANY*. Obtenido de https://www.fórmulastudent.de/uploads/media/FS-Rules_2017_V1.1.pdf
- SAC, E. (25 de 07 de 2018). *ECOBALSA: Maderas balsa*. Obtenido de http://www.ecobalsa.com/descargar/FICHA_TECNICA_DE_LA_MADERA_BALSA.pdf
- SAE, F. (2017). *fsaeonline*. Obtenido de <https://www.fsaeonline.com/>
- SALIBA, R. (7 de 2010). *TESIS CARRERA MAESTRIA EN INGENIERIA*. Obtenido de http://ricabib.cab.cnea.gov.ar/165/1/1Cardenas_Eyzaguirre.pdf
- Vélez Moreno, L. (2008). *Mareriales industriales. Teoría y aplicaciones*. instituto Tecnológico Metropolitano, ITM.
- vidrio, F. d. (2016). *Cursos maximatec*. Obtenido de <http://www.cursos.maximatec.com/downloads/Fibra%20de%20Vidrio.pdf>
- vidrio, F. d. (2016). *MAQUINARIApro*. Obtenido de <http://www.maquinariapro.com/materiales/fibra-de-vidrio.html>

ANEXOS

CONSTRUCCIÓN DEL ATENUADOR DE IMPACTOS.



Figura 0.1 Colocación de plancha de aluminio de 1.5 mm.



Figura 0.2 Deformación de la plancha de aluminio para dar el molde de espiral.



Figura 0.3 Intentos de atenuadores realizados y atenuador terminado.



Figura 0.4 Atenuador terminado realizado el espiral.

PROCESO DE SOLDADURA DEL ATENUADOR DE IMPACTOS



Figura 0.5 Unión por proceso de soldadura de aluminio.



Figura 0.6 Primer unión de soldadura.



Figura 0.7 Proceso de soldadura total.



Figura 0.8 Atenuador terminado con su proceso de soldadura.