



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**Fabricación de un casco abierto para motociclista aplicando
manufactura aditiva para su homologación bajo la norma INEN:
2669:2013, mediante un diseño propio**

ADOLFO JUAN PEÑA PINARGOTE

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación y Desarrollo, presentado
ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito
parcial para obtención del grado de:

MAGÍSTER EN DISEÑO MECÁNICO

RIOBAMBA-ECUADOR

MAYO 2024

Yo, Adolfo Juan Peña Pinargote, declaro que el presente **Trabajo de titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, mayo de 2024



Adolfo Juan Peña Pinargote

No. Cédula: 1204668766

©2024, Adolfo Juan Peña Pinargote

Se autoriza la reproducción total o parcial con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado Fabricación de un casco abierto para motociclista aplicando manufactura aditiva para su homologación bajo la norma INEN: 2669:2013, mediante un diseño propio, de responsabilidad del señor Adolfo Juan Peña Pinargote, ha sido minuciosamente por los Miembros del Tribunal de trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza a su presentación.

Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes; Mgtr.



PRESIDENTE

Ing. Santiago Alejandro López Ortiz; M.Sc.



DIRECTOR

Ing. Julio Cesar López Ayala; Mgtr.



MIEMBRO

Ing. Miguel Humberto Fernández Cepeda; Mgtr.



MIEMBRO

Mayo de 2024

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a personas muy especiales que están presente en mi vida, empezando por mi Padre ADOLFO (+) quien desde la eternidad me sigue iluminando con sus enseñanzas impartidas mientras estuvo a mi lado, a mi Madre AURIA, que siempre está junto a mí para brindarme su apoyo en todo momento y cualquier circunstancia, a mis hijas GÉNESIS VALENTINA, ANDREA GISSEL, y ELSA SOFÍA quienes con su llegada me han alentado a seguir luchando por alcanzar nuevas metas que se presentan en mi vida.

Adolfo.

AGRADECIMIENTO

Agradecido con DIOS, por darme el aliento de vida y alcanzar esta nueva meta planteada, agradecimiento especial e infinito para mi esposa ANGÉLICA, quien ha estado siempre apoyándome para seguir adelante y alcanzar nuevos objetivos que parecen distantes, a mis HERMANAS y HERMANOS, con su apoyo siempre me han alentado para no desmotivarme en el camino y alcanzar los nuevos logros.

Adolfo.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
<i>1.1 Planteamiento del problema.....</i>	<i>1</i>
<i>1.2 Situación problemática</i>	<i>4</i>
<i>1.3 Pregunta de investigación.....</i>	<i>5</i>
<i>1.3.1 Preguntas directrices o específicas de la investigación</i>	<i>5</i>
<i>1.4 Justificación de la investigación</i>	<i>6</i>
<i>1.4.1 Justificación teórica</i>	<i>6</i>
<i>1.4.2 Justificación práctica</i>	<i>6</i>
<i>1.5 Objetivos de la investigación</i>	<i>7</i>
<i>1.5.1 Objetivo general.....</i>	<i>7</i>
<i>1.5.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>7</i>
<i>1.6 Hipótesis.....</i>	<i>7</i>
<i>1.6.1 Hipótesis General.....</i>	<i>7</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	8
<i>2.1 Antecedentes del problema.....</i>	<i>8</i>
<i>2.2 Equipo de seguridad en motocicletas.....</i>	<i>9</i>
<i>2.3 Tipos de cascos para motociclistas.....</i>	<i>12</i>
<i>2.4 Fabricación de cascos con métodos tradicionales.</i>	<i>14</i>
<i>2.5 Materiales de los cascos de motocicletas.....</i>	<i>14</i>
<i>2.6 Manufactura aditiva.....</i>	<i>15</i>
<i>2.6.1 Ventajas de la aplicación de la manufactura aditiva.....</i>	<i>16</i>
<i>2.6.2 Impresoras de manufactura aditiva</i>	<i>17</i>
<i>2.6.3 Tipos de impresoras 3D</i>	<i>18</i>
<i>2.7 Polímeros utilizados en las impresiones 3D.....</i>	<i>19</i>
<i>2.7.1 Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS).....</i>	<i>21</i>
<i>2.7.2 Puntos fuertes del ABS.....</i>	<i>22</i>

2.7.3	<i>Limitaciones del ABS</i>	22
2.7.4	<i>Ácido Poliláctico PLA</i>	22
2.7.5	<i>Puntos fuertes del PLA</i>	23
2.7.6	<i>Limitaciones del PLA</i>	23
2.8	Bases teóricas	23
2.8.1	<i>Ensayo de Adsorción de Impacto</i>	23
2.8.2	<i>Ensayo de rigidez</i>	25
2.8.3	<i>Ensayo de inflamabilidad</i>	25
2.8.4	<i>Resistencia al impacto</i>	26
2.9	Estructura de panal de abejas	26
2.9.1	<i>Tipos de estructuras de panal de abeja</i>	27
2.9.2	<i>Comportamiento mecánico de la estructura del panal de abeja</i>	27
2.9.3	<i>Aplicación automotriz</i>	29
2.10	Operacionalización de las variables	31
2.11	Matriz de consistencia	32

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.1	Tipo y diseño de la investigación	35
3.1.1	<i>Investigación Descriptiva</i>	35
3.1.2	<i>Investigación Explicativa</i>	35
3.2	Método de la investigación	35
3.2.1	<i>Método Bibliográfico</i>	35
3.2.2	<i>Método Experimental</i>	35
3.3	Enfoque De La Investigación	35
3.4	Muestra de Estudio	36
3.5	Técnica de recolección de datos	36
3.6	Población y muestra	36
3.7	Factor de análisis	36
3.8	Modelado	37
3.8.1	<i>Diseño de horma</i>	37
3.8.2	<i>Diseño del equipo de ensayo de absorción de impactos</i>	37
3.8.3	<i>Altura para alcanzar las velocidades y generar el diseño</i>	38
3.8.4	<i>Modelado de la estructura principal del impactador</i>	39
3.8.5	<i>Modelación de estructura de impactador</i>	40
3.8.6	<i>Simulación de las velocidades al ensayar a caída libre los impactadores</i>	40
3.8.7	<i>Diseño de impactador semi esférico</i>	42

3.8.8	<i>Diseño de impactador cilíndrico</i>	42
3.8.9	<i>Diseño de casco</i>	43
3.8.10	<i>Simulación estática</i>	47
3.8.11	<i>Condiciones de simulación</i>	50
3.8.12	<i>Resultados</i>	51
3.8.13	<i>Simulación dinámica</i>	52

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
4.1	Requisitos del casco	73
4.2	Ensayos y pruebas	73
4.2.1.	<i>Requisitos específicos del ensayo de absorción de impactos</i>	74
4.2.2.	<i>Prueba de absorción de impactos con el material ABS</i>	74
4.2.3.	<i>Prueba de absorción de impactos con el material PLA</i>	76
4.3	Media y desviación estándar del material PLA en prueba de absorción de impacto	77
4.3.1	<i>Requisitos específicos del ensayo de rigidez</i>	78
4.3.2	<i>Prueba de rigidez con el material ABS</i>	78
4.3.3	<i>Prueba de rigidez con el material PLA</i>	78
4.4	Media y desviación estándar del material PLA en la prueba de rigidez	79
4.4.1	<i>Requisitos específicos del ensayo de inflamabilidad</i>	80
4.4.2	<i>Prueba de inflamabilidad con el material PLA</i>	81
4.5	Media y desviación estándar del material PLA en la prueba de flamabilidad	81

CAPÍTULO V

5.	PROPUESTA	83
----	------------------	----

	CONCLUSIONES	87
--	---------------------	----

	RECOMENDACIONES	88
--	------------------------	----

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1-1</i> Accidentes de tránsito en diferentes ciudades en el año 2023.	2
<i>Tabla 2-1</i> Problemas craneoencefálicos en diferentes ciudades.	3
<i>Tabla 1-2</i> Velocidades de la impresora FDM.	20
<i>Tabla 2-2</i> Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los polímeros.	20
<i>Tabla 3-2</i> Operacionalización de variables	31
<i>Tabla 4-2</i> Matriz de consistencia	32
<i>Tabla 1-3</i> Velocidades de las pruebas de impacto	38
<i>Tabla 2-3</i> Altura ideal para la estructura principal.	38
<i>Tabla 3-3</i> Composición del acero ASTM A500	39
<i>Tabla 4-3</i> Propiedades mecánicas de la clasificación de aceros ASTM A500	39
<i>Tabla 5-3</i> Nodos y Shells de la Altura ideal para la estructura principal.	49
<i>Tabla 6-3</i> Propiedades del material.	50
<i>Tabla 7-3</i> Cálculo de las cargas aplicadas.	51
<i>Tabla 8-3</i> Elementos de seguridad en la estructura.	54
<i>Tabla 9-3</i> Propiedades material ABS del programa del ABS.	55
<i>Tabla 10-3</i> Propiedades de la espuma.	56
<i>Tabla 11-3</i> Propiedades del material.	57
<i>Tabla 1-4</i> Análisis de resultados: Prueba de absorción de impacto material ABS	75
<i>Tabla 2-4</i> Análisis de resultados: Prueba de absorción de impacto material PLA	76
<i>Tabla 3-4</i> Media y desviación estándar, adsorción de impacto con material PLA	77
<i>Tabla 4-4</i> Análisis de resultados: Prueba de rigidez con el material ABS.	79
<i>Tabla 5-4</i> Análisis de resultados: Prueba de rigidez con el material PLA.	79
<i>Tabla 6-4</i> Media y desviación estándar, prueba de rigidez con material PLA.	80
<i>Tabla 7-4</i> Ensayo de inflamabilidad en los materiales ABS y PLA	81
<i>Tabla 8-4</i> Media y desviación estándar, prueba de flamabilidad con material PLA	82

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1-1 Cuadro estadístico de la cantidad de siniestros de tránsito.....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2-1 Nomenclatura de cascos homologados.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 1-2 Cuadro estadístico de siniestros de tránsito en zonas urbanas.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2-2 Prueba de choque con el prototipo de airbag integrado.</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3-2 Tipos Principales de casco de motociclistas; abierto y cerrado.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 4-2 Airbag desplegable en casco de motocicleta.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 5-2 Seguridad con el uso de chaqueta sujeta al chasis de la motocicleta.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 6-2 Casco Integral.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 7-2 Casco Abatible.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 8-2 Casco Clásico.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 9-2 Proceso de impresión 3D de un polímero.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 10-2 Impresora 3D FDM.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 11-2 Estructura química del ABS.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 12-2 Estructura molecular del PLA.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 13-2 Ensayo de adsorción de impactos en cascos de motociclistas.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 14-2 Estructura del panel de abeja.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 15-2 Geometrías de panal de abeja.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 16-2 Estructura de panal de abeja bajo la aplicación de cargas.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 17-2 Cuatro tipos de estructuras de panales de abeja.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 18-2 Energía absorbida VS desplazamiento de diferentes estructuras de panales.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 19-2 Panal de abeja integrado en el material de absorción en casco de motocicleta....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 20-2 Ilustración del casco con el materias de aporte de panal de abeja.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 1-3. Horma modelada a partir de las dimensiones establecidas.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 2-3 Equipo de ensayo de absorción de impactos.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3-3 Estructura principal modelada.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 4-3 Desplazamiento a 2500 mm.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 5-3 Desplazamiento a 1500 mm.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 6-3 Dimensiones del impactador semiesférico.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 7-3 Peso de la estructura del impactador modelada.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 8-3 Dimensiones del impactador semiesférico.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 9-3. Peso de la estructura del impactador modelada.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 10-3 Trazado de extensión mínima de protección.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 11-3 Trazado de la extensión mínima de protección para la horma.....</i>	<i>44</i>

<i>Figura 12-3 Modelado de la parte externa del casco.</i>	45
<i>Figura 13-3 Modelado del espesor del casco.</i>	45
<i>Figura 14-3 Detalles finales del casco diseñado.</i>	46
<i>Figura 15-3 Vistas generales del diseño del casco.</i>	46
<i>Figura 16-3 Medidas generales del casco diseñado.</i>	47
<i>Figura 17-3 Tamaño de malla de la estructura principal.</i>	47
<i>Figura 18-3 Malla final de la estructura principal.</i>	48
<i>Figura 19-3. Índice de criterio jacobiano de malla.</i>	48
<i>Figura 20-3. Calidad de malla de la estructura principal.</i>	49
<i>Figura 21-3. Tipos de elementos que contiene la estructura principal.</i>	49
<i>Figura 22-3 Ingreso de las propiedades físicas del material ASTM A500.</i>	50
<i>Figura 23-3 Restricciones de desplazamiento y rotación, base de la estructura principal.</i>	50
<i>Figura 24-3 Cargas asignadas a la parte superior de la estructura principal</i>	51
<i>Figura 25-3 Valores de esfuerzo de Von Mises de la Estructura principal.</i>	51
<i>Figura 26-3 Valores de desplazamiento en el eje “y” de la estructura principal.</i>	52
<i>Figura 27-3 Tamaño de malla de la estructura principal.</i>	53
<i>Figura 28-3 Malla final de la estructura principal.</i>	53
<i>Figura 29-3 Tipos de elementos que contiene la estructura principal.</i>	54
<i>Figura 30-3 Propiedades del material.</i>	55
<i>Figura 31-3 Curva de deformación volumétrica ensayo de tracción de espuma.</i>	56
<i>Figura 32-3 Ingreso de propiedades del material.</i>	56
<i>Figura 33-3 Curva característica de Acero ASTM A500 Grado A.</i>	57
<i>Figura 34-3 Ingreso de propiedades del material.</i>	58
<i>Figura 35-3 En rojo acelerómetro origen de coordenadas, parte central de la cabeza.</i>	58
<i>Figura 36-3 Restricciones de desplazamiento-rotación en impactador-base de la estructura.</i>	59
<i>Figura 37-3 Ingreso y asignación de la velocidad correspondiente al impactador.</i>	59
<i>Figura 38-3 Esfuerzo máximo en el momento del impacto.</i>	60
<i>Figura 39-3 Curva de Aceleración resultante vs Tiempo.</i>	61
<i>Figura 40-3 Curva de Energía vs Tiempo.</i>	61
<i>Figura 41-3 Esfuerzo máximo en el momento del impacto.</i>	62
<i>Figura 42-3 Curva de Aceleración resultante vs Tiempo</i>	62
<i>Figura 43-3 Curva de Energía vs Tiempo.</i>	63
<i>Figura 44-3 Esfuerzo máximo en el momento del impacto.</i>	63
<i>Figura 45-3 Curva de Aceleración resultante vs Tiempo</i>	64
<i>Figura 46-3 Curva de Aceleración resultante vs Tiempo</i>	64
<i>Figura 47-3 Esfuerzo máximo en el momento del impacto.</i>	65
<i>Figura 48-3 Curva de Aceleración resultante vs Tiempo.</i>	66

<i>Figura 49-3 Curva de Energía vs Tiempo.</i>	66
<i>Figura 50-3 Esfuerzo máximo en el momento del impacto.</i>	67
<i>Figura 51-3 Curva de Aceleración resultante vs Tiempo</i>	67
<i>Figura 52-3 Curva de Energía vs Tiempo.</i>	68
<i>Figura 53-3 Esfuerzo máximo en el momento del impacto.</i>	69
<i>Figura 54-3 Curva de Aceleración resultante vs Tiempo</i>	69
<i>Figura 55-3 Curva de Energía vs Tiempo.</i>	70
<i>Figura 56-3 Construcción del equipo de ensayo.</i>	71
<i>Figura 57-3 Prototipo de Casco modelado en 3D</i>	71
<i>Figura 58-3 Proceso de impresión de los cascos en materiales ABS y PLA.</i>	72
<i>Figura 1-4 Modelo de casco 3D que cumple con los requisitos de la norma en simulaciones.</i> .	73
<i>Figura 2-4 Casco con material ABS después de las pruebas de absorción de impacto</i>	75
<i>Figura 3-4 Cascos de material PLA después de las pruebas de absorción de impacto</i>	77
<i>Figura 4-4 Casco con material PLA después de la prueba de inflamabilidad</i>	81
<i>Figura 1-5 Las impresoras de FFF (fabricación por filamento fundido)</i>	84
<i>Figura 2-5 Ubicación del elemento de sujeción en el casco</i>	85

RESUMEN

El presente proyecto plantea el diseño y fabricación de un casco abierto utilizado por motociclistas para su posterior homologación aplicando la manufactura aditiva, utilizando materiales distintos como el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) y el Ácido Poliláctico (PLA), que cumpla con lo establecido en la normativa INEN: 2669:2013 siendo las pruebas de absorción de impactos, la rigidez en términos de deformaciones longitudinales y transversales, además de la inflamabilidad, las establecidas en la normativa citada. Para conseguir lo planteado se inició diseñando la horma de pruebas del casco y el equipo de ensayo de adsorción de impactos con las dimensiones establecidas en la normativa, luego se procedió al diseño original del casco para ser sometido a las pruebas de simulación mediante en el software LSDYNA de ansys, el cual permitió evaluar las cualidades de este, siendo sometido a diferentes escenarios de impacto teniendo en consideración comportamiento de la tensión, la deformación de los materiales y la no linealidad geométrica, con estos resultados se procedió a la impresión del casco emperando los dos materiales descritos. En las pruebas reales se pudo verificar que el material Ácido Poliláctico (PLA) no presento daños en las pruebas de adsorción de impactos, deformación y flamabilidad, mientras que el material Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) presentó ruptura en las pruebas de adsorción de impactos, deformación transversal superior al 15 mm que es límite establecido en la norma, finalmente se concluye que el material (PLA) es el apropiado para fabricar el casco, se recomienda analizar materiales polímeros superiores a los utilizados en la presente investigación.

Palabras Claves: <CASCO DE MOTOCICLISTA>, <MANUFACTURA ADITIVA>, <SIMULACIÓN ESTÁTICA>, <DEFORMACIÓN LONGUITUDINAL>, <ENSAYO DE INFLAMABILIDAD>, <ABSORCIÓN DE IMPACTO>, <ENSAYO DE RIGIDEZ>



0033-DBRA-UPT-DP-2024

06-05-2024

SUMMARY

The present project proposes the design and manufacture of an open-face helmet used by motorcyclists for its subsequent homologation applying additive manufacturing, using different materials such as Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) and Polylactic Acid (PLA), which complies with the provisions of INEN: 2669:2013 being the impact absorption tests, rigidity in terms of longitudinal and transverse deformations, in addition to flammability, those established in the aforementioned regulation. To achieve the proposal the first step was to design the helmet testing form and the impact adsorption test equipment with the dimensions established in the regulations. Then, we proceeded to the original design of the helmet to be subjected to simulation tests using ANSYS LSDYNA software, which allowed us to evaluate the qualities of this, being subjected to different impact scenarios taking into consideration stress behaviour, deformation of materials and geometric nonlinearity, with these results we proceeded to the printing of the helmet using the two materials described above. In the tests, it was possible to verify that the material Polylactic Acid (PLA) did not present damages in the impact adsorption, deformation and flammability tests, while, the material Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) presented rupture in the impact adsorption tests, transverse deformation higher than 15 mm which is the limit established in the standard. Finally, the material (PLA) is the appropriate one to manufacture the helmet. It is recommended to analyze polymer materials superior to those used in the present investigation.

KEYWORDS: <MOTORCYCLIST HELMET>, <ADITIVE MANUFACTURING>, <STATIC SIMULATION>, <LONGUITUDINAL DEFORMATION>, <INFLAMMABILITY TESTING>, <IMPACT ABSORPTION>, <RIGIDITY TESTING>, <RIGIDITY TESTING>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realizará la fabricación de un casco abierto para motociclistas aplicando manufactura aditiva bajo la norma INEN:2669:2013 utilizando dos materiales diferentes por separado como lo son el Acrilonitrilo Butadieno Estireno ABS y el Ácido Poliláctico PLA, también se ejecutará el diseño y la simulación para imprimir el casco y compararlo con los materiales tradicionales utilizados en el sistema de inyección y en moldes, esta comparación se la realizará aplicando las pruebas de absorción de impactos, rigidez (deformación longitudinal y transversal) e inflamabilidad.

Los ensayos se realizarán por medio de simulación computacional utilizando el programa CAE ANSYS LSDYNA, el mismo que es un programa especializado para realizar simulaciones de impactos en automóviles y autopartes, el programa utiliza una metodología explícita aplicando análisis no lineales en simulaciones estructurales (son aquel que considera el comportamiento de tensión deformación de los materiales y la no linealidad geométrica, descartando de manera directa el principio de superposición).

Para este caso el ensayo utilizado será la simulación de caída libre tomando en cuenta las especificaciones que establece la norma en cuanto al equipo a emplear.

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad en Ecuador el uso del casco en los motociclistas y acompañantes es obligatorio y está estipulado en el código penal en el artículo 386, y existe la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2669:2013), donde se establece las características que deben tener los cascos para ser utilizados, sobre todo haciendo énfasis en la resistencia al impacto, la deformación y la inflamabilidad que deben tener, pero es muy común que estas condiciones no se cumplan debido a que se comercializan cascos hechos con materiales que no cumplen las condiciones mínimas establecidas, poniendo en riesgo la integridad de las personas que utilizan este medio de transporte, en la figura 1-1 se puede apreciar que en el año 2022 se produjeron un total de 34.991 accidentes de tránsito en donde 7.266 fueron motocicletas, es decir el 21% de la totalidad de accidentes.

Total de vehículos involucrados: 34.991

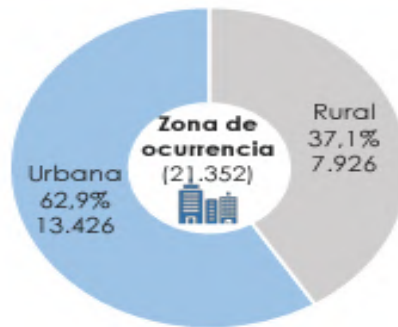


Figura 1-1 Cuadro estadístico de la cantidad de siniestros de tránsito

Fuente: (INEC, 2022)

Además, se destaca que según (ROSERO, 2023) en nuestro se presentaron un total de 32.687 de accidentes de tránsito en donde los principales actores fueron los motociclistas, representando el 30,04 % del total lo que equivale a un valor de 9819 accidentes en motociclistas, lo cual se destaca en la tabla 1-1, donde se representa las emergencias registradas en diferentes ciudades del país.

Tabla 1-1 Accidentes de tránsito en diferentes ciudades en el año 2023.

Cantones	Emergencias
Quito	8.599
Santo Domingo	2.024
Cuenca	1.641
Guayaquil	1.074
Machala	1.072
Otros cantones	18.277
Total	32.687

Fuente: (ROSERO, 2023)

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

Los principales problemas de salud que se presentan luego de sufrir un accidente de tránsito en motocicleta se relacionan de forma directa con el trauma craneoencefálico, se destaca lo expuesto por (PAZ, 2020), en donde detallan que el 75 % de los accidentes de motociclistas atendidos en la ciudad de Cuenca tienen problemas relacionados a los traumas craneoencefálico, de igual forma lo hacen el (ROSERO, 2023) de Loja y Zamora resaltando el 58 %, la Comisión de Tránsito de Ecuador resalta que a nivel nacional se presentan un 85% de este problema relacionados a problemas en la cabeza de conductores y acompañantes, en la tabla 2-1 detallan otras fuentes donde se resalta el problema descrito.

Tabla 2-1 Problemas craneoencefálicos en diferentes ciudades.

Cantones	Porcentaje (%)	Fuente
Cuenca	75,00	HOSPITAL VICENTE CORRAL MOSCOSO
Guayaquil	59,45	HOSPITAL ABEL GILBERT PONTON
Loja y Zamora	58,00	ECU - 911
Esmeraldas	80,00	Diario el Telégrafo
Nacional	85,00	CTE

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

Al momento de producirse una lesión de tipo craneoencefálico producto de un accidente de tránsito en motocicleta pueden presentar deficiencias en la parte motriz, lo cognitivo, e incluso en lo emocional a largo plazo, los signos a presentarse de forma inmediata son los siguientes:

- Perdida Del Conocimiento En Cualquier Momento.
- Sentirse Aturdido Y/O Desorientado.
- Sentir Náuseas O Vómitos.
- Fuerte Dolor De Cabeza.
- Dificultad Para Hablar O Dificultad Para Comunicarse.

En algunos casos problemas permanentes que pueden durar por el tiempo de vida restante del ser humano, (VERA, 2024), entre otros los síntomas pueden ser:

- Deficiencias de la memoria a corto y largo plazo.
- Dificultad para enfocarse y concentrarse.
- Desafíos con la regulación emocional.
- Reacciones extremas incluso a estímulos emocionales menores.
- Cambios de humor.
- Cambios en los patrones de sueño.
- Cambios de personalidad.

De acuerdo con la CTE (Comisión de Tránsito del Ecuador) de pueden tomar las siguientes acciones para evitar los accidentes de tránsito en motocicletas y evitar lesiones según la CTE:

- Respetar las leyes de tránsito.
- No conducir bajo los efectos de sustancias alucinógenas y/o alcohólicas.
- Conducir siempre a la defensiva.

- Utilizar casco de protección para la cabeza tanto en el conductor como el acompañante.

1.2 Situación problemática

Los datos oficiales de la OMS (Organización Mundial de la Salud), en su informe sobre la seguridad vial indica que las muertes por accidentes de tránsito están en un promedio anual de 1,35 millones de muertes y destaca que las heridas que se producen son causa de muertes, en especial en niños y jóvenes que están entre los 5 y 29 años, de este número el 23% se producen en motocicletas, (OMS, 2023).

De acuerdo con el Instituto INSP (Nacional de Salud Pública), en su publicación basada en el informe de la OMS se identifican cinco elementos trascendentales que aumentan el peligro de tener daños en el cuerpo humano al momento de tener un accidente; estos se los identifica como el exceso de velocidad, la conducción bajo los efectos del alcohol, no usar de casco por los motociclistas, no usar los cinturones de seguridad y no emplear medios de sujeción para los niños. Para el caso de los motociclistas, el portar un casco de protección que estén regidos por la norma DOT minimiza hasta en un 40% la posibilidad de muerte y en un 70% la posibilidad de tener una lesión severa, (OPS, 2023).

El diseño y el material empleado en la fabricación en de los cascos para motociclistas deben ser los apropiados que brinden la seguridad del caso a las personas a minimizar el riesgo de muerte, lesiones permanentes, graves o ligeras además de brindar la sensación de ergonomía agradable para su uso.

Actualmente se destaca y fortalece el uso de materiales alternativos como los polímeros se están empleando para dar una alternativa a los materiales tradicionales, por presentar mejoras sustanciales en cuanto a su resistencia y facilidad de uso al momento de la fabricación de objetos de usos especiales y comunes, por este motivo se busca emplear los materiales Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) y el Ácido Poliláctico (PLA), por medio de la manufactura aditiva para el fabricación de un casco abierto para motociclistas que nos brinde mayor seguridad siguiendo lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana (INEN:2669:2013).

La comercialización de cascos de motocicletas en nuestro país se establece teniendo como base dos tipos de casco:

- Cascos homologados: Implica que cumple con la reglamentación necesaria. Estas normas establecen una serie de pruebas que el casco debe superar para conseguir la homologación y brindar la protección necesaria, en la figura 2-1, se visualiza la forma de etiqueta de los cascos homologados que provienen de los Estados Unidos de América, donde se los identifica por la

siglas DOT que hace referencia al Departamento de Transporte de ese país, es decir que ha pasado las normativas técnicas, también se puede ver la forma como vienen la etiqueta de los cascos provenientes de los países que conforman la Unión Europea, en este caso se los identifica por la letra E seguida de un número que representa al país donde fue fabricado.



Figura 2-1 Nomenclatura de cascos homologados

Fuente: (CÁCERES, 2023).

- Cascos no homologados: No cumplen con normas que aseguren que brindarían la protección necesaria en caso de accidente.

En nuestro país no se registra empresas de fabricación de cascos siendo este un factor importante a destacar porque se identificó en la problemática un posible mercado en potencia a explorar.

1.3 Pregunta de investigación

¿Se puede realizar la fabricación de un casco abierto para motociclistas construido bajo procesos de manufactura aditiva que cumpla con la normativa técnica ecuatoriana INEN 2669:2013 mediante un diseño propio?

1.3.1 Preguntas directrices o específicas de la investigación

¿Cuáles son los parámetros de diseños apropiados para los materiales ABS y PLA para el análisis de varianza realizados en la metodología de diseño de experimentos por medio de la impresión de probetas y la experimentación?

¿Se puede realizar un diseño propio del casco de motocicleta abierto tomando como referencia los cascos homologados existentes en el mercado nacional?

¿Podremos obtener un casco abierto de motociclista fabricado mediante la impresión 3D que cumpla con los parámetros apropiados de materiales ABS y PLA aplicando manufactura aditiva que cumpla con los ensayos de absorción de impactos, rigidez (deformación longitudinal y transversal), inflamabilidad para su homologación bajo la norma INEN:2669:2013?

¿Los materiales utilizados actualmente por el método de inyección y moldes son apropiados para la fabricación de cascos abiertos de motociclistas que cumplan con los requerimientos mínimos de la norma INEN 2669:2013?

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación teórica

El presente trabajo se justificará en base al contenido de normas y reglamentos sobre el ensayo de impacto de un casco de motocicleta y la revisión de conceptos fundamentales sobre los tipos de ensayos de materiales y las diferentes características de los materiales a evaluar (ABS y PLA) y poder seleccionar el más apropiado para el diseño y la construcción de dicho casco mediante manufactura aditiva, que se ajuste a los requerimientos necesarios y bajo la normativa técnica nacional.

El ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) es el plástico por excelencia en el mundo de la industria a la hora de crear carcasas o partes externas de todo tipo, normalmente dirigidas a una manipulación constante. El ABS ofrece dureza, resistencia a ciertos elementos químicos, rigidez y estabilidad a una temperatura elevada (100°C). Otra ventaja de este plástico de ingeniería es que se puede pintar o cubrir con una fina capa de metal. El PLA (Ácido Poliláctico) es conocido como un ABS avanzado, muy resistente a la intemperie sin la necesidad de ser pintado ni tratado superficialmente.

El material PLA, se caracteriza por ser un material que es biodegradable, que es muy apreciado en aplicaciones médicas y en la industria para el reemplazo de elementos derivados de los hidrocarburos. Se lo puede extraer de productos como la remolacha, el maíz, trigo, la caña de azúcar, etc., Estudios realizados en el PLA han dado como resultado que posee propiedades más versátiles e incluso se presenta como candidato número uno para 14 sustituir polímeros procedentes del petróleo, y que sea utilizado en diversas aplicaciones industriales como médicas.

1.4.2 Justificación práctica

El equipo de ensayo de resistencia servirá para realizar las pruebas necesarias que permitan el diseño y construcción de un casco de motocicleta bajo procesos de manufactura aditiva que cumpla con la normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2669:2013, de esta manera se busca reducir las lesiones provocadas a los usuarios de motocicletas en caso de algún accidente, beneficiando así a los usuarios de las motocicletas.

1.5 Objetivos de la investigación

1.5.1 Objetivo general

- Fabricar un casco abierto para motociclistas aplicando manufactura aditiva para su homologación bajo la norma INEN: 2669:2013, mediante un diseño propio.

1.5.2 Objetivos específicos

- Establecer un diseño propio del casco de motocicleta abierto utilizando las herramientas CAD, CAE, para definir la forma, dimensiones y estructura del prototipo.
- Utilizar una impresora de modelado por deposición fundida, usando los parámetros recomendados por el fabricante para imprimir los prototipos de los cascos con material ABS y PLA.
- Realizar los ensayos de absorción de impactos, rigidez e inflamabilidad definidos en la norma INEN:2669:2013. para determinar la resistencia de los prototipos y garantizar la seguridad de los motociclistas.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General

La fabricación de un casco abierto para motociclistas mediante procesos de manufactura aditiva SI permitirá disponer de un casco que cumpla con los ensayos de resistencia para la posterior homologación según la norma técnica ecuatoriana INEN 2669:2013.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

Según la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) en los siniestros por tipos de vehículos en lo que fue el año 2022 en la figura 1-2 se presenta que los accidentes en motos se presentan en 30.04%, esto hace fuerte relevancia hacia el número de accidentes de tránsito que se presentan en nuestro país y de allí la importancia de contar con un casco de motocicleta que presente las garantías necesarias. (LOOR, 2022).

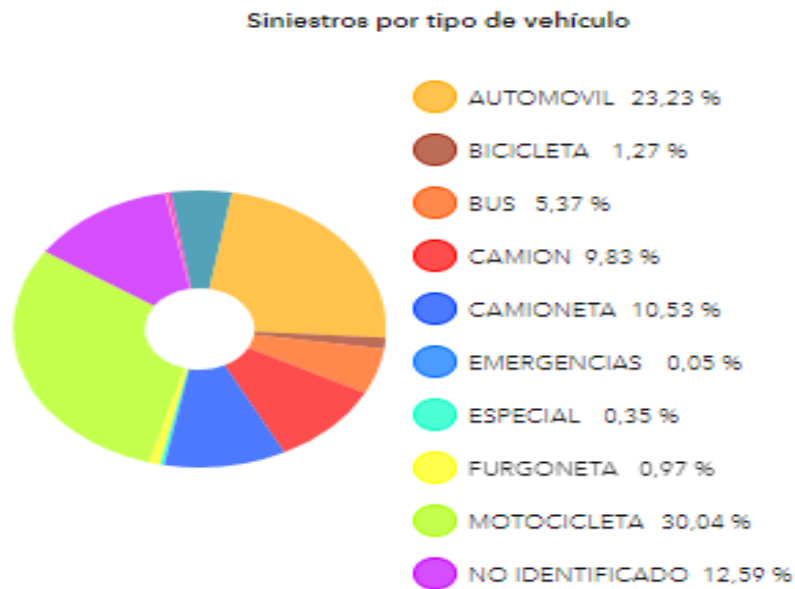


Figura 1-2 Cuadro estadístico de siniestros de tránsito en zonas urbanas.

Fuente: (LOOR, 2022)

Los diferentes tipos de lesiones que se pueden presentar en los accidentes de motocicletas pueden ser muy graves e incluso pueden llegar a ser mortales, entre las cuales tenemos los siguientes; movilidad reducida o parálisis de brazo, lesiones de espalda y médula espinal, huesos rotos de extremidades superiores e inferiores e incluso se puede llegar a las amputaciones, heridas abiertas, lesiones de pecho y lesiones psicológicas. (VAN SANT, 2023). También, se pueden producir lesiones de cabeza, cráneo, faciales y dentales, siendo estas últimas las que se pudieran prevenir con el uso del casco de motocicleta que cumpla con las condiciones apropiadas para prevenir los diferentes tipos de lesiones que podría llegar a ser muy graves o incluso causar la muerte.

La homologación de productos (prototipos, tipos o modelos) es un tipo de certificación establecida por una administración pública, que implica el reconocimiento oficial de que se cumplen los requerimientos obligatorios, definidos en especificaciones técnicas o normas. (ARMENDARIS, 2022)

En la actualidad el tema de las homologaciones no es indiferente a los cascos de motociclistas, siendo la homologación un parámetro de exigencia que nos solventa cierto tipo de garantía de protección al momento de afrontar un accidente de tránsito. (MEDIÁVILLA, 2015).

Al momento de adquirir cascos homologados, permitirá reducir las lesiones que pudieran resultar del accidente si se utilizan productos de mejor calidad, siendo esta forma un elemento fundamental de seguridad para quienes utilizan las motos ya sean como conductor o acompañante.

2.2 Equipo de seguridad en motocicletas

La seguridad al momento de conducir un vehículo sin importar su motorización o configuración es de vital importancia, debido a que bajo estas seguridades se pueden evitar accidentes, cuando el vehículo funciona correctamente o evitar lesiones graves cuando fue inevitable el accidente.

Según el Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial de Ecuador, aparte de tener sistemas básicos como freno en la rueda delantera y trasera, espejos retrovisores, una bocina y salpicaderas sobre las ruedas. Los ocupantes deberán:

- Llevar correctamente sujeto a su cabeza y en todo momento el casco de seguridad homologado.
- Vestir chalecos o chaquetas con cintas retro-reflectivos de identificación que deben ser visibles; entre otras.

Considerando que el incumplir estas disposiciones el vehículo puede ser retenido, la carrocería de una motocicleta también han sido objeto de integración de prototipos de seguridad pasiva como lo es el uso de un airbag integrado, y se usa para mitigar las lesiones que se producen debido a los accidentes, la integración de un prototipo de airbag que se posiciona entre el conductor y el manubrio, este sistema se activa en caso de una colisión frontal reduciendo considerablemente las lesiones en el tórax, ver figura 2-2.

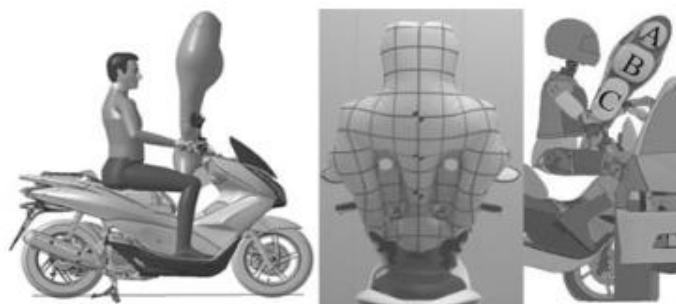


Figura 2-2 Prueba de choque con el prototipo de airbag integrado.

Fuente: (GANILOVA, 2023)

Al enfocarnos en equipo de seguridad al momento de conducir motocicletas podemos ahondar más y enfocarnos en lo esencial para proteger al conductor y al pasajero en caso de caídas, colisiones u otros incidentes. A continuación, se enumeran ciertos elementos que se recomiendan al momento de usar una motocicleta (RELEÑO, 2023):

Casco: El casco es el elemento más importante del equipo de seguridad en una motocicleta, ver figura 3-2. Debe cumplir con los estándares de seguridad establecidos y estar debidamente ajustado. Los cascos protegen la cabeza y el cerebro, reduciendo el riesgo de lesiones graves en caso de un accidente. Hay dos tipos de cascos (integrales y abiertos) disponibles para motociclistas y pasajeros, independientemente del tipo que se elija la tarea y el objetivo final es prevenir en caso de accidentes (EKIMOVA, 2018) y es así que en accidentes en los cuales si se usa casco se previene aún más los traumatismos craneoencefálicos.

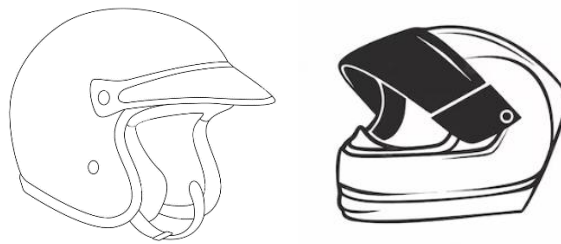


Figura 3-2 Tipos Principales de casco de motociclistas; abierto y cerrado

Fuente: (EKIMOVA, 2018)

Los factores que influyen en el uso del casco se han clasificado y se han categorizado en cinco:

- Desventajas del casco;
- Legislación y cumplimiento de la ley;
- Comportamientos de riesgo;
- Factores de sexo y/o edad;
- Factores de lugar y tiempo.

Aparte de la aplicación obligatoria de la ley sobre las motocicletas, que es el principal factor que influye en el uso del casco, también indican que cuatro variables subjetivas principales (control de vida, la creencia en la salud, las normas sociales y las actitudes) se relacionan o influyen en el uso de casco.

Las desventajas del uso del casco es la comodidad y es el principal factor que influye en la decisión de los motociclistas de no utilizarlo, (EKIMOVA, 2018).

Con los avances tecnológicos que se tiene actualmente se integran nuevas tecnologías como métodos de seguridad pasivas, realizaron pruebas con el uso de airbags en el casco que se

despliega al momento de un accidente que protege el rostro, en esta investigación se observó una reducción sustancial de la tensión cerebral y las fuerzas con airbag fácil, ver figura 4-2.

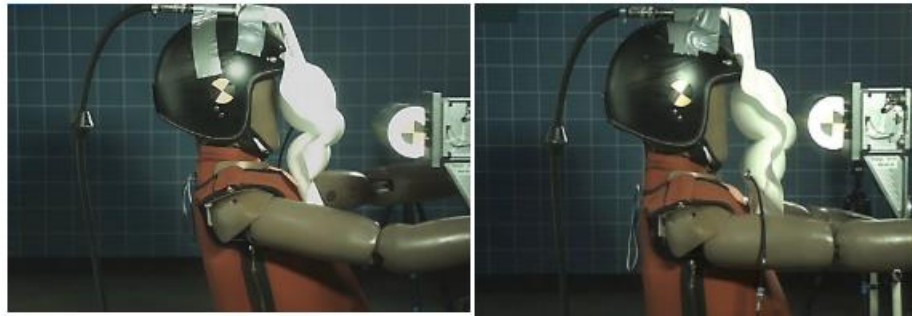


Figura 4-2 Airbag desplegable en casco de motocicleta

Fuente: (EKIMOVA, 2018)

Chaqueta con protecciones: Una chaqueta resistente y con protecciones en áreas clave como los codos, los hombros y la espalda ayuda a proteger al conductor en caso de una caída. Las protecciones están hechas de materiales como plástico, espuma o materiales compuestos, y absorben y distribuyen la energía del impacto.

En torno a las chaquetas de seguridad en motocicletas también se ha investigado la factibilidad del uso de un cinturón de seguridad que tiene la chaqueta y que se sujeta al chasis de la motocicleta. Como resultado se encontró que con el uso de esta chaqueta reduce significativamente las lesiones que pueden suceder durante un accidente de motocicleta versus un automóvil y también prevenir el contacto entre el conductor que se accidenta con el vehículo.

La figura 5-2, muestra la integración del modelo para la simulación del uso de una chaqueta que integra correas internas. Se describe el uso de cuatro correas que nacen desde los hombro y también desde debajo de las costillas.

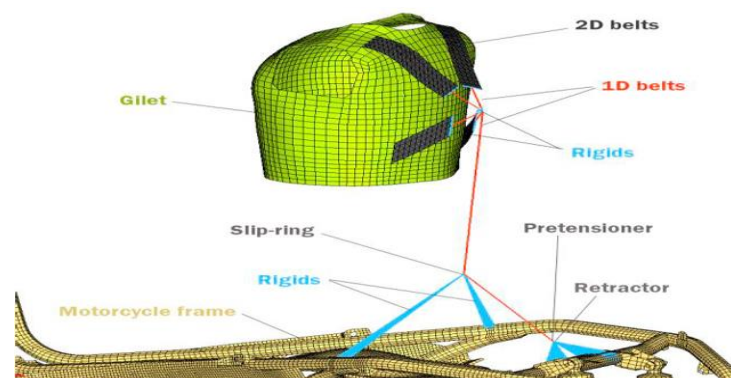


Figura 5-2 Seguridad con el uso de chaqueta sujeta al chasis de la motocicleta

Fuente: (HANSEN, 2024)

Estas cuatro correas se unen en una sola y esta a su vez se conecta a un aro que permite la movilidad de la persona permitiendo movimientos laterales de izquierda a derecha, y a su vez este aro tiene cuatro sujeciones directas al chasis de la motocicleta.

Se desarrollo un diseño de experimentos en donde se comprobó su efectividad superior en comparación a una chaqueta normal, todo el desarrollo e investigación se realizó en forma de simulación.

Guantes: Los guantes protegen las manos y los dedos del conductor en caso de caídas, proporcionando una capa adicional de protección. También ayudan a mejorar el agarre y la comodidad al conducir.

Pantalones resistentes: Los pantalones especiales para motocicleta, fabricados con materiales resistentes a la abrasión, ofrecen protección adicional en caso de deslizamientos o caídas. Algunos pantalones también incluyen protecciones en las rodillas y las caderas.

Botas: Las botas de motocicleta deben ser resistentes y tener suelas antideslizantes para garantizar un buen agarre en los pies. También proporcionan protección para los tobillos y los pies en caso de accidente.

Protección ocular: Si la motocicleta no tiene un parabrisas adecuado, se recomienda utilizar protección ocular, como gafas o viseras, para proteger los ojos del viento, los insectos, los escombros y otros objetos que puedan causar distracciones o lesiones.

El equipo de seguridad tiene que ser de buena calidad y cumplir con estándares mínimos ya que en comparación con los autos, en caso de un accidente el conductor es quien recibe la gran cantidad de energía que se produce en un choque, o caída.

2.3 Tipos de cacos para motociclistas

En el mercado actual del mundo del motociclismo se ofrece una gran variedad de tipos de cascos para ser utilizados al momento de conducir motocicletas, teniendo una gran variedad de modelos, colores, formas que van de acuerdo con su uso; por eso se resalta la clasificación existente: (ZURICH, 2023).

- **Casco integral:** Son los más completos y seguros, en la figura 6-2 se lo visualiza. Formados por una sola pieza, se muestran cerrados al completo para aportar la mayor protección. Son los

cascos para moto de carretera, aunque están hechos para circular por cualquier tipo de calzada. Están fabricados de policarbonato, fibra de carbono, de vidrio o kevlar.



Figura 6-2 Casco Integral.

Fuente: (EKIMOVA, 2018)

- **Casco jet:** Conocido también como calimero, es un casco abierto que aporta una mayor frescura y comodidad. Pierden en seguridad, pues el casco no cubre toda la cabeza.
- **Casco abatible:** Son muy habituales, ya que aportan las características del integral y del jet, ver figura 7-2 en este sentido, el casco puede cerrarse por completo y, al mismo tiempo, abrirse. Suelen ser bastante pesados.



Figura 7-2 Casco Abatible.

Fuente: (EKIMOVA, 2018)

- **Casco classic:** Es un casco que está desapareciendo debido a que no protege demasiado, ya que deja el rostro y la nuca al descubierto, ver figura 8-2.



Figura 8-2 Casco Clásico

Fuente: (EKIMOVA, 2018)

- **Casco off-road:** Son los clásicos cascos de motocross. Presentan diseños más avanzados y exagerados. Son adecuados para circular por cualquier sitio. Destacan por su ligereza, pero protegen muy bien la cabeza.
- **Casco trial:** Destinados para competiciones en terrenos duros. Tienen un nivel de protección muy elevado. Suelen ser utilizados por profesionales o aficionados a la práctica de enduro.
- **Casco Trail:** Es una mezcla entre los cascos integrales y los cascos off-road. Cuentan con una mentonera para poder llevar el rostro al descubierto y también portan una pantalla. A pesar de ser muy seguros, también presentan ligereza y pueden llegar a ser muy ruidosos.
- **Casco dual:** Es un modelo bastante extendido y está pensado para motoristas de ciudad.

2.4 Fabricación de cascos con métodos tradicionales.

Para definir la fabricación de los cascos donde se aplica los métodos tradicionales como es la fabricación por moldes se lo puede establecer siguiendo los pasos establecidos de la siguiente forma:

- Diseño y prototipado.
- Fabricación del molde.
- Inyección del material.
- Acabado y pintura.
- Montaje de accesorios.
- Control de calidad y embalaje.

En la actualidad el seguir fabricando cascos de motocicletas siguiendo este proceso implica el tener un elevado costo de producción, sabiendo que para la fabricación de cascos de motociclistas actualmente se sigue utilizando los materiales tales como el termoplástico, la fibra de vidrio y la fibra de carbono.

2.5 Materiales de los cascos de motocicletas.

Los materiales con que están fabricados los cascos para motociclistas están realizados de varios materiales, y dependiendo del material dependerá de la resistencia a los impactos que estos presenten; entre los principales tenemos los siguientes materiales: (LLERENA, 2023).

- **Las resinas termoplásticas:** Este material es un plástico que tiende a deformarse cuando se lo somete a elevadas temperaturas, lo que permite darle nuevas formas; por lo tanto, para la

fabricación de los cascos de motociclistas este tipo de material es expuesto al calor poder moldearlo y luego verterlo en matrices definidas y darles la forma que se desea. Tienen menor durabilidad en relación con los las que están fabricados con fibra de vidrio o fibra de carbono.

- **Tricomposite:** Este material es el resultado de la mezcla de la fibra de carbono, la fibra de vidrio y el Kevlar, que es una fibra textil con una resistencia excepcional contra las roturas. Estos cascos ofrecen una de las mejores opciones de seguridad por sus grandes propiedades de absorción y resistencia ha comprobado que es el mejor material para la absorción de los golpes.

2.6 Manufactura aditiva.

Es un método que se ha popularizado por ser accesible y económico, es uno de los pilares de la denominada cuarta revolución industrial 4.0, ha revolucionado la forma en que se fabrican productos en diversos sectores industriales, esta tecnología innovadora permite la creación de objetos tridimensionales a partir de modelos digitales, construyendo capa por capa con precisión y detalle, (ESPINEL, 2023).

La manufactura aditiva, también conocida como impresión 3D, es un proceso de fabricación que construye objetos tridimensionales capa por capa a partir de un modelo digital. A diferencia de los métodos tradicionales de fabricación que suelen ser sustractivos, como el corte o el mecanizado, la manufactura aditiva agrega material de manera secuencial para crear el objeto deseado, ver figura 9-2.



Figura 9-2 Proceso de impresión 3D de un polímero

Fuente: (ESPINEL, 2023).

Para entender la fabricación aditiva es necesario primero analizar los mecanismos de fabricación alternativos, agrupados de forma general en dos grandes grupos: la fabricación conformativa y la fabricación sustractiva.

Fabricación conformativa se llama aquella en la que un material a través de una presión, dertiéndolo o por cualquier otro método adquiere la forma y dimensiones que se busque como resultado final. Mientras que la fabricación sustractiva es aquella en la que se van eliminando partes de material de una pieza compacta inicial hasta conseguir el producto deseado.

Todos los actuales procesos industriales, exceptuando la fabricación aditiva se pueden agrupar en alguna de estas dos categorías. Así un ejemplo común de fabricación conformativa en la actualidad es la inyección de plástico dentro de un molde. Los productos realizados con este tipo de fabricación nos rodean en prácticamente todos los objetos de plástico.

De igual modo, un ejemplo moderno de la fabricación sustractiva sería el empleo de máquinas CNC (Control Numérico Computarizado) de fresado. Una máquina herramienta es programada mediante ordenador para la ejecución de una serie de trabajos mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de corte. Con ello, la máquina herramienta elimina todo el sobrante de un bloque de material hasta conseguir el producto deseado de una forma automática.

Además, se destaca que según la norma ASTM 2792 (ASTM2013) la manufactura aditiva (AM) es el proceso de unir materiales para hacer objetos desde datos de un modelo 3D (proporcionado por un programa de diseño asistido por computado “CAD”). Normalmente su construcción se ejecuta por capas. El proceso de manufactura aditiva generalmente se ejecuta mediante 8 pasos, empezando desde la creación del modelo CAD, y terminando por el uso final de la pieza ya creada (GIBSON, 2021).

2.6.1 Ventajas de la aplicación de la manufactura aditiva

Al momento de aplicar la manufactura aditiva o la impresión 3D tendremos grandes ventajas con relación a los métodos tradicionales aplicados para la fabricación de elementos con la utilización de polímeros; a continuación, se detalla algunas ventajas aplicables a la manufactura aditiva, (GUTIEREZ, 2023).

- Personalización de los Diseños; brinda mayor libertad para aplicar el diseño debido a que no posee limitaciones a diferencia de los métodos tradicionales, permitiendo crear elementos muy complejos y con geometrías personalizadas.

- Disminución de inversión; aplicando este proceso se puede reducir los costos de producción, que va desde la reducción de desperdicios de materiales, hasta la consolidación de múltiples piezas en una sola, lo que reduce la necesidad de ensamblaje y costos asociados. También permite una producción más ágil y eficiente, que puede reducir los tiempos de entrega y acelerar el lanzamiento al mercado.
- Prototipado rápido; es muy efectiva para la creación rápida de prototipos, permite al diseñador y al fabricante alcanzar modelados y objetos fabricados en corto tiempo, además que presta facilidades para la mejora del diseño en comparación con la fabricación de prototipos tradicionales.
- Fabricación a medida y personalización; permite personalizar productos de acuerdo con las necesidades y preferencias individuales, aspectos muy relevantes en la medicina y la odontología, para la creación de prótesis y dispositivos medicados que se puedan adaptar a los pacientes.
- Productos complejos y funcionalidad mejorada; facilita la creación de formas y estructuras complejas que no se logran con facilidad en los métodos tradicionales.

Con las anteriores descripciones de resalta algunos de los alcances que posee la manufactura aditiva y se espera mejorar con el avance significativo de la tecnología, se espera tener más mejoras y beneficios en el futuro, lo que permitirá una adopción más amplia en diversas industrias y aplicaciones.

2.6.2 Impresoras de manufactura aditiva

Las impresoras 3D, ver figura 10-2, es un elemento tecnológico que admite la creación de un elemento tridimensional partiendo desde el diseño computacional, permitiendo la utilización desde los polímeros pasando por el metal e incluso el cemento, as impresoras 3D funcionan de dos formas, (GUTIEREZ, 2023).

- Aplicando un sistema de fabricación por adición; es decir que permite crear un objeto tridimensional aplicando la adición sucesiva de capas de un material específico el más común utilizado en la actualidad son los polímeros.
- El proceso aplicando la compactación; se parte de una masa de polvo y se empieza a compactarla hasta lograr la forma requerida, de la misma forma se utiliza el computador para

crear el diseño original y luego se lo envía a la impresora para que se cree el elemento o la pieza deseada.



Figura 10-2 Impresora 3D FDM

Fuente: (GUTIEREZ, 2023).

2.6.3 Tipos de impresoras 3D

Existen varios modelos de impresoras 3D presentes en el mercado que a continuación se detallan, (GIBSON, 2021).

- Impresoras 3D FDM – Extrusión de Material.
- Impresoras 3D FFF – Fabricación por filamento fundido.
- Tecnología SLA – Polimerización.
- Impresoras 3D DLP – Polimerización.
- Tecnología MSLA – Estereolitografía en máscara.
- Impresoras 3D SLS – Fusión de polvo.
- Impresoras 3D con tecnología SLM – Selective Laser Melting/Fusión Selectiva con Láser.
- Tecnología DMLS – Sinterizado Directo de Metal por Láser.
- Impresoras 3D EBM – Fusión por Haz de Electrones.
- Tecnología BJ – Inyección de Aglutinante.
- Impresoras 3D DOD – Drop On Demand/Tinta de Gota Variable.
- Impresoras 3D con tecnología MJ – Inyección de Material

La más utilizadas son las dos primeras de la lista antes descrita, es decir la FFF (fabricación de filamento fundido), que se utiliza en producción a gran escala y posee un costo elevado y también la FDM (modelado por deposición fundida), que utilizan bobinas de filamento, económicas, más comerciales y utiliza varios materiales como el PLA, ABS, PET, entre otros, esta fue la impresora que se utilizó para la impresión del casco y posteriormente realizar las pruebas del caso.

Es de suma importancia tomar en cuenta las velocidades de impresión, de ello dependerá la resistencia del producto final, y en este caso al ser el elemento por imprimir un objeto que debe resistir grandes momentos de impactos se escogió la impresora 3D con cabezal pesado, donde sus velocidades son menores, pero ofrecen mayor seguridad de resistencia en el producto final, en la tabla 3-1 se especifican las velocidades aplicadas dependiendo del tipo de cabezal.

2.7 Polímeros utilizados en las impresiones 3D

Los materiales polímeros utilizados en la manufactura aditiva o impresiones 3D son muy variados y entre los más comunes tenemos los siguientes:

- **El Nylon;** Posee buenas propiedades mecánicas, especialmente cuenta con la mejor resistencia al impacto para un filamento no flexible. Sin embargo, la adhesión entre capas suele ser un problema. Además, es un material que presenta buena resistencia química, pero baja resistencia a la humedad y emisión potencial de humos.
- **PEEK;** presenta resistencias mecánicas y térmicas muy altas. Esto lo hace muy fuerte, pero a la vez liviano, incluso más que algunos metales; estas propiedades hacen que sea de los preferidos en la industria aeroespacial, en el sector de la automoción y en el desarrollo de prótesis médicas. Debido a sus características, el PEEK no se puede imprimir en todas las máquinas del mercado. De hecho, es preciso que la impresora 3D tenga una placa calefactora capaz de alcanzar por lo menos los 230 grados centígrados y una extrusión a 350 grados.
- **PET;** el tereftalato de polietileno se encuentra principalmente en las botellas de plástico desechables y envases para alimentos, semirrígido y con buena resistencia. Para obtener los mejores resultados de impresión, es necesario alcanzar temperaturas desde 75 hasta 90 grados centígrados.
- **ABS;** es el butadieno estireno de acrilonitrilo es el más utilizado en la industria y pertenece a la familia de los termoplásticos, es flexible y resistente a los golpes; tiene una temperatura de impresión que va desde los 230 hasta los 260 grados centígrados y también puede soportar temperaturas muy bajas. Este material proporciona resistencia, superficies sin protuberancias, y, además es reutilizable.
- **PLA;** es biodegradable hecho de materiales como el almidón de maíz, se caracteriza por su baja contracción durante la impresión, por lo que no se requieren bandejas de calentamiento al imprimir; además, las temperaturas de impresión no deben ser muy altas: entre los 190 y los 230 grados centígrados, se debe tener mayor precaución al manipular debido a su alta velocidad de

enfriamiento y endurecimiento, generalmente translúcido, es utilizado por la mayoría de las impresoras 3D y viene en una gran variedad de colores.

Tabla 1-2 Velocidades de la impresora FDM.

Parámetro	Impresora 3D con cabezal ligero (<200 g)	Impresora 3D con cabezal pesado (>200 g)
Perímetros	60 mm/s	35 mm/s
Perímetros externos	40 mm/s	25 mm/s
Relleno	80 mm/s	50 mm/s
Relleno sólido	80 mm/s	50 mm/s
Primera capa	20 mm/s	15 mm/s
Última capa	40 mm/s	25 mm/s
Material de soporte	50 mm/s	30 mm/s
Puentes	100 mm/s	60 mm/s

Fuente: (CASERTA, 2023)

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

Para tomar la decisión de los materiales a ser empleados en la impresión de los cascos abiertos para motocicletas adicionalmente se realizó un análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales polímeros más utilizados, en la tabla 4-1 se describe las siguientes propiedades:

Tabla 2-2 Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los polímeros.

POLIMEROS PROPIEDADES	PLA	ABS	Nylon	PEEK	PET
	✓	✓	✗	✗	✗
Origen	Vegetal	Derivado del petróleo	Derivado del petróleo	Derivado del petróleo	Derivado del petróleo
Resistencia a la tracción	37 MPA	27 MPA	85.5 MPA	89.6 MPa	91 MPA
Alargamiento	6 %	3.5 %	4.5 – 20 %	50 %	14 %
Módulo de flexión	4 GPa	2.1 - 7.6 GPa	0.11 - 0.26 GPa	4,1 GPa	1,34 GPa
Densidad	1.3 g/cm ³	De 1 a 1.4 g/cm ³	1,14 g/cm ³	1.32 g / cm ³	1,38 g/cm ³
Temperatura de transición vítrea	60 °C	105 °C	60 °C	86 °C	70 °C
Temperatura de fusión	175 °C	Cerca a los 200 °C	263,12 °C	343 °C	260 °C
Toxicidad	No	Sí	Sí	Sí	Sí

Fuente: (GÓMEZ, 2022)

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

Luego de realizar teórico y de propiedades de los materiales polímeros más utilizados se determina que el Nylon posee excelentes propiedades mecánicas, pero no es adecuado para el proceso de impresión.

El PEEK, también posee excelentes propiedades mecánicas pero su costo es muy elevado, también se debe considerar que para el proceso de impresión requiere una impresora de tipo 3D FFF (Fabricación por filamento fundido), lo cual es un limitante por su escasa accesibilidad, (HIDALGO, 2022)

Luego tenemos el material PET que es muy común en nuestro medio; sin embargo, presenta el problema que su módulo de flexión está en torno a los 1,34 GPa lo cual lo hace un material muy flexible.

Luego de análisis respectivo se determinó que los materiales ABS y PLA son los más adecuados para realizar las impresiones de los cascos debido a sus propiedades mecánicas resaltadas en la tabla 2-2 y la disponibilidad que existe en el mercado, además no se requiere utilizar impresoras especiales para realizar el proceso de fabricación de elementos.

2.7.1 Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)

Las resinas ABS tienen el mayor volumen de producción de todos los termoplásticos de ingeniería, y ofrecen un gran equilibrio de propiedades por su precio. Son una extraordinaria combinación de tres ingredientes: estireno, por su bajo costo en procesos mecanizados y alto brillo; acrilonitrilo, por su resistencia térmica y química; y butadieno, por su tenacidad y rendimiento en una amplia gama de temperaturas, en la figura 11-2 se puede apreciar su estructura química.

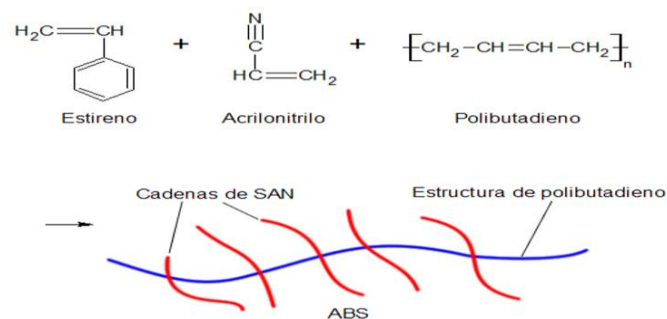


Figura 11-2 Estructura química del ABS

Fuente: (GUEVARA, 2024)

2.7.2 Puntos fuertes del ABS

Alta resistencia al impacto (para los estándares de los termoplásticos rígidos) que se mantiene a bajas temperaturas. Adquiere bien el color, es resistente a arañazos y rozaduras, se procesa y adhiere con facilidad, se puede galvanizar, puede producir un buen brillo superficial, baja contracción y alabeo. Menor calor latente de fusión, lo que reduce el tiempo de enfriamiento del proceso. Excelente resistencia a los ácidos, álcalis, sales y muchos disolventes.

2.7.3 Limitaciones del ABS

Escasa resistencia a los rayos UV a menos que esté estabilizado o protegido/revestido de otro modo, escasa resistencia a los disolventes no polares, susceptible de fallos inesperados de las piezas debido a fisuras por tensión ambiental, resistencia a la fatiga relativamente escasa. Temperatura máxima de funcionamiento relativamente baja, de unos 75 °C (170 °F). Alta fricción y desgaste. Los grados transparentes sólo están disponibles con el sacrificio de cierta tenacidad y tienden a tener un ligero tinte amarillo en comparación con otras formas de ABS.

2.7.4 Ácido Poliláctico PLA

Poliéster biodegradable que no se produce de forma natural. Se obtiene principalmente a partir de recursos renovables o residuos del maíz, en la figura 12-2 se ejemplifica su proceso estructura molecular, la estructura del PLA, se genera a partir de la molécula precursora denominada ácido láctico que es un ácido orgánico, a este ácido se lo polimeriza por dos distintas técnicas, la primera polimerización por condensación directa y la segunda por polimerización con apertura del anillo; realizado estos procesos el resultado es un polímero de la familia de los poliésteres, que tiene un conjunto carboxilo y un metilo combinado.

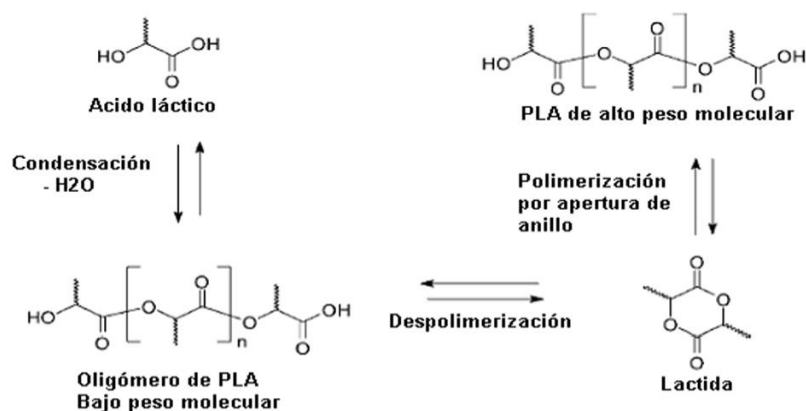


Figura 12-2 Estructura molecular del PLA

Fuente: (GUEVARA, 2024)

2.7.5 Puntos fuertes del PLA

Transparente, rígido, alta estabilidad mecánica, resistencia a la tracción relativamente buena. Buen brillo y claridad, buenas propiedades de barrera al sabor y al aroma (a pesar de la permeabilidad al gas). Menor emisión de gases de efecto invernadero para la producción en comparación con los termoplásticos básicos.

2.7.6 Limitaciones del PLA

Resistencia al impacto muy baja, lo que requiere una modificación con elastómero o plastificante para muchas aplicaciones prácticas. Alta permeabilidad al agua, barrera moderada a los gases. Temperaturas máximas de servicio y de deflexión térmica bajas, se quema fácilmente. La resina debe almacenarse en lugares herméticos al aire exterior, impidiendo la entrada de humedad y microbios (para evitar la degradación).

2.8 Bases teóricas

2.8.1 Ensayo de Adsorción de Impacto

El ensayo de impacto, ver figura 13-2, se caracteriza por tener una masa (martillo) que, al estar en su posición inicial con una altura medida desde su punto de equilibrio representa cierta cantidad de energía potencial, se desplaza para así impactar con una probeta mediante un desplazamiento pendular. Este tipo de ensayo se utiliza para medir la energía que se consume en la fractura de la probeta que, al compararse con el área de la probeta, se obtiene la resistencia al impacto (SMITH, 2018).



Figura 13-2 Ensayo de adsorción de impactos en cascos de motociclistas

Fuente: (CALVANTE, 2022)

Según la norma ISO 179-1 (Plásticos); para medir la energía absorbida al impacto se calcula la diferencia entre las energías potenciales máximas inicial y posterior al impacto que tuvo el martillo durante toda su trayectoria.

La normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2669:2013 (INEN:2669:2013) establece los requisitos y métodos de ensayo que deben cumplir los cascos para la protección de la cabeza de motociclistas y pasajero. Esta norma aplica para cascos abiertos, cerrados y mixtos, en presente estudio nos centraremos en los requeridos en los cascos abiertos. Para los propósitos de esta norma son aplicables las siguientes definiciones:

- Casco. Elemento especialmente diseñado para proteger contra golpes la cabeza del usuario.
- Carcasa. El material duro y liso que da la forma exterior del casco, diseñado con el propósito de dispersar la energía del impacto para disminuir la fuerza antes de que llegue a tu cabeza.
- Correas de sujeción. Las correas que pasan por debajo de la quijada del usuario de motocicleta y/o acompañante que sujeta el casco sobre la cabeza.
- Eje vertical central. La línea relativa a la cabeza, al casco o a la horma que se encuentra en el plano de simetría y que es normal respecto al plano básico en un punto equidistante entre el frente y la parte posterior de la cabeza, o de la horma (para cascos) que simula la cabeza en la cual se pretende ajustar el casco.
- Mecanismo de liberación. El sistema incorporado al casco que permite asegurarlo o desasegurarlo fácilmente.
- Rellenos de confort. Material usado para proporcionar comodidad al usuario.
- El sistema de retención. Es todo el conjunto por el cual se retiene el casco en posición sobre la cabeza durante su uso.
- Protector de nuca. Elemento del casco destinado a proteger y evitar lesiones a nivel de la nuca.
- Motociclista. El conductor y pasajero de motocicletas, motonetas, cuatrimotos y tricimotos.
- Visera. Prolongación del casco por encima de los ojos.

En el presente desarrollo también se realizarán ensayos de esfuerzos que este caso se aplicarían el esfuerzo de compresión, el mismo que según (MOTT, 2019), establece que un esfuerzo de compresión es uno que tiende a aplastar el material del miembro de carga y a acortarlo, es decir que en este caso es el indicado para analizar la resistencia de los materiales a ser utilizado en el casco de motociclistas, en la ecuación 1 se la establece la relación entre el esfuerzo de compresión, la fuerza aplicada y el área de la sección transversal analizada y se ejemplifico en la figura 13-2.

2.8.2 *Ensayo de rigidez*

Los ensayos de rigidez se relacionan con la deformación que pueda sufrir el material al ser sometido a fuerzas constantes o aplastantes que traten de deformar la forma original del objeto o material, este tipo de ensayo se relacionan de forma directa con los ensayos de tracción.

El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Las velocidades de deformación en un ensayo de tensión suelen ser muy pequeñas, (ZWICKROELL, 2023).

2.8.3 *Ensayo de inflamabilidad*

Para entrar en detalle al ensayo de inflamabilidad haremos las definiciones previas en cuanto a la inflamabilidad, como por ejemplo según (POLYEXCEL, 2021) establece que el concepto de inflamabilidad consiste en comprobar cómo se comporta el polímero al entrar con contacto con el calor, ya sea de forma directa o indirecta, esto con relación a la observación de la degradación del material.

En la publicación de la guía de plásticos y fuegos (PAZ, 2019) se hace referencia a las siguientes definiciones relacionadas a la exposición de los polímeros al calor a fuente de calor y establecen lo siguiente:

- Retardo a la llama; se refiere a una transformación realizada en un material que, al someterse a una fuente de inflamación, causará una disminución en la celeridad de propagación de dicha flama o de cualquier llama que pudiese generarse por la ignición de dicho material.
- Retardante a la llama; es una definición empelada para cualquier aditivo que admita a un polímero u otro material inducir el retraso en la propagación de una llama.
- Combustibilidad; este término se refiere a la cualidad de un material para oponer resistencia a la ignición bajo una serie de condiciones.
- Descomposición o degradación térmica; se diferencias la una de la otra en lo siguiente, la degradación hace referencia a la pérdida de un o varias propiedades como consecuencia de exponer el material a una flama; mientras que la descomposición hace referencia a la ruptura de los enlaces del material polímero y generando productos de menor peso molecular y por lo general de gran poder de combustión.

2.8.4 Resistencia al impacto

La resistencia al impacto es una de las propiedades mecánicas más importantes de un polímero y se entiende como la resistencia de un plástico a la fractura por el choque de una carga. Generalmente se mide empíricamente mediante pruebas para determinar la resistencia al impacto del plástico.

La resistencia al impacto está relacionada con la temperatura del polímero por lo que la temperatura de prueba afecta significativamente la tenacidad del polímero. La resistencia al impacto también está relacionada con la velocidad de carga aplicada. Generalmente cuanto más alta es la velocidad de carga, el polímero fallará más fácilmente como un material quebradizo debido a la falta de tiempo para que las fuerzas intermoleculares sean efectivas. Los plásticos frágiles probados a bajas temperaturas y altas velocidades de carga tendrán la menor resistencia al impacto (PATIL, 2017).

2.9 Estructura de panal de abejas

En la naturaleza, se encuentran diferentes tipos de estructuras en materiales comunes como la madera, el corcho, la esponja y el coral, que están formadas por muchas células individuales que se encuentran en un área. Estas estructuras sólidas se conocen como sólidos celulares. Existen dos tipos de patrones para estas estructuras, 2d y 3d. El patrón 2D está formado por polígonos que juntos encierran un área plana como las estructuras de las abejas, más conocido como panales figura 14-2, en el lado a se aprecia el patrón 3D está formado por celdas poliédricas que ocupan una porción de espacio conocido como esponjas en el lado b. La principal característica de estos materiales es que tienen una densidad muy baja. En aplicaciones de ingeniería, el uso de estos patrones se convirtió en una excelente opción cuando el peso es un factor de diseño.

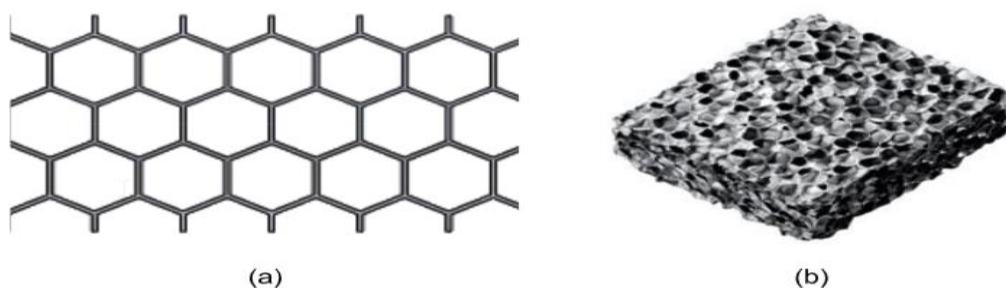


Figura 14-2 Estructura del panel de abeja

Fuente: (KRAMER, 2022)

La configuración y la aplicabilidad que este tipo de estructura de panal varía dependiendo de los materiales, la composición y del uso en específico que se le vaya a dar a la pieza creada, muchas veces este panal se empaqueta.

2.9.1 Tipos de estructuras de panal de abeja

Aunque la geometría más popular para el panal de abeja es el hexágono, existen otros tipos de geometrías de panal de abejas que son geometrías triangulares, cuadradas, combinadas, por ejemplo, triangular-hexagonal o incluso sinusoidal y otras geometrías arbitrarias. Cada uno de estos patrones tiene una respuesta particular a diferentes tipos de cargas. La figura 15-2 muestra los arreglos principales que puede tener un panal de abeja: a) Hexagonal, b) triangular, c) cuadrada, d) combinada, e) sinusoidal y f) aniquilares, cada uno de estos arreglos tiene un comportamiento especial dependiendo de su aplicabilidad y uso, es así como en el desarrollo de esta disertación nos enfocaremos en estudiar el uso de la forma hexagonal. Y la implementaremos en el diseño de un casco abierto impreso bajo manufactura aditiva, algo importante que mencionar que su desarrollo tiene que cumplir los límites mínimos de seguridad para su homologación bajo la norma INEN: 2669:2013.

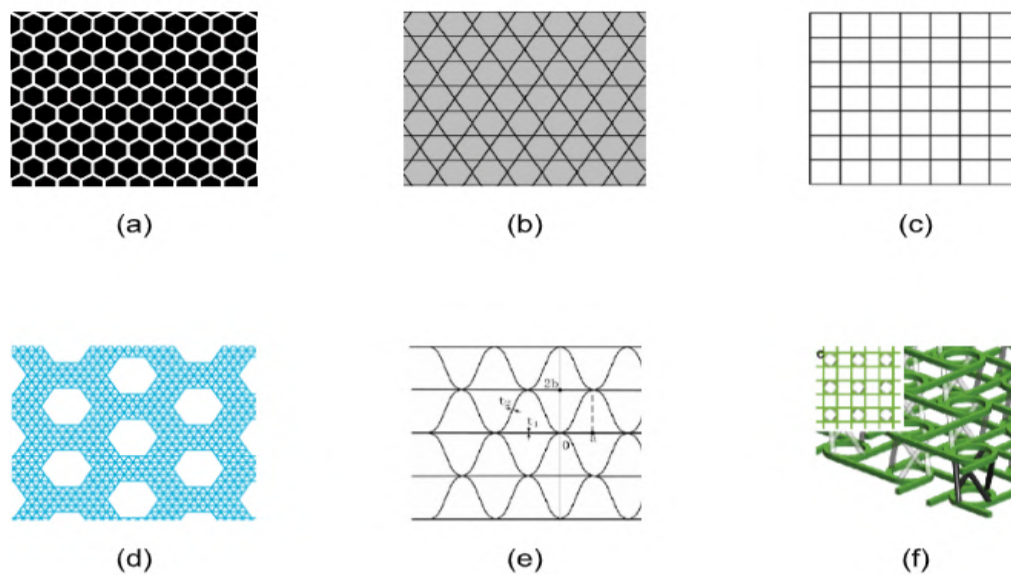


Figura 15-2 Geometrías de panal de abeja

Fuente: (KRAMER, 2022)

2.9.2 Comportamiento mecánico de la estructura del panal de abeja

Las estructuras de panal de abeja, como se mencionó tienen muchas aplicaciones en ingeniería donde el soporte de cargas es el objetivo principal, por esta razón, la comprensión de su mecánica es importante, se analizará el comportamiento mecánico de las estructuras de panal de abeja con celdas hexagonales, estructura de panal de abeja bajo la aplicación de cargas a) en dirección al eje-x, b) dirección en el eje-y y c) dirección en el eje-z, se las puede visualizar en la figura 16-2.

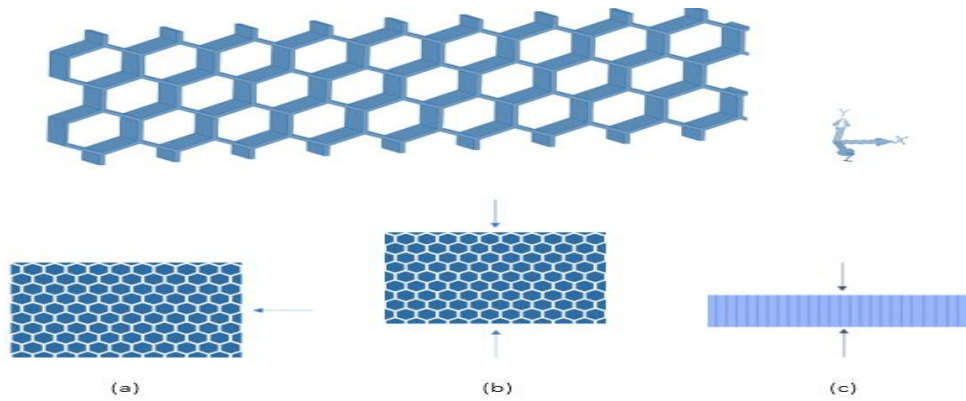


Figura 16-2 Estructura de panal de abeja bajo la aplicación de cargas

Fuente: (KRAMER, 2022)

También se pueden generar arreglos extras al uso del panal de abeja, complementándolo y analizando su desempeño cuando se realiza un análisis respecto a la energía que se absorbe, se pueden apreciar cuatro tipos de estructuras de panales de abeja: a) BHS, estructura de panal sin columnas huecas, b) BHTS-1 estructura de panal con columnas huecas que están en las paredes; c) BHTS-2, panales con columnas que están en las uniones de las paredes; d) BHT como se muestra en la figura 17-2.

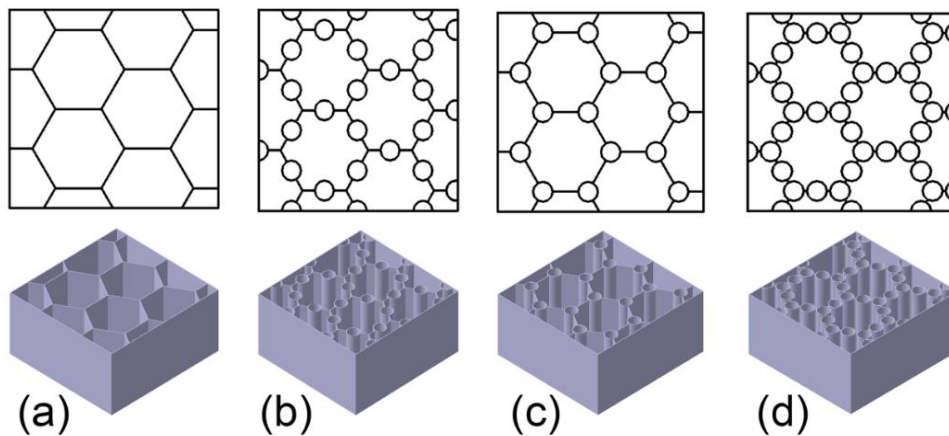


Figura 17-2 Cuatro tipos de estructuras de panales de abeja

Fuente: (KRAMER, 2022).

Según la figura 18-2 la combinación BHTS-3 es capaz de absorber de mejor forma la energía versus el desplazamiento, definiendo como mejor la distribución interna que el panal puede debería tener.

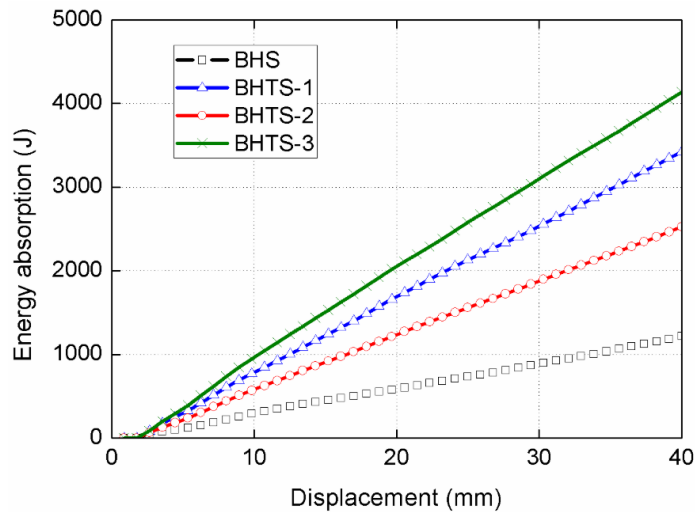


Figura 18-2 Energía absorbida VS desplazamiento de diferentes estructuras de panales.

Fuente: (MOHAMMADI, 2023)

2.9.3 Aplicación automotriz

La industria automotriz es una de las más amplias y competitivas a nivel mundial debido a su constante innovación en tecnología, procesos de manufactura, gestión de alto capital que influyen directamente en la economía. Como se ha mencionado, el estudio de las estructuras de panel de abeja representa una forma de innovar en esta industria.

Como resultado, algunos investigadores han propuesto nuevas aplicaciones en la industria que utilizan el núcleo de panel de abeja, utilizó la capacidad de absorción de impactos para desarrollar un parachoques de vehículo, basándose en el estudio de la penetración de un peso en un núcleo de panel de abeja con distribución hexagonal para determinar la relación entre deformación y fuerza cuando cambia el tamaño de la celda. Los resultados revelaron que los parachoques con núcleo de panel de abeja pueden absorber un 40% más de energía que uno convencional.

Además, (GANILOVA, 2018), realizaron estudios sobre el rendimiento de la estructura centrados en la recuperación y optimizó la rigidez de un parachoques con un núcleo de panel de abejas especial para recibir impactos, este nuevo método puede absorber hasta en un 64% más energía en comparación con un convencional.

El uso de panales de abeja en sistemas de seguridad pasiva en motocicletas también se ha dado y su principal uso se centra en la integración del casco, en su artículo, en un casco cerrado que integra paneles de abeja en la parte superior, frontal y posterior, estos paneles se integran en el material de absorción. Los panales de abeja son de aluminio, de forma general los prototipos proporcionaron una mejor protección a la cabeza en los impactos de prueba realizadas, en donde cuanto más rígida es la capa, mayor es el área de distribución de la carga de la capa. Se observó que los arzones deformables ofrecen una mejor protección contra las superficies planas, y dependen de la curvatura, ver figura 19-2.

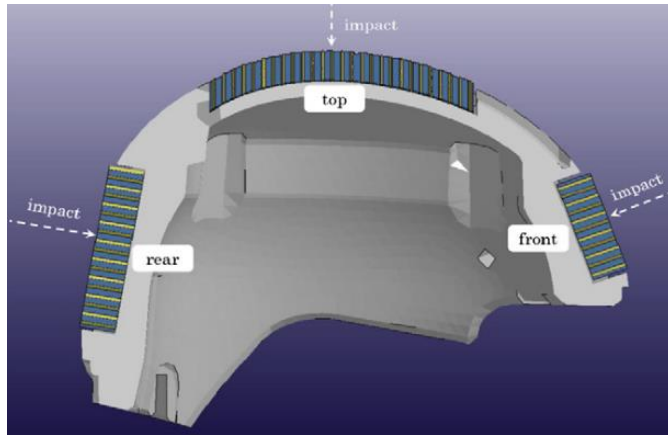


Figura 19-2 Panel de abeja integrado en el material de absorción en casco de motocicleta

Fuente: (CÁCERES, 2023)

La validación de estos modelos se las puede realizar a través de simulación o muchas veces en dummies de pruebas que tienen sensores que miden la energía que absorbe y produce en un accidente, (LIET, 2022), en su artículo su modelo se validó al modelo de cabeza rígida híbrida III y al modelo de cabeza de alta biofidelidad para establecer modelos acoplados de cabeza-casco con el fin de evaluar la protección contra impactos en términos de respuesta cinemática y biomecánica de la cabeza, demostrando que la integración del panel de abeja puede mejorar significativamente la reducción de contusiones que se producen en la cabeza así como también aumenta la cantidad de energía que se absorbe al momento de un impacto, ver figura 20-2.

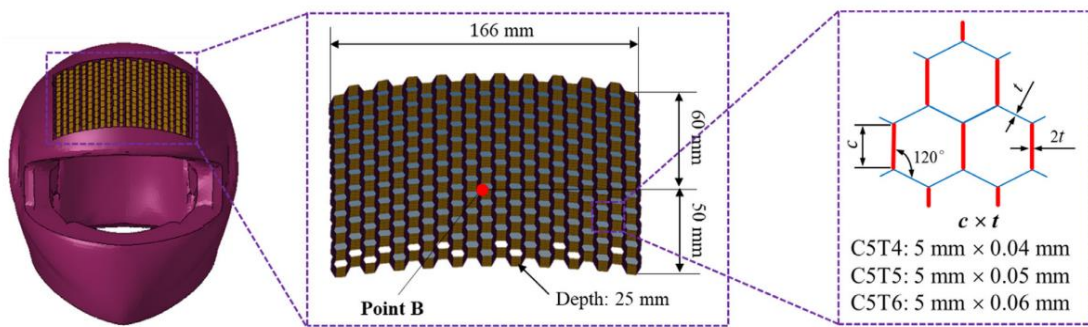


Figura 20-2 Ilustración del casco con el materias de aporte de panel de abeja

Fuente: (LIET, 2022)

Así como estas investigación se han llevado a cabo otras más como los son de (GRISKEVICIUS, 2019), demuestran que la utilización del arreglo de panel de abeja como distribución para absorción de impactos beneficia en el diseño de cascos para motocicletas y también de como el uso de casco minimiza las lesiones que se pueden producir en caso de accidente, (AKABARI, Jael & AKUN, Chou, 2023)

Como bien se describió en el capítulo 1, se busca diseñar un casco abierto bajo la norma ecuatoriana que rige la fabricación y seguridades mínimas que debe tener el mismo e implementar el uso de panal de abeja en su estructura y poder utilizar manufactura aditiva para comprobar su efectividad y funcionalidad por encima de los cascos convencionales que se venden y fabrican en territorio nacional. Todas las investigaciones realizadas fortalecen el desarrollo de la disertación presentada. Y en los siguientes capítulos se describe más a fondo el desarrollo.

2.10 Operacionalización de las variables

La Operacionalización de variables se las especifica en la tabla 3-2.

Tabla 3-2 Operacionalización de variables

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	CONCEPTO	INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Ensayo de resistencia	Independiente	Es el ensayo para ponderar la resistencia al choque en las condiciones especificadas en el mismo, es decir las que son condiciones fragilizantes del material. La resistencia al choque es una medida de la tenacidad de un material, la que se define como la capacidad de absorción de energía antes de aparecer la fractura súbita	Ensayo de absorción de impactos	Experimental	Experimental Norma ASTM 2792
			Probetas	Experimental	Experimental Norma ISO 179-1 Norma ASTM D638-V
			Masa de impacto	Experimental	Experimental Ensayo de laboratorio Norma ASTM D-638 para espécimen tipo V
Homologación del casco abierto para motociclistas.	Dependiente	Por otro lado, la aprobación oficial obligatoria de un producto es realizada por un organismo que tiene concedida la facultad para ello. Normalmente es una certificación emitida por la Administración del Estado o por un organismo (por ejemplo, laboratorio) acreditado oficialmente para ello	Precisión dimensional	Experimental	Norma ASTM 2792
			Energía absorbida en el impacto	Experimental	Ensayo de laboratorio Norma ASTM D-638 para espécimen tipo V
			Calidad de la superficie	Experimental	Ensayo de laboratorio Norma ASTM D-638 para espécimen tipo V

2.11 Matriz de consistencia

La matriz de consistencia se las especifica en la tabla 4-2.

Tabla 4-2 Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTOS
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL				
¿Se puede realizar la fabricación de un casco abierto para motociclistas construido bajo procesos de manufactura aditiva que cumpla con la normativa técnica ecuatoriana INEN 2669:2013?	Fabricar un casco abierto para motociclistas utilizando un Software CAD, CAE y CAM aplicando manufactura aditiva bajo la norma INEN:2669:2013 cumpliendo ensayos de resistencia y homologación	La fabricación de un casco abierto para motociclistas bajo procesos de manufactura aditiva SI permitirá la obtención de la homologación bajo la normativa técnica ecuatoriana INEN 2669:2013 cumpliendo ensayos de resistencia y homologación	<p>Variable Independiente</p> <p>Equipo de ensayo de resistencia D1: Especificaciones técnicas del equipo de ensayo de absorción de impactos D2: Fabricación y diseño del casco del casco D3: Condiciones de ensayos de resistencia D4.- Registro de datos</p> <p>Variable dependiente</p> <p>Homologación del casco abierto para motociclistas D5: Parámetros apropiados para los materiales ABS y PLA.</p>	<p>VI: Planos del equipo de ensayo de resistencia D1: Estipulados en la normativa D2: Lo estipulado en el ensayo de absorción de impactos D3: Lo estipulado en la absorción de impacto en la norma D4: Documento para registro de los resultados de los ensayos de resistencia</p> <p>VI: Análisis del casco Bell Custom 500. D5: Impresora 3D</p>	Observación y experimentación	<p>VI: Software CAD, CAE y CAM D1: Medidas Estipulados en la normativa Baja energía: a) Las fuerza máxima transmitida debe ser menor o igual a 7.5 kN. b) Alta energía: La fuerza máxima transmitida debe ser menor o igual a 15 kN. D2: El impacto lateral debe ser menor o igual a 10 kN D3: Impactador metálico con una masa de 4,5 kg y con una superficie semiesférica de 90 mm D4: Ficha de toma de datos Variable dependiente</p>
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS				
¿Se puede realizar un diseño propio del casco de	Establecer un diseño propio del casco de motocicleta	Con la referencia de los cascos homologados				

<p>motocicleta abierto tomando como referencia los cascos homologados existentes en el mercado nacional?</p>	<p>abierto tomando como referencia los cascos existentes homologados.</p>	<p>existentes SI lograremos el diseño propio de casco abierto de motociclista</p>	<p>D6: Impresión 3D del casco D7: Normativa técnica D8: Norma INEN: 2669:2013</p>	<p>D6: Resultados de simulación D7: Casco Impreso</p>	<p>Homologación del casco abierto para motociclistas D5.- Parámetros óptimos para los materiales ABS y PLA. D6.- Simulación computacional de absorción de impactos D7.- Impresión del casco</p>
<p>¿Podremos obtener un casco abierto de motociclista fabricado mediante la impresión 3D que cumpla con los parámetros óptimos de materiales ABS y PLA aplicando manufactura aditiva que cumpla con los ensayos de absorción de impactos, rigidez (deformación longitudinal y transversal), inflamabilidad para su homologación bajo la norma INEN:2669:2013?</p>	<p>Fabricar un casco abierto para motociclistas aplicando manufactura aditiva con base a los parámetros convenientes de los materiales ABS y PLA aplicando la impresión 3D para realizar los ensayos de absorción de impactos, rigidez (deformación longitudinal y transversal), inflamabilidad para su homologación bajo la norma INEN:2669:2013</p>	<p>Utilizando una impresora 3D SI podremos realizar la fabricación del casco abierto para motociclistas que cumplan con los ensayos de absorción de impactos, rigidez (deformación longitudinal y transversal), inflamabilidad establecidos en la norma INEN 2669:2013</p>	<p>Variable interviniente Simulación computacional de absorción de impactos D = Dimensión de la variable</p>		
<p>¿Los materiales utilizados actualmente por el método de inyección y moldes son apropiados para la fabricación de cascos abiertos de motociclistas que cumplan con los requerimientos de la norma</p>	<p>Comparar el desempeño de los materiales ABS y PLA para el análisis y registro de datos de un conjunto de parámetros ideales para la impresión del casco abierto de motociclistas</p>	<p>Con la obtención de parámetros ideales para la impresión del casco abierto de motociclistas de los materiales ABS y PLA SI demostraremos que son</p>			

INEN 2669:2013?	que sean superiores a los obtenidos por inyección existentes en el mercado cumpliendo con la homologación establecida en la norma INEN 2669:2013	superiores a los obtenidos por inyección existentes en el mercado.				
--------------------	--	--	--	--	--	--

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

CAPÍTULO III

3. METOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo y diseño de la investigación

3.1.1 *Investigación Descriptiva*

El tipo de investigación descriptiva es la que se aplicará en el presente proyecto, debido a que se realizará la evaluación que poseen los cascos de motocicletas fabricados por medio de la impresión 3D y la aplicación de la manufactura aditiva, con el fin dar mayor a las personas en caso de sufrir accidentes de tránsito.

3.1.2 *Investigación Explicativa*

La investigación explicativa será parte del proyecto, debido a que se procede a detallar como es el proceso de fabricación del casco, desde el modelado en el software especializado, es decir el modelado 3D, el análisis de esfuerzos, resistencia al impacto tanto lateral como longitudinal, resistencia a la flama, además del todo el proceso de fabricación del casco y la pruebas a realizar.

3.2 Método de la investigación

3.2.1 *Método Bibliográfico*

El Proyecto de investigación se sustenta con referentes bibliográficos que sirven de sustentos para las variables de estudio y los cuales están sustentados en documentos como por ejemplo tesis doctorales, tesis de maestría relacionadas al área, artículos científicos, libros, normas, ensayos de resistencia, biblioteca físicas y virtuales, incluidas las de la ESPOCH, manuales técnicos, entre otros documentos que sirvan de ayuda y aporten al desarrollo del trabajo.

3.2.2 *Método Experimental*

La presente investigación es de tipo experimental porque se realizan manipulación de variables que son objeto de estudio y se verifica la incidencia de las variables que intervienen en la fabricación del casco tales como el espesor del material, tejido interno del mismo, entre otros, además para el ensayo para el ensayo de impacto frontal y lateral se realiza la simulación aplicando el método de elementos finitos, además de las simulaciones para establecer un procedimiento conveniente y obtener resultados muy cercanos a la realidad.

3.3 Enfoque De La Investigación

La presente investigación se realiza mediante un enfoque cuantitativo, debido a que se obtendrán valores que se utilizarán en las variables planteadas en el estudio de la fabricación de los cascos para motociclistas; En primer lugar al aplicar el método de elementos finitos se establecerá si el casco sufre daños estructurales que pudieran afectar la integridad de los pasajeros, luego con el

procedimiento del CAM se procederá a la fabricación del casco por medio de la manufactura aditiva o impresión 3D, finalmente se procederá a comparar los daños estructurales del casco al ser sometido a las pruebas de impacto, resistencia y flamabilidad, esto con el fin de obtener un producto confiable.

3.4 Muestra de Estudio

El presente estudio se basó en un muestreo no probabilístico crítico o por juicio del investigador, dado que la investigación se dio en torno a un diseño de un prototipo de casco para motociclista aplicando la manufactura aditiva con base en la norma INEN 2669:2013.

Por lo antes expuesto se realiza tres muestras con tonalidades diferentes con las que se realizó el ensayo de absorción de impacto bajo las mismas condiciones con el objetivo de comprobar la resistencia del casco ante impactos producidos en accidentes de tránsito obteniendo como resultado en los ensayos la resistencia de estos.

3.5 Técnica de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos que se aplicara son las siguientes:

- Datos primarios: Observación directa y Experimentos.
- Datos secundarios: Investigación bibliográfica, base de datos e informes y documentos industriales.

3.6 Población y muestra

La población de estudio está compuesta por número de motocicletas matriculadas en la ciudad de Guayaquil, de los cuales se obtiene igual número de cascos como mínimo considerando que al menos el conductor debe utilizar la protección del casco de forma obligatoria. Para la muestra se considera los siguiente

- Muestreo no probabilístico: Deliberado, Crítico o por Juicio.
- Por conveniencia.

3.7 Factor de análisis

El factor que conlleva al análisis de la presente investigación se basa en los frecuentes accidentes de tránsito que se presentan en uso de las motocicletas y por ende están expuestos a graves lesiones las personas ya sean como conductores o acompañantes.

3.8 Modelado

3.8.1 Diseño de horma

La horma requerida para este tipo de ensayos debe cumplir con dimensiones ergonómicas que representen correctamente la cabeza de una persona, obtenidas las dimensiones generales se modeló y fabricó la horma de talla 56 o G, que está definida en la norma ver figura 1-3.

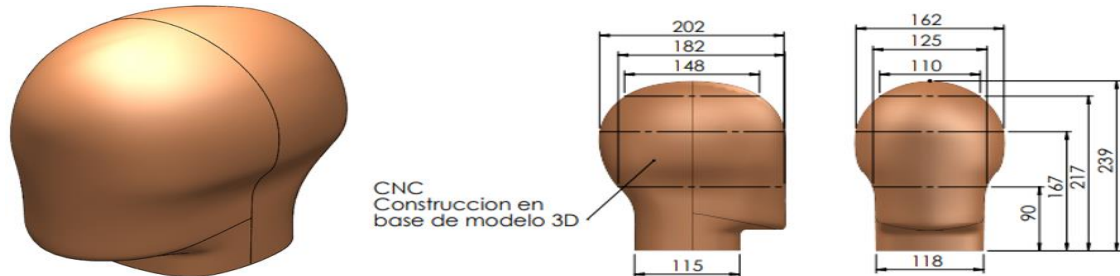


Figura 1-3. Horma modelada a partir de las dimensiones establecidas.

Fuente: (Peña, 2024)

La horma se la modeló y luego se procedió a la impresión de esta aplicando el material PLA, esta decisión se la tomó por ser el material más común en el mercado y el costo de inversión con relación al material ABS.

3.8.2 Diseño del equipo de ensayo de absorción de impactos

Para diseñar el banco de pruebas para absorción de impactos se siguió lo indicado en el literal 6.5 de la norma NTE INEN 2669:2013 en donde se establecen las dimensiones características del equipo, se destaca que el equipo se lo debió construir debido a que existe ninguna institución que lo posea, su aspecto general se lo visualiza en la figura 2-3.

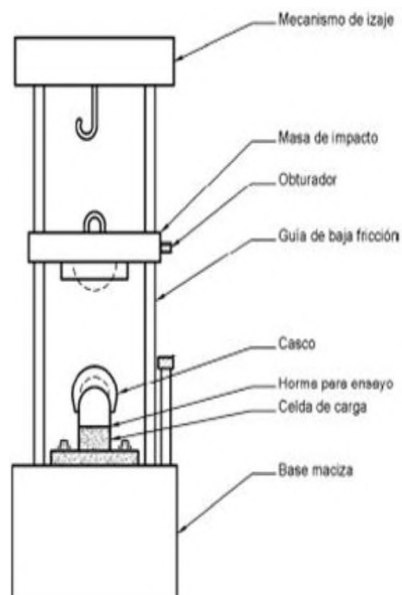


Figura 2-3 Equipo de ensayo de absorción de impactos

Fuente: (INEN:2669:2013)

Para la construcción del equipo de ensayo de absorción de impactos primero se procedió a determinar la altura de este, para cual tomamos los datos de la velocidades de los impactadores tanto en baja y alta energía establecidos en la norma los valores que se reflejan en la tabla 1-3.

Tabla 1-3 Velocidades de las pruebas de impacto

Impacto	Impactador	Velocidad de impacto (m/s)
Vertical (baja energía)	Semiesférico	5.42
Vertical (alta energía)	Plano	7.00
Lateral	Plano	5.42

Fuente: (INEN:2669:2013)

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

3.8.3 Altura para alcanzar las velocidades y generar el diseño

A partir de las velocidades que se establecen en la Tabla 1-3 se utilizan las fórmulas de cinemática para caída libre para obtener la altura adecuada de la estructura principal. A partir de la Ecuación 2, se despeja la altura.

$$v_f^2 = v_o^2 + 2gy$$

$$y = \frac{v_f^2 - v_o^2}{2g}$$

De la fórmula despejada se obtiene la altura necesaria para cada velocidad de impacto indicada en la Tabla 1-3, por lo que obtenemos los valores que se indican en la tabla 2-3.

Tabla 2-3 Altura ideal para la estructura principal.

Impacto	Impactador	Velocidad de impacto (m/s)	Altura ideal (m)
Vertical (baja energía)	Semiesférico	5.42	1.5
Vertical (alta energía)	Plano	7.00	2.5
Lateral	Plano	5.42	1.5

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

La selección del material adecuado se realiza de acuerdo con la disponibilidad y variedad de este, en Ecuador la norma NTE INEN 2415 es la que controla la composición de estos. La disponibilidad de aceros en perfiles cuadrados en Ecuador es más común para los ASTM A500 en grados A, B y C.

Dichos aceros son fáciles de conseguir. Se realizó una comparativa entre los mismo para la selección optima de uno de ellos que posterior se utilizó en el diseño, simulación y fabricación del banco de pruebas.

La composición del acero ASTM A500, es de Hierro Fe, Cobre Cu (con impurezas de Manganeseo Mn, Silicio Si, Carbono C, Fosforo P, Sulfuro S), convirtiéndolo en un material ferroso, siendo una aleación con un principal componente de hierro, como se muestra en la tabla 3-3, la composición de metales es muy similar en el grado A con el grado B, y con respecto al grado C existe una disminución del Carbón.

Tabla 3-3 Composición del acero ASTM A500

Detalle de composición	ASTM A500 grado A [%]	ASTM A500 grado B [%]	ASTM A500 grado C [%]
C (carbono)	0 – 0.26	0 – 0.26	0 – 0.23
Cu (cobre)	0.2	0.2	0.2
Fe (hierro)	98.1 – 99.8	98.1 – 99.8	98.2 – 99.8
Mn (manganeseo)	0 – 1.35	0 – 1.35	0 – 1.35
P (fósforo)	0 – 0.035	0 – 0.035	0 – 0.035
S (sulfuro)	0 – 0.035	0 – 0.035	0 – 0.035

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

De acuerdo con la tabla 4-3, el límite elástico que tiene el de grado C es mucho más alto es decir que puede soportar mayor estrés antes de superar su límite elástico. Y el que menor limite elástico se encuentra en el de grado A. El diseño del banco de pruebas. La selección del material se lo realizo con base en el costo, propiedades mecánicas y disponibilidad en el mercado. El ASTM A500 de grado A fue el seleccionado debido a que cumplía con mejor puntuación si se analizaba una comparativa con respecto a los aspectos mencionados.

Tabla 4-3 Propiedades mecánicas de la clasificación de aceros ASTM A500

Propiedades mecánicas	ASTM A500 grado A	ASTM A500 grado B	ASTM A500 grado C
Módulo de Young [Gpas]	207 – 217	207 – 217	205 – 215
Rigidez específica [MN.m/kg]	26.3 – 27.6	26.3 – 27.6	26.1 – 27.4
Límite elástico [Mpa]	270 – 315	315 – 367	345 – 402
Deformación [%]	25 – 36	23 – 33.1	21 – 30.2
Módulo de compresión [Gpa]	207 – 217	207 – 217	205 - 215
Módulo de corte [Gpa]	82.4	79.9 – 83.9	79.2 - 83
Dureza [HV]	121 – 133	121 - 133	121 - 133

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

3.8.4 *Modelado de la estructura principal del impactador*

En base a la altura calculada se modela una estructura principal con una altura indicada superior para instalar los componentes que van a elevar de vuelta al impactador. La estructura principal y

el impactador instalado a la altura adecuada y de acuerdo en con la tabla 2-3, para la estructura principal se utilizó tubería estructural cuadrada ASTM A500 de 50x2 mm, mientras para la estructura que sostendrá al impactador correspondiente es de 25x2 mm.

3.8.5 Modelación de estructura de impactador.

Para realizar un diseño adecuado y generar los planos de la estructura, primero se deben tener en cuenta todos los puntos necesarios para generar los elementos que se indiquen para este tipo de ensayos, ver figura 3-3.

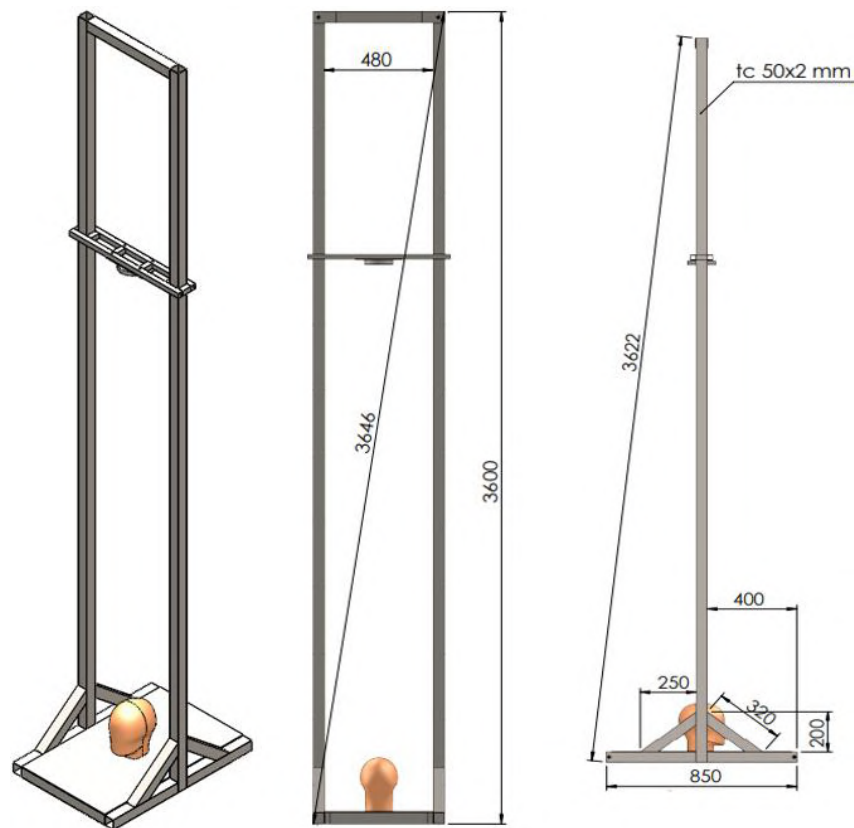


Figura 3-3 Estructura principal modelada.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

3.8.6 Simulación de las velocidades al ensayar a caída libre los impactadores

Para validar la altura a la que debe estar elevado los impactadores para que alcance las velocidades descritas en la normativa, se realizaron simulaciones elevando los impactadores a la altura calculado con la fórmula de cinemática para caída libre dejándolos caer por efecto de la gravedad. Con estas pruebas se probaron los diseños evaluando la velocidad final de impacto.

Como se muestra en el gráfico superior, figura 4-3, el desplazamiento máx. 2500 mm recorrido desde punto inicial hasta contacto con horma, mientras que en el grafico inferior, la velocidad máx. 7 m/s alcanzada desde el reposo hasta el contacto con horma y después de 710 ms rebote.

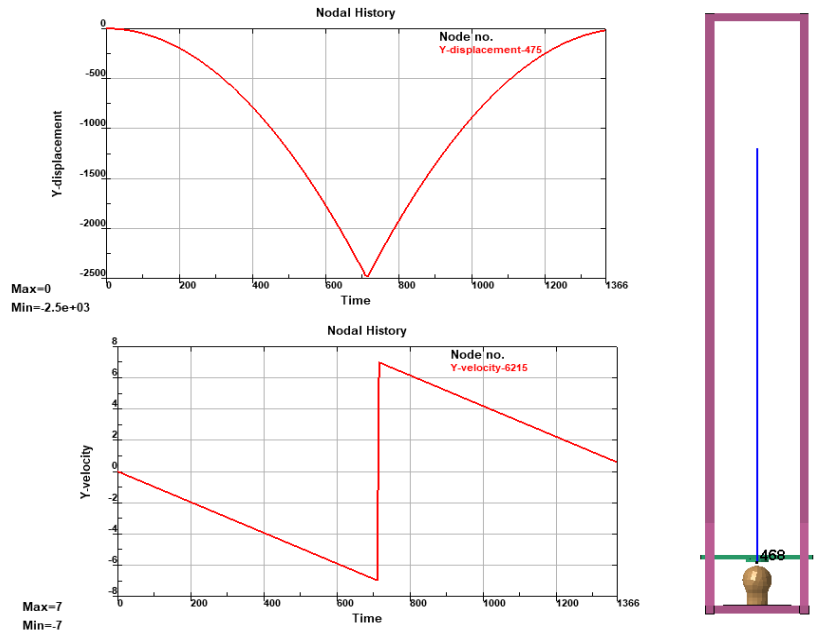


Figura 4-3 Desplazamiento a 2500 mm.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

Como se muestra en el gráfico superior, figura 5-3, el desplazamiento máx. 1500 mm recorrido desde punto inicial hasta contacto con horma, grafico inferior velocidad máx. 5.4 m/s alcanzada desde el reposo hasta el contacto con horma y después de 550 ms rebote.

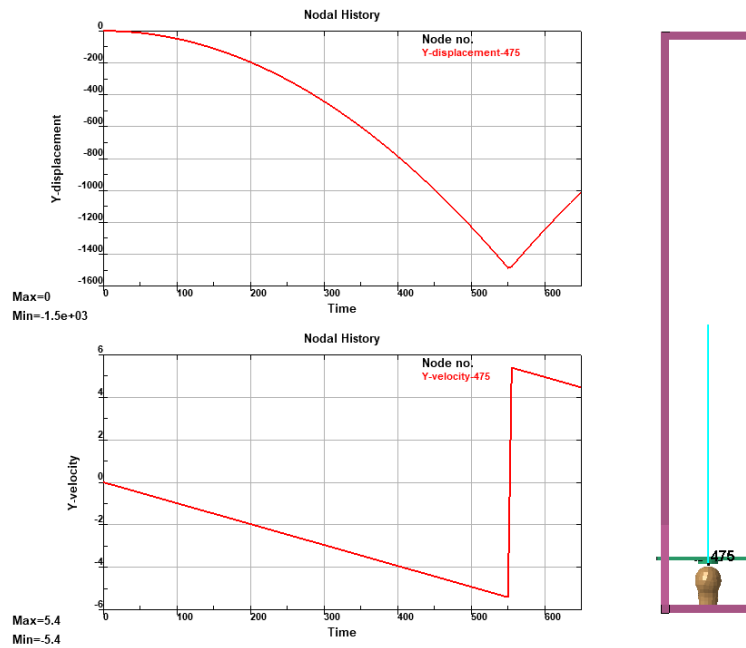


Figura 5-3 Desplazamiento a 1500 mm.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

Las propiedades del material se asignaron a través de la carta de control *MAT* → *001-ELASTIC* como se indica en la figura 6-3.

3.8.7 Diseño de impactador semi esférico

El modelo del impactador se hizo en base a las especificaciones que se indican en la norma NTE INEN 2669:2013 específicamente en el apartado 6.5.1.1 donde se menciona que deberá contar con una superficie semiesférica de 90 mm como se indica en la figura 6-3.

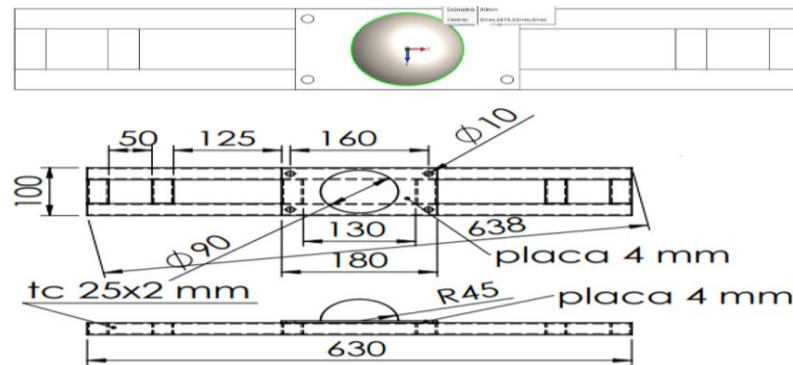


Figura 6-3 Dimensiones del impactador semiesférico.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

- El peso del impactador está determinado en la norma y establece que deberá contar con una masa de 4.5 kg, el modelo realizado cuenta con el peso que se indica en la figura 7-3.

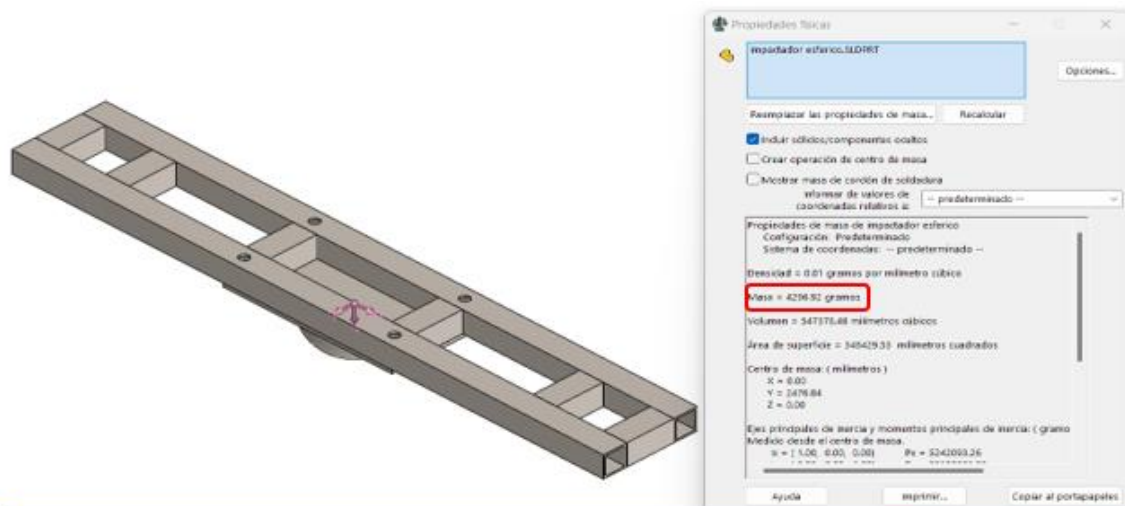


Figura 7-3 Peso de la estructura del impactador modelada.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

3.8.8 Diseño de impactador cilíndrico

El modelo del impactador se hizo en base a las especificaciones que se indican en la norma NTE INEN 2669:2013 específicamente en el apartado 6.5.1.1 donde se menciona que deberá contar con una superficie plana y circular de 127 mm como se indica en la Figura 8-3.

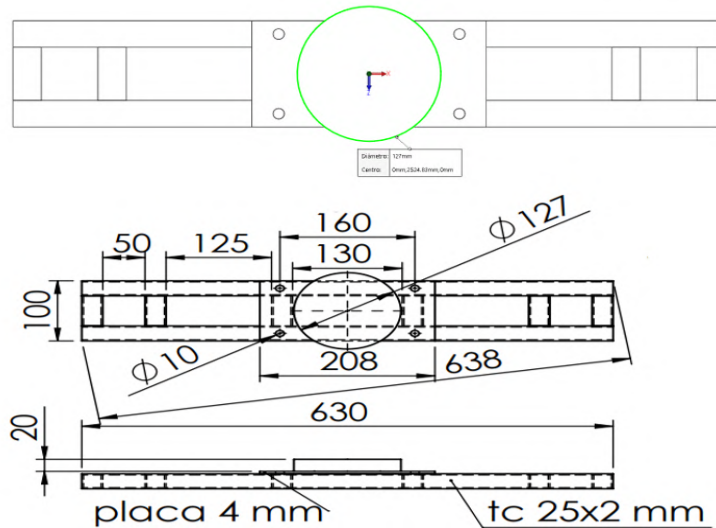


Figura 8-3 Dimensiones del impactador semiesférico.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

Peso estimado

El impactador deberá contar con una masa de 5 kg, el modelo realizado cuenta con el peso que se indica en la figura 9-3, faltando ciertos pernos y arandelas de presión que completaría el peso adecuado.

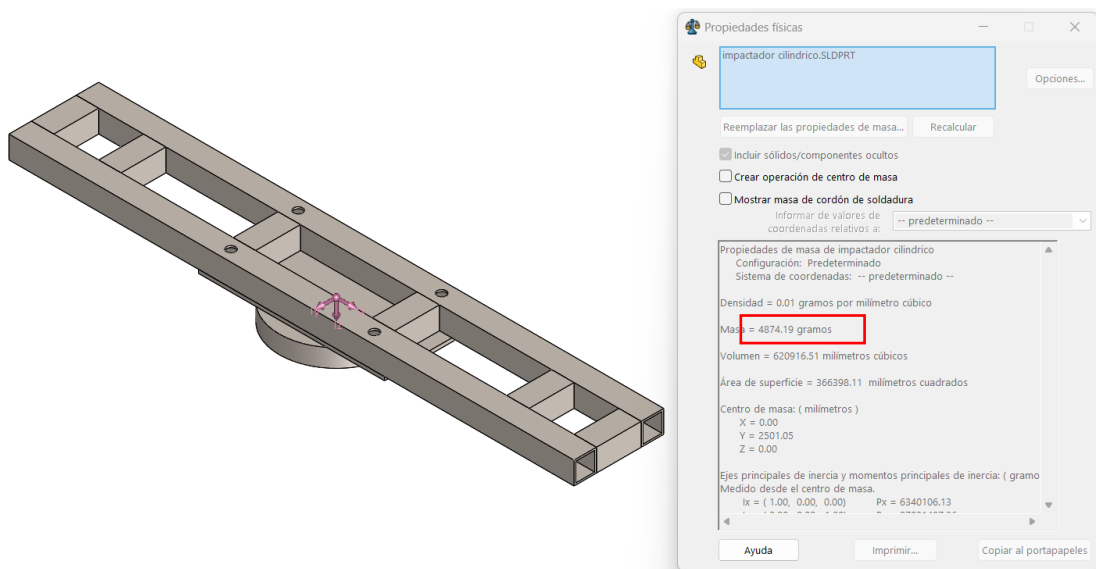


Figura 9-3. Peso de la estructura del impactador modelada.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

3.8.9 *Diseño de casco*

En la norma NTE INEN 2669 se indican las especificaciones que debe tener un casco y las dimensiones necesarias que debe tener el casco para cumplir con el trazado de la extensión mínima de protección que se indica en la figura 10-3.

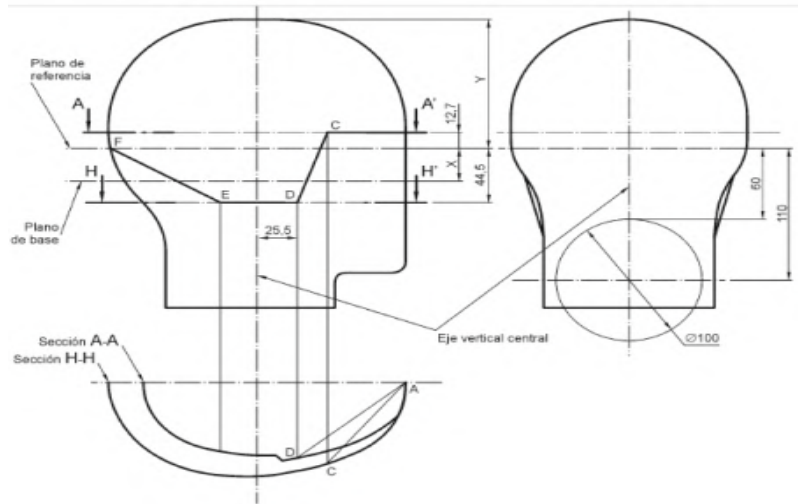


Figura 10-3 Trazado de extensión mínima de protección.

Fuente: (INEN:2669:2013)

A partir de las medidas realizadas se selecciona la adecuada para el modelado del casco como se indica en la figura 11-3.

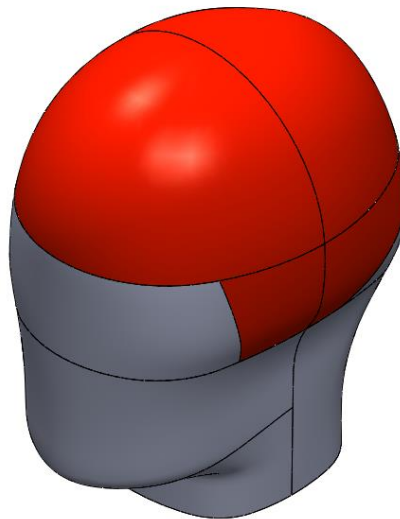


Figura 11-3 Trazado de la extensión mínima de protección para la horma.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

A partir del trazado realizado en la horma se realizó el modelado de la estructura exterior del casco que cubra toda la parte roja como se indica en la figura 12-3.

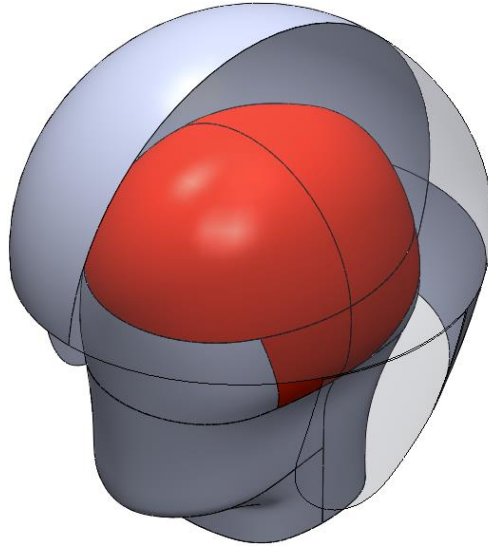


Figura 12-3 Modelado de la parte externa del casco.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Después de realizada la parte externa del casco se procede a dar el espesor correspondiente asignado para la parte de la esponja hasta que cubra completamente a la horma como se indica en la Figura 13-3.

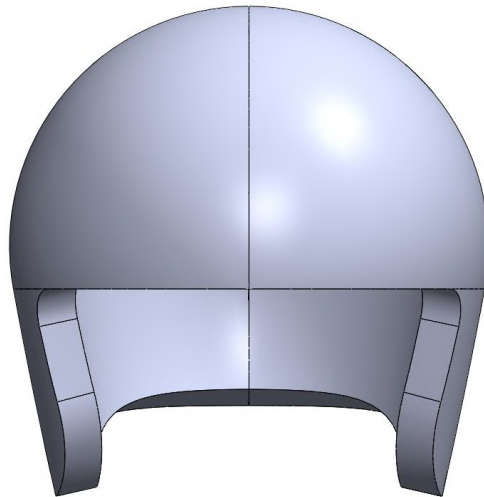


Figura 13-3 Modelado del espesor del casco.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Asignado en el modelado el espesor correspondiente se procede a dar los detalles internos finales de nuestro modelo como se indica en la figura 14-3.

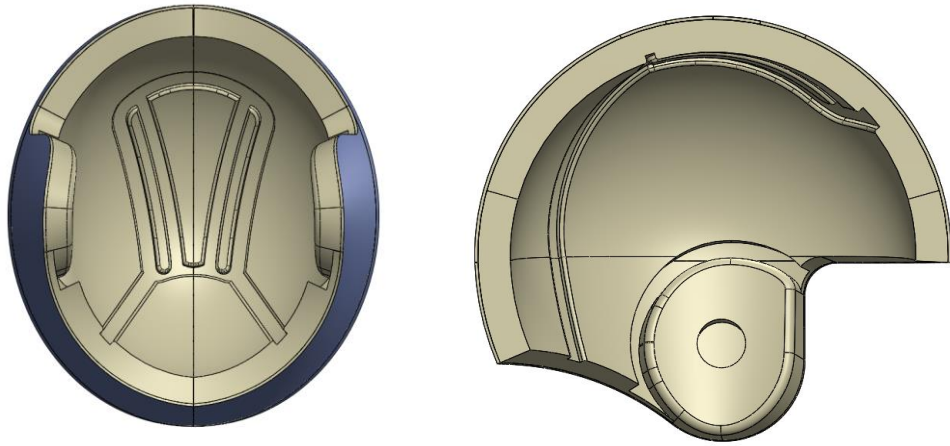


Figura 14-3 Detalles finales del casco diseñado.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Las vistas y medidas generales del diseño del casco generado se indican en la figuras 15-3 y 16-3.

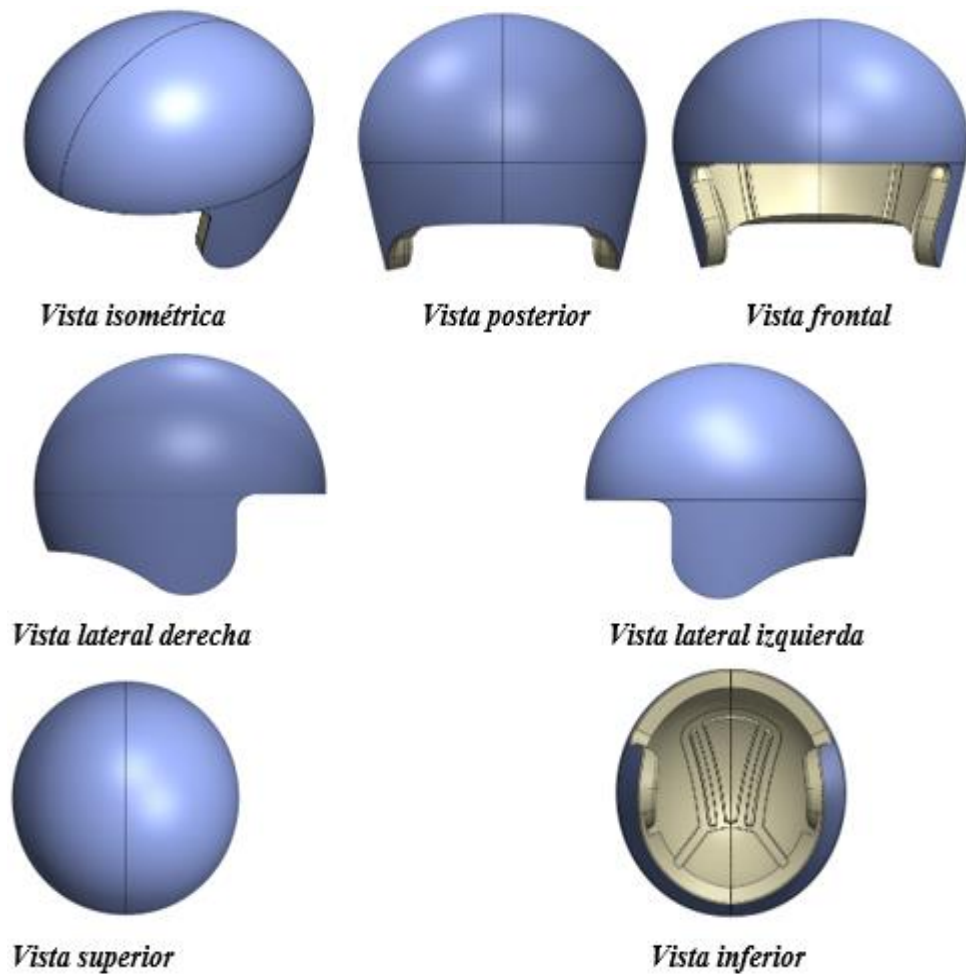


Figura 15-3 Vistas generales del diseño del casco.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

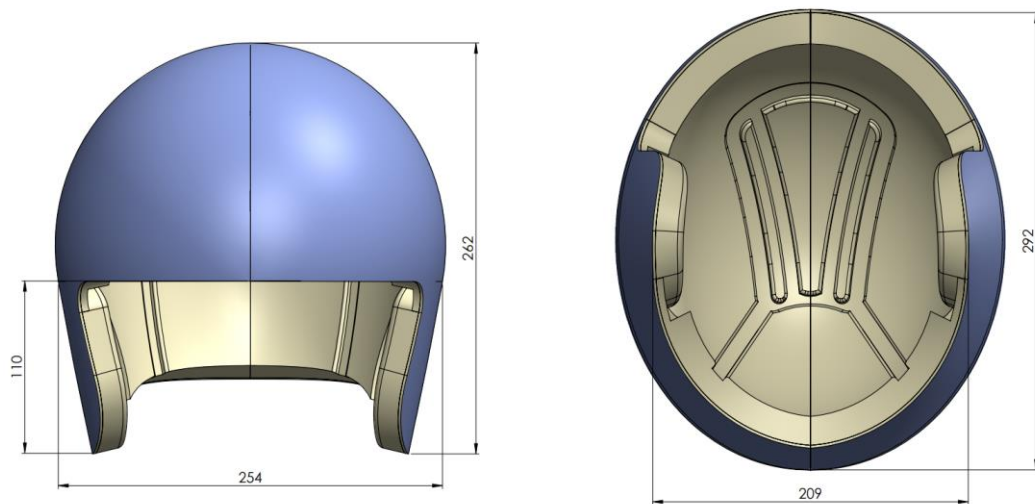


Figura 16-3 Medidas generales del casco diseñado.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

3.8.10 Simulación estática

Análisis estático de la estructura principal

Se realizó un análisis estructural implícito del banco de pruebas para comprobar la resistencia hacia diferentes cargas, para lo cual se exportó el modelo en formato de superficies para poder ejecutar este análisis mediante un software CAE.

Malla

Se generó la malla en todos los elementos que componen nuestro modelo de la estructura principal del banco de pruebas, para esto se utilizó un tamaño de malla que representa la mitad del total del tamaño de la sección de la tubería utilizada, al tener una sección de 50x50 mm se utilizará un tamaño de malla de 25 mm, como se indica en la Figura 17-3 y 18-3.

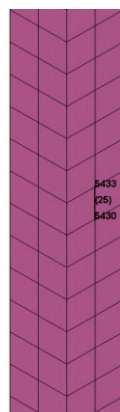


Figura 17-3 Tamaño de malla de la estructura principal.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

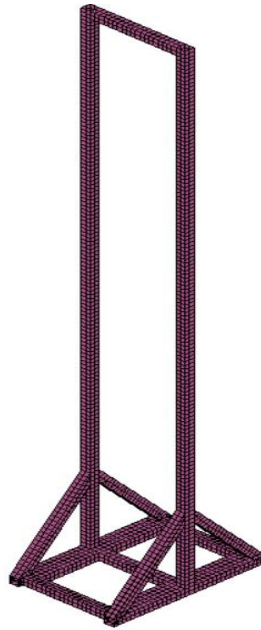


Figura 18-3 Malla final de la estructura principal.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Índice de jacobiano

Asignado el tamaño de malla se verifica la calidad de mediante el criterio jacobiano para evaluar a todos los elementos, a excepción de los triángulos y tetraedros; para esto se comparó los resultados con la tabla que se indica en la Figura 19-3.

Inaceptable	Malo	Aceptable	Bueno	Muy bueno	Excelente
-1,00 / -0,6	-0,5 / -0,2	-0,1 / 0,00	0,00 / 0,1	0,2 / 0,5	0,6 / 1,00

Figura 19-3. Índice de criterio jacobiano de malla.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Con el criterio jacobiano seleccionado de 0.3 que indica una calidad de malla “MUY BUENA”, se utiliza el módulo *ELEMENT AND MESH* en la operación *ELEMENT EDITING – Quality Check*, donde se verificó los elementos del modelo que cumplen con el índice seleccionado, adicional se especifica en la figura 20-3 la calidad de la malla que se generó al momento de realizar el análisis de la estructura.

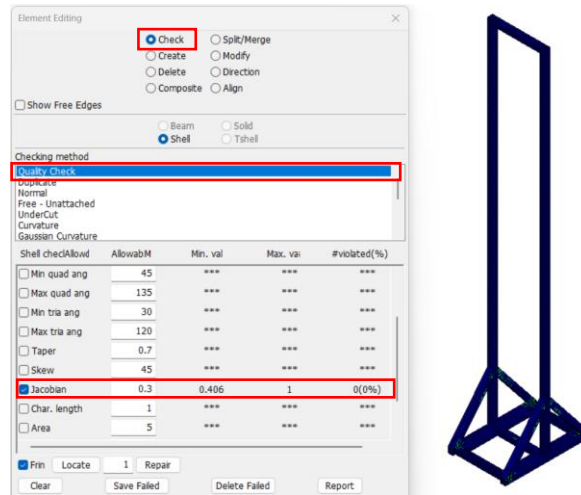


Figura 20-3. Calidad de malla de la estructura principal.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Tipos de elementos

Los tipos de elementos que están asignados para todos los componentes de la estructura de seguridad son los que se muestran en la figura 21-3 y se describen en la tabla 5-3.

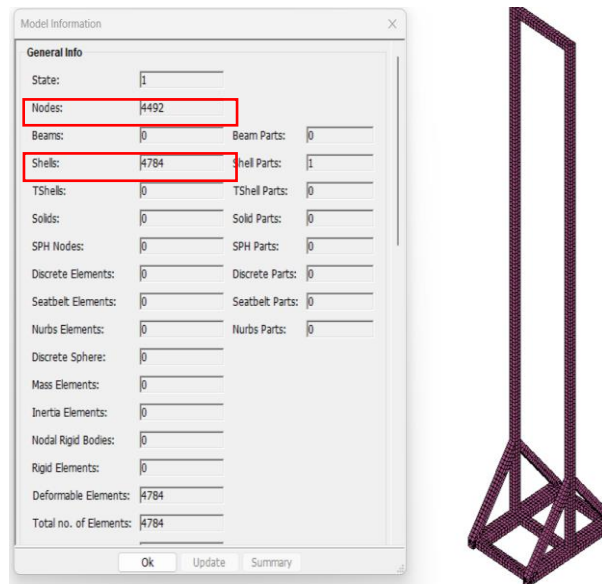


Figura 21-3. Tipos de elementos que contiene la estructura principal.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Tabla 5-3 Nodes y Shells de la Altura ideal para la estructura principal.

Tipo de elemento	Cantidad
Nodes	4492
Shells	4784

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Materiales para los componentes

Para la estructura principal se utilizó el acero estructural ASTM A500 Grado A que cumple con la norma NTE INEN 2415 establecida para aceros al carbón galvanizados, cuyas propiedades se describen en la tabla 6-3.

Tabla 6-3 Propiedades del material.

ACERO ASTM A500	
Tipo de material de LS DYNA: *MAT_ELASTIC	
Propiedad	Valor
Densidad del material	7.83e-6 (kg/mm ³)
Módulo de Young	207 (GPa)

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Las propiedades del material se asignaron a través de la carta de control *MAT* → *001-ELASTIC* como se indica en la figura 22-3.

Keyword Input Form

Buttons: NewID, MatDB, RefBy, Pick, Add, Accept, Delete, Default, Done

Options: Use *Parameter, Comment (Subsys: 1 ANALISIS.k) Setting

*MAT_ELASTIC_(TITLE) (001) (1)

TITLE

1	MID	RQ	E	PR	DA	DB	NOT USED
	1	7.800e-06	200.00000	0.3000000	0.0	0.0	0.0

Figura 22-3 Ingreso de las propiedades físicas del material ASTM A500.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

3.8.11 Condiciones de simulación

Restricciones

Se restringió el desplazamiento y la rotación de los elementos del piso en todos los ejes mediante el módulo *ENTITY CREATION* → *Boundary* → *Spc* como se indica en la figura 23-3.

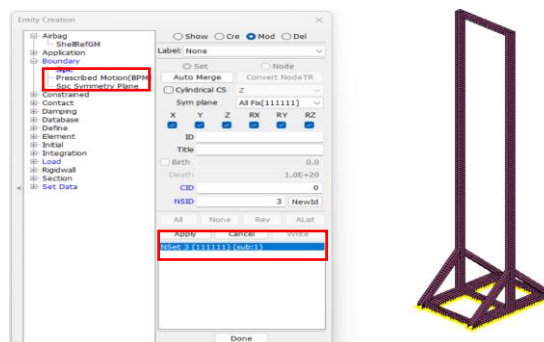


Figura 23-3 Restricciones de desplazamiento y rotación, base de la estructura principal.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Asignación de cargas

Primero se creó un set de nodos en la parte superior de la estructura principal donde se asignará la carga mediante el módulo *ENTITY CREATION* → *Load* → *Node* como se indica en la figura 23-3. La carga para aplicar se muestra calculada en la tabla 7-3.

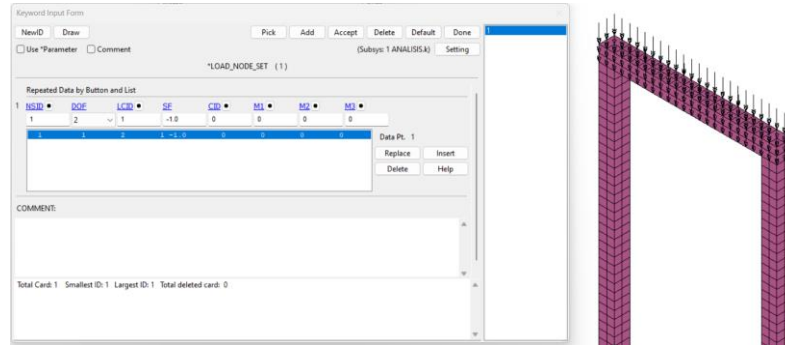


Figura 24-3 Cargas asignadas a la parte superior de la estructura principal

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Tabla 7-3 Cálculo de las cargas aplicadas.

Carga aplicada (kN)	Nodos	Carga resultante (kN)
0,7349952	192	0.0038281

Realizado por: Peña Adolfo, 2024

3.8.12 Resultados

El valor máximo del esfuerzo de Von Mises es 5.66 MPa como se indica en la figura 25-3, este valor está por debajo del límite de fluencia del material ASTM A500 Gr. A (230 MPa) por lo que se considera que la estructura no sufrirá ningún daño. Los valores máximos de esfuerzo se presentan en la parte superior de la estructura principal.

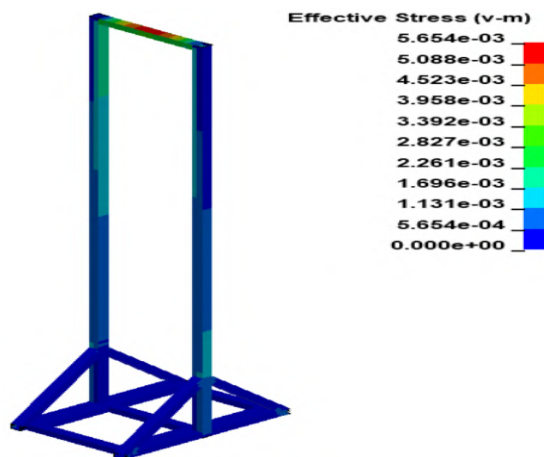


Figura 25-3 Valores de esfuerzo de Von Mises de la Estructura principal.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

El desplazamiento máximo obtenido con respecto al eje “y” es de 0.04918 mm como se indica en la figura 26-3, dichos valores se presentan en la parte superior de la estructura principal.

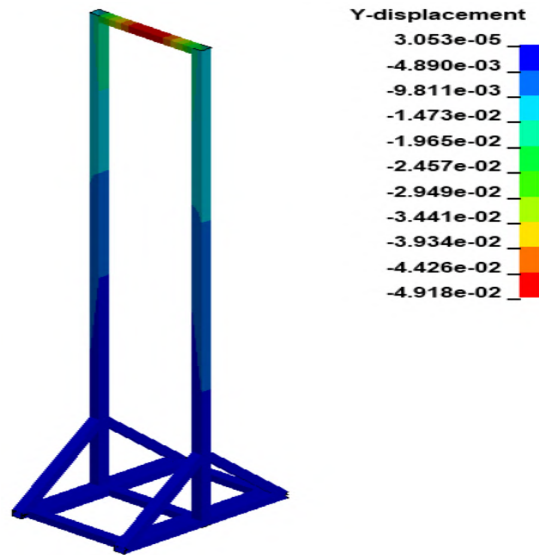


Figura 26-3 Valores de desplazamiento en el eje “y” de la estructura principal.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

3.8.13 Simulación dinámica

Análisis dinámico de la estructura

Este análisis se realizó con el objetivo de verificar la resistencia del casco a diferentes circunstancias aplicando la norma NTE INEN 2669:2013 al dejar caer al impactador en caída libre desde la altura asignada a cada impactador y velocidad correspondiente.

Para los análisis realizados únicamente cambian la forma de los impactadores y la posición del casco por lo que primero se asignarán los materiales que van a tener los componentes que conforman el entorno de simulación del impacto del casco.

Malla

Se generó la malla en todos los elementos que componen nuestro modelo de la estructura principal del banco de pruebas, para esto se utilizó un tamaño de malla que representa la mitad del total del tamaño de la sección de la tubería utilizada, al tener una sección de 50x50 mm se utilizará un tamaño de malla de 25 mm, como se indica en la Figura 27-3 y 28-3.

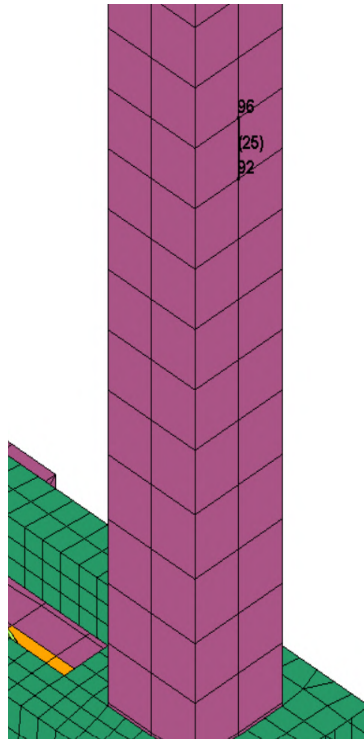


Figura 27-3 Tamaño de malla de la estructura principal.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

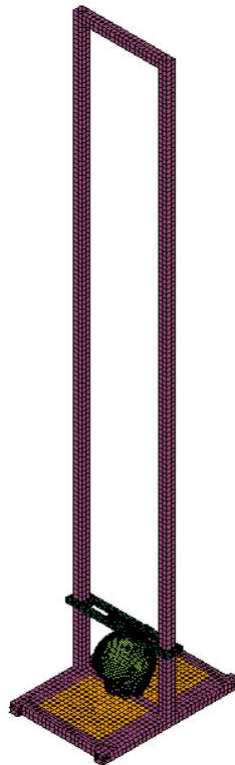


Figura 28-3 Malla final de la estructura principal.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Tipos de elementos

Los tipos de elementos que están asignados para todos los componentes de la estructura de seguridad son los que se muestran en la figura 29-3 y se describen en la tabla 8-3.

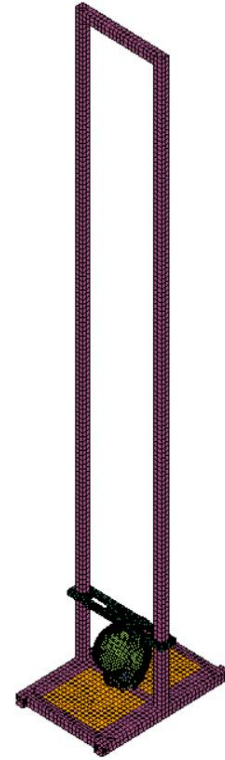
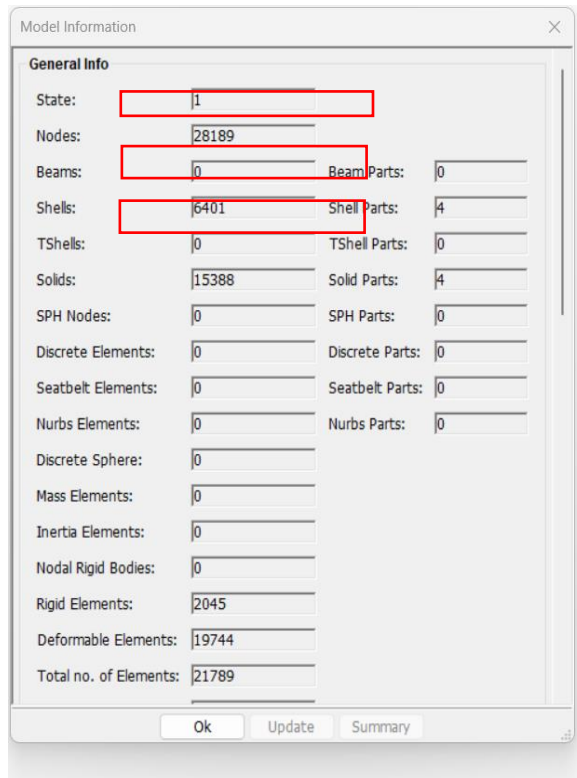


Figura 29-3 Tipos de elementos que contiene la estructura principal.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Tabla 8-3 Elementos de seguridad en la estructura

Tipo de elemento	Cantidad
Nodes	28189
Shells	6401
Solids	15388

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Material

El primer material que va a ser caracterizado en el software CAE es el ABS para impresión en 3D que va a estar dispuesto para la parte exterior del casco y cuyas propiedades se indican en la tabla 9-3, que se la obtiene del programa LSDYNA.

Tabla 9-3 Propiedades material ABS del programa del ABS.

Material ABS impresión 3D	
Tipo de material LSDYNA	*MAT_MODIFIED_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY
Densidad	1e-6 kg/mm3
Módulo de elasticidad	3 GPa
Radio de posion	0.4
Límite de fluencia	0.06 GPa
Tanget modulos	0.00102 GPa
Referencia	Numerical study of the bicycle helment drop test O. Krupicka

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

Las propiedades del primer material se asignaron a través de la carta de control *MAT* → *123-MODIFIED_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY* como se indica en la Figura 30-3.

Figura 30-3 Propiedades del material.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

El segundo material que va a ser caracterizado en el software CAE es el Material de espuma que va a estar dispuesto para la parte interna del casco y cuyas propiedades se indican en la tabla 10-3. También se debe ingresar la curva del material a partir de los datos obtenidos del ensayo de tracción de la espuma.

Antes de ingresar las propiedades del segundo material se debe ingresar la curva característica de la espuma mediante la carta de control *DEFINE* → *CURVE* en donde se ingresaron los valores indicados de la curva de deformación volumétrica del material, como se muestra en la figura 31-3.

Tabla 10-3 Propiedades de la espuma.

Material espuma	
Tipo de material LSDYNA	*MAT_CRUSHABLE_FOAM
Densidad	5.5E-8 kg/mm3
Módulo de elasticidad	0.015 GPa
Radio de posion	0.01
Referencia	Tabla 1, modelling and validation of motorcyclist helmet with composite shell V. Tinard, C. Deck

Realizado por: Peña Adolfo, 2024

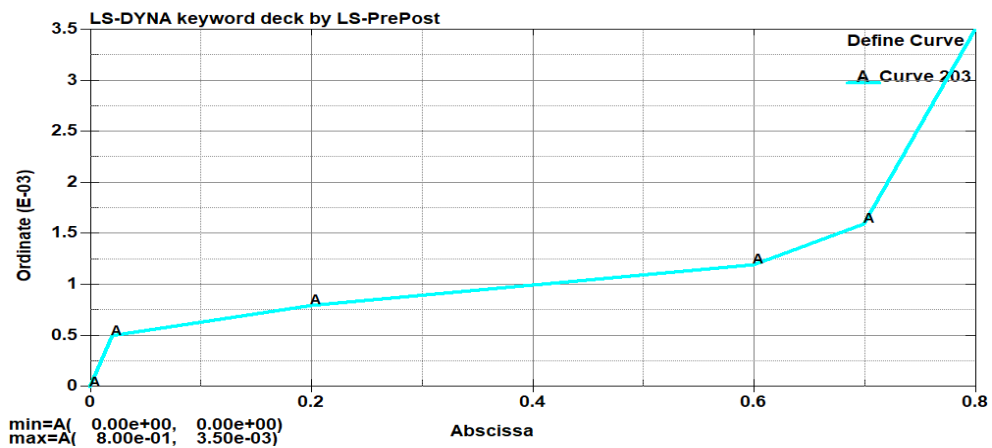


Figura 31-3 Curva de deformación volumétrica ensayo de tracción de espuma.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Después de generar la curva del material se ingresaron sus propiedades a través de la carta de control *MAT* → *063-CRUSHABLE_FOAM* como se indica en la figura 32-3.

Keyword Input Form

NewID MatDB RefBy Pick Add Accept Delete Default Done

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 PRUEBA 11 ESFERICO a 5.k) Setting

*MAT_CRUSHABLE_FOAM_(TITLE) (063) (2)

TITLE
MATERIAL ESPUMA

1	MID	RO	E	PR	LCID	TSC	DAMP	MODEL
	6001	5.500e-08	0.0150000	0.0100000	203	0.0	0.0	0

Figura 32-3 Ingreso de propiedades del material.

Fuente: (Peña, 2024)

El tercer material que va a ser caracterizado en el software CAE es el Acero ASTM A500 Grado A que va a estar dispuesto para todos los elementos de la estructura principal y los impactadores; sus propiedades se indican en la Tabla 11-3. También se debe ingresar la curva del material a partir de los datos obtenidos en el ensayo de tracción.

Tabla 11-3 Propiedades del material.

ACERO ASTM A500	
Tipo de material de LS DYNA para impactador: *MAT_RIGID	
Propiedad	Valor
Densidad del material	Variable por el peso del péndulo
Módulo de Young	207 (GPa)
Radio de Poisson	0.3 (mm/mm)
Tipo de material de LS DYNA para impactador: *MAT_RIGID	
Propiedad	Valor
Límite de fluencia	0.270 (GPa)
Resistencia última a la tracción	0.310 (GPa)
Deformación máxima unitaria	0.25

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

Antes de ingresar las propiedades del tercer material se debe ingresar la curva característica del acero mediante la carta de control *DEFINE* → *CURVE* en donde se ingresaron los valores indicados de la curva de esfuerzo deformación del material, ver figura 33-3.

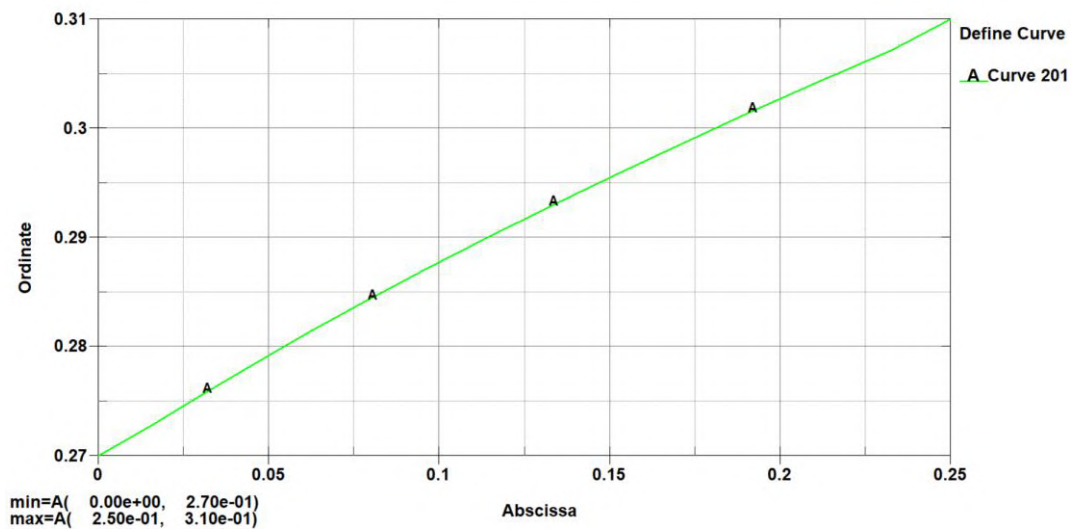


Figura 33-3 Curva característica de Acero ASTM A500 Grado A.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

Después de generar la curva del material se ingresaron sus propiedades a través de la carta de control *MAT* → *024-PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY* como se indica en la figura 34-3.

Keyword Input Form

MatDB RefBy Pick Add Accept Delete Default Done

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 PRUEBA 11 ESFERICO a 5.k) Setting

*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY_(TITLE) (024) (2)

TITLE
ABS

1	MID	RO	E	PR	SIGY	ETAN	FAIL	TDEL
	1	1.000e-06	1.0000000	0.2000000	0.0300000	0.0	0.0	0.0

2	C	P	LCSS	LCSR	YP
	0.0	0.0	0	0	0.0

3	EPS1	EPS2	EPS3	EPS4	EPS5	EPS6	EPS7	EPS8
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Plot Raise New Padd

Figura 34-3 Ingreso de propiedades del material.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

Propiedades del acelerómetro

El acelerómetro está ubicado en el centro de gravedad de la horma de forma de cabeza, el mismo está unido a la horma por medio de una unión rígida, se utiliza la carta de control **ELEMENT_SEATBELT_ACCELEROMETER* con el objetivo censar las fuerzas Gs sin que exista ruido computacional, ver figura 35-3.

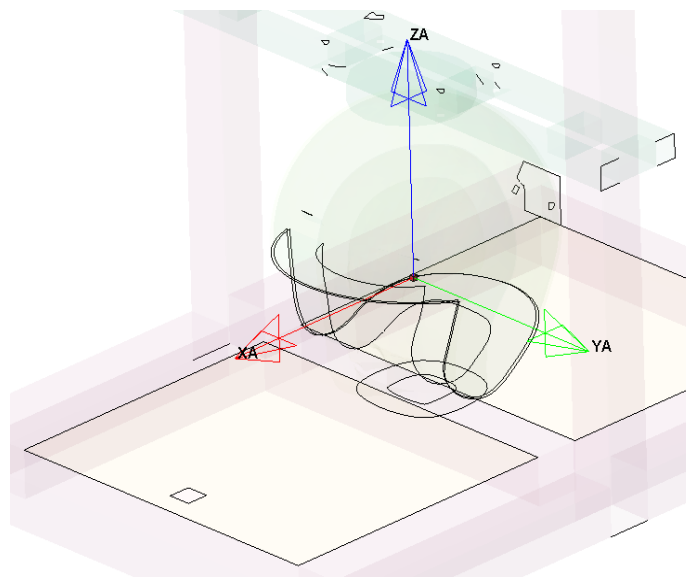


Figura 35-3 En rojo acelerómetro origen de coordenadas, parte central de la cabeza.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Contactos

Se generaron contactos de tipo automático de superficie a superficies entre todos los componentes de los modelos utilizando la carta de control

*CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE.

Soportes fijos

Los soportes fijos asignados son: soportes fijos restringiendo todos los grados de libertad tanto de rotación y traslación en la base de la estructura ver puntos en azul según el gráfico y soportes en el impactador restringiendo el movimiento de traslación y rotación permitiendo el movimiento únicamente en traslación para y ver puntos rojos en gráfico, ver figura 36-3.

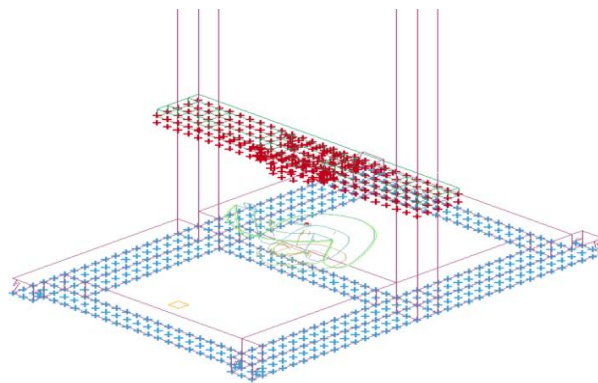


Figura 36-3 Restricciones de desplazamiento-rotación en impactador-base de la estructura.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Velocidad

Se asigna la velocidad correspondiente a cada impactador mediante la carta de control *INITIAL* → *Velocity* como se indica en la figura 37-3.

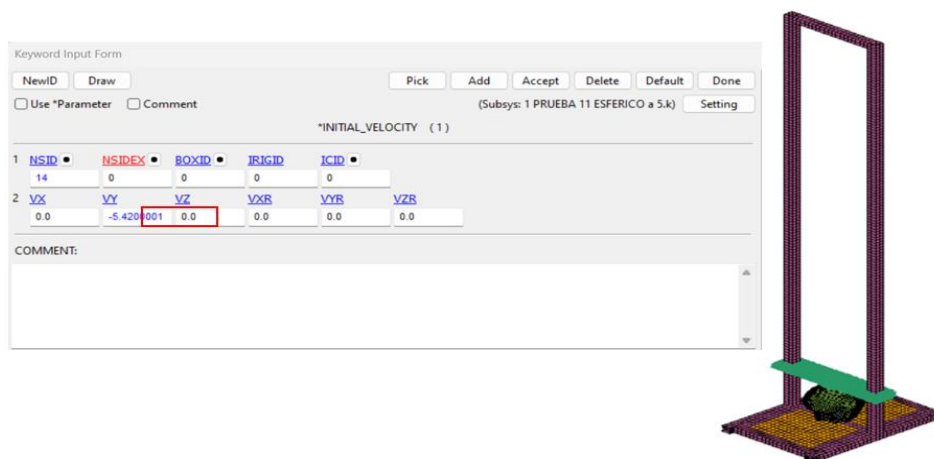


Figura 37-3 Ingreso y asignación de la velocidad correspondiente al impactador.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Resultados

Una vez asignado la velocidad correspondiente para cada uno de los impactadores como nos indica la norma NTE INEN 2669:2013 obtenemos los resultados correspondientes para cada velocidad asignada.

MATERIAL ABS

Ensayo A vertical impactador semiesférico (baja energía) a 5.42 m/s

El valor máximo para esfuerzo de Von Mises es de 4.233 MPA como se indica en la Figura 38-3. Los valores máximos de esfuerzo de presenta en la parte superior de impacto del casco.

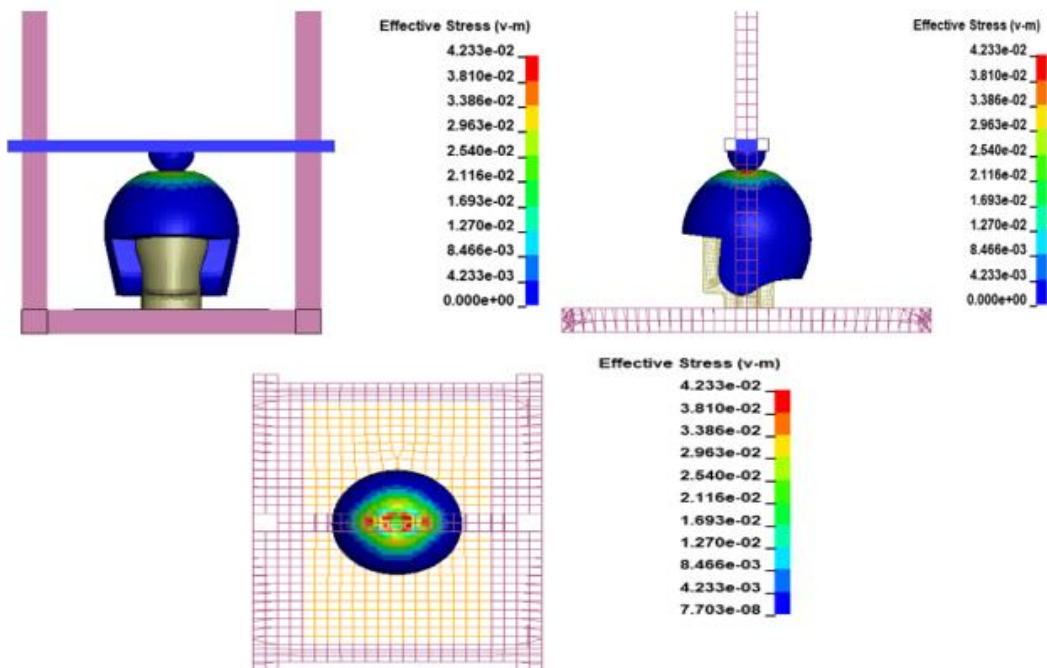


Figura 38-3 Esfuerzo máximo en el momento del impacto.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Los valores resultantes para HIC y para la aceleración de la cabeza son de 724.8 y 341 g respectivamente como se indica en la figura 39-3, el valor de HIC no supera el valor límite permitido por ECE de 2400, pero el valor de aceleración de la cabeza supera el valor permitido de 275 g.

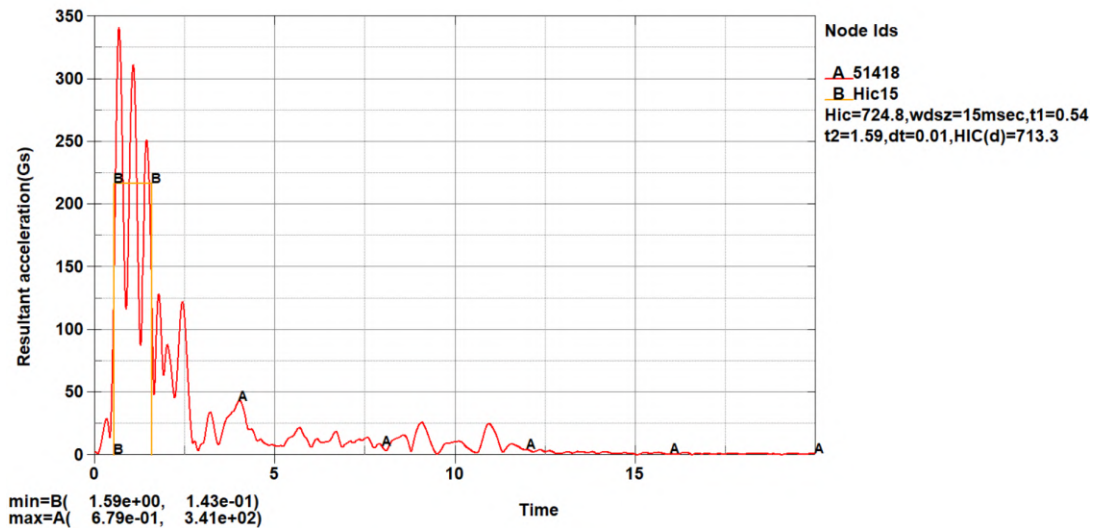


Figura 39-3 Curva de Aceleración resultante vs Tiempo.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Se obtienen los siguientes resultados para las energías: Energía Cinética (3.75×10^3 kN-mm), Energía Interna (1.29×10^3 kN-mm) y para la Energía Total (67.8 kN-mm) como se indican en la figura 40-3; estos valores de obtuvieron en un tiempo de 1 ms para todas las energías.

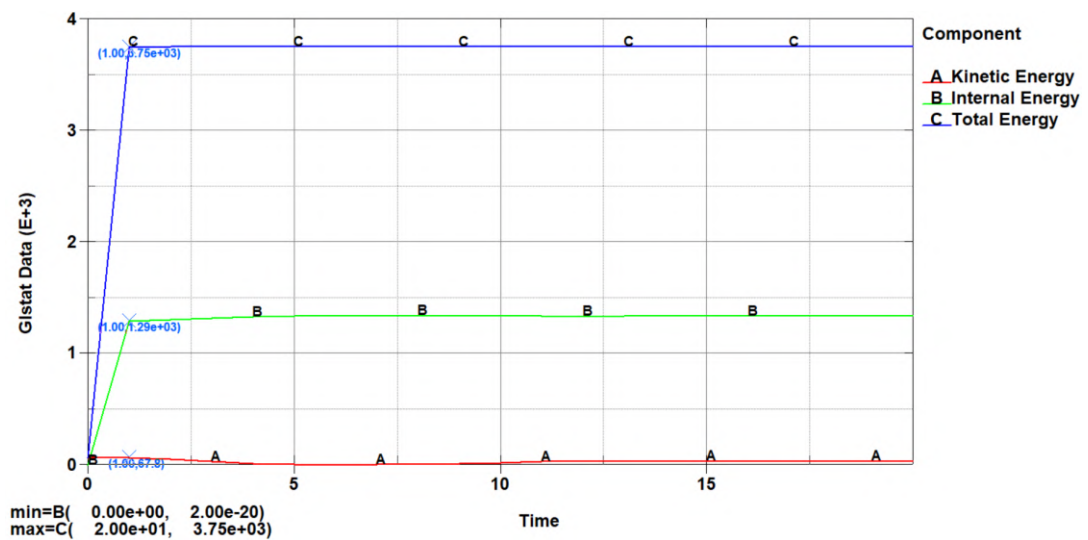


Figura 40-3 Curva de Energía vs Tiempo.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Ensayo B vertical impactador cilíndrico (alta energía) a 7 m/s

El valor máximo para esfuerzo de Von Mises es de 5.69 MPA como se indica en la figura 41-3.

Los valores máximos de esfuerzo de presenta en la parte superior de impacto del casco.

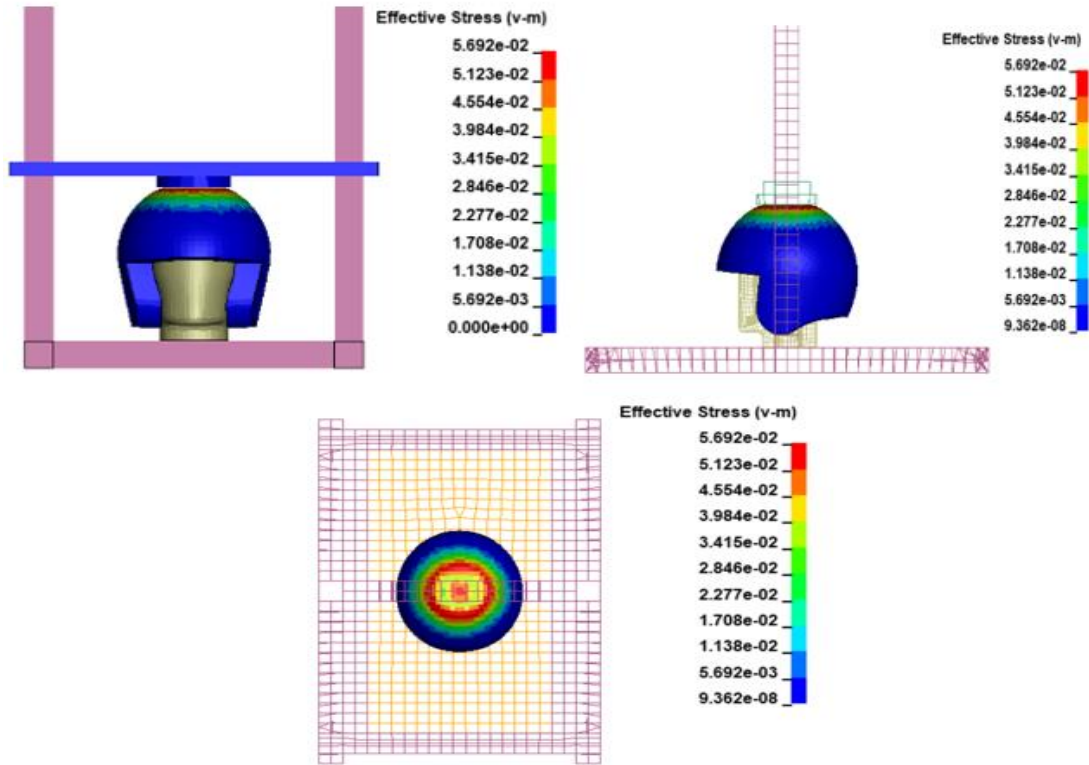


Figura 41-3 Esfuerzo máximo en el momento del impacto.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Los valores resultantes para HIC y para la aceleración de la cabeza son de 1097 y 438 g respectivamente como se indica en la figura 42-3, el valor de HIC no supera el valor límite permitido por ECE de 2400, pero el valor de aceleración de la cabeza supera el valor permitido de 275 g.

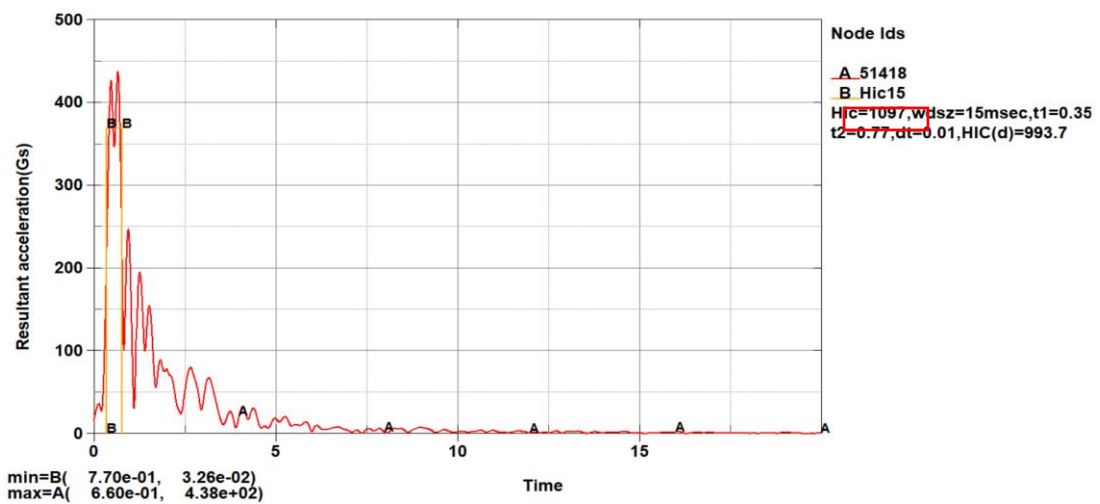


Figura 42-3 Curva de Aceleración resultante vs Tiempo

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Se obtienen los siguientes resultados para las energías: Energía Cinética (1.29×10^3 kN-mm), Energía Interna (1.65×10^3 kN-mm) y para la Energía Total (117 kN-mm) como se indican en la Figura 43-3; estos valores de obtuvieron en un tiempo de 1 ms para todas las energías.

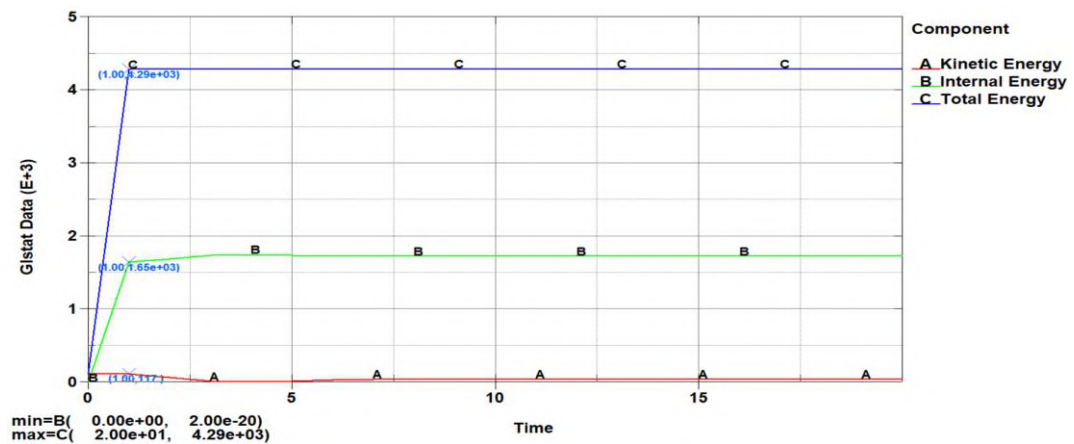


Figura 43-3 Curva de Energía vs Tiempo.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Ensayo C lateral impactador cilíndrico 5.42 m/s

El valor máximo para esfuerzo de Von Mises es de 6 MPA como se indica en la figura 44-3. Los valores máximos de esfuerzo de presenta en la parte superior de impacto del casco.

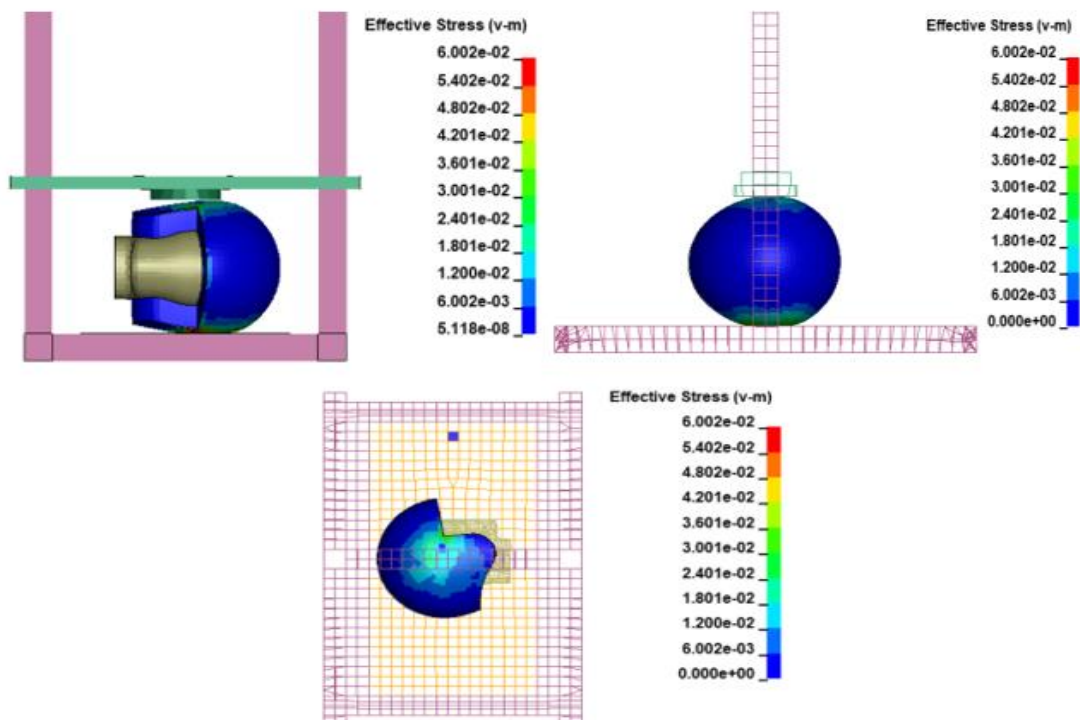


Figura 44-3 Esfuerzo máximo en el momento del impacto.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Los valores resultantes para HIC y para la aceleración de la cabeza son de 259.5 y 110g respectivamente como se indica en la figura 45-3, el valor de HIC no supera el valor límite permitido por ECE de 2400 y el valor de la aceleración de la cabeza supera el valor límite permitido de 275 g.

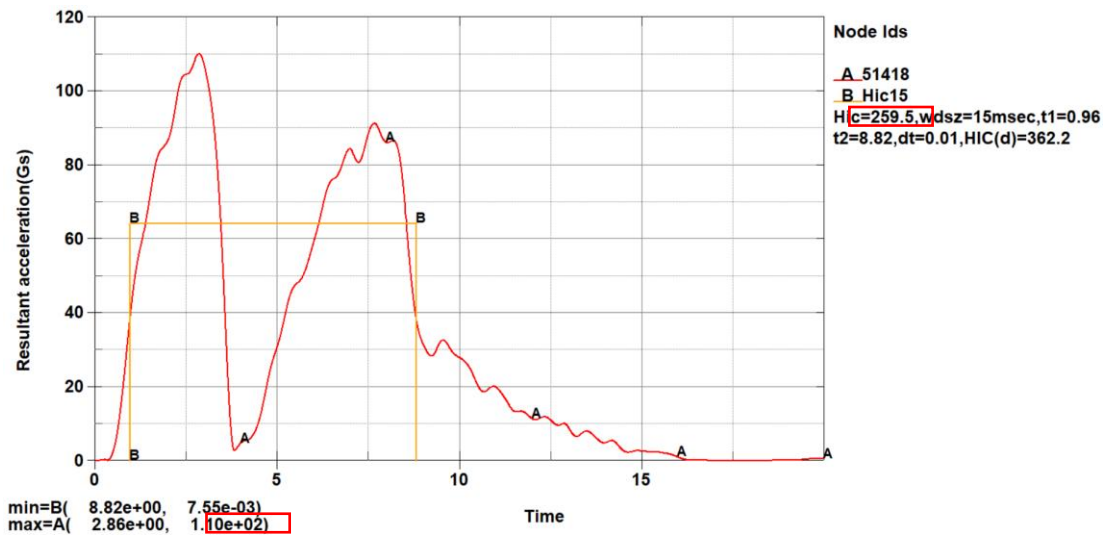


Figura 45-3 Curva de Aceleración resultante vs Tiempo

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Se obtienen los siguientes resultados para las energías: Energía Cinética (73.5 kN-mm), Energía Interna (60.6 kN-mm) y para la Energía Total (3.03 kN-mm) como se indican en la figura 46-3; estos valores de obtuvieron en un tiempo de 1 ms para todas las energías.

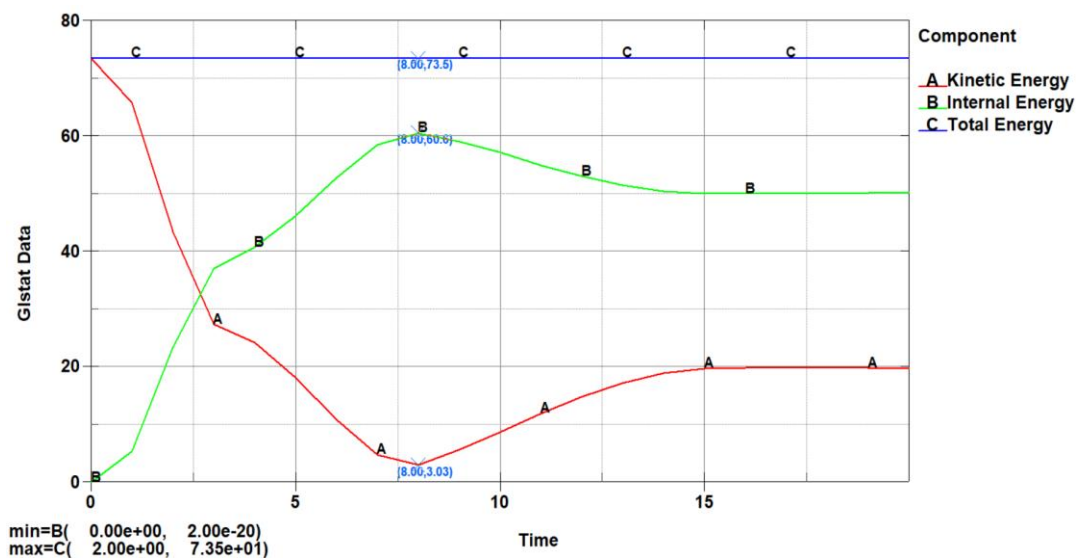


Figura 46-3 Curva de Aceleración resultante vs Tiempo

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

MATERIAL PLA

Ensayo A vertical impactador semiesférico (baja energía) a 5.42 m/s

El valor máximo para esfuerzo de Von Mises es de 4.233 MPA como se indica en la figura 47-3.

Los valores máximos de esfuerzo de presenta en la parte superior de impacto del casco.

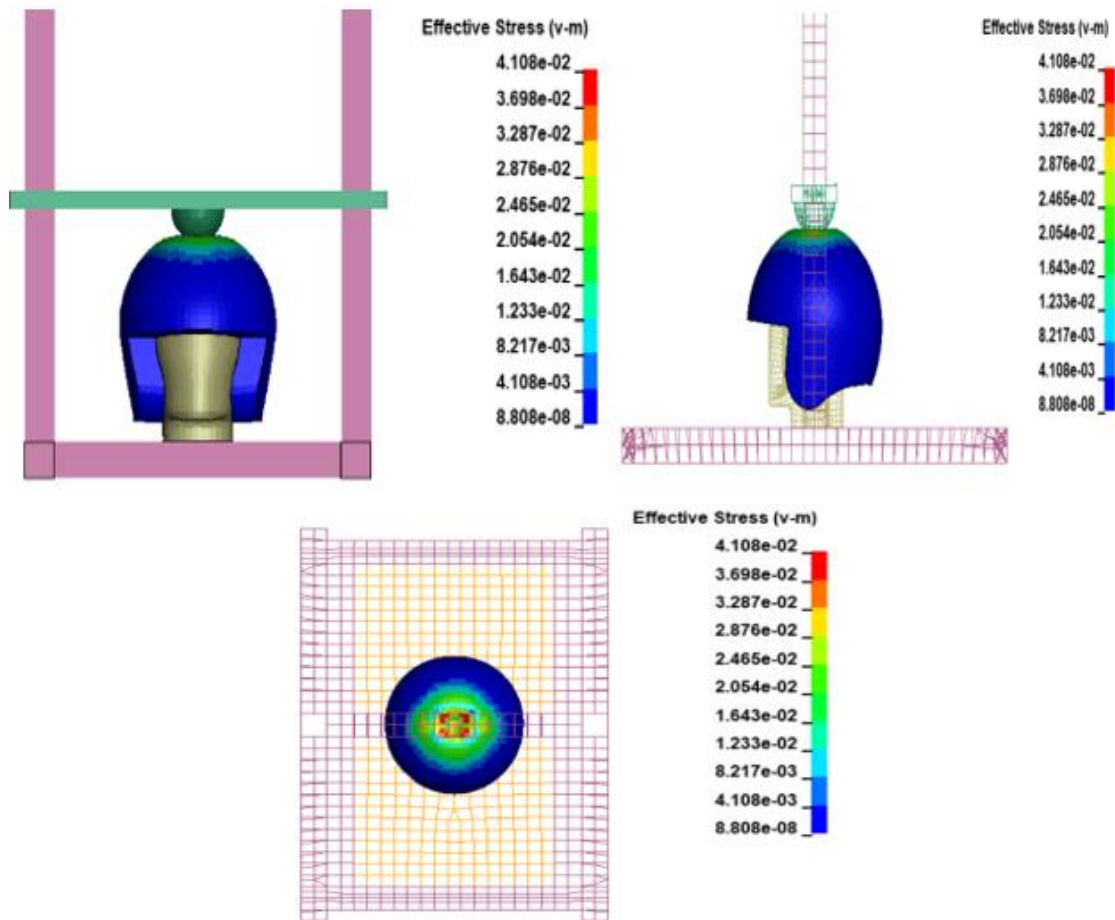


Figura 47-3 Esfuerzo máximo en el momento del impacto.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Los valores resultantes para HIC y para la aceleración de la cabeza son de 1559 y 497 g respectivamente como se indica en la figura 48-3, el valor de HIC no supera el valor límite permitido por ECE de 2400, pero el valor de aceleración de la cabeza supera el valor permitido de 275 g.

Se obtienen los siguientes resultados para las energías: Energía Cinética (5.91×10^3 kN-mm), Energía Interna (3.66×10^3 kN-mm) y para la Energía Total (79.4 kN-mm) como se indican en la Figura 49-3; estos valores de obtuvieron en un tiempo de 1 ms para todas las energías.

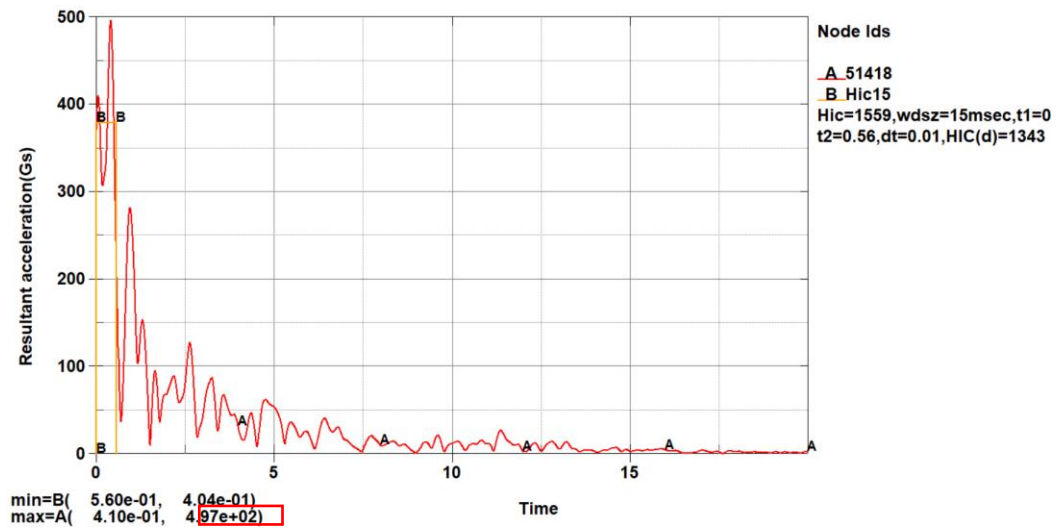


Figura 48-3 Curva de Aceleración resultante vs Tiempo.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

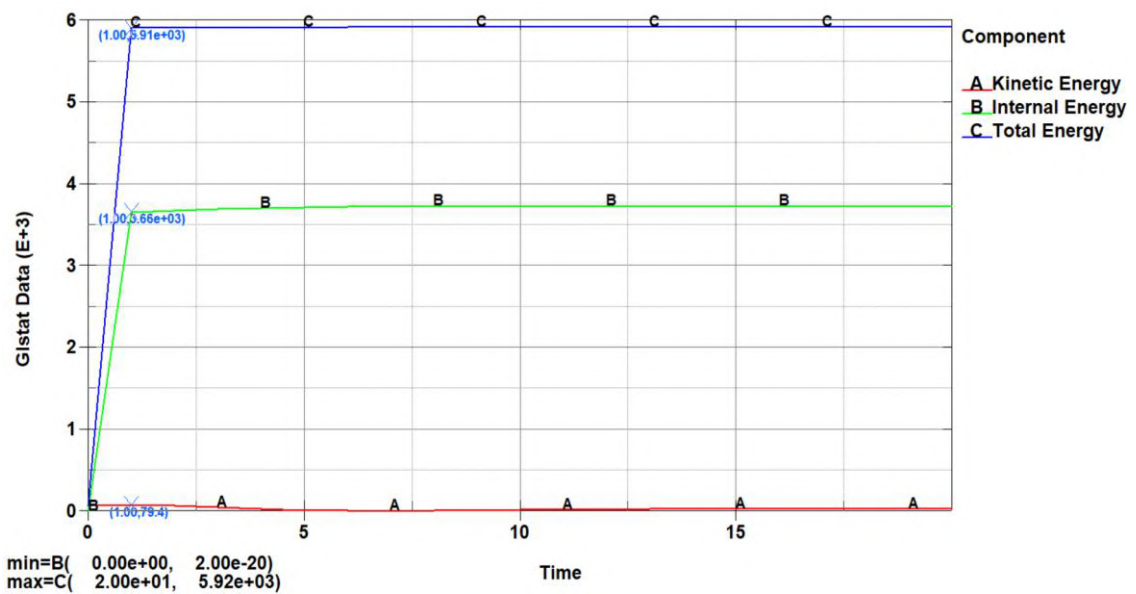


Figura 49-3 Curva de Energía vs Tiempo.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Ensayo B vertical impactador cilíndrico (alta energía) a 7 m/s

El valor máximo para esfuerzo de Von Mises es de 5.69 MPA como se indica en la figura 50-3.

Los valores máximos de esfuerzo de presenta en la parte superior de impacto del casco.

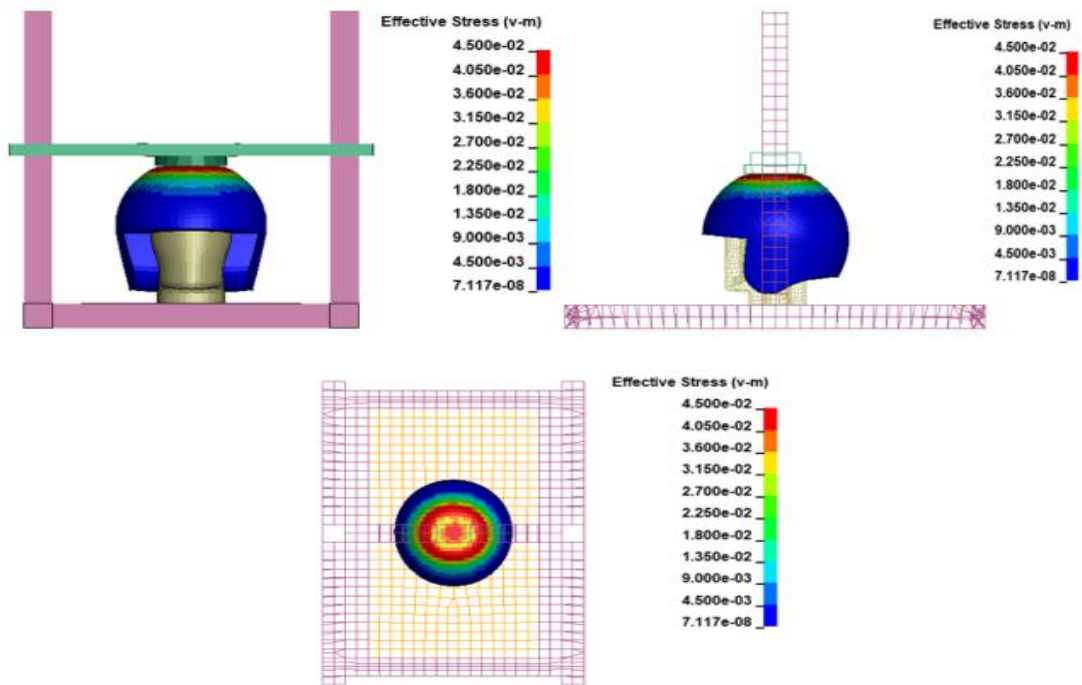


Figura 50-3 Esfuerzo máximo en el momento del impacto.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Los valores resultantes para HIC y para la aceleración de la cabeza son de 4592 y 972 g respectivamente como se indica en la figura 51-3, el valor de HIC no supera el valor límite permitido por ECE de 2400, pero el valor de aceleración de la cabeza supera el valor permitido de 275 g.

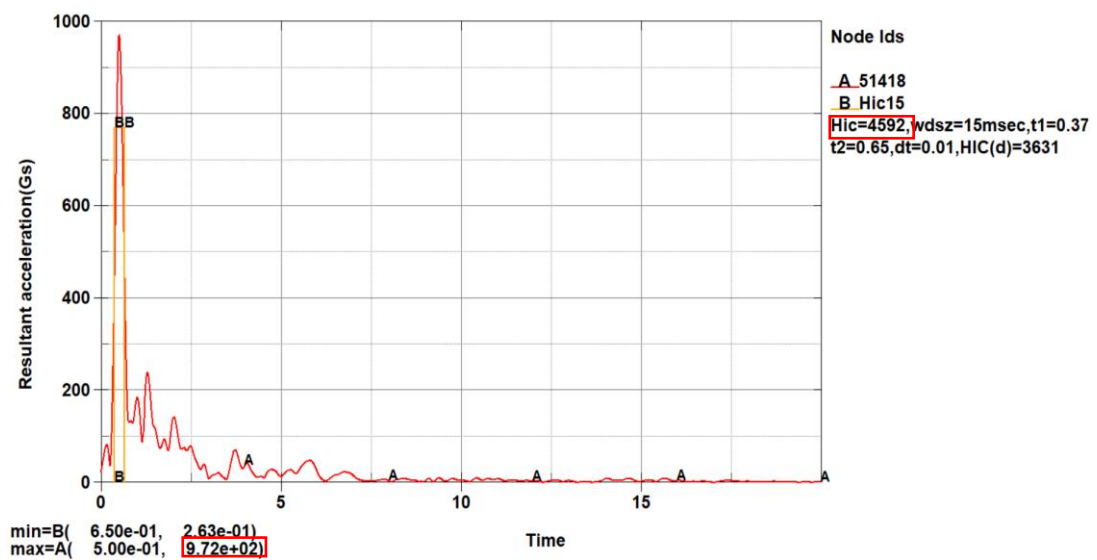


Figura 51-3 Curva de Aceleración resultante vs Tiempo

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Se obtienen los siguientes resultados para las energías: Energía Cinética (4.98×10^3), Energía Interna (2.31×10^3) y para la Energía Total (124) como se indican en la figura 52-3; estos valores de obtuvieron en un tiempo de 1 ms para todas las energías.

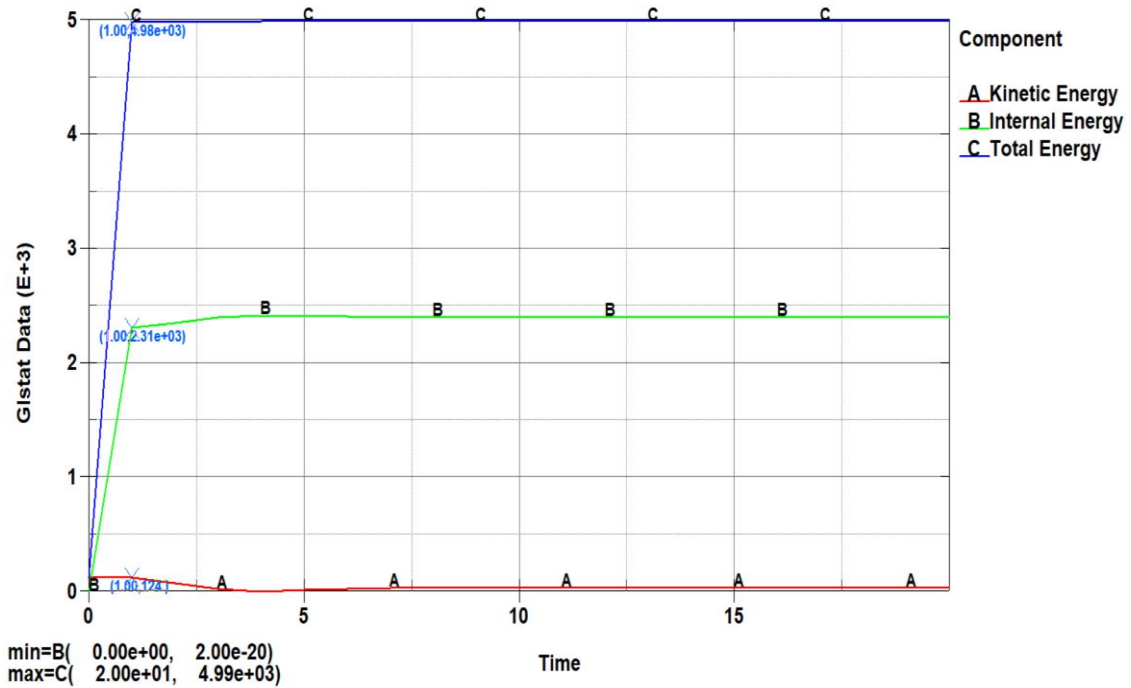


Figura 52-3 Curva de Energía vs Tiempo.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Ensayo C lateral impactador cilíndrico 5.42 m/s

El valor máximo para esfuerzo de Von Mises es de 6 MPA como se indica en la figura 53-3.

Los valores máximos de esfuerzo de presenta en la parte superior de impacto del casco.

Los valores resultantes para HIC y para la aceleración de la cabeza son de 247 y 103 g respectivamente como se indica en la figura 54-3, el valor de HIC no supera el valor límite permitido por ECE de 2400 y el valor de la aceleración de la cabeza supera el valor límite permitido de 275 g.

Se obtienen los siguientes resultados para las energías: Energía Cinética (73.5 kN-mm), Energía Interna (62.5 kN-mm) y para la Energía Total (2.20 kN-mm) como se indican en la figura 55-3; estos valores de obtuvieron en un tiempo de 1 ms para todas las energías.

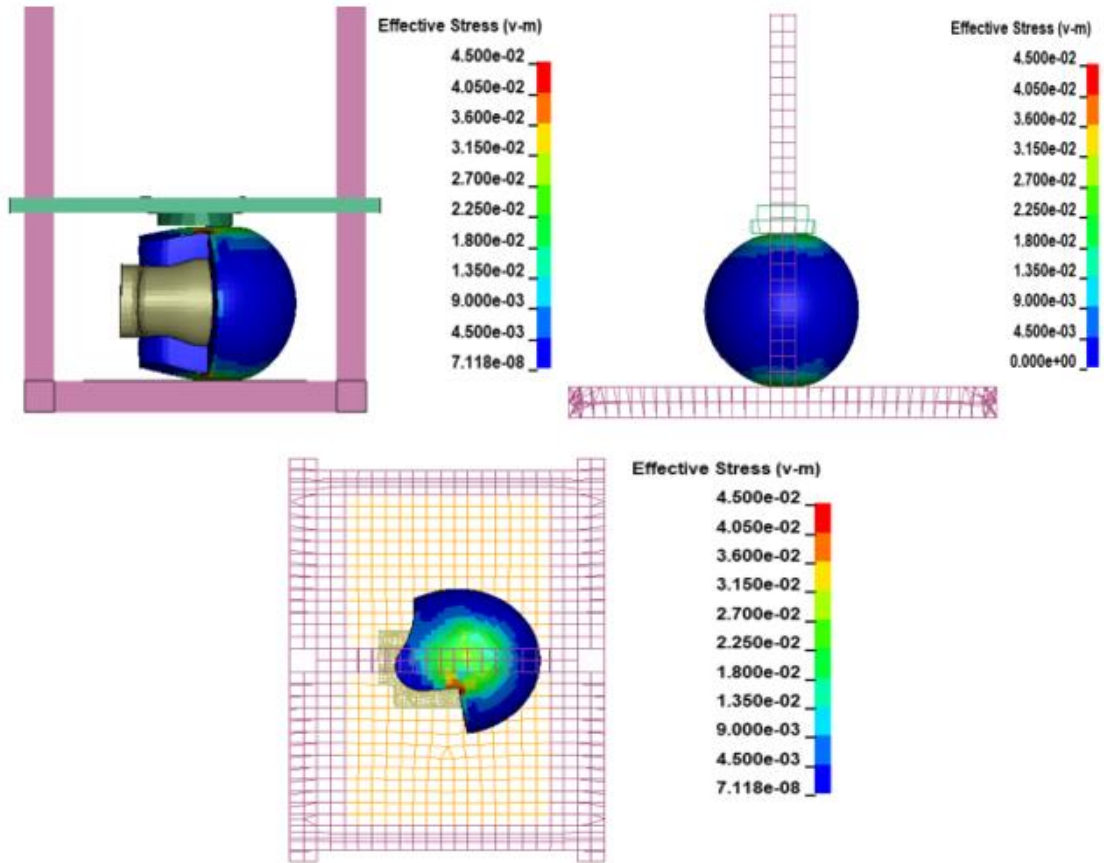


Figura 53-3 Esfuerzo máximo en el momento del impacto.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

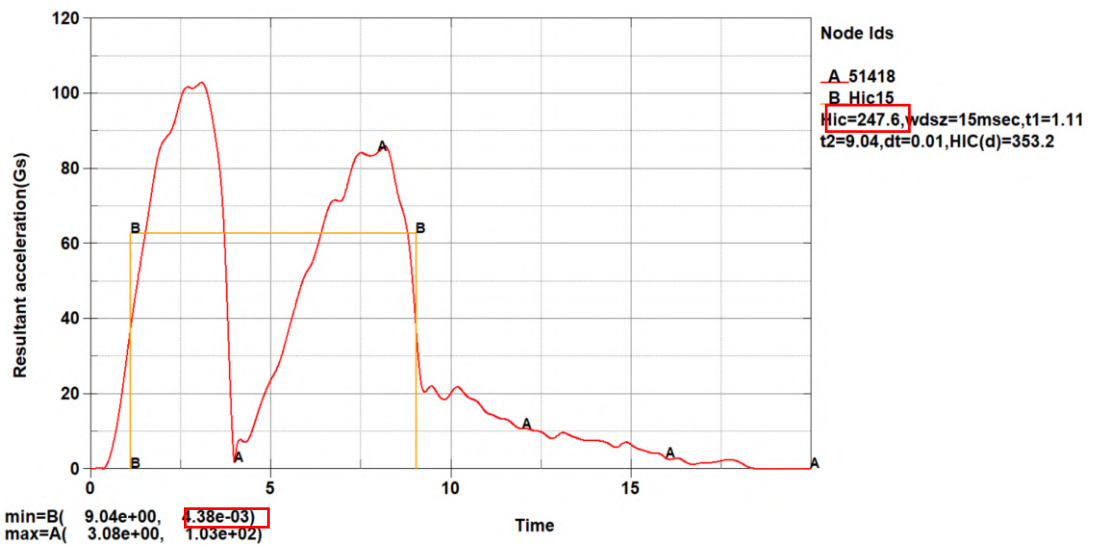


Figura 54-3 Curva de Aceleración resultante vs Tiempo

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

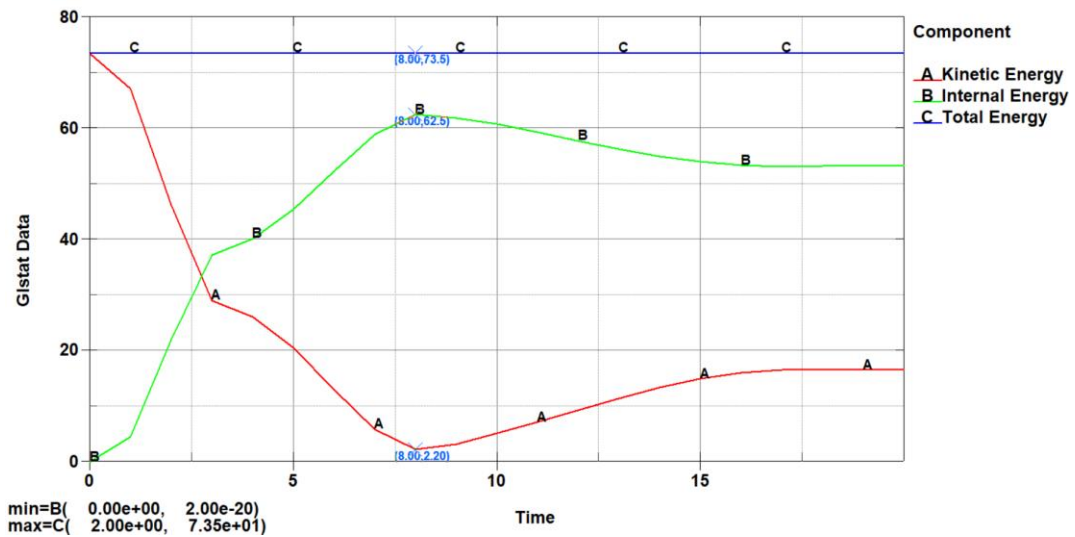


Figura 55-3 Curva de Energía vs Tiempo.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Para la validación de las simulaciones antes presentadas es necesario la construcción de una máquina la cual servirá para la comprobación en un ambiente real de las pruebas descritas en base a la Norma INEN 2669:2013, de esta manera se lograría evaluar la capacidad de protección de estos dispositivos de seguridad con los 2 materiales (PLA, ABS), esta máquina de ensayos está diseñada para aplicar cargas controladas imitando las fuerzas de asociadas con impactos que se podrían dar en una situación real de accidentes.

Una vez cumplida la fase de diseño y simulación se ha procedido con la elaboración de la base para la plataforma la cual será capaz de soportar las cargas dinámicas que se generen durante las pruebas de impacto de igual manera debe contar con un sistema de sujeción ajustable para la fijación adecuada de los cascos a probarse, es lo importante mencionar que el componente clave de la máquina será el mecanismo que genere el impacto controlado este mecanismo consiste en un dispositivo que suelta un peso controlado desde cierta altura para simular una caída o el uso de un impactador para generar una carga impulsiva, mediante el uso de acelerómetros se logrará la medición de la respuesta del casco ante el impacto, figura 56-3.



Figura 56-3 Construcción del equipo de ensayo.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Como se mencionaba anteriormente es necesario seguir normativas y estándares que rigen internacionalmente la seguridad para diseñar y construir esta máquina de esta manera logrando que los resultados sean fiables y comparables, la construcción de esta máquina de pruebas contribuye significativamente a lograr los resultados esperados de esta investigación y comprobar el diseño que proporcione mayor seguridad y efectividad, para completar el proceso de validación del casco anteriormente diseñado es necesario llevar a cabo la fabricación del mismo mediante el método de impresión 3D en el cual se utilizarán 2 materiales considerados clave para el diseño uno de ellos es ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) y PLA (Ácido Poliláctico) estos 2 materiales son ampliamente utilizados dentro de la industria de la impresión 3D y presentan propiedades mecánicas distintas que influirán en el rendimiento del casco dependiendo del material con el cual se haya fabricado, ver figura 57-3.

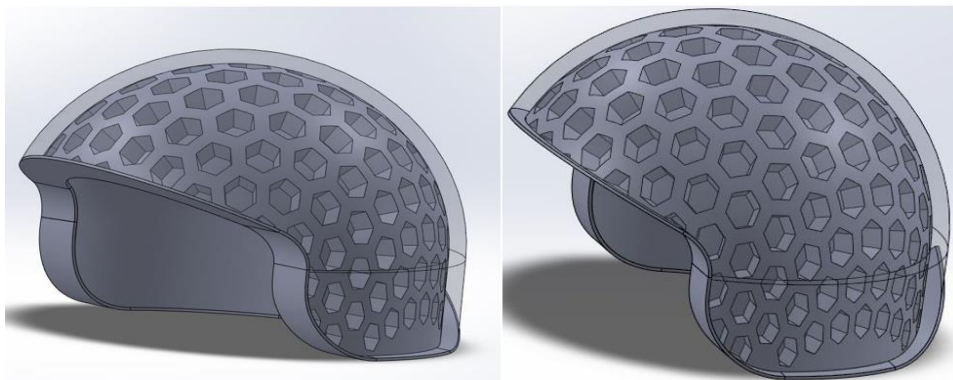


Figura 57-3 Prototipo de Casco modelado en 3D

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

La impresión 3D en ABS proporcionará el casco mayor resistencia a impactos y mayor tenacidad, características que se pueden considerar fundamentales en situaciones de riesgo como colisiones, ahora tomando en cuenta el otro material a utilizar el PLA es considerado un material más rígido que se puede utilizar para la evaluación del prototipo bajo condiciones de carga específicas proporcionando información valiosa para validar su capacidad estructural.

Una vez impresos los 2 prototipos en los materiales antes mencionados es necesario llevar a cabo los ensayos de acuerdo con las normas establecidas por la INEN, estos ensayos incluyen pruebas de resistencia a impactos, evaluación de la absorción de energía y cualquier otro parámetro relevante para asegurar que el prototipo de casco cumple con los estándares de seguridad establecidos.

La utilización de la impresión 3D para la fabricación de estos prototipos permite una rápida iteración en el diseño lo que facilita la optimización de este tanto de forma como estructura. Además, la capacidad de imprimir en diferentes materiales logrando así una evaluación más completa de las propiedades tanto físicas como mecánicas de los prototipos realizados, es crucial mencionar que el seguimiento de las normas establecidas por la INEN garantiza que el casco diseñado cumpla con todos y cada uno de los requisitos de seguridad necesarios para su uso y protección en situaciones de riesgo real. La combinación de la impresión 3D y los ensayos reglamentarios ayuda a obtener un enfoque integral para la validación del prototipo presentado asegurando la calidad y la eficacia del prototipo en términos tanto de protección como seguridad para sus usuarios, en la figura 58-3 visualiza la impresión de los cascos con materiales ABS en color negro y PLA en color rojo.



Figura 58-3 Proceso de impresión de los cascos en materiales ABS y PLA.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Los resultados de los ensayos antes mencionados se presentarán en el capítulo siguiente en el cual se analizará los resultados obtenidos y se validará el prototipo presentado.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas a realizarse dentro de este capítulo para la validación de los prototipos antes mencionados y simulados serán basadas en la normativa INEN 2669: 2013 a continuación se detallan cada una de las pruebas de realizarse y los resultados obtenidos con los cascos impresos en 3D, de esta manera poder concluir cuál es el material adecuado para su fabricación y que este prototipo cumpla con los requisitos expuestos en la normativa antes mencionada, en la cual se expone que el objetivo de la misma es de establecer los requisitos y métodos para el ensayo con los cuales deben cumplir los cascos que sean diseñados para la protección de conductores de motocicletas y también sus pasajeros.

4.1 *Requisitos del casco*

Basándose en los requisitos que presenta la norma INEN el prototipo de casco antes diseñado y simulado cumple con cada uno de los que se mencionan dentro de la misma tomando en cuenta que es un casco de tipo abierto proporciona la protección al completo de las orejas e igual cuenta con una visera, ha sido diseñado de manera que el borde interno no impide el uso de anteojos cómo se muestra en la figura 77. (INEN:2669:2013)

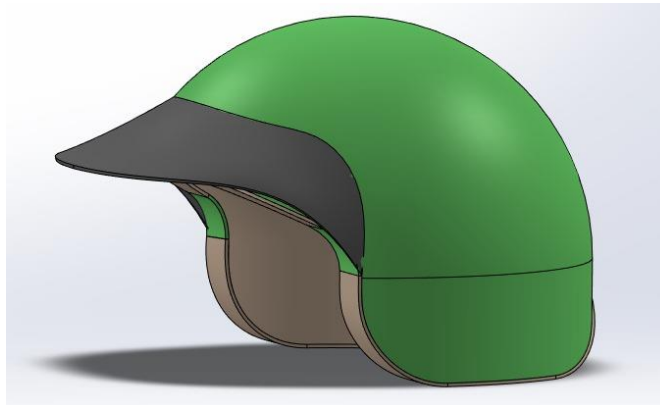


Figura 1-4 Modelo de casco 3D que cumple con los requisitos de la norma en simulaciones.

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

4.2 *Ensayos y pruebas*

A continuación, se realizarán y se describirán los resultados obtenidos en cada una de las pruebas que exige que se realicen la norma INEN 2669:2013 para la validación del prototipo de casco de motocicleta de tipo abierto que se ha diseñado y simulado en la presente investigación, tomando

en cuenta cada uno de los pasos y las condiciones en las cuales se deben ejecutar las pruebas descritas en el documento.

4.2.1. Requisitos específicos del ensayo de absorción de impactos

Para realizar el ensayo de adsorción de impactos se debe seguir lo establecido en la norma INEN 2669:2013 y se establecen las siguientes condiciones:

- La absorción de impactos para casos de impacto vertical consta de dos partes:
 - a) Baja energía: Las fuerza máxima transmitida debe ser menor o igual a 7.5 kN.
 - b) Alta energía: La fuerza máxima transmitida debe ser menor o igual a 15 kN.
- Impactador metálico con una masa de 4,5 kg y con una superficie semiesférica de 90 mm.
- Impactador metálico con superficie plana y circular de 127 mm de diámetro y una masa de 5kg.
- Antes del ensayo verificar que el casco esté correctamente colocado sobre la horma de la medida correspondiente.
- La secuencia de impactos se la aplicará en dos fases:
 - a) Se aplica el primer impacto utilizando el impactador semiesférico; en caso de que el casco quede en la posición incorrecta o desacomodado es necesario acomodarlo a su posición adecuada antes del segundo impacto.
 - b) Se procede a aplicar el segundo impacto utilizando el impactador de superficie plana, de esta forma cada casco recibe dos impactos en el mismo sitio.
- La altura de caída de libre debe ser tal que la velocidad del impactador sea la establecida en la tabla 1-3 velocidades de las pruebas de impacto.
- El impacto lateral debe ser menor o igual a 10 kN, la deformación obtenida no debe ser mayor que 5 mm en comparación a la deformación que se obtuvo en la primera carga y no debe presentar ruptura hacia el interior del casco.

4.2.2. Prueba de absorción de impactos con el material ABS

Los resultados reales luego de realizar la pruebas establecidas en la NORMA: INEN: 2669:2013, se los representa en la siguiente tabla 1-4, se especifica todas las condiciones establecidas en la normativa aplicada, y los resultados obtenidos en la pruebas de los ensayos realizados, al final de la tabla se especifica cuáles son las condiciones que se presentan en el casco luego de las pruebas realizadas.

Tabla 1-4 Análisis de resultados: Prueba de absorción de impacto material ABS

IMPACTO	IMPACTADOR	VELOCIDAD DE IMPACTO (m/s)	MASA (Kg)	MEDIDA (mm)	FUERZA MÁXIMA	RUPTURA
Vertical (baja energía)	Semiesférico	5,42	4,5	90 (Semiesférica)	7,5 kN	Presenta fractura de relevancia en toda la parte superior del casco, incluso la ruptura travesa hasta la capa inferior, se lo puede considerar como una destrucción total. Deformación de la estructura del casco en 0.05 %, es decir menor al 5 % <u>NO CUMPLE LO REQUERIDO</u>
Vertical (alta energía)	Plano	7,00	5	127 (Circular)	15 kN	
Lateral	Plano	5,42	4,5	90 (Semiesférica)	≤ 10 kN	

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Luego de realizar las pruebas con el casco diseñado e impreso con el material ABS se pudo verificar que NO resistió las pruebas, se puede apreciar que se presentó una considerable fractura en la parte superior e incluso el daño traspaso hasta la parte inferior o interna del casco, lo que representaría un grave problema en el uso del casco por un motociclista, pues se podrían presentar daños de gravedad en la cabeza del usuario, debido a esta condición de resultado se destaca que no cumple con lo requerido, lo descrito se aprecia en la figura 2-4.



Figura 2-4 Casco con material ABS después de las pruebas de absorción de impacto

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

4.2.3. Prueba de absorción de impactos con el material PLA

De igual forma se realizaron las pruebas correspondientes con el material PLA, los resultados reales se los representa en la tabla 2-4 de la misma forma, se especifica las condiciones establecidas en la norma, al determinar que los resultados son favorables se decidió realizar la impresión de dos cascos más para realizar la misma prueba y comprobar los resultados, adicionalmente estos valores sirven para obtener un resultado estadístico.

Tabla 2-4 Análisis de resultados: Prueba de absorción de impacto material PLA

Impacto	Impactador	Velocidad de Impacto (m/s)	Masa (kg)	Medida (mm)	Fuerza Máxima	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Vertical (baja energía)	Semiesférico	5,42	4,5	90 (Semiesférica)	7,5 kN	No presenta fractura de relevancia en casco, la medida original del casco es de 175 mm, teniendo como resultado final el valor de 172 mm, una diferencia de 3 mm, menor a 5 mm	No presenta fractura de relevancia en el casco, excepto ligeros fisuras en la parte superior, que no pasaron al interior, no causarían ningún tipo de daños en la cabeza, la medida original del casco es de 175 mm, teniendo como resultado final el valor de 173 mm, una diferencia de 2 mm, menor a 5 mm	Presenta fisura leve en la parte superior, mantiene su forma general, las fisuras no pasaron al interior de casco, es decir no causarían ningún tipo de daños en la cabeza. la medida original del casco es de 175 mm, teniendo como resultado final el valor de 171 mm, una diferencia de 4 mm, menor a 5 mm
Vertical (alta energía)	Plano	7,00	5	127 (Circular)	15 kN	<u>SI CUMPLE LO REQUERIDO</u>	<u>SI CUMPLE LO REQUERIDO</u>	<u>SI CUMPLE LO REQUERIDO</u>
Lateral	Plano	5,42	4,5	90 (Semiesférica)	≤ 10 kN	<u>SI CUMPLE LO REQUERIDO</u>	<u>SI CUMPLE LO REQUERIDO</u>	<u>SI CUMPLE LO REQUERIDO</u>

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Al finalizar las pruebas con los cascos fabricados con el material PLA se destaca que no presentaron daños de relevancia en su estructura, es decir que, SI resistieron las pruebas realizadas de acuerdo con lo establecido en la norma, lo cual se muestra en la figura 3-4.



Figura 3-4 Cascos de material PLA después de las pruebas de absorción de impacto

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

4.3 Media y desviación estándar del material PLA en prueba de absorción de impacto

Con los datos obtenidos en la prueba de absorción de impacto, se procede a realizar la obtención de datos estadísticos como la media que se sirve para obtener el valor central más cercano y la desviación estándar, que es la medida de dispersión, para este caso se toman los valores del porcentaje de deformación estructural del casco, para obtener el dato de la desviación estándar se utiliza la siguiente ecuación.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N}}$$

Donde:

σ = Desviación estándar

N = Número de datos

\bar{x} = Promedio

x = Dato

Para el cálculo correspondiente se utiliza una hoja de Excel por ser más didáctica y apropiada, se obtienen los siguientes resultados de la media y la desviación estándar, los cuales se reflejan en la tabla 3-4.

Tabla 3-4 Media y desviación estándar, absorción de impacto con material PLA

Datos (x) (mm)	Número de datos (N)	Sumatoria $\sum(x)$ (mm)	Media (\bar{x}) (mm)	Sumatoria $\sum(x-\bar{x})^2$ (mm)
3	1	3	3	0
2	2	2	2	1
4	3	4	4	1
	3	9	3,00	2
Desviación estándar				0,82

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Los valores de la media y desviación estándar son de 3,00 mm y 0,82 mm respectivamente, y analizándolo para 95 % de los casos se obtiene valores del límite inferior de 1.40 mm y de límite superior de 4.60 mm demostrando que los valores están dentro de lo permitido en la deformación estructural, pues no supera los 5 mm.

4.3.1 Requisitos específicos del ensayo de rigidez

Para realizar el ensayo de rigidez de impactos de igual forma se debe seguir lo establecido en la norma INEN 2669:2013 y se establecen las siguientes condiciones:

- a. El casco acondicionado previamente debe colocarse entre dos placas que ejerzan una carga conocida a lo largo del eje longitudinal o transversal, luego se aplica una carga inicial de 30 N luego de 2 min se mide la distancia entre placas. Después se incrementa la carga a razón de 100 N cada 2 min hasta un máximo de 630 N, para luego medir la distancia entre las placas.
- b. A continuación, se reduce la aplicación de la carga a 30 N y se la mantiene durante 5 min, y luego se mide la distancia entre placas.
- c. Debe utilizarse un casco nuevo para el ensayo sobre el eje longitudinal y otro casco nuevo para el eje vertical.
- d. Después de la aplicación de la carga de 30 N, la deformación obtenida no debe ser mayor que 15 mm en comparación a la deformación que se obtuvo en la primera carga.

4.3.2 Prueba de rigidez con el material ABS

Las pruebas de rigidez con las condiciones establecidas en la norma INEN: 2669:2013, se los representa en la siguiente tabla 4-4, se especifica todas las condiciones requeridas en la normativa aplicada, y los resultados obtenidos en la pruebas realizadas, al final de la tabla se especifica cuáles son las condiciones que se presentan en el casco.

Después de la aplicación de la carga de 30 N, la deformación obtenida no debe ser mayor que 15 mm en comparación a la deformación que se obtuvo en la primera carga, en este caso fue de 18 mm, por esta razón NO cumple lo establecido en la normativa.

4.3.3 Prueba de rigidez con el material PLA

Las pruebas de rigidez para el material PLA se las realiza bajo las mismas condiciones establecidas en la norma INEN: 2669:2013, los resultados se los representa en la tabla 5-4, se especifica todas las condiciones requeridas en la normativa aplicada, al determinar que los resultados son favorables se decide realizar las pruebas en los cascos adicionales impresos para

comprobar los resultados, adicionalmente estos valores sirven para obtener un resultado estadístico

Tabla 4-4 Análisis de resultados: Prueba de rigidez con el material ABS

	CARGA (N)	TIEMPO (min)	MEDIDA (mm)	
CARGA INICIAL	30	2	225 mm	NO CUMPLE CON LO ESTABLECIDO EN LA NORMA
CARGA INTERMEDIA	INCREMENTO DE 100 HASTA MÁX. 630	CADA 2 MINUTOS		
CARGA FINAL	30	5	207 mm	
DIFERENCIA			<u>18 mm</u>	

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Tabla 5-4 Análisis de resultados: Prueba de rigidez con el material PLA

	Carga (n)	Tiempo (min)	Muestra 1 medida (mm)	Muestra 2 medida (mm)	Muestra 3 medida (mm)
CARGA INICIAL	30	2	225 mm	225 mm	225 mm
CARGA INTERMEDIA	INCREMENTO DE 100 HASTA MÁX. 630	CADA 2 MINUTOS			
CARGA FINAL	30	5	215 mm	212 mm	216mm
DIFERENCIA			10 mm_SI cumple con lo establecido en la norma	13 mm_SI cumple con lo establecido en la norma	9 mm_SI cumple con lo establecido en la norma

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Después de la aplicación de la carga de 30 N, la deformación obtenida no debe ser mayor que 15 mm en comparación a la deformación que se obtuvo en la primera carga, en este caso las medidas fueron de 10 mm, 13 mm y 9 mm; por esta razón SI cumple lo establecido en la normativa.

4.4 Media y desviación estándar del material PLA en la prueba de rigidez

Al realizar la pruebas adicionales se obtienen datos de la prueba de rigidez, luego se realiza la obtención datos estadísticos como la media y la desviación estándar, que es la medida de dispersión, para este caso se toma los valores de medida en milímetros para la obtención de los datos requeridos, para facilitar la obtención de datos se utiliza un ahoja de Exel, los valores se visualizan en la tabla 6-4.

Los valores de la media y desviación estándar son de 10.67 mm y 1,70 mm respectivamente, y analizándolo para 95 % de los casos se obtiene valores del límite inferior de 7.30 mm y de límite superior de 14.00 mm, demostrando que los valores están dentro de lo permitido en la deformación por la rigidez, pues no supera los 15 mm.

Tabla 6-4 Media y desviación estándar, prueba de rigidez con material PLA

Datos (x) (mm)	Número de datos (N)	Sumatoria $\sum(x)$ (mm)	Media (xi) (mm)	Sumatoria $\sum(x-xi)^2$ (mm)
10	1	10	10	0,44
13	2	13	13	5,44
9	3	9	9	2,78
	3	32	10,67	8,67
Desviación estándar				1,70

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

4.4.1 *Requisitos específicos del ensayo de inflamabilidad*

Para realizar la prueba de inflamabilidad al igual que en las otras pruebas se sigue lo establecido en la norma INEN 2669:2013 y se establecen las siguientes condiciones:

- a. Una llama se aplica en varias partes del casco. Se observa como el material se funde y quema.
- b. El equipo consiste en un suministro de gas que contiene al menos el 95 % de gas propano con una válvula de cierre, un dispositivo controlador de presión, un manómetro y un mechero Bunsen con una llama de diámetro de 10 mm.
- c. Se enciende el mechero y se ajusta el gas a una presión de 3,5 kPa. Luego se ajusta el suministro de aire a la llama de tal manera que el cono de la zona azul esté definido claramente y mida 15 mm de longitud de manera que la llama externa este completamente libre de áreas amarillas.
- d. Se sostiene el mechero de tal manera que la llama haga un ángulo de 45° con la vertical. El casco completo bajo ensayo se apoya completamente de manera que, en el punto que se va a ensayar, el plano tangente a la superficie sea horizontal. Se mantienen estos ángulos y se aplica la parte exterior de la llama al punto de ensayo durante 30 s en la carcasa o 10 s para las otras partes del casco.
- e. Después de retirar la llama del mechero, se debe esperar como máximo 5 s hasta que se extinga el fuego por completo en el casco.

4.4.2 Prueba de inflamabilidad con el material PLA

Las pruebas de ensayo de inflamabilidad se las realizo en ambos cascos, es decir los fabricados en ambos materiales el ABS y el PLA, en este caso ambos cascos pasaron la prueba, es decir la flama se extinguió antes de los 5 segundos, y no visualiza un problema donde pueda demostrar un daño que sea de consideración; es decir que, al sufrir algún tipo de accidente no se quemarían de forma inmediata, las condiciones y resultados se reflejan en la tabla 7-4.

Tabla 7-4 Ensayo de inflamabilidad en los materiales ABS y PLA

CRITERIO DE APROBACIÓN	Tiempo de extinción de la llama ABS	Tiempo de extinción de la llama PLA muestra 1	Tiempo de extinción de la llama PLA muestra 1	Tiempo de extinción de la llama PLA muestra 1
Después de retirar la llama del mechero, se debe esperar como máximo 5 s hasta que se extinga el fuego por completo en el casco.	4 segundos, Si cumple	5 segundos, Si cumple	3 segundos, Si cumple	3 segundos, Si cumple

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

El resultado del casco con el material PLA se las demuestra en la figura 4-4, donde se demuestra que no se ha perpetuado un daño considerable en su estructura luego de ser sometido a la aprueba de flamabilidad.



Figura 4-4 Casco con material PLA después de la prueba de inflamabilidad

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

4.5 Media y desviación estándar del material PLA en la prueba de flamabilidad

En esta prueba final para la obtención datos estadísticos como la media y la desviación estándar, que es la medida de dispersión, se toma las unidades en segundos debido a que se está midiendo el tiempo y es lo que está estipulado en la norma correspondiente, se resalta la utilización de la de un ahoja de Exel para la obtención de los datos requeridos, los valores se visualizan en la tabla 8-4.

Tabla 8-4 Media y desviación estándar, prueba de flamabilidad con material PLA

Datos (x) (s)	Número de datos (N)	Sumatoria $\sum(x)$ (s)	Media (xi) (s)	Sumatoria $\sum(x-xi)^2$ (s)
5	1	5	5	1,78
3	2	3	3	0,44
3	3	3	3	0,44
	3	11	3,67	2,67
Desviación estándar				0,94

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024.

Los valores de la media y desviación estándar son de 3.67 s y 0,94 s, respectivamente, analizándolo para 95 % de los casos se obtiene valores del límite inferior de 2.3 s y de límite superior de 5.0 s demostrando que los valores están dentro de lo permitido en la flamabilidad, pues no supera los 5 s.

De forma general se resalta los resultados obtenidos en la media y desviación estándar dan valores alentadores que respaldan los resultados obtenidos en las pruebas de simulación y pruebas reales, siendo esto un motivo determinante para continuar con el proyecto planteado

Luego que se realizaron las pruebas establecidas en la norma INEN: 2669:2013 se determinó que el material que resistió las pruebas de absorción de impactos, prueba de rigidez y la prueba de la flamabilidad es el PLA, se descarta por completo el uso del material ABS, esta acción se la toma por los resultados obtenidos y evidenciados en las tablas y figuras antes descritas.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

Luego de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en los cascos fabricados con los materiales ABS y PLA, teniendo como resultado final que el material idóneo para la fabricación del casco para motociclista y su posterior homologación es el PLA se plantea el desarrollar la impresión del casco para ser utilizados por los motociclistas.

Para ello se analiza lo siguiente:

1. Se destaca que el uso de la manufactura aditiva es algo novedoso y confiable para ser aplicado en el desarrollo industrial automotriz, es un método comprobado y muy confiable para la elaboración de piezas y elementos de diferentes aplicaciones industriales entre ellos el sector de la automoción.
2. Se destaca los resultados obtenidos en los ensayos y por ende se plantea su desarrollo para ser impreso de forma industrial.
3. Es importante señalar que al momento de fabricar los cascos con material PLA en serie o producción masiva se va a producir un rebaja significativa del valor inicial de impresión, considerando además que, para ello se debe invertir en una impresora de tipo industrial como por ejemplo la FFF que es de mucha fiabilidad para la producción en masa y tendría un costo de \$ 18500 esto se podría recuperar de forma rápida con la impresión en serie de los cascos utilizando el material PLA.

Las impresoras de FFF (fabricación por filamento fundido), ver figura 1-5, poseen las siguientes características:

- a. Es una máquina fiable de alto rendimiento y capaz de fabricar piezas de gran tamaño un acabado de alta calidad y gran velocidad gracias a la nueva tecnología de servomotores Panasonic hasta 400 mm/s. Así como a todas las mejores mecánicas y electrónicas.
- b. Gran Volumen de Trabajo: Puede fabricar grandes piezas o un conjunto de varias en su gran mesa de trabajo de 1100 x 750 x 500 mm (x, y, z).
- c. Tecnología FFF: Impresora 3D industrial con tecnología FFF capaz de hacer frente a los trabajos más exigentes de la industria 4.0. Con un renovado sistema de doble filamento

independiente que puede utilizarse para fabricar el soporte de la pieza o piezas de diferentes materiales y colores.

d. Materiales: Ya no es necesario limitarse al clásico PLA, ya que la Discovery 3D Printer puede trabajar con PLA, ASA, ABS, PA, HIPS, 3D850, PETG. ABS Medical, ABS Hi... y otros materiales homologados.

e. Universal: Puede utilizar todos los materiales del mercado que sigan el estándar 1.75 mm. Y gracias al nuevo sistema de detección de fin de material, la impresora pausa la impresión hasta que se cambie el material.

f. Mesa: La cámara está totalmente cerrada y la cama caliente puede llegar a 150°, además dispone de auto nivelado automático para corregir las pequeñas diferencias en la superficie. De esta manera puede trabajar con los materiales más exigentes.

g. Extrusor: Hasta 400°.

h. Software: Utilización mediante un comodísimo programa.



Figura 1-5 Las impresoras de FFF (fabricación por filamento fundido)

Fuente: (MEDIAVILLA, 2024)

Adicionalmente se destaca otros aspectos del casco fabricado, por ejemplo, la facilidad que posee al momento de ser maquinado, esta situación muy alentadora para la colocación del accesorio de sujeción, pues de forma rápida se lo puede perforar y ubicar el requerimiento, se recomienda en este caso utilizar tornillos de cabeza plana, para la ubicación en el casco se destaca la parte plana de los lados que está destinado de forma exclusiva para este accesorio, una imagen del casco con

la correa de sujeción se visualiza en la figura 2-5, donde se puede apreciar la prueba de sujeción que se realizó al casco.



Figura 2-5 Ubicación del elemento de sujeción en el casco

Realizado por: Peña, Adolfo, 2024

Es importante resaltar que el costo de impresión del casco homologado para motociclistas se encuentra en un rango de 190 dólares a 240 dólares, tomando en consideración que son elementos que no se producen en nuestro país.

Los casco de motocicleta impresos para llevar a cabo el presente proyecto tuvieron un costo de inversión de 248 dólares de forma inicial, luego que se realizaron las pruebas preliminares de forma real y se pudo apreciar que el espesor era de 19,5 mm siendo muy grueso y no era agradable ergonómicamente, además que se sentía la incomodidad por el peso del material, por este motivo se procedió a realizar una reingeniería en el diseño del casco y se logró reducir el espesor hasta los 15 mm, seguido de esto se realizaron las nuevas pruebas tanto en la simulación como en la parte real y se obtuvieron los resultados descritos en el capítulo cuatro.

Cuando se redujo el espesor y se procedió a imprimir los cascos, también se redujo el costo de la impresión llegando a alcanzar los 205 dólares, valor que está dentro del promedio de un casco comercial homologado, también se resalta que este valor será menor al momento que se empiece la producción de cascos en serie, pues esta acción reduce los costos.

Se destaca en nuestro país no existen fabricantes de cascos de motocicletas de ningún tipo, ya sean homologados o no, todos los cascos presentes en el mercado son importados de otros países como China, Estados Unidos de América y de varios países de la Unión Europea.

Esta condición de ausencia de fabricantes de cascos de motociclistas crea una oportunidad de negocio muy importante, pues se visualiza un mercado potencial para ser satisfecho con productos de fabricación nacional, siendo este aspecto algo muy relevante para alcanzar la homologación del casco diseñado y fabricado para realizar el presente proyecto.

Del casco diseñado, fabricado y analizado para estas pruebas también se destaca las características que presenta con relación a la facilidad para ser personalizado con varios métodos como por ejemplo la aerografía que es muy utilizada en la actualidad para resaltar la personalidad de las personas que lo utilizan.

Otro método utilizado y novedoso es el sistema de la hidrografía por impresión o también conocida como hidro paint, el cual consiste en la utilización de láminas impresas que son sumergidas en agua, la lámina de impresión está hecha de un material que es soluble al agua que se lo conoce como PVA o alcohol polivinílico, una vez aplicado en el material PLA se adhiere con facilidad y también se puede lograr la aplicación de temas personalizados que se están utilizando en la actualidad.

Por lo antes detallado en este capítulo y con base en las pruebas realizadas tanto en la simulación como en las reales se propone la viabilidad de la impresión del casco fabricado mediante un diseño propio que ha sido analizado en el presente proyecto.

CONCLUSIONES

- Fue posible utilizar la simulación numérica para evaluar la resistencia del casco abierto para motociclistas, ante impactos de baja y alta energía y determinar que el espesor recomendado para la fabricación es de 15 mm.
- Se logró la fabricación del casco abierto para motociclistas por medio de la manufactura aditiva, utilizando los materiales ABS y PLA, mediante la aplicación de la estructura del panel de abeja, que presenta una buena relación entre resistencia y costo de fabricación. Con una reducción del 50 % menor al costo de una impresión usando la estructura de deposición de capas.
- Se logró establecer que la impresora apropiada para obtener el casco es la FDM o modelado por deposición de material, de cabezal pesado, debido a las características que presenta y además por ser la impresora que se encuentra con mayor facilidad en el mercado, en comparación al modelo FFF o fabricación de filamento fundido, siendo esta de mayor costo y escasa en el país debido a que es de tipo industrial y sería apropiada para procesos de fabricación en serie.
- Con base en las pruebas realizadas se pudo establecer que el material PLA presenta mejores propiedades y cumple con los criterios de resistencia al impacto, deformación y flamabilidad, requeridos para la posterior homologación. Mientras que el material ABS se destruyó en la parte superior, no resistió la prueba de deformación longitudinal y transversal debido a que la deformación fue 3 mm mayor al límite recomendado, aprobando únicamente la prueba de flamabilidad.

RECOMENDACIONES

- Incluir la retroalimentación de usuarios reales en el proceso de diseño y evaluación para perfeccionar la funcionalidad y comodidad del casco. Incorporar las experiencias y opiniones de motociclistas en las etapas de desarrollo para encontrar mejoras significativas que se alineen con las expectativas y necesidades del usuario final.
- Al momento de aplicar la impresión del casco se debe considerar las velocidades de impresión para la primera y última capa valores de 15 mm/s y 25 mm/s respectivamente, 35 mm/s en los perímetros, y de 50 mm en los rellenos sólidos, además de tener un espesor de material de 0,5 mm en el espesor.
- EL aspecto que deja la impresión del casco con el material PLA es muy bueno y bastante agradable, pues no presenta rugosidades o rebabas a simple vista y al tacto, además de un brillo muy agradable, sin embargo se le puede aplicar el proceso de la aerografía, o la hidro impresión que es un proceso moderno, que, también se recomienda seguir mejorando el aspecto del espesor para reducir la masa del casco y lograr disminuir su peso, buscar mejoras en la forma de anclaje de la correa de sujeción.
- Seguir con la investigación de nuevos materiales aplicables en la impresión 3D tales como el PET, y un nuevo material híbrido entre en ABS y la fibra de carbono que se proyecta como un material de gran durabilidad, aunque representa un costo elevado para las pruebas iniciales, teniendo claro que la producción en serie disminuye costos económicos.
- Se destaca que por la experiencia adquirida se haría muy complicado la fabricación de un casco cerrado para motociclistas, sobre todo en la parte inferior delantera del mismo, por la forma de la mandíbula del ser humano, y mucho más si un casco abatible, debido a que habría que buscar un sistema de unión muy versátil y seguro al momento de unir los elementos, pues no se podría imprimir en un sola pieza y esto dificultaría su proceso de fabricación por el método de la manufactura aditiva
- Ejecutar el mantenimiento de la impresora es crucial para lograr productos finales impresos de gran calidad, mantener la limpia la superficie de contacto con la base del elemento a ser impreso, utilizar materiales de buena calidad y asegurarse de la actualización continua del software.

GLOSARIO

ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
PLA	Ácido Poliláctico
CAD	(Computer Aided Design): Diseño asistido por computador.
CAE	(Computer Aided Engineering): Ingeniería asistida por computador.
CAM	(Computer Aided Manufacturing): Manufactura asistida por computador.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
INSP	Nacional de Salud Pública.
OPS	Organización Panamericana de la Salud.
DOT	Departamento de Transporte.
ANT	Agencia Nacional de Tránsito.
CTE	Comisión de Tránsito del Ecuador.
CNC	Control Numérico Computarizado.
HIC	(Head Injury Criterion) Criterio de lesión en la cabeza.
LESIONES	Los pasajeros del vehículo son vulnerables a lesiones graves en la cabeza y la cara en caso de colisión frontal, también aparecen lesiones de la pierna, fémur, tórax y cuello

BIBLIOGRAFÍA

- AKABARI, Jael & AKUN, Chou.** *Ciencia aplicada a los polimeros.* Madrid-España: Paraninfo, 2023, págs. 52-53.
- ARMENDARIS, Paola.** *Homologación de productos hergonómicos.* Cordova-Argentina: Arte Gráfico Editorial Argentino, 2022, págs. 35-44.
- ASTM2013.** *Aceros Carbonatados.*
- CÁCERES, Luis.** *Cascos homologados de motociclistas.* Bogotá-Colombia: Carvajal Ediciones, 2023, págs. 34-39.
- CALVANTE, Lucio.** *Evaluación de impactos en materiales.* Guadalajara-Mexico: Alfaguara, 2022, págs. 235-237.
- CASERTA, Eduardo.** *Resistencia de materiales.* Madrid-España: Malpaso, 2023, págs. 315-319.
- EKIMOVA, Ángela.** *Protección personal de motocicletas.* Mexico-Mexico: Alfaguara, 2018, págs. 56-59.
- ESPINEL, Bernardo.** *Procesos de manufactura en ingeniería.* Madrid-España: Planeta, 2023, págs. 245-247.
- GANILOVA, Mery.** *Sistemas de protección en motocicletas.* Mexico-Mexico: Almadía, 2023, págs. 45-48.
- GANILOVA, Rene.** *Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.* Mexico-Mexico: Anderson, 2018, págs. 218-220.
- GIBSON, Robert.** *Tecnología de la manufactura aditiva.* Mexico-Mexico: Almadía, 2021, págs. 91-95.
- GÓMEZ, Manuel.** *Tecnología de plasticos.* Valencia-España: Siruela, 2022, págs. 225-228.
- GRISKEVICIUS, Galehdari.** *Estructuras moleculares de materiales.* Barsovia-Polinia: Kier, 2019, págs. 235-236.
- GUEVARA, Enrique.** *Estructuras de enlaces de materiales.* Valencia-España: Anaya, 2024, págs. 187-195.
- GUTIEREZ, Jorge.** *Manufactura Aditiva.* Mexico-Mexico: Macmillan, 2023, págs. 88-92.
- HANSEN, Willinger.** *Resistencias mecánicas de los materiales polímeros.* Valencia-España: Anagrama, 2024, págs. 19-25.
- HIDALGO, Mario.** *Estudio comparativo de piezas de ABS y PLA procesadas mediante modelado por deposición fundida.* Madrid-España: Macmillan, 2022, págs. 276-289.
- INEC.** *Estradística de transporte.* Quito-Ecuador: INEC, 2022, págs. 65-73.
- INEN:2669:2013.** *CASCOS DE PROTECCIÓN PARA EL USO DE MOTOCICLETAS.*
- KRAMER, Olga.** *Estructura celular de materiales polímeros.* Mexico-Mexico: Almadía, 2022, págs. 234-235.

- LIET, George.** *Modelación mecánica de estructuras*. Madrid-España: Anagrama, 2022, págs. 234-238.
- LLERENA, Andrés.** *Resistencia en materiales polímeros tradicionales*. Madrid-España: Anagrama, 2023, págs. 178-179.
- LOOR, Betty.** *Accidentes en motocicletas*. Cuenca-Ecuador: Journal, 2022, págs. 36-42.
- MEDIAVILLA, José.** *Hergonomia de elementos de protección personal*. Buenos Aires-Argentina: Granica, 2015, págs. 56-58.
- MEDIAVILLA, Roger.** *Materia prima en manufactura aditiva*. Bogotá-Colombia: Lexus, 2024, págs. 76-79.
- MOHAMMADI, Robetr.** *Absorción de energías en materiales de impactos*. Washington-Estados Unidos de America: Education y Thomson Reuters, 2023, págs. 282-287.
- MOTT, Robert. 2019.** *Resistencia de Materiales*. Washington-Estados Unidos de América: Pearson, 2019, págs. 235-236.
- OMS, Organización Mundial de la Salud.** *Informe sobre la seguridad vial*. Berlin-Alemania: Macmillan, 2023, págs. 23-27.
- OPS, Organización Panamericana de la Salud.** *Frecuencia de accidentes de tránsito en los países panamericanos*. Washington-Estados Unidos de America: Macmillan, 2023, págs. 12-17.
- PATIL, Eduardo.** *Resistencia de materiales mecanizados*. Madrid-España: Anaya, 2017, págs. 235-237.
- PAZ, Angie. 2020.** *Problemas relacionados a los accidentes de tránsito*. Cuenca-Ecuador: Journal, 2020, págs. 46-28.
- PAZ, Anibal.** *Dureza de materiales polímeros*. Madrid-España: Tusquets, 2019, págs. 234-237.
- ISO 179.** *Determinación de las propiedades de impactos*.
- POLYEXCEL, Anderson.** *Manufactura de materiales mecanizados*. Londres-Reino Unido: Harper Collins, 2021, págs. 345-349.
- RELEÑO, Alberto.** *El impacto de la seguridad percibida, las condiciones climáticas y la comodidad en el uso del casco de motocicleta*. Valencia-España: Grupoigneo, 2023, págs. 234-237.
- ROSERO, Patricia.** *Secuelas de accidentes de tránsito*. Guayaquil-Ecuador: Lexus, 2023, págs. 7-8.
- SMITH, Henry.** *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. Madrid-España: McGraw Hill, 2018, págs. 234-237.
- UNIVERSIDAD, Politécnica de Valencia.** *Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales*. Valencia-España: UPV, 2018, págs. 326-329.
- VAN SANT, Law.** *Lesiones Traumatólogicas Producidas por Accidentes de Tránsito*. Guadalajara-Mexico: Alfaguara, 2023, págs. 38-55.
- VERA, Stalin.** *Accidentes de tránsito, una secuencia de sucesos*. Lima-Perù: Lexus, 2024, págs. 9-12.

ZURICH, Anderson. *Productos de manufactura mecánica.* Barcelona-España: Mondadori, 2023, págs. 225-227.

ZWICKROELL, Braun. *Resistencia de materiales.* Washington-Estados Unidos de America: Macmillan, 2023, págs. 345-357.