

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
TIANGUISTENCO

INGENIERÍA INDUSTRIAL
OPCIÓN IX

TESIS

**“DISEÑO DE CASCO DE MOTOCICLETA CON
REDUCCIÓN DE MATERIALES PARA
MANUFACTURA ADITIVA”**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA
RODRIGO MICHUA MANCIO

DIRECTOR DE TESIS
DR. IVÁN LENÍN CRUZ JARAMILLO

TIANGUISTENCO, ESTADO DE MÉXICO, JULIO 2024.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco por brindarme una base sólida de conocimientos durante mi carrera en Ingeniería Industrial. Esta institución me permitió llevar a cabo mi residencia mediante una investigación, lo cual ha sido fundamental para impulsar el desarrollo de habilidades aplicables tanto en el ámbito laboral como en mi vida cotidiana.

Agradezco enormemente a mi asesor, el Dr. Iván Lenín Cruz, por su constante guía y apoyo durante mi tiempo como residente. Su dirección fue invaluable en el desarrollo del proyecto propuesto, proporcionándole mentoría y ampliando mi comprensión de los diversos campos de aplicación. Además, agradezco su paciencia al explicar conceptos que en su momento resultaban complejos para mí.

No puedo dejar de reconocer el apoyo incondicional de mis padres. Sin ellos, no habría alcanzado mis metas. Agradezco su esfuerzo en brindarme una educación sólida, así como su confianza, apoyo, valiosos consejos y aliento en los momentos más difíciles. Su respaldo ha sido mi mayor motivación y fuente de fortaleza.

RESUMEN

Un casco es un dispositivo de protección que reduce el riesgo de lesiones en la cabeza al absorber y dispersar la fuerza de impacto. En México, el uso de la motocicleta ha aumentado en los años recientes. Con base en los datos oficiales publicados por el INEGI, en 1998 se registraron 222,100 motocicletas circulando, la cifra aumentó 92.2 % en 2014. El aumento del uso de la motocicleta ha traído consigo un aumento de accidentes viales y del año 2003 al 2014, los heridos graves aumentaron más de seis veces, en donde una cuarta parte sufrió lesiones en la cabeza. Con base en mediciones realizadas durante los años 2014 y 2015, el uso del casco de seguridad entre motociclistas fue de 81.9 % en conductores y 61.1 % en acompañantes, sin embargo, sólo el 45.1 % fueron cascos de seguridad que cumplen con las especificaciones técnicas de alguna norma técnica extranjera o regional. Una de las piedras angulares del proyecto reside en la aplicación de técnicas de optimización de materiales relacionadas con los materiales más adecuados para la impresión 3D. Para el uso de estas tecnologías es necesario el uso de herramientas de diseño 3D, las cuales son CAD/CAM. Para el análisis de la funcionalidad del casco propuesto, se realizó mediante el software LS-DYNA es un software de elementos finitos que se usa para analizar estructuras en situaciones de deformación extrema, tanto estáticas como dinámicas. Durante la simulación se pueden observar que el impacto generado solo es en la parte de la carcasa, la fuerza que se llegó a transmitir a las demás piezas es de carácter mínimo. Los resultados de los esfuerzos muestran que el punto máximo es el 104 Mpa, teniendo este dato nos permite compararlo contra el límite elástico del material, el cual también es de 104 Mpa, es decir, el material se encuentra dentro del parámetro de elasticidad de la carcasa sin llegar a generar una deformación permanente, asegurando la integridad de usuario durante un accidente de motocicleta.

ABSTRACT

A helmet is a protective device that reduces the risk of head injuries by absorbing and dispersing impact forces. In Mexico, motorcycle usage has increased in recent years. According to official data published by INEGI, there were 222,100 motorcycles registered in 1998, which increased by 92.2% by 2014. The rise in motorcycle use has led to an increase in traffic accidents, and from 2003 to 2014, serious injuries increased more than sixfold, with a quarter of them suffering head injuries.

Based on measurements taken during 2014 and 2015, the use of safety helmets among motorcyclists was 81.9% for drivers and 61.1% for passengers. However, only 45.1% of these helmets met the technical specifications of any foreign or regional standard. One of the key aspects of the project focuses on optimizing materials for 3D printing. The use of these technologies requires CAD/CAM design tools.

For the functional analysis of the proposed helmet, simulations were conducted using LS-DYNA software, a finite element analysis tool used for analyzing structures under extreme deformation conditions, both static and dynamic. The simulations showed that impacts were primarily absorbed by the helmet shell, with minimal force transmitted to other parts. Stress analysis results indicated a maximum stress of 104 MPa, which is within the material's yield strength of 104 MPa, meaning the material remains within its elasticity parameters without undergoing permanent deformation, ensuring user safety during a motorcycle accident.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	I
RESUMEN.....	II
ABSTRACT.....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
JUSTIFICACIÓN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
General.....	XVII
Específicos.....	XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVIII
ALCANCE.....	XIX
CAPITULO I.- ESTADO DEL ARTE.....	1
I.1.- Antecedentes de casco.....	2
I.2.- Antecedentes de CAD.....	3
I.3.- Antecedentes de CAE.....	4
I.4.- Antecedes de la impresión 3D.....	5
CAPITULO II.- MARCO TEORICO.....	7
II.1.- Metodología.....	8
II.1.1.- PVHA.....	8
II.1.2.- Lluvia de ideas.....	8
II.1.3.- 5 porque.....	9
II.2.- Cascos de motocicleta.....	9
II.2.1.- Partes de un casco de motocicleta.....	10
II.2.2.- Tipos de Cascos.....	11
II.2.2.1.- JET.....	11
II.2.2.2.- Integral.....	12
II.2.2.3.- Modular.....	13
II.2.2.4.- Multimodular.....	14
II.2.2.5.- Off-Road.....	15
II.2.2.6.- Trail.....	15
II.3.- Normativas y regulaciones.....	16

II.3.1.-	NORMA Oficial Mexicana NOM-206-SCFI/SSA2-2018.....	16
II.3.1.1.-	Lugar de referencia de pruebas.....	18
II.3.1.2.-	Pruebas.....	19
II.3.1.2.1.-	Prueba de atenuación del impacto	19
II.3.2.-	Nomenclatura de homologación.....	21
II.3.3.-	DOT.....	23
II.3.3.1.-	Prueba de atenuación del impacto	23
II.3.4.-	ECE	23
II.3.4.1.-	Prueba de absorción al impacto	23
II.4.-	Diseño.....	23
II.4.1.-	Antropometría	24
II.4.2.-	Ergonomía	24
II.5.-	Software CAD/CAE	24
II.5.1.-	CAD	25
II.5.1.1.-	SolidWorks	25
II.5.2.-	CAE.....	26
II.5.2.1.-	ANSYS	26
II.5.2.2.-	LS-DYNA.....	27
II.6.-	Dinámica.....	27
II.6.1.-	Aceleración.....	27
II.6.2.-	Caída libre	28
II.6.3.-	Impacto.....	30
II.7.-	Impresión 3D.....	31
II.7.1.-	Tipos de tecnologías de impresoras 3D.....	31
II.7.2.-	Tipos de impresoras 3D.....	33
II.7.3.-	Tipos de materiales utilizados en la empresa 3D	37
II.7.4.-	Materiales técnicos utilizados en la impresión 3D.....	40
CAPITULO III.-	DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL CASCO.....	43
CAPITULO IV.-	ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS	61
CAPITULO V.-	RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES	101
CAPITULO VI.-	GLOSARIO.....	103
CAPITULO VII.-	REFERENCIAS.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II-1.- Partes de un casco de motocicleta.....	10
Figura II-2.- Casco jet con pantalla.....	12
Figura II-3.- Casco jet sin pantalla.....	12
Figura II-4.- Casco integral.....	13
Figura II-5.- Casco modular.....	14
Figura II-6.- Casco multimodular.....	14
Figura II-7.- Casco off-road.....	15
Figura II-8.- Casco Trail.....	16
Figura II-9.- Vista superior del ángulo de visión.....	17
Figura II-10.- Ubicación de la línea de prueba.....	19
Figura II-11.- Nomenclatura de homologación.....	21
Figura II-12.- Ejemplo de homologación.....	22
Figura II-13.- Algunas de las impresoras comerciales.....	33
Figura II-14.- Sistema Bowden.....	34
Figura II-15.- Sistema Directo.....	34
Figura II-16.- Impresora Delta.....	35
Figura II-17.- Impresora Cartesiana XZ.....	36
Figura II-18.- Impresora de tipo Core-XY.....	36
Figura II-19.- Impresora Prusa.....	37
Figura III-1.- Diseño de cabeza a mano alzada.....	44
Figura III-2.-Boceto de propuesta de casco.....	45

Figura III-3.- Página de inicio de SolidWorks.....	46
Figura III-4.- Diseño de croquis.....	46
Figura III-5.- Colocación de imagen de vista lateral del tamaño de la cabeza.	47
Figura III-6.- Colocación de vista frontal del tamaño de la cabeza.	48
Figura III-7.- Diseño de croquis a partir de referencia de imágenes.	48
Figura III-8.- Desarrollo de la primera mitad de la superficie.	49
Figura III-9.- Desarrollo de la capa exterior de la mitad de la primera superficie.	51
Figura III-10.- Término del primer componente del casco.	52
Figura III-11.- Termino las capas del casco.....	53
Figura III-12.- Termino del diseño del casco.....	54
Figura III-13.- Desarrollo de la propuesta de reducción de material.	55
Figura III-14.- Termino del desarrolló de la propuesta del casco.....	56
Figura III-15.- Vista de las distintas partes del casco desarrolladas.	57
Figura III-16.- Desarrollo de la cabeza de pruebas.....	58
Figura III-17.- Distintas vistas del renderizado del casco.....	59
Figura III-18- Desarrollo del yunque de pruebas.....	59
Figura IV-1.- Descomposición de las distintas partes del casco.....	63
Figura IV-2.- Aislamiento de las piezas del casco.....	64
Figura IV-3.- Guardado de las piezas con un distinto tipo de archivo.	65
Figura IV-4.- Exportación de las piezas a mallar.	66
Figura IV-5.- Primeros pasos de mallado.	67
Figura IV-6.- Comentarios del mallado.	67
Figura IV-7.- Tipo de mallado manual.	68
Figura IV-8.- Desarrollo del mallado en 2D.....	70

Figura IV-9.-Vista del mallado en 2D.	71
Figura IV-10.- Mallado en 3D	73
Figura IV-11.- Guardado de piezas para uso de LS-DYNA.	74
Figura IV-12.-Página principal de LS-DYNA.....	75
Figura IV-13.- Unidades de medida que utiliza LS-DYNA	76
Figura IV-14.- Borrado de partes innecesarias.	77
Figura IV-15 Parámetros a configurar.	77
Figura IV-16 Algunas de las páginas donde se obtuvieron las propiedades mecánicas... 83	
Figura IV-17.- Páginas web de algunos de los proveedores del material del filamento de impresión 3D.....	83
Figura IV-18.- Propiedades mecánicas solicitadas en LS-DYNA.....	84
Figura IV-19 Páginas web de propiedades mecánicas de los materiales.....	85
Figura IV-20 Ficha técnica proporcionada de las propiedades mecánicas del filamento. 85	
Figura IV-21 Colocación de las propiedades mecánicas en LS-DYNA.....	87
Figura V-1 Configuración de proceso de simulación	89
Figura V-2.- Paleta de colores de los esfuerzos a lo largo de la simulación.....	92
Figura V-3.- Vista de la reducción de esfuerzos	92
Figura V-4.- Grafica de la relación entre los esfuerzos y la deformación plástica.....	93
Figura V-5.- Grafica de comparativa de energía recibida en el impacto en las distintas partes del casco.	95
Figura V-6.- Vista de la compresión del casco ante el impacto.....	96
Figura V-7 Análisis de la reducción del material.	97
Figura V-8 Análisis de tiempo de impresión 3D.	97
Figura V-9.- Costo del filamento del material de la carcasa.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II-1.- Países de homologos.	22
Tabla IV-1.- Propiedades mecánicas de las partes del casco.....	86
Tabla IV-2 Propiedades mecánicas del yunque y la cabeza.	86
Tabla V-1 Simulación segundo a segundo del impacto.....	90

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación II-1.....	28
Ecuación II-2.....	30
Ecuación II-3.....	31

INTRODUCCIÓN

Los cascos de motocicleta, esenciales para la seguridad del conductor, han evolucionado a lo largo del tiempo en términos de diseño, materiales y tecnología para ofrecer una mayor protección. En esta línea, la investigación se enfoca en redefinir estos estándares, aspirando a un diseño innovador que no solo cumpla con las normativas de seguridad, sino que optimice la estructura y la funcionalidad del casco, reduciendo significativamente el uso de materiales.

El proyecto se ha desarrollado en una serie de fases profundamente investigativas y prácticas. Comenzando con un análisis exhaustivo de las normativas y requisitos de seguridad aplicables a los cascos de motocicleta, se exploraron y evaluaron diversas herramientas de software CAD/CAE para modelar, analizar y comparar diseños existentes con el objetivo de identificar áreas de mejora.

El estudio no se limitó únicamente a la evaluación de diseños y tecnologías actuales. Se sumergió en el análisis de propiedades mecánicas de materiales y en la investigación de tendencias, antecedentes y tipos de cascos, así como en el entendimiento de los criterios que influyen en el diseño.

Una fase fundamental radicó en la evaluación de materiales técnicos específicos utilizados en la impresión 3D, una tecnología innovadora que ofrece nuevas posibilidades para la fabricación de cascos. Estos avances tecnológicos no solo se limitan al diseño, sino que se enfocan en la optimización de la estructura y la funcionalidad del casco, manteniendo intactos los estándares de seguridad.

La culminación de este proceso investigativo se materializa en la propuesta y modelado teórico de un diseño de casco optimizado, respaldado por análisis virtuales y comparativas con los modelos convencionales. Los resultados obtenidos se han recopilado en un informe detallado, resaltando las contribuciones teóricas y prácticas de este proyecto que busca redefinir la fabricación de cascos de motocicleta, fusionando la seguridad con la innovación y la eficiencia en el uso de materiales.

JUSTIFICACIÓN

En México, el uso de la motocicleta como medio de transporte ha aumentado en los años recientes, debido al menor costo de adquisición y como respuesta al congestionamiento vial. Con base en los datos oficiales publicados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en 1998 se registraron 222,100 motocicletas circulando, pero esta cifra aumentó 92.2 % para un total de 2,270 458 en 2014. De acuerdo con estimaciones de la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), en 2013 el mercado de motocicletas en el país fue de 473,676 unidades y la variación en el primer semestre de 2014 en comparación con el año anterior, fue de 31.6 % más motocicletas nuevas que ingresaron al país para su comercialización.

El aumento del uso de la motocicleta ha traído consigo un aumento de accidentes viales y del año 2003 al 2014, los heridos graves aumentaron más de seis veces, en donde una cuarta parte sufrió lesiones en la cabeza. De estos lesionados, el 75 % requirieron hospitalización de hasta una semana y hubo casos en los que permanecieron hasta seis meses hospitalizados en una institución de salud. Las lesiones a consecuencia de accidentes en motocicleta en el año 2014 sumaron 59,205 días de estancia hospitalaria. El 58.3 % de los lesionados graves correspondió a adolescentes y adultos jóvenes entre 15 y 29 años. En 2014, los muertos por accidentes viales en motocicleta aumentaron en más de seis veces desde el año 2003.

Con base en mediciones realizadas durante los años 2014 y 2015, el uso del casco de seguridad entre motociclistas fue de 81.9 % en conductores y 61.1 % en acompañantes, sin embargo, sólo el 45.1 % fueron cascos de seguridad que cumplen con las especificaciones técnicas de alguna norma técnica extranjera o regional.

En el contexto de la seguridad vial y la protección de los usuarios de motocicletas, este proyecto cobra relevancia al abordar la necesidad apremiante de mejorar la eficacia de los cascos como elemento fundamental para minimizar el riesgo de lesiones graves en caso de accidentes. Los motociclistas enfrentan un alto nivel de vulnerabilidad en las carreteras, y la cabeza, en particular el cráneo, es una de las zonas más susceptibles a sufrir daños en situaciones de impacto.

Una de las piedras angulares del proyecto reside en la aplicación de técnicas de optimización de materiales. Esta estrategia busca encontrar el equilibrio perfecto entre la resistencia estructural del casco y su peso, reduciendo la cantidad de material necesario sin comprometer la seguridad. Para lograrlo, se examinarán detalladamente referencias bibliográficas relacionadas con los materiales más adecuados para la impresión 3D, un proceso que permite la creación de objetos tridimensionales capa por capa, lo que resulta en una mayor flexibilidad en el diseño y la construcción de formas geométricas complejas.

El resultado final no solo puede influir en la forma en que se conciben los cascos de motocicleta, sino que también puede establecer un nuevo estándar para la personalización, eficiencia y efectividad de los equipos de protección para los motociclistas, reduciendo así el riesgo de lesiones graves en caso de accidentes.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un nuevo diseño de casco de motocicleta mediante el uso de software CAD con el objetivo de reducir la cantidad en un 10% de materiales utilizados, optimizando su estructura y funcionalidad con un enfoque fabricación a través de técnicas de impresión 3D.

Específicos

- a) Investigar normativas y requisitos de seguridad para cascos de motocicleta.
- b) Explorar software CAD para modelado y análisis de cascos.
- c) Analizar tendencias y mejorar diseños de cascos existentes.
- d) Evaluar materiales para optimizar estructura y funcionalidad.
- e) Investigar propiedades mecánicas teóricas de los materiales.
- f) Conceptualizar diseño teórico de casco optimizado.
- g) Modelar diseño con software CAD para análisis virtual.
- h) Comparar diseño teórico con cascos convencionales.
- i) Sintetizar resultados en un informe destacando contribuciones teóricas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proyecto denominado “Propuesta de un nuevo Diseño de Casco de Motocicleta con reducción de Materiales a través de Software CAD en una Escuela de Educación Superior”, se enfoca en abordar dos cuestiones cruciales que impactan directamente en la seguridad de los motociclistas y en la eficiencia en el uso de materiales en la fabricación de cascos de motocicleta.

En primer lugar, se abordamos la problemática relacionada con el **uso de materiales en los cascos actuales**. Es evidente que los diseños vigentes pueden ser ineficientes en cuanto a la cantidad de material empleada. Esto no solo genera costos elevados en la producción, sino también un preocupante desperdicio de recursos. Esta propuesta busca optimizar el uso de materiales a través de avanzadas herramientas de diseño asistido por computadora (CAD), lo que conlleva a una reducción significativa en los costos de fabricación y, al mismo tiempo, a una contribución positiva hacia la preservación del medio ambiente al minimizar el desperdicio de materiales.

En segundo lugar, la **seguridad y resistencia** son aspectos cruciales que no pueden ser pasados por alto. A pesar de los avances en la seguridad de los cascos de motocicleta en las últimas décadas, aún existe margen para mejoras significativas. Este proyecto se centra en desarrollar un diseño que no solo cumpla con los estándares de seguridad actuales, sino que mejore las expectativas en términos de resistencia y protección en caso de impacto.

En resumen, el proyecto busca resolver dos desafíos fundamentales: **la eficiencia en el uso de materiales y la mejora de la seguridad en los cascos de motocicleta**. Al abordar estas cuestiones, no solo se benefician los usuarios al proporcionarles cascos más seguros y accesibles, sino también se contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir el desperdicio de materiales en la producción.

ALCANCE

El proyecto "Propuesta de un nuevo Diseño de Casco de Motocicleta con reducción de Materiales a través de Software CAD en una Escuela de Educación Superior" tiene impactos en diferentes áreas. A continuación, se detalla el alcance del proyecto y su relación e impacto en diversos aspectos:

Impacto Técnico:

- Investigación y aplicación de normativas y requisitos de seguridad relacionados con cascos de motocicleta.
- Evaluación de materiales y propiedades mecánicas para optimizar la estructura y funcionalidad del casco.

Impacto Ambiental:

- Reducción de la cantidad de materiales utilizados en la fabricación del casco, lo que contribuye a la reducción de residuos.

Impacto Social:

- Mejora de la seguridad vial contribuirá a reducir la cantidad de lesiones y muertes en accidentes de motocicleta al desarrollar cascos más seguros y efectivos.

En resumen, este proyecto no solo tiene un impacto técnico en la mejora de la seguridad y la eficiencia del casco de motocicleta, sino que también genera importantes beneficios ambientales al reducir el desperdicio de materiales. Además, su impacto social se traduce en una disminución de lesiones y muertes en accidentes de motocicleta, lo que contribuye a la seguridad vial y la calidad de vida de la comunidad en general.

CAPITULO I.- ESTADO DEL ARTE



En el primer capítulo, se abordan los antecedentes que servirán como base para el desarrollo de la tesis. Se consideran estos antecedentes como puntos de referencia fundamentales para el proyecto, así como para comprender la evolución de las tecnologías relevantes.

I.1.- Antecedentes de casco

Los cascos son uno de los tipos de equipo de seguridad personal más importantes, ya que protegen nuestra cabeza y especialmente nuestro cerebro. Un impacto en la cabeza puede tener graves consecuencias e incluso ser mortal. Por ello, la protección de la cabeza y los cascos de seguridad son una cuestión de suma importancia. De hecho, los accidentes de tráfico son la principal causa de traumatismos craneoencefálicos y los motociclistas y ciclistas contribuyen en gran medida a ello (Fernandes, 2019).

Durante mucho tiempo, los cascos han sido la principal forma de proteger la cabeza de golpes y penetraciones, sobre todo en situaciones de combate. Su función principal era reducir lesiones en la cabeza, como traumatismos craneoencefálicos (Román, 2018).

En la historia de los cascos, el uso de acero y materiales compuestos fue el punto de inflexión en el avance de la seguridad de los cascos. Los cascos de acero se utilizaron desde finales del siglo XIX hasta mediados del siglo XX. Aunque las armaduras de acero, incluidos los cascos, proporcionaban defensa contra pequeñas fragmentaciones, tenían inconvenientes como una protección inadecuada, gran peso y falta de comodidad (Emre Palta, 2017).

En el inicio del siglo XX, con la popularización de las motocicletas, surgió la necesidad de desarrollar cascos protectores. Inicialmente, estos cascos eran simples gorros de cuero, utilizados en carreras y a menudo combinados con gafas. Estos cascos eran heredados de los aviadores antiguos, cuyo principal objetivo era mantener la comodidad en la cabeza y, por lo tanto, proporcionaban poca protección.

Hoy en día, los cascos modernos pueden distribuir la fuerza de un impacto en una amplia área de la cabeza, reduciendo al máximo la carga sobre el cráneo del motociclista.

Ha sido un proceso gradual, pero en pleno siglo XXI, los cascos de moto se han convertido en una pieza esencial al subirse a una motocicleta. Su uso es obligatorio y, además, sentido común, pero esto no siempre fue así (Román, 2018).

I.2.- Antecedentes de CAD

El primer CAD data de los años 50 para las Fuerzas Aéreas de USA. En los 60, los sistemas CAD se utilizaron para diseñar espacios interiores de oficinas. En 1968 estaban ya disponibles los sistemas CAD 2D (muy básico, tal y como lo entendemos hoy en día). Estos sistemas funcionaban en terminales de grandes ordenadores (mainframes).

A principios de la década de los 70 varias compañías empezaron a ofrecer sistemas de diseño/dibujo automatizado. Muchos de los productos y firmas más conocidas en la actualidad tuvieron sus inicios en este periodo. Algunos de estos nombres incluyen CATIA y CADLink.

En los años 80 aparece Autodesk con el objetivo de crear un programa de CAD que funcione sobre un PC. En poco tiempo AutoCAD llegó a ser el programa más popular de CAD. Muchos otros programas de compañías diversas siguieron la misma senda. Durante esta década, los programas de CAD se utilizaban básicamente para desarrollos de ingeniería.

En los años 90 se generalizan las visualizaciones en 3D. AutoCAD versión 12 se convierte en el programa de CAD sobre Windows más vendido. A mediados de los 90 aparecen muchos programas de CAD para una gran variedad de usos y aplicaciones.

A finales de los 90 mucha gente utiliza ya los programas de CAD de forma habitual, pero todavía existía una gran lucha por atraer la atención de los usuarios. Se desarrollan programas mejores para satisfacer las necesidades crecientes de la industria. Se desarrollan también muchos programas sencillos de CAD. Los programas de CAD 3D abundan en el mercado. Se ofrecen

soluciones a segmentos verticales aportando soluciones específicas para cada uno de ellos: construcción, ingeniería civil, medica, fabricación, etc. (Uceda, 2013).

I.3.- Antecedentes de CAE

El CAE es un término que se utiliza para referirse a la Computer-Aided Engineering, Ingeniería Asistida por Computadora, es decir a la utilización de computadoras para analizar y diseñar elemento.

El verdadero desarrollo de los CAE, para pequeñas y medianas empresas de ingeniería (PYMES), se inicia alrededor de los años 1981 a 1983 cuando el lenguaje de programación FORTRAN se vuelve confiable, luego de 3 años de su lanzamiento inicial, y los estudiantes universitarios tienen un acceso, aunque limitado aún, a una computadora central que pueda manejar la información introducida en ella por medio de tarjetas perforadas.

Al revolucionarse el mundo académico con la aparición de las primeras computadoras personales (PC), se da igualmente una revolución en el desarrollo y uso de programas de cómputo de auxilio a los tediosos cálculos de sistemas estructurales complejos, cambiando totalmente la orientación del análisis estructural y encaminándolo hacia sistemas de resoluciones matriciales fácilmente operables por las computadoras, ya no sólo por las más grandes, sino también por pequeñas computadoras. Es en esos primeros años que un ingeniero estructural, profesor de la Universidad de California en Berkeley, el Dr. Edward L. Wilson, desarrolla en lenguaje de programación FORTRAN-77 una serie de subrutinas de programación conocidas como el Computer Adaptive Language (CAL), las cuales sirven de plataforma para adaptar el programa SOLIDSAP desarrollado por él mismo en 1970 (Computers & Structures, 2002), y usado extensivamente en proyectos de gran magnitud e importancia, y crear así una serie de programas llamados Structural Analysis Programs (SAP).

El primero de la serie SAP capacitado para operar en pequeñas computadoras fue denominado SAP-80, dado que su utilización masiva sería en esa década, y el programa de última generación de la serie SAP, conocido como SAP-2000, se ha convertido en uno de los software de uso más intensivo en nuestro medio, El ingreso de datos interactivo en tiempo real se alcanza finalmente con la serie SAP-2000 que integra todos los módulos de preproceso, cálculo y post-proceso, además de los de diseño de acero y concreto, para alcanzar un producto altamente eficiente del punto de vista de tiempo de generación e interpretación de la información por parte del usuario (Calvo, 2002).

I.4.- Antecedes de la impresión 3D

Las impresoras 3D son dispositivos que tienen la capacidad de fabricar objetos tridimensionales a partir de un modelo creado en una computadora utilizando programas CAD (Diseño Asistido por Computadora) (Suardíaz, et al., 2021).

La creación rápida de prototipos, también conocida como impresión 3D o fabricación aditiva, tiene una historia rica. Inicialmente, solo unas pocas empresas incursionaron en esta tecnología en sus primeros días. Sin embargo, con su creciente popularidad y accesibilidad, han surgido nuevas empresas que han convertido la impresión 3D en una herramienta estándar en la ingeniería.

La primera patente de impresión 3D se obtuvo en la década de 1980, y desde entonces, muchas empresas han competido por liderar la industria. A continuación, se presenta una línea de tiempo de eventos clave en el desarrollo de la impresión 3D, desde su invención hasta su estado actual como líder mundial de la industria.

- 1980: Hideo Kodama obtiene la primera patente de impresión 3D.

- 1986: Charles Hull obtiene la primera patente de impresión 3D para una máquina SLA.
- 1988: La "SLA-1" de 3D Systems se convierte en la primera impresora 3D vendida comercialmente.
- 1997: AeroMat crea la primera impresión en 3D de metal utilizando la fabricación aditiva por láser (LAM) con aleaciones de titanio.
- 1999: Se imprime la primera vejiga urinaria en 3D en el Instituto Wake Forest de Medicina Regenerativa.
- 2008: Se lanza Darwin, la primera impresora 3D RepRap disponible comercialmente.
- 2011: Se crea el primer avión no tripulado impreso en 3D en la Universidad de Southampton en el Reino Unido.
- 2019: La expiración de patentes y proyectos de código abierto da lugar a más de 170 productores de sistemas de impresora 3D en todo el mundo, incluyendo empresas como 3D Systems, Stratasys, Fusion3, Formlabs, Desktop Metal, Prusa y Voxel8 (Nebrida, 2022).

La tecnología de impresión 3D ha sido un avance tecnológico significativo en el siglo XXI, transformando la fabricación en varias industrias. Se utiliza en medicina y odontología para crear prótesis, sensores y modelos médicos, entre otros usos. La versatilidad de los materiales imprimibles permite producir piezas y componentes de alta calidad a menores costos, ya sea imprimiendo las piezas directamente o creando moldes para la fabricación. En resumen, la impresión 3D ha revolucionado la fabricación con aplicaciones en múltiples campos (M. Ammar Alzarrad, 2019).

CAPITULO II.- MARCO TEORICO



En el segundo capítulo se exploran los temas que abarcan el desarrollo del proyecto, como los tipos de cascos, las regulaciones pertinentes, los programas de simulación a utilizar, así como los parámetros relevantes. Además, se examina en detalle la impresión 3D y los materiales disponibles en la actualidad.

II.1.- Metodología

II.1.1.- PVHA

El ciclo PHVA, también conocido como el ciclo de la calidad o el ciclo de Shewhart-Deming, consta de cuatro etapas: Planear, Hacer, Verificar y Actuar. En la fase de Planear, se establecen objetivos y estrategias detalladas para el proyecto. En la etapa de Hacer, se implementa el plan. En la fase de Verificar, se evalúan los resultados en comparación con los objetivos y estándares de calidad. En la etapa de Actuar, se toman medidas en función de la evaluación, generalmente mejorando el plan. Este ciclo es esencial en la gestión de proyectos de mejora, como el proceso esbelto y Seis Sigma, y es reconocido por la norma ISO-9001:2015 para asegurar la calidad y productividad en una organización. En resumen, el ciclo PHVA busca la excelencia en calidad y productividad (Pulido H. G., 2020).

II.1.2.- Lluvia de ideas

Las sesiones de lluvia o tormenta de ideas son un enfoque creativo que fomenta la participación de un grupo en la generación de ideas relacionadas con un tema o problema.

Los pasos recomendados incluyen:

1. Definición clara del tema o problema.
2. Generación de listas de ideas por parte de los participantes.
3. Lectura y presentación de ideas sin juzgarlas.
4. Comentarios adicionales para aclarar ideas.
5. Agrupación de ideas similares en un diagrama de Ishikawa.
6. Identificación de ideas faltantes.
7. Selección de causas importantes mediante datos, consenso o votación.

8. Formulación de acciones concretas para abordar el problema.

Estos pasos aseguran un proceso estructurado y efectivo para la generación de ideas y la resolución de problemas en un entorno de grupo (Pulido & Salazar, 2013).

En una sesión de generación de ideas efectiva, es importante seguir algunas reglas clave:

- ☒ Descartar las críticas
- ☒ Moderar la sesión
- ☒ Buscar combinaciones de ideas
- ☒ Generar una gran cantidad de ideas

La lluvia de ideas es una herramienta valiosa para estimular la creatividad y encontrar soluciones a problemas o generar nuevas ideas en un ambiente de colaboración y apertura (Landeta, 2016).

II.1.3.- 5 porque

El método de las "Cinco Porqués" es una técnica ampliamente utilizada para analizar problemas en diversos campos, desde la manufactura hasta la gestión empresarial. Su objetivo principal es identificar las causas subyacentes de un problema específico. Se basa en hacer la pregunta "¿por qué?" al menos cinco veces de manera repetida para profundizar en el problema y descubrir sus raíces. Esta técnica busca resolver problemas abordando sus causas subyacentes para mejorar la calidad y eficiencia en diferentes procesos y operaciones (Landeta, 2016).

II.2.- Cascos de motocicleta

Un casco es un dispositivo de protección que reduce el riesgo de lesiones en la cabeza al absorber y dispersar la fuerza de impacto, evitando el contacto directo entre la cabeza y el objeto

que lo causa. Sus principales funciones son minimizar la desaceleración del cráneo, distribuir la fuerza del impacto y actuar como barrera mecánica (salud, 2008).

II.2.1.- Partes de un casco de motocicleta

El casco desempeña un papel crucial en la protección para la cabeza, en caso de una colisión, por ello todos los cascos cuentan con las diferentes partes que ayudan a mantener el casco en su lugar absorbiendo el impacto en caso de una colisión, dichas partes las podemos encontrar de manera más representativa en la (Figura II-1).



Figura II-1.- Partes de un casco de motocicleta

Armazón externo resistente: Distribuye y reduce la fuerza de impacto, protegiendo la cabeza. Se comprime en choques y previene la penetración de objetos afilados.

Relleno absorbente de impacto: Generalmente hecho de poliestireno expandido (telgopor), amortigua el impacto cuando el casco se detiene y la cabeza sigue en movimiento.

Espuma interior suave: Está en contacto con la cabeza, proporciona comodidad y un ajuste adecuado.

Pantalla facial: Permite visibilidad y protección contra el viento, la lluvia, insectos, etc.

Sistema de retención (barboquejo): Mantiene el casco en su lugar durante colisiones mediante correas en la barbilla y el cuello. Es esencial abrocharlo correctamente para una protección efectiva (salud, 2008).

II.2.2.- Tipos de Cascos

En la actualidad se distinguen principalmente 5 tipos de casco de motocicleta: cascos jet, integrales, modulares, off-road y Trail. La variedad de tipos de casco que ofrece hoy en día el mercado es muy elevada, por lo que se ha realizado una clasificación básica, que a su vez contiene subclasificaciones dentro de los tipos de casco y que podría extenderse indefinidamente.

II.2.2.1.- JET

El casco jet es económico, pero menos seguro porque deja la cara expuesta.

Hay dos tipos: con y sin pantalla. Son compactos y ligeros.

1. **Con Pantalla:** Este tipo de casco jet cuenta con una pantalla abatible que puede ser tanto transparente como ahumada. La pantalla desempeña varias funciones, como proteger la cara del usuario, bloquear la radiación solar y mejorar la visibilidad en condiciones de alta luminosidad. Casco jet con pantalla abatible que protege la cara, bloquea el sol y mejora la visibilidad, pero tiene una limitada resistencia a impactos fuertes. (Figura II-2).



Figura II-2.- Casco jet con pantalla

2. **Sin Pantalla:** Como su propio nombre indica, el presente tipo consiste en un casco jet sin ningún tipo de pantalla que proteja la cara y posibilite la protección ante elementos como aire, polvo o insectos. Debido a esto y a que la seguridad activa es aún inferior a la de los cascos jet con pantalla, son los cascos menos seguros de todos los presentados (Figura II-3).



Figura II-3.- Casco jet sin pantalla

II.2.2.2.- Integral

Los cascos integrales son los más populares hoy en día debido a su alta protección y diseño que cubre toda la cabeza, incluyendo la cara y el mentón. Son

ideales para cualquier tipo de motocicleta y reducen el ruido del viento. Aunque ofrecen una excelente protección, pueden ser incómodos de transportar y usar debido a su tamaño y dificultad para poner y quitar (Figura II-4).



Figura II-4.- Casco integral.

II.2.2.3.- Modular

El casco modular es un tipo intermedio entre el casco jet y el integral. Ofrece buena seguridad con una mentonera abatible para mayor comodidad, pero es más pesado y menos resistente en accidentes debido a la articulación de la mentonera. Sin embargo, debido a esta característica, los cascos modulares tienden a ser más pesados y menos resistentes en caso de accidente, ya que la unión de la mentonera podría abrirse (Figura II-5).



Figura II-5.- Casco modular.

II.2.2.4.- Multimodular

El casco multimodular es una evolución del casco modular que ofrece más opciones de montaje y desmontaje de módulos, lo que facilita su extracción en caso de accidente. Sin embargo, la seguridad puede verse comprometida debido al mayor número de uniones entre los módulos. Estos cascos pueden transformarse en diferentes tipos, como cascos integrales, off-road, jet con pantalla o sin ella, modulares con o sin mentonera, y pueden incluir viseras, pero esto puede aumentar su peso (Figura II-6).



Figura II-6.- Casco multimodular.

II.2.2.5.- Off-Road

Los cascos off-road están diseñados para actividades deportivas de motocicleta como el trial, el enduro y el motocross. Tienen un amplio campo de visión, son ligeros y cuentan con una ventilación adecuada. Sin embargo, no son ideales para su uso en carretera debido a la falta de pantalla, protección aerodinámica y aislamiento acústico. Suelen usarse con gafas de motocross o enduro debido a la apertura de los ojos más grande que en los cascos integrales (Figura II-7).



Figura II-7.- Casco off-road.

II.2.2.6.- Trail

Los cascos Trail se encuentran situados a medio camino entre los cascos off-road y los cascos integrales. Se trata de cascos compuestos por una calota de una sola pieza y que disponen de una mentonera. Disponen de una visera y una gran apertura para los ojos como los cascos off-road, pero, además, incluyen una pantalla como los integrales (Figura II-8).



Figura II-8.- Casco Trail.

Existe una gran variedad de cascos, diseñados con diferentes propósitos o situaciones algunos con un mayor nivel de protección, pero pueden ser más incómodos al momento de utilizar y algunos otros priorizan la comodidad y facilidad de quitarlos a pesar de ofrecer un menor nivel de protección, en resumen todos los cascos tienen como objetivos la protección del cráneo del usuario que los utiliza (Román, 2018).

II.3.- Normativas y regulaciones

II.3.1.- NORMA Oficial Mexicana NOM-206-SCFI/SSA2-2018

Esta Norma Oficial Mexicana tiene por objeto establecer las especificaciones, métodos de pruebas para los cascos de seguridad para usuarios de motocicleta (motociclistas) y otros usuarios de vehículos a motor, así como promover su uso para prevenir y disminuir la gravedad de las lesiones en la cabeza, y establecer la información comercial y etiquetado que ostentan los cascos de seguridad para motociclistas en los Estados Unidos Mexicanos.

La presente Norma Oficial Mexicana es aplicable para los cascos de seguridad para usuarios de motocicleta (motociclistas) y otros usuarios de vehículos a motor, de

fabricación nacional y de importación que se utilicen y comercialicen en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos.

El casco de seguridad debe permitir una visión periférica libre de al menos 105° a cada uno de los lados del plano medio sagital. El vértice de estos ángulos, como se muestra en la Figura II-9, debe estar en el punto de la superficie anterior de la cabeza de referencia en la intersección del plano medio sagital y básico.

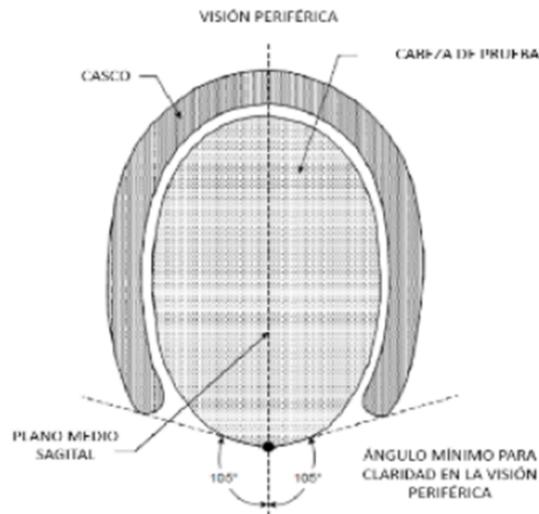


Figura II-9.- Vista superior del ángulo de visión.

La apertura de la frente del casco de seguridad debe estar al menos 2.5 cm por encima de todos los puntos del plano básico que se encuentran entre los ángulos de la visión periférica. La apertura de la frente del casco de seguridad debe proveer una visión hacia arriba de al menos 7° y hacia abajo de al menos 30° .

Los cascos de seguridad no deben contar con proyecciones rígidas hacia dentro de la carcasa. Las proyecciones rígidas fuera de la carcasa de cualquier casco de seguridad deben ser limitadas a aquellas que son necesarias para la operación de accesorios esenciales.

y no deben protruir más de 5 mm. Los remaches o proyecciones similares hacia dentro del casco de seguridad no deben representar peligro de laceración.

II.3.1.1.- Lugar de referencia de pruebas

Utilice una cabeza de referencia que esté firmemente colocada con el plano básico y de referencia horizontales. Coloque el casco completo a ser probado en la cabeza de referencia apropiada,

Aplique una carga estática de 4.5 kg en el ápice (Extremo superior o punta de alguna cosa) del casco. Centre el casco lateralmente y siéntelo firmemente en la cabeza de referencia de acuerdo con el Índice de Posicionamiento del casco (IP).

Manteniendo la carga y la posición dibuje una línea (de aquí en adelante se refiere a la "línea de prueba " ver Figura II-10) en la superficie externa a lo largo de las porciones de los planos que se interceptan con la superficie como se describe a continuación:

- a. Un plano de 2.5 cm por encima y paralelo al plano de referencia en la porción anterior de la cabeza de referencia;
- b. Un plano vertical transverso de 6.4 cm por detrás del punto en la superficie anterior de la cabeza de referencia en la intersección del plano medio sagital y el de referencia;
- c. El plano de referencia de la cabeza de referencia;
- d. Un plano vertical transverso 6.4 cm detrás del centro de la apertura auricular vista de lado; y
- e. Un plano 2.5 cm debajo y paralelo al plano de referencia en la porción posterior de la cabeza de referencia.

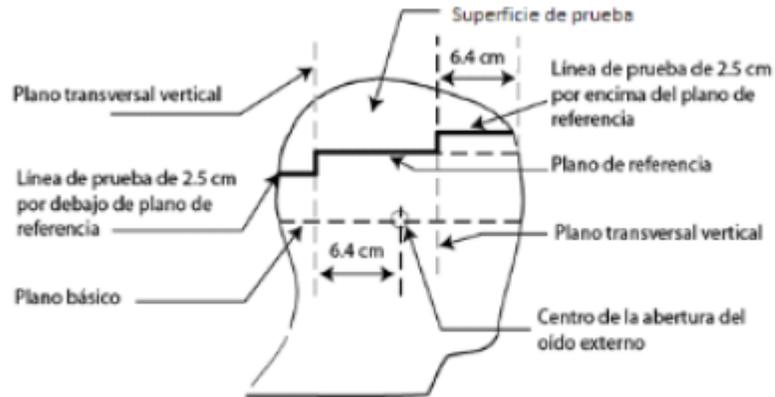


Figura II-10.- Ubicación de la línea de prueba.

II.3.1.2.- Pruebas

Antes de cada prueba, ajuste el casco en una cabeza de prueba en la posición conforme al Posicionamiento del casco.

Asegure el casco de modo que no cambie de posición antes del impacto o antes de la aplicación de fuerza durante la prueba (federacion, 2018).

II.3.1.2.1.- Prueba de atenuación del impacto

La atenuación del impacto se mide determinando la aceleración impartida a una cabeza de prueba instrumentada en la que se monta un casco completo cuando se deja caer en caída libre guiada sobre un yunque semiesférico fijo y un yunque de acero plano fijo.

Cada casco recibe impacto en cuatro sitios con dos impactos sucesivos en cada sitio. Dos de estos sitios impactan sobre un yunque de acero plano y dos sobre un yunque de acero semiesférico

El yunque plano está construido de acero con una cara de impacto de 5 pulgadas (12,7 cm) de diámetro mínimo, y el yunque semiesférico está construido de acero con una cara de impacto de 1,9 pulgadas (4,8 cm) de radio.

El soporte rígido para ambos yunques consta de una masa sólida de al menos 300 libras (136,1 kg), cuya superficie exterior consiste en una placa de acero con un espesor mínimo de 1 pulgada (2,5 cm) y una superficie mínima. de 1 pie 2 (929 cm 2).

Los lugares de impacto se encuentran en cualquier punto del área por encima de la línea de prueba y separados por una distancia no menor a un sexto de la circunferencia máxima del casco en el área de prueba. Para cada sitio, el lugar donde el casco hace contacto por primera vez con el yunque en el segundo impacto no debe ser mayor a 0,75 pulgadas (1,9 cm) del lugar donde el casco hace contacto por primera vez con el yunque en el primer impacto.

Las pruebas de impacto deberán comenzar a los dos minutos y completarse a los cuatro minutos, después de retirar el casco del entorno de acondicionamiento.

La altura de caída libre guiada para la combinación de casco y simulador de cabeza de prueba sobre el yunque semiesférico debe ser tal que la velocidad de impacto sea cualquier velocidad desde 16,4 pies/s hasta 17,7 pies/s inclusive (desde 5,0 m/s). s hasta 5,4 m/s inclusive).

La altura de caída libre guiada para la combinación de casco y simulador de cabeza de prueba sobre el yunque plano deberá ser tal que la velocidad de impacto

sea cualquier velocidad desde 19,0 pies/s hasta 20,3 pies/s inclusive (desde 5,8 m/s hasta e incluyendo 6,2 m/s).

II.3.2.- Nomenclatura de homologación

Los motociclistas no están informados de cómo saber si un Casco cuenta o no con la Homologación. En la parte posterior del Casco se encuentran letras, números y series que nos ayudan a entender que tipo de homologación tiene el Casco (Figura II-11). A continuación, se explicará a detalle dicha nomenclatura.

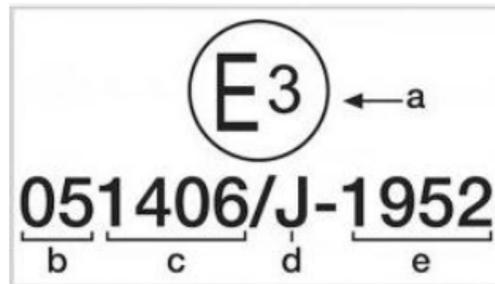


Figura II-11.- Nomenclatura de homologación

a: Indica el país donde se hizo la homologación. En este caso es “E” lo que significa en Europa. El número 3 nos indica el lugar donde se homologó en este caso fue en Italia. Cada país tiene su numeración como se muestra en la Tabla II-1.

Tabla II-1.- Países de homologo.

Número	País	Número	País
1	ALEMANIA	14	SUIZA
2	FRANCIA	15	NORUEGA
3	ITALIA	16	FINLANDIA
4	PAÍSES BAJOS	17	DINAMARCA
5	SUECIA	18	RUMANIA
6	BÉLGICA	19	POLONIA
7	HUNGRÍA	20	PORTUGAL
8	REPUBLICA CHECA	21	RUSIA
9	ESPAÑA	22	GRECIA
10	YUGOSLAVIA	23	IRLANDA
11	REINO UNIDO	24	CROACIA
12	AUSTRIA	25	ESLOVENIA
13	LUXEMBURGO	26	ESLOVAQUIA

b: Los dos primeros números corresponden a la revisión de la norma vigente y que se cumpla,

c: Nos indica el numero con que se ha homologado el casco.

d: Indica la seguridad del casco y el nivel de seguridad dependiendo el modelo.

Tenemos Integrales “P”, de tipo Modulares “P/J” y de tipo Abiertos “J” (Figura II-12).



Figura II-12.- Ejemplo de homologación.

e: Indica el número de serie, con el cual puede encontrar los datos de las pruebas que se realizaron en el casco.

II.3.3.- DOT

II.3.3.1.- Prueba de atenuación del impacto

La evaluación realizada en este proceso de homologación comparte las mismas características que aquellas establecidas en la normativa mexicana, y puede ser identificada en el punto II.3.1.2.1.- Prueba de atenuación del impacto

II.3.4.- ECE

II.3.4.1.- Prueba de absorción al impacto

La evaluación realizada en este proceso de homologación comparte las mismas características que aquellas establecidas en la normativa mexicana, y puede ser identificada en el punto II.3.1.2.1.- Prueba de atenuación del impacto

II.4.- Diseño

El diseño de un casco debe cumplir con normas de seguridad y adaptarse a las condiciones climáticas locales. Los materiales comunes incluyen poliestireno expandido (PSE), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), policarbonato (PC) y polipropileno. El relleno elástico, a menudo de PSE, debe absorber impactos y ser reemplazado después de un choque o de tres a cinco años de uso. Las normas establecen la cobertura mínima; los cascos integrales no deben limitar la visión ni la audición (salud, 2008).

II.4.1.- Antropometría

La antropometría es una técnica que se utiliza para medir las dimensiones físicas y la composición corporal de una persona. Estas medidas se utilizan para evaluar la salud, el crecimiento, la obesidad y otros aspectos relacionados con la nutrición. La antropometría es una forma simple y económica de medir aspectos físicos y de composición corporal, y es esencial en el campo de la nutrición y la salud pública (Fernández & Navarro, 2009).

II.4.2.- Ergonomía

La ergonomía es un campo que se centra en mejorar la interacción entre las personas y su entorno laboral. Tiene sus raíces en las palabras griegas "ergon" (trabajo) y "nomos" (ley o norma). La primera mención de ergonomía se encuentra en el libro de Wojciech Jastrzebowki en 1857, donde abogaba por un estudio científico del trabajo que abarcara todos los aspectos humanos.

La ergonomía busca mejorar la interacción entre las personas y su entorno laboral, utilizando una variedad de disciplinas como la ingeniería, la medicina, la psicología y más para alterar tanto lo natural como lo artificial y considerar aspectos humanos como la seguridad, la comodidad y la eficacia (Mondelo, Torada, & Bombardo, 2000).

II.5.- Software CAD/CAE

Las tecnologías de Diseño Asistido por Ordenador (CAD), Fabricación Asistida por Ordenador (CAM) e Ingeniería Asistida por Ordenador (CAE), comúnmente conocidas como CAD/CAM/CAE. Estas tecnologías desempeñan un papel fundamental al mejorar de manera significativa la eficiencia de ingenieros e investigadores, al mismo tiempo que permiten elevar el nivel de rendimiento en sus actividades de investigación (Kyratsis et al., 2020).

II.5.1.- CAD

Los sistemas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) son muy comunes en la industria debido a sus muchas ventajas. Estas ventajas incluyen la facilidad para crear diseños, la posibilidad de probar cómo funcionará un diseño antes de construirlo, la creación de planos detallados y la conexión con sistemas que pueden fabricar automáticamente prototipos.

El CAD/CAM incluye diferentes áreas como diseño gráfico, gestión de datos, control de máquinas, robótica y visión por computadora. Aunque solían ser disciplinas separadas, ahora se consideran una sola que utiliza inteligencia artificial, simulación y matemáticas para ayudar en el diseño y la fabricación (Poblet, 1986).

II.5.1.1.- SolidWorks

SolidWorks es un software CAD creado por Dassault Systèmes en 1995, diseñado para el modelado tridimensional en el diseño mecánico. Se apoya en un modelador paramétrico de sólidos que utiliza el kernel Parasolid y ha sido un competidor en el mercado CAD junto con soluciones como Pro/ENGINEER, NX, Solid Edge, Catia y Autodesk Mechanical Desktop (Rodríguez Vidal, 2015).

SolidWorks es un programa de diseño 3D que ofrece una solución completa con características avanzadas para modelar piezas, crear ensamblajes, generar planos y validar diseños. Destaca por su interfaz intuitiva y herramientas de diseño fáciles de usar, todo en un solo programa junto con más de 45 aplicaciones complementarias. Su característica principal es la capacidad paramétrica, variacional y asociativa que permite editar y actualizar operaciones en piezas y documentos relacionados de manera bidireccional (González, 2019).

II.5.2.- CAE

La Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) es un enfoque que utiliza computadoras en todas las etapas del diseño y fabricación de productos, incluyendo diseño, simulación, análisis y más. Su objetivo es mejorar la eficiencia y productividad en ingeniería. La simulación en CAE es útil para predecir el comportamiento de piezas y productos. La mejora de la productividad es esencial, y se busca proporcionar a cada usuario su propio ordenador para reducir el tiempo de espera. La gestión de bases de datos y la compatibilidad entre sistemas son preocupaciones clave. CAE se aplica en diversas áreas, desde el diseño de productos hasta la fabricación de dispositivos como transmisores de presión y variadores de velocidad para motores de corriente continua (Poblet, 1986).

II.5.2.1.- ANSYS

ANSYS es un software de modelado de elementos finitos ampliamente utilizado para resolver una variedad de problemas de ingeniería de manera numérica. Su proceso de solución consta de tres etapas clave:

1. Preprocesamiento - Definición del problema.
2. Solución - Asignación de cargas, restricciones y resolución.
3. Pos-procesamiento y visualización de resultados.

ANSYS ofrece una amplia gama de capacidades de análisis de elementos finitos, desde análisis simples hasta complejos. Facilita la gestión eficiente de las propiedades de los materiales mediante bibliotecas de materiales reutilizables y cuenta con una extensa biblioteca de más de 100 tipos de elementos para simplificar la selección y organización de datos de materiales en modelos de elementos finitos (Stolarski et al., 2018).

II.5.2.2.- LS-DYNA

LS-DYNA es un software de elementos finitos que se usa para analizar estructuras en situaciones de deformación extrema, tanto estáticas como dinámicas. Puede manejar estructuras junto con fluidos y se basa principalmente en la integración temporal explícita. Una característica importante es su algoritmo de contacto-impacto que resuelve problemas de contacto complicados, incluso con transferencia de calor. En resumen, LS-DYNA es un software versátil para analizar estructuras con capacidades avanzadas en problemas de contacto y transferencia de calor, especialmente en aplicaciones automotrices y de estampación de chapa metálica. Su desarrollo comenzó en la década de 1970 y se ha adaptado a las demandas actuales de simulación (Hallquist, 2006).

II.6.- Dinámica

La mecánica es una rama de la física que se enfoca en el estudio del estado de reposo o movimiento de objetos bajo la influencia de fuerzas. Se divide en estática, que se centra en el equilibrio de objetos en reposo o con velocidad constante, y dinámica, que aborda el movimiento acelerado. La dinámica se divide en cinemática (aspectos geométricos del movimiento) y cinética (análisis de las fuerzas que causan el movimiento).

La dinámica se aplica en la ingeniería para diseñar vehículos, dispositivos mecánicos y predecir movimientos de satélites y proyectiles. Con avances tecnológicos, la aplicación de estos principios se vuelve aún más crucial en diversas áreas.

II.6.1.- Aceleración

La idea de la aceleración proviene de la noción de ir cada vez más rápido, pero la definición moderna es más incluyente. El cambio de la velocidad debe ser parte de una

formulación cuidadosa de la aceleración, aunque esto sólo es una parte. La tasa con la que se lleva a cabo el cambio es fundamental. **La aceleración es la tasa de cambio de la velocidad con respecto al tiempo.**

La aceleración media (\vec{a}_m) de un cuerpo se define como la relación del cambio de su velocidad dividido por el tiempo transcurrido en ese cambio:

$$\text{Aceleración media} = \frac{\text{cambio en la velocidad}}{\text{Tiempo transcurrido}}$$

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{t_f - t_i}$$

Ecuación II-1

Un vector dividido por un escalar es un vector; tanto la velocidad como la aceleración son cantidades vectoriales. Algo que se acelera en una dirección específica cambia su velocidad en esa dirección (Hibbeler, 2004).

II.6.2.- Caída libre

Gran parte de nuestros conocimientos sobre la física de los cuerpos en caída libre se deben al científico italiano Galileo Galilei (1564-1642). Él fue el primero en deducir que, en ausencia de fricción, todos los cuerpos, grandes o pequeños, pesados o ligeros, caen a la Tierra con la misma aceleración. Esa es una idea revolucionaria porque contradice lo que una persona pudiera suponer. Antes de la época de Galileo, la gente seguía las enseñanzas de Aristóteles, según las cuales los objetos pesados caían proporcionalmente más rápidos que los ligeros. La explicación clásica de la paradoja radica en el hecho de que los cuerpos pesados son proporcionalmente más difíciles de ser acelerados. Esta resistencia al cambio de movimiento es una propiedad de los cuerpos llamada inercia. Por

tanto, en el vacío, una pluma y una bola de acero caerán al mismo tiempo porque el efecto inercial mayor de la bola de acero se compensa exactamente con su mayor peso (Tippens, 2007).

Una de las características más extraordinarias de nuestro mundo es que una forma de energía puede transformarse en otra, y después en otra y en otra, y transformarse de nuevo en la forma original. La energía puede transformarse, pero nunca se pierde ni se gana. De hecho, esta transformación sucede continuamente. Todas las civilizaciones, no solo la nuestra, sino incluso las menos sofisticadas tecnológicamente, dependen de este proceso, en sus muchas variaciones. Evidentemente, por eso comemos: para convertir la energía química de los alimentos, almacenada sobre todo en el carbono, en un compuesto denominado adenosín trifosfato (ATP: adenosine triphosphate), que almacena la energía que nuestras células utilizan para realizar distintas tareas. Es también lo que sucede cuando encendemos una hoguera, que convierte la energía química almacenada en la madera o el carbón en calor y dióxido de carbono (el carbono que contienen se combina con oxígeno).

Existe una sencilla ecuación que me sirve para ver algo maravilloso. Si me permites utilizar unas pocas matemáticas, entenderás por qué funciona el (no) experimento más famoso de Galileo. Recuerda que se cuenta que dejó caer bolas de distinta masa (y, por tanto, distinto peso) desde la torre inclinada de Pisa para demostrar que la velocidad a la que caían era independiente de su masa. De las leyes del movimiento de Newton se deduce que la energía cinética (EC) de un objeto en movimiento es proporcional tanto a su masa como al cuadrado de su velocidad; la ecuación es $EC = \frac{1}{2} mv^2$. Y como sabemos que la variación de la energía potencial gravitatoria de un objeto se transforma en energía cinética, podemos decir que mgh es igual a $\frac{1}{2} mv^2$, obteniendo la ecuación $mgh = \frac{1}{2} mv^2$. Si divides ambos miembros por m , la masa desaparece por completo de la ecuación, resultando $gh =$

$\frac{1}{2} v^2$. Para deshacernos de la fracción, multiplicamos ambos miembros de la ecuación por 2, obteniendo $2gh = v^2$. Esto significa que v , la velocidad, que es lo que Galileo quería medir, es igual

$$v = \sqrt{2g} * h$$

Ecuación II-2.

¡Fíjate en que la masa ha desaparecido por completo de la ecuación! No es un factor, en sentido literal; la velocidad no depende de la masa (Goldstein, 2012).

II.6.3.- Impacto

El impacto ocurre cuando dos cuerpos entran en colisión entre sí durante un periodo muy corto, ocasionando que grandes fuerzas (impulsivas) sean ejercidas entre los cuerpos. El golpe de un martillo sobre un clavo, o el de un palo de golf sobre una pelota, son ejemplos comunes de cargas de impacto.

En general, hay dos tipos de impacto. El impacto central ocurre cuando la dirección del movimiento de los centros de masa de las dos partículas en colisión es a lo largo de una línea que pasa por los centros de masa de las partículas, esta línea se llama línea de impacto. Cuando el movimiento de una o de ambas partículas forma ángulo con la línea de impacto, este impacto se denomina impacto oblicuo (Hibbeler, 2004).

Hoy existen aparatos, como carriles de aire y detectores de movimiento, que pueden medir directamente la rapidez de un objeto en movimiento. Después de hacer algunas hipótesis razonables, se facilita aplicar una fuerza constante (F) a una masa conocida (m) y determinar la aceleración resultante (a). Lo que se encuentra es que $F=m*a$: **una fuerza neta aplicada a un objeto lo hace acelerar con una tasa que es inversamente proporcional a la masa del objeto: $a= F/m$.**

Esta forma alternativa de la segunda ley fue deducida primero de la ecuación $F^{\vec{}} = \Delta(m\vec{v})/\Delta t$. el cambio de cantidad de movimiento $\Delta(m\vec{v})$ es igual $(m_f\vec{v}_f - m_i\vec{v}_i)$, pero si la masa del objetivo es constante, como en la mayor parte de los casos, $m_i = m_f = m$, y $\Delta(m\vec{v}) = m(\vec{v}_f - \vec{v}_i) = m\Delta\vec{v}$. En consecuencia, $F^{\vec{}} = m\Delta\vec{v}/\Delta t$, y sustituyendo $a^{\vec{}} = \Delta\vec{v}/\Delta t$

$$F = m * a$$

Ecuación II-3

Si se recuerda siempre que la fuerza y la aceleración tienen la misma dirección, esta ecuación se puede escribir en la forma escalar (Ecu II.6) (Hecht, 2000).

II.7.- Impresión 3D

La impresión 3D se describe como la fabricación de una pieza física en 3D, mediante un proceso rápido, totalmente automatizado y muy flexible, sin herramientas.

Dicho proceso sucede mediante la deposición de un material utilizando un cabezal de impresión, boquilla u otra tecnología de impresión". Sin embargo, el término se utiliza a menudo como sinónimo de fabricación aditiva es un término más amplio que engloba la construcción de modelos físicos en 3D, generando prototipos, patrones y componentes de utillaje utilizando diversos materiales como plásticos, cerámicas, metales, etc. (Noorani, 2017).

II.7.1.- Tipos de tecnologías de impresoras 3D

En la actualidad existen tres tipos de impresiones 3D:

- Por compactación, en las que una masa de polvo se compacta por estratos.
- Por adición, o de inyección de polímeros, en las que el propio material se añade por capas.

- Por estereolitografía, donde un láser ultravioleta solidifica por estratos una resina líquida.

1. Impresión Por Compactación

Dentro de esta categoría nos encontramos:

a) Impresoras 3D de Láser

Donde un láser transfiere energía al polvo haciendo que se polimerice. Después se sumerge en un líquido que hace que las zonas polimerizadas se solidifiquen. Una vez impresas todas las capas sólo hay que sacar la pieza. Con ayuda de un aspirador se retira el polvo sobrante, que se reutilizará en futuras impresiones.

b) Impresoras 3D de Tinta

Siguiendo el mismo proceso que la impresora 3D láser, el polvo composite utilizado puede ser a base de escayola o celulosa. El resultado es bastante frágil, por lo que conviene someter la pieza a una infiltración a base de cianocrilato o epoxis para darle la dureza necesaria. La ventaja es que es un método más rápido y económico, aunque las piezas son más frágiles.

2. Impresión Por Adición

Mediante este sistema se crean los objetos superponiendo capas de abajo a arriba. El software divide el gráfico 3D en capas tan finas como el diámetro del plástico de salida. Para cada capa, la impresora va desplazándose sobre el plano para soltar el plástico sobre las coordenadas adecuadas. Formando finalmente una figura en tres dimensiones.

3. Impresión Por Estereolitografía

Este tipo de impresoras 3D convierten materiales y composites plásticos líquidos en secciones transversales sólidas, capa a capa, con el fin de construir piezas tridimensionales precisas. Mediante este proceso, se seleccionan capas ultrafinas y un láser ultravioleta solidifica la resina líquida fotosensible dispuesta en una cuba, siguiendo el patrón topográfico de la pieza a construir. Las capas solidificadas se sumergen en la cuba, dejando paso a las nuevas capas, que son curadas una por una por el láser (Chimbo et al., 2016).

II.7.2.- Tipos de impresoras 3D

Actualmente el sector de la impresión FFF se encuentra en pleno auge, numerosas empresas se han lanzado a fabricar este tipo de máquinas que, hasta hace unos años, era una tecnología demasiado cara como para adquirirla para un uso doméstico. Dentro de las impresoras comerciales podemos encontrarnos con una amplia gama de precios de adquisición (Figura II-13).



Figura II-13.- Algunas de las impresoras comerciales.

Existen múltiples clasificaciones de las impresoras en base a diversos factores:

1. Según el sistema de extrusión

i. SISTEMA BOWDEN

El motor extrusor y, por ende, la fuerza de empuje del filamento se encuentra separado del hotend. Esto permite liberar peso al eje X y reducir las inercias durante la impresión, dando lugar a una impresión más rápida con menos vibraciones (Figura II-14).

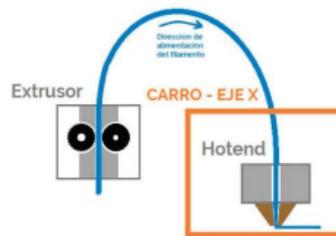


Figura II-14.- Sistema Bowden.

ii. SISTEMA DIRECTO

El motor extrusor se encuentra contiguo al hotend, por lo que la distancia que recorre el filamento antes de ser fundido es mínima. La extrusión se mejora y es más precisa, además este sistema permite imprimir una mayor gama de materiales incluidos flexibles (Figura II-15).

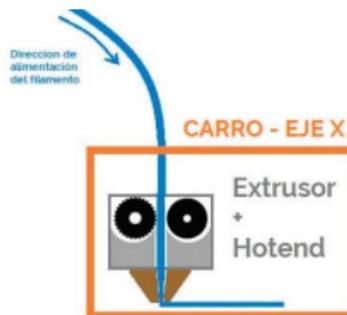


Figura II-15.- Sistema Directo.

2. Según su cinemática

Una impresora 3D es una máquina que necesita mínimo 3 grados de libertad para poder operar, la manera de conseguirlos determina las características

cinemáticas de la misma. Se pueden distinguir 3 tipos de impresora: Delta y Cartesiana.

i. DELTA

En general son impresoras con buena precisión y que pueden imprimir más rápido que las cartesianas, pero con un mantenimiento complicado. Además, tienen el problema de tener un espacio de trabajo limitado en el plano XY; no obstante, ganan mucha altura en Z (Figura II-16).



Figura II-16.- Impresora Delta.

ii. CARTESIANA

Este tipo de impresoras son las más extendidas en el mercado, como su propio nombre indica se mueven sobre unos ejes cartesianos (X, Y, Z) que posicionan el cabezal extrusor. Dentro de este grupo distinguimos los 2 tipos más comunes:

a. Cartesiana XZ

El movimiento suele venir definido por 3 motores independientes, uno para cada eje. Se denominan XZ porque la guía del eje X está sujeta en eje Z (Figura II-17).



Figura II-17.- Impresora Cartesiana XZ.

b. Core-XY

Se trata un mecanismo en el cual el cabezal aúna el movimiento de 2 ejes, X e Y, de tal manera que cubre el movimiento de todo el plano y la base solo se mueve de manera vertical en el eje Z. Este sistema permite velocidades altas, con una gran calidad de impresión y sin defectos incluso en piezas altas (Figura II-18).

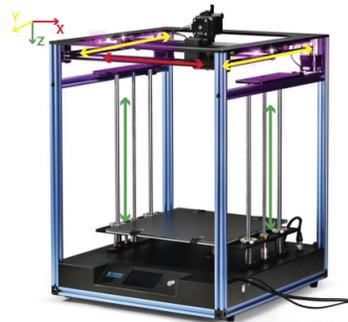


Figura II-18.- Impresora de tipo Core-XY.

3. Reprap y Prusa

RepRap fue la primera de las impresoras 3D de bajo costo y el Proyecto RepRap inició la revolución de las impresoras 3D de código abierto. Se crea con el proyecto una comunidad de personas que, altruistamente, diseñan y fabrican impresoras 3D y las comparten con el mundo (Figura II-19).

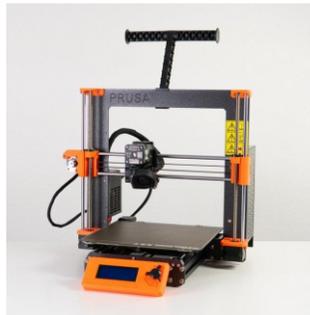


Figura II-19.- Impresora Prusa

Prusa Research es una empresa fundada por un joven que, gracias al proyecto Reprap, se construyó una impresora y comenzó a fabricar y vender piezas impresas en 3D enviadas en cajas de pizza. Actualmente es una enorme empresa que no solo vende impresoras 3D, también piezas de recambio y filamentos, pero el gran mérito de esta empresa es que tanto las piezas de sus impresoras como su software es gratuito (Flores, 2022).

II.7.3.- Tipos de materiales utilizados en la empresa 3D

La impresión 3D económica utiliza principalmente dos tipos de plásticos con diferentes propiedades. Los filamentos estándar tienen diámetros de 1,75 mm (más popular) y 3 mm. Se están desarrollando más opciones para expandir las aplicaciones de la impresión 3D.

PLA

El filamento de plástico más común es el PLA, hecho de poliláctido, un plástico biodegradable derivado del almidón. Se derrite a 180-230 °C y es seguro de imprimir sin olores o gases peligrosos. Se adhiere bien a la cama de impresión sin necesidad de cama caliente, pero requiere cinta azul. Los objetos impresos en PLA son robustos, pero no resistentes a altas temperaturas. Existe una variante flexible de PLA para imprimir piezas flexibles a temperaturas más bajas y velocidades reducidas.

ABS

El segundo filamento más común está hecho de Acrilonitrilo butadieno estireno, abreviado ABS55: es un plástico derivado del petróleo, utilizado en impresión 3D y conocido por su uso en piezas LEGO. Tiene un olor desagradable y emite vapores peligrosos, por lo que se recomienda usar ventilación adecuada al imprimir con él. Se funde a temperaturas de 210-260 °C y es comparable en precio al PLA. Se imprime en una cama caliente a unos 100 °C con cinta Kapton para una mejor adhesión. El ABS produce objetos más robustos y resistentes al calor que el PLA y está disponible en una variedad de colores, incluyendo opciones que cambian de color con la temperatura.

PC

El Policarbonato (PC), es un material plástico muy resistente y duradero con alta claridad óptica y alta temperatura de fusión (unos 270 a 300 °C). A pesar de que se utiliza en muchas producciones industriales (por ejemplo, los CD y los DVD están hechos de policarbonato) las primeras pruebas con las impresoras 3D de bajo costo comenzaron apenas en 2012 y todavía hay pocos fabricantes de filamento de PC y lo venden bastante caro

PVA

El alcohol de polivinilo es un polímero plástico soluble en agua que puede ser utilizado para la impresión de las estructuras de apoyo para objetos en PLA y ABS; se disuelve fácilmente en agua caliente y deja una superficie perfecta del objeto, con lo que se simplifica el proceso (por lo general bastante tedioso) de retirar el soporte. La temperatura de impresión es de alrededor de 170°C y nunca debe superar los 200°C. El filamento de PVA también es bastante caro (Fonda, 2014).

TPU

El TPU, más concretamente TPU 93^a, es un termoplástico elastómero con propiedades viscoelásticas y flexibles. Esto significa que presenta propiedades elásticas y viscosas (viscoelasticidad) y que puede sufrir grandes deformaciones recuperando su estado inicial (flexibilidad y elasticidad). Esto supone una gran ventaja frente a otros filamentos más rígidos en los que se pueden producir deformaciones irreversibles o separación de capas en su estructura (Sánchez, 2023).

PET

El filamento PET es uno de los polímeros más resistentes en la industria. Debido a sus características naturales, funciona bien en las impresoras 3D. Este material es ideal para la fabricación tanto de objetos de decoración, como para objetos de utilización industrial, ya que las propiedades mecánicas de este filamento son similares al ABS o PLA. Por lo tanto, no es un material flexible, sin embargo, no se deforma cuando se enfría.

Este filamento, ha sido aprobado por el FDA (de USA) para la realización de recipientes y utensilios que estarán en contacto con alimentos. Para impresión óptima, la temperatura deberá de encontrarse entre 207°C y 235°C. El PET es un filamento compatible con las bebidas y alimentos líquidos, y tras su empleo puede ser reciclado (Campillo, 2018).

II.7.4.- Materiales técnicos utilizados en la impresión 3D

Nylon

Taulman59 produce el filamento 618 Nylon® que tiene algunas características interesantes, entre ellas la flexibilidad, ligereza y resistencia química. Debe ser extruido a una temperatura superior en comparación con PLA o incluso ABS (alrededor de 245 ° C), pero no hay producción de vapores u olores, y se pega bien en la cinta azul. Se utiliza para la impresión de partes mecánicas que necesitan alta resistencia a la rotura y una superficie de fricción muy baja; pero otro uso potencial muy interesante es para la impresión de prótesis a medida y partes relacionadas con la medicina ya que el nylon es inerte para el cuerpo humano (aunque no está oficialmente aprobado por la FDA, al menos por ahora). El costo de filamento de nylon es más del doble que el del PLA o el ABS, el único color disponible es blanco (natural) y la única fuente es Taulman (Fonda, 2014).

HIPS

Dentro de las variedades existentes de poliestireno está el llamado Poliestireno de alto impacto o HIPS (high impact Polystyrene). Este material se produce mediante adición y conformado de unidades repetitivas de estireno y butadieno. Este último material es injertado en el poliestireno, formando un polímero que opone resistencia a fuerzas mecánicas. Se caracteriza por la mejora en la resistencia al impacto respecto al poliestireno sin modificar, es opaco gracias a la adición de butadieno y tiene una alta procesabilidad. Se pueden realizar tratamientos de conformado como inyección y extrusión. Este material, al igual que los anteriores, es totalmente reciclable. Como características diferenciadoras está el hecho de que presenta mayor dureza y flexibilidad que el ABS y permite un uso médico ya que es un material inerte para el cuerpo humano (Campillo, 2018).

PET-G

El PET (Tereftalato de polietileno) es el plástico más empleado en la actualidad, se puede encontrar en botellas de agua, fibras textiles y multitud de aparatos electrónicos. Es un material transparente con buena resistencia tanto a los productos químicos como a los impactos, la rotura y el fuego.

El material empleado para este estudio es PET-G, una variante del PET la cual se obtiene modificando la estructura química del polímero.

La aplicación de este copoliéster en la impresión 3D se centra en la producción de piezas que necesitan cierta flexibilidad, buena resistencia a los golpes como, por ejemplo: piezas sujetas a presión, piezas protectoras o recipientes para alimentos.

Como único inconveniente que podemos señalar de este material es la dificultad de encontrar parámetros de temperatura ideales, ya que el rango que nos indica el fabricante es muy amplio (García, 2019).

Nylon reforzado con fibra de carbono

El filamento PA6+CF está formulado utilizando un copolímero PA6 reforzado con fibra de carbono de alto módulo. Este filamento es ideal para cualquiera que desee un componente estructural con módulo alto, resistencia química y térmica mejorada, excelente calidad de superficie y facilidad de impresión. Gen3 tiene una HDT más alta que nuestros grados anteriores (147 °C a 0,45 MPa), lo que permite un uso ampliado en aplicaciones de mayor temperatura.

Una rigidez incomparable brinda a los diseñadores las propiedades que necesitan para fabricar sus piezas impresas en 3D con menos material y ahorrar peso sin sacrificar la rigidez.

Policarbonato reforzado con fibra de carbono

CarbonX™ PC+CF es un filamento de policarbonato reforzado con fibra de carbono de alto rendimiento. Este material es ideal para cualquiera que desee un componente estructural con alta resistencia al calor, alta rigidez, excelente calidad superficial y estabilidad dimensional. El policarbonato tiene una Tg de 147°C y ofrece uno de los rendimientos térmicos más altos del mercado de la impresión 3D.

ABS reforzado con fibra de carbono

ABS+CF es un filamento ABS reforzado con fibra de carbono de alto rendimiento ideal para cualquiera que desee un componente estructural con alto módulo, excelente calidad de superficie, estabilidad dimensional, peso ligero y facilidad de impresión. Fabricado con un 10% de fibra de carbono de alto módulo. Fabricado en los EE. UU. con ABS Sabic MG-94 de primera calidad y fibra de carbono de alto módulo de primera calidad.

PA12+CF

PA12 está fabricado con fibra de carbono de alto módulo y un nailon 12 (PA12) especial que elegimos por su imprimibilidad, propiedades térmicas y resistencia química. PA12+CF se usa ampliamente en una variedad de industrias debido a su excelente resistencia química, baja absorción de humedad y amplia ventana de procesamiento. Nuestra formulación garantiza una contracción muy baja en la pieza impresa, lo que da como resultado una excelente estabilidad dimensional, lo que convierte a nuestro PA12+CF en una excelente opción para herramientas, accesorios y plantillas (3DXTECH Additive Manufacturing, s.f.).

CAPITULO III.- DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL CASCO



En el Capítulo III se describe cómo se diseñaron los componentes de un casco de motocicleta. Este proceso combinó dos enfoques complementarios: se inició con bocetos a mano alzada y luego se pasó al modelado detallado en SolidWorks. Esto permitió desarrollar los componentes del casco y obtener una visualización clara de la propuesta final.

Después de conocer los distintos tipos de cascos así como sus características y aplicaciones mencionadas en el marco teórico, se puede tomar una decisión más clara y concreta del diseño del casco que se tomara en cuenta para generar una nueva propuesta de casco, teniendo en cuenta que este tipo de casco es uno de los más seguros, tomando esto en consideración se puede dar a conocer que el tipo de casco seleccionado para la generación de la nueva propuesta de diseño es el casco integral o cerrados, ya que es un casco de lo más seguro además del tipo de casco más comúnmente usados en la ciudad debido a su máxima capacidad de protección de la cabeza

Para comenzar con el desarrollo de los componentes del casco comenzamos con el desarrollo de un boceto de una cabeza humana (Figura III-1), a partir de estas podemos comenzar a generar los distintos componentes que se encuentran en un casco de motocicleta, para ello primero se boceto una cabeza humana, esta cabeza se boceto en dos vistas, las cuales son las que se ocuparan para el desarrollo de las partes, y son las vistas frontal, esta nos permitirá conocer la anchura a la cual se realizara las pastes interna del casco la cual será al acolchonado del casco, continuando con la otra vista de la cabeza que necesitamos en la vista lateral, la cual nos ayudara a conocer la largura que necesitamos para generar el acolchonado del casco.

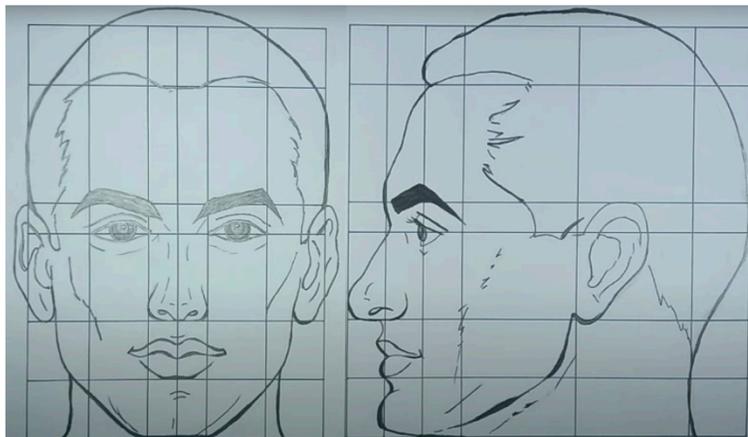


Figura III-1.- Diseño de cabeza a mano alzada.

Una vez teniendo desarrollada la parte de las medidas de la cabeza, comenzamos con el desarrollo del casco, pero para comenzar a desarrollar el casco es necesario el tener alguna idea de como se busca generar esta nuevo diseño de casco, por ello se optó por generar el boceto de cuál será el aspecto del casco una vez terminado, obteniendo el diseño del casco final el cual podemos ver en la Figura III-2, en la cual podemos ver el diseño visto de distintos ángulos, cabe mencionar que estos diseños se escanearon para un posterior uso.

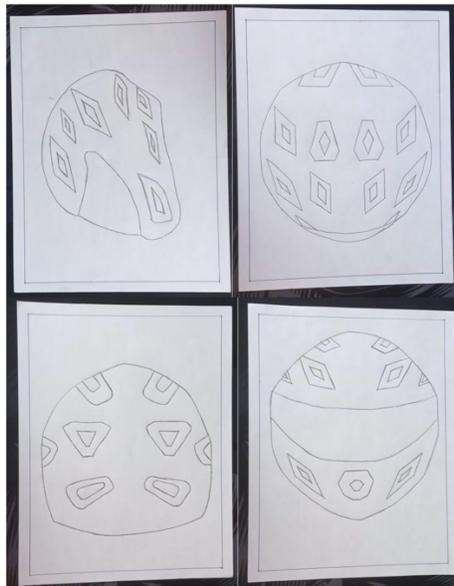


Figura III-2.-Boceto de propuesta de casco.

Una vez realizado los preparativos pertinentes para comenzar a desarrollar el casco en el software mencionado en el apartado SolidWorks más atrás, pasamos como primer punto el generar una nueva pieza, cabe mencionar que para generar el casco se buscó generar sucesivamente por ello se busca generar en una sola pieza y no generarlos en archivos distinto para posterior generar un ensamble, por ello generamos un nuevo archivo en cual trabajaremos como se muestra en la Figura III-3.

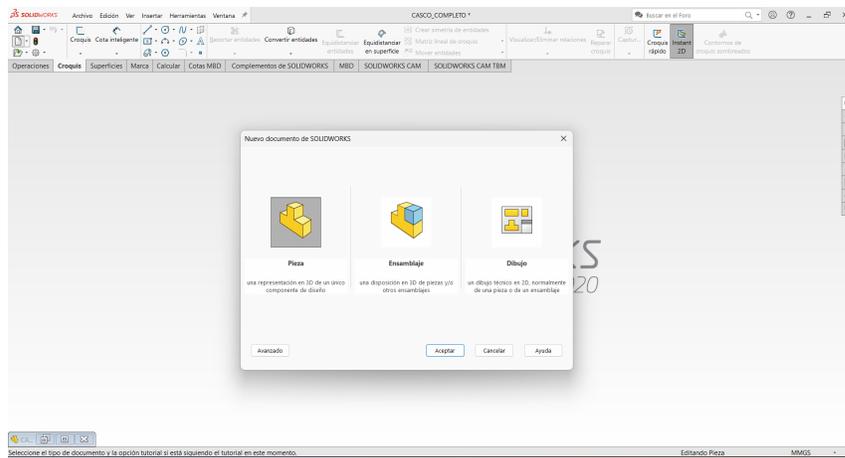


Figura III-3.- Página de inicio de SolidWorks.

Una vez generado el nuevo archivo para comenzar a desarrollar comenzaremos con una herramienta llamada “imagen de croquis” (Figura III-4), que nos permite genera diseños a partir de una imagen, es una herramienta muy interesante, ya que como su nombre nos permite generar diseños exportando una imagen así mismo nos permite configurar las medidas de esta imagen y las coordenadas en las cuales se encontrar

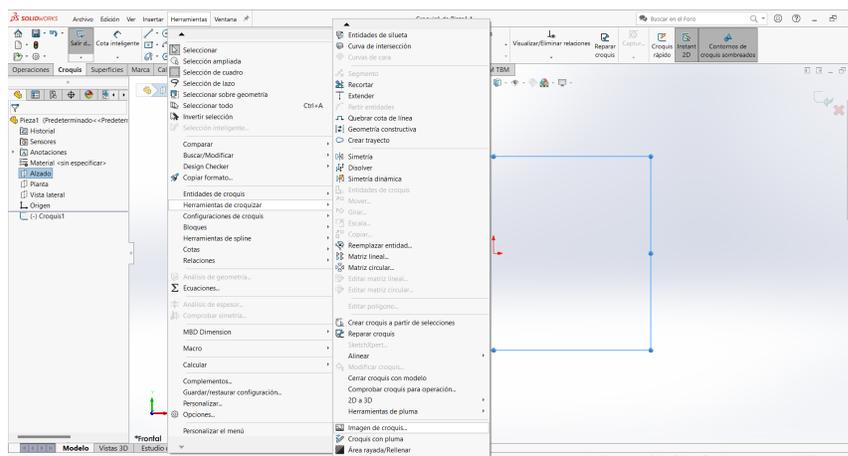


Figura III-4.- Diseño de croquis.

Teniendo en cuenta la herramienta “imagen de croquis”, se comenzó a desarrollar la pieza del casco, para ello se comenzó con exportar las imágenes escaneadas del diseño de la cabeza de

un humano, cabe mencionar que las medidas de una cabeza mediada debido a que es la media más común, teniendo esto en cuenta exportamos la imagen y le damos la medida que se dieron al realizar el diseño a lápiz, cabe mencionar que debe estar centrada es decir que la mitad del diseño de la cabeza debe estar en el punto (0,0,0), de esta manera el diseño del casco se encontrara centrado y esto nos permitirá que se encuentre centrado en otros softwares, el dieno de la cabeza de forma lateral, nos permitirá tener el diseño de las facciones de una cabeza humana por ejemplo la nariz, labios, amplitud de la frente, la barbilla, etc., además nos permitirá tener el diseño trasero de la cabeza, por ello es importante agregar el boceto lateral de una cabeza (Figura III-5).

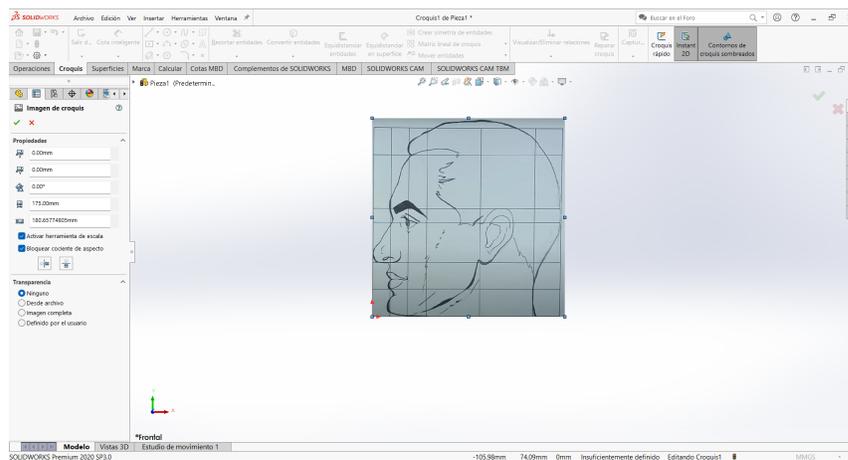


Figura III-5.- Colocación de imagen de vista lateral del tamaño de la cabeza.

De la misma manera que agregamos el diseño de la cabeza lateral, también agregamos el diseño frontal, el cual nos permitirá tener la amplitud de la cabeza, además de poder tener en cuenta una de las partes importantes de la cabeza que como son las orejas de esta manera se puede tener en cuenta a que altura se encuentran, cabe mencionar que también el diseño frontal se debe encontrar centrado en los puntos (0,0,0), una vez que se terminó de agregar los diseño de la cabeza debe terminar como se muestra en la Figura III-6.

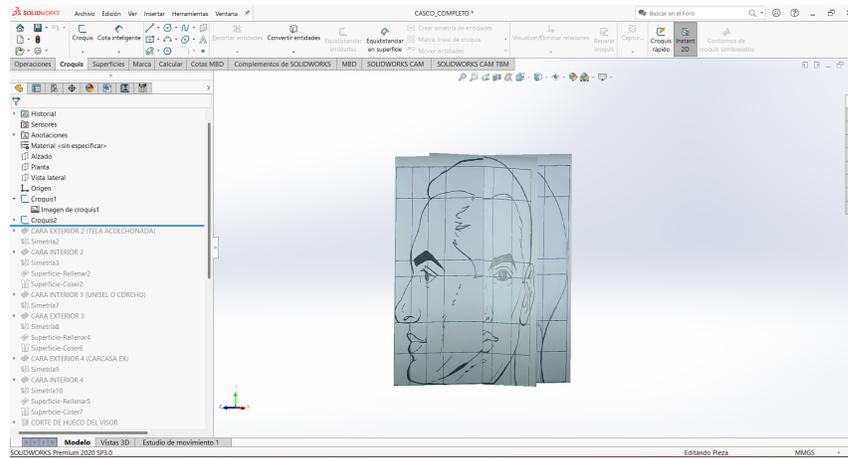


Figura III-6.- Colocación de vista frontal del tamaño de la cabeza.

Posterior de agregar dichos diseños de la cabeza, utilizaremos una herramienta llamada “Spline”, esta herramienta genera línea generando puntos los cuales posteriormente los podemos mover hasta generar un diseño de la cabeza, cabe mencionar que después utilizaremos otra herramienta pero nos pedirá que la generación de esta línea sea en croquis separados para poder unirlos de esta manera podemos generar ese diseño esférico una cabeza, por ello generaremos tres croquis, dos laterales y uno frontal, teniendo como resultado lo que se observa en la Figura III-7.

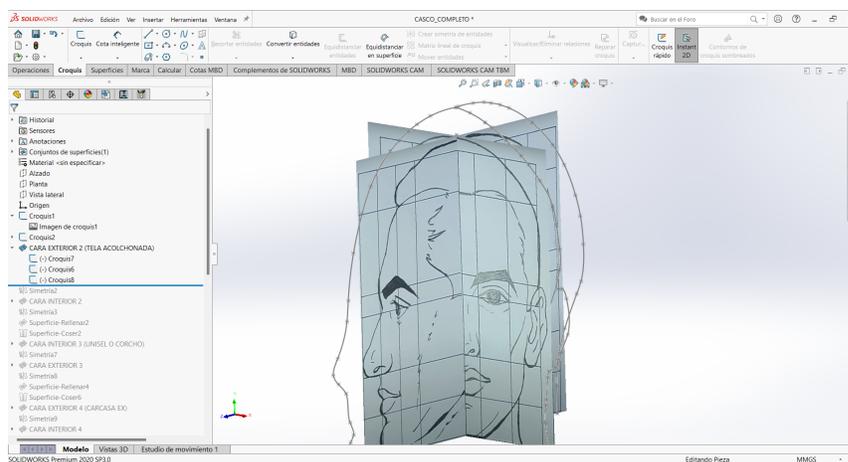


Figura III-7.- Diseño de croquis a partir de referencia de imágenes.

Después de generar el diseño del croquis podemos ocultar los croquis los que tienen las imágenes, permitiéndonos observar de una manera más clara el diseño que se generó, para posterior hacer uso de otra herramienta que se utilizara a lo largo del desarrollo del diseño de casco, la cual lleva por nombre “Rellenar”, dicha función nos permite generar una unión entre dos líneas, dentro de estas líneas delimitamos el área que queremos rellenar o generar un tipo parche, esta función también nos permite generar un ángulo en el cual queremos que se genere algo así como un tipo chipote y no solo se genere un parche plano sino se le comenzó a generar algo más esférico, agregando a su vez que con la ayuda del croquis lateral nos sirve para conocer la amplitud lateral necesaria de la cabeza y de esta manera poder generar esa forma característica de la cabeza como se muestra en la Figura III-8

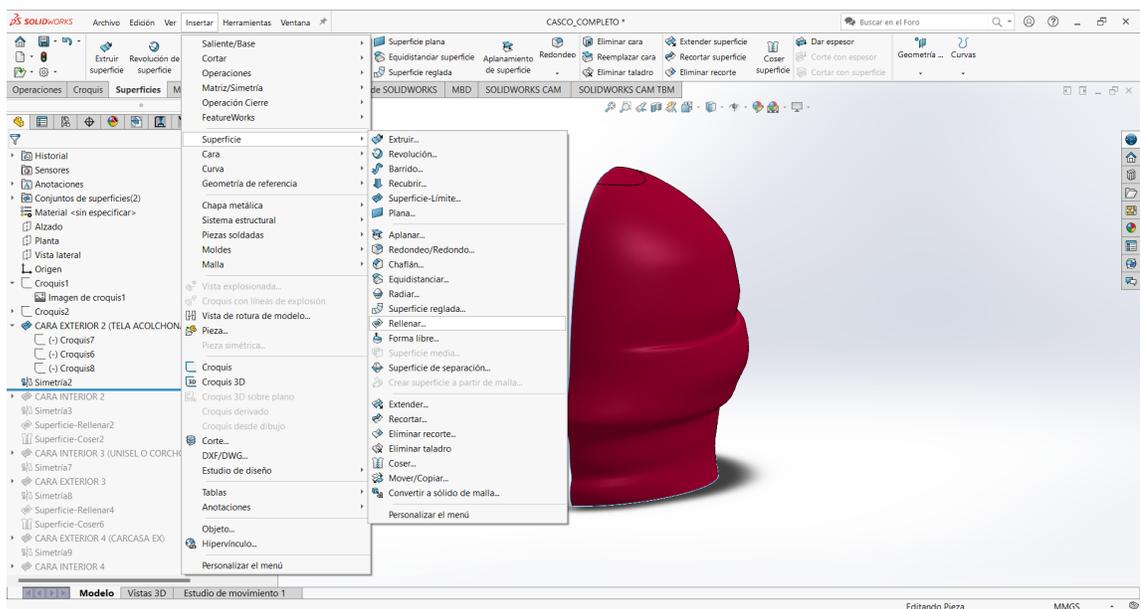


Figura III-8.- Desarrollo de la primera mitad de la superficie.

A lo largo del desarrollo de la superficie de rellenar se suscitó un problema el cual no permitía genera una superficie en los croquis realizado, debido a que generaba errores lo cual no permitía generar el diseño, a su vez cuando se generaba el diseño que se buscaba, la superficie

generaba una malformaciones del diseño el decir solo unía dos puntos o la superficie que se generaba era un tipo reloj de área visto desde una perspectiva 2D, lo cual no resultaba en lo que se buscaba, pero dicho error se corrigió generando el diseño lateral en dos croquis, es decir partiéndolo por la mitad.

Otro error muy común que se suscitó en el desarrollo fue que no se cerraba el decir no se generaba una superficie uniforme, por lo que siempre en la parte de arriba le faltaba un pequeño espacio de rellenar, la cual generaba errores al momento utilizar la siguiente herramienta, dicho error se corrigió de una forma simple es decir que los puntos superiores del diseño de las líneas del croquis se encontraran los tres croquis en los puntos (0,0,250mm), debido a este el punto superior más alto de la cabeza

Posterior a realizar el primer diseño, se volvió a general tres nuevos croquis los cuales son dos laterales además de uno frontal, posterior a esto con ayuda de la herramienta “Equidistancia entidades”, esta herramienta nos permite tomar la línea que realizamos en el primeros croquis y generar una distancia, algo como una línea paralela a la primera línea del croquis, de esta manera nos permite respetar el diseño de la cabeza así como general el primer espesor del primer material con el que cuenta un casco de motocicleta el cual es el acolchonado Figura III-9

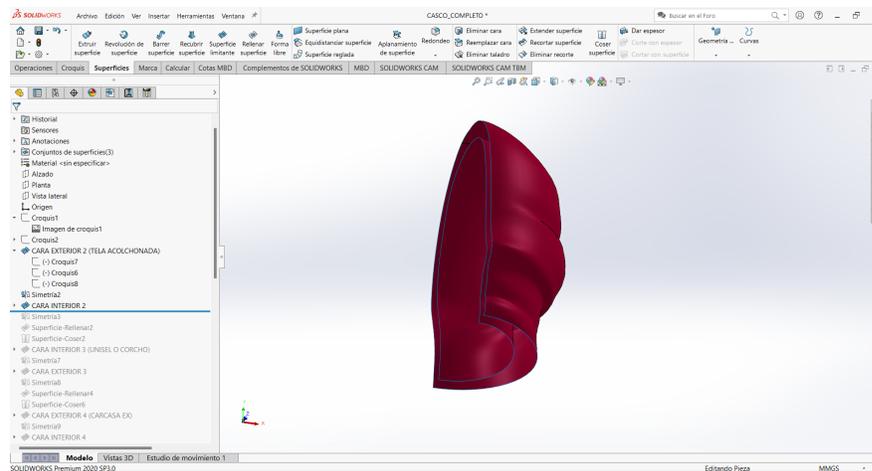


Figura III-9.- Desarrollo de la capa exterior de la mitad de la primera superficie.

Después de generar el punto anterior y obtener el diseño de la Figura III-9, haremos uso de otra herramienta “Simetría”, esta herramienta nos permite generar como un espejo lo cual nos permite completar el diseño del casco sin la necesidad de generar nuevamente todas las operaciones antes mencionadas, posterior al uso de la herramienta antes mencionada se generara una superficie hueca, por lo que necesitamos generar un sólido, para ello haremos uso de otra herramienta llamada “Rellenar superficie”, esta herramienta nos permite generar un tipo tapa, de esta manera el diseño ya no se ve hueco, pero sigue siendo hueco, por lo que haremos uso de la siguiente herramienta “Cosar superficie”, esta herramienta como su nombre lo indica nos permite unir todas las superficies generadas, dentro de esta herramienta nos permite que a la vez que se cosen las superficies se genera un sólido, de esta manera se genera una superficie sólida como se muestra en la Figura III-10.

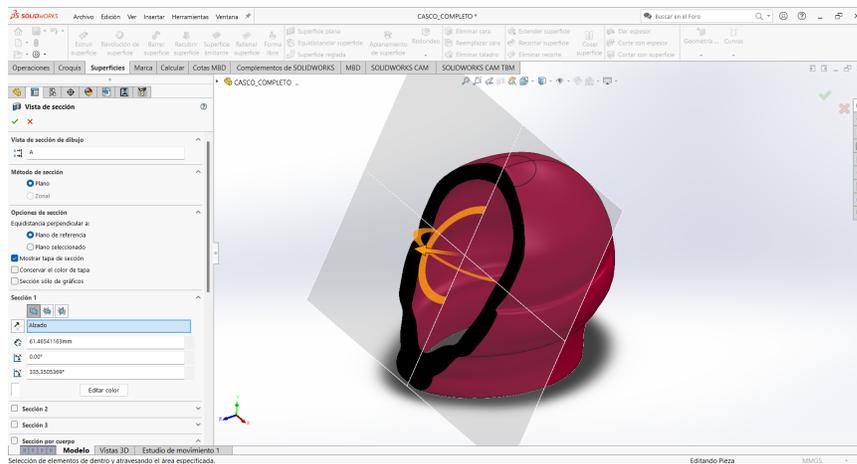


Figura III-10.- Término del primer componente del casco.

Conociendo la base para generar el primer diseño del casco el cual sería el acolchado, para seguir generando las otras capas del casco que serían el material absorbente del impacto y por último la carcasa exterior, para ello una vez generando el primer diseño nombraremos a las superficies como cara interior y exterior esto nos permitirá diferenciar entre las superficies y los croquis que la comprenden, ya que con la ayuda de la herramienta “Equidistancia entidades” generar la siguiente parte del casco, para ello se generará nuevamente tres croquis los cuales nos permitirán en la nueva cara interior del siguiente material, cabe mencionar que un casco se encuentra unido entre los distintos materiales que lo componen, por lo que al generar el nuevo croquis de la cara interior del material absorbente debemos generarlo por encima del anterior, es importante mencionar que no podemos hacer uso de croquis antes usado ya que cada diseño es independiente, una vez generado los nuevos croquis de la superficie interior de materia absorbente, realizaremos nuevamente los tres croquis pero ahora de la superficie exterior, por lo que le daremos un espacio para que tenga un grosor el material absorbente, por ello la distancia que le daremos entre la superficie interior y exterior será de 20 mm, después de generar lo anterior volveremos a hacerlo hasta obtener la carcasa con un grosor de material de 5mm Figura III-11.

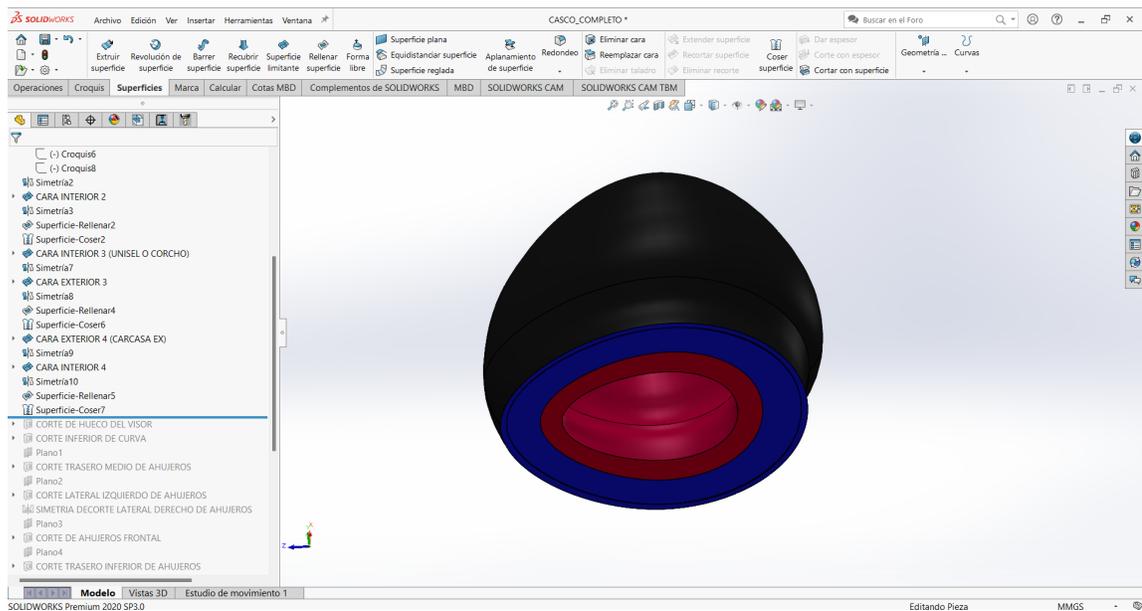


Figura III-11.- Termino las capas del casco.

Como podemos observar en la Figura III-11, se generó el diseño del casco pero aún le falta el visor y el diseño propuesto en los bocetos del casco por ello comenzaremos con la realización de visor para ello primero debemos generar el hueco que contendrá dicho visor, para ello comenzaremos realizando los cortes tomando en cuenta lo estipulado en la norma en la cual solicita los ángulos de visión que debe contener un casco de motocicleta una vez cumpliendo generaremos el visor.

Para generar el visor existieron muchas dificultades lo cual hizo que el diseño se retrasara debido que al tratarlo de generarlo no se diseñarlo no se formaba de una forma adecuada esto sucedía debido a que es una superficie con muchos cortes, por lo que no se podía generar como se venía generando en las distintas capas de los materiales, por lo que se optó por hacer uso de nuevas herramientas las cuales son “Croquis 3D”, esta herramienta nos permite movernos en las tres dimensiones del diseño, no solo en dos dimensiones, como lo veníamos haciendo, para poder

generar el visor se realizó uso de croquis 2D los cuales nos permitieron generar puntos de referencia para hacer un mejor uso de la herramienta “Croquis 3D”, para poder obtener el visor, cabe mencionar que debido que a la dificultad del diseño se realizó en dos partes, así obteniendo cada vez más un diseño acertado a un casco de motocicleta, Figura III-12.

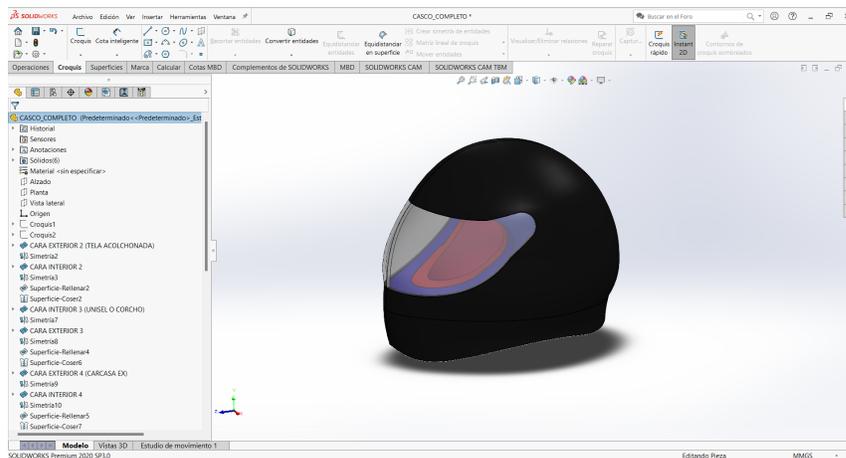


Figura III-12.- Termino del diseño del casco.

Una vez completado el diseño del casco en su mayoría se comenzó con la generación de la apertura propuestas para reducir el materia observados en los diseños de los bocetos propuestos al inicio, para ello generamos un croquis lateral, pero al generar este croquis lo generara en la parte media del casco, por lo que hacemos uso la herramienta “Geometría de referencia > Plano”, la herramienta nos permitirá general planos o croquis tomando como referencia otros puntos en este caso tomamos como referencia el la vista lateral del diseño y dándole un espacio de 160 mm, una es teniendo el nuevo plano podemos comenzar a generar los diseños de agujeros conceptualización en los bocetos del diseño Figura III-2.

Una vez generado el diseño de loa agujeros propuesto generaremos el corte de estos con la herramienta “Extruir corte”, esta herramienta como su nombre lo indica, a partir de diseños podemos generar un corte en una superficie, pero en este caso no necesitamos generar el corte a

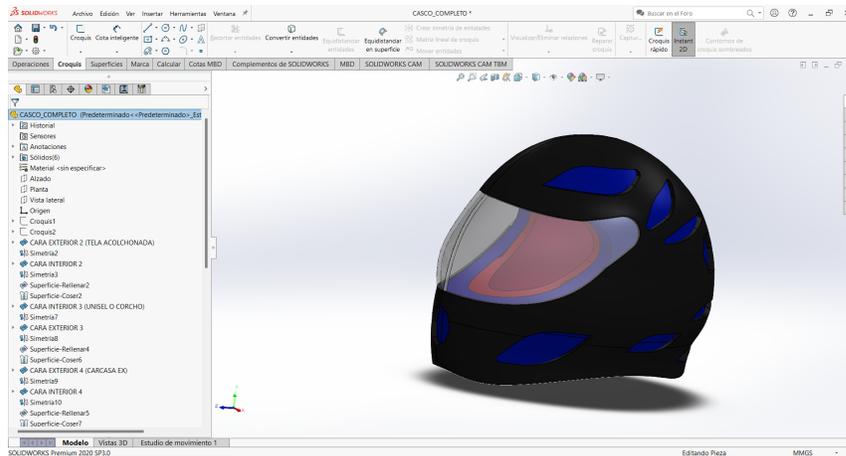


Figura III-14.- Termino del desarrolló de la propuesta del casco.

En la Figura III-15, podemos observar de una forma mas clara las distintas partes que comprenden el diseño desarrollado a lo largo de la realización del presente casco en el cual podemos observar las partes del casco de forma independiente en las cuales podemos observar de color roja la parte de acolchado del cascos el cual nos da la comodidad al colocarnos el cascos, siguiendo de color azul el material absorbente del casco el cual en caso de un impacto tiende a absorber la mayor cantidad de fuerza al impactar contra algún objeto, antes del último podemos encontrar la carcasa de color negro, la cual ayuda a proteger a los materiales antes mencionados, además de ser la primera barrera al impactar contra un objeto, y por ultimo podemos encontrar de color transparente o un color un poco gris el visor el cual nos ayuda a poder tener una visibilidad clara al momento de manejar, así como proteger nuestra vista de insectos al momento de estar manejando.



Figura III-15.- Vista de las distintas partes del casco desarrolladas.

Una vez terminado la generados el diseño del casco es necesario la generación de una cabeza, dicha cabeza tiene como fin poder realizar las pruebas pertinentes, dicha cabeza debe ser capaz de entrar en este diseño de cascos, teniendo esto en cuenta estos parámetros, comenzaremos desarrollando la cabeza.

Para desarrollar la cabeza haremos uso de las mismas herramientas siguiendo los paso antes mencionados para generar el diseño pero en una superficie, ya que no hacemos uso de una cabeza hueca, sino necesitamos que dicha cabeza sea un sólido o una pieza solida con el fin de tener el peso necesario para realizar las prueba, por ello solo se realizó una superficie es decir la superficie exterior tomando como referencia el diseño de la cabeza exportadas en imagen, cabe mencionar que al realizar las líneas pertinentes del contorno de la cabeza, se realizaron lo más acercada a la facciones de una cabeza humana una vez realizado se comenzó con el uso de la herramienta “Rellenar”, una vez generado la primera superficie pasaremos a desarrollar la siguiente que sería una “Simetría”, la cual nos ayudó a realizar el complemento de la cabeza, para posterior hacer usos de la herramienta “Rellenar”, la cual como ya se explicó ayudo a generar un parche en la parte de abaja, para posterior con ayuda de la herramienta “Coser superficie”, de esta manera se obtuvo la cabeza utilizada para generar las pruebas posteriormente Figura III-16.

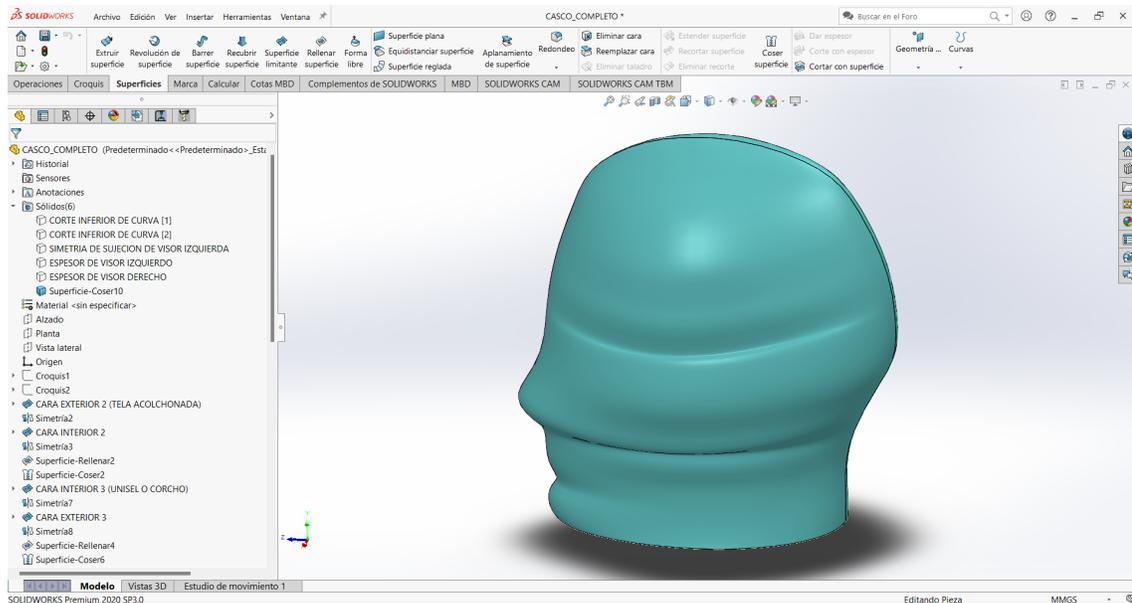


Figura III-16.- Desarrollo de la cabeza de pruebas.

Una vez terminada la cabeza, solo basta con ensamblarla con el diseño del casco para poder obtener una lista más clara de la percepción del diseño del casco en uso, pero para poder observar de una forma más realista se utilizó la herramienta “Renderizado”, la cual nos permite obtener el diseño del casco de una forma más realista visto desde una perspectiva visual, tratando de acercarse a como se puede ver el casco una vez manufacturado Figura III-17.

En la Figura III-18, también podemos observar el casco visto desde distintas vistas, las cuales son las mismas que se realizaron en los bocetos de cómo se pretendía que terminara el diseño del casco, teniendo esto en cuenta que se pretendió en acercarse al diseño propuesto, con esto podemos que se cumplió con el diseño del casco propuesta, con esto damos como terminado el desarrollo del diseño de los componentes del casco

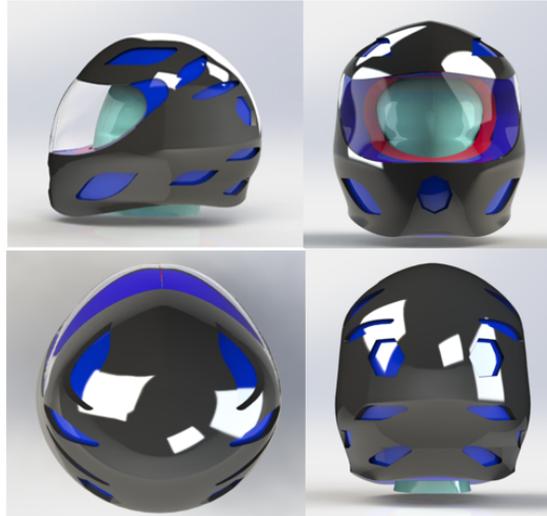


Figura III-17.- Distintas vistas del renderizado del casco.

Además del desarrollo de los componentes del casco, en la parte de software de SolidWorks se desarrolló uno de los componentes con el cual se desarrollará la prueba de atenuación de impacto, el cual consiste el desarrollo de un yunque de acero desarrollado de acuerdo a las especificaciones solicitadas en la norma mexicana en el apartado II.3.1.2.1.- Prueba de atenuación del impacto Figura III-18

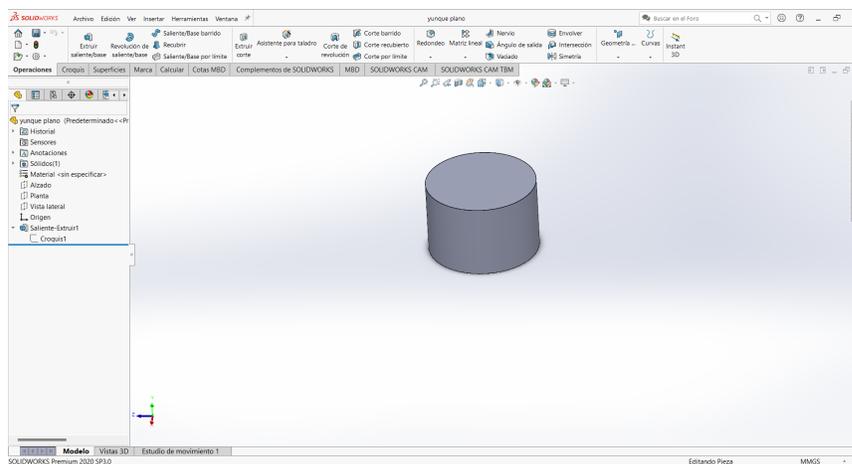


Figura III-18- Desarrollo del yunque de pruebas.

Una vez teniendo todos los componentes necesarios para el desarrollo de las pruebas de simulación solicitadas por la normativa.

CAPITULO IV.- ANALISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS



En el capítulo IV, "Análisis estructural mediante el método de elementos finitos", se presenta el uso del software HyperMesh para la creación de modelos detallados mediante mallado. Este software permite analizar estructuras subdivididas en elementos finitos, calculando tensiones y deformaciones con precisión para optimizar el diseño y evaluación de estructuras en ingeniería.

Una vez terminado de realizar los componentes del casco como se muestra en la Figura III-15, necesitaremos comenzar a mallar las piezas con la ayuda del software “HyperMesh”, el cual es un software que pertenece a la familia de CAE la cual nos permite crear modelos de elementos finitos, dicho software pertenece a la paquetería de Altair, este software como se mencionó anteriormente ayuda a generar una malla dicha malla se conforma a partir de vértices o nodos, los cuales se conectan a través de aristas con el fin de generar polígonos en las tres dimensiones, esto dependiendo de la superficie en la cual se está mallados de esta manera nos permite generar elementos finitos, la cual es una técnica numérica la cual se utiliza para resolver problemas de ingeniería y física como pueden ser estructuras sólidas, transferencia de calor, etc., debido a esto se puede utilizar en diferentes entornos los cuales ofrecen precisión y eficiencia al generar simulaciones.

Por ello primero debemos aislar los componentes, debido a que el diseño del casco se realizó en una sola pieza, es decir no se realizó en forma de un ensamble debido a que se realizó en forma de capas, por ello primero se comenzó por aislar los modelos, para ello dentro de la lista de operaciones que se encuentran del lado izquierdo buscamos la opción que tiene por nombre “Sólidos”, una la encontramos la seleccionamos de esta manera desprendió una pequeña lista en la cuales podemos ver los sólidos de todas las partes que se generaron a lo largo de diseño del casco.

Una vez teniendo identificados las distintas partes del casco se comenzó con seleccionar uno y dar clic derecho y seleccionar la opción “Insertar en nueva pieza” Figura IV-1

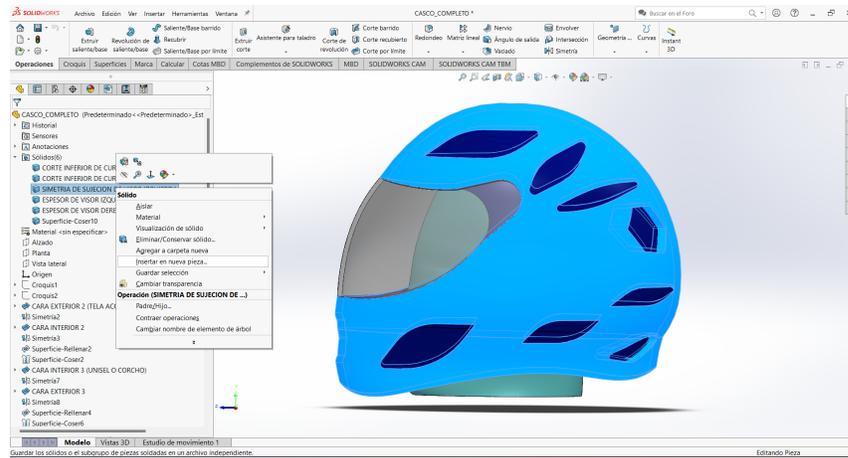


Figura IV-1.- Descomposición de las distintas partes del casco.

Después de aislar las piezas como se muestra en la Figura IV-2, podemos observar que la pieza que se aisló no se pueden editar las operaciones, debido a que a pesar de estar aislada tiene como madre el primer croquis o el diseño original de la pieza, por lo que en caso de querer editar la pieza será necesario recurrir a la pieza original y editarla desde ese diseño.

Al momento de querer aislar las pieza generaron problemas, aunque ahora se ve una forma muy simple de hacer esta acción, al momento de querer generar la acción se pensó que con ayuda con la herramienta de “Suprimir” las operaciones innecesarias para alguna de las partes del casco se podían guardar como una pieza nueva, más sin en cambio al tratar de realizar dichas acciones, se comenzaron a generar diseños absurdos los cuales no correspondían al diseño que se generó, por lo que se comprendió que a pesar de tratar de generar operaciones aisladas para cada una de las piezas estas seguían estando sujetas a las operaciones que se realizaron anterior a esa operación por lo que después de informarse, se pudo aislar las piezas con el método antes mencionado y hacer más fácil generar dicha acción, la cual es necesaria para acciones posteriores.

Se pensaría que al que sería más fácil generar piezas de manera aislada para posterior generar un ensamble y sí se pensó, más sin en cambió, se pensó que al hacer uso de dicha propuesta,

se generaría un mayor tiempo debido a los pequeños errores que se podía suscitar, más sin en cambio al realizarlo como se diseñó, esos pequeños errores se corrigieran al momento que aparecieran, de esta manera se fue eficiente en la generación del diseño del casco, además de permitir corregir los errores al momento, de esta manera no regresar a corregirlos en el futuro teniendo un mayor tiempo al diseñar el casco.

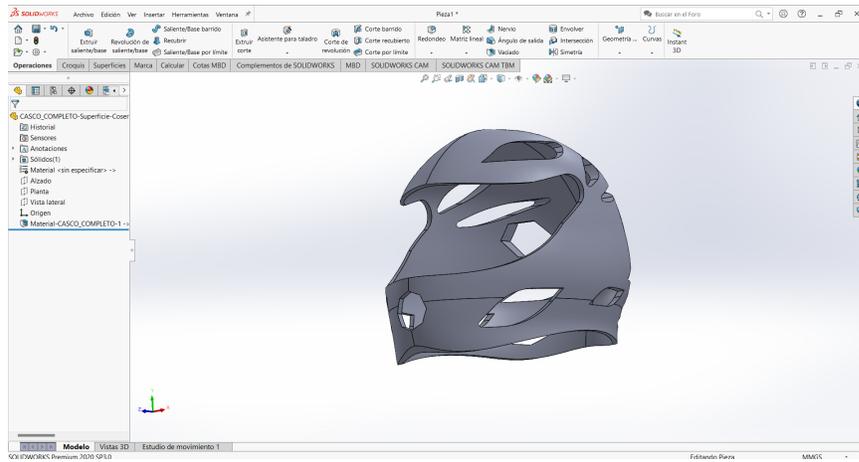


Figura IV-2.- Aislamiento de las piezas del casco.

Para poder trabajar el mallado en “HyperMesh”, es necesario cambiar al tipo de archivo con el que trabaja este software, debido a que si es otro tipo archivo la pieza no lo abre, por lo que guardaremos las distintas partes del casco, por ello le daremos clic en “guardar como” y al momento de seleccionar el tipo de archivo buscaremos “STEP AP214 (*.step,*.stp)”, en la lista que ofrece para guardar los archivos, cabe mencionar nuevamente que este proceso se debe de hacer para todas las partes del casco, de esta manera podemos comenzar a trabajar en HyperMesh Figura IV-3.

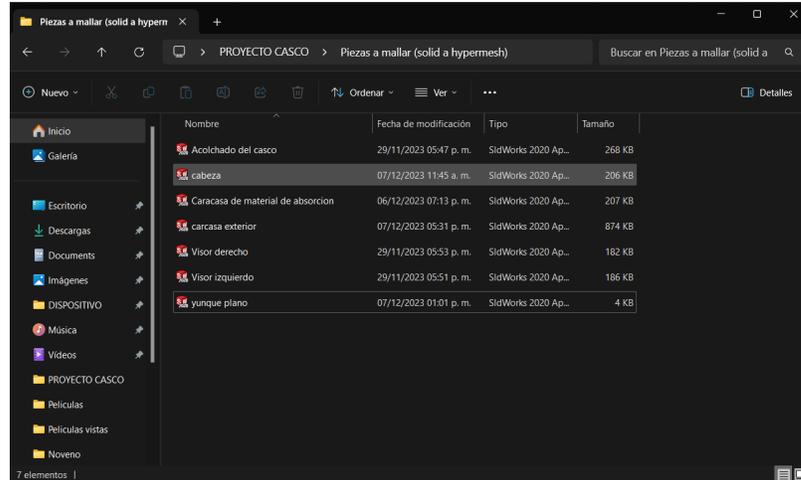


Figura IV-3.- Guardado de las piezas con un distinto tipo de archivo.

Teniendo todas las partes del casco guardados con el tipo de archivo STEP AP214 se dejaren en una sola carpeta de esta manera tenerlos en un mismo lugar, para posterior abrir el programa HyperMesh, el cual nos arrojó la pantalla principal donde se trabajará.

Para abrir los archivos nos dirigimos a la barra de opciones donde se dio clic en la cuarta opción en la fecha verde, donde nos arrojó un nuevo panel dentro del cual seleccionaremos la tercera opción en la que nos permitirá buscar el archivo en la opción de la carpeta, de aquí solo se buscó el primer archivo en este caso la carcasa, después solo le daremos importar para posteriormente cargar el archivo que seleccionamos y le daremos clic en cerrar Figura IV-4.

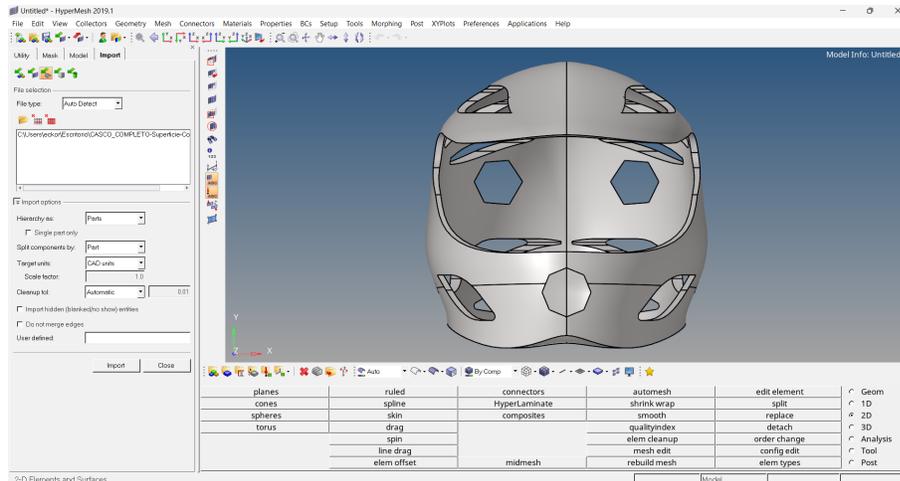


Figura IV-4.- Exportación de las piezas a mallar.

Después de que se tuvo el archivo abierto en HyperMesh se comenzó a mallar la carcasa del casco, para ello primero se debe explicar que, al momento de mallar, primero se mallar en una superficie 2D para posteriormente mallar 3D.

Otra de las cosas que se deben de tener en cuenta que al momento de mallar como ya se mencionó se genera un patrón de figuras de polígonos, en este software permite de generar los patrones de figuras como lo son cuadrados, triángulos y la opción mixta, cualquier opción se puede selección para mallar, dentro de la diferencia es que al formar dicho patrón generara un mayor o menor número de figuras dependiendo el que se elija, por ejemplo donde se genera un cuadrado se genera el doble de triángulos y al momento de generar en la simulación se demora el doble de tiempo debido al doble de calculo que se realizara en la simulara por los múltiples puntos de unión de la figuras Figura IV-5.

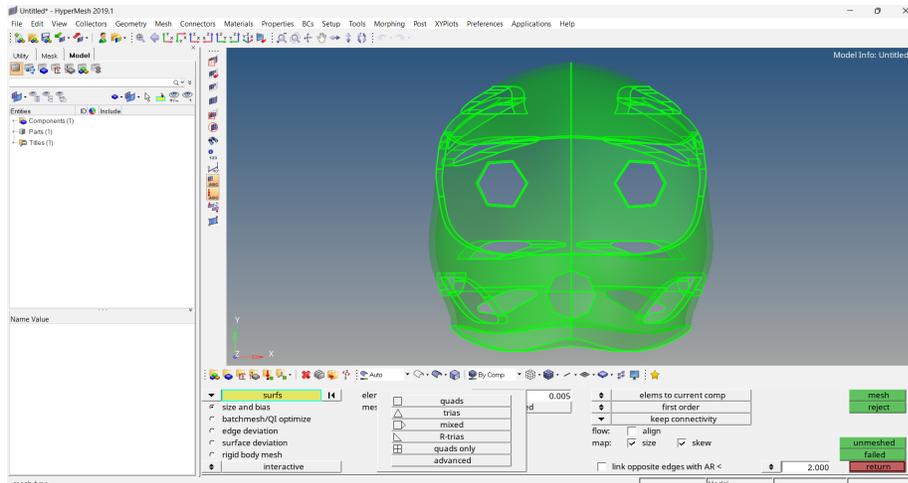


Figura IV-5.- Primeros pasos de mallado.

Además de lo anterior mencionado al momento de realizar el mallado es que el tamaño de las figuras que generaran el mallado deben ser similares, ya que no puede quedar dichas figuras unas de mayor o menor tamaño debido a que entorpecerán el análisis al momento de generar la simulación, no hay problema sí en algunos casos no permite generar completamente el cuadrado y genera triángulo, esto suele suceder donde la superficie es irregular, por lo que en caso de ser múltiples piezas donde es un ensamble solo de debe seleccionar un tipo de patrón para mallar todas las piezas Figura IV-6

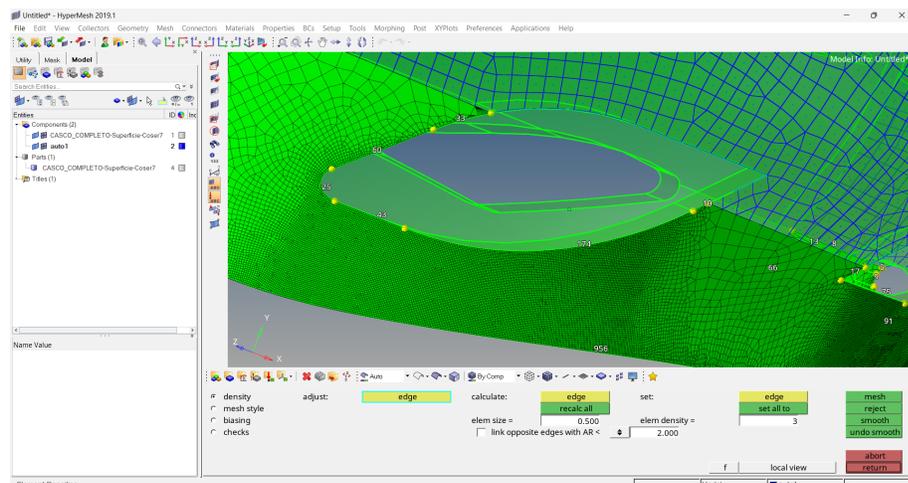


Figura IV-6.- Comentarios del mallado.

Al momento de comenzar a mallar se debe tener en cuenta los patrones que se generen, pero otra cosa que se deben tener en cuenta que existen dos formas de mallar que es la forma automática y la manual.

Dentro de las diferencias que se encuentran es como su nombre lo indica, otra de las cosas que las diferencia son el tiempo que se tarda en mallar debido a que en caso de mallarla de manera automática simplemente basta con seleccionar el área y se generara el mallado, en el caso de que se realice de forma manual es ir partiendo las superficies en pequeñas superficies para tener el control de los nodos generados, pero al generar este tipo de mallado se debe tener en cuenta la parte del tamaño de las figuras como se mencionó anteriormente, por lo que este tipo de mallado es más complejo debido a control que se debe tener de los nodos generados en las superficies que son irregulares, porque en superficies regulares es más fácil, además que debido a la complejidad del mallado en caso de que quede bien se ve mejor Figura IV-7.

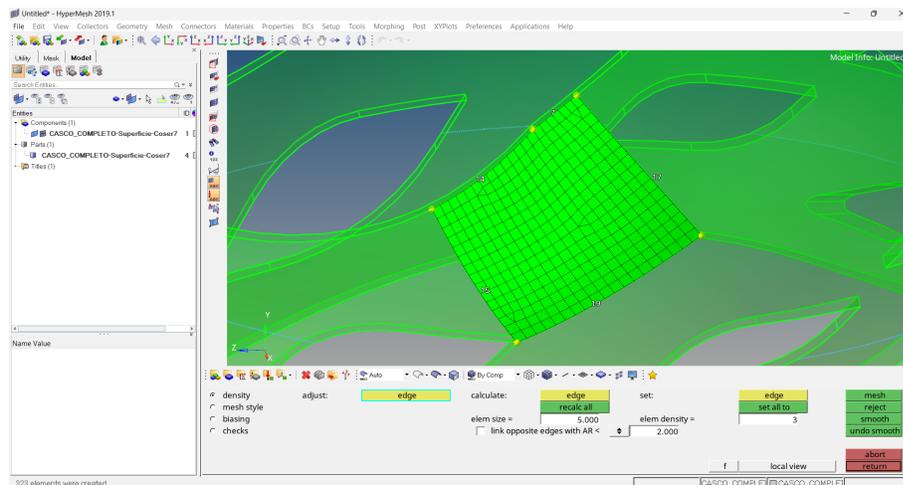


Figura IV-7.- Tipo de mallado manual.

Teniendo en cuenta lo anterior mencionado y como el diseño del casco es una forma irregular utilizaremos la forma mixta de esta manera que en los lugares donde no se puedan generar

cuadrados se generen los triángulos, además de eso haremos uso del mallado automático, para ser eficientes en el tiempo.

Una vez comprendido yo tomado las decisiones pertinentes pasaremos a desarrollar el mallado por ello estando en la página principal del software, se dirigió a la parte inferior izquierdo en el cual nos aparece distintas herramientas dependiendo lo que deseamos hacer en este caso primero nos dirigimos a la parte de “geometría” donde con la ayuda de esta herramienta podremos borrar las líneas que se nos generaron en la parte externa de la carcasa, dichas líneas se eliminan con la finalidad que al seleccionar la superficie a mallar no se corte y genere una nueva malla comenzando a distorsionar el mallado, de esta manera solo seleccionara una solo superficie, permitiendo una mallado uniforme.

Posteriormente al borrado de las líneas en las mismas herramientas buscaremos 2D dentro de esta herramienta encontraremos otras, pero nos dirigimos a automesh dentro de esta herramienta nos permite dos opciones de mallado, dentro de las cuales existe el mallado automático-manual y por tamaño.

El tipo de mallado automático-manual consiste en que genera el mallado en este podemos agregar más o menos nodos de esta manera agrandar o disminuir el tamaño de la figura, más sin en cambio el mallado por tamaño, el cual consiste en darle la distancia en la cual se encontrara los nodos, de esta manera generar las figuras de manera uniforme, así como de manera automática.

Debido a lo antes mencionado se optó por utilizar el mallado por tamaño en el cual se le dio la instrucción que cada nodo se realizaría a 0.5 mm de esta manera generar el mallado uniforme y previniendo que se entorpezca o tarde más la simulación debido a que algunas figuras son mas grandes que otras, de esta manera se prevé todos estos problemas Figura IV-8.

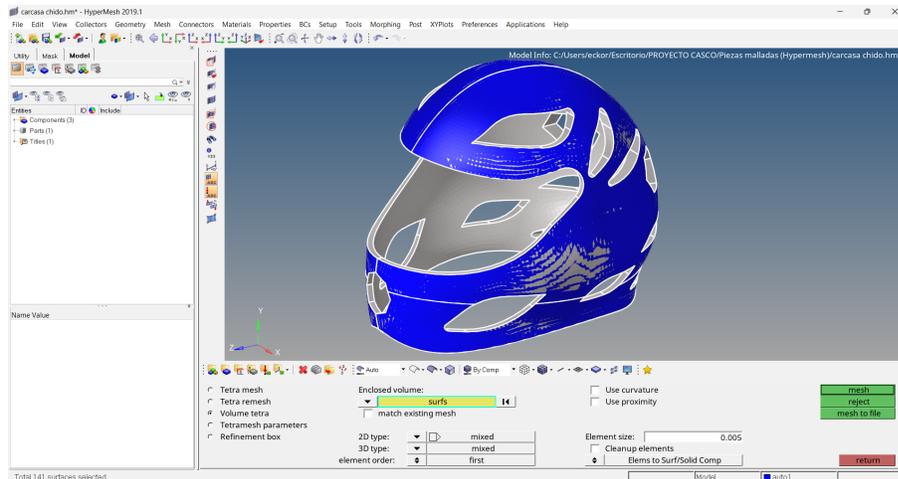


Figura IV-8.- Desarrollo del mallado en 2D.

Dentro del desarrollo del mallado en una superficie 2D, se generó un pequeño error el cual radicaba en el casco en el cual en algunas partes de la carcasa se generaba un mallado distinto es decir de la misma forma geométrica que algunas de estas se encontraban más pequeñas, por lo que se comenzó con la búsqueda de que suscitaba dicha acción, hasta que se encontró que se debía a que el casco pose líneas que lo parten, es importante mencionar que en el diseño no se encuentran, por lo que al importarlo al software se generaron, dichas líneas parten la carcasa en cuatro partes que las cuales serían la derecha e izquierda, la parte lateral superior e inferior, por lo que se procedió a eliminar dichas líneas en el apartado de geometría, se volvió a generar el mallado y quedo bien, con lo cual se solucionó el problema cabe resaltar que la misma situación sucedió en todas la partes del casco a excepción del visor.

Una vez de terminar de mallar se observó que se genera un tipo estampado en la parte exterior de la carcasa, se pensaría que solo es eso un estampado, mas sin en cambio al generar el mallado se busca replicar la forma del modelo que se exporto, en este caso del casco o carcasa, se pensaría que si se volverá a generar el diseño porque no simplemente no se generó desde un principio, pero esto se debe a la falta de herramientas para realizar modelos complejo, por eso

primero se generó en SolidWorks para posterior generar esa replica, porque al final es una réplica, debido a que al momento comenzara a generarlo pero mallado, este mallado nos ayuda a conocer los puntos a los cuales conectan, una forma más simple de verlo desde una perspectiva atómica donde podemos observar los átomos como se encuentran conectados, esto se realiza con el fin de conocer cómo se encuentran conectados y de qué manera se tienen efecto uno de otros al momento de simular, por eso es importante el generar una mallado o una réplica exacta del modelo generado, por ello aquí no termina el mallado ya que como se explicó anteriormente esta primera parte se genera en las superficies 2D, en este caso necesitamos generarlo en 3D ya que el casco posee un volumen, en primeras estancia se generó la parte de cascara de la carcasa en una superficie 2D con orientación 3D Figura IV-9.

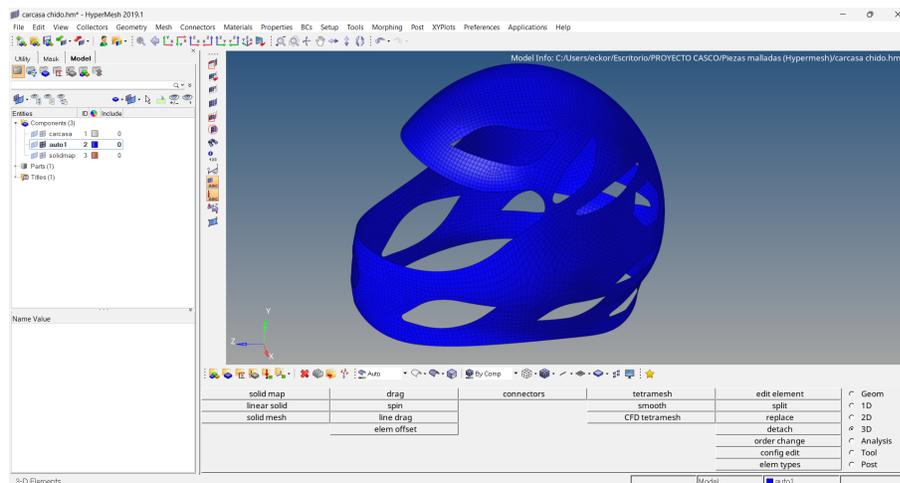


Figura IV-9.-Vista del mallado en 2D.

Después de comprender que es el mallado 2D, se generó el mallado en 3D el cual consiste en darle volumen a la pieza, para ello en el panel que se viene trabajando se buscó la herramienta 3D, dentro de esta herramienta se encontraron una variedad de opciones en las cuales se puede editar las líneas generadas en 3D así como generar el volumen del mallado pero debía a que es algo complejo, se optó por generar un volumen de mallado de manera automática haciendo más

fácil realizar dicha tarea, por ello dentro de esta buscaremos la opción “tetramesh”, dentro de esta opción al momento de generar de generar el mallado de forma automática se puede de distintas forma como son a partir de parámetros establecidos, superficies, nodos, líneas, es decir esta opción de mallado automático se acomoda a como se quiera mallar si una forma compleja o simple.

En el desarrollo del mallado 3D automático se optó por la forma más simple la cual se encuentra con el nombre “Volume tetra” en esta opción cuenta con dos opciones la cual es seleccionar todo el sólido o seleccionar las superficies en las que únicamente se desea que se genera, eso ya depende del modelo que se busca generar.

Al momento de generar el “volumen tetra”, se pensó que la opción mas viable seria simplemente seleccionar el sólido, más sin en cambio al momento de generarlo comenzaba a generar errores es decir se formaban diseños completamente separados del diseño seleccionado, dicha situación se replicaba en la mayoría de las piezas, después de realizar investigación y muchas pruebas se llegó a la conclusión que al momento de seleccionar el sólido el software lo entendía como si fuera una esfera, pero debido a los cortes que poseía, no comprendía el modelo y generaba dichos errores.

Después de haber tenido dichos errores, se probó con la opción de seleccionar la superficie y dio un poco menos de errores, pero no se generaba de la forma en la cual se encontraba el diseño, pero después de realizar bastantes pruebas que debido a que tiene bastantes cortes el programa no comprendía, por lo que se comenzó a seleccionar todas las superficies con el fin de que el programa contara con una mayor cantidad de referencias comenzando a comprender el diseño, además en superficies muy larga se generaban líneas con el fin de que el programa entendiera que es una superficie redondeada.

Después de haber comprendido lo anterior se obtuvieron los resultados que se buscaban, desarrollando diseños mallados lo más apegado al diseño originales Figura IV-10.

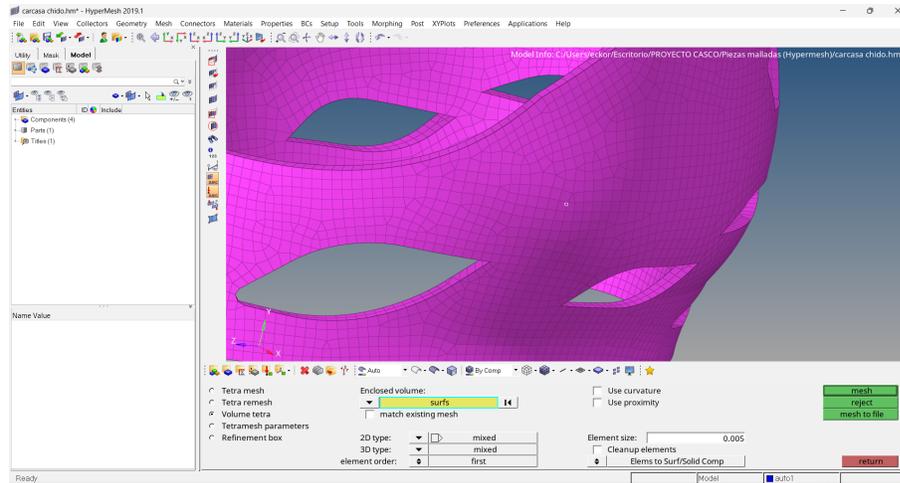


Figura IV-10.- Mallado en 3D

Después terminar de generar el mallado de todas las piezas se guardaran para ello es importante el comentar que para esto los archivos de guardaran de una forma distinta, debido a que LS-DYNA acepta archivo distintos en comparación al tipo de archivo que ocupa HyperMesh, por ello para exportarlos nos dirigimos a la parte superior derecha, seleccionando la opción cinco la cual tiene una flecha roja, dentro de esta seleccionaremos la opción dos, en la cual nos permitirá generar archivos para LS-DYNA, para esto se seleccionó el software a cual se exporta, la versión (aquí se selecciona la más reciente que nos permita), después seleccionaremos donde se guardara y con que nombre, es importante que en este apartado al final de donde se colocó el nombre del archivo se coloque “.k”, de esta manera DYNA nos permitirá abrir los archivos, una vez terminado bastara darle clic en “exportar” y con esto habremos terminado, es importante que dicho proceso se debe de hacer con todas la piezas Figura IV-11.

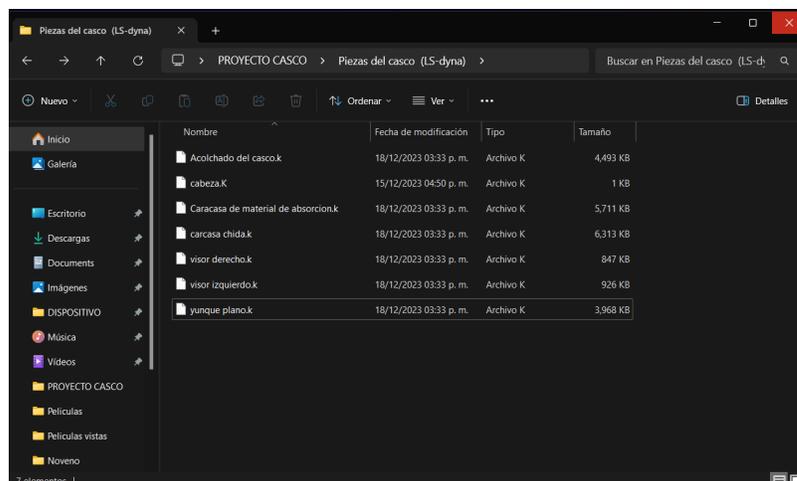


Figura IV-11.- Guardado de piezas para uso de LS-DYNA.

Teniendo todas las partes del casco se procedió da desarrollar la comparación del cascos en uno de los puntos más importantes ya que se compete en el desarrollo de comparar si el nuevo diseño del casco que se encuentra proponiendo es capaz de suplir a los que se encuentran en el mercado actualmente.

Para conocer si cumplen el diseño del casco se realizó una sola prueba de las que se mencionan en la normativa tanto en la norma mexicana como en las homologaciones, esta prueba se realizó con el fin de conocer si el diseño propuesto cumple con el proteger ante un impacto, por ello se desarrolló de la prueba es la de prueba de atenuación de impacto la cual se puede consultar en el punto II.3.1.2.1.-.

Para el desarrollo de dicha prueba se desarrollará en una simulación el programa LS-DYNA en cual se abordó en el punto II.5.2.2.-, la cual es capaz de simular el comportamiento de los objetos bajo estrés o cargas de esta manera conocer sí la nueva propuesta del diseño del casco es capaz de seguir protegiendo la cabeza del ser humano en caso de un impacto.

Comenzando con el desarrollo de la simulación primero debemos iniciar el programa Figura IV-12 en el cual en la ventana principal seleccionaremos “LS-PrePost”, en el cual seleccionamos el que posee el mismo nombre y tiene como inicio “Start”, con esto nos cargara otra aplicación la cual comenzara con el inicio de LS-DYNA.

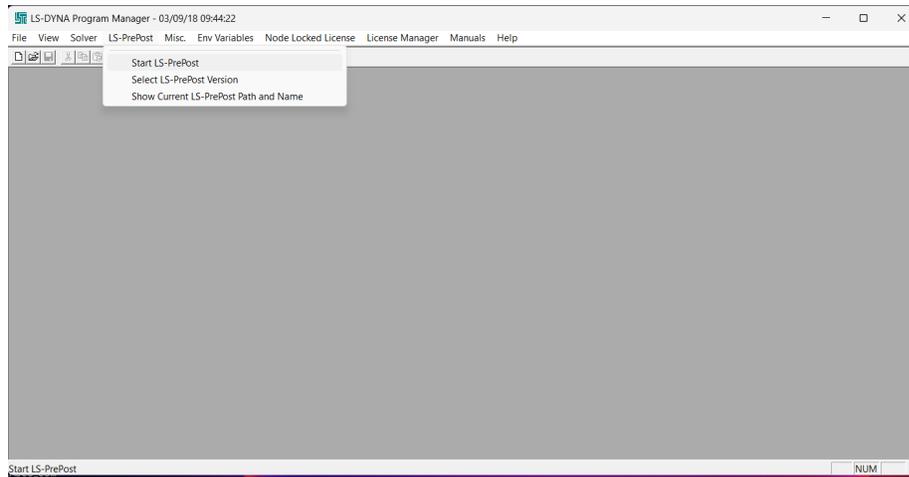


Figura IV-12.-Página principal de LS-DYNA.

Antes de comenzar es importante mencionar que el software de LS-DYNA maneja una gran variedad de unidades de medida, para sus distintos parámetros que maneja, por lo que se deje elegir las unidades de medida con las que se trabajaran para ello hacemos uso de la lista de opciones que nos presenta LS-DYNA, como se muestra en la Figura IV-13, en el caso de este proyecto se realizó uso de la fila número 9.

MASS	LENGTH	TIME	FORCE	STRESS	ENERGY	DENSITY	YOUNG's	35MPH 56.33KMPH	GRAVITY
kg	m	s	N	Pa	J	7.83e+03	2.07e+11	15.65	9.806
kg	cm	s	1.0e-02 N			7.83e-03	2.07e+09	1.56e+03	9.806e+02
kg	cm	ms	1.0e+04 N			7.83e-03	2.07e+03	1.56	9.806e-04
kg	cm	us	1.0e+10 N			7.83e-03	2.07e-03	1.56e-03	9.806e-10
kg	mm	ms	kN	GPa	kN-mm	7.83e-06	2.07e+02	15.65	9.806e-03
g	cm	s	dyne	dyne/cm ²	erg	7.83e+00	2.07e+12	1.56e+03	9.806e+02
g	cm	us	1.0e+07 N	Mbar	1.0e+07 Ncm	7.83e+00	2.07e+00	1.56e-03	9.806e-10
g	mm	s	1.0e-06 N	Pa		7.83e-03	2.07e+11	1.56e+04	9.806e+03
g	mm	ms	N	MPa	N-mm	7.83e-03	2.07e+05	15.65	9.806e-03
ton	mm	s	N	MPa	N-mm	7.83e-09	2.07e+05	1.56e+04	9.806e+03
lbf-s ² /in	in	s	lbf	psi	lbf-in	7.33e-04	3.00e+07	6.16e+02	386
slug	ft	s	lbf	psf	lbf-ft	1.52e+01	4.32e+09	51.33	32.17
kgf-s ² /mm	mm	s	kgf	kgf/mm ²	kgf-mm	7.98e-10	2.11e+04	1.56e+04	9.806e+03
kg	mm	s	mN	1.0e+03 Pa		7.83e-06	2.07e+08		9.806e+03
q	cm	ms	1.0e+1 N	1.0e+05 Pa		7.83e+00	2.07e+06		9.806e-04

Figura IV-13.- Unidades de medida que utiliza LS-DYNA

Después de seguir los pasos anteriores inicio el programa de LS-DYNA, dentro del cual comenzaremos por importar las piezas desarrolladas nos dijimos la siguiente ruta “File>Import>LS-DYNA Keyword file”, tomando la ruta anterior, se importaron las piezas de esta manera permitiendo comenzar con el desarrollo de la simulación.

Después de importar las piezas es necesario comenzar con el ajuste de la piezas para comenzar con la configuración y colocación de los parámetros para que tomando en cuenta todos los parámetros generar la simulación y poder obtener una simulación lo más realista posibles, teniendo una respuesta clara si el diseño es capaz de ser competitivo y poder cumplir con lo solicitado por la norma, además de poder garantizar la seguridad del cliente con el casco que se está ofreciendo.

Una vez que se importaron las piezas se realizó un pequeño ajuste el cual consiste en eliminar las piezas que se exportaron en 2D, debido a que únicamente se trabajaran con las de 3D, dichas figuras en 2D, surgen al desarrollar el mallado, dichas piezas se eliminan con el fin de que surjan problemas posteriormente Figura IV-14.

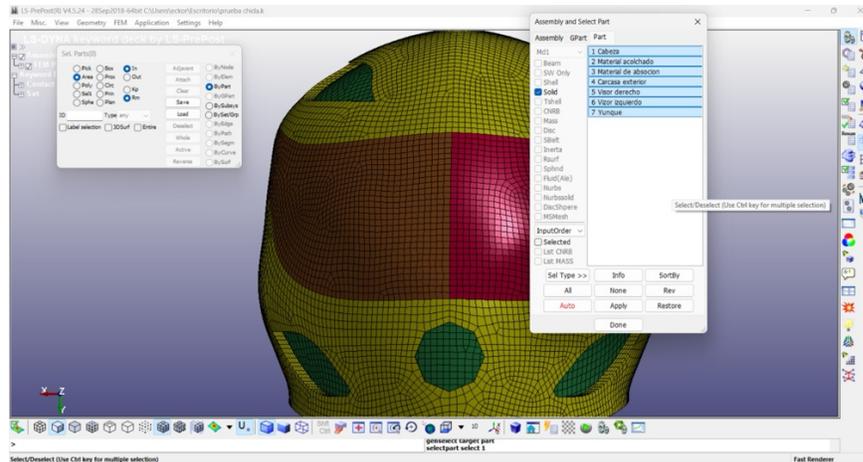


Figura IV-14.- Borrado de partes innecesarias.

Una realizado la configuración de eliminación de las partes que no se utilizaran, además de las partes del casco se agregó el yunque con el que se generara la simulación de impacto, teniendo esto se comenzó con la configuración de las características con la que partirá la simulación Figura IV-15

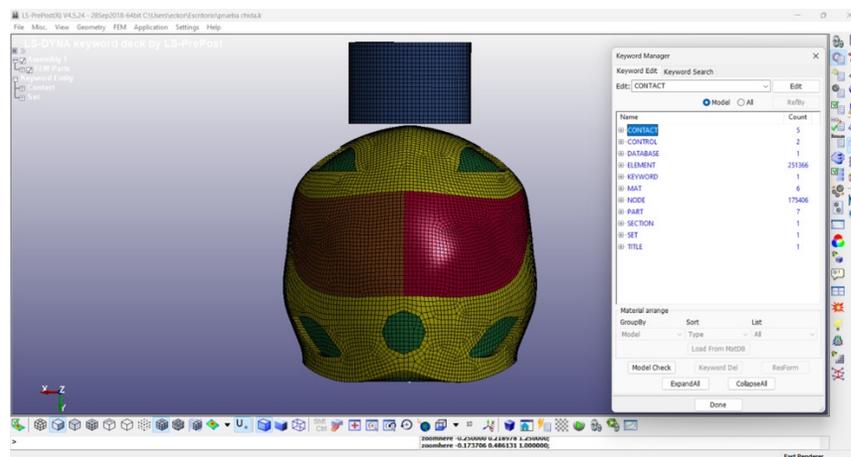


Figura IV-15 Parámetros a configurar.

Como se puede ver en la figura se configuro la altura del casco con respecto al yunque, ya que de acuerdo a la normativa en el punto II.3.1.2.1.- nos hace mención que la altura se debe realizar a 5.4 metros, por lo que opto que se generara con el fin de que la simulación no tardara

demasiado en generarla debido a la altura, para ello se generó el cálculo necesario con la ayuda de la Ecuación II-2.; de esta manera poder conocer la velocidad a la que se encontraría a cierta distancia, con fines de reducir lo máximo lo que tardaría en generar el impacto y evitar el generar datos de más o incensarios se configuro para que el casco de encontrar a 20 milímetros, conociendo esto se desarrolló el siguiente calculo:

Datos:

Altura sugerida :5.4 m

Altura propuesta: 0.02 m

Gravedad: 9.81 m/s²

Calculo:

Formula:

$$v = \sqrt{2g * h}$$

$$v = \sqrt{2(9.81 \text{ m/s}^2) * (5.4 \text{ m} - 0.02 \text{ m})}$$

$$v = 10.274 \text{ m/s}$$

Después de haber desarrollado la formulas, para poder conocer la velocidad , podemos pasar al siguiente punto la cual consiste configurar los parámetros para simular pera ello podemos observar en la Figura IV-15 en la cual marca que se configuraron 10 características las cuales nos permitieron hacer funcionar la simulación, sería algo muy extenso, además de que es un proyecto de tesis no es una guía, por lo que de manera general se configuraron las características que se muestran, donde de manera general se explican las principales características, ya que se generaron características donde únicamente muestra las partes, las piezas que son solida que en este caso todas, los nodos y los títulos de las pastes, las características como la gravedad, etc; por continuación se explican las principales:

La pared de contacto, dicha característica nos permite configurar de qué manera se encuentran conectadas, permitiéndonos que no se separen las piezas del casco, así como especificar que parte del casco hace el primer contacto contra el yunque y de esta manera se comienza a comportar sin salir del eje principal.

Tenemos también el control, donde especificamos el tiempo en cual transcurrirá dicha simulación.

Por último la más importantes de las características que se configuraron fueron los materiales, este fue uno de los puntos o características más cruciales al momento de desarrollar la simulación, debido a que LS-DYNA, pide ciertos aspectos de los materiales, los cuales permiten conocer de qué manera se comportaran al realizar la prueba, por lo que se comenzó con un análisis, de comenzar a entender los materiales que se utilizaran, por lo que se realizó un repaso de lo que se había abordado a lo largo de CAPITULO II.-.

Como sabemos en la actualidad los cascos de motocicleta que se encuentran en el mercado son fabricados de dos tipos de materiales principalmente que son: el acrilonitrilo butadieno estireno o conocido comercialmente ABS y por fibra de carbono, estos materiales son los que principalmente se utilizan para la fabricación de la carcasa del casco, esta carcasa es la primera en recibir el impacto ante una colisión.

Teniendo en cuenta la información antes mencionada se comenzó por buscar los materiales que actualmente se utilizan en la impresión 3d, teniendo esto en cuenta se buscó dicho filamentos encontrando una gran gama de ellos, dentro de estos materiales que se utilizan en la impresión 3d se encuentran los materiales clásicos y los materiales especiales dichos materiales se encuentran mejoras para poder resistir una mayor fuerza al recibir un impacto debido a sus propiedades son

mejores, dentro de estos materiales especiales podemos encontrar los materiales que se encuentran reforzados con fibra de carbono.

Dentro de los materiales que se encuentran reforzados con fibra de carbono podemos encontrar: el Nylon reforzado con fibra de carbono, ABS reforzado con fibra de carbono, PLA reforzado con fibra de carbono, PC (Policarbonato) reforzado con fibra de carbono, PETG reforzado con fibra de carbono, estos son los materiales que se encuentran a la venta de filamentos con fibra de carbono dentro de estos filamentos reforzados podemos destacar los principales con una mayor dureza los cuales son: el Nylon reforzado con fibra de carbono, ABS reforzado con fibra de carbono, PC (Policarbonato) reforzado con fibra de carbono, una vez teniendo esto en cuenta se tomaran estos filamentos para la realización del estudio, buscando tener unos resultados óptimos, obteniendo niveles altos de rendimiento y resistencia a la fractura de esta manera poder salvaguardar la cabeza del usuario.

La evaluación de los materiales para optimizar el diseño del casco, debemos comenzar con conocer los materiales que son utilizados en la elaboración de los cascos de motocicleta que existen actualmente en el mercado.

Los materiales que se utilizan en el desarrollo del casco de motocicleta que se encuentran actualmente en el mercado constan de 3 principales materiales los cuales son utilizados en la construcción de la carcasa protectora del casco, dicha carcasa es la que se encuentra en la parte exterior del casco la cual la podemos visualizar en la parte de marco teórico partes del casco.

Dentro de los materiales utilizados podemos encontrar la fibra de carbono la cual proporciona una mayor protección debido a las propiedades químicas y mecánicas del material, pero debido a que posee características muy confiables al momento de un impacto, dando como resultado que los cascos que incorporan una carcasa de este tipo de material son muy caros.

Otro de los materiales comúnmente utilizados en la fabricación de la carcasa podemos encontrar el ABS. Este material es el que mayormente se utiliza al momento de fabricación de la carcasa de los cascos que se encuentran en el mercado, debido a su bajo costos de material, además de ofrecer propiedades químicas y mecánicas que ofrecen una resistencia adecuada en caso de impacto. Por estas cualidades, se ha convertido en uno de los materiales más utilizados en la producción de cascos.

El ultimo material utilizado al momento de fabricación de la carcasa de un casco podemos encontrar el polipropileno, aunque es menos común debido a su fragilidad frente a impactos fuertes. Se emplea en cascos donde se estima que los impactos recibidos no serán tan intensos, lo que lo convierte en una opción menos frecuente debido a esta característica

Los materiales utilizados a pesar de tener cada uno sus pros y contra son materiales utilizados en el desarrollo de la carcasa, son materiales que son capaces de pasar las pruebas que pide la normativa vigente para la fabricación de cascos.

Una vez identificado los materiales que son utilizados en la fabricación de la carcasa de los cascos, es necesario buscar materiales que sean capaz de suplir dichos materiales, pero deben ser orientados a la fabricación por impresión 3D. Por ello se buscaron materiales que son utilizados en la impresión 3D, dentro de los materiales que se encontraron se encuentran:

- ④ PLA
- ④ ABS
- ④ PC
- ④ PVA
- ④ TPU

- ⊕ PET
- ⊕ Nylon
- ⊕ HIPS
- ⊕ PET-G

Entre estos materiales, se identificó una amplia gama de opciones que pueden utilizar para la fabricación de la carcasa. Sin embargo, es importante mencionar que no todos los materiales que se mencionan son capaces de suplir a los materiales que se utilizan en la fabricación de la carcasa tradicionalmente. Por ello se generó un filtro el cual consistía en solo tomar en cuenta los materiales que posean una dureza capaz de soportar la pruebas además de ser un material rígido, una vez realizado este filtro se pudo encontrar los materiales que son los posibles candidatos para el proceso de fabricación de la carcasa de este proyecto.

Para la investigación de las propiedades mecánicas se optó por buscar dichas propiedades en el buscador de Google académico. Sin embargo, rápidamente se notó la escasez de información disponible sobre estas propiedades. Además, se observó que las medidas proporcionadas en tesis, artículos e incluso casos de estudio variaban considerablemente en sus parámetros, lo que dificultaba la obtención de datos consistentes.

Después de tomar conciencia de esta situación, se decidió buscar la ficha técnica de diferentes filamentos, incluyendo información sobre sus características, propiedades químicas y mecánicas, en páginas web de proveedores especializados Figura IV-16.

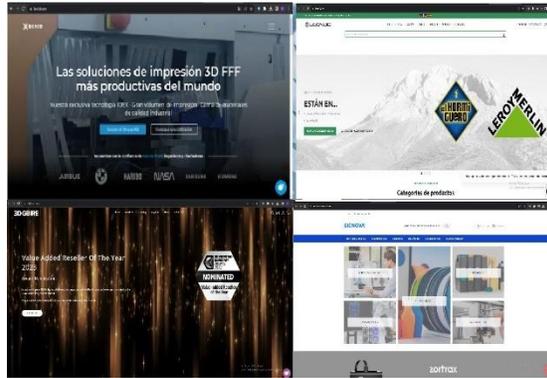


Figura IV-16 Algunas de las páginas donde se obtuvieron las propiedades mecánicas.

La página web de los proveedores ofrece una amplia gama de productos para los clientes. Además, dentro de esta página se encuentra lo que se necesita para evaluar las propiedades mecánicas de los filamentos, las cuales se pueden encontrar en las fichas técnicas de los materiales que se piensan ocupar para el desarrollo de la carcasa del casco, permitiendo obtener las propiedades mecánicas de cada uno de estos filamentos (Figura IV-17).

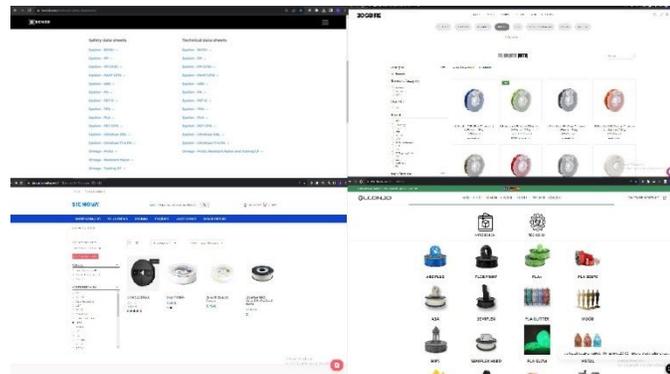


Figura IV-17.- Páginas web de algunos de los proveedores del material del filamento de impresión 3D

Cabe mencionar que estas empresas ofrecen una amplia gama de filamentos disponibles para la venta, junto con las fichas técnicas que detallan las propiedades químicas y mecánicas de cada uno. Además, están introduciendo una nueva variedad de filamentos con características mejoradas que los hacen más resistentes, gracias a sus nuevas propiedades.

La búsqueda de las propiedades mecánicas de los materiales es con el fin de poder realizar la prueba de impacto en el casco, dentro de estas propiedades debemos conocer unas en particular debido a que son las propiedades que solicita el software para llevar a cabo la simulación de impacto las cuales son: Densidad de la masa, Módulo de Young, Relación de Poisson, Estrés por rendimiento, estas son la propiedades mecánicas que solicita el software de LS-DYNA de los materiales, las cuales permitirán al software conocer cómo reaccionara el material ante la simulación del impacto Figura IV-18.

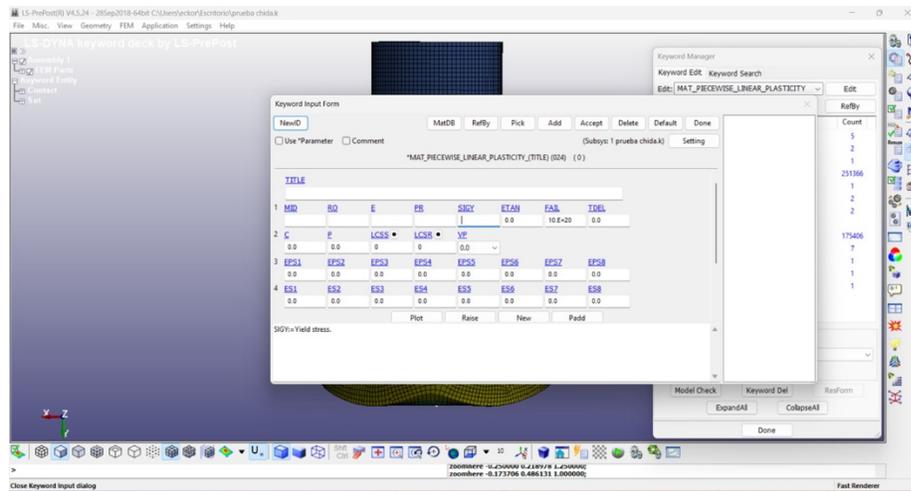


Figura IV-18.- Propiedades mecánicas solicitadas en LS-DYNA.

Para conocer las propiedades mecánicas de los materiales seleccionados en el punto anterior, se buscaron en páginas como son: MatWeb, UL Prospector, ASTM International, estas páginas permiten conocer algunas de las propiedades mecánicas de los materiales Figura IV-19.



Figura IV-19 Páginas web de propiedades mecánicas de los materiales.

Además, consultar las páginas web mencionadas anteriormente se consultaron las fichas técnicas de los materiales proporcionadas por los proveedores Figura IV-20.

3DXTECH Advanced Materials				3DXTECH Advanced Materials				3DXTECH Advanced Materials			
TDS Rev				TDS Rev 3.0				TDS Rev 3.0			
Technical Data Sheet: CarbonX™ Carbon Fiber ABS 3D Printing Filament				Technical Data Sheet: CarbonX™ Carbon Fiber Polycarbonate 3D Printing Filament				Technical Data Sheet: CarbonX™ Carbon Fiber Nylon (Giers) 3D Printing Filament			
Physical Properties	Standard	Unit	Typical Value	Physical Properties	Standard	Unit	Typical Value	Physical Properties	Standard	Unit	Typical Value
Density	ISO 1183	g/cc	1.11	Density	ISO 1183	g/cc	1.36	Density	ISO 1183	g/cc	1.17
Mechanical Properties	Standard	Unit	Typical Value	Mechanical Properties	Standard	Unit	Typical Value	Mechanical Properties	Standard	Unit	Typical Value
Tensile Strength, Break	ISO 527	MPa	46	Tensile Strength, Break	ISO 527	MPa	70	Tensile Strength, Break	ISO 527	MPa	63
Tensile Modulus	ISO 527	MPa	5210	Tensile Modulus	ISO 527	MPa	6200	Tensile Modulus	ISO 527	MPa	3800
Tensile Elongation, Break	ISO 527	%	2	Tensile Elongation, Break	ISO 527	%	2	Tensile Elongation, Break	ISO 527	%	3
Flexural Strength	ISO 178	MPa	76	Flexural Strength	ISO 178	MPa	90	Flexural Strength	ISO 178	MPa	84
Flexural Modulus	ISO 178	MPa	5260	Flexural Modulus	ISO 178	MPa	5890	Flexural Modulus	ISO 178	MPa	3750
Thermal Properties	Standard	Unit	Typical Value	Thermal Properties	Standard	Unit	Typical Value	Thermal Properties	Standard	Unit	Typical Value
Glass Transition Temperature (Tg)	DSC	°C	105	Glass Transition Temperature (Tg)	DSC	°C	143	Glass Transition Temperature (Tg)	DSC	°C	70
Deflection Temperature at 0.45 MPa (66psi)	ISO 75	°C	76	Deflection Temperature at 0.45 MPa (66psi)	ISO 75	°C	135	Deflection Temperature at 0.45 MPa (66psi)	ISO 75	°C	147
Electrical Property	Standard	Unit	Typical Value	Electrical Property	Standard	Unit	Typical Value	Electrical Property	Standard	Unit	Typical Value
Surface Resistance	ASTM D257	Ohm/sq	>10 ¹¹	Surface Resistance	ASTM D257	Ohm/sq	>10 ¹¹	Surface Resistance	ASTM D257	Ohm/sq	>10 ¹¹
Printed Specimen Conditions				Printed Specimen Conditions				Printed Specimen Conditions			
Printer: Open Source FDM/FFF				Printer: Open Source FDM/FFF				Printer: Open Source FDM/FFF			
Nozzle: 0.4mm				Nozzle: 0.4mm				Nozzle: 0.4mm			
Layer Height: 0.25mm				Layer Height: 0.25mm				Layer Height: 0.25mm			
Infill: 100%, +/- 45°				Infill: 100%, +/- 45°				Infill: 100%, +/- 45°			
Extrusion Temp: 230°C				Extrusion Temp: 300°C				Extrusion Temp: 275°C			
Bed Temp: 110°C				Bed Temp: 140°C				Bed Temp: 80°C			
Specimen Orientation: XY Flat				Specimen Orientation: XY Flat				Specimen Orientation: XY Flat			
www.3dxtech.com				www.3dxtech.com				www.3dxtech.com			

Figura IV-20 Ficha técnica proporcionada de las propiedades mecánicas del filamento.

Investigando en estas distintas fuentes como son las páginas web, así como las fichas técnicas de los materiales se generó la Tabla IV-1 y Tabla IV-2, donde podemos encontrar la información solicitada por el software de simulación, de esta manera se comienza con uno de los principales puntos de este proyecto, ya que con esta información se podrá conocer cómo se comportará el casco que se diseñará en puntos próximos ante la prueba antes mencionada.

Tabla IV-1.- Propiedades mecánicas de las partes del casco.

Propiedades mecánicas	Filamento - PA12 +CF	Filamento - ABS+CF	Filamento - PC+CF	poliestireno expandido (EPS)	Etilvinilacetato (EVA)	Policarbonato	Aleación de magnesio
Densidad de la masa	0.00121 g/mm ³	0.00105 g/mm ³	0.00126 g/mm ³	0.0035 g/mm ³	0.00121 g/mm ³	0.00121 g/mm ³	0.0017 g/mm ³
Módulo de Young	5500 MPa	3200 MPa	6390 MPa	7600-10700 MPa	700 MPa	2000 - 2440 MPa	45000 MPa
Relación de Poisson	0.34 - 0.36	0.391 - 0.422	0.391 - 0.408	0.383 - 0.403	0.35	0.391 - 0.408	0.291
Limite elástico	104 MPa	47 MPa	69 MPa	0.2 a 0.3 MPa	47 MPa	65 MPa	100 MPa

Tabla IV-2 Propiedades mecánicas del yunque y la cabeza.

	Acero	Aleación de magnesio
Densidad	0.00785 g/mm ³	0.0017 g/mm ³
Relación de Poisson	0.32	0.291
Módulo de Young	70000 MPa	45000 MPa

Después de haber buscado las propiedades mecánicas solicitadas por parte de LS-DYNA, se agregaron habiendo una minuciosa observación de que se colocara el material a la parte adecuada, por lo que en caso de que no se agregara a la parte adecuada, los resultados generados no serían los correctos, por lo que se aseguró que dichas propiedades puedan ser las correctas para cada parte del casco Figura IV-21.

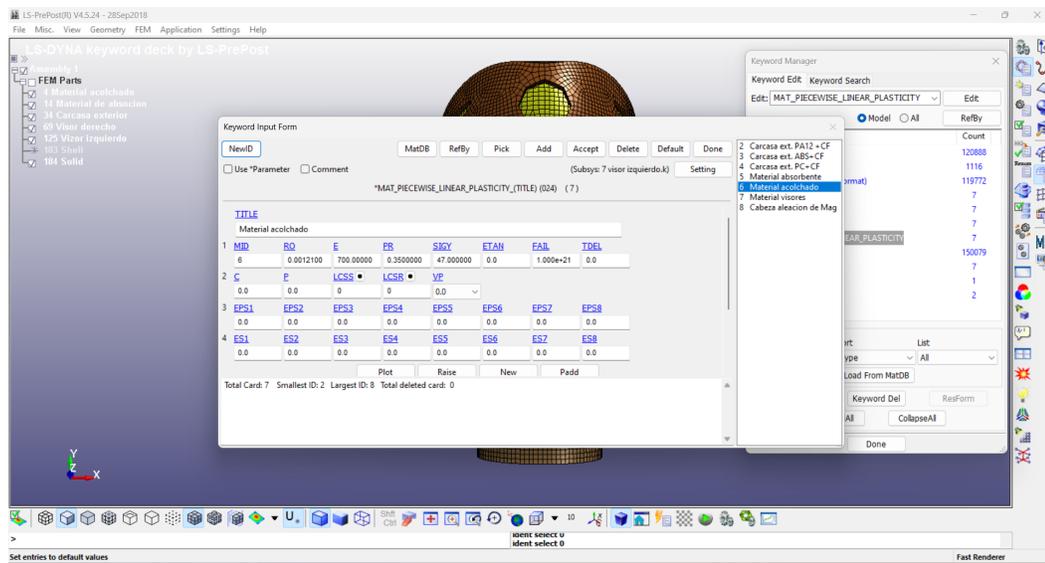
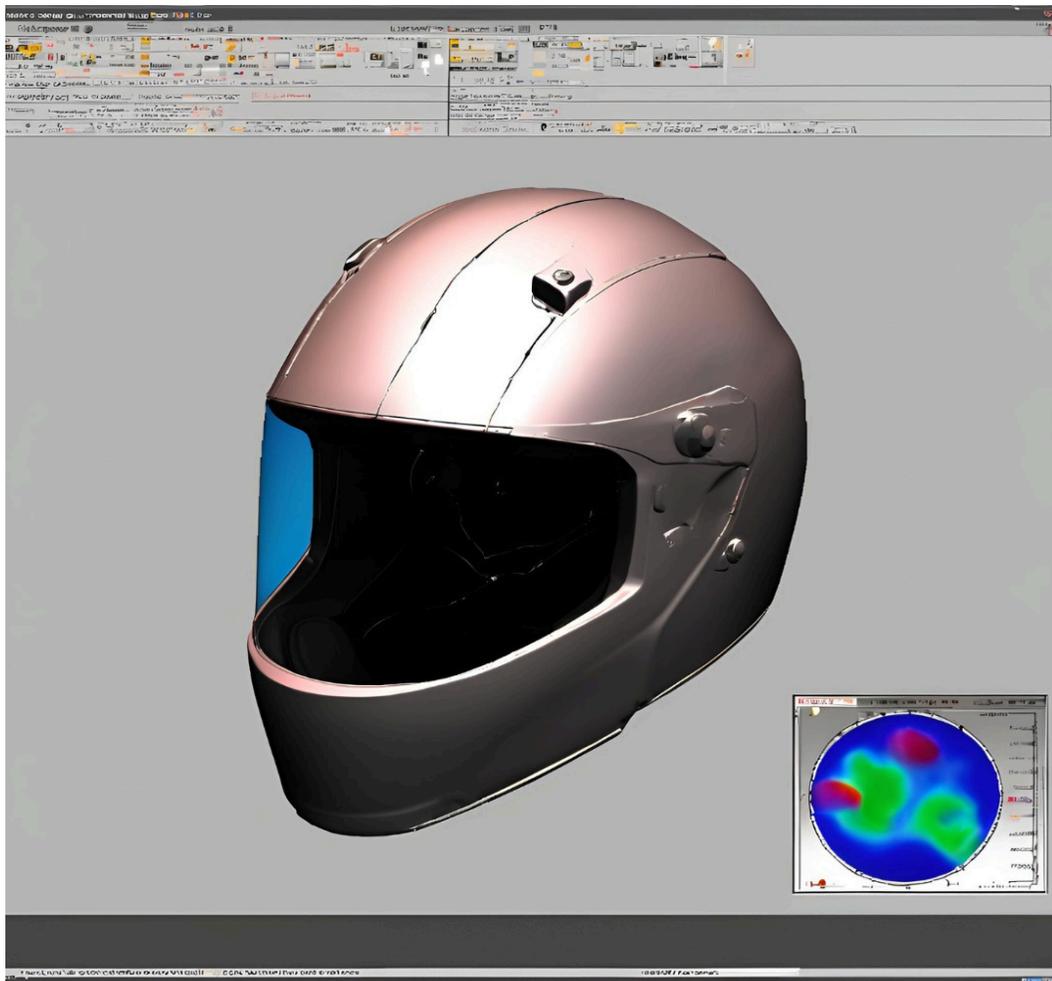


Figura IV-21 Colocación de las propiedades mecánicas en LS-DYNA.

CAPITULO V.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES



En el Capítulo V se analizan e interpretan los resultados obtenidos de la simulación de impacto por parte de LS-DYNA. Estos datos proporcionan información clave para mejorar y optimizar el diseño del casco desarrollado en el Capítulo III.

Después de haber terminado todos los apartados anteriores y teniendo todas las características necesarias se comenzara con la simulación, para ello nos dirigimos a la siguiente ruta “File > Run LS-DYNA”, una vez en ese apartado apareció una ventana donde debemos configurar las características finales las cuales nos permitirá realizar la simulación, en esta ventana se configura el poder a nivel HARDWARE de la máquina que realizara la simulación, después de ingresar lo que solicita, bastara con darle clic en el botón de “PLAY”, y comenzara a generar la simulación, cabe mencionar que las simulación tienden a tardar mucha dependiendo de la máquina que lo está generando, en este caso tardo alrededor de 3 días y medio, en terminar la simulación de 21 segundos Figura V-1.

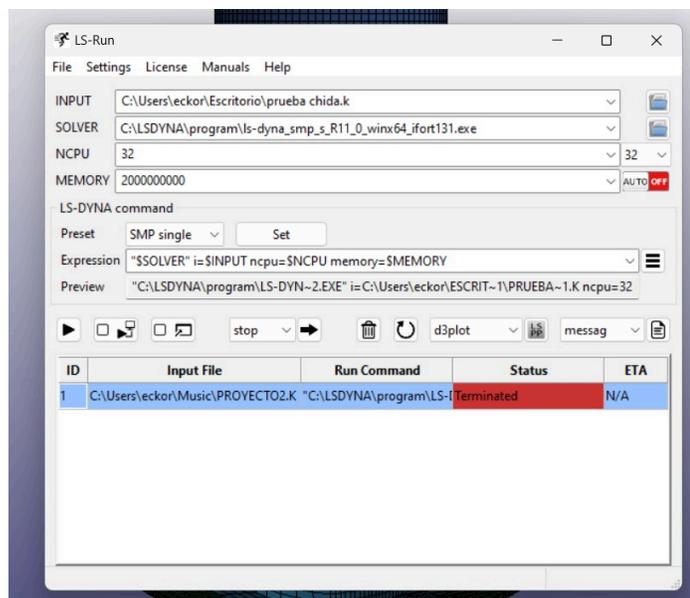


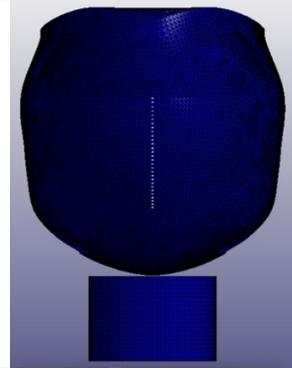
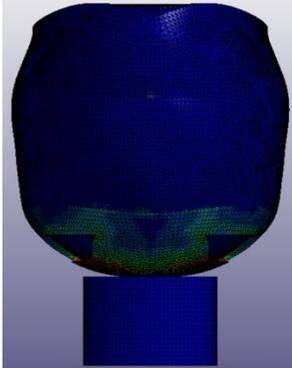
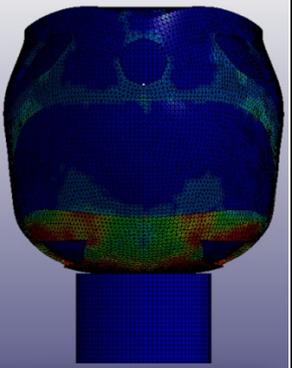
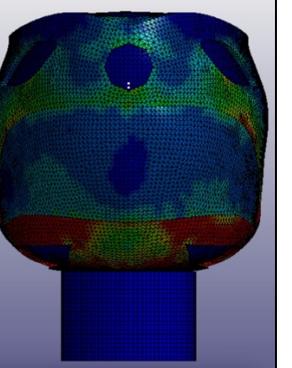
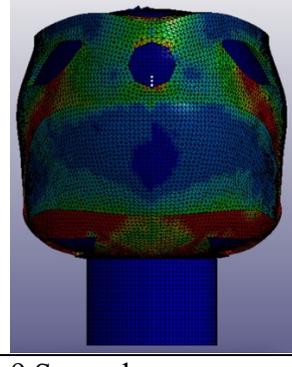
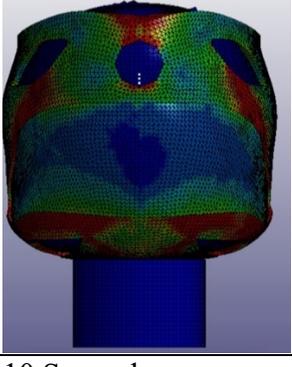
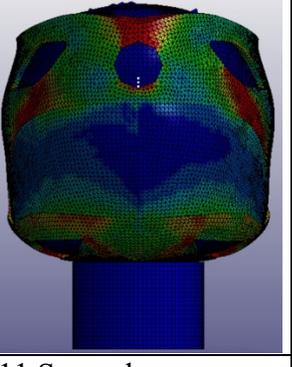
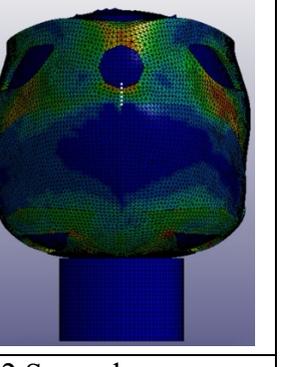
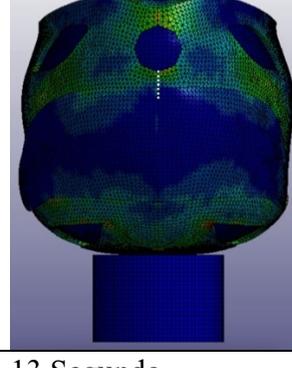
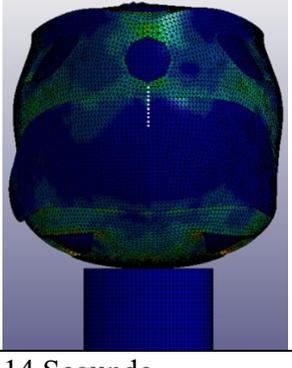
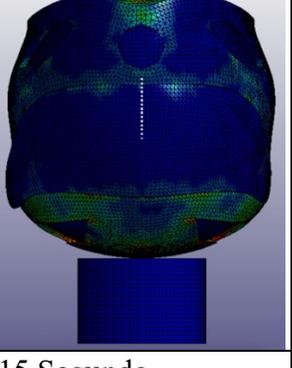
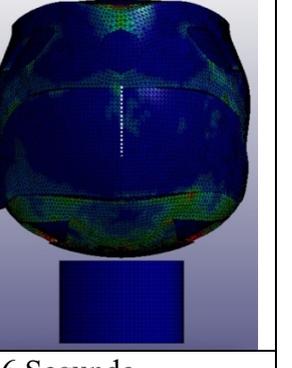
Figura V-1 Configuración de proceso de simulación

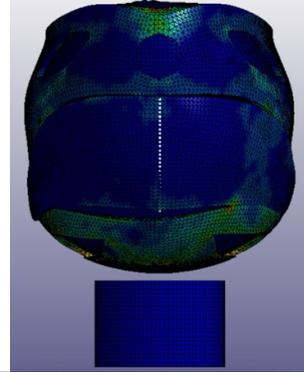
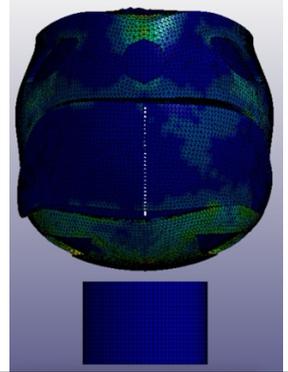
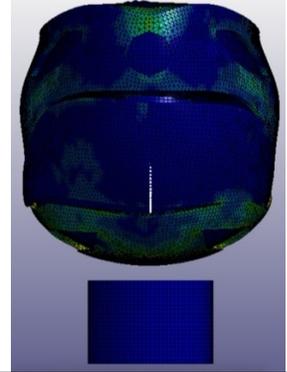
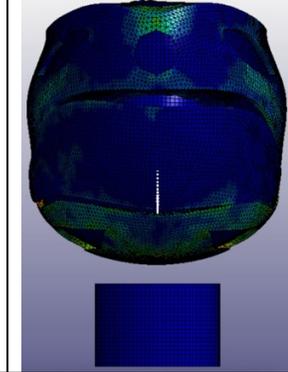
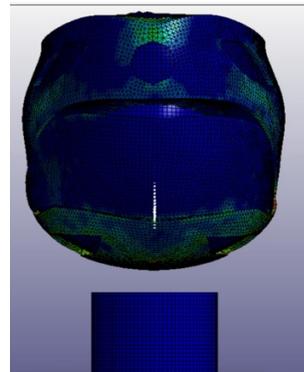
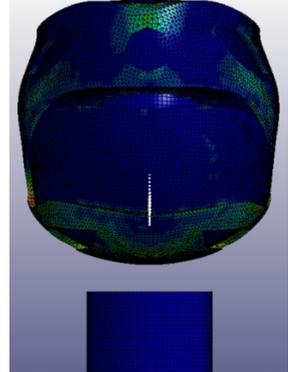
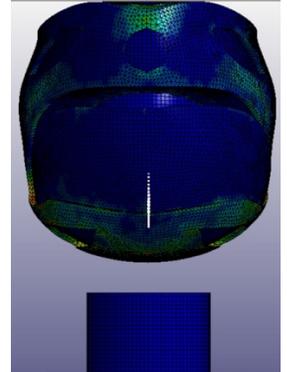
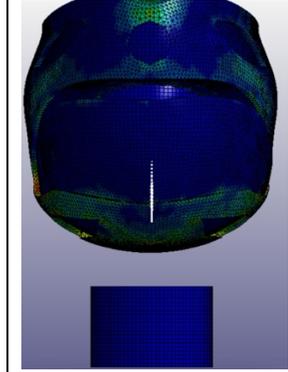
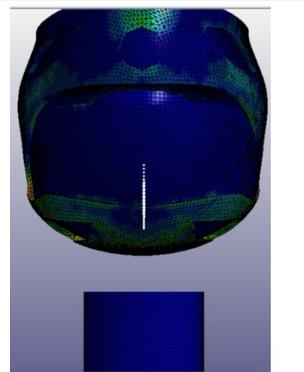
La simulación tiende a tardar mucho debido a que cada nodo es una ecuación matemática generada de acuerdo a los parámetros que se ingresaron, debido a que está calculado cada una de las ecuaciones, y teniendo en cuenta que son 175406 nodos los que comprende estas simulación, pero después de haber generado dichos cálculos, nos generara un carpeta la cual comprende los

archivos necesarios, para poder visualizar en forma de un video interactivo en el cual podemos observar cómo se está comportando los componentes.

Como no se puede reproducir un video en archivo de Word, se agregaron en la Tabla V-1, el comportamiento del casco segundo a segundo

Tabla V-1 Simulación segundo a segundo del impacto.

1 Segundo 	2 Segundo 	3 Segundo 	4 Segundo 
5 Segundo 	6 Segundo 	7 Segundo 	8 Segundo 
9 Segundo 	10 Segundo 	11 Segundo 	12 Segundo 
13 Segundo 	14 Segundo 	15 Segundo 	16 Segundo

			
17 Segundo	18 Segundo	19 Segundo	20 Segundo
			
21 Segundo			
			

En la Tabla V-1, podemos observar que a lo largo de la simulación del segundo dos hasta el segundo quince, podemos observar que son los más críticos, debido a que en los primeros segundo se generó el impacto, en los cuales podemos observar que el casco al recibir el impacto se comienza a sumir hasta llegar un punto donde comienza el retroceso, en el cual vuelve a tomar su forma original, se observa que debido al impacto la parte del visor, se desprende, otro de los

puntos que se pueden observar que el impacto generado solo se puede observar en la parte de la carcasa, la fuerza que se llegó a transmitir a las demás piezas es de carácter mínimo.

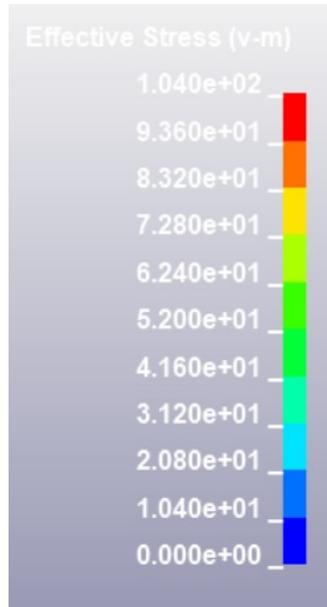


Figura V-2.- Paleta de colores de los esfuerzos a lo largo de la simulación

Al mismo tiempo que se muestra los esfuerzo, se genera una paleta de colores, de acuerdo al momento de impacto del casco Figura V-2, en la cual nos muestra que el esfuerzo máximo es de $1.040e^{02}$ de color rojo, lo que nos quiere decir que en las zonas que muestran rojo en la Tabla V-1 son los que se llevaron el mayor esfuerzo, el cual fue en la parte de la carcasa, lo mismo pasa con el color azul marino el cual nos muestra que las áreas donde se muestra este color no sufrieron algún esfuerzo, lo que no ayuda a entender que la capacidad de dispersión de esfuerzos por parte de la carcasa es buena.

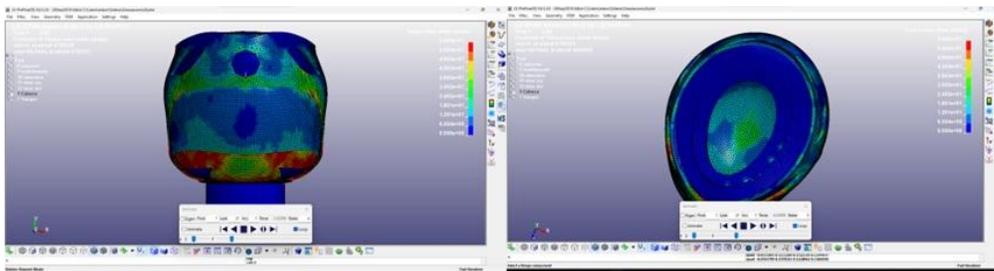


Figura V-3.- Vista de la reducción de esfuerzos .

Sí observamos desde un punto interior como se muestra en la Figura V-3, podemos observar que el esfuerzo que se generó, en la mayoría se disipo, llegando hasta la cabeza muy poco esfuerzo, lo cual nos quiere decir que el material que se propuso es capaz de disipar en su mayoría los esfuerzos que se generaron a lo largo del impacto.

Si los datos generados por el esfuerzo, los graficamos con relación a la deformación nos daría una gráfica interesante la cual nos permite conocer si existe una deformación plástica de la carcasa Figura V-4.

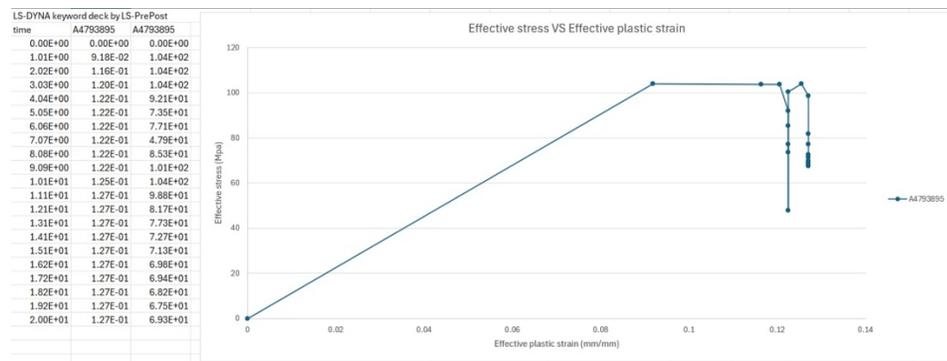


Figura V-4.- Grafica de la relación entre los esfuerzos y la deformación plástica

Una vez obteniendo los resultados por parte de los esfuerzos y la deformación, nos permite observar que el punto máximo es el 104 Mpa, teniendo este dato nos permite compararlo contra el límite elástico del material de la carcasa, el cual podemos observar en la Tabla IV-1 el cual nos menciona que el límite elástico de la carcasa es de 104 Mpa, lo que nos dice que el punto máximo con relación a la deformación es igual a límite elástico, lo que nos quiere decir que la prueba realizada se encuentra dentro del parámetro de elasticidad de la carcasa sin llegar a generar una deformación, debido a este criterio, en la Tabla V-1, en la cual se observa como regresa a su forma original el casco es debido a que nos encontramos dentro del parámetro elástico, sin llegar a generar una deformación aun cuando se puede ver como se genera una compresión del casco a lo largo de la simulación.

De acuerdo con los criterios de aceptación para la homologación ECE y DOT para la prueba de impacto contra el yunque plano, se consideran los siguientes parámetros:

1. Deformación del cuerpo de prueba: Se evalúa cuánto se deforma el cuerpo de prueba después del impacto. Esto puede incluir la deformación visible o la deformación residual después de aplicar el impacto.
2. Integridad estructural: Se verifica si el cuerpo de prueba conserva su integridad estructural después del impacto. Esto implica asegurarse de que no haya fracturas u otros daños que comprometan la seguridad del vehículo o del equipo de protección.

Estos criterios aseguran que el equipo de protección cumpla con estándares de seguridad mínimos, proporcionando un nivel aceptable de protección en caso de accidente.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, podemos asegurar que el diseño propuesto es capaz de pasar la prueba solicitada por la normativa y homologaciones.

Otro de los resultados interesantes es la energía que se generó al impactar el casco contra el yunque, por ello a través de las herramientas de LS-DINA, se obtuvo la energía que se produjo a lo largo del desarrollo de impacto, en este caso se buscaron los datos de la energía que se generó en la carcasa y la energía que llegó hasta el acolchado donde ya se encuentra en contacto con la cabeza Figura V-5.

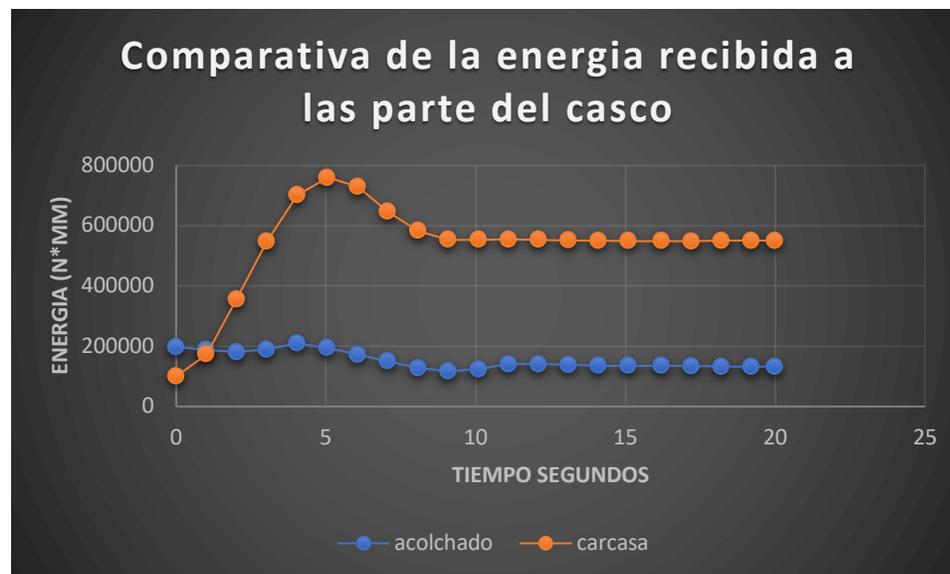


Figura V-5.- Gráfica de comparativa de energía recibida en el impacto en las distintas partes del casco.

Observado la Figura V-5, podemos observar la línea naranja, la cual corresponde a la carcasa del casco, la cual recibió el impacto de lleno contra el yunque siendo su punto más alto $7.60e^5$ y por parte de la línea azul la cual corresponde al acolchado sien el materia que se encuentra en contacto con la cabeza, se obtuvo el punto más alto de $2.10e^5$, si sacamos el porcentaje obtenemos que es de 27% la energía que se disipo desde la carcasa hasta el material acolchado por parte de la normativa ECE 22.06 no especifica un porcentaje de absorción de impacto que los cascos deben alcanzar. En cambio, se centra en pruebas de resistencia y seguridad que evalúan la capacidad del casco para proteger la cabeza del usuario y por parte de la normativa DOT no especifica un porcentaje exacto que los cascos deben cumplir. En cambio, se centra en pruebas de impacto que evalúan la capacidad del casco para proteger la cabeza del usuario, por lo que podemos per en la Tabla V-1, el casco el capas de proteger la cabeza sin llegar a generar las

fracturas por lo que podemos decir que estamos cumpliendo la normativa que se encuentra regulando los cascos.

Continuando con el análisis se buscó conocer la medida de deformación del casco ante el impacto, por lo que se seleccionaron los nodos internos donde se recibió completamente el impacto dándonos como resultado que en durante los segundos 3 y 4, fueron el momento se generó la mayor cantidad de fuerza en el impacto por lo que también se llevó a cabo la mayor deformación en la carcasa, dándonos como resultado que durante ese momento se llevó a cabo una deformación de 5 mm. (Figura V-6), cabe mencionar que a pesar de esa deformación durante ese momento no fue una deformación irreversible sino que el material fue capaz de volver a su forma original antes del impacto, dándonos a entender que el casco es capaz de recibir el impacto sin llegar a fracturarse o romperse

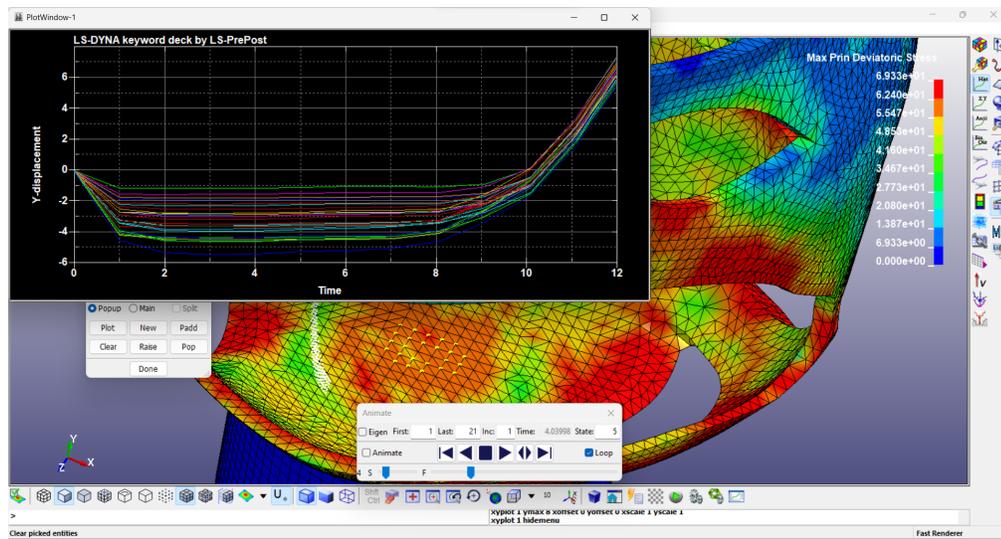


Figura V-6.- Vista de la compresión del casco ante el impacto

Además de cumplir con prueba propuesta de la normativa, con la nueva propuesta de diseño del casco se generaron agujeros, lo cual permitía reducir el peso de la carcasa, lo cual hace que el casco posea un menor peso (Figura V-7), cumpliendo con el desarrollo del título de proyecto,

dentro de la cantidad de material que se redujo fue de 19.69% de material utilizado en cascos convencionales, volviendo a recalcar el hecho de que se cumple con la normativa.

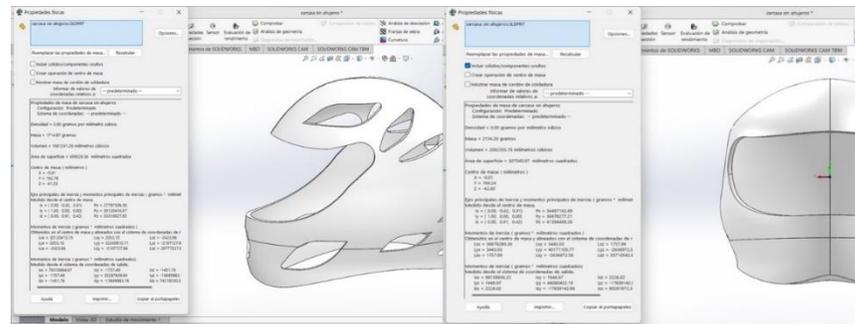


Figura V-7 Análisis de la reducción del material.

Para conocer el costo de fabricación de la carcasa es llevada cabo mediante un software el cual es FlashPrint, este software nos permite llevar a cabo una simulación de impresión, pero este tipo de software solo es utilizado en impresoras 3d de uso doméstico por lo que en una impresora de grado industrial podría variar el tiempo que tarda en imprimir dicha carcasa, por lo que mediante el uso de este software nos genera un tiempo promedio de impresión es de 59hrs. con 47 min, además de proporcionarnos el tiempo promedio que puede tardar también nos brinda la oportunidad de conocer la cantidad de material utilizado para esta impresión dándonos como resultado un promedio de 824.34 gramos de filamento (Figura V-8).

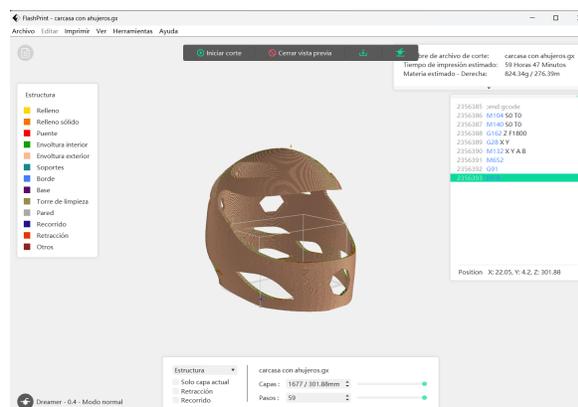


Figura V-8 Análisis de tiempo de impresión 3D.

Una vez teniendo la cantidad de material utilizado se puede realizar un estimado del costo de fabricación de la carcasa, para calcular el costo debemos conocer el costo del filamento, como se comentó en párrafos anteriores, el filamentos han sido capaces de pasar la prueba de impacto propuesta por la norma, teniendo esto en cuenta podemos hacer un estimado del costo de fabricación de la carcasa, para ello se recabamos el precio del filamento en un proveedor americano el cual en su página web ofrece dicho filamento el cual es 3DXTCH Aditive Manufacturing (figura 57).



Figura V-9.- Costo del filamento del material de la carcasa.

En la Figura V-9, podemos observar el costo del filamento, cabe mencionar que el costo de esta presentación de filamento es la que es de 2 kilos, esto nos permitirá conocer el costo por gramo, a partir de las operaciones pertinentes dando como resultado que el gramo de filamento nos da un costo de \$0.105 dólares, teniendo este dato podemos genera una multiplicación simple del costo por gramo de filamento por la cantidad de filamento necesario para la fabricación de la carcasa, dándonos como resultado \$86.5557 dólares, cabe mencionar que este solo el costo de fabricación de la carcasa, tomando en cuenta esto podemos concluir que el costo de fabricación de un casco por impresión 3D tiene un costo elevado debido a dos factores qué son la cantidad de material utilizado y al tiempo que tarda en imprimir dicha carcasa.

A pesar del alto costo de fabricación, es crucial destacar que el desarrollo del casco a través de la impresión 3D puede competir en términos de capacidad para superar las pruebas establecidas por las normativas, enfrentándose al método actual de fabricación mediante inyección, en el que se utiliza moldes.

En conclusión, el proyecto dedicado al diseño de cascos de motocicleta ha alcanzado con éxito los objetivos establecidos, evidenciando el enfoque para el desarrollado habilidades en diversas áreas técnicas y académicas.’

Desde el inicio, se propusimos abordar el desafío de mejorar el diseño de cascos de motocicleta, buscando no solo cumplir con las normativas de seguridad sino también optimizar la estructura y funcionalidad de estos elementos fundamentales de protección. A lo largo del proceso, se aplicaron competencias fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

La investigación bibliográfica de las normativas de seguridad fue el punto de partida esencial para comprender y aplicar estándares internacionales, como son: DOT, ECE y la normativa mexicana NOM-206-SCFI/SSA2-2018, esto sentó las bases para el diseño del casco, garantizando que se cumpliéramos con las expectativas reglamentarias.

Además, la utilización de herramientas tecnológicas especializadas, como software CAD/CAE (SolidWorks, ANSYS, LS-DYNA), permitió modelar, analizar y comparar diseños de cascos de manera eficiente y precisa. Esta competencia técnica fue crucial para evaluar virtualmente la eficacia y viabilidad de nuestros diseños propuestos, identificando áreas de mejora y optimización.

La evaluación detallada de propiedades mecánicas de diversos materiales ha sido una fase crucial. Comprender cómo los materiales se comportan y seleccionar los más adecuados en términos de resistencia, durabilidad y peso fue esencial para mejorar la seguridad y eficiencia de los cascos.

La fase de análisis comparativo entre los diseños convencionales y nuestro diseño innovador ha sido un proceso estimulante de pensamiento crítico y resolución de problemas. Identificar oportunidades para mejoras significativas y proponer soluciones novedosas ha sido parte integral de nuestro enfoque de diseño.

RECOMENDACIONES

Basándose en los logros y aprendizajes obtenidos a lo largo del proyecto de diseño de cascos de motocicleta, se derivan recomendaciones clave que podrían mejorar aún más la eficacia y la innovación en futuras fases del desarrollo:

Pruebas Aerodinámicas: Introducir pruebas aerodinámicas específicas en el proceso de diseño puede proporcionar información valiosa sobre la resistencia al viento y la estabilidad del casco durante la conducción a velocidades diversas. Estas pruebas podrían realizarse utilizando simulaciones computacionales avanzadas para perfeccionar la forma del casco y maximizar su rendimiento aerodinámico.

Investigación Continua de Materiales: La continua investigación de materiales avanzados puede resultar beneficiosa para mejorar la seguridad y la eficiencia del casco. Explorar materiales más livianos y resistentes podría reducir el peso del casco sin comprometer su resistencia estructural, mejorando así la comodidad para el usuario.

Estudio de Factores Humanos: Considerar más a fondo los aspectos ergonómicos y de comodidad, incorporando estudios sobre la interacción del usuario con el casco durante situaciones reales de conducción. Esto podría incluir análisis de peso, ventilación y diseño interior para asegurar una experiencia óptima para el motociclista.

Análisis de Costos y Factibilidad: Realizar un análisis más detallado de los costos asociados con la implementación de nuevos materiales y tecnologías en la producción de cascos. Esto aseguraría que las mejoras propuestas sean viables desde el punto de vista económico sin comprometer la accesibilidad para los usuarios.

Pruebas de Campo: Llevar a cabo pruebas de campo en condiciones del mundo real para evaluar el rendimiento del casco en diversas situaciones de conducción. La retroalimentación derivada de estas pruebas prácticas puede ofrecer información valiosa para refinar el diseño y asegurar su eficacia en escenarios reales.

CAPITULO VI.- GLOSARIO

Aleación: Producto homogéneo, obtenido por fusión, compuesto de dos o más elementos químicos, uno de los cuales, al menos, debe ser un metal.

Antecedentes: Acción, dicho o circunstancia que sirve para comprender o valorar hechos posteriores.

Antropometría: Estudio de las proporciones y medidas del cuerpo humano.

Conceptualización: La representación de una idea abstracta en un concepto

Dinámica: Rama de la mecánica que trata de las leyes del movimiento en relación con las fuerzas que lo producen.

Diseño: Concepción original de un objeto u obra destinados a la producción en serie.

Ergonomía: Estudio de la adaptación de las máquinas, muebles y utensilios a la persona que los emplea habitualmente, para lograr una mayor comodidad y eficacia.

Estándares: Que sirve como tipo, modelo, norma, patrón o referencia.

Estructura: Disposición o modo de estar relacionadas las distintas partes de un conjunto.

Extrusor: El extrusor es el equipo de transformación más utilizado en la industria de los polímeros.

FDM: La tecnología FDM, también conocida como “Fused Deposition Modeling” o “Modelado por Deposición Fundida”

Impacto: Choque de un proyectil o de otro objeto contra algo o alguien.

Impresión 3D: Proceso de creación de objetos mediante el depósito de capas de material unas sobre otras.

Indicador: Comparación entre dos o más tipos de datos que sirve para elaborar una medida cuantitativa o una observación cualitativa.

ISO: La palabra ISO, es la abreviatura de los vocablos en inglés International Organization for Standardization. Se refiere en español a la Organización Internacional de Estandarización.

Mallado: El proceso de subdividir el modelo en pequeñas partes se llama mallado.

Metodología: Conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal.

Modelado: Se trata, en suma, de un modo de representación y de transformación, que ayude al estudiante a modificar su modelo discursivo inicial para mejorarlo.

Ordenador: Dispositivo electrónico que utiliza programas y/o software para realizar diversas tareas –almacenar, compartir, crear, organizar– de forma rápida y funcional en base a lo solicitado por el usuario.

Polímero: Compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.

Proceso esbelto: Filosofía de gestión enfocada a la creación de valor para el cliente mediante la eliminación de las actividades que no agregan valor, maximizando el flujo de los procesos.

Propiedades mecánicas: Las propiedades mecánicas son las que describen el comportamiento de un material ante las fuerzas aplicadas sobre él.

Resina: Sustancia sólida o de consistencia pastosa, insoluble en el agua, soluble en el alcohol y en los aceites esenciales, y capaz de arder en contacto con el aire, obtenida naturalmente como producto que fluye de varias plantas.

Software: Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora.

Sostenibilidad: La sustentabilidad, en áreas como la economía y la ecología, es la capacidad de algo para sostenerse a lo largo del tiempo sin agotar sus recursos o perjudicar el medio ambiente.

Termoplástico: Dicho de un material: Maleable por el calor.

CAPITULO VII.- REFERENCIAS

3dxtech additive manufacturing. (s.f.). obtenido de filamentos especiales de fibra de carbon:

<https://www.3dxttech.com/about-us/>

Archives, n. (17 de 11 de 2023). *code of federal regulationas a point in time ecf system*. obtenido

de ecf :: título 49 del cfr - transporte: <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-b/chapter-v/part-571/subpart-b#571.218>

Campillo, x. r. (2018). proyecto de diseño de piezas modeladas con una impresora 3d para la realización de prácticas de laboratorio de la asignatura de resistencia de materiales y teoría de estructuras. *universidad politecnica de catalunya barcelonatech*, 17-21.

Chimbo, k. m., aveiga, h. l., moreira, j. m., & tumbaco, r. l. (2016). los beneficios de las impresoras 3d como herramienta de innovación en la medicina. *revista caribeña de ciencias sociales*, 5-7.

Cosimo lucci, s. p. (2021). motorcycle helmet selection and usage for. *traffic injury prevention*.

Emre palta, h. f. (2017). finite element analysis of the advanced combat helmet under. *international journal of impact engineering*.

Federacion, d. o. (29 de 05 de 2018). *norma oficial mexicana nom-206-scfi/ssa2-2018, cascos de seguridad para la prevención y atención inmediata de lesiones en la cabeza de motociclistas-acciones de promoción de la salud-especificaciones de seguridad y métodos de prueba, información comercial*. obtenido de segob:

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5524337&fecha=29/05/2018#gsc.tab=

0

- Fernandes, f. a. (2019). helmet design based on the optimization of biocomposite energy-absorbing liners under multi-impact loading. *applied sciences*.
- Fernández, a. s., & navarro, k. h. (2009). *manual de antropometría*. ciudad de méxico: universidad iberoamericana.
- Flores, b. g. (2022). diseño de una impresora 3d. *universidad de valladolid escuela de ingenierias industriales*, 18-25.
- Fonda, c. (2014). *guía práctica para tu primera impresion 3d*. trieste, italy: science dissemination unitthe abdu salam international centre .
- García, j. v.-g. (2019). desarrollo de férulas mediante impresión 3d: comportamiento mecánico del material y prototipado. *universidad de valladolid escuela de ingenierias industriales* , 18-19.
- González, s. g. (2019). *el gran libro de solidworks*. barcelona, españa: marcombo, s.a.
- Hallquist, j. o. (2006). *ls-dyna theory manual*. california: livermore software technology corporation.
- Hecht, e. (2000). *fisica 1 algebra y trigonometria, segunda edicion*. international thomson: mexico.
- Hibbeler, r. c. (2004). *mecanica vectorial para ingenieros dinamica, decima edicion*. méxico: pearson educacion.
- Kyratsis, p., kakoulis, k., & markopoulos, a. p. (2020). advances in cad/cam/cae technologies. *machines*.
- Landeta, j. m. (2016). *manufactura de clase mundial*. ciudad de méxico: alfaomega.

- M. ammar alzarad, p. s. (2019). 3d printing applications in construction from the past and into the future. *creative construction conference 2019, budapest university of technology and economics*, 754- 760.
- Mondelo, p. r., torada, e. g., & bombardó, p. b. (2000). *ergonomía 1 fundamentos 3º edición*. barcelona, españa: alfaomega.
- Nations, u. (14 de 09 de 2017). <https://unece.org/>. obtenido de [e/ece/324/rev.1/add.21/rev.4/amend.3–e/ece/trans/505/rev.1/add.21/rev.4/amend.3: https://unece.org/dami/trans/main/wp29/wp29regs/2017/](https://unece.org/dami/trans/main/wp29/wp29regs/2017/)
- Nebrida, j. a. (2022). automated onsite construction: 3d printing. *engineering research and reports*, 47-55.
- Noorani, r. (2017). *3d printing technology, applications, and selection*. u.s.: taylor & francis group.
- Poblet, j. m. (1986). *sistemas cad - cam - cae: diseño y fabricación por computador*. barcelona: marcombo.
- Pulido, h. g. (2020). *calidad y productividad, quinta edición*. ciudad de méxico: mc graw hill.
- Pulido, h. g., & salazar, r. d. (2013). *control estadístico de la calidad y seis sigma, tercera edición*. ciudad de méxico: mc graw hill.
- Real academia española*. (s.f.). obtenido de copceptos: <https://www.rae.es/>
- rodriguez vidal, c. y. (2015). *diseño mecanico con solidworks*. bogota: ediciones de la u.
- Román, e. h. (2018). diseño de casco de motocicleta. *escuela técnica superior de ingeniería (icai)*.

- Salud, o. p. (2008). *casco manual de seguridad vial para decisores y profesionales*. washington: publicacion cientifica y tecnica no. 628.
- Sánchez, a. p. (2023). caracterización mecánica de un material viscoelástico mediante probetas fabricadas con impresión 3d. *escuela técnica superior de ingeniería universidad de sevilla*, 4.
- Stolarski, t., nakasone, y., & yoshimoto, s. (2018). *engineering analysis with: ansys software second edition* . oxford: butterworth-heinemann.
- Suardíaz muro, j., pérez gomáriz, m., cabrera lozoya, a., & do carmo trolle, r. o. (04 de 07 de 2021). combinando impresión 3d y electrónica como estrategia para mejorar la experiencia de aprendizaje. *ried. revista iberoamericana de educación a distancia*, págs. 115-135.
- Tabary, m. a.-i.-m. (2021). the effectiveness of different types of motorcycle helmets—a scoping review. *accident analysis & prevention*.
- Tippens, p. e. (2007). *fisica conceptos y aplicaciones 7° edicion*. ciudad de méxico: mc graw hill.